

GOVP1199801983

제2차년도  
최종보고서

674.8  
L2936  
U.2

임지폐잔재와 페타이어 복합에 의한  
목질계 판상제품의 제조기술 개발

Development of Wood Based Composite  
with Waste Wood & Waste Tires

연구기관  
경북대학교

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “임지 폐잔재와 페타이어 복합에 의한 목질계 판상  
제품의 제조기술 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997. 12.

주관연구기관명 : 경북대학교  
총괄책임자 : 박 상 진  
연구 원 : 이 원 회  
          변 회 섭  
          마 상 규  
          양 재 경  
          한 진 길  
연구 조 원 : 김 재 우  
          황 권 환  
          정 승 수  
          정 기 호

## 요 약 문

### 1. 제 목

임지폐잔재와 폐타이어 복합에 의한 목질계 판상제품의 제조기술 개발  
(Development of Wood Based Composite with  
Waste Wood/Waste Tires)

### 2. 연구개발의 목적 및 중요성

오늘날 자동차 수의 증가로 산업폐기물의 일종인 폐타이어를 처리하는 문제는 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 폐타이어의 이용은 주로 열원으로 사용하여 왔으며 공해유발 문제 등으로 많은 제약을 받고 있는 현실이다. 이에 본 연구는 산업폐기물인 폐타이어와 산지에서 벌채 및 육림작업에서 발생하는 임지폐잔재등 폐목질자원의 효율적인 재활용을 위하여 목질계 고무복합 판상제품의 제조가능성 및 공정개발과 제품의 성질을 명확히 하고자 한 것이다. 폐자원의 재활용은 원자재수입에 의존하고 있는 국가차원의 수입대체효과 및 국제적 이슈로 대두되고 있는 환경오염방지와 매립지선정 등으로 야기되는 쓰레기문제의 해결이라는 3대 성과를 이룰 수 있는 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

### 3. 연구개발 내용 및 범위

폐목재와 폐타이어의 처리실태 현황 및 접착제의 선정, 재료의 혼합방법을 제시하고 이를 이용한 복합재료화의 가능성 및 판상제품화하는 적정조건

을 구명코자 하였다. 적정조건외 검토를 위한 제품의 물리적·기계적성질은 비중, 함수율, 수분에 대한 성질 및 압축·휨·박리강도등을 조사하였고 목재와 고무의 혼합특성을 조사하기 위하여 재료의 중량비와 체적비의 혼합비에 따른 상관관계를 구명하였다.

#### 가. 연구개발의 내용

주요내용은 보고서 본문에 상세히 서술하였으며, 중복을 피하고자 아래에는 간단명료히 요점만 기록하였다.

##### (1) 임지폐잔재 및 페타이어의 현황

임지폐잔재는 간벌, 가지치기, 공장부산물로 발생하며 전체의 14%만이 이용되는 실정이다. 페타이어는 약 58%가 건설자재나 분말상으로 직접 수출되기도 한다.

##### (2) 판상제품제조를 위한 최적제조공정 개발

고무와 목재 가비중의 차이 때문에 원료투입량과 제품의 성질에 많은 차이가 있으며 접착제는 요소수지 등으로 시도해 본 결과, 폴리우레탄수지만이 사용가능하였다. 최적제조공정은 목표비중이 0.7, 고무와 목재의 중량비가 1:1인 경우, 재료의 각종 물성조사로부터 3단계 가압압력 45→20→5kg/cm<sup>2</sup>, 가압시간 4→3→3분, 열압온도 120℃였다.

##### (3) 부차적 복합재료원료의 탐색

폐비닐, PET병, 플라스틱, 폐종이류, 솜 등.

##### (4) 복합보드의 물리적 성능

고무칩이 목재칩보다 비중이 높고 흡수성이 없기 때문에 복합화시에는 이들의 성질을 이용하여 원료배합에 따라 비중과 함수율조정이 가능하였다.

##### (5) 칩의 크기와 성질

고무칩이 목재칩보다 탄력성이 우수한 반면 강성은 뒤떨어지며, 칩의 크기에 따른 가비중에 차이가 있으며 접착제 투여량도 달라진다.

(6) 안료의 도입

복합재를 제조하는 과정에서 안료, 도료 등을 이용하면 색상발현이 가능하였다.

(7) 열압조건의 영향

열압과정에서 보드내부 온도는 열압종료시점까지 표면온도에 도달하지 못하였고, 열압조건은 가압압력보다 가압시간이 길수록 고압의 열처리효과에 의한 보드의 수분에 대한 저항성이 있었다.

(8) 복합재의 수축율

보드의 두께방향 평균수축율은 비중이 증가할수록 감소하였으며, 이는 고무칩의 증가에 의한 소량의 목재칩 함수율의 감소현상으로 판단되었다.

(9) 내부결합력

그래놀칩에 비해 핀칩에 의한 복합재의 내부결합력이 우수하였다.

(10) 복합보드의 특성

고무계 목질복합 보드는 일반 목질재료에 비하여 탄력성이 매우 풍부하였다.

(11) 복합보드의 제조가능성

위의 사실들로서 다양한 모양의 고무계 목질복합 보드 제조는 가능함을 알 수 있었다.

(12) 복합보드의 용도

고무칩의 낮은 강성과 높은 탄력성 때문에 복합보드는 힘작용부재로서보다는 압축하중을 받는 바닥재로서 적당할 것으로 판단되었다. 따라서 노인이나 어린이 수용시설, 실내체육관과 아파트의 바닥재 등으로 이용하면 충격완화와 소음방지효과도 뛰어날 것으로 판단되었다.

#### 나. 건의사항

일상생활이나 공장부산물로 생기는 폐기물의 처리방안으로 재사용, 재활용, 열원이용이 있으나 매립지선정이나 환경오염문제, 재활용의 불이행으로 인한 경제적인 손실, 용도등의 측면에서 재활용 처리방안에 대하여 아무리 강조해도 지나침이 없다고 할 것이다. 앞으로 현장시공 등의 적용가능성에 관한 추가적인 연구가 필요하며, 이익이 적다 하더라도 관련산업체에 대한 정부차원의 적극적인 지원과 투자가 있어야 하겠다.

## SUMMARY

### 1. Project Title

Development of Wood Based Composite with Waste Wood & Waste Tires

### 2. Research Necessities and Objectives

In practical, the study of wood-based composite boards with wood and rubber chip for recycling of waste wood and waste tire is nothing up to the present. The effect and control of wood property of reconstituted composite panels for improved board properties by wood-waste materials and development of combination method for heterogeneous materials, for example waste tire and waste papers and so on, have been of interest to the wood science researchers. In nowadays, especially, the recycling of waste tire from industrial by-products is very serious social problems. Tire use for heat resources of boilers is not proper because of the air and water pollutions.

It was examined the reconstitution possibility of wood and tire chip for composites. The purpose of this study is to consider the properties in relation to hot pressing conditions and to develop the optimum hot pressing process with waste wood and waste tire for the manufacturing of composite boards. In addition to this purpose, it was examined whether the waste tire can be recycle for some

types in our life. Frankly speaking, the key point of these problems in relation to the waste tires and waste woods is "How we can use this wastes ?"

### 3. Contents and Scope of the Research

In the first, it was investigated that present situation and chipping technology of waste woods and tires, selection of adhesive and development of adhesion process, secondary raw materials for composites, and was examined the optimum manufacture conditions in hot pressing and properties by combination technology. Physical and mechanical properties such as specific gravity, moisture content, swelling coefficient, modulus of rupture and modulus of elasticity in fracture test were studied. Also, the relationships between volumetric mixing rate of rubber chip in woody composite panel and the internal bonding strength in rubber-based wood composite was examined in order to investigate the mixture properties of wood and rubber.

### 4. Results and Suggestions

#### A. Results of research and development

The following results were obtained from the two years research to develop a new composite materials with waste tire & waste wood for recycling.

##### (1) A present situation of waste tires and waste woods



Waste woods generally occur from thinning and pruning work and industrial by products. Waste tire is using to construction, companies making powder of rubber and export directly. A use status of this wastes, presently, the using rates of waste wood and waste tire is maximum 14 percent and 58 percent just all them, respectively

(2) Development of optimum process for panel manufacture

In this investigation, we used polyuretan resin which is can be adhesive both waste tires and waste woods. The other resin adhesives, for example urea resin and etc, cannot using for binder. Composite properties by weight base and volume base of the rubber and wood powder appeared very different results. Although we use same volumetric percent of waste tire and waste wood, weight rate of raw material was affected differently by the state of waste woods. It's due to different nominal specific gravity. Difference of surface state for composites was affected by the amount of waste wood and press pressures. This reason is due to imperfectible manufacture process. The condition of 3-stage press time for the lowest moisture content of composite board was 4→3→3 minutes. Specific gravity and moisture content of composite panels was affected mainly by the mixing rate of raw materials. It could be concluded that the optimum hot pressing condition were 4→3→3 minutes for 3-stage press time and 45→20→5 kg/cm<sup>2</sup> for 3-stage press pressure, and 120℃ for hot pressing temperature when target specific gravity of composites was 0.7 and weight rate was 1:1 for wood and rubber.

(3) Investigation of secondary raw materials for composites

The secondary raw materials are waste-vinyl, PET, plastics, waste-paper, charcoal and so on.

#### (4) Physical property of composites

Because of the nominal specific gravity differed from rubber and wood, specific gravities of rubber-based wood composite panel made by weight percent and volumetric percent of every chip element was very different values for physical properties. Specific gravity in air-dry of composite panel was increased rapidly as volumetric percent of rubber chip element was increased. In contrast, moisture content of composite panel was decreased as volumetric percent of rubber chip element was increased. This phenomenon was considered that wood is porosity material and it can be moisture absorption.

#### (5) Chip size and property

Chip size of rubber and wood affected to the nominal specific gravities. Wood is stiffness property and rubber is bounce material. Therefore, the composite board which used more wood is more rigidity and low bounce.

#### (6) Introduction of color

It can be generally use some colors such as pigments, paints, and so forth during manufacture process of rubber-based composites.

#### (7) Effect of hot press conditions

The optimum hot pressing conditions was estimated from effective consuming energy and quality of manufactured board. The surface temperature of composites increased momentarily by setting temperature, but mid-layer temperature of composites not increased until ending point.

In the result of this test, woods were affected of the pressing time more than pressing pressures, also the optimum pressing time for making composite board was 4→3→3 minutes for moisture sorption. It was considered that raw material of composites are affected by thermal treatment in the condition of high-pressure.

(8) Shrinkage of composites

In the direction of board thickness, average shrinkage decrease with specific gravity's increased. Moisture content of board was decreased as volumetric percent of rubber chip was increased. From this results, it is necessary to water proof treatment in wood chips when composite board used for exterior materials.

(9) Internal bonding strength

The results of internal bonding strength and basis data it was concluded that pin type of wood chip in rubber-based composite panel was excellent raw material shape than granule chip type.

(10) Special property of composite board

The composite panel of rubber-based wood was very excellent in bounce and elasticity by combination of rubber chip in comparison with existing other wood-based materials.

(11) Possibility of composite board making

Productions of rubber-based wood composite panel is able to manufacture with waste tire and waste wood as various material shapes.

(12) A use for composite board

Because of the low rigidity and high elasticity in rubber chip, it was considered that the composite panel was adequate material in the place

of compression load, but not bending load. In addition to this conclusion, it was considered that rubber-based wood composites for use can be applicable to every interior materials such as floor of room, gymnasium, and child's room than exterior materials such as recreational facilities in garden and forest and city parks.

## B. Suggestions

Treatment method of every wastes from our daily life and industrial by-products are divided grouping three types(3R) for Reuse, Recycle, and heat Resources. Wastes always caused to social problems and environmental problems in our life. In a view of these point, recycle of waste tires and other waste materials will be more effective and environmental treatment process than using heat source. So we cannot to emphasize the importance of "RECYCLE" for waste treatment method. Although there is not commercial merits, in future, it must be conducted in much active support and much investments by governments.

*Keywords* : Composite panel, waste tire, waste wood, hot pressing condition, properties of composites, recycle, pollution, active support of governments.

## CONTENTS

- CHAPTER 1. INTRODUCTION
  
- CHAPTER 2. A PRESENT SITUATION OF WASTE WOOD & TIRE
  - Section 1. Occurrence State of Waste Wood
  - Section 2. A Use Situation of Waste Wood
  - Section 3. Production and Treatment State of Waste Tire
  
- CHAPTER 3. CHIPPING TECHNOLOGY OF WASTE WOOD & TIRE
  - Section 1 Development of Effective Chipping Technology of Waste Wood
  - Section 2 Chipping Technology of Waste Tire
  
- CHAPTER 4 SELECTION OF ADHESIVE AND DEVELOPMENT OF ADHESIVE PROCESS
  - Section 1 Properties of Raw Materials and Mixtures
  - Section 2 Shape of Raw Materials and Property of Mixture
  
- CHAPTER 5 SECONDARY RAW MATERIALS FOR COMPOSITES AND EXAMINATION OF FORMING CONDITION IN HOT PRESSING
  - Section 1 Investigation of Secondary Raw Materials

Section 2	Effective Forming Condition for Hot Pressing
CHAPTER 6	IMPROVEMENT OF PROPERTIES BY COMPOUND TECHNOLOGY
Section 1	Examination of Effective Mixing Rate of Elements
Section 2	Improvement of Functional Property by Compound Method
CHAPTER 7	DEVELOPMENT OF EFFECTIVE PRODUCTION PROCESS FOR COMPOSITE MATERIALS
Section 1	Color Introduction and Use
Section 2	Optimum Production Process for Composite Materials
CHAPTER 8	PHYSICAL & MECHANICAL BEHAVIOR OF COMPOSITE MATERIALS
Section 1	Properties in Weight Rate is Constant
Section 2	Properties in Volumetric Percent of Raw Material is Different
CHAPTER 9	INVESTIGATION FOR A USE OF COMPOSITE MATERIALS
CHAPTER 10	RESULT AND DISCUSSION
REFERENCES	

## 목 차

제 출 문 .....	1
요 약 문 .....	2
1. 제 목 .....	2
2. 연구개발의 목적 및 중요성 .....	2
3. 연구개발 내용 및 범위 .....	2
SUMMARY .....	6
CONTENTS .....	12
목 차 .....	14
제 1 장 서 론 .....	18
제 2 장 임지폐잔재 및 페타이어 현황과 실태 .....	23
제 1 절 임지폐잔재의 발생현황 .....	23
제 2 절 임지폐잔재 및 폐재의 이용실태 .....	24
제 3 절 페타이어 발생 및 처리실태 .....	26
제 3 장 임지폐잔재 및 페타이어 적정분쇄기술 .....	30
제 1 절 임지폐잔재의 적정 분쇄 기술개발 .....	30
1. 원료 .....	30
2. 목재와 고무분말계 판상소재용 칩의 제조 .....	30
3. 목재 칩의 형태별 제조단가 .....	31
4. 수피 혼입 비율 .....	31
5. 목재분쇄장비 .....	31
제 2 절 페타이어의 적정분쇄기술 .....	33
제 4 장 접착제 선택 및 접착공정 개발 .....	36

제 1 절 소재의 성상 및 혼합특성 .....	36
1. 소재의 특성 .....	36
2. 복합보드의 제조방법 .....	36
3. 접착제의 선정 .....	39
3.1 요소 및 멜라민 수지 .....	39
3.1.1 보드의 제조조건과 재면상태 .....	39
3.1.2 보드의 물성 .....	41
3.2 폴리우레탄 수지 .....	45
4. 복합보드 제조를 위한 각 소재의 투입량 계산방법 .....	48
제 2 절 소재의 형태와 보드의 제조특성 .....	51
1. 폐목재 및 페타이어 성상이 보드제조에 미치는 영향 .....	51
2. 페타이어와 폐목재의 혼합비 변화에 따른 보드성형상태 비교 .....	52
3. 성형압력변화에 따른 보드의 제조상태 .....	55
<b>제 5 장 부차적 복합재료 원료의 탐색 및 압체조건에 의한 적정 성형조건 검토 .....</b>	<b>58</b>
제 1 절 부차적 복합재료 원료의 탐색 .....	58
제 2 절 압체조건에 의한 적정 성형조건 검토 .....	63
<b>제 6 장 복합보드의 각종복합화 기술에 의한 기능성부여 ....</b>	<b>66</b>
제 1 절 구성요소별 적정혼합비율 검토 .....	66
제 2 절 원료의 복합화방식에 의한 기능성부여 .....	71
<b>제 7 장 복합재료의 최적제조공정 개발 .....</b>	<b>78</b>
제 1 절 안료의 도입 및 용도의 탐색 .....	78
제 2 절 최적제조공정 도출 .....	79
2.1 제조공정의 최적화 방안 검토 .....	80



2.2 목질 폐잔재의 적정칩화 공정 .....	85
2.3 목재칩과 고무칩의 혼합공정 .....	86
2.4 성형공정 .....	87
2.5 열압공정 .....	88
2.6 제품의 마무리공정 및 출하 .....	88
<b>제 8 장 제품의 물리적성질 및 특성 조사 .....</b>	<b>89</b>
제 1 절 증량비가 일정한 경우에 있어서 재질특성 .....	89
1) 실험방법 .....	89
2) 결과 및 고찰 .....	90
2.1 열압시 매트내부의 온도분포 및 경시변화 .....	90
2.2 증량비 1:1인 경우에 있어서 기건상태시의 비중과 함수율 .....	92
2.3 열압조건에 의한 기계적성질 .....	96
2.4 수축율과 팽윤율의 변화 .....	110
제 2 절 체적비를 달리한 경우에 있어서 재질특성 .....	117
1) 공시재료 .....	117
2) 실험방법 .....	119
3) 원료혼합비에 따른 비중과 함수율의 변화 .....	119
4) 원료혼합비에 따른 내부결합력의 변화 .....	122
5) 원료혼합비에 따른 휨강도와 압축강도의 변화 .....	126
제 3 절 재질특성에 관한 결론 .....	132
<b>제 9 장 복합재료의 용도모색 .....</b>	<b>133</b>
<b>제 10 장 종합결과 및 고찰 .....</b>	<b>136</b>
가. 연구개발의 필요성 .....	137
나. 국내외 관련기술의 현황과 문제점 .....	138

다. 앞으로의 전망 .....	140
라. 연구개발결과 .....	140
1. 임지폐잔재의 발생현황과 이용실태 .....	140
2. 페타이어 발생 및 처리실태 .....	141
3. 임지폐잔재의 적정 chip화 기술개발 .....	142
4. 페타이어의 적정분쇄기술 현황 .....	143
5. 접착제 선택 및 접착공정 개발 .....	144
6. 복합보드 제조를 위한 각 소재의 투입량 계산방법 .....	145
7. 폐목재 및 페타이어의 성상이 혼합보드 제조에 미치는 영향 .....	146
8. 페타이어와 폐목재의 혼합비 변화에 따른 보드성형상태 비교 .....	146
9. 성형압력변화에 따른 보드의 제조상태 .....	146
10. 부차적 복합재료 원료의 탐색 .....	148
11. 압제조건에 의한 적정 성형조건 검토 .....	149
12. 복합보드의 각종복합화 기술에 의한 기능성부여 .....	150
13. 원료의 복합화방식에 의한 기능성부여 .....	151
14. 안료의 도입 .....	152
15. 최적제조공정 도출 .....	152
16. 중량비가 일정한 경우에 있어서 물리적 성질 및 재질특성 .....	154
17. 원료체적비를 달리한 경우에 있어서 내부결합력 및 물성 .....	159
18. 목질-고무계 복합재료의 용도모색 .....	161
마. 활용에 대한 건의 및 금후의 연구방향 .....	162
참고문헌 .....	165
그림모음 .....	171

## 제 1 장 서 론

본 연구는 임지폐잔재를 비롯한 폐목재와 페타이어 복합에 의한 목질계 판상제품의 제조기술개발, 즉 목재와 페타이어로부터 얻어지는 고무의 복합재료인 판상제품의 개발시도로서 수많은 부수효과가 기대되는 분야이다. 즉 페타이어와 폐목질을 혼합하여 판상제품화 하므로써 건축재료로 이용할 경우 다른 재료에서 갖기 어려운 쿠션성이나 차음성등 주거성이 우수한 장점이 있다. 또 단순 목질복합재의 단점인 흡습성과 치수불안정성을 개선하는 한 방법으로서 고무와의 이종(異種)혼합보드의 효과도 기대할 수 있다. 아울러서 페타이어를 사용함으로써 산업폐기물을 재활용하는 잇점과 간벌재등 버려지는 폐목재 자원의 유효 이용을 도모코자 하였다.

우리나라 산림은 1970년대부터 시작한 1, 2차 치산녹화사업으로 절대녹화가 성공하였고 이후 꾸준한 산지투자의 덕택으로 임목축적이 5배 가까이 늘어나는 성과를 거두었다. 산림청 통계자료에 의하면 우리나라 전체산림의 임목축적은 '95년말 현재 3억8백82만6천 $m^3$ 으로 '60년대와 비교할 때 4.8배의 비약적인 성장을 가져왔다. 1ha당 임목축적은 48 $m^3$ 으로 '60년 9.55 $m^3$ 보다 5배이상 증가했으며 일제의 산림수탈이 본격화되기 전인 1910년대의 43 $m^3$ 을 훨씬 넘어섰다. 그러나 산림자원의 성장과 산림을 둘러싼 주변환경의 변화에도 불구하고 우리의 임업 및 임산공업분야가 경쟁력을 갖춘 산업으로 발전하기에는 많은 제약조건을 안고 있다. 우선 양질의 목재 및 부산물에 의한 소득기대 우량경제림의 비중이 전체 조림수종의 31%에 불과한 것이 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다. 그나마 수종도 아까시나무, 오리나무, 리기다소나무 등 녹화와 연료림 확보에 초점을 맞춘 속성수가 대부분이어서 양질의 목재생산에 대한 기대는 어려울 것으로 예상된다. 95년말까지의 조림면적 중에서 대경재를 생산할 수 있는 우량경제림은 낙엽송 16.9%, 잣나

무 9.2%, 삼나무 2.2% 등 31%에 그치고 있다.

따라서 국내 목재수급량의 90%를 해외에 의존하고 있는 우리로서는 경제수종으로의 수종갱신 등, 당면과제가 산적해 있으나 육림과정에서 발생하는 간벌재의 유효활용이 무엇보다도 시급한 과제로 부상되고 있다. 그나마 최근 인건비의 급격한 상승으로 육림작업에 필수적인 간벌작업에 막대한 투자가 요구되고 있으나 생산되는 간벌재를 비롯한 임지폐잔재의 가격하락은 산림의 경제립화에 크나큰 장애요인으로 알려져 있다. 지금까지 이의 이용을 위하여 간벌재의 통나무집 사용을 비롯한 톱밥제조등 몇가지 방법을 제시하고 있으나 박피등에 의한 원가상승의 제약 때문에 제조단가가 높아져 실제적으로는 극히 일부가 이용되는 데에 불과한 실정이다.

한편 페타이어는 산업폐기물 가운데서도 자동차산업의 고속성장과 더불어 급격히 증가하고 있다. 자동차 대수는 97년 7월 기준으로 1천만 대를 돌파하였고, 이에 동반한 자동차 산업 폐기물의 지속적인 증가는 피할 수 없는 현실이 되고 있다.

그 중에서도 폐기되는 타이어의 숫자는 우리 나라의 경우 연간 약 1천7백 만개로서 효과적인 처리에 고심하고 있다. 특히 최근 폐기물에 대한 관심의 증가와 더불어 국제적으로 환경관련회의가 자주 개최되고 있으며, 1차적으로는 제품의 생산과정에서 배출되는 이산화탄소 등의 유해가스 억제대책 등으로 개발도상국의 발전을 저해하는 선진국 위주의 환경보호운동이 파급적으로 확산되고 있다.

또 연간 증가율이 10%를 상회하고 있으나, 이에 대한 처리방법이 없어 무단 투기되거나 불법적인 방법으로 단순 소각하므로써 환경오염의 심각한 문제로 대두되고 있다. 환경에 대한 관심이 확대되면서 특정폐기물에 대한 적정처리 및 처분에 대한 감시와 법적규제가 날로 확대 강화되고 있으므로 환경오염방지를 위하여 특정폐기물은 무해화, 안정화하여 적정처분해야만 한

다. 페타이어의 재사용은 90년대 이전까지만 하더라도 각종 토목공사 및 군부대의 진지공사용등 토목공사용으로 사용하여 재활용율이 선진국수준인 70%까지 상승하였으나 이런 수요를 제외한 재생타이어, 재생고무, 연료용등 나머지 분야의 재활용은 극히 저조하여 90년 이후는 30% 이하에 머물러 환경오염원의 큰 부분이 되고 있다.

지금까지 페타이어의 이용방법으로는 재생타이어, 어초나 사방공사 등에 이용하는 원형이용방법과 조각등에 의한 열이용방법이 있다. 또 재생고무나 페타이어를 분쇄, 고무성분만을 분리하여 분말로 만들고 이를 가공 처리하여 보도블럭, 고무벽돌등을 제조하여 건설자재로 이용되는 바닥재나 아스팔트 포장에 이용되는 고무아스팔트로 이용하는 경우가 있다. 페타이어를 미세한 분말로 만들기 위해서는 페타이어분쇄에 막대한 에너지가 소용되고 있으며, 분말고무를 이용하여 바닥재등을 제조하는데 일반적으로 폴리우레탄수지를 사용함으로 생산비용이 높아져 경제성면에서 많은 문제점을 가지고 있음은 숨길 수 없는 현실이다.

현재 페타이어 이용을 산업화한 중소기업은 현진화학, 한국그린산업, 삼진사 등이며 페타이어를 기계적인 분쇄가공방법에 의해 1-5mm크기로 분쇄하고 고무 바닥재제조 원료나 신발공장 등으로 판매를 하고 있으며, 일본에도 톤당 약 27만원 정도의 저렴한 가격으로 수출하고 있다

일반적으로 폐자원의 활용방안으로는 재사용(reuse), 재활용(recycle), 열원(heat energy)이용의 세 가지로 크게 나눌 수 있는데, 재생하여 활용하는 방안이 지구환경보전과 사회경제적인 측면에서 얻을 수 있는 이익이 매우 클 것으로 생각된다.

일본의 경우는 산업 폐기물의 재생 산업화에 많은 사람들이 관심을 가지고 정부의 강력한 지원아래 산학연이 일치가 되어 그 해결점을 모색하고 있다. 각 현마다 조례, 조항을 증가하는 폐기물의 대처 방안으로 해마다 개정 시설을 반복하고 있으며, 폐자원의 처리 문제 및 유효 활용방안에 대해서 매우 적극적으로 대처하고 있는 나라의 하나라고 할 수 있다.

미국의 경우에 있어서도 페타이어 리사이클화의 제품으로서 운동장 및 놀이광장의 바닥재나 loading-dock bumper, 경량 filler제로서 폐고무 칩을 건설현장에서 사용하고 있다. 물론 용도에 따라 다양한 처리 및 칩의 크기 조절을 하고 있으며, 인터넷 정보로서 국제적으로 페타이어의 활용법에 대해 세계 각국의 관련자들과 정보 교환을 하고 있다.

따라서 이러한 현실아래에서, 해마다 증가하는 페타이어의 처리방안으로서는 효율적인 리사이클 공업 제품화는 필수 불가결하며, 그 임지폐잔재를 비롯한 폐목재와의 복합에 의한 판상제품 개발은 새로운 용도 개발에 적극적으로 대처할 수 있는 연구분야라고 생각된다.

이와같이 폐기되고 있는 타이어로부터 획득할 수 있는 고무원료와 임지폐재로부터 얻을 수 있는 목재원료는 각각의 소재 특성이 너무나 다르기 때문에 이 두가지 소재를 혼합 혹은 복합하여 제품을 생산하기에는 상당한 어려움이 있다. 그러나 각 소재의 장점만을 이용한 새로운 제품이 생산된다면 상당한 산업경제적·사회환경적 차원에서 얻어지는 효과는 클 것으로 기대된다.

지금까지 페타이어 고무칩만으로 된 판상재료는 이미 생산단계에 있지만 목재와의 복합화연구는 전무한 관계로, 본 연구에서는 목재와 폐고무의 복합화 기술탐색을 위한 최적제조조건을 검토하고자 하였으며, 기초물성과 기계적 성질 평가를 통해 목재-고무칩 복합보드의 재질 평가 및 복합재료의 용도를 모색하는데 그 목적이 있다.

본 보고서의 구성은 제1장 서론, 제2장에서 국내 임지폐잔재 및 페타이어 발생 현황 및 이용실태를 조사, 파악하고 제3장에서는 이를 기초로 하여 임지폐잔재 및 페타이어 적정분쇄기술을 탐색함과 동시에 분쇄된 2가지 소재를 여러 가지 형상으로 제조하였다. 제4장에서는 제조된 원료소재의 접착

성형조건을 탐색하기 위해 소재의 혼합비율을 달리하여 판상제품을 제조하였다. 제5장에서는 부차적인 복합원료탐색을 위해 도시의 생활쓰레기중 잡종고지와 복합화를 시도하였으며 압제조건에 의한 적정성형조건을 검토하였다. 제6장에서는 복합보드의 각종 복합화기술에 의한 기능성부여를 위한 원료소재의 혼합비율에 따른 기능성평가를, 제7장에서는 복합재료의 최적제조공정 개발을 검토하였으며, 제8장에서는 제품의 물리적성질 및 역학적 성능을 다양한 원료소재의 혼합비율에 따라 평가하였다. 제5장과 제6장에서의 평가작업은 제7장의 재질평가를 통하여 이루어졌으며, 제9장에서는 이들 목질계 고무복합보드의 용도를 모색, 검토하였다. 10장에서는 종합 연구결과와 고찰을 하였다.

## 제 2 장 임지폐잔재 및 페타이어 현황과 실태

### 제 1 절 임지폐잔재의 발생현황

임지폐잔재는 간벌 및 수종갱신등 일련의 작업에서 배출, 생산되는 소경재를 말한다. 특히 이때 생산되는 간벌재는 벌채현장에서 버리는 경우가 대부분인 것으로 파악되고 있다.

표 2-1. 연도별 국내 목재 생산량 현황 단위: 천 m<sup>3</sup>

년 도	목 재 생 산				합 계
	주 별	간 별	수종 갱신	기 타	
1 9 8 6	965	140	-	-	1,105
1 9 8 8	447	175	263	309	1,194
1 9 9 0	309	191	137	440	1,077
1 9 9 2	190	109	171	326	796
1 9 9 4	206	145	141	404	896

표 2-1에서 보면 간벌 및 수종갱신에 의해 생산된 목재는 1994년에 690,000 m<sup>3</sup>로, 이 수치로서 임지폐잔재의 양을 대략적으로 추정할 수 있다.

목질폐자원이 발생하는 또 다른 경우는 목재관련 공장에서 발생하는 폐재이다. 이 경우 제재소에서 발생하는 것과 목재 가공공장에서 발생하는 경우로 구분할 수 있다. 이때 폐기물은 주로 수피, 목분, 톱밥, 대패밥, 합판폐재, 가공손실재등이다.

실제로 표 2-1과 표 2-2에서 임산폐자원 발생량으로 임지폐잔재량과 제재폐재량을 비교해보면 실제로 제재폐재량은 임지폐잔재량의 수배에 달하고 있다. 이러한 제재폐재는 각 목재관련 공장에서 연료나 기타목적으로 대부분 사용하고 있다.



표 2-2. 국내의 제재 폐재 발생량 현황

단위: 천 m<sup>3</sup>

지 역	총 발생량	제 재 폐 재	톱 밥
인 천	1,273	1,133	140
부 산	144	128	16
경 기	153	120	16
경 북	72	64	8
전 북	82	73	9
기 타	258	230	28
계	1,964	1,748	216

국내의 임산자원 보존을 위해서는 임지폐잔재와 제재폐재의 효율적인 수집과 이용은 대단히 중요하다고 판단되며, 아울러 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 현재 국내의 전체 목재 관련폐기물은 연간 약 5,700,000 m<sup>3</sup>으로 추정된다는 연구자료도 있다. 그러나 현실적으로는 이에 대한 조사 통계가 미흡한 실정에 있다.

## 제 2 절 임지폐잔재 및 폐재의 이용실태

과거에는 임지폐잔재의 대부분을 연료로 사용하여 왔으나, 최근에는 이에 대한 규제 강화 및 인건비 상승에 따라서 대부분 임지내에 그대로 방치하는 실정에 있다. 그러나 공장폐재등은 소각 또는 연료로 이용되고 있으며, 상당한 부분은 파티클보드나 섬유판의 원료로 재이용되고 있다.

표 2-3. 연도별 국내의 폐재 이용량 현황

단위: 천 m<sup>3</sup>

년 도	1986	1988	1990	1992	1994
폐재 이용량	568	760	640	954	1,213
폐재이용비율	8.1%	9.3%	7.0%	10.6%	14.1%

국내목재공업에 있어서 폐재 이용비율은 표 2-3에 나타낸 바와 같이 최고치가 14%에 불과하다.

표 2-4. 국내 임지폐잔재의 수종별 발생 현황(1991년 기준)

구분	수종	발생량 (천 m <sup>3</sup> )	발생비율
침엽수	소나무	559	67%
	낙엽송	58	7%
	리기다	34	4%
	기타	10	1%
	소계	661	79%
활엽수	참나무	147	17%
	기타	38	4%
	소계	185	21%
총계		846	100%

한편 국내의 산림에 있어서 주벌, 간벌 및 가지치기 과정에서는 주벌목을 제외한 간벌목, 수종 갱신목, 기타 벌채목을 벌채폐목이라 한다. 특히 임지 내에서 발생하는 임지폐잔재는 전체적으로 침엽수가 활엽수보다 월등히 많이 발생하고 있으며, 수종별로는 소나무와 참나무가 약 80%로 우위를 점하고 있다. 국내 임지폐잔재는 벌채현장에서 버리는 경우를 제외하고는 갱목, 펄프재, 건축자재, 연료재로 주로 이용되고 있다.

표 2-5. 국내 임지폐잔재의 용도별 이용 현황(1991년 기준)

구분	갱목	펄프재	건축토목재료	버섯재배	포장용재	연료재	계
이용비율	30%	24%	17%	9%	3%	17%	100%

또한 표 2-5에서 보는바와 같이 임지폐잔재의 17%가 연료재로 사용된다

는 사실은 귀중한 목재자원의 낭비라고 할 수 있을 것이다.

### 제 3 절 페타이어 발생 및 처리실태

폭발적인 자동차 수요증가와 함께 기하급수적으로 배출되는 페타이어는 환경오염의 원인이 된지 이미 오래 전 일이다. 선진국에서는 페타이어를 환경오염원이 아닌 새로운 자원으로 인식하여 활용가능 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 우리 나라는 아직 이에 대한 인식부족 및 관심부족으로 인하여 페타이어의 이용기술개발이 상당히 미흡하고 정책적인 지원마저 부족하여 대책마련이 절실히 요구되고 있다.국내의 자동차 타이어 생산량은 표 2-6에 나타낸바와 같이 이미 1994년에 46,000,000본을 초과하였다.

표 2-6. 국내의 자동차 타이어 생산 현황 단위: 천본

년 도	1991	1992	1993	1994
생 산 량	33,710	38,120	42,285	47,105
출 하 량	33,767	38,369	42,270	46,672

국내의 페타이어 발생량은 1994년에 15,753,000 개로 1993년에 비해 약 28.6%로 늘어났는데, 이에 대한 활용대책은 미흡한 것으로 알려져 있다.

이중 승용차 타이어는 전체 페타이어의 약 78%를 차지하고 있는데, 해마다 대형 타이어(버스, 트럭)는 줄어드는 반면, 소형타이어는 승용차의 증가와 함께 비례적으로 상승추세에 있다.

표 2-7. 일본의 폐타이어 재활용 현황

단위: 천톤

년 도	1984	1986	1988	1990	1992
원형가공이용	367	352	372	408	410
열 이용	205	214	257	297	366
계	572	566	629	705	776

표 2-7에 표시된바와 같이 일본의 경우 폐타이어의 약 90%가 재활용되고 있지만, 국내에서는 배출량의 절반정도가 재활용되고 있다.

국내의 경우 해마다 증가되는 폐타이어의 재활용은 중간 수거업자를 통해 이루어진다. 대한 타이어협회에서 지정한 전국 20개의 전문 수거업체가 타이어 판매점이나 정비업체 등으로부터 폐타이어를 개당 150원(대형은 500원)에 사서 재활용업체에 무료로 공급해 준다.

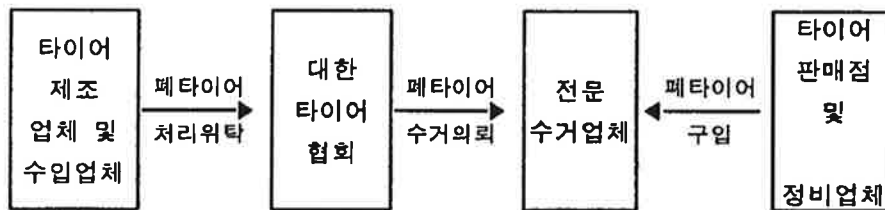


그림 2-1. 국내의 폐타이어 수집 경로

폐타이어를 구입하는 비용은 대한 타이어 공업협회가 지급하고 있다. 폐타이어를 회수할 의무가 있는 제조업체(5社)와 수입업체(12社)가 대한 타이어 공업협회에 처리를 위탁해 수거비와 관리비를 주고 있기 때문이다.

폐타이어를 재활용하는 방법에는 여러 가지가 있다.

표 2-8. 국내의 페타이어 활용방법 및 처리현황(1994년 기준)

가공, 이용법	고무 분말 가공법	건류식 소각법	대외 수출	군부대 이용	계
용도	고무, 아스팔트, 보도블록 생산	연료	재생용, 재사용	안전설비, 건축자재	-
재활용량 (천개)	912	433	297	6,554	8,196
이용 비율	11.1%	5.3%	3.6%	79.9%	100%

표 2-8에 표시된 바와 같이 국내에서 사용하는 방법은 고무 분말가공과 건류식 소각법이다. 이 밖에도 수출을 하거나 원형 그대로를 건축물 등에 이용 또는 트레드 부분을 잘라서 여러 가지 제품을 만들기도 한다. 또한 페타이어가 가장 많이 활용되고 있는 곳은 군부대이다. 94년도 재활용 현황(표 2-9)을 보면 군부대가 전체의 79.9%를 차지했고, 고무 분말 등의 가공 이용이 11.1%였으며, 수출이나 기타 활용은 아주 적은 수준이다.

표 2-9. 1994년도 페타이어 재활용 현황

단위: 천개

지역구분	가공 이용	건류, 소각 열이용	대외 수출	군부대	기타	계
경인, 강원지역	63	363	156	3,146	-	3,728
대전, 충남지역	203	-	8	704	-	915
대구, 경북지역	211	12	-	65	-	288
부산, 경남지역	279	8	102	1,846	-	2,235
광주, 전라지역	156	50	31	782	11	1,030
제주 지역	-	-	-	11	-	11
계	912	433	297	6,554	11	8,207

이를 볼 때, 앞으로 군부대의 수요가 적어질 경우 폐타이어로 인한 환경 오염이 심각해질 것임을 알 수 있다.

현재 활발한 움직임을 보이고 있는 재활용업체는 3곳 정도이다. 모두가 고무분말 가공에 의해 재생고무나 보도블록 등을 만들고 있다. 부성종합산업사(경북 달성군 논공면 소재)는 보도블록과 매트를 생산·판매하고 있으며 대흥공업(주)는 재생고무를 만든다. 또한 현진화학(전남 나주시 소재)은 고무분말을 수출하고 있다. 국내에 이들 업체가 공급하는 타이어분말은 입자크기에 따라서 차이가 있지만 대략 kg당 300원 - 800원 수준이다.

## 제 3 장 임지폐잔재 및 페타이어 적정분쇄기술

### 제 1 절 임지폐잔재의 적정 분쇄 기술개발

목재와 고무분말계 복합소재를 만들기 위해서는 먼저 목재 칩의 형상과 크기를 결정하여야만 한다. 페타이어 분말의 적정크기는 예비실험 결과 2 - 5 mm가 적당하다고 판단됨에 따라 목재칩의 형태는 2가지로 제조하였다.

#### 1. 원료

- 간벌재와 보육 생산물
- 목재가공 공장 부산물
- 도시의 목재쓰레기

#### 2. 목재와 고무분말계 판상소재용 칩의 제조

##### - 핀칩

Tub-Grinder(PRT-1000)에 의해 목재를 2회 분쇄하여 얻어진 목편을 3단계 스크린을 통해 적정크기의 핀칩을 분리 채취하였다. 이때 핀칩은 A형과 B형 2가지로 제조하였다.

##### ▶ A형 핀칩의 크기: 5 - 7 mm (사진 3-1)

7 mm 스크린을 통과하고 5 mm 스크린을 통과하지 않은 것을 A형.

##### ▶ B형 핀칩의 크기: 2 - 5 mm (사진 3-2)

5 mm 스크린을 통과한 것 중에서 2 mm 스크린을 통과하지 않은 것을 B형.

##### - 톱밥형 칩

톱밥제조기 (SJS 9250)로 제조된 톱밥중에서 2단계 스크린을 통해 분리 채취하였으며, 이때 톱밥형 칩은 핀칩과 마찬가지로 A형과 B형 2가지로 제조하였다.

##### ▶ A형 톱밥 칩의 크기: 5 - 7 mm (사진 3-3)

5 mm 스크린을 통과치 않은 목편을 A형으로 분리.

▶ B형 톱밥 칩의 크기: 2 - 5 mm (사진 3-4)

5 mm 스크린을 통과하고 2 mm 스크린을 통과치 않은 목편을 B형으로 분리.

- 사용한 스크린 규격

정방형 철제스크린을 사용하였으며, 스크린의 규격은 각각 7 mm X 7 mm, 5 mm X 5 mm, 2 mm X 3 mm였다.

### 3. 목재 칩의 형태별 제조단가

- 핀칩형: 45.4 원/kg

- 톱밥형: 70.0 원/kg

\* 이 수치는 장비의 내구연한과 관리비등을 근거로 하여 잠정집계된 가격임.

### 4. 수피 혼입 비율

- 핀칩형: 22%/100m<sup>3</sup>

- 톱밥형: 15%/100m<sup>3</sup>

### 5. 목재분쇄장비

- 목재 파쇄기: Tub Grinder(PRT-1000, 외산)

수입판매회사: 풍림특장

제원: ● 중량 및 크기	9,225 kg, 998×300×264
● 견인방법	중, 대형트럭 견인용
● 운전방법	토크 리미터 직결
● 연료탱크 및 유압탱크용량(L)	360, 208
● 투입구 넓이×길이(cm)	300×115
● 터브 넓이 (cm)	240



- 터브 및 콘베어 운전 방식      유압식
- 콘베어 형태      고무 요철 벨트
- 햄머 크기(cm), 수(개)      19×1.8×7 (66)
- 스크린 면적 및 엔진(HP)      1.3 cm × 6103 cm,  
250-335 HP
- 동력 전달 방식      수동레바식 클러치

- 톱밥제조기

명칭: 톱밥제조기(SJS 9250, 삼진기업)

제원: ●주동력 및 입구크기      50 HP, 230 X 230 mm

●의형      30 X 120 X 130cm

최종적으로 임지폐잔재로부터 효율적으로 칩을 제조하는 공정을 그림 3-1에 나타내었다.

임지폐잔재는 수종의 선별 및 수집 작업을 시작으로 적정크기로 재단한 다음, 편칩제조를 목적으로 할 경우 목재파쇄기, 톱밥형칩(그레놀칩)제조시 경우 톱밥제조기를 이용하여 분쇄한다.

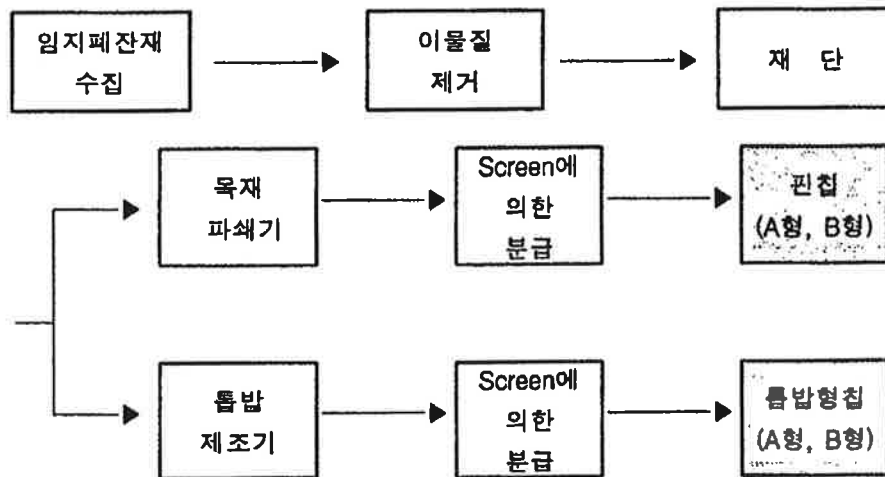


그림 3-1. 임지폐잔재로부터 각종의 칩을 제조하는 공정

## 제 2 절 페타이어의 적정분쇄기술

페타이어의 주된 처리방법은 원형으로의 이용, 연료 및 열분해 소각을 통한 열이용 방법, 분말처리 및 가공기술 등으로 대별할 수 있다. 이들 중 분말화 즉 분쇄화는 기계적 분쇄법과 냉동에 의한 분쇄법으로 나눌수 있다.

이들의 특징을 보면 Grinding에 의한 기계적 방법은 회수율이 낮고, 에너지 소요가 크며, 미분쇄화하기가 어려운 반면, 냉동분쇄법은 섬유류, 스틸류와 고무류를 효과적으로 분리할 수 있으며, 분쇄된 고무는 순도가 높다.

그러나 국내에서는 설비 및 운영비가 많이 소요되는 냉동분쇄공장은 없고, 전부 기계적 분쇄방법에 의존하고 있다.

또한 페타이어의 기계적 분쇄공장마저도 전국에 4곳에 지나지 않는다. 이들이 소유하고 있는 페타이어 분쇄기계는 대부분이 현재 특허출원중에 있고, 경쟁회사의 견제로 인하여 외부인에게는 절대 공개하지 않았다. 그리고 공장의 생산설비도 마찬가지로의 경우였다.

페타이어의 분쇄에 있어서 가장 큰 애로점은 소형 승용차 타이어의 측면에 존재하는 강철 와이어의 분리이다. 일부회사에서는 강철와이어 제거기술이 없기 때문에 대형 타이어만을 기계적 분쇄를 실시하고 있다. 왜냐하면 대형타이어에는 강철 와이어가 없어서 고무질만을 분쇄하면 되기 때문이다.

현재 일본에서는 소형차 타이어의 기계적 분쇄방법에 있어서, 와이어의 분리, 제거 방법이 개발중에 있는 것으로 알려져 있다. 이 방법은 페타이어를 분쇄하는 과정에서 자석을 이용하여 제거하는 방법이다. 또한 기계적 분쇄공정에 있어서 승용차 타이어를 분쇄하는 경우 강철와이어에 의한 칼날의 내구성 저하로 많은 애로점이 있다.

표 3-1. 타이어의 원료조성

구 분	원 재 료 명	종 류
와 이 어	스 텔 코 드	놋쇠 도금 스틸 코드 청동 도금 스틸 코드
섬 유	유 기 섬 유 코 드	나일론, 레이온, 폴리에스테르
고 무	천 연 고 무	NR
	합 성 고 무	SBR, BR, CR, IR
	카 본 블랙	카본 블랙
	기 타	가황제, 아연화, 기타

한편, 타이어를 구성하는 소재로는 고무, 섬유, 와이어로 구성되어 있다. 본 연구에서 이용할 수 있는 부분인 고무질 부분은 대부분 SBR(styrene butadiene rubber)이 다량 함유되어 있고, 고무의 성질을 개량하기 위해 황이 첨가되어 있다. 이러한 가황고무의 접착제는 한정되어 있다는 것은 이미 알려진 사실이다.

표 3-2. 타이어의 발열량 및 원소조성

구 분	발열량 (kcal/kg)	Carbon (%)	Hydrogen (%)	Sulfur (%)	Nitrogen (%)	Ash (%)
타이어 A	9,280	83.2	7.1	1.2	0.3	5.7
타이어 B	9,400	83.2	7.4	1.1	0.3	5.4

또한 페타이어를 소각처리하여 에너지원으로 이용할 경우 발열량은 약 9,000 kcal/kg 이상이다. 타이어 속에 존재하는 원소성분으로는 탄소, 수소, 황, 질소 및 무기물 등이며 황은 고무를 가소화 할때 첨가되는 원소이다.

본 연구진이 최근에 입수한 일본의 페타이어 혼합 목질보드에 있어서 페고무의 생산방식은 기계적 방법에 의해 생산된 것으로 추정되고, 또한 이때 고무 칩의 크기는 2 - 5 mm로 이쑤시게를 4등분한 형상을 하고 있었다.



## 제 4 장 접착제 선택 및 접착공정 개발

### 제 1 절 소재의 성상 및 혼합특성

#### 1. 소재의 특성

임지폐잔재는 핀칩과 그레놀칩의 형태로 분쇄하여 사용하였으며 이때, 각 칩은 대(大)와 소(小)로 구분하여 사용하였다.

페타이어는 기계적 분쇄법에 의해 제조되었으며, 종류는 2종으로 2-3 mm 및 3-4mm 페타이어 분말을 사용하였다.

표 4-1. 복합판상제품을 제조하기 위한 폐목재 및 페타이어 소재의 특성

소 재	성 상	구 입 처	가 비 중( $\rho$ )
폐 목 재	핀 칩 (대, WPL)	강릉 임업훈련원 (강원도 소재)	0.14
	핀 칩 (소, WPS)		0.15
	그레놀칩(대, WGL)		0.12
	그레놀칩(소, WGS)		0.13
페타이어	2 - 3 mm (R23)	현진화학 (전남 소재)	0.55
	3 - 4 mm (R34)		0.50

각 소재는 성상에 따라 가비중이 다르게 나타났다. 두 소재 모두 입자크기가 작을수록 가비중은 높게 나타났다.

#### 2. 복합보드의 제조방법

본 실험은 성질이 전혀 다른 두 가지 소재를 사용하여 보드를 제조하는데, 가장 중요한 인자는 최종보드의 비중 및 소재 투입량이다. 두 가지 소재는 비중의 차이가 상당히 크다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 각 소재를 중량비로 투입, 혼합하는 것보다 가비중을 사용한 부피비로서 투입하는 것이 유리하다고 판단되었다.

표 4-2에는 본 실험에서 실시한 보드제조 기본 조건을 표시하였다. 보드를 제조하기 위해 투입되는 재료로는 폐목재, 페타이어, 접착제, 경화제 등이 있다.

표 4-2. 복합보드 제조시 기본조건.

보드의 규격	21 cm(가로) X 21 cm(세로) X 높이(두께)
투입 재료	○ 폐목재 WPL, WPS, WGL, WGS (4종)
	○ 페타이어 분말 R23, R34 (2종)
	○ 접착제 POLYURETHANE 계열, 고형분 99.9%
	○ 경화제
성형 조건	○ 성형방식: 열압프레스
	○ 열압온도: 120 ℃
	○ 열압시간: 600 초
	○ 성형압력: 2 - 40 kg/cm <sup>2</sup>

보드의 제조시 사용된 열압프레스는 직접, 설계 제작한 것으로, 2단 제조방식을 구비하고 있다(그림 4-1a 및, 4-1b참조).

DATE	REVISED	CHECK

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

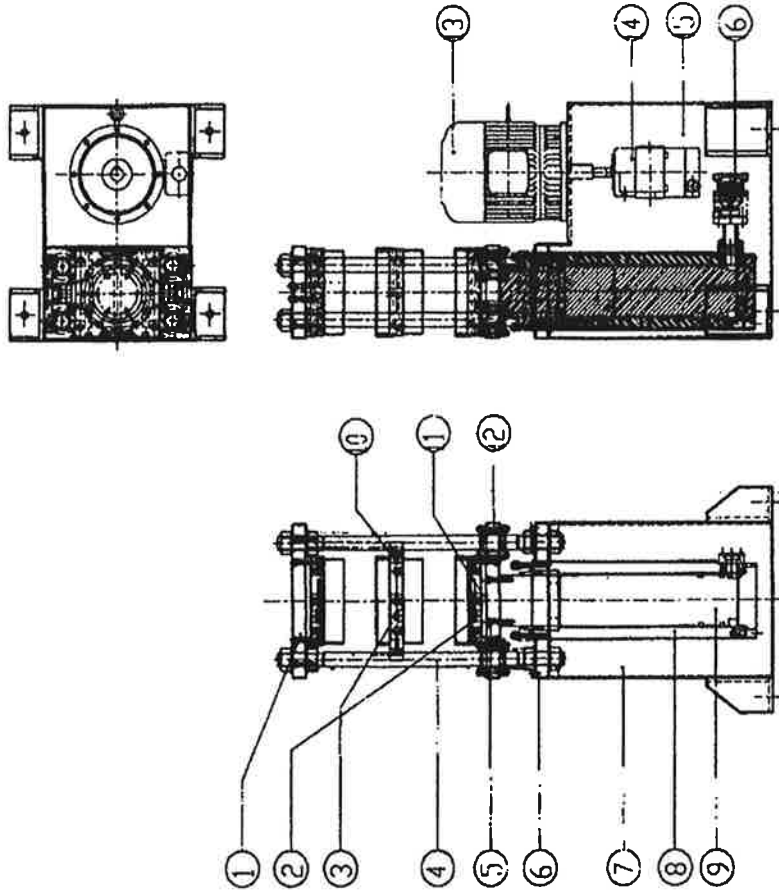


그림 4-1a 열압성형기 설계도면

### 3. 접착제의 선정

목질계 판상제품의 제조에 있어서 제조단가의 상당한 부분은 접착제가 차지하므로 높은 접착력을 가지면서 가격이 낮은 접착제가 최선의 선택이다.

그러나 페타이어와 폐목질은 전혀 성질을 달리하는 이종재료이므로 지금까지 목재용 접착제로 널리 이용하는 요소수지, 멜라민 수지, 석탄산 수지등은 고무계와의 접착이 되지 않아 그대로 이용하기가 어렵고 특히 본 제품의 가장 큰 장점인 쿠션성이 없으므로 알려진 접착제는 우레탄 수지를 일반적으로 사용하고 있다.

그러나 본 실험에서는 목재용 접착제로서 단가가 비교적 싼 요소수지 및 멜라민수지를 사용하여 쿠션성이 필요없는 재료에서 이용가능여부를 검토하기 위하여 제조특성과 그 물성을 검토하였다.

#### 3.1 요소 및 멜라민 수지

시판 요소수지와 멜라민 수지를 사용하여 목재칩과 페타이어의 비율은 각각 50:50, 70:30으로 하여 접착제 비율은 중량제 없이 요소수지 100%와 요소, 멜라민을 50:50으로 혼합하여 사용하였다. 접착제의 수질율은 10%이었으며 제조보드의 크기는  $190 \times 210 \times 10\text{mm}$ 이다.

열압 시 조건은 압력 45, 15, 5kgf/cm<sup>2</sup>로 하였고 온도는 150℃, 180℃, 210℃로 하였으며 각 열압시간을 60초 3회와 120초 3회로 하였다. 그후 완성된 보드의 육안적 재면의 상태와 각각의 물성을 비교하였다.

##### 3.1.1 보드의 제조조건과 재면상태

###### 가. 열압온도 비교

표 4-3에서 처럼 150℃에서 열압된 목재는 그 표면의 상태가 비교적 불균일하였고 페타이어 입자가 표면에 돌출 되는 등 접착이 매우 불량하다. 온도를 상승시켜 열판의 온도가 180℃ 정도에서 비교적 보드의 재면이 균일하였으며 120초/3회에서 가장 적합한 보드가 제조되었다. 그러나 210℃에서는 표면의 하단부에



표 4-3 보드의 제조조건과 재면상태 비교

	온도 열압시간	접착제 비율	혼합비율 (목재칩:고무)		재 면 상 태
			A	B	
1	150℃ (120초/3)	요소 (100%) 멜라민	A	70:30	재면이 불균일 하며 타이어 입자가 쉽게 이탈됨.
			B	50:50	
			C	70:30	
			D	50:50	
2	180℃ (60초/3)	요소 (100%) 멜라민	A	70:30	재면은 비교적 균일하나 측면부의 중층에서 약하게 박리가 되며 절단 시 중층에서 박리가 됨.
			B	50:50	
			C	70:30	
			D	50:50	
3	180℃ (120초/3)	요소 (100%) 멜라민	A	70:30	재면은 상당히 균일한 편이나 측면 부의 중층에서 심하게 박리 되는 경 향이 있으며 절단 시 현저하게 드러 남.
			B	50:50	
			C	70:30	
			D	50:50	
4	210℃ (60초/3)	요소 (100%) 멜라민	A	70:30	재면이 상당히 균일하며 타이어 입 자와 목재의 접착도 양호함. 중층의 접합도 비교적 양호함.
			B	50:50	
			C	70:30	
			D	50:50	
5	210℃ (120초/3)	요소 (100%) 멜라민	A	70:30	재면이 상당히 균일하며 타이어 입 자와 목재접착도 양호하나 보드의 하단부가 누렇게 변색이 됨.
			B	50:50	
			C	70:30	
			D	50:50	

서 색깔이 누렇게 변색되었다.

절단 후 측면을 육안으로 관찰한 결과 온도의 상승과 타이어와의 결합은 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되고 낮은 온도에서 페타이어 입자가 비교적 등근 형태를 유지하며 결합이 영성한 반면에 높은 온도에서는 페타이어 입자가 압착되어 목재칩과 상당한 접착력으로 결합되는 것으로 보인다.

#### 나. 열압 시간

180℃와 210℃에서 각각 시간을 달리하여 3회의 열압을 실시하고 시간을 각각 60초와 120초를 설정하여 시간이 보드의 성형에 미치는 영향을 보았다. 120/3

회로 설정된 보드는 재면이 균일하였고 중층의 결합도 양호하였다. 그러나 60/3회의 경우 표면은 120/3회와 별 차이 없이 균일하게 나타났으나 중층에서 박리되고는 거의 결합이 이루어지지 않았다. 이러한 경향은 온도가 한 단계 높은 210℃에서 더 심하게 나타났으며 보드절단 후 측면에서 중층의 박리가 육안으로도 뚜렷하게 나타났다.

이는 보드의 표층은 시간과 관계없이 열판의 온도가 바로 전달되지만 중층의 경우 온도가 상승하기 위해서는 더 많은 시간이 필요하기 때문으로 생각된다. 온도를 더 상승시킬 경우에는 보드가 열판의 상하에 붙어서 분리가 되는 경우도 있었다.

### 3.1.2 보드의 물성

#### 가. 보드의 밀도

각각 2개의 같은 조건으로 열압 성형된 보드를 5×5cm로 절단한 후 기건상태에서 측정된 중량을 두께의 평균값으로 나누어 밀도를 구하였다. 요소수지(100%)로 접착한 보드는 열판의 온도가 높아짐 따라 밀도의 차이가 거의 나타나지 않은 반면 요소와 멜라민을 혼합한 보드중에서 페타이어의 비율이 비교적 높은 보드에서 밀도가 점차적으로 높게 나타났다. 그 이유는 저온에서 열압된 보드는 페타이어가 원형 그대로이므로 비교적 밀도가 낮으나 고온에서 열압된 보드는 고무가 높은 온도로 인해서 보드내에서 변형되어 결합이 치밀해지므로 상대적으로 밀도가 높아지는 것으로 생각된다.

또 비교적 고무의 양이 많은 보드에서 열압시간이 길어짐에 따라 밀도가 상승하는 이유는 중층에 열이 전달이 되는 시간과 밀접한 관계가 있다. 즉 고무의 양이 많은 보드에서 밀도의 상승은 열압시간과 밀접한 관계가 있는데 중층이 더욱 치밀해지므로 밀도가 높아지는 것으로 보인다.

#### 나. 보드의 휨강도

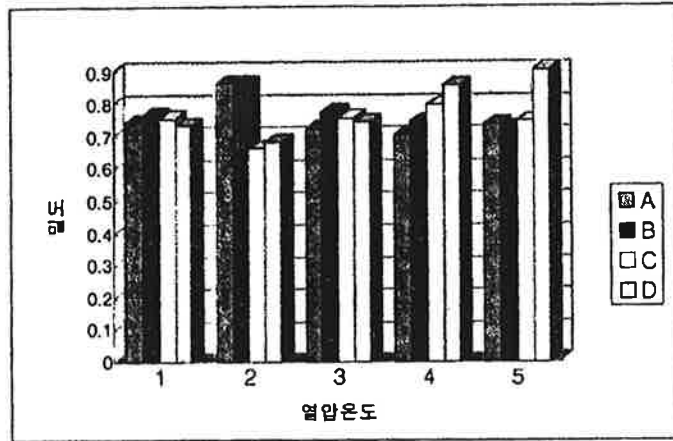


그림 4-2 보드의 밀도 (기호 및 숫자는 표4-3참조)  
 시험편을 35mm의 일정한 폭으로 자른 후 시험재의 휨강도를 측정하였다.

휨강도의 측정은 아래 그림과 같이 보드의 양쪽에서 지지하고 중앙 집중 하중을 가하여 만능강도 시험기로 실시하였으며, 산출식은 다음과 같다.

$$\diamond \text{휨강도}(\sigma) = P \cdot \ell / 4Z \text{ (MPa)}$$

여기서,  $\ell$ 은 스패น(mm), Z는 단면계수(mm<sup>3</sup>),  $\Delta y$ 는 하중(N)  $\Delta P$ 일 때의 스패중앙의 변위량(mm)이다.

목재의 비율이 높은 시험재의 경우 휨강도가 높게 나타났으며 페타이어의 비율이 상대적으로 높은 시험재의 경우 휨강도가 비교적 낮게 나타났으나 온도가 상승함에 따라서 점차 높게 나타나는 경향이 있다. 특히 요소수지의 경우에는 열판온도와 열압시간에서 그 강도의 차이가 별로 나타나지 않으나 요소와 멜라민수지를 혼합한 접착제의 경우는 열판온도와 시간에 영향을 받는다. 그리고 페타이어의 비율이 비교적 높은 시험재의 경우에는 요소와 멜라민 혼합 접착제에서 휨강도가 상대적으로 높았다.

#### 다. 보드의 박리강도

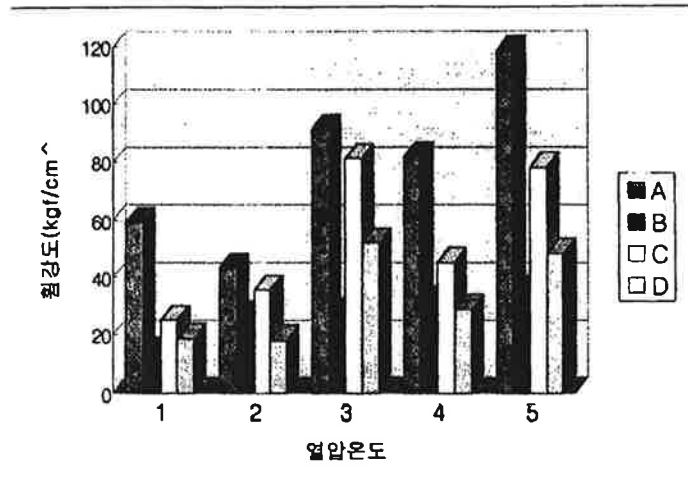


그림 4-3 보드의 휨강도(기호 및 숫자는 표4-3참조)

시험편을 일정한 폭으로 자른 후 각 양면을 epoxy수지로 접착한 후 휨강도를 측정하였다. 이때 시험편의 치수는 50×50mm로 하였으며 보드의 양면에 접착된 block을 하중 attachment로 잡아당겨 인장하중을 구하였다. 하중속도는 약 1mm/min으로 하였다.

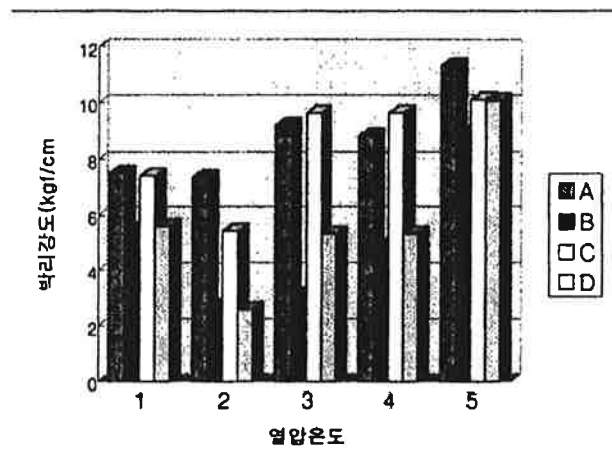


그림 4-4 보드의 박리강도(기호 및 숫자는 표4-3참조)

박리강도에서는 열압온도 보다는 열압시간에 의해 많은 차이를 나타내는 것으로 생각된다. 이는 증층에 열이 전달되는 시간과 밀접한 관계가 있고 온도가 가장 높으며 열압시간이 가장 긴 210°C 경우에는 고무비율이 높은 보드에서도 비교적 박리강도가 강하게 나타났다.

다. 보드의 두께변화율

각 보드에서 절단한 5×5cm의 시험편을 기건상태에서 버니어 캘리퍼스로 두께를 측정 한 후 24시간 물에 침지하여 그 두께변화율을 측정하였다. 이때 두께 팽창율은 아래와 같은 식으로 구하였다.

$$\text{◆ 팽창율} = \frac{l_s - l_0}{l_0} \times 100(\%)$$

여기서  $l_s$ 는 24시간 침지후의 두께이며  $l_0$ 는 기건상태의 두께이다. 목재칩의 비율이 높은 보드에서 치수변화가 심하게 나타났으며 비교적 요소수지만으로 정착

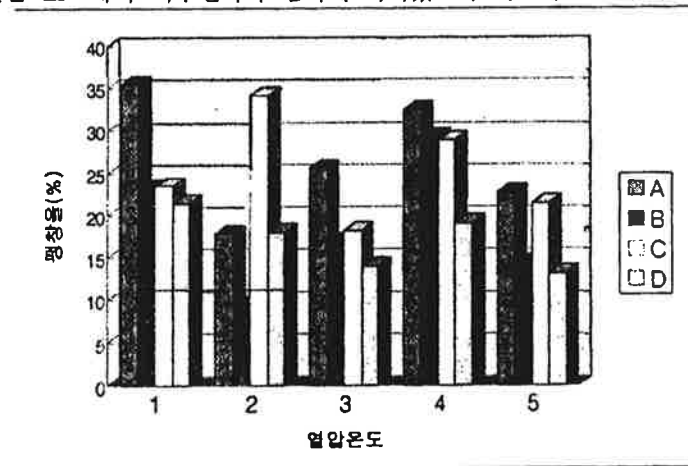


그림 4-5 보드의 팽창율(기호 및 숫자는 표4-3참조)  
한 보드가 조금 더 높게 나타났고, 저온에서 열압된 보드가 고온에서 열압된 보드보다 더 높게 나타났음을 알수 있다.

이상의 결과에서 페타이어와 목재칩을 혼합하여 요소수지와 멜라민 수지를 사용하여 각각의 다른 조건으로 열압한 보드의 특징은 보드가 혼합재이므로 목재의 특성과 고무의 특성을 모두 나타낸다. 이 보드의 성형시에는 비교적 목재의 비율

이 높은 보드의 경우에는 각각의 온도, 접착제, 열압시간에 큰차이를 나타내지 않은 것이 특징이며 고무비율이 높은 보드의 경우 성형시 고무의 특성에 크에 영향을 받는다. 즉 고무가 강하게 접착할수 있는 적당한 온도와 시간이 필요하며 이때 고무가 형태적으로 변형되어 보드의 내부밀도는 더욱 치밀해 진다.

보드의 물리적인 특징에서도 고무와 목재의 두 특성을 모두 가진다. 즉 휨강도의 경우 비교적 고무의 특성을 많이 나타낸다. 밀도는 보드의 열압온도가 높을수록 그리고 고무의 비율이 높은 보드에서 높게 나타났다. 또 요소멜라민 혼합 접착제가 요소수지보다 접착성이 우수하며 박리강도는 온도보다 시간에 더 영향을 받는다. 보드의 팽창율은 요소수지로 접착한 보드에서, 목재비율이 높은 보드에서 높게 나타났다.

### 3.2 폴리우레탄 수지

페타이어와 목재를 동시에 접착 할 수 있는 접착제로서는 현재 가장 널리 알려진 것이 폴리우레탄 수지이다. 따라서 본 실험에서는 M산업의 실험실에서 소량조제하여 판매한 폴리우레탄 계열의 접착제를 사용하였으며 접착제의 성상은 표 4-4와 같다.

표 4-4 사용 폴리우레탄 수지의 성상

제 품 명	TS-M928	TS-P928	TS-A930
의 관	미색 투명액체	황색 투명액체	미색 투명액체
주 용 도	고무침용	고무칩 프라이머	고무침용
점 도 (cps/25℃)	3500±500	150±30	3500±500
특 징	내열, 내수, 내충격성, 작업성등 우수	접착력 향상	내열, 내수, 내충격성, 작업성등 우수
비 고	상온 및 열경화성 2액형 접착제	프라이머용	하지용 접착제

TS-P928은 목재와 고무의 접착에는 그다지 효과가 없었다. 실제로 이 접착제는 도로의 시공에 있어서 고무 완충부분을 조성할 때 수분의 침투 및 접착표면의 친화성 부여를 위하여 생산, 제조된 제품이기 때문에 효과가 없었던 것으로 판단된다.

TS-M928 및 TS-A930 두 종의 폴리우레탄 접착제는 목재와 고무의 접착 성능이 우수하여 판상제품을 제조하는 데는 큰 문제점이 없었다. 그리고 판상제품의 내부접착강도 또한 거의 유사한 수치를 나타냈다. 단지여름철(7-9월)작업시, TS-A930의 경우 접착제의 경화 속도가 너무 급속하게 진행되기 때문에, 목재, 고무 및 접착제의 균일한 혼합이 이루어지지 않았다. 즉 재료의 균일한 혼합을 위해서는 일정혼합시간이 요구되는데 TS-A930의 경우에는 완벽하게 재료가 혼합 되는 시점에 이미 접착제가 경화되어 판상의 제품을 제조하는데는 어려움이 있었다.

이에 반하여 이액형 접착제인 TS-M928은 TS-A930에 비해 재료의 혼합성 측면에서는 유리한 점이 있었다. 이액형접착제는 접착제와 경화제가 분리되어 있기 때문에, 작업 및 혼합시간을 조절할 수 있는 장점이 있다. 특히 보관성이 우수하다는 것이다.

본 연구에서는 TS-M928을 사용하여 목재와 고무칩을 접착하는 공정을 새로이 도출하였다. 본 연구에서 도출한 접착공정은 일반적인 접착공정과 대부분이 유사하지만, 접착제의 혼합공정이 특이하다는 것이다.

혼합공정을 자세히 설명하면 먼저 고무칩 및 경화제를 호바트믹서에 투입하여 일정시간 균일하게 혼합한다. 이때 가능한한 고무칩에 경화제가 골고루 분산되도록 해야한다. 그다음으로 목재칩을 투입하여 혼합한다.

2가지의 재료 즉 고무칩과 목재칩이 경화제와 균일하게 혼합된 것을 확인하고 난 다음, 접착제를 분무기로 살포하여 단시간에 혼합하여 접착공정을 종료한다.

또한 부가적으로 혼합순서를 바꾸어 경화제와 목재칩을 먼저 혼합해보았지만 이것은 비효율적이었다. 왜냐하면 경화제의 대부분이 목재의 공극속으로 흡수되어 경화제가 목재칩의 표면에 균일하게 도포되는 것이 불가능하기 때문이다. 물론 경화제의 양을 충분히 한다면 가능하겠지만 이는 접착제의 경비상승만을 초래하게 될뿐이지, 목재와 고무의 접착에는 큰 도움이 되지 못한다고 판단되었다.

최종적으로 본 연구에서는 목재와 고무의 최적 접착제로서 TS-M928 폴리우레탄 접착제를 선정하여 모든 실험을 행하였다.

이때 접착제의 고형분은 99.9%였으며, 경화제는 공장에서 직접 구입하였다. 보드의 성형시 순간배기없이 연속적으로 압력을 가하여 제조하였다. 이러한 이유는 예비 보드제조 실험시, 순간적으로 배기를 한 결과 고무의 탄성 때문에 접착이 충분히 이루어지지 않는다는 사실을 미리 파악했기 때문이다.

열압온도의 설정은 접착제 및 경화제 자체의 경화온도를 충분히 고려하여 설정하였으며, 보드제조시 성형재료의 혼합은 먼저 일정량의 폐목재와 페타이어 분말을 충분히 혼합한 후, 경화제 및 접착제를 순차적으로 투입, 혼합하였다.

이를 21 cm(가로) X 21 cm(세로) 스테인레스 재질의 정방형 성형몰드에 투입한 다음, 상부면을 일정하게 조절하여 열압, 성형하였다. 이때 각 소재의 투입량은 최종 생산보드의 두께 및 비중을 기준으로 미리 계산하여 결정하였다.

최종적으로 보드의 제조가 완료되었을 때, 성형몰드로부터 보드를 분리하는 과정에서 몰드와 보드간에 접착제가 누출되어 강한 접착을 하고 있어서 완벽한 분리가 힘들었다. 그래서 본 실험에서는 이형제로서 2가지 시판제품을 사용하여 소재를 몰드에 투입하기 전에, 미리 분무기를 사용하여 이형제(離型劑)를 충분히 분무한 후, 혼합된 소재들을 몰드에 충전시켰다. 이 결과,



최종적으로 보드와 몰드는 완벽하게 분리되었다.

#### 4. 복합보드 제조를 위한 각 소재의 투입량 계산방법.

보드 제조시 반드시 고려해야 할 사항은 최종적으로 생산된 보드의 비중이다. 만약 동일한 비중을 갖는 다른 성상의 소재를 사용하여 보드를 제조한다면, 최종 생산된 보드의 비중은 큰 문제가 없다. 그러나 본 실험에서 사용한 소재는 비중이 각기 다르기 때문에 단순히 중량만을 기준으로 투입하여 성형한다면, 최종 보드의 비중은 조절이 상당히 어렵다고 판단된다.

그래서 본 실험에서는 이러한 점을 해결하고자 각 소재의 가비중과 부피를 이용하여 미리 소재의 투입량을 결정하였다. 아래에 계산방법을 예로서 표시하였다.

##### ● 최종 생산보드의 규격

◎ 보드의 비중: 0.7

◎ 보드의 두께: 1.5 cm

◎ 보드의 크기두께: 21 cm(가로) X 21 cm(세로)

◎ 소재의 혼합비; 폐목재(WPS) : 페타이어분말(R34) = 2 : 5 (V/V)

◎ 접착제 투입중량: 폐목재 및 페타이어 분말의 전체중량을 기준으로 10.5%

◎ 경화제 투입중량: 접착제 중량의 10%

##### ■ 최종보드 중량

$$21 \text{ cm} \times 21 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm} \times 0.7 = 463.05 \text{ (g)}$$

##### ■ 접착제 중량

최종보드의 중량(463.05g) = (폐목재 중량 + 페타이어 중량 + 접착제 중량)

여기에서 폐목재 중량을  $W_w$ , 페타이어 중량  $W_r$  이라 하면

$$\text{폐목재 및 페타이어 중량} = W_w + W_r$$

이때 폐목재 및 페타이어 중량을  $W_{wr}$ 이라 하면

$$W_{wr} = W_w + W_r$$

접착제는  $W_{wr}$ 의 10.5%를 투입함으로

$$463.05 = W_{wr} + (W_{wr} \times 0.105)$$

$$463.05 = 1.105W_{wr}$$

$$W_{wr} = 419.04(g)$$

접착제 중량을  $W_a$ , 최종 보드 중량을  $W_b$ 라 하면

$$W_a = W_b - W_{wr}$$

$$= 463.05 - 419.04 = 44.01(g)$$

■ 목재( $W_w$ ) 및 고무( $W_r$ )의 중량

폐목재 부피를  $V_w$ , 페타이어 부피를  $V_r$  이라 하면,

폐목재와 페타이어의 혼합비율은

$$V_w : V_r = 2 : 5 \text{ 이므로}$$

$$\frac{V_r}{V_w} = \frac{5}{2} = 2.5 \text{ (폐목재 부피에 대한 페타이어 부피비율)}$$

WPS의 비중은 0.13, R34의 비중은 0.50 이므로

부피  $\times$  비중 = 중량 이 된다.

$$0.13 V_w + 0.5V_r = W_{wr} = 419.04(g)$$

$V_r = 2.5V_w$  이므로 대입하면,

$$0.13V_w + (0.5 \times (2.5V_w)) = 419.04(g)$$

$$0.13V_w + 1.25V_w = 419.04$$

$$1.38V_w = 419.04$$

$$V_w = 303.65(ml)$$

$$W_w = V_w \times d = 303.65 \times 0.13 = 39.47(g)$$

$$W_r = W_{wr} - W_w$$

$$= 419.04 - 39.47$$

$$= 379.57(g)$$

또한 페타이어 분말과 폐목재의 부피기준 혼합비율과 중량기준 혼합비율을 표 4-3에 표시하였다. 페타이어분말과 폐목재의 부피기준 혼합은 중량기준 혼합과 상당한 차이를 나타내었다. 이러한 이유는 각 소재의 가비중이 서로 다르기 때문이다.

만약 페타이어 3 - 4 mm 분말(R34)과 그래놀칩(대)을 혼합하여 보드를 만들었을때, 부피기준 혼합비율이 R34 : WPS = 1 : 1(V/V) 이라면 중량기준으로 하면 실제로 25 : 7로 혼합되어 있는 것이다.

표 4-5. 페타이어 분말(R34)와 폐목재(WGL, WPS)의 부피기준 혼합비와 중량기준 혼합비의 비교.

Vr (ml)	Vw (ml)	Vr/Vw	R34 and WGL			R34 and WPS		
			Wr(g)	Ww(g)	Wr/Ww	Wr(g)	Ww(g)	Wr/Ww
90	10	9.000	45	1.4	32.143	45	1.3	34.615
80	20	4.000	40	2.8	14.286	40	2.6	15.385
70	30	2.333	35	4.2	8.333	35	3.9	8.974
60	40	1.500	30	5.6	5.357	30	5.2	5.769
50	50	1.000	25	7.0	3.571	25	6.5	3.846
40	60	0.666	20	8.4	2.381	20	7.8	2.564
30	70	0.429	15	9.8	1.531	15	9.1	1.648
20	80	0.250	10	11.2	0.893	10	10.4	0.962
10	90	0.111	5	12.6	0.397	5	11.7	0.427

또한 각 소재를 동일한 중량, 즉 1 : 1로 투입하려면, 부피기준으로 페타이어 20부, 폐목재 80부로 투입 및 혼합하여야만 근사치에 가깝게된다.

한편, 동일한 부피비로 페타이어와 폐목재를 투입한다 하더라도, 폐목재는 성상에 따라 중량비는 달라진다. 이는 동일한 목재라 하더라도 형태에 따라 가비중이 다르기 때문이다.

## 제 2 절 소재의 형태와 보드의 제조특성

### 1. 폐목재 및 페타이어 성상이 보드제조에 미치는 영향

본 실험에서는 폐목재를 여러가지 형태, 즉 그레늘칩과 핀칩으로 분쇄하여 제조하였다. 또한 이를 각각 분리하여 크기에 따라 대, 소로 구분하였으며 페타이어 분말은 2종으로, 입자크기에 따라 2-3 mm인 것과 3-4mm인 것으로 구분하여 보드 소재로 사용하였다.

표 4-6. 페타이어 및 폐목재의 성상에 따른 혼합보드 제조

성형 상태	페타이어 (2-3mm, R23)				페타이어 (3-4mm, R34)			
	핀칩	핀칩	그레늘칩	그레늘칩	핀칩	핀칩	그레늘칩	그레늘칩
	(대)	(소)	(대)	(소)	(대)	(소)	(대)	(소)
	WPL	WPS	WGL	WGS	WPL	WPS	WGL	WGS
외 형	×	△	○	×	△	○	○	×
강 성	×	△	○	×	△	○	○	×

Notes; 1. Vr:Vw=5:5    2. 접착제중량: 페타이어 및 폐목재 중량의 10%

3. 열압온도 및 성형시간: 120°C, 600 sec.    4. 성형압력: 2 kg/cm<sup>2</sup>

혼합보드의 제조에 적합한 페타이어 및 폐목재 성상을 파악하기 위해 각각의 소재를 1:1의 비율로 혼합하여 보드를 제조하였다.

그 결과를 표 4-6에 나타내었다.

표 4-6에서 제조된 보드는 두께를 0.5 cm로 하였다. 이는 소재 간의 접

착과 친화성을 정확히 판별하기 위함이다.

폐목재의 성상을 기준으로 하여 제조된 보드의 외형 및 강성을 고려 해 보면 핀칩(소)와 그레놀칩(대)가 페타이어의 입자크기에 관계없이 보드의 제조에 적합한 것으로 나타났다. 이외의 폐목재의 경우에도 접착제량과 성형 압력을 증가시킨다면 보드는 제조될 것이다. 그러나 이러한 사항은 본 실험에서는 큰 의미가 없다고 생각된다.

페타이어분말의 입자크기 측면에서 고려해보면 3-4 mm 입자가 2 -3 mm 보다 다소 유리하다고 판단된다. 또한 불량(X)으로 판명된 보드는 대부분 커다란 크기의 펑크가 발생하였거나 냉각후 보드가 2등분으로 갈라지는 현상이 나타났다.

결론적으로 페타이어 분말 입자측면에서는 3-4 mm가 유리하고, 폐목재의 경우에는 핀칩(소) 및 그레놀칩(대)가 유리하다고 판단되었다.

## 2. 페타이어와 폐목재의 혼합비 변화에 따른 보드성형상태 비교

혼합보드의 사용목적에 따라 각 소재의 혼합비율 및 접착제 투입량은 달라져야만 한다. 만약 쿠손을 필요로 하는 보드를 제조하려면 페타이어의 비율이 높아야만 하고, 자연분해성 또는 흡음성을 필요로 한다면 폐목재의 비율이 높아야만 할 것으로 추측된다.

또한 폐목재의 비율이 높아질수록 열전도율은 일반적으로 감소하는 것으로 알려져 있다.

페타이어 3-4mm 분말과 그레놀칩(대)을 적정비율로 혼합하여 열압 성형한 결과를 표 4-5에 나타냈고, 표 4-6에는 페타이어 3-4 mm 분말과 핀칩(소)을 적정비율로 혼합하여 열압 성형한 결과를 나타냈다.

페타이어와 그레놀칩을 혼합하여 제조된 보드는 부피기준 혼합비율이 40:60을 기준으로 하여 폐목재 혼입량이 증가할수록 보드의 외관적 성상과 강성은 제품으로서의 질이 상당히 떨어졌다.

표 4-7. 페타이어 및 그레놀칩(대)의 혼합비율 변화에 따른 보드의 제조.

소재의 혼합비율(V/V)		성형상태		생산 보드의 두께(mm)	생산보드의 비중
페타이어 (R34)	페목재 (WGL)	외관	강성		
90	10	○	○	11.5	0.93
80	20	○	○	12.4	0.86
70	30	○	○	13.7	0.77
60	40	○	○	13.9	0.76
50	50	△	△	16.4	0.65
40	60	△	△	19.1	0.56
30	70	×	×	21.7	0.49
20	80	×	×	24.4	0.43
10	90	×	×	32.4	0.33

Notes; 1. 최종보드두께: 15mm. 2. 접착제중량: 페타이어 및 페목재 중량의 10% 3. 열압온도 및 성형시간: 120℃, 600 sec. 4. 성형압력: 2 kg/cm<sup>2</sup>

특히 혼합비율이 30:70(페타이어:페목재)이후로, 페목재의 혼합 비율이 증가할수록 페목재 입자들이 접착이 되질 않아서 보드의 일부분에 펑크가 나타났다. 펑크가 발생하는 정도는 페목재 혼합비율이 증가할수록 더욱 심하게 나타났다.

이러한 원인에는 먼저 페목재의 혼합비율이 증가함으로써, 보드 전체의 표면적이 증가하여 접착제에 의한 접착이 전체적으로 불균일하게 일어났기 때문이라 판단되며, 또 다른 이유로는 성형 압력이 낮아서 소재간의 완벽한 압착이 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

표 4-8. 페타이어 및 핀칩(소)의 혼합비율 변화에 따른 보드의 제조

소재의 혼합비율(V/V)		성형상태		생산 보드의 두께(mm)	생산보드의 비중
페타이어 (R34)	폐목재 (WPS)	외관	강성		
90	10	○	○	10.6	1.02
80	20	○	○	11.8	0.90
70	30	○	○	12.6	0.84
60	40	○	○	14.0	0.77
50	50	○	○	14.8	0.71
40	60	△	△	16.6	0.64
30	70	△	△	18.3	0.58
20	80	△	△	21.3	0.49
10	90	△	△	25.3	0.41

제조된 보드의 두께는 각 소재의 혼합비에 따라서 각기 다르게 나타나났는데 이는 성형 압력때문이라 생각되고 이로 인하여 제조된 보드의 비중이 예상치와 달리 나타났다.

그러나 제조된 보드의 두께가 15mm 부근의 60:40(페타이어:폐목재) 보드는 비중이 0.7에 가깝게 나타났다. 그러므로 부피를 기준으로 계산한 소재 투입은 긍정적 방법이라고 생각된다. 단지 소재의 혼합비율에 따라 성형압력을 달리하여 실험해볼 필요성이 있다고 추측된다.

페타이어 및 핀칩을 혼합하여 제조한 보드에서는 성형상태 측면에서 거의 모든 혼합조건에서 일정 수준의 제품이 생산되었다. 그러나 그레날칩의 경우와 마찬가지로 제조된 보드의 두께차이로 인한 비중은 예상과 다르게 나타났다. 이러한 경우에 있어서도 소재배합비에 따른 성형 압력을 고려해 보아야만 한다고 추측된다.

결론적으로 페타이어 및 폐목재를 사용한 혼합보드를 제조하기위한 폐목재의 성상(형태)은 핀칩이 그레놀칩보다 여러가지 측면에서 유리하다고 판단되었다.

### 3. 성형압력변화에 따른 보드의 제조상태

페타이어와 폐목재를 혼합, 성형하여 보드를 제조하는데 있어서, 폐목재의 비율이 많아질수록 제조된 보드의 성형상태는 외관이나 강성면에서 상당히 뒤떨어지는 결과를 나타내었다.

이에 대한 원인으로는 접착제 양과 성형압력이 원인으로 작용할 수가 있다. 접착제양은 보드의 생산단가에 큰 비중을 차지하고 있기때문에, 먼저 성형압력을 변화시켜 보드를 제조하였다.

표 4-9는 페타이어 3-4 mm와 폐목재(WGL)를 1:9로 혼합하고, 동일한 양의 접착제를 투입시켜 성형압력만을 변수로 하여 보드를 제조한 결과이다.

성형압력을  $2 \text{ kg/cm}^2$ 으로 했을때, 보드의 두께는 32.4 mm로서 최초 예상치(15 mm)에 비해 상당히 높게 나타났다. 이에 영향을 받아 비중 또한 최초 예상치(0.50)보다 상당히 낮았다. 그 원인은 성형압력에 맞았기 때문이라고 판단되어 성형압력을  $40 \text{ kg/cm}^2$ 까지 상승하여 보드를 제조해 보았다.

표 4-9의 페타이어 및 폐목재의 혼합비율은 1:9로서, 폐목재의 혼합비율이 대단히 높은 보드이다. 즉, 성형전의 소재 전체부피는 타 혼합 조건보다 높은 경우이다.



표 4-9. 성형압력 변화에 따른 보드의 제조

성형 압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	성형상태		생산보드의 두께(mm)	생산보드의 비중
	외관	강성		
2	×	×	32.4	0.33
12	△	△	15.7	0.65
20	×	×	14.9	0.69
30	×	×	14.9	0.74
40	×	×	13.7	0.80

Notes; 1. Vr:Vw=1(R34):9(WGL) 2. 접착제중량: 페타이어 및 폐목재 중량의 10% 3. 열압온도 및 성형시간: 120℃, 600 sec.

성형후 예상 보드 두께(15 mm) 및 비중(0.7)을 기준으로 보드를 판단해 보면 성형압력이 20 kgf/cm<sup>2</sup> 부근이 적합하다고 생각된다. 그러나 이때 보드의 성형상태는 불량으로 나타났다. 또한 생산된 보드의 성형상태 측면에서는 12 kgf/cm<sup>2</sup>이 원만하다고 판단된다. 12 kgf/cm<sup>2</sup>을 초과하여 압력을 상승시킨 결과, 보드의 일부분에서 펑크현상이 두드러졌으며, 또한 보드의 표면이 거칠게 나타났다. 또한 폐목재의 혼합량이 페타이어 혼합량에 비해 큰 차이가 날 경우에는 성형 압력 최소 2 kgf/cm<sup>2</sup> 를 초과해야 한다는 사실을 알 수 있었다.

이와 같은 사실을 근거로 생각해 볼때, 페타이어와 그레놀칩을 사용한 보드의 제조에 있어, 그레놀칩이 전체의 70%이상이 혼합되어 있으면 성형 압력을 최소 2 kgf/cm<sup>2</sup> 을 초과하여야만 원하는 비중의 보드를 제조할 수 있다고 판단된다.

그리고 성형 압력이 증가 할수록 보드 표면의 평활 상태가 불량하게 나타났다는데, 이는 고무가 압착동안에 수축되어 있다가, 압착후에는 고무가 지

니는 고유의 탄성이 회복되어 보드의 접착에 영향을 미친것으로 생각된다.

이러한 사항을 개선하기 위해서는 압착시간을 연장하는 것이 그 해결책으로 판단되지만, 압착시간의 장기화는 생산성과 연결됨으로 산업화 측면에서는 불리하게 작용할 것으로 생각된다.

핀칩과 그레놀칩을 각각 폐목재를 소재로 하여 페타이어 분말과 혼합비율을 달리하여 복합판상제품을 제조하였다. 그 결과 형상적인 측면과 접착성능을 근거로 판단해 볼 때, 폐목재의 형태는 핀칩이 그레놀칩보다 복합보드에 더 적합하다고 판단된다.

이러한 이유로는 목재칩의 표면적 정도가 고무입자와의 접착성능에 크게 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다.

## 제 5 장 부차적 복합재료 원료의 탐색 및 압체조건에 의한 적정 성형조건 검토

### 제 1 절 부차적 복합재료 원료의 탐색

폐기 타이어와 목재의 복합화 주요요소는 고무칩과 목재칩이며, 이 두 가지의 주성분을 기재로 한 복합화 원료는 여러 가지 분야의 원료를 생각할 수 있게 한다. 주요성분인 목재는 간벌재로서 벌채현장에서 버리는 경우가 대부분인 임지폐잔재로 소경재가 많은 비중을 차지하고 있다고 할 수 있다. 이런류의 목재를 주요원료로 하여 복합화할 수 있는 부차적인 원료로는 기존의 목질계 복합재료로 활용될 수 있는 구성요소들이 있다.

특히 소경의 간벌재를 주요인자로서 구성한 목질계 복합재료로는 제품의 용도와 가격경쟁력을 고려한 다양한 수지접착제의 사용이 필수적이며, 소경재의 구성요소화 방법에 따라서도 제조되는 제품은 매우 다양하며 임지폐잔재의 효율적인 이용방안이 될 것으로 생각된다. 최근 들어 국내에서도 관심이 높아지고 있는 목질계 주택에 대한 관련기업의 각종 행사시에 다양한 재료가 선을 보이고 있으며, 현재까지의 소경재를 활용한 목질계 재료로는 표5-1과 같이 집성재, OSB, LSL, PSL, SST 등이 있으며, 이들중에서 특히 OSB는 합판 대체재로서 그 성능이 인정되고 있는 재료의 하나라고 할 수 있다. 이외에도 플라스틱, 비닐계 등의 무기계 원료와의 복합화가 자원의 재활용 및 용도적성에 따라 목재와의 재구성방안에 대해 검토되고 있는 현실에 와 있다. 또한 목재와의 복합화는 고무칩 이외에도 농업부산물인 폐기 비닐류, 염화비닐, PET병, 플라스틱, 폐지류, 숯과 같은 원료들을 생각해 볼 수 있을 것이다.

Table 5-1. Wood element and reconstituted composite material with adhesive from forest wastes such as branch and stem by pruning and thinning works.

Element	Reconstituted material	Element	Reconstituted material
sawing lumber(plank,panel)	laminated lumber	strand(large type)	LSL, PSL
wafer	wafer board	strand(long stick type)	SST
strand(small type)	OSB	branch & stem by thinning and pruning	carbonated material

이와는 다르게 폐기 타이어를 주요인자로서 구성한 고무계 복합재료로는 전술한 목재와의 복합화 및 도시의 생활쓰레기로부터 배출되는 신문지, 골판지, 백상지 등의 잡종고지와와의 복합화를 들 수 있다.

최근, 고도의 경제성장을 뒷받침하는 산업활동의 결과로 산업쓰레기의 배출량과 더불어 활발한 소비활동으로 인한 생활쓰레기 배출량도 국민 1인당 평균 하루 1.5kg을 넘어서고 있다. 쓰레기 종량제 실시 이후, 일시적으로 쓰레기배출량이 감소하였으나 쓰레기분리 및 수리된 재활용품의 일부를 제외하고는 효율적 이용 방안이 적극적으로 제안되거나 실용화되지 못하고 있는 관계로 다시 쓰레기 배출량이 증가하고 있는 추세이다. 생활쓰레기의 배출량을 줄이기 위한 주민 스스로의 노력도 중요하지만, 배출된 쓰레기를 분리하여 적당한 재료로 만들어 적소에 활용을 극대화시켜 자원으로써 재창조되게 하는 노력이 보다 시급한 과제로 생각된다.

이러한 쓰레기는 현재 대부분 소각 및 매립에 의해 처리되고 있으며, 분리수거된 종이쓰레기의 경우 그 이용방안이 구축되어 있지 못하기 때문에 다시 소각이나 매립에 의해 처리되고 있는 악순환이 계속적으로 반복되고

있다. 이러한 이유로 주민들이 종이류등을 분리수거한다 하더라도 그 이용도가 없다는 점을 감안하여 현재는 분리수거에 대한 중요성을 거의 인지하지 못하고 있으며, 분리수거에 대한 호응도도 매우 저하되어 있는 상황이다. 즉, 주민의 입장에서 볼 때 신문지, 잡지, 골판지, 백상지, 코팅지 등의 세부적인 분리는 불가능하다는 문제를 내포하고 있어 분리된 종이류가 제지회사에 공급되지 못하는 경우도 많아지게 되었다. 이러한 이유로 고지수요자의 요구가 맞게 분리되지 못한 폐지류는 결국 매립되거나 소각될 수밖에 없는 현실에 처하게 되었다.

한편 소각 및 매립에 의해 처리되고 있는 쓰레기는 2차적인 문제점을 야기 시키고있다. 이러한 문제점으로는 먼저 소각시설 및 매립지 확보에 따른 예산소모가 극심하고, 종이류의 표백과정 동안 사용되는 염소에 의해 소각시 유독물질인 다이옥신의 발생 및 매연의 발생으로 환경오염이 발생하며, 매립시 침출수등의 문제로 인하여 지역 주민간의 갈등 및 지역주민과 관공기관의 갈등을 야기시키는 등 실로 많은 문제점들이 지적되고 있다.

현재 각 시군에서 발생하고 있는 생활 쓰레기중 종이 쓰레기의 양(전체 쓰레기중 27%, 97년 환경부)도 막대한 양임에도 불구하고 자원으로서 활용되지 못하고 있으며, 분리수거된 폐지류의 경우도 재생지의 원료로 사용되는데는 많은 문제점이 있다. 이러한 이유로는 재생지 생산시 일정 수준의 동급·동질의 지류로 구성되어 있어야만 종이 생산 원료로서의 이용이 가능하다.

분리 수거된 폐지류를 다시 신문지, 인쇄용지, 골판지등으로 분류한다는 것은 막대한 인력이 소요되며, 소요인력 운용시 발생하는 인건비는 재생지 생산단가 측면에서 현실적으로 불가능하기 때문에 재생지 생산업자들도 현재 거의 생산을 중단하고 있는 현실에 있다. 이러한 이유로 폐지류를 각각 분류하지 않고 사용할 수 있는 용도를 개발하는 문제는 실로 시급하다고 할

수 있겠다.

1997년도 환경부에서 발표된 자료에 의하면 1일 쓰레기 총 발생량은 46,194톤이며, 이 중 종이류는 12,195톤(약 27%)이 발생하고 있다. 현재 쓰레기를 처리할 경우 쓰레기 톤당 처리비용이 85,000원으로 알려져 있다(97년도 환경부 발표자료 인용).

이러한 통계자료에 의해 분리수거된 종이류를 완전히 이용하게 된다면 1일 10억 3천 6백만원의 소각 비용을 감소시킬 수 있다. 여기에는 소각장 및 매립지의 건설비, 수거 및 물류비용등이 포함되어 있지 않다는 점을 감안한다면 톤당 20만원 이상의 처리비용을 감소할 수 있다고 생각된다.

따라서 폐지류 쓰레기의 구체적인 활용방안으로서 건축물 내장재료로서 섬유상 단열재 및 폐기타이어로부터 제조되는 고무칩과의 복합화에 의한 포장완충재의 개발이 있으며, 이것이야말로 폐지류 쓰레기의 활용극대화를 위한 최적방안이라고 판단할 수 있다. 왜냐하면, 쓰레기의 재활용화로 인한 사회환경적 기대효과와 경제적 이익은 매우 클 것으로 사료되며, 단열재로서 일반적으로 폭넓게 보급되어 사용되고 있는 석면계(Asbestos series)나 유리 섬유계(Glass fiber series)제품은 자원의 유효이용이나 폐기처리 등의 문제가 제기되고 있는 현실점에서 새로운 환경친화형의 제품개발이 시급히 요구되고 있기 때문이다.

폐타이어와 생활쓰레기중 종이쓰레기(잡종고지)의 효율적 재활용 방안으로서 건축내장용 단열재료나 방음 등을 위한 내장재료를 개발할 수 있을 것으로 판단되며, 부차적으로는 쓰레기 분리수거를 성공적으로 유도하고 쓰레기 감량화 및 예산 절감, 관련 산업체에서 생활쓰레기의 자원재활용 유도 등의 공동의 이익을 추구하도록 견인차역할을 할 수 있을 것으로 생각된다.

이에 본 연구과제에서는 목재-고무계 복합보드의 구성요소원료를 폐타이어인 고무소비촉진을 시킨다는 의미에서 고무원료 기준으로 목재이외의 원

료변화에 의한 복합재료의 제조에 관한 실험을 행하였다. 원료로서는 최근 도시쓰레기로서 주요부분을 차지하고 있는 신문고지 및 사무실인쇄용지(백상지)를 이용하였다.

먼저 이들재료를 슈레더(분쇄기)로써 잘게 자른후 그대로 원료로 이용하거나, 슈레더에 잘린 것을 다시 피브릴화시켜 섬유덩어리로 만든 원료로 재가공하였다. 고무원료에 비해서 이들원료는 섬유상인 점을 감안하면 원료의 체적면에 있어서 상당히 bulk하여 접착제혼입 등의 공정이 원만하지 못하였으며 제조과정에 있어서 수작업에 의한 번거로움이 상당히 많았던 것으로 생각된다. 그러나 일반적인 제조조건인 열압온도 120℃, 열압압력과 시간을 3단계시스템으로 45kg/cm<sup>2</sup>(4분)→30kg/cm<sup>2</sup>(3분)→5kg/cm<sup>2</sup>(3분)의 조건으로 복합보드를 제조한 결과, 예상과는 달리 외관상으로는 상당히 양호한 제품이 제조되었다(표6-4, 그림6-2, 사진7-1 참조). 왜냐하면 시료의 전체중량에 대해 접착제를 10% 투입하는 경우, 종이류원료의 체적이 고무에 비해 워낙 부풀어 있는 관계로 접착제양이 절대적으로 부족한 것으로 생각될 정도로 접착제의 균일한 교반이 쉽지 않았고, 압체하기 전에 손으로 혼합원료를 만져 확인해 보았을 때 접착제도포여부가 매우 의심스러울 정도로 회박했기 때문이다. 그러나 압체메카니즘을 생각해보면 접착제가 섬유다발과 분말상의 넓은 원료표면에 고르게 도포된다는 것은 사실상 어려우나, 고온에서 열압체에 의해 접착제성분의 원료간 침투이동이 이루어진 것으로 생각된다. 이것은 종이류의 통기성 및 투과성이 목재재료에 비해 훨씬 우수하기 때문에 압체성형에 별 문제가 생기지 않은 것으로 생각되었다. 또 두가지 원료를 완전히 믹서하여 만든 것과 각각의 원료를 분리하여 2층보드를 만드는 제조상 별 하자가 없는 점으로 미루어 기능성을 고려하여 제조한다면, 원료의 기본물성에 차이가 있지만 잘 이용한다면 그 용도도 많을 것으로 예상된다. 따라서 본 실험결과, 페타이어를 원료로 하는 고무와 도시쓰레기중

많은 부분을 차지하는 종이류를 복합화하여 재료로서 개발하는 것도 상당히 큰 의미가 있을 것으로 판단된다(사진5-1, 사진5-2참조).

최근 연일 종이류 등의 쓰레기 소각으로 인해, 앞으로 다가올 다이옥신의 피해에 대해 매스컴에서 대대적으로 보도를 하고 있지만 정부에서는 큰 피해가 아니라고 하는 점은 매우 우려되지 않을 수 없으며, 쓰레기의 분리수거활성화와 재활용의 확대는 국가경제의 활성화에도 일익을 담당할 것으로 예상된다.

현재 소규모의 중소기업에서는 전술한 바와 같이 폐종이류 만으로 습식해리법에 의해 계란캡슐 등을 제조하고 있고, 제지로의 재활용을 위해 제지회사에서는 이들 잡종고지를 회수, 분리처리하는데 많은 비용이 들어가기 때문에 사실상 재활용이 되지 못하고 있다. 따라서 도시쓰레기의 일종인 잡종고지의 대부분은 재활용보다는 매립되거나 다른 쓰레기의 연소처리시 불살개로서의 역할을 담당하고 있으며, 이들 잡종고지의 쓰레기취급화로 인한 공해유발과 매립지선정 문제는 큰 사회적 분쟁의 요인이 되고 있다.

## 제 2 절 압체조건에 의한 적정 성형조건 검토

실험에 사용한 시료는 침엽수 목재칩으로써 함수율은 2%이며, 목재칩의 비중측정은 먼저 칩 중량을 측정후 부정형의 부피는 메스실린더를 이용하여 가사비중으로서 산출하였다. 고무는 일반 페타이어로써 고무의 크기는 평균직경이 3~4mm 정도였다. 고무칩의 비중측정은 목재칩의 측정과 같은 방법으로 행하였으며 10회 측정평균값은 아래의 표3과 같이 가사비중이 목재 약 0.2, 고무 약 0.5~0.6이었다. 또한 수분치환에 의한 엄밀한 체적측정에 있어서 실제 평균비중은 목재가 약 0.62, 고무는 0.96의 값을 나타냈다.

접착제는 복합 보드 제조에서 고무를 사용하였기 때문에 폴리우레탄을 사용하였으며, 접착 수지량은 제조보드 총중량의 10%를 첨가하였다. 경화제



는 접착제량의 10%를 첨가하여 보드를 제작하고 고무칩( $\phi=3\text{mm}$ )과 목재칩( $\phi=3\sim 4\text{mm}$ )의 복합보드 제조에 있어서 원료의 혼합비율은 중량비로써 1:1로 고정하여 섞어, 크기  $190\text{mm}\times 210\text{mm}\times 10\text{mm}$ (두께)인 복합 보드를 제조하였다. 이때 목표비중은 0.7로 산정하였고, 보드수는 각 조건당 2매씩으로서 열압스케줄을 표5-2와 같이 변화시켜 열압성형조건을 검토하였다.

Table 5-2. Experimental conditions of hot pressing in rubber-based wood composite panels.

Conditions	Press cycle	Temperature( $^{\circ}\text{C}$ )	Pressure(kg/ $\text{cm}^2$ )	Time(min)	
	temp $\times$ pressure $\times$ time		1 $\rightarrow$ 2 $\rightarrow$ 3	1 $\rightarrow$ 2 $\rightarrow$ 3	
	e	constant	step	step	
Variable	temperature 4 condi.	100	45+15+5	3+2+2	
	pressure 7 conditions	120	55+15+5	4+3+3	
	time 4 conditions	140	65+15+5	5+5+5	
	variable conditions =4 $\times$ 7 $\times$ 4 =112 combinations		160	45+20+5	7+6+6
				45+30+5	
				45+20+10	
				45+20+15	
		(3 stage)			

예비실험에 있어서 열압온도는 접착제인 폴리우레탄수지의 적정경화온도가  $120^{\circ}\text{C}$ 인 관계로 열판에서 성형매트간의 열전도시의 열손실을 감안하여  $125^{\circ}\text{C}$ 로 고정하였다.

열압시의 가압조건은 3단계 가압시스템을 적용하여 초기압력 $\rightarrow$ 중기압력 $\rightarrow$ 말기압력의 7종류를 설정하였고, 각 가압조건에서의 가압시간도 이에 맞추어 초기 $\rightarrow$ 중기 $\rightarrow$ 말기에 있어 4종류를 가압시간을 설정하여 모두 28가지의

열압스케줄에 대하여 실험, 검토하는 것으로 열압공정을 설정하였다. 원료는 중량비에 의해 혼합하여 열압스케줄을 크게 몇가지로 선정, 실험을 하여 결과를 검토함으로써 어떤 조건에서 가장 양호한 제품이 얻어지는지를 확인하고, 동시에 수분과 열, 강도에 관한 특성실험을 행하여 최종용도의 적합성여부를 검토하여 실험을 완료한다는 계획하에 실험을 진행하였다.

각 열압공정에서 얻어지는 제반 특성실험을 위한 공시재료로서는 각 열압스케줄로써 제조한 2매의 복합보드로부터 각 시험을 위한 시편을 제작하였다. 먼저 휨시험에 있어서 기건상태 시험편은 35mm×210mm×10mm(두께)의 크기로서 각 가압시간과 압력조건당 6개씩, 계 168개의 시험편을 제작하였다. 또 습윤상태시의 시험편도 동일한 조건으로 168개의 시험편을 제작하여 항온수조(25℃)에 24시간 침지한 후 시험편으로 제공하였다. 압축시험 및 박리시험은 약 10개씩의 시험편을 준비하였다.

최종적인 적정 압체조건은, 열압온도 120℃, 열압압력과 시간은 3단계스텝으로 45kg/cm<sup>2</sup>(4분)→20kg/cm<sup>2</sup>(3분)→5kg/cm<sup>2</sup>(3분)의 조건이 일반적으로 에너지효율면이나 재료의 품질면에서 무난한 것으로 판단되었다.

## 제 6 장 복합보드의 각종복합화 기술에 의한 기능성부여

복합재료의 물리적성질 및 특성 항목에서 후술하는 내용을 보면 알 수 있듯이, 복합재료화에 의한 기능성부여 문제는 페타이어로부터 얻어지는 고무원료와 폐잔재로부터 얻어지는 목재원료의 각 특성을 먼저 충분히 이해할 필요가 있다.

먼저 고무는 누구나 경험에 의해 잘 알고 있듯이 탄력성이 매우 풍부한 재료이며, 목재는 탄성체이면서도 점탄성과 소성을 공유하고 있고 원료의 복합화 조건에 따라 상이한 성질을 발현하는 생물재료라고 할 수 있다. 따라서 고무와 목재 구성요소 원료의 배합비율 및 접착제의 종류에 따라서, 만들어지는 최종 제품의 성질이 달라지는 것은 의심할 여지가 없으며, 복합재의 사용조건 및 용도에 따라서 이들 원료비율과 접착제의 선정이 적절하게 이루어져야만 할 것으로 판단된다. 상온에서 목재는 고무보다 강성이 크며, 탄력성이 요구되는 재료라면 고무칩의 비율을 많게 해야 한다. 또한, 그 사용조건이 일반 주택건물의 바닥재일 경우와 운동장의 바닥재나 체육관 같은 운동성이 뛰어난 곳, 또는 유아들의 시설물 바닥재 등과 같이 실사용자의 운동성과 관련시켜 고무의 탄력성을 조절한 소위 고무와 목재의 기능성을 고려한 제품의 생산이 필요할 것으로 판단되어진다.

### 제 1 절 구성요소별 적정혼합비율 검토

복합보드의 제조에 있어서 목재칩과 고무칩의 복합방식에 의한 보드의 성능개선방안을 생각해 볼 수 있다. 목재칩과 고무칩을 무작위로 혼합·교반한 후 단층의 보드제조 및 목재칩과 고무칩을 따로 분리하여 접착제를 각각

도포한 후 2층이상의 보드를 사용부위에 따라서 제조하는 방식을 생각해 볼 수 있다. 여기에서 고려해 볼 수 있는 제조보드의 기능성은 흡음성이나 단열성 및 쿠션성 등이 있을 수 있다.

이를 위해 우선 생산할 수 있는 복합보드의 크기에 대한 제반 재료량 및 구성요소별 적정혼합비율의 결정을 위하여 다음과 같은 이론식을 유도하였다.

data input :

최종보드의 비중 =  $\rho$ ,    최종보드의 중량 =  $W_b$ ,    보드의 두께 =  $t$   
 보드의 단면적 =  $a \times b$  ( $\text{cm}^2$ ), 목재와 고무칩 원료의 체적비 =  $V_w : V_r$   
 목재와 고무칩 원료의 중량비 =  $W_w : W_r$ ,  
 목재와 고무칩 원료의 비중비 =  $R_w : R_r$   
 목재와 고무칩 원료의 합계 =  $W_{wr}$ ,    접착제 중량(전건) =  $W_a$   
 접착제 투입중량(수분포함) = 목재와 고무칩 전체중량의 10.5% =  $W_{ta}$   
 경화제 투입중량 = 접착제 중량의 10% =  $W_h$

①최종보드의 중량( $W_b$ ) 결정

$$\begin{aligned} W_{wr} &= W_w + W_r \text{ (g)} \\ W_b &= a \cdot b \cdot t \cdot \rho \text{ (g)} \\ &= W_w + W_r + W_a \text{ (g)} \\ &= W_{wr} + W_{wr} \cdot W_{ta}/100 \end{aligned}$$

②필요한 접착제양( $W_a$ )의 결정

$$\begin{aligned} W_a &= W_b - W_{wr} \\ &= \frac{0.01 \times W_{ta}}{1 + 0.01W_{ta}} \times W_b \end{aligned} \quad \text{---(1) 접착제 중량}$$

③ 목재칩의 양( $W_w$ )의 결정

고무와 목재칩의 mix rate =  $V_r/V_w \equiv mr$

$$\begin{aligned} W_{wr} &= W_w + W_r \\ &= V_w \cdot \rho_w + V_r \cdot \rho_r \\ &= V_w(\rho_w + \rho_r \cdot mr) \end{aligned}$$

$$V_w = W_{wr}/(\rho_w + \rho_r \cdot mr) \quad (\text{ml})$$

$$W_w = V_w \cdot \rho_w \quad (\text{g})$$

$$= \frac{W_{wr} \cdot \rho_w}{\rho_w + \rho_r \cdot V_r/V_w} \quad \text{---(2) 목재칩의 중량}$$

④ 고무칩의 중량( $W_r$ )의 결정

$$W_r = W_{wr} - W_w \quad (\text{g}) \quad \text{---(3) 고무칩의 중량}$$

(이상에서 함수율은 무시함)

⑤ 부피비와 중량비에 의한 원료의 배합량 계산

$$V_w : V_r = \rho_r \cdot W_w : \rho_w \cdot W_r \quad \text{---(4) 목재칩과 고무칩의 부피비}$$

$$W_w : W_r = \text{eq.(2)} : \text{eq.(3)} \quad \text{---(5) 목재칩과 고무칩의 중량비}$$

그러므로 식(4),(5)에 의거하면, 실험시에 직접 원료량을 측정함으로써 실

제 만들어지는 최종보드에 대해서 부피비가 맞는지, 중량비가 맞는지, 둘다 아닌지를 검정할 수 있다.

※(注) subscript의 w는 wood(목재칩)을, r은 rubber(고무칩)의 initial을 의미함.

최종적으로 얻어지는 보드의 냉압시 비중( $r_t$ )은 위에서 산출한 가사비중을 이용하여 각원료의 중량으로부터 간접적으로 체적을 산출하여, 복합보드의 냉압시( $r_t$ ) 및 열압시( $r_h$ )의 비중을 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_t &= W/V \\ &= (W_w + W_r) / (V_w + V_r) \\ &= \sum W_i / (W_w/r_{dw} + W_r/r_{dr}) \quad \text{---(6)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_h &= W/V \\ &= (W_w + W_r) / abt \quad \text{---(7)} \end{aligned}$$

단,  $W_w$ ,  $W_r$ 는 목재와 고무원료의 중량,  $r_{dw}$ ,  $r_{dr}$ 는 목재와 고무의 가사비중임.

a, b, t 는 최종보드의 단면적치수 및 두께(cm)임.

그리고 실제 실험원료의 양적인 조절을 위하여 목재칩과 폐고무칩의 가사비중 및 단위중량당의 체적을 표6-1에 요약하였다.

Table 6-1. Nominal specific gravity and volume per unit weight of wood and rubber chip.

Index	Wood chip		Rubber chip	
	Small pin-chip	Large pin-chip	2-3mm	3-4mm
Nominal SG	0.201	0.215	0.520	0.639
Standard Deviation	0.0058	0.0070	0.0069	0.0522
Volume(ml/g)	4.9349	4.6035	1.9170	1.5152

이 표로부터 목재의 대형핀칩이 소형핀칩보다 가사비중이 약간 크며, 변이 폭도 약간 크게 나타났으며, 또한 고무의 대형칩이 소형칩에 비하여 가사비중이 큰 점으로 미루어 목재와 고무칩에 상관없이 칩의 크기가 가사비중의 증대에 영향을 주는 것으로 추정되었다. 이 결과로부터 고무칩의 가사비중이 목재칩보다 2-3mm칩에서 약2.5배, 3-4mm칩에서는 약3.0배정도로 크게 나타나, 중량분율로 볼 때 고무가 단위체적당 많은 중량이 나감을 알 수 있으나 동일비중의 복합재료를 제조하는 경우에 있어서 목재의 중량분율이 많아짐에 비례해서 목재의 체적분율은 매우 크게 될 것이 예상된다. 이에, 표 6-2에는 이 사실을 검증해보기 위하여 비중 0.7의 복합판재를 만들기 위해 사용되는 각원료의 중량분율에 대한 체적을 실험에 의해 산출한 결과를 검토하였다.

Table6-2. Nominal specific gravity and volume per unit weight of wood pin chip and rubber chip for manufacture conditions of 335gram(object dimension 21×19×1.2×0.7(SG)) in total weight of wood and rubber chip.

Index	Wood chip						Rubber chip					
	Small pin-chip			Large pin-chip			2-3mm			3-4mm		
	Weight (g)	Volume (ml)	Nominal SG	Weight (g)	Volume (ml)	Nominal SG	Volume (ml)	Weight (g)	Nominal SG	Volume (ml)	Weight (g)	Nominal SG
1	168	820	0.205	168	780	0.215	320	168	0.525	255	168	0.659
2	223	1100	0.203	223	1000	0.223	220	112	0.509	180	112	0.622
3	251	1240	0.202	251	1140	0.220	160	84	0.525	135	84	0.622
4	268	1310	0.205	268	1240	0.216	130	67	0.515	120	67	0.558
5	279	1360	0.205	279	1280	0.218	110	56	0.509	100	56	0.560
6	112	550	0.204	112	520	0.215	430	223	0.519	335	223	0.666
7	84	420	0.200	84	380	0.221	480	251	0.523	370	251	0.678
8	67	340	0.197	67	320	0.209	510	268	0.525	390	268	0.687
9	56	300	0.187	56	280	0.200	530	279	0.526	400	279	0.698
Mean	167.5	826.6	0.201	167.5	771.1	0.215	321.1	167.5	0.520	253.8	167.5	0.639
S. D.			0.0058			0.0070			0.0069			0.0522

이 표의 작성에 있어서 중량측정에는 1그램 정밀도의 전자저울을, 체적측정에는 1밀리리터 정밀도의 메스실린더를 사용하였다. 목재원료의 경우, 1리터를 채우는데 필요한 목재양을 조사한 결과, 소형칩은 206그램이, 또 대형칩은 223그램이 소요되었다.

이 표로부터 같은 비중의 보드제조에 있어서 고무의 중량분율이 클수록 제조보드의 목재체적분율(예, 위표의 조건번호2의 원료체적은 1320ml에 대하여 조건번호8의 경우는 830ml의 체적을 가짐)은 작아지기 때문에, 고무중량분율이 작은경우에 비해서 열압에 소요되는 동력 및 시간이 적을 것으로 추정된다.

그리고 본 실험결과, 목재와 고무재료 모두에 있어서 같은 중량의 재료를 냉압하는 경우에 있어서 원료의 크기가 작은 것이 공극량이 많아지는 관계로 체적이 보다 커지는 사실을 알 수 있었다.

## 제 2 절 원료의 복합화방식에 의한 기능성부여

원료혼합비율 및 용도에 따른 재료개발에 따른 원료배합조건 탐색에 있어서는, 먼저 부피비를 지양하고, 고무와 목재는 중량비로서 만들고자 하는 복합보드를 설계하여 정해진 열압스케줄에 따라 복합보드를 제조한다. 접착제는 폴리우레탄을 먼저 이용하며, 부차적으로는 목재는 우레아수지를, 고무는 폴리우레탄을 각각 사용하여 중량비로 혼합한 다음 보드제조를 시도한다. 그러나 예비실험에 의하면 이질접착제를 이용하여 만든 복합보드의 제조에는 접착제고유의 재료간 접합이라는 역할에 문제점이 많았으며 공정상 번거로워 폴리우레탄수지만을 이용해야 함을 알 수 있었다.

목재칩과 고무칩의 복합화방식에 의한 기능성부여는 각각의 소재의 특성을 살릴수 있는 재료개발이 되어야 하며, 이 사실로부터 먼저 목재의 따뜻



합과 흡음능력 및 고무의 탄력성을 부여하는 제품개발을 생각할 수 있다. 중량비에 의한 원료의 혼합비율에 따른 각종 목재칩과 고무칩의 원료량은 다음 표6-3와 같다.

Table 6-3. Weights of wood chip and rubber chip by weight rate of composite manufactures on various experimental conditions.

Index	Weight rate of element		Actual weight(g)		Remark
	wood chip	rubber chip	wood chip	rubber chip	
1	1	1	168	168	specimen's thickness 1.2cm, SG of manufacture 0.7, a use of ONDOL
2	2	1	223	112	
3	3	1	251	84	
4	4	1	268	67	
5	5	1	279	56	
6	1	2	112	223	
7	1	3	84	251	
8	1	4	67	268	
9	1	5	56	279	

Note) Dimension of composite board is 21cm \*19cm \*1.2cm (thickness) \*0.7(SG) = 335(g), adhesive weight is 33.5(g), curing 3.35(g).

이 표로부터 일정중량의 보드, 즉 일정한 비중으로 고정된 보드를 제조함에 있어서 어느 쪽의 원료를 많이 투입하느냐에 따라 제품의 성질이 확연하게 달라짐을 알 수 있다. 따라서 목재와 고무의 원료량의 배합비율에 따라 강성(rigidity)을 부여할 것인지 아니면 탄력성을 부여할것인지를 결정할 수 있다. 목재량이 많을수록 제조한 보드의 강성은 크고, 고무량이 많을수록 강성은 떨어지는 반면에 탄력성은 풍부하게 나타났다. 이런특성을 기초로 먼

저 온돌바닥재로서의 개발 및 적용과, 두 번째는 가로수 보호대의 개발과 적용시험을 들 수 있다. 온돌바닥재로서는 중량이 많이 나가는 고무량을 가능한 배제하는 편이 좋으며, 가로수의 수목보호대는 외장재료인 만큼 내후성이 강한 고무가 많은 복합보드가 적합할 것으로 예상된다.

따라서 이러한 사용목적에 맞추기 위해서는 최적제조공정을 도출한다는 의미에서 먼저 다양한 조건에서 복합보드를 제조하여 최종적으로는 원료의 혼합비율에 따른 보드제조조건 및 물성간의 상호관계를 검토하였다.

표6-4에 잡종고지슈레더와 고무칩의 중량비를 1:1로 하여, 제조보드의 비중이 0.7이 되도록 원료배합비를 조정한 후, 열압온도 120℃, 열압압력과 시간을 3단계스텝으로 하여 45kg/cm<sup>2</sup>(4분가압)→30kg/cm<sup>2</sup>(3분)→5kg/cm<sup>2</sup>(3분)의 조건으로 복합보드를 제조하여 기능성에 관한 실험의 일례를 나타내었다. 이것은 3회의 휨실험결과인데 휨강도가 15kg/cm<sup>2</sup>으로서 매우 낮으며, 용력-변형률곡선의 형태로부터 고무의 탄력성 때문에 파괴되지 않고 늘어나는 처짐량이 매우 큰 사실을 알 수 있다.

Table 6-4. Bending test results of composite with shredded paper and rubber chip.

Sp. No	Strength		Deflection (mm)	Sp. Dimension(mm)	
	(MPa)	(kgf/cm <sup>2</sup> )		Thickness	Width
1	1.454	14.831	24.8	11.0	36.45
2	1.454	14.831	25.4	11.0	36.45
3	1.117	11.393	13.8	11.0	35.80
Mean	1.342	13.685	21.33	11.0	36.23
Std. Dev.	0.1947	0.1947	6.53	-	0.375

그림6-1과 그림6-2에는 목재와 고무칩 복합재 및 잡종고지와 고무칩 복합재로 된 시험편으로 압축실험을 한 결과인데, 잡종고지와 복합재의 경우 1개의 시험편을 6회반복하여 압축회복과 강도치의 변화량의 추이를 관찰 한 것이다. 이그림으로부터 제1회 부하시 초기압밀화되는 시기는 약간 오목한

단조증가 곡선부를 나타내는데, 목재와의 복합체인 경우 목재의 딱딱한 강성에 의해 응력이 증가하는 불록한 곡선을 나타내다가 변형량이 증가됨에 따라 응력은 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 제하후, 제2차 부하시는 한번 압축에 의해 와해된 복합구조의 영향으로 응력의 급격한 증가는 보이지 않고 점진적으로 압밀화되는 단조증가곡선을 나타내었으며, 3차에서 6차로 반복하중을 가함에 따라 동일변이량에 대해 응력은 감소하는 경향을 나타내었다. 반복부하를 할수록 응력의 감소량은 작아지는 경향을 보였으며, 2차부하이후부터의 변형량의 출발점은 동일한 점으로 미루어, 압축하중을 반복해도 제하와 동시에 곧바로 변형의 탄성회복이 고무칩의 영향에 의해 일어나고 있음을 쉽게 추정할 수 있다. 따라서 본 실험의 결과, 목재-고무 복합재료는 힘작용재보다는 압축력을 받는 재료로서 그 기능성이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

일반적으로 이종원료에 의한 복합재의 역학적 성질은 혼합의 법칙(law of mixture)에 의해 평가할 수 있다. 즉 지금 목재원료를 w로, 고무원료를 r의 아래첨자로 표기하여, 목재와 고무원료로 만들어진 재료가 외력을 받았을 때의 응력과 탄성계수를 다음과 같이 구할 수 있다. 고무와 목재의 단면적을 각각  $A_r$ ,  $A_w$ 로, 각 요소에 걸리는 각각의 응력을  $\sigma_r$ ,  $\sigma_w$ 로 두면, 복합재에 가해지는 전체하중 P는 다음식으로 표현될 수 있다.

$$P = \sigma \times A = \sigma_r \times A_r + \sigma_w \times A_w \quad \text{---(8)}$$

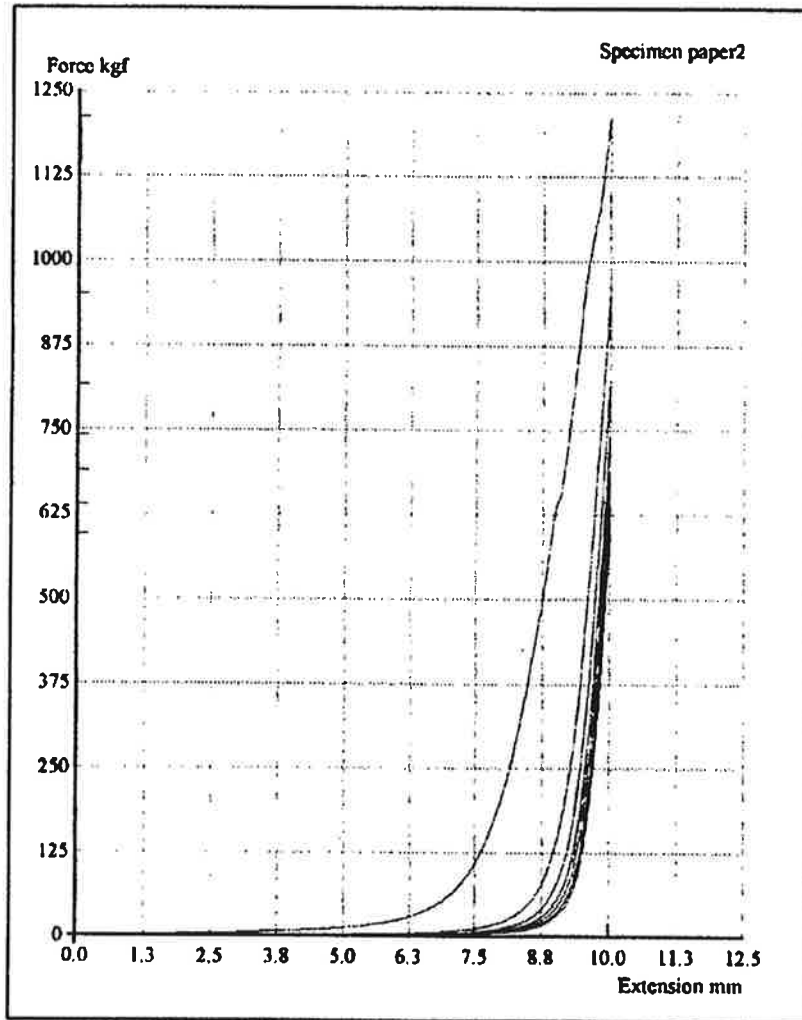


그림6-1. 목재칩과 고무칩 복합보드의 휨시험에 있어서 응력-변형률 선도

수식의 밑줄부분 양변에 복합재의 길이  $l$ 을 곱하게 되면, 전체체적( $V$ )에 대한 구성요소인 고무와 목재의 체적분율( $V_r, V_w$ ) 계산에 의해 외력에 대한 복합재 전체에 걸리는 응력( $\sigma$ )의 크기를 추정할 수 있다.

$$\sigma = (V_r / V) \sigma_r + (V_w / V) \sigma_w \quad \text{---(9)}$$

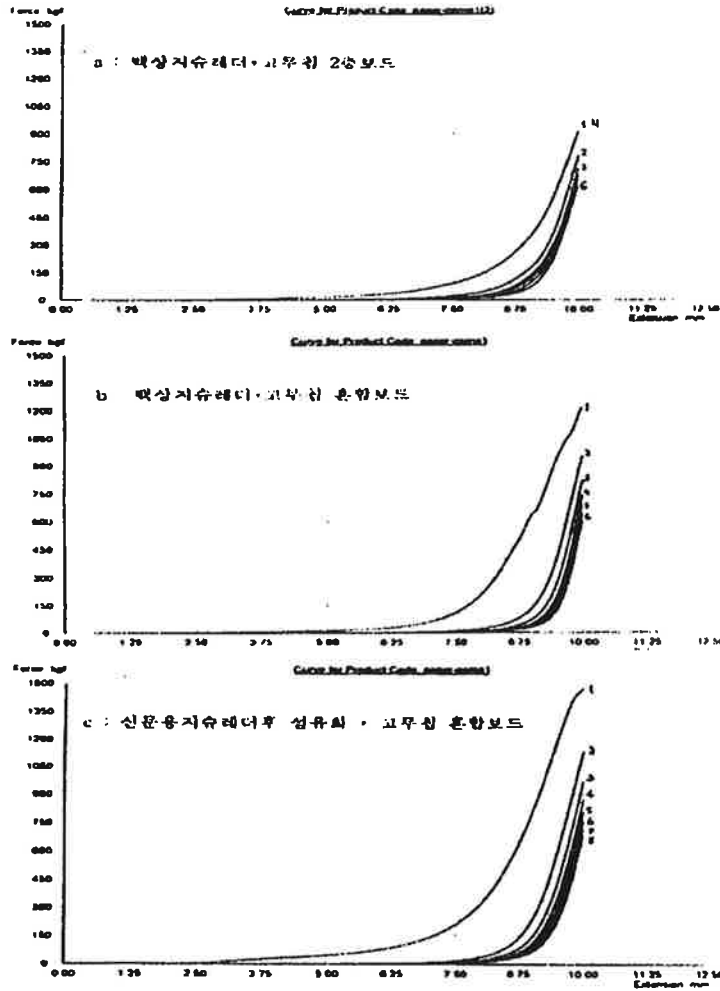


그림 6-2. 고무칩과 종이류의 복합보드별 반복압축시험에 의한 응력과 변형률 곡선의 추이

여기서 고무칩의 함유 체적비율을  $u_r = V_r/V$  로 두면,  $V = V_r + V_w$ 이므로  $u_w = 1 - u_r$ 이 되며, 위의 응력에 관한 식은 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$\sigma = v_r \sigma_r + (1-v_r)\sigma_w \quad \text{---(10)}$$

여기서 복합재의 종탄성계수를  $E$ 로 두면, 전제조건에 의해 전체가 일체화된 복합재라고 한다면 외력에 의해 생기는 변형율의 크기는 고무칩과 목재 칩원료에서 같은 관계로,

$$\varepsilon = \sigma / E = \sigma_r / E_r = \sigma_w / E_w \quad \text{---(11)}$$

로 되고, 밑줄부분을 다시 바꾸어 쓰게 되면,  $\sigma = E\varepsilon$ ,  $\sigma_r = E_r\varepsilon$ ,  $\sigma_w = E_w\varepsilon$ 이므로, 이것을 위의 응력식에 대입하면,

$$E = E_r v_r + E_w (1-v_r) \quad \text{---(12)}$$

로 되어, 구성원료 각각의 특성과 함유비율을 알게 되면 만들고자 하는 복합재의 특성을 고려하여 적소에 사용할 재료를 제조할 수 있는 것이다.

배합비율에 따른 제품의 특성을 생각해 볼 경우, 동일한 비중이 되도록 원료량을 중량비율로서 조정하여 복합보드를 만든다면, 보드의 제반 물성치는 원료의 배합비율에 따라 절대적인 영향을 미칠것으로 판단된다. 특히 바닥재로서 사용될 때, 쿠션성이나 흡음성, 단열성능이 뛰어날 수 있도록 제조 설계를 할 수 있다면 본 연구과제에서 이루고자 하는 결과는 매우 효율적으로 이루어질 수 있을 것으로 생각된다.

## 제 7 장 복합재료의 최적제조공정 개발

### 제 1 절 안료의 도입 및 용도의 탐색

목재-고무계 복합보드의 용도에 따른 기능성부여측면에서 감각특성을 고려한 안료의 착색은 재료의 질감향상 및 이용자의 마음을 컨트롤하기 위해 필요한 공정으로 생각된다. 목재의 시각적 특성의 우수성은 이미 잘 알려져 있는 바와 같이, 따스한 느낌과 친근감을 느끼게 하는 점이라고 할 수 있다. 목재의 종류에 따라 시각적인 느낌은 다종다양하게 나타나지만, 목재와 검은색의 고무와의 복합재료는 사람들에게 친근감을 줄만큼 화려하거나 시각적인 친근감을 얻기란 매우 어렵다. 따라서 목재-고무계 복합재료의 용도확대방안의 하나로서 복합보드에 적절한 색상의 부여가 필요하다고 생각된다. 색상에 관한 지금까지의 연구결과에 의하면 파란색 또는 녹색은 황색이나 적색계통보다 따스한 느낌이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 이것은 사람들이 경험에 의한 잠재의식속에서 불이나 태양으로부터 받는 느낌과 관련이 있을 것으로 추정된다. 색상의 선택은 먼저 용도개발이 이루어진 후에 선택할 문제이며, 최근 다양한 안료의 개발에 의해 용도만 선정되면 그 용도에 적합한 안료선택은 쉽게 이루어질 수 있음이 확인되었다(사진7-1참조). 또한 기존의 복합보드제조업체의 방문조사결과, 안료와 고무의 혼합이 수작업에 의해 손쉽게 이루어질 수 있음을 보여주었다. 단지 문제점이 있다면 외장재로 사용될 경우, 페타이어의 재활용품인 관계로 재생고무는 표면에만 안료가 착색하기 때문에 외기에 노출되어 변색될 우려가 있어 장기간의 사용에는 문제점이 있다는 것이다. 변색이 되지 않는 착색고무가 필요하다면 고무원료의 생산단계에서 착색을 하면 원료자체가 색을 발현하기 때문에 변색의 우려가 없지만, 이 경우 재활용고무를 활용한다는 본연구사업의 취지와는

떨어지기 때문에 변색의 문제점은 필연적인 것으로 남을 수 밖에 없는 것으로 생각된다. 용도탐색에 대한 일부 연구결과에 의하면 목재-고무계 복합 보드의 용도는 힘하중을 받는 장소보다는 압축력을 받는 곳에 사용됨이 타당성이 있는 것으로 판단되었다. 따라서 지금까지 막연하게 생각해 왔던 건축물의 벽장재료는 타당성이 없는 것으로 판단되었으며, 반면에 바닥재료로서는 그 탄력성에 있어서 매우 우수한 재료임이 인정되었다. 지금까지 가까운 일본의 자료수집에 의해서도 수년전 부터 바닥재용의 목재와 타이어 복합소재를 개발하여 공장생산화하고 있으며, 현재 새로운 용도를 찾기 위해 계속 모색 추진중에 있는 것으로 알고 있다. 그러나 목재의 혼입비율은 극소량이며 고무재료만의 보드생산을 하고 있다고 해도 과언이 아니다.

국내생산업체에 있어서도 순수 페타이어 분말을 사용하여 판상의 제품을 생산하고는 있지만, 일본과 마찬가지로 목재를 혼합한 고무계의 판상제품은 공정상의 문제로 현재 생산이 되고 있지 않다. 국내의 페타이어 분말을 사용하여 바닥재 제조회사의 생산제품을 보면, 고속도로 등의 경사지에 있어서 미끄럼 방지용 포장재료 및 골프장 및 테니스장 등의 바닥재가 있다. 본 연구진은 목재를 가능한 많이 넣은 고무계 복합재료를 만들려고 연구를 진행중이나 그 용도 개발은 경제성 및 재료의 인화성 등으로 인해 상당한 난점에 부딪히고 있다.

현재까지의 용도탐색 결과, 원료의 배합비율 등의 조절에 의해 계란껍질 등의 포장 완충재 및 야외 바닥재 소재로 사용가능하고, 고무 및 목재가 소유하는 흡음성을 이용하여 건축물의 온돌바닥재로 사용가능하며, 조정용 시공품목으로서 가로수보호 바닥재등이 이용가능한 것으로 평가되고 있다.

## 제 2 절 최적제조공정 도출



## 2.1 제조공정의 최적화 방안 검토

목재와 고무계 복합보드 제조에 있어서, 최적 제조공정 도출은 에너지절약과 우수한 품질의 판상제품개발을 위해 필요불가결한 작업이라고 할 수 있다. 이 조건을 알아내기 위해서는 목재칩과 고무칩의 배합비율에 따라서 다양한 열압조건(온도, 압력, 시간, 전처리방법)을 시도하고, 제조된 복합제품의 성형상태 및 물리적성질에 관한 제반실험이 있어야만 종합적인 평가가 가능할 것으로 판단되었다.

따라서 우선, 일정한 열압조건상에서 각종 원료배합비율 조건에 따른 접착성능의 조건을 검토할 필요성이 있다. 왜냐하면 현재까지의 연구결과, 고무의 접착성능은 폴리우레탄접착제가 아니고서는 그 효과를 기대하기가 어렵고, 따라서 본 복합보드의 제조에 있어서 가장 절실한 부분이다. 이 부분이야말로 현장에로사항으로서 현재 산업체에서 실질적으로 생산단가를 낮추는 방법은 폴리우레탄 접착제의 사용량을 줄이는 것이라 할 수 있다. 고가의 접착제의 손실을 줄이거나 원료배합비율 등을 적절히 조정함으로써 최적의 접착방법을 강구하는 것이 본 연구의 가장 중요한 부분이라해도 과언이 아니다.

따라서 각 실험 샘플을 작성하는 과정에서 접착전후의 투입량 및 손실량 등을 조건별로 검토하여, 경제적 이득을 취할 수 있는 최적의 제조조건을 찾아야 한다. 아래 표7-1에는 열압조건과 복합보드성형상태의 시험결과 일부 정리하여 나타내었다. 실험결과, 사용상 문제가 없을 것으로 판단되는 성형상태는 표에서 ○의 범위이며, 공장생산 라인에서 있어서는 열압체시간을 단축하는 것이 바람직하기 때문에, 열압온도는 폴리우레탄수지의 적정경화온도인 120℃, 열압시간은 10분간(4분→3분→3분간 3단계 연속가압)이 적당하다고 판단되며, 그외의 적당한 조건하에서도 가능하다고 하겠다.

Table 7-1. Appearance state of composite board in various hot-pressing conditions.

Press temperature (°C)	Hot pressing time (min)				
	6	8	10	15	19
80	×	×	△	○	○
90	×	△	○	○	○
100	△	○	○	◎	△
120	○	◎	◎	△	△
140	○	○	△	△	×
160	△	△	△	×	×

Note) Mark means appearance state of board surface ×: inferior goods and can not usable, △: some defects such as surface check, ○: no problem goods, ◎: proper state.

여기서 열압온도를 다르게 할 경우, 가령 120℃보다 높은 150℃에서 열압을 하여, 폴리우레탄 접착제의 경화온도가 120℃인 점을 감안, 보다 치밀한 보드가 얻어질 것인가에 대하여 검토하였다. 왜냐하면, 열판온도를 120℃로 세트하면 실제 가압시에 있어서 보드내의 온도는 중심층과 표층에 있어서 온도경사가 생길 것으로 예상되며 120℃보다 낮은 온도에서 경화될 것으로 예상했기 때문이다. 온도를 상승시킨 반면, 압체압력은 전회와 동일한 조건으로 하되 압체시간을 40kg-4min→15kg-3min→5kg-2min으로 조정하여 실험을 실시하였다. 이번에는 온도센서(K-type)를 보드의 양쪽표면과 중심층, 두께의 1/4지점되는 곳의 중앙부분에 설치하여, 열압개시와 동시에 10초 간격으로 보드 4부분에 있어서 온도의 경시변화를 Daytronic社의 계측기를 사용하여 컴퓨터로 기록하였다(그림8-1참조).

처음 2회(1회는 목재핀칩 小, 2회째는 핀칩 大)는 stop bar없이 압체조건  
 만으로 실험을 실시하여 본 압체조건에 의해 어느정도의 두께가 얻어지는지  
 를 조사하고, 그다음 2회(1회는 목재핀칩 小, 2회째는 핀칩 大)는 1.2cm두께  
 의 원형 stop bar를 사용하여 첫 번째와 동일함 압체조건으로 실험을 실시  
 하였다. 두조건 모두에 있어서 열압과정에 있어서의 보드의 온도변화를 계  
 측하였다. 실험결과를 다음과 같이 요약할 수 있다. ①목재칩은 크기의 대소  
 에 관계없이 단독이든, 고무와 같이든 잘 용화되어 압밀화되고 표면이 평활  
 하게 이루어짐이 stop bar의 유무에 상관없이 확인되었으며, 두께는 stop  
 bar가 없는 경우는 0.9-1.0cm정도였으며, stop bar로써 얻어지는 보드의 밀  
 도조절이 어느 정도 가능함이 입증되었다. ②150℃의 고온이라도 복합판재  
 이탈후, 압체온도 상승으로 인한 상판과 하판 프레쓰에 부착함으로 뜯어지  
 는 현상은 발견할 수 없었다. 즉, 압체온도가 높으면 압체시간을 짧게 하고,  
 반면에 압체온도가 수지경화가 이루어질 수 있는 최소한의 온도라도 압체시  
 간을 길게 하면 목질계고무 복합판재의 성형문제는 크게 어려움이 없을 것  
 으로 기대된다. ③150℃, 9분간(40kg-4분, 15kg-3분, 5kg-2분)의 압체시간으  
 로 압체한 경우에도 120도 40kg-4분, 15kg-3분, 5kg-3분 처리한 경우와 마  
 찬가지로 목재칩은 다소에 관계없이 평활한 면을 이루고 있으나 고무는 돌  
 출되어 있는 면이 많았다. 그러나 제일 처음으로 실시한 실험에서는 120도,  
 40kg-5분, 15kg-5분, 5kg-5분의 3단계 열압의 경우, 고무의 평활도는 매우  
 우수하였다. 단지 열압시간이 길었던지 이형체가 부족한 탓이었는지 열판에  
 보드가 붙어 이탈되지 않았던 점만이 결점이었다. 그러나 접착체가 많이 도  
 포된 부분은 접착력향상으로 인해 고무, 목재칩에 관계없이 표면이 평활하  
 게 마무리되었다.

따라서 고무칩이 많은 적게 몰린 부분이든 고무끼리의 접착, 용화성 발  
 휘 및 보드표면의 평활함을 위해서는 고온, 고압, 장시간압체, 다량의 접착

제 중에서 경제성을 고려하여 압착결정 조건을 고려할 필요가 있다고 생각 되었으며, 접착전후에 있어서 접착제의 실효량 및 접착제로스분을 검토하는 것이 경제성문제에 직결되는 것으로 생각되었다.

최적제조공정을 요약하면 후술의 제8장의 재질특성 검토결과, 열압온도 125℃, 3단계 열압압력 45kgf/cm<sup>2</sup>→20kgf/cm<sup>2</sup>→5kgf/cm<sup>2</sup>, 이때 가압시간은 4분→3분→3분의 전체가압시간 10분이면 양호하다고 판명되었다. 그러나 양호하다는 판단은 이 조건에서 만든 제품의 강도특성이 가장 강하다는 의미는 아니며, 수분에 대한 흡수성능 등을 고려하였으며, 물론 이 조건보다 강한 조건에서도 물론 가능하며, 에너지 효율 등의 경제적인 인자를 고려해 볼 때 이 조건이 타당하고 판단되었고, 특히 다단계 열압시스템이 아니더라도 일정 열압조건이상만 되면 고무칩과 목재칩의 복합화는 무난한 것으로 판단되었다. 단, 이 경우에 있어서 접합제인 폴리우레탄 접착제의 사용이 불가피하다는 것이 현재의 문제점이며, 장래적으로 보다 값싼 접착제의 모색이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

고무칩과 목재칩 복합보드의 제조방법에 있어서 보드블록 등의 단순한 바닥재 시공용의 제조공정(그림7-1 참조)과 집단주택지인 아파트나 가정주택에 있어서 소음방지와 온수보일러를 고려한 바닥재 시공용의 제조공정(그림7-2 참조)은 다음과 같이 요약할 수 있다.

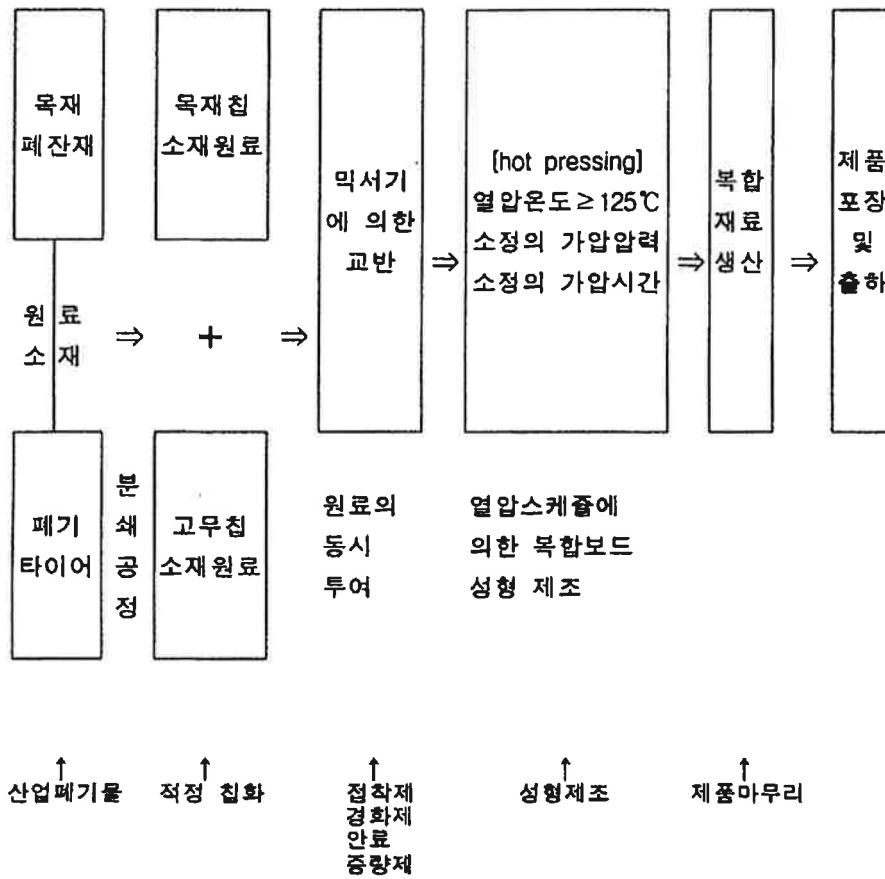


그림 7-1. 단순바닥재 생산을 위한 목재폐잔재 및 페타이어 소재를  
원료한 복합보드 제조공정 flow chart

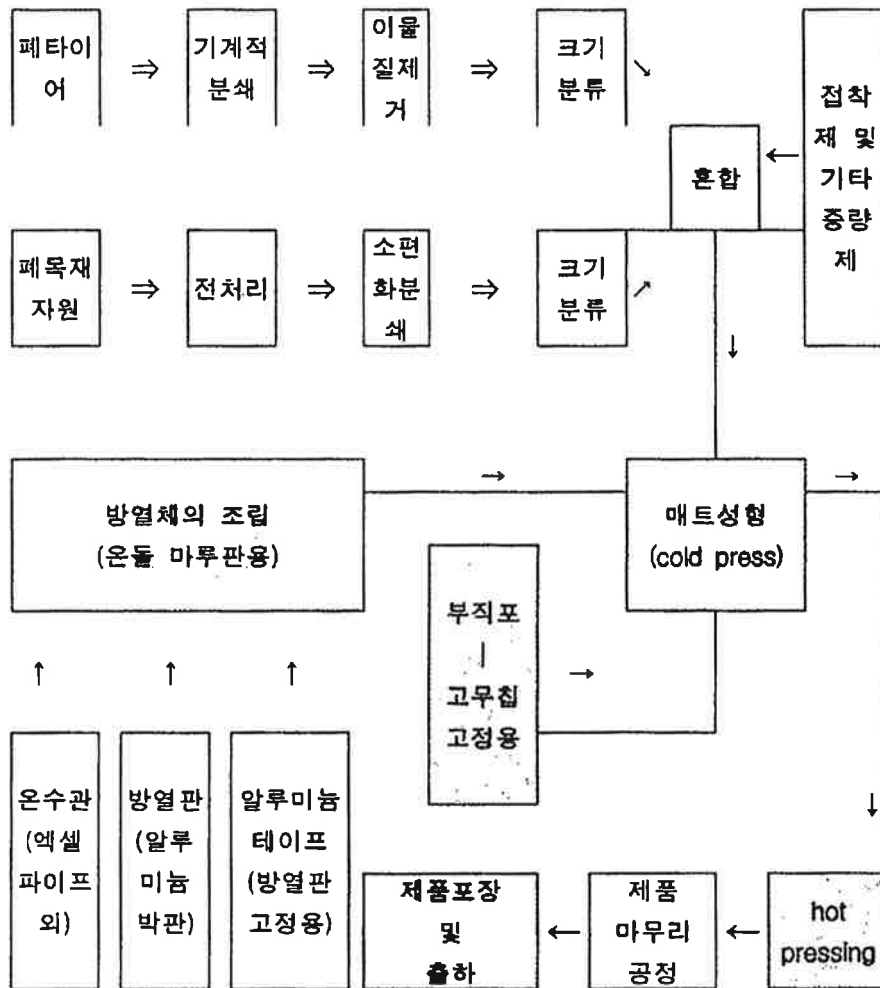


그림 7-2. 온수 보일러 바닥재 생산을 위한 목재폐잔재 및 페타이어  
 소재를 원료한 복합보드 제조공정 flow chart

## 2.2 목질 폐잔재의 적정칩화 공정

목재원료인 간벌소경재 등의 임지폐잔재 및 건설현장 등의 생활쓰레기로 부터 배출되는 건축폐잔재의 적정 칩화방법에는 독자적 장치가 필요하다.

특히 이들 원료목재의 경우에는 못 등의 이물질이 포함되어 있기 때문에 이물질 제거방법 등과 관련한 적정 칩화 기술이 요구되는 항목이다.

고무칩원료인 페타이어는 현재로서는 이용할 수 있는 고무의 종류제한으로 인하여 일반 승용차 타이어는 이용할 수 없으며, 화물차, 버스 등의 대형 타이어를 분쇄하여 이용함에 있어서 타이어의 인성향상을 위해 주입한 철심이 적정크기의 칩화에 장애요인으로 작용하고 있다. 따라서 목재 및 고무의 물리적 성질이 완전히 다른 관계로 이들의 적정 칩화기술에는 독자적인 장치가 필요하다. 목재의 분쇄기술은 일반 파티클공장에서 많이 사용하고 있는 분쇄법으로서, 타이어의 분쇄기술은 기계적 분쇄법 및 냉동분쇄법이 있으나 냉동분쇄법은 코스트문제로 사용되고 있지 못하고 기계적 분쇄법을 이용하여 전술한 바와 같이 제조하고 있다.

이들 목재와 고무칩 원료속에는 철판, 플라스틱, 못 등의 이물질이 다량으로 포함되어 있기 때문에 이들 이물질을 제거할 필요가 있다. 이들의 제거방법에는 바람에 의한 선별(風選)방법, 원료의 질량에 의한 선별(比重選)방법, 마그네트방식의 세가지로 크게 나눌 수 있는데, 이 중에서 작업의 능률면에서 비중에 의한 선별법이 가장 타당성이 있으며, 이 방법에 의하면 이물질은 거의 완전히 제거된다.

목재칩의 함수율조정은 복합보드의 제조후의 함수율을 10%전후로 조정할 목적으로 원료칩단계에서 약 4%전후로 조정하였으며, 이들 목재칩의 함수율이 사용접착제의 종류에 따라, 예를들면 이소시아네이트계와 같은 습기경화형 type일 경우, 접착제의 경화조건을 안정화시키는데 있어서 함수율의 조정은 매우 중요하므로 일정함수율을 유지할 필요가 있다.

### 2.3 목재칩과 고무칩의 혼합공정

목재칩과 고무칩의 혼합 및 접착제와의 혼합은 세가지 원료요소를 동시

에 batch에 투입하여 혼합하였다. 실험실단위에서는 일반 밀가루 반죽기인 호바트 mixer기를 이용한 결과, 이들 원료의 혼합은 비교적 쉽게 이루어짐을 알 수 있었다. 폴리우레탄수지 접착제를 사용할 경우, 산업체에서 이용할 경우 1회 투입용량은 비교적 크게 해도 큰 문제는 없을 것으로 사료된다. 왜냐하면 혼합 투입용량은 접착제의 경화속도를 고려하여, 목재칩의 초기함수율과 접착제의 경화형태에 따라 다양하게 조정할 수 있을 것이기 때문이다.

#### 2.4 성형공정

매트의 성형에는 수작업으로 하였으며, 현재 대부분의 일반 산업체에서도 열악한 환경속에서 수작업으로 성형하고 있는 것이 일반적인 현상이다. 그러나 고무칩과 목재칩의 복합보드의 용도개발 및 소비활로가 개척된다면 그 생산량을 증가시키기 위해서는 성형의 자동화가 장래적으로 필요하게 될 것이다. 고무칩과 목재칩을 혼합함에 있어서 가장 큰 문제점이라고 할 수 있는 것은 이들 두 원료의 비중이 너무나 차이가 크기 때문에 균일한 성형을 하기가 매우 어렵다는 것이다. 특히 생활쓰레기 중 슈레더한 종이류 등과 혼합할 경우에 종이는 상당히 bulk한 관계로 고무칩이 그 사이를 흘러내려서 두 원료가 균일하게 배합된다는 것은 거의 불가능하다고 밖에 볼 수 없다.

따라서 고무원료의 입자상의 형태 및 탄력성 등을 고려할 때, 성형틀(molder)이 반드시 필요하며, 이 경우 금형몰더 형태는 성형매트를 열압하는 경우에 보드의 두께부분이 외부에 보이지 않도록 설계해야 한다. 또한 성형시에는 먼저 매트를 만들기 전에 몰더의 표면에 부직포 등을 깔아서 원료입자의 이탈을 기계적으로 제한할 필요가 있다.



## 2.5 열압공정

성형틀에 잘 혼합된 원료입자를 목표로 하는 비중만큼 넣은 후, 그 위에 부수적으로 부직포 등의 재료를 덮은다음, 전술한바와 같이 열압온도 125℃ 이상, 압력 45→20→5kg/cm<sup>2</sup>, 가압시간 10분이상의 다단계프레스로서 압제한다. 이 경우에 있어서 열압조건은 고정된 것이 아니며, 일정조건 이상의 온도, 압력, 가압시간이면 어떤 조건에서도 제조상의 문제점이 크게 나타나지 않는다고 할 수 있다. 물론 원료입자의 형태, 즉 칩의 길이와 굵기 비율인 세장비 등의 요소 및 접착제의 특성, 원료칩의 초기함수율상태 등 관련되는 인자가 많이 있지만, 고무와 목재칩원료에 의한 복합보드의 용도나 강도는 일반재료와는 비교할 수 없는 것이고, 폐자원의 효율적인 활용측면에서 재이용하는 것이기 때문에 복합재의 제조가능성 그 자체가 큰 의미가 있는 것으로서, 앞으로 재생원료로서의 고무가 창출이 기대되는 항목이라고 판단된다.

즉 일례로서 제품의 수요를 아파트건축의 바닥재료로 사용한다면, 아래 위 층간의 소음방지와 쿠션성능, 폐자원의 리사이클에 의한 기대효과는 사회경제적으로 매우 크다고 할 수 있기 때문이다. 이를 위해서는 앞으로 용도개발과 그 적용성능 평가가 이루어지고 일반국민의 인식제고 및 홍보가 필요하다고 할 것이다.

## 2.6 제품의 마무리공정 및 출하

제조된 제품의 외관상태 등을 검사하고, 용도별로 포장하여 출하한다.

## 제 8 장 제품의 물리적성질 및 특성 조사

복합보드의 물리적성질은 먼저 다양한 조건하에서 제조한 복합보드의 비중, 함수율, 열압체시 제조보드 내부의 온도분포, 흡습성, 수축·팽윤율 등의 조사항목을 들 수 있다.

### 제 1 절 증량비가 일정한 경우에 있어서 재질특성

#### 1) 실험방법

본 보고서에 있어서 행한 실험항목은 한국공업규격에 제정된 목재시험방법 룡칙(KS F series)에 의거하였다. 먼저 기건비중은 5장에서 전술한 표5-2의 열압조건으로부터 제조한 공시재료로부터 측정하고, 함수율은 뿔시험이 끝난 동시에 증량을 측정한 후, 건조기에 넣어 전건법에 의해 산출하였다. 뿔시험 조건은 하중속도 3mm/min, 스펠길이 150mm이며, 만능강도시험기(HOUNSFIELD Co.)로써 중앙집중하중을 가하여 실행하였다. 상태시험과는 별도로 수분침지 후의 함수율, 휨강도, 단위함수율당의 보드의 두께와 폭부분의 평균수축율 및 전수축율, 팽윤율 등을 구하였다.

비중(Specific gravity) = 증량 / 체적

단, 무차원이나 계산단위는  $g/cm^3$ 이다.

함수율(Moisture Content, %) = (측정시의 질량-전건질량)×100 / 전건질량

전수축율(Shrinkage, %) =  $(l_g - l_o) \times 100 / l_g$

평균수축율(Delta, %) =  $(l_a - l_o) \times 100 / (n \times l)$

팽윤율(Swelling, %) =  $(l_s - l_o) \times 100 / l_o$

여기서 생재, 기건상태, 전건상태, 수분을 주입한 포수상태시의 표점간 길이  $l_g, l_a, l_o, l_s$ 이며,  $n$ 은  $l_a$ 를 측정한 때의 함수율,  $l$ 은 함수율 15%일때의 표점간 거리로서,  $l_a$  및  $l_o$ 를 이용하여 다음식으로 산출한다.

$$l = l_0 + 15 \times (l_a - l_0) / n$$

또 휨시험에 있어서 자료의 처리는 단면형상을 장방형단면으로 하여 측정된 하중과 변형율의 S-S선도로부터 휨강도 및 휨탄성계수를 다음식으로 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{휨강도(Modulus of rupture, MPa 또는 kgf/cm}^2\text{)} \\ = Pl / 4Z \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{휨탄성계수(Modulus of elasticity, MPa 또는 kgf/cm}^2\text{)} \\ = \Delta Pl^3 / (48I\Delta y) \end{aligned}$$

여기서 P : 최대하중(N 또는 kgf), l은 스패길이(span, mm), Z는 단면계수(=bh<sup>2</sup>/6, mm<sup>3</sup>), b,h는 단면의 폭과 높이(mm), I는 단면2차모멘트(=bh<sup>3</sup>/12, mm<sup>3</sup>), ΔP : 비례영역에 있어서 상한하중과 하한하중과의 차(N 또는 kgf), Δy : ΔP에 대응하는 스패중앙부위의 변형량(mm).

그외의 압축하중등의 수직응력은 단면에 가해지는 최대하중을 단면적으로 나눈 값으로 산출하였다.

## 2) 결과 및 고찰

### 2.1 열압시 매트내부의 온도분포 및 경시변화

목재-고무계 복합보드의 제조과정에 있어서 보드내부 온도분포의 경시변화를 측정하였다. 그림8-1에는 열압체시의 보드의 표면(번호1,5)과 뒷면(번호4,8), 중심층(번호3,7)과 보드두께의 1/4(번호2,6)에 해당하는 곳에서의 온도를 열전대(K-type)와 데이터로그(Data Aquisition System)에 의해 시간에 따른 변이를 관찰하였다. 표면층의 온도는 열압체와 동시에 거의 순간적으로 상승하여 설정온도에 가까워지지만, 중심층으로 갈수록 온도상승속도는 매우 느리며, 열압체가 끝나는 시점까지도 표층부의 온도에는 도달하지 못함을 잘 알 수 있다. 따라서 내부중심층의 접착제경화를 위한 실압체시간은 설정한 압체시간보다도 더 많이 소요됨을 추정할 수 있으며, 폴리우레탄

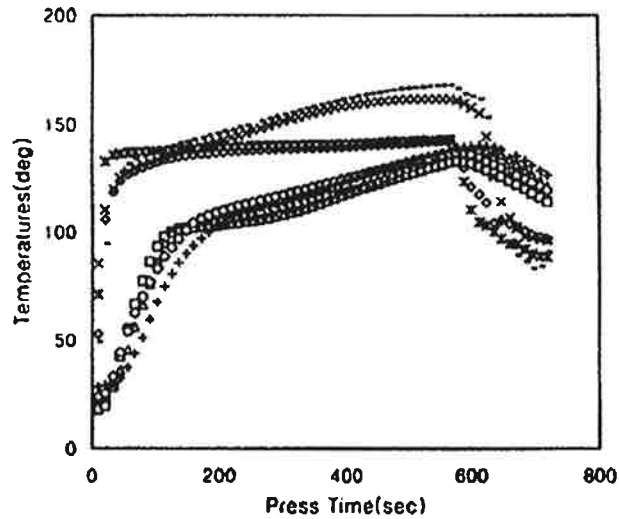
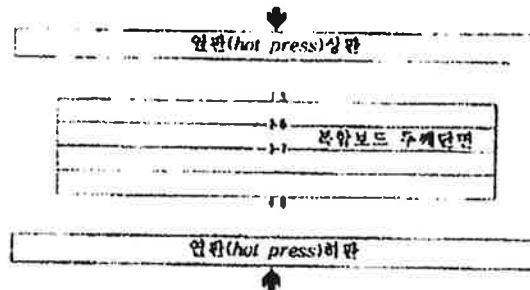


Fig. Temperature Variations in Hot-Pressing Manufactures of Composite Board.

○ 1   □ 2   △ 3   × 4   \* 5   ◇ 6   + 7   - 8

(참조) 열압프레시공정에 있어서 온도유입을 위한 배드보드의 온도전시 위치



(주)번호1:도상판과 김속부분(보드의 뒷면), 2:5.상판으로부터 보드두께의 25%부분, 3:7.상판으로부터 보드두께 50%부분(보드의 중심중부분), 4:8.하판과 김속부분(보드의 앞면)의 온도

Fig.8-1 Temperature variations in composite board for hot-pressing manufactures.

수지의 경화온도가 120℃가 적당하다고 한다면 내부가 그 온도에 도달한 시점을 기준으로 열압스케줄을 설정할 수도 있을 것이다.

## 2.2 중량비 1:1인 경우에 있어서 기건상태시의 비중과 함수율

표8-1에는 복합보드 제조시의 열압조건과 제품의 함수율 및 비중을 기건상태와 24시간 증류수 흡수후의 습윤상태별로 나타내었다. 먼저 상태시험편을 보게 되면, 복합보드 각 시편의 기건함수율 존재범위는 1.8~3.4%였으며, 목표 비중은 0.7이었으나 실제로 측정된 비중은 0.559~0.708의 범위로 나타났다. 이렇게 편차가 나타나는 원인은 고무칩의 비중이 목재에 비해 현저하게 크기 때문에 열압전 매트성형시에 고무칩이 목재칩과 고르게 분포하지 않기 때문에 생긴 것으로 판단되었다. 압체시의 응력완화를 고려하여 가압압력의 크기를 3단계로 다르게 하였으나(예를 들면, 35→15→5kg/cm<sup>2</sup>로부터 55→15→5kg/cm<sup>2</sup>까지) 동일 가압시간에 있어서 비중과 함수율간에는 큰 차이를 볼 수 없었으며, 가압시간 역시 3단계로 하였으나 가장 짧은 7분(3→2→2분)과 가장 긴 19분(7→6→6분)의 모든범위에 있어서 비중과 함수율에 차이점을 발견할 수 없었다. 이것은 주어진 목재와 고무칩의 원료조건에만 의존하는 것으로 열압조건은 복합보드의 기건상태시 함수율과 비중에는 전혀 영향하지 못함을 나타내는 것이라 생각된다. 또한 목재와 고무의 중량비율이 1:1로써 수분흡수에 관여하는 다공질체인 목재의 함유량이 모든 복합보드에 있어서 똑 같기때문에 전 조건에서 함수율과 비중에는 차이가 없는 것으로 생각되었다.

Table 8-1. Moisture contents(MC) and specific gravities(SG) in various hot pressing conditions.

		Conditions of hot-press pressure (3-steps, kg/cm <sup>2</sup> )													
Press time (3-steps, min)	35→15→5		45→15→5		45→20→5		45→20→10		45→20→15		45→30→5		55→15→5		
	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG	MC	SG	
3→2→2'	2.7	0.679	3.1	0.664	3.4	0.635	2.8	0.587	2.7	0.615	2.7	0.630	2.8	0.656	
S.D.	0.1	0.067	0.3	0.067	0.5	0.047	0.4	0.023	0.5	0.016	0.1	0.012	0.2	0.025	
4→3→3'	3.1	0.611	2.7	0.702	2.5	0.669	2.5	0.649	3.1	0.559	3.4	0.640	2.3	0.649	
S.D.	0.2	0.027	0.1	0.069	0.5	0.065	0.2	0.036	0.3	0.032	0.2	0.031	0.5	0.036	
5→5→5'	2.2	0.638	2.9	0.625	2.5	0.637	2.4	0.656	2.4	0.624	1.8	0.664	2.7	0.656	
S.D.	0.2	0.031	0.1	0.017	0.3	0.013	0.3	0.014	0.1	0.022	0.9	0.026	0.1	0.009	
7→6→6'	3.1	0.632	3.0	0.631	2.6	0.668	2.5	0.689	3.5	0.708	2.7	0.661	2.9	0.67	
S.D.	0.3	0.009	0.2	0.013	0.1	0.035	0.1	0.032	2.5	0.073	0.2	0.050	0.2	0.018	
3→2→2''	76.0	1.178	66.3	1.117	69.4	1.095	58.1	1.102	67.3	1.072	63.3	1.144	59.8	1.099	
S.D.	8.7	0.024	10.7	0.066	4.1	0.025	6.6	0.065	5.7	0.061	10.4	0.035	2.4	0.013	
4→3→3''	66.5	1.135	51.3	1.187	60.5	1.182	51.2	1.144	49.7	1.136	56.3	1.181	53.7	1.164	
S.D.	2.0	0.016	12.9	0.055	10.1	1.136	4.8	0.46	2.7	0.028	3.6	0.031	3.9	0.085	
5→5→5''	73.4	0.934	61.2	0.864	60.7	0.865	69.3	0.900	61.3	0.909	57.7	0.889	54.8	0.902	
S.D.	5.9	0.036	2.5	0.065	3.7	0.015	5.7	0.046	6.4	0.018	3.6	0.018	8.4	0.037	
7→6→6''	66.3	0.908	68.6	0.943	55.1	0.918	53.5	0.918	50.5	0.924	63.2	0.920	60.1	0.915	
S.D.	5.2	0.024	6.9	0.070	5.9	0.031	8.2	0.026	7.7	0.023	10.0	0.029	5.6	0.022	

(Note) \*: air-dry conditions, \*\*: wet conditions after 24 hours absorption in distilled water, S.D. : standard deviation.

표8-1로부터 35→15→5kg/cm<sup>2</sup>와 45→20→5kg/cm<sup>2</sup>의 조건을 제외하면, 함수율이 전체적으로 가장 낮은 가압시간조건은 4→3→3분이며, 이때의 비중 또한 가장 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 목재는 가압압력의 영향보다는 가압시

간에 의해 기초물성의 변화가 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 기존의 관련 연구결과를 참고해 볼때, 전체 가압시간 10분의 열압스케줄에 있어서 목재 구성성분인 셀룰로스와 헤미셀룰로스가 열처리에 의한 수분흡착표면의 소수화 및 리그닌의 용출에 의한 표면피복효과 등에 의해 수분의 흡수가 다른 가압시간대에 비하여 현저하게 늦어졌음을 추정할 수 있다. 따라서 이 결과들로부터 열압스케줄에 있어서 가압시간은 4→3→3분이 가장 적당한 복합보드 제조조건임을 확인할 수 있었다. 목재칩의 수분흡수에 의한 복합보드재료의 수축과 팽윤현상은 재료의 성능저하를 불러일으키므로 치수안정화를 위한 제조공정의 도출은 극히 중요한 사항이라 할 수 있다. 또 그림8-2에 기건비중과 가압시간에 따른 제조보드의 함수율의 관계를 플롯하였다. 앞에서 논한 내용과 같이 목표비중 부근에서 넓게 분포하고 있음을 알 수 있는데, 이는 열압압력의 차이에서 오는 원인으로 생각되었다. 전체적으로 비중과 함수율간에는 일정 상관관계는 보이지 않으며 열압시간에 의한 변이도 보이지 않았다. 그러나 시험편을 증류수에 24시간 흡수시키는 경우와 같은 습윤상태시에 있어서는 이와는 다른 결과를 나타내고 있다. 전체조건에 있어서 함수율의 분포범위는 49.7%(45→20→5kg/cm<sup>2</sup>, 4→3→3분)~76.0%(35→15→5kg/cm<sup>2</sup>, 3→2→2분)로서 약 26%라는 큰 차이가 있다. 따라서 수분을 흡수한 양만큼 중량의 변화 때문에 비중도 크게 변화하고 있으며, 전체적으로 0.86(45→15→5kg/cm<sup>2</sup>, 5→5→5분)~1.19(45→15→5kg/cm<sup>2</sup>, 4→3→3분)의 범위로서, 그 차이는 큰값의 약 30%, 작은값의 약 40%에 해당한다. 즉, 이런 차이점은 고무칩과 목재칩의 원료비율이 같은 점을 생각하면 열압공정에서 생긴 것으로 생각된다. 여기서 가압온도가 접착제 경화시간인 125℃로 일정하기 때문에, 열압압력과 가압시간이 수분흡수후의 물성변화의 근본원인이 됨을 추정할 수 있다. 수분의 흡수는 고무칩에서는 거의 일어나고 있지 않은 점을 미루어 볼 때, 다공질유기체인 목재칩의 열과 압력에 대한 상호작용을

생각해 볼 수 있다. 또 그림8-3에 기건비중과 24시간 상온의 증류수에 침지한 후의 함수율과의 상관관계를 플랫폼하였다. 기건비중이 클수록 침지후의 함수율은 직선적으로 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 미묘한 차이이지만 고무칩양의 편차에 의한 것으로서, 수분이 흡수되는 부분은 고무칩 보다는 다공질의 목재칩이므로 목재칩의 양이 많은 저비중의 시편에서 높은 함수율을 나타낸 것으로 생각되었다. 따라서 여기서 수분흡수량은 원료칩의 배합비율이 열압조건의 영향보다 크게 나타난 것으로 보이며, 함수율과 비중의 조절은 원료칩의 배합비율로써 어느정도 조정할 수 있음을 판단할 수 있었다.

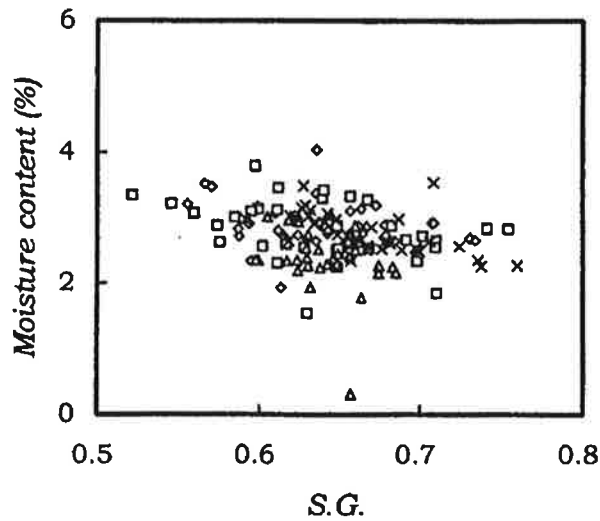


Fig.8-2 Relationship between specific gravity(SG) in air dry and moisture content of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min



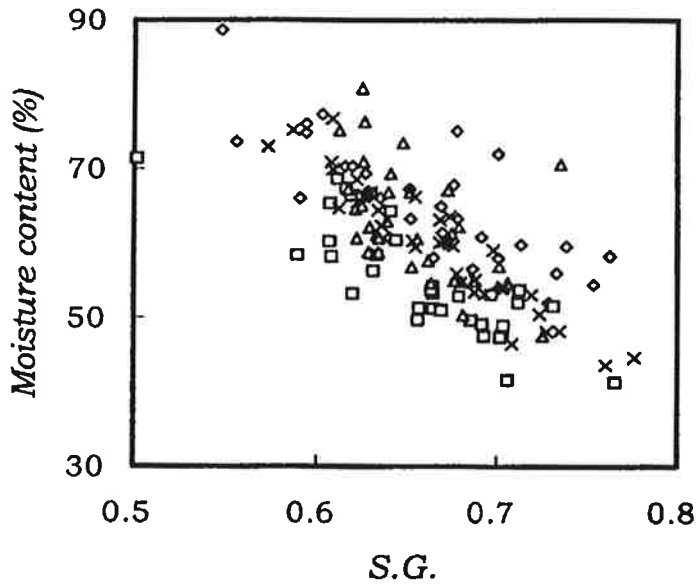


Fig.8-3 Relationship between specific gravity(SG) in air dry and moisture content after 24 hours water absorption of rubber-based wood panels.  
 Legend : Press time(3-steps, min.)  
 ◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

### 2.3 열압조건에 의한 기계적성질

표8-2에 시편 제조시의 가압시간, 가압압력 및 휨강도에 대한 상관 관계를 평균값으로 정리, 요약하였다. 그림8-4에는 기건상태시 휨시험결과를 가압압력에 대한 휨강도의 크기를 가압시간별로 도식화하였으며, 그림8-5에는 습윤상태에서의 휨강도가 상태시험에 비하여 매우 낮은 값을 나타내었기에 비교하는 의미에서 열압조건에 대한 습윤후의 휨강도값으로 나타냈다. 그림 8-4과 표8-2에서 기건상태시의 휨강도는 가압시간 3→2→2분, 가압압력 45→20→5kgf/cm<sup>2</sup>에서 가장 높은 값을, 가압시간 5→5→5분과 가압압력 45→20→10kgf/cm<sup>2</sup>에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 그리고, 전체적으로 7→6→6분에서는 프레스 압력조건 모두에 있어서 휨강도가 다른조건보다 크며, 변화도 없다.

Table 8-2. Modulus of ruptures(MOR) in various hot pressing conditions by bending test.

Modulus of rupture (kgf/cm <sup>2</sup> )							
Press time (3-steps, min)	Conditions of hot-press pressure(3-steps, kg/cm <sup>2</sup> )						
	35→15→5	45→15→5	45→20→5	45→20→10	45→20→15	45→30→5	55→15→5
3→2→2'	17.34(3.47)	11.50(2.45)	27.03(3.47)	10.81(0.2)	14.48(3.06)	10.10(2.45)	16.63(2.45)
4→3→3'	16.12(1.22)	12.75(3.98)	11.63(4.79)	13.97(1.84)	10.91(5.71)	13.97(2.55)	12.75(4.49)
5→5→5'	11.32(2.24)	12.75(3.77)	12.55(3.67)	10.00(0.53)	10.20(4.49)	12.65(3.06)	14.99(1.73)
7→6→6'	15.20(1.63)	14.79(0.73)	11.75(2.55)	17.65(2.24)	19.58(7.04)	11.42(1.33)	14.59(2.14)
3→2→2''	5.71(0.41)	5.81(1.94)	6.12(0.92)	7.34(1.43)	5.00(0.61)	5.61(1.2)	6.12(0.82)
4→3→3''	5.71(0.82)	4.49(1.33)	4.59(1.63)	10.81(3.26)	10.30(11.2)	4.90(1.53)	7.85(2.55)
5→5→5''	5.81(0.41)	6.16(1.33)	7.14(1.73)	5.61(0.71)	6.02(0.61)	7.24(0.82)	6.63(0.41)
7→6→6''	5.92(3.16)	7.24(2.65)	4.49(0.82)	7.04(2.65)	6.73(1.73)	4.79(1.84)	5.30(2.45)

(Note) \*: air-dry conditions, \*\*: wet conditions after 24 hours absorption in distilled water. The parentheses indicate standard deviations.

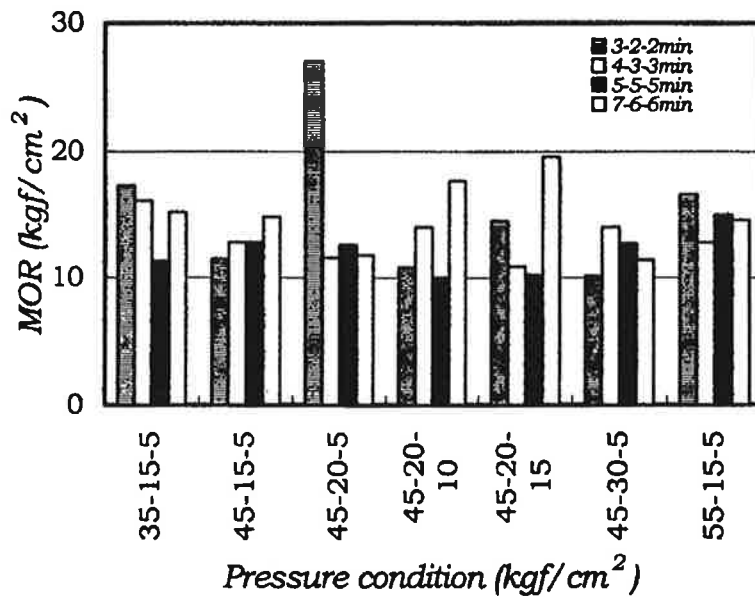


Fig.8-4 Relationships between hot-pressing pressure conditions and modulus of rupture(MOR) in air dry conditions. Legend : Press time(3-steps, min.)

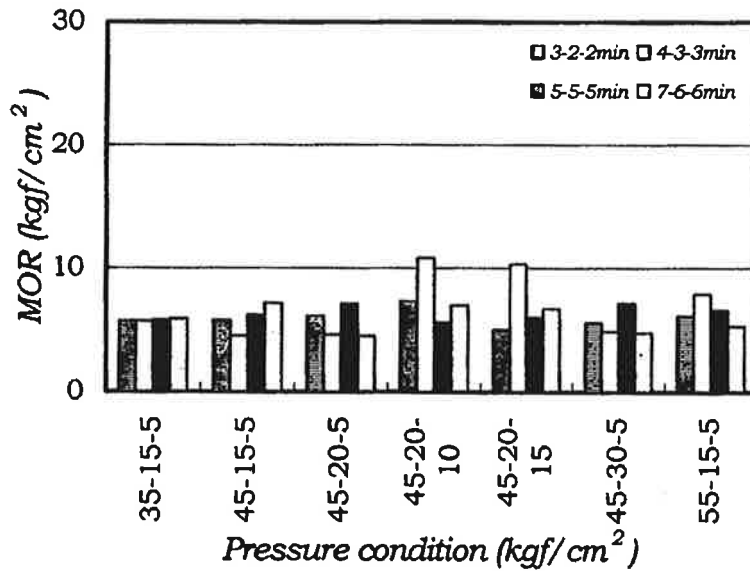


Fig.8-5 Relationships between hot-pressing pressure conditions and modulus of rupture(MOR) in bending test after 24 hours water absorption.  
Legend : Press time(3-steps, min.)

그 반면 5→5→5분에서 전체적으로는 고른분포를 나타내나 다른 시간대와 비교해서 낮은 것으로 나타났고, 3→2→2분에서는 프레스조건에 따라 변화의 폭이 크다. 또한 가압압력을 시기별로 검토해 보면 초기압력이 35kgf/cm<sup>2</sup>에서, 중기압력은 20kgf/cm<sup>2</sup>에서, 말기압력은 5kgf/cm<sup>2</sup>일때 파괴계수가 가장 크나 전체적으로 조건별 큰 편차는 보이지 않는다. 이 표로부터 복합보드의 휨강도는 3→2→2분의 45→20→5kgf/cm<sup>2</sup>의 조건이 가장 좋은 것으로 나타났다.

그림8-5과 표8-2로부터 습윤상태시의 휨강도에서는 열압조건에 상관없이 기건상태의 시험결과에 비하여 모두 매우 낮은 값을 나타냈다. 기건상태 시험결과는 가압압력과 가압시간에 휨강도의 변이가 매우 크게 나타났지만, 습윤성시험에서는 말기압력 10kgf/cm<sup>2</sup>, 15kgf/cm<sup>2</sup>인 경우의 3단계 가압시간 3분→2분→2분을 제외하면 휨강도의 크기는 약 5~6kgf/cm<sup>2</sup>의 균일한 값을

보이고 있다. 이것은 다양한 가압압력과 가압시간에 관계없이 재료가 수분을 일단 흡수하게 되면 재료구성요소인 고무칩과 목재칩의 내부결합력이 현저하게 저하됨을 추정할 수 있다. 특히 고무와 목재는 성질이 매우 다른 이종재료인 관계로 수분에 의한 결합력의 저하는 필연적이며, 흡수성 재료인 목재칩 원료의 흡수에 의한 팽윤으로 원료간의 결합은 약해질 수밖에 없을 것으로 생각된다. 따라서 고무와 목재 복합보드재료는 폴리우레탄계의 접착제를 사용하는 경우에 있어서는, 수분이 존재하는 습윤상태에서의 사용은 부적당한 것으로 판단되었다. 또한 휨성능은 일반 목재나 목질판상재료에 비하여 고무칩의 영향으로 매우 낮고, 전술한 수분에 대한 취약성때문에 외장재보다는 내장재로서, 휨작용을 받는 곳보다는 압축작용을 받는 곳에 사용함이 타당성있는 재료로써 타당성이 있지 않나 생각되었다.

그림8-6에는 기건비중과 휨강도와와의 상관을 나타냈다. 3단계 열압시간인 3→2→2분, 4→3→3분인 경우에 약간의 편차가 보이긴 하지만, 전체적으로 비중과 파괴계수간에는 정의 상관을 나타내며, 전체 열압시간이 길어질수록 파괴계수는 뚜렷한 정의 상관을 나타내었다. 표8-3에는 각 가압시간 및 가압압력에 대한 휨탄성계수(MOE)의 평균값을 계산하여 정리 요약하였다. 이 표로부터 기건상태시의 탄성계수는 전체적으로 가압시간 7→6→6(분)의 경우가 모든 가압압력조건에 있어서 가장 큰 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 탄성계수는 하중에 대한 변형의 저항성인 점을 생각해 볼 때, 단시간 가압하는 경우보다 장시간 가압하는 경우에 있어서 탄성계수도 크게 나타났다. 따라서 고압의 장시간 열처리가 성형매트원료간의 내부결합력과 재료의 강성향상에 어떤 영향을 미친 것으로 추정된다. 24시간 수분에 침지한 후의 탄성계수는 가압시간과 압력조건에 있어서 특정한 경향은 보이지 않았다. 이것은 습윤에 의해 고무칩과 목재칩 원료간의 결합력약화에 의해 복합보드의 하중에 대한 저항력이 제조조건에 관계없이 급격하게 떨어진 것에 기인

하는 것으로 생각된다. 파괴계수와 마찬가지로 여기서도 가압시간 3→2→2(분), 가압압력 45→20→5(kg/cm<sup>2</sup>)에서 휨탄성계수의 값이 가장 크게 나타났고, 가압시간 3→2→2(분), 가압압력 45→20→15(kg/cm<sup>2</sup>)에서 가장 낮게 나타났다. 가압조건별로 초기압력 55(kg/cm<sup>2</sup>), 중기압력 20(kg/cm<sup>2</sup>), 말기압력 5(kg/cm<sup>2</sup>)의 압력일 때 가장 큰 휨탄성계수를 나타냈고, 가압압력이 45→15→5(kg/cm<sup>2</sup>)에서는 가압시간이 증가할수록 휨탄성계수의 값이 증가하는 경향을 나타냈다. 전체적으로 상태시험이 습윤시험의 경우보다 탄성계수가 약 60%정도 큰 값을 나타냈으며, 이는 접착제에 의한 내수성이 목재와 고무간에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다.

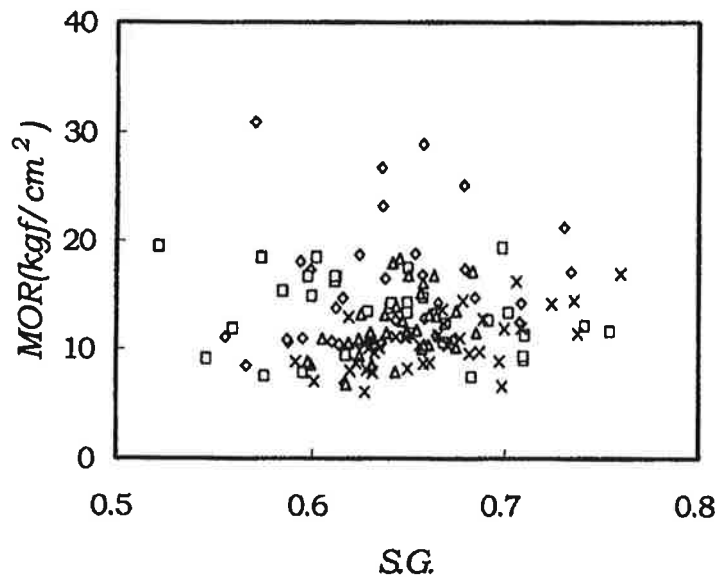


Fig.8-6 Relationship between specific gravity(SG) in air dry and modulus of rupture(MOR) in bending test of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □ 4→3→3min, △ 5→5→5min, × 7→6→6min

Table 8-3. Modulus of elasticities(MOE) in various hot pressing conditions by bending test.

Modulus of elasticity (kgf/cm <sup>2</sup> )							
Press time (3-steps, min)	Conditions of hot-press pressure(3-steps, 10 <sup>-3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )						
	35→15→5	45→15→5	45→20→5	45→20→10	45→20→15	45→30→5	55→15→5
3→2→2'	706,117 (248,978)	469,384 (152,040)	2,081,616 (231,631)	610,199 (124,489)	627,546 (86,734)	479,588 (123,468)	1,012,237 (306,120)
4→3→3'	483,649 (105,101)	531,628 (151,019)	395,915 (74,489)	460,200 (119,387)	385,711 (66,326)	568,363 (108,162)	476,527 (115,305)
5→5→5'	533,669 (156,121)	632,648 (259,182)	622,444 (180,610)	452,037 (181,631)	55,477 (341,834)	557,138 (136,734)	681,627 (123,468)
7→6→6'	781,626 (285,712)	770,402 (239,794)	926,523 (148,978)	837,748 (142,856)	1,073,461 (514,282)	423,466 (66,326)	642,852 (221,427)
3→2→2''	233,672 (41,836)	226,529 (87,754)	254,080 (42,857)	258,161 (90,816)	162,244 (18,367)	299,998 (70,408)	164,284 (45,918)
4→3→3''	181,631 (14,286)	202,039 (65,306)	215,304 (82,652)	555,098 (149,999)	332,650 (38,775)	202,039 (46,938)	34,489 (82,652)
5→5→5''	281,630 (19,388)	280,610 (109,183)	384,691 (160,203)	265,304 (42,857)	299,998 (43,877)	321,426 (88,775)	283,671 (73,469)
7→6→6''	299,998 (95,918)	214,284 (145,917)	245,916 (43,877)	465,302 (153,060)	547,955 (138,774)	247,597 (29,592)	210,202 (65,122)

(Note) \*: air-dry conditions, \*\*: wet conditions after 24 hours absorption in distilled water. The parentheses indicate standard deviations.

휨강도와 휨탄성계수의 관계를 열압스케줄 조건에 의존하지 않고 전체에 대해 검토해 보면, 일반적인 탄성체와 마찬가지로 두 변수간에는 정의 상관관계가 인정되었다. 그림8-7에서 열압시간이 가장 짧은 스케줄에 있어서 가장 큰 값을, 그다음이 가장 긴 열압시간에서 나타났는데, 이 결과로부터 열압시간만으로는 강도와 탄성계수의 추이를 말할 수 없는 것으로 판단되었다. 열압시간 4→3→3분의 경우는 낮은 값을 나타내나 편차가 저으며, 3→2→2분과 같이 값은 크지만 편차가 큰 것은 열압시간보다는 열압압력의 영향

이 편차로서 나타난 것으로 추정된다.

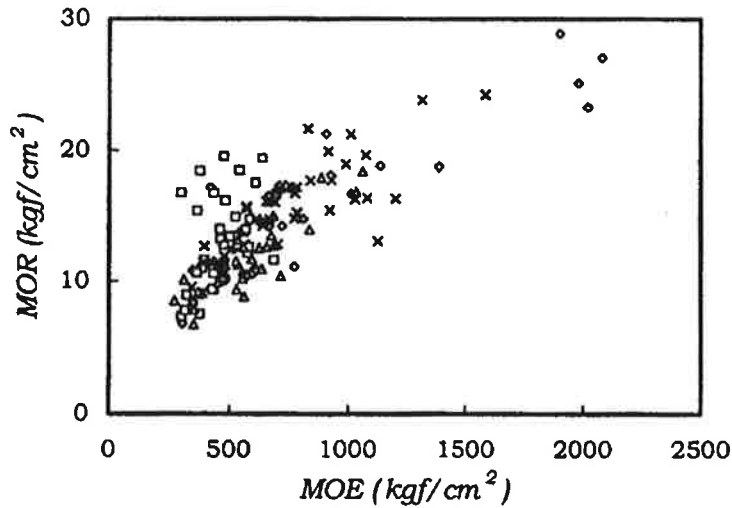


Fig.8-7 Relationship between modulus of elasticity(MOE) and bending strength(MOR) in air dry by bending test of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

일반적으로 고무와 목재 복합보드재료의 휨강도가 다른 일반재료에 비해 탄력성이 뛰어난 고무의 혼합때문에 많이 뒤떨어지는 사실은 피할 수 없는 결점으로서, 지점간 거리가 넓은 곳에서 휨작용을 받는 장소에 본 복합재료의 사용은 지양해야 될 것으로 판단된다. 여기서 비중과 함수율, 파괴강도와 탄성계수의 전체적인 성질의 검토와 고찰로부터, 적용한 열압스케줄조건에 있어서 가압시간 4→3→3(분), 가압압력 45→20→5(kgf/cm<sup>2</sup>)이 고무와 목재의 중량비율 1:1인 복합보드제조에는 최적의 조건이라 판단되었다.

그림8-8에는 기건비중과 휨탄성계수의 값을 가압시간별로 플롯하였다. 전체적으로 편차가 크게 나타나는 것은 원료배합의 불균일에서 오는 문제이며 비중의 증가에 따라 탄성계수는 증가하는 경향을 보이고 있다. 여기서 경향

치만을 본다면 3→2→2분가압에 있어서 약간의 비중의 증가에 의해 탄성계수가 급격히 증가하는 반면에 5→5→5분의 경우에는 완만한 경사를 이루고 있음이 대조적이라 할 수 있다. 가장 긴 압밀시간대인 7→6→6분의 경우, 대체로 비중과 탄성계수는 정의 상관관을 나타내고 있는 점으로 미루어 단시간가압보다 장시간가압의 경우에 있어서 제품의 안정화가 일어나고 있음을 짐작할 수 있다.

그림8-9 및 그림8-10에는 상태시험 및 24시간 수분침지실험에 있어서 복합보드의 휨시험에 의한 가압시간별 휨탄성계수와 휨에 의한 보드중앙부분에 있어서 최대처짐량의 관계를 나타내었다. 휨시험결과로서 탄성계수와 탄성계수로부터 산출한 최대처짐량의 관계를 검토한 이유는 고무칩의 탄력성이 뛰어난 관계로 응력-변형을 선도의 기울기가 작지만 파괴하중에 이르기까지는 강성이 큰 목재소재에 비하여 비교적 긴 시간을 요하기 때문이다. 이 그림으로부터 상태시험에 있어서 휨작용에 의한 복합보드의 최대처짐량은 휨탄성계수의 증가에 따라 급격하게 단조감소하는 경향을 나타냈으며, 탄성계수 1000kgf/cm<sup>2</sup>부터는 0.5mm정도의 거의 일정한 값을 나타냈다. 조건에 따른 변이를 검토해 보면, 열압시간 3→2→2분에서는 탄성계수의 크기에 상관없이 처짐량은 비교적 큰 변이는 보이지 않았으나, 이에 비해 4→3→3분의 경우에 있어서는 작은 탄성계수의 변이에도 처짐량은 큰 변이를 나타냈다. 즉, 열압압력에 따른 탄성계수에는 차이가 없지만 처짐량간에는 큰 차이가 있음을 보여주고 있다. 5→5→5분의 경우에 있어서는 열압압력의 변이가 대체로 적으며 탄성계수나 처짐량은 좁은영역에 한정되어 분포하고 있음을 알 수 있다.

또한 24시간 수분침지후에 있어서 최대처짐량은 상태시험에 비하여 비교적 큰 값을 나타내고 있으나, 3→2→2분가압과 같은 비교적 짧은 열압시간대의 시험편이 장시간(7→6→6분가압)에 비하여 처짐량이 크며, 이것은 고온가압처리시간이 수분흡수에 저항으로서 작용하고 있으며 원료소재 입자간의 미



끄러짐현상에 의한 변형량이 수분에 의해 크게 영향받고 있음을 알 수 있다.

그림8-11에는 비중과 최대처짐량의 관계를 나타냈다. 비중이 클수록 처짐량은 각 가압조건별로 감소하는 경향을 나타내었으며 이것은 비중의 증가에 따른 휨강성의 증가현상 때문에 일어난 현상으로 추정되었다. 각 가압시간 중에서도 경향치가 뚜렷한 경우는 4→3→3분이었으며, 나머지는 뚜렷한 값의 변화를 볼 수가 없었다. 그림8-12에는 비중과 전단응력의 상관관을 나타냈다. 열압시간 4→3→3분의 경우를 제외하고 전체적으로 처짐량이 커질수록 전단응력은 급격히 감소하는데, 4→3→3분에서 처짐량의 변이는 크지만 전단응력은 거의 일정한 값을 보이고 있다. 따라서 열압압력은 전단응력에는 영향을 주지 못하나 처짐량에는 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 휨작용에 의한 전단력의 크기가 매우 낮기 때문에 휨응력에 의한 파괴가 우선하는 관계로 전단응력에 의한 파괴는 없을 것으로 생각되므로 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.

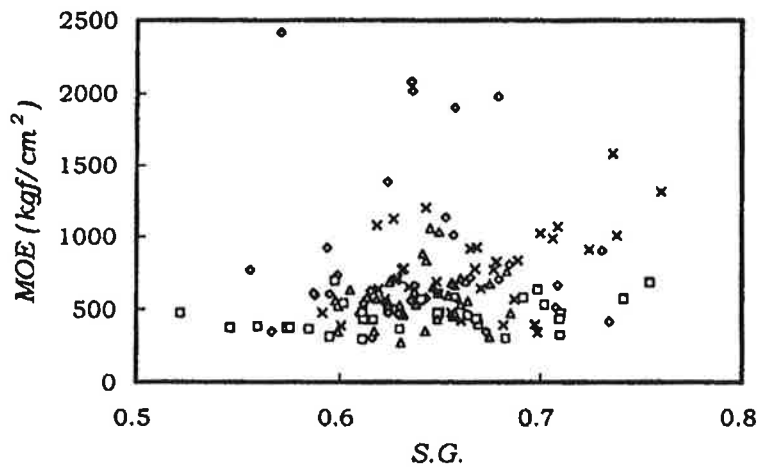


Fig.8-8 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and modulus of elasticity(MOE) in bending test of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □ 4→3→3min, △ 5→5→5min, × 7→6→6min

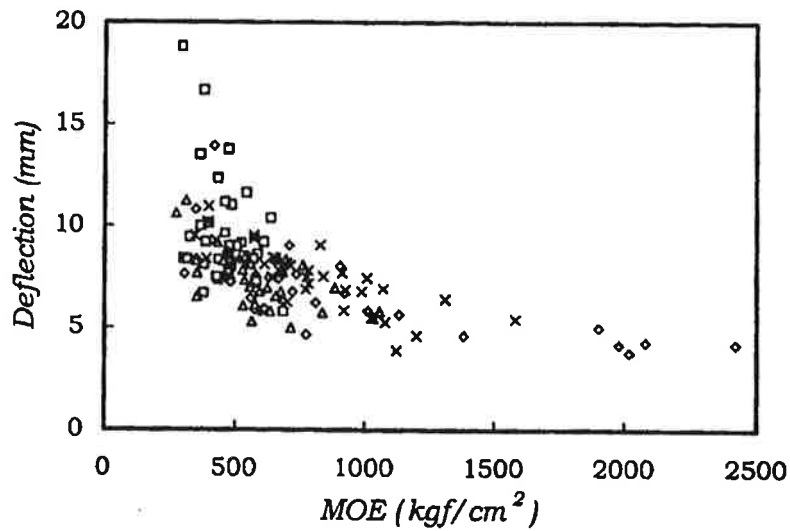


Fig.8-9 Relationship between maximum deflection and modulus of elasticity(MOE) in bending test of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □ 4→3→3min, △ 5→5→5min, × 7→6→6min

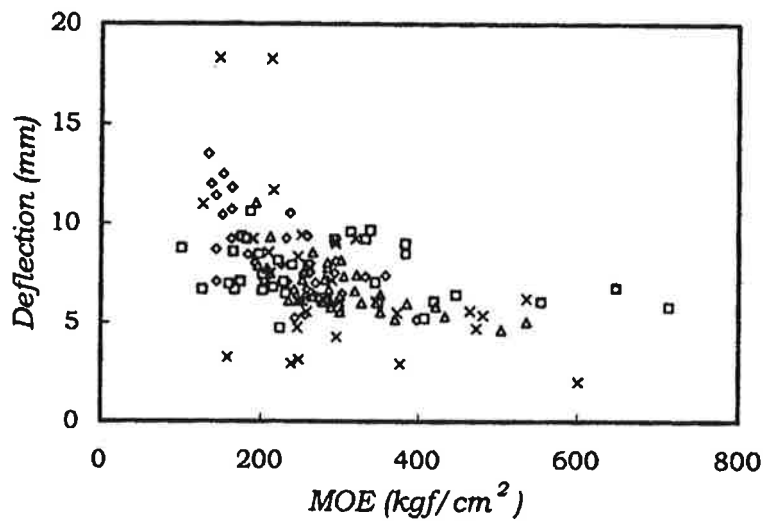


Fig.8-10 Relationship between maximum deflection and modulus of elasticity(MOE) in bending test after 24 hours water absorption of rubber-based wood panels. Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □ 4→3→3min, △ 5→5→5min, × 7→6→6min

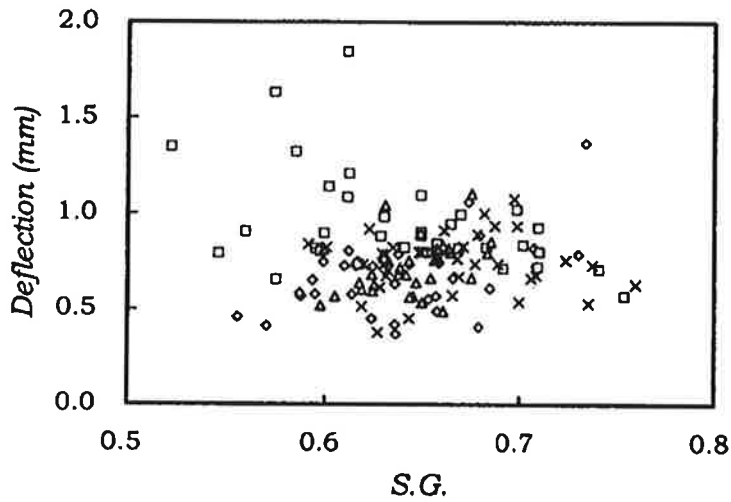


Fig.8-11 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and maximum deflection in bending test of rubber-based wood panels. Legend : Press time(3-steps, min.)◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

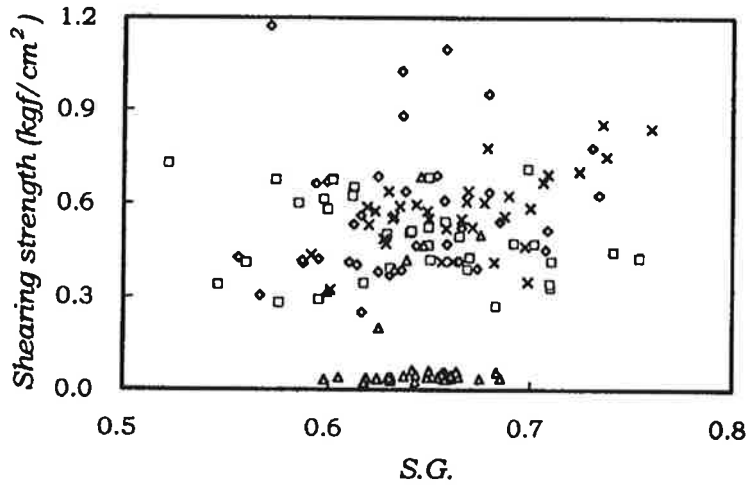


Fig.8-12 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and shearing strength of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

그림8-13에는 열압조건에 의한 24시간 수분침지후의 함수율의 변이를 각 열압조건별로 나타냈다. 열압압력조건이 초기-중기-말기의 3단계스텝일 때, 열압시간별 변이는 초기압력이 클수록, 그리고 전체가압시간이 길수록 비교적 적은 함수율을 나타내는 경향을 보였다. 중기가압압력이  $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 경우, 가압시간 7→6→6분이 5→5→5분의 경우보다 더 낮은 함수율을 나타냈고, 전체적으로는  $45\rightarrow 20\rightarrow 15\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 가장 낮은 함수율을 나타냈다. 가압시간이 길수록 수분흡수에 대한 저항성이 큰 경향이 있음을 이들 사실로부터 알 수 있으며, 이는 원료칩의 장시간 열압에 의한 흡수성재료인 목재의 결정화도의 향상 및 리그닌과 같은 화학성분의 표면피복 및 목재의 고온과 고압하에서의 열처리에 의한 목재의 열화에 따른 소수화 등의 원인인자 들이 생각되어진다. 이런 고온, 고압력하에서의 목재의 물성변화에 대해서는 폭쇄처리목재 및 고압밀화목재, 또는 급속 고온건조 등의 제반 실험 데이터 및 발표논문에 다수 나와 있으며, 결론적으로 고온에서 장시간 처리함이 재료학적인 측면에서는 안정된 제품생산으로 연결됨을 알 수 있다. 그러나 에너지문제 등의 제반 경비문제를 고려할 때 단순하게만 생각해서는 안될 문제로 인식된다.

그림8-14부터 그림8-16에는 복합보드 시험편을 물속에 하루동안 담가둔 후 꺼내어 휨시험을 한 결과를 나타내었다. 기건비중에 대한 휨강도의 변이와 탄성계수의 변이는 편차가 약간 보이긴 하나 그 강도값이 상태시험에 비하여 매우 낮으며, 비중이 높다해도 강도의 증가는 보이지 않고 있다. 따라서 수분흡수에 의해 보드의 강도는 급격하게 저하함을 알 수 있다. 휨탄성계수와 강도의 상관은 뚜렷하지 않았으나 약간 정의 상관을 나타내는 경향을 보여주고 있다.

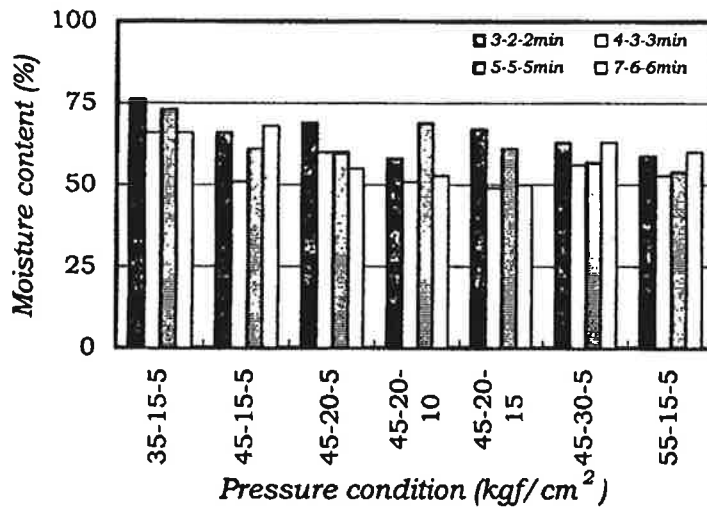


Fig.8-13 Relationships between hot press condition and moisture content of specimens after 24 hours water absorption as a function of press time.  
Legend : Press time(3-steps, min.)

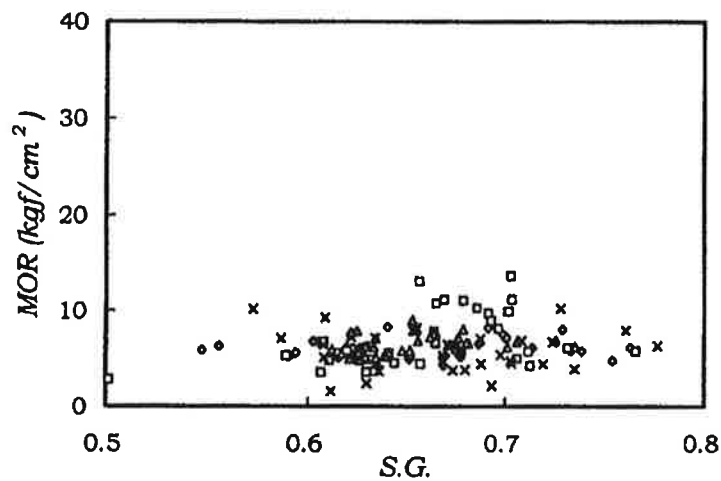


Fig.8-14 Relationships between specific gravity(SG) in air dry and modulus of rupture(MOR) in bending test after 24 hours water absorption of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □ 4→3→3min, △ 5→5→5min, × 7→6→6min

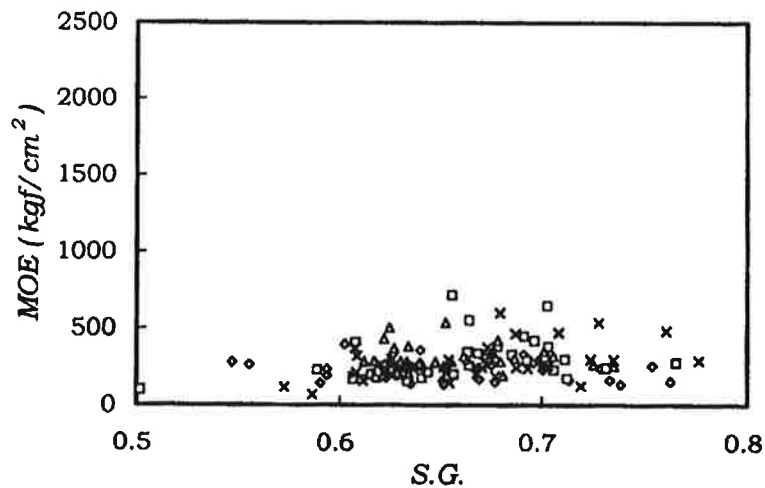


Fig.8-15 Relationships between specific gravity(SG) in air dry and modulus of rupture(MOE) in bending test after 24 hours water absorption of rubber-based wood panels. Legend : Press time(3-steps, min.)  
 ◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

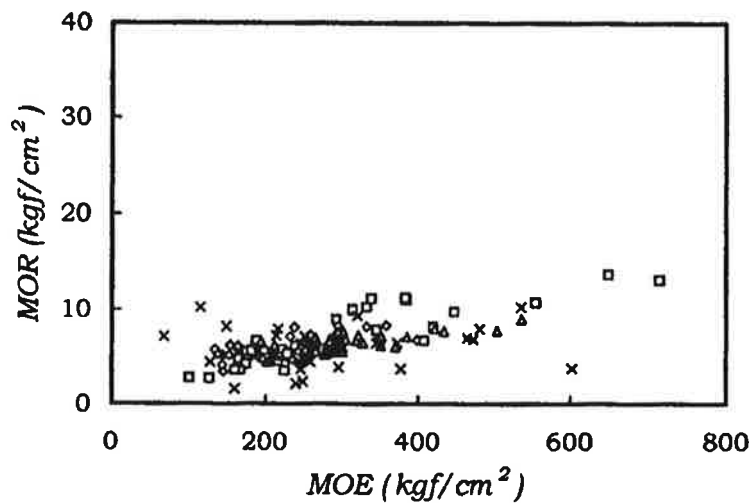


Fig.8-16 Relationship between modulus of elasticity(MOE) and bending strength(MOR) in air dry by bending test of rubber-based wood panels. Legend : Press time(3-steps, min.)  
 ◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

#### 2.4 수축율과 팽윤율의 변화

그림8-17과 그림8-18에는 기건비중과 전수축율의 관계를, 그림8-19와 그림8-20에는 함수율 1%당의 평균수축율을 두께방향과 폭방향에 있어서 기건비중과의 상관관계를 각각 나타내었다. 비중이 증가할수록 평균수축율은 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 일반적으로 알려진 목재의 비중과 수축율 간의 상관관계와는 역의 관계로써, 복합보드 구성요소인 원료칩의 배합비율의 균일성과 고무칩이 많은 고비중의 보드가 수분흡수후 건조에 의한 수축작용이 일어나지 못하는 데 기인하는 것으로 생각된다. 이것은 원료칩자체의 수축현상보다는 원료칩 입자간의 접착력이 약화되어 수분이 제거된 후에도 보드 전체가 수축하지 못하는 현상으로서, 비중에 대하여 負의 평균수축율을 보이고 있는 것이 이를 확인해 주는 것이며, 같은 조건으로 제조한 동일보드에서 채취한 시편간에 생기는 비중의 편차는 고무칩의 분산정도가 고르지 못하기 때문에 생기는 현상이기 때문이다. 즉, 수분흡수성이 큰 목재칩이 많이 포함된 복합보드의 수축율은 고무칩이 많은 보드보다 더 큰 수축율을 나타낼 것으로 생각되며, 고무칩이 많은 쪽이 비중이 상대적으로 높다고 한다면 고무원료칩 간극사이에 존재하는 수분이 제거되면서 시편의 치수가 수분흡수전보다 줄어들지 않고 팽윤된 상태의 치수 그대로 남아있기 때문에 일어나는 현상으로 판단된다. 수분침지에 의한 팽윤된 재료가 건조해도 수축하지 않고, 원료칩간의 결합력이 현저하게 떨어짐을 알 수 있으므로, 외장용으로 사용하게 될 경우에는 내수성이 있는 접착제의 도입이 필요할 것으로 생각된다. 또한 여기서 열압시간에 따른 차이는 판별할 수 없으며, 고무칩이 비교적 많은 고비중 시편에서 수분에 의한 더 큰 영향이 있음을 알 수 있다.

기건비중과 시편의 폭방향에 있어서 함수율 1%당의 평균수축율의 상관을 보면 대부분의 시편에 있어서 비중에 관계없이 수축율은 0% 부근의 넓

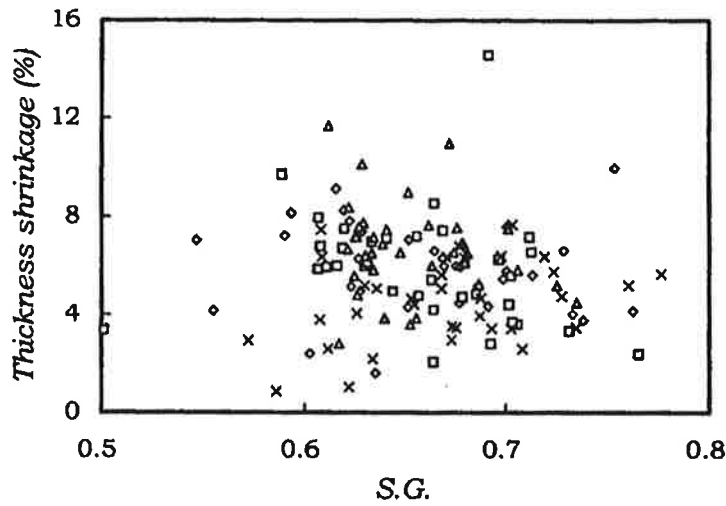


Fig.8-17 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and coefficient of thickness shrinkage of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

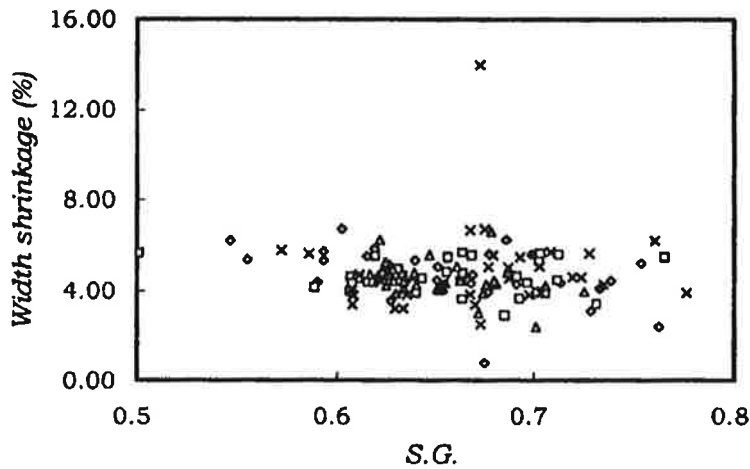


Fig.8-18 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and coefficient of width shrinkage of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min



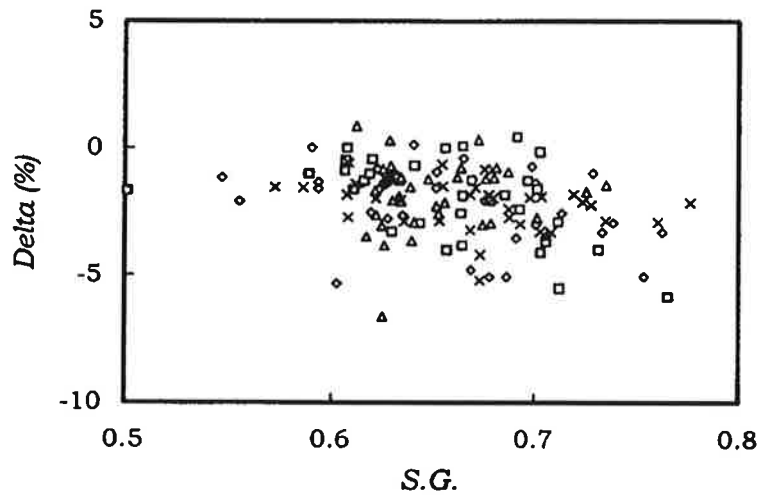


Fig.8-19 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and coefficient of thickness shrinkage per unit moisture content(Delta) of rubber-based wood panels. Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

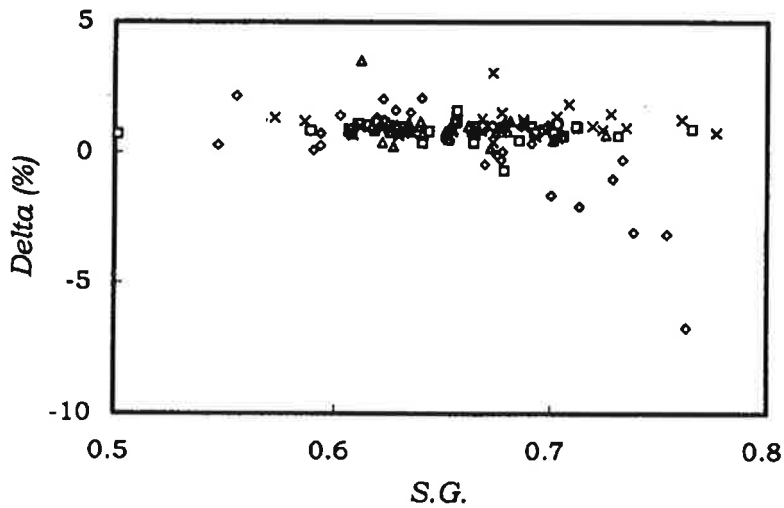


Fig.8-20 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and coefficient of width shrinkage per unit moisture content(Delta) of rubber-based wood panels. Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □4→3→3min, △5→5→5min, ×7→6→6min

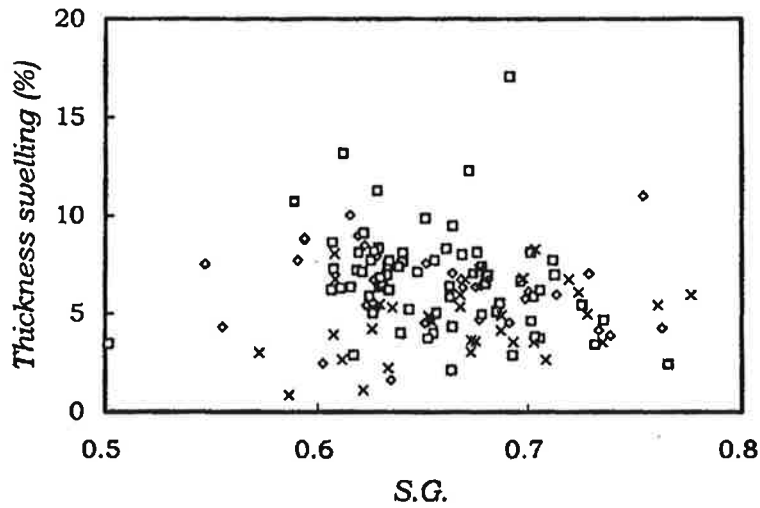


Fig.8-21 Relationship between specific gravity in air dry(SG) and coefficient of thickness swelling of rubber-based wood panels.

Legend : Press time(3-steps, min.)

◇ 3→2→2min, □ 4→3→3min, △ 5→5→5min, × 7→6→6min

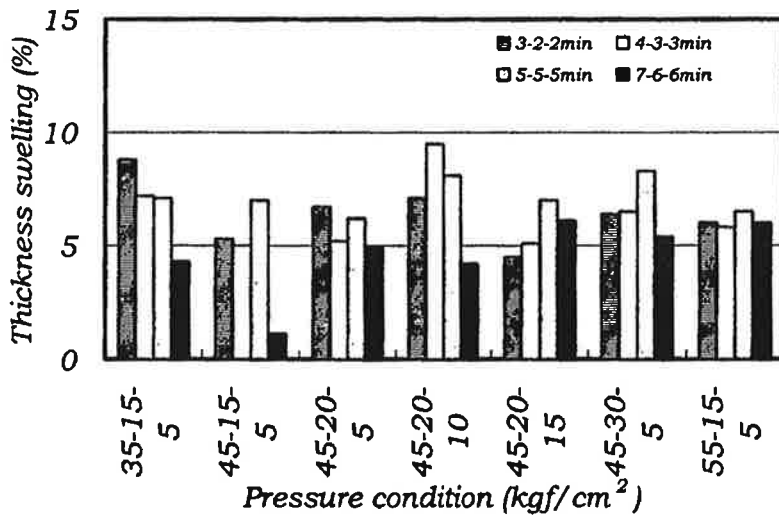


Fig.8-22 Relationships between hot press condition and thickness swelling of specimens after 24 hours water absorption as a function of press time.

Legend : Press time(3-steps, min.)

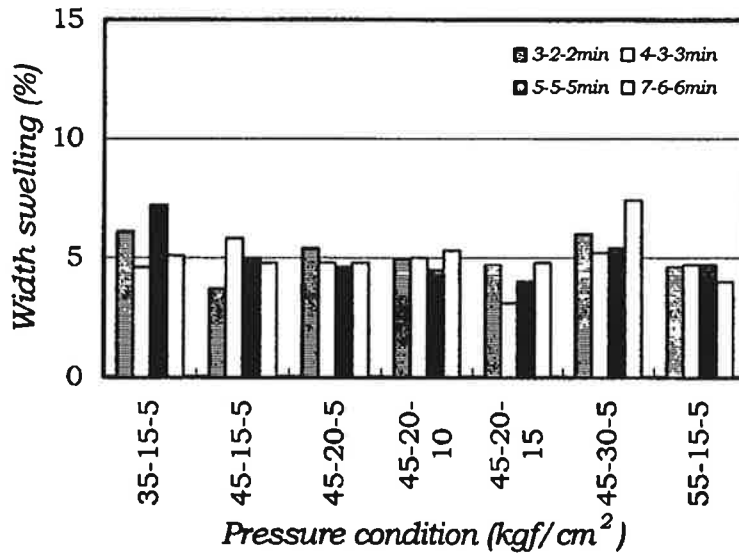


Fig.8-23 Relationships between hot press condition and width swelling of specimens after 24 hours water absorption as a function of press time.  
Legend : Press time(3-steps, min.)

은 범위에 걸쳐 분포하고 있음을 알 수 있다. 열압시간 3→2→2분의 경우에 있어서 기건비중과 負의 상관을 나타내고 있으나, 두께 수축율에 비해서 수분에 대한 변이는 열압조건에 따라 큰 변이가 없는 것으로 판단되었다. 그림8-21에는 보드의 기건비중에 대한 두께방향의 팽윤율을 나타냈으며, 전체적으로 변이가 크긴 하지만 팽윤율 약 5%정도 범위에 머무르고 있는 것을 알 수 있으며, 비중의 증가에도 불구하고 팽윤율이 오히려 감소하는 현상은 수분에 의한 치수변화는 고무보다 목재칩에 더 영향을 받기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 고무칩이 목재칩에 비해 비중이 큰 관계로 무거운 시편은 고무의 양이 많이 포함되었기 때문이다. 그림8-22과 그림8-23 및 표8-4와 표8-5에는 각 열압조건에 있어서 24시간 수분침지시 보드의 두께팽윤율 및 폭방향의 팽윤율을 정리하여 도시하였다.

Table 8-4. Coefficients of thickness swelling of specimens in various hot-pressing conditions.

Press time(min)	Pressure conditions (kgf/cm <sup>2</sup> )						
	35-15-5	45-15-5	45-20-5	45-20-10	45-20-15	45-30-5	55-15-5
3-2-2	8.8	5.3	6.7	7.1	4.5	6.4	6.0
S.D.	1.0	1.1	1.9	0.9	2.0	3.5	2.2
4-3-3	7.2	5.0	5.2	9.5	5.1	6.5	5.8
S.D.	1.1	2.3	2.2	5.1	2.1	1.7	3.8
5-5-5	10.1	8.8	9.0	8.7	7.7	9.6	9.3
S.D.	1.9	0.5	0.9	2.3	0.5	1.3	0.4
6-7-7	5.1	4.8	4.8	5.3	4.8	7.4	4.0
S.D.	1.5	1.7	0.7	1.3	1.2	5.9	0.7

Table 8-5. Coefficients of width swelling of specimens in various hot-pressing conditions.

Press time(min)	Pressure conditions (kgf/cm <sup>2</sup> )						
	35-15-5	45-15-5	45-20-5	45-20-10	45-20-15	45-30-5	55-15-5
3-2-2	6.1	3.7	5.4	4.9	4.7	6.0	4.6
S.D.	0.4	2.0	0.5	1.2	0.4	1.2	1.5
4-3-3	4.6	5.8	4.8	5.0	3.1	5.2	4.7
S.D.	0.4	1.4	1.0	0.5	3.1	0.9	0.9
5-5-5	7.2	5.0	4.6	4.5	4.0	5.4	4.7
S.D.	1.6	1.1	0.7	0.9	1.1	1.2	0.4
6-7-7	5.1	4.8	4.8	5.3	4.8	7.4	4.0
S.D.	1.5	1.7	0.7	1.3	1.2	6.0	0.7

가압압력 4-3-3분과 7-6-6분의 경우에 있어서 두께팽윤율은 비교적 낮은 값을 보이고 있으며, 이는 24시간 수분침지후의 함수율과 잘 대응하고 있음을 알 수 있다. 가압시간이 5-5-5분인 경우가 전반적으로 높은 값을 나타내고 있으며, 가압압력이 두께팽윤율에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 전체가압시간이 4-3-3분에 비해 5분이나 길지만 수분흡수는 오히려 더 많이 일어나고 있음이 그 사실을 말해주고 있다. 가압압력에 있어서도 미묘한 차

이이긴 하지만 45-20-15kgf/cm<sup>2</sup>에서 다른 조건에 비해 전체 가압시간대에 있어서 비교적 낮은 값을 나타내고 있다. 그림8-22에서 두께 팽윤율은 가압압력 45-15-5kgf/cm<sup>2</sup>조건과 가압시간 7-6-6분에서 2%에도 못미치는 팽윤율을 나타냈으며, 전체적으로 저압력-장시간 가압조건 또는 고압력-단시간 가압조건에서 비교적 낮은 팽윤율을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 수분에 대한 치수안정화를 가능한 조금이라도 도모하기 위해서는 열처리효과를 줄 수 있는 열압조건이 유리할 것으로 판단된다. 그림8-23에는 폭방향의 팽윤율을 가압조건별로 나타냈는데, 두께방향에 비해 현저히 낮은 값을 나타냈다. 이 현상은 열압방향이 두께방향인 점으로 미루어 압체되었던 요소가 수분팽윤에 의해 부풀어 오른 현상이며, 폭방향으로의 압체는 크게 영향을 받지 않았기 때문으로 추정된다.

이들 사실로부터 수분흡수를 하게 되는 경우에는 반복되는 수축-팽윤으로 인한 재료의 열화가 우려되며, 이종재료간의 결합력에도 영향을 미칠 것으로 생각되므로 이에 대한 준비도 필요할 것으로 생각된다. 특히 고무칩만의 보드에 비해서 목재칩과의 혼합에 의한 복합보드의 열전도율은 낮아지기 때문에, 목재와의 복합화 정도에 따라서 온도변화가 심한 곳에 사용해도 다소 수축팽윤에 의한 치수변화 트러블을 어느정도 완화해 줄 수 있을 것으로 사료된다. 특히 고무칩만의 보드는 여름과 겨울철의 온도변화에 따라 치수변동이 매우 크게 일어나는 재료로 인식되고 있는만큼, 열환경에 노출될 때의 사용에 있어서는 치수안정화 현상보다도 고무가 가연성인만큼 화재예방에 더욱 주의를 하지 않으면 안될 것이다.

## 제 2 절 체적비를 달리한 경우에 있어서 재질특성

### 1) 공시재료

목재칩의 원료는 핀칩(pin chip)과 그레놀칩(granule chip)의 형태로 분쇄하여 사용하였으며 이때, 각 칩은 대(大)와 소(小)로 구분하여 사용하였다. 또 페타이어는 기계적 분쇄법에 의해 제조되었으며, 입자크기 2~3mm 및 3~4mm의 두가지 종류의 페타이어 분말을 사용하였다.

표8-6에 복합재료의 구성원료(element)에 대하여 나타냈으며, 가비중은 두 소재 모두 입자크기가 작을수록 가비중은 높게 나타났다. 표에 있는 각각의 입자크기에 따른 고무칩과 목재칩의 원료혼합 체적비율을 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20, 100:0으로 하여 복합판상제품을 제조하였다. 표8-7에는 본 실험에서 실시한 보드제조의 투입원료 및 복합보드의 제조조건을 나타내었다. 보드를 제조하기 위해 투입되는 구성원료로는 폐목재, 페타이어, 접착제, 경화제 등이 있다.

Table 8-6. Properties of element materials for rubber-based woody composites.

Element material	Status*	Supplier	Nominal specific gravity( $\rho$ )
waste wood	pin chip (Large, WPL)	Kangreung (Kangwon)	0.14
	pin chip (small, WPS)		0.15
	granule chip(Large, WGL)		0.12
	granule chip(small, WGS)		0.13
waste tire	2mm~3mm chip (R23)	Hyunjin chemicals (Chunnam)	0.55
	3mm~4mm chip (R34)		0.50

(Note) \* WPL:Large size of wood pin chip, WPS:Small size of wood pin chip,

WGL:Large size of wood granule chip, WGS:Small size of wood granule chip.

Table 8-7. Manufacturing conditions for rubber-based woody composites.

Board Dimension	21cm × 21cm × 1.5cm(thickness)
Element	wood chip : WPL, WPS, WGL, WGS (4 types) rubber chip : R23, R34 (2 types) adhesive : POLYURETHANE, solid portion 99.9% Curing solvent
Hot press conditions	temperature : 120℃ press time : 600sec pressure : 5kg/cm <sup>2</sup>

본 실험에서 사용한 접착제는 폴리우레탄 계열의 접착제로서, 공장(M산업)에서 소량 제조하여 구입, 사용하였다. 보드의 성형시 순간배기없이 영속적으로 압력을 가하여 제조하였다. 이러한 이유는 예비 실보드제조 실험시, 순간적으로 배기를 한 결과 고무의 탄성때문에 접착이 충분히 이루어 지지 않는다는 사실을 미리 파악했기 때문이다. 열압온도의 설정은 접착제 및 경화제 자체의 경화온도를 충분히 고려하여 설정하였으며, 보드제조시 성형재료의 혼합은 먼저 일정량의 폐목재와 페타이어 분말을 충분히 혼합한 후, 경화제 및 접착제를 순차적으로 투입, 혼합하였다. 이를 21cm(가로)×21cm(세로) 스테인레스 재질의 정방형 성형물드에 투입한 다음, 상부면을 일정하게 조절하여 열압, 성형하였다. 이때 각 소재의 투입량은 최종 생산보드의 두께 및 비중을 기준으로 미리 계산하여 결정하였다.

최종적으로 보드의 제조가 완료되었을때, 성형물드로부터 보드를 분리하는 과정에서 물드와 보드간에 접착제가 누출되어 강한 접착을 하고 있어서 완벽한 분리가 힘들었다. 그래서 본 실험에서는 이형제로서 2가지 시판

제품을 사용하여 소재를 몰드에 투입하기전에, 미리 분무기를 사용하여 이 형제를 충분히 분무한 후, 혼합된 소재들을 몰드에 충전시켰다. 이 결과, 최종적으로 보드와 몰드는 완벽하게 분리되었다. 제조된 복합보드로부터 내부결합력시험을 위한 시편을 가로, 세로의 폭이 각각 5cm의 정방형으로 잘라, 각 제조조건당 7개씩 시편을 준비하였다.

## 2) 실험방법

복합보드 제조시 반드시 고려해야 할 사항은 최종적으로 생산된 보드의 비중이다. 만약 동일한 비중을 갖는 다른 성상의 소재를 사용하여 보드를 제조한다면, 최종 생산된 보드의 비중은 큰 문제가 없다. 그러나 본 실험에서 사용한 소재는 비중이 각기 다르기 때문에 단순히 중량만을 기준으로 투입하여 성형한다면, 최종 보드의 비중은 조절이 상당히 어렵다고 판단된다. 그래서 본 실험에서는 이러한 점을 해결하고자 각 소재의 가비중과 부피를 이용하여 미리 소재의 투입량을 결정하였으며, 체적기준 혼합비와 중량기준 혼합비를 각각 계산하여 비교하였다. 또한 체적비율로서 제조된 시험편을 이용하여 내부결합력시험에 이용하였다. 내부결합력시험을 위한 치구재료는 해송(*Pinus thunbergi*)을 가로 6cm, 세로 7cm, 두께 1cm의 크기로 잘라, 에폭시수지를 이용하여 복합판상재료 상하표면에 붙여, 압축하중 1kg/cm<sup>2</sup>로 접착하여 1주일간 양생하여 시험체를 작성하였다. 내부결합력시험은 만능강도기를 이용하여 하중속도 1mm/min로써 실시하였다.

## 3) 원료혼합비에 따른 비중과 함수율의 변화

그림8-24에 제조보드의 전체 구성요소 체적에 대한 고무칩요소의 체적비율에 대한 제조보드의 비중의 변화를 나타내었다. 이 그림에서는 목재칩이 편침, 그레놀칩인가에 상관없이 일률적으로 풀롯하였는데, 전체적으로 고무



칩체적의 증가에 따라 비중은 증가하였다. 이것은 고무칩의 실제 비중이 목재칩에 비하여 상당히 큰 값을 가지기 때문에 생기는 현상으로서, 일정체적의 원료로써 보드를 제조한다는 것은 목적하는 보드제조를 어렵게 한다는 점에서 제조적합성이 없는 것으로 생각된다. 고무칩이 들어가게 되면 고무의 높은 탄성복원력으로 인해 보드의 두께가 늘어나는 경시변화가 있을 수 있으며, 소성가공이 가능한 목재를 혼합한다고 하여도 목적하는 용도의 보드제조에는 한계가 있다고 할 것이다. 따라서 고무와 같이 탄성이 풍부한 원료인 경우에는 중량비로 하여 일정비중의 보드를 일정한 규격재로서 생산해야만이 치수의 경시변화를 최소한으로 줄일수 있을 것으로 생각된다.

또한 그림8-25에는 목재칩의 원료투입 체적비율에 대한 제조보드의 기건 상태 함수율을 나타내었다. 보드의 함수율은 목재칩의 체적비의 증가에 따라서 감소하는 경향을 보이고 있다. 역으로 말하면 목재칩이 0%인 경우, 즉 고무칩이 약 100%정도인 복합보드에 있어서는 거의 0%에 가까운 함수율을 나타내고 있다. 이것은 원료고무의 수분흡수율이 거의 없으며, 반면에 다공질재료인 목재칩의 수분흡수에 의해 이런 현상이 나타난 것으로 생각된다. 따라서 복합보드를 외장재로서 사용하게 될 경우, 목재칩에 수분저항성이 있는 내수제 등의 치수안정화처리를 행할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이 결과로부터 목재칩과 고무칩 복합보드의 수분흡수에 따른 치수변동은 필연적으로 일어나는 현상이며, 고무칩과 목재칩의 원료구성비율조정에 의하여 어느정도 수분에 대한 조절이 가능할 것으로 판단되어진다.

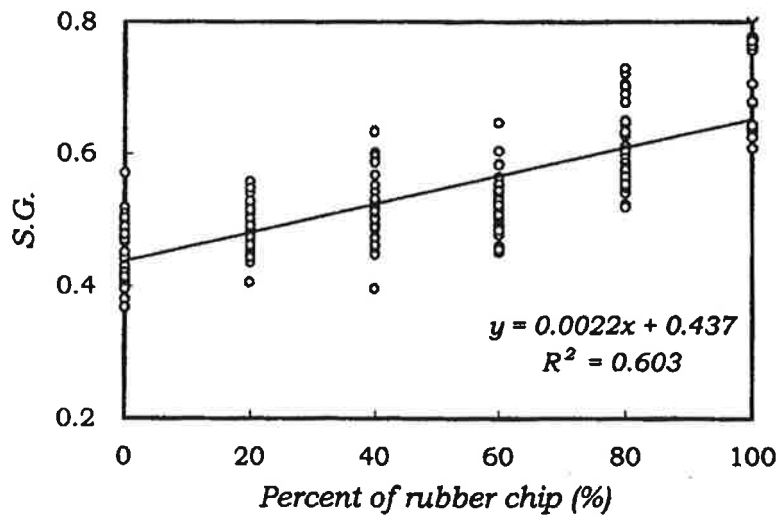


Fig.8-24 Changes of specific gravities(SG) in rubber-based wood panels as a function of volumetric percentage of rubber chip.

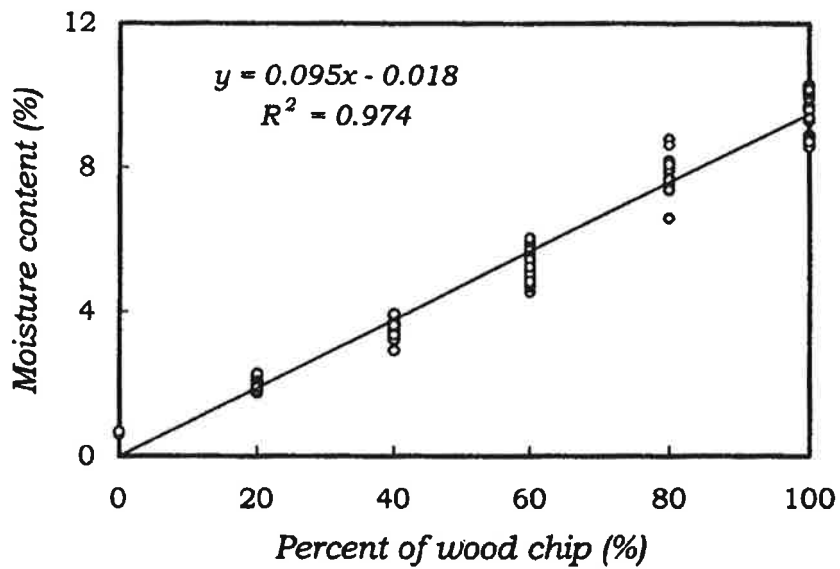


Fig.8-25 Relationships between volumetric percentage of wood chip and moisture content of rubber-based wood panels.

#### 4) 원료혼합비에 따른 내부결합력의 변화

그림8-26와 그림8-27에는 고무칩의 체적비율에 대한 그레놀(granule)타입과 핀(pin)타입의 목재칩과 입자상의 고무칩 복합보드의 내부결합력과의 상관을 각각 나타내었다. 그림의 범례에 05RG0100은 비중 0.5, 고무(R):목재 그레놀칩(G) 원료체적비율이 0:100을, 07RP2060는 비중 0.7, 고무(R):목재 핀칩(P) 원료체적비율이 20:60임을 의미한다.

그림8-26에서는 비중이 0.5와 0.7의 복합보드에 있어서 고무칩과 목재그레놀칩의 원료체적비에 따른 내부결합력을 나타냈는데, 고무칩의 체적비율과 내부결합력간에는 어떤 일정한 경향은 보이지 않는 것으로 생각되었다. 또한 각 제조조건간에도 특이사항은 보이지 않았으며, 고무체적비가 100%인 경우에 내부결합강도가 큰 값을 나타내었다. 이것은 동일 구성요소인 고무칩간의 강한 결합에 의한 접착강도의 향상에 의한 것으로 생각되어진다.

한편, 이와는 다르게 그림30에서 보는 바와 같이 목재원료인 핀칩타입에 있어서는, 고무칩의 체적비율이 80%, 제조시 가사비중이 0.7인 경우 이외에는 전체적으로 고무칩비율이 증가할수록 보드의 내부결합력은 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 그레놀타입의 목재칩으로 제조한 시편에 비하여 내부결합력의 수치도 고무체적비율이 낮은 범위에 있어서는 비교적 큰 값을 나타냈다. 원료고무의 체적비율이 0%와 20%에 있어서 시편의 가사비중이 0.5인 경우가 0.7의 경우보다 더 높은 내부결합력을 나타내었다. 따라서 그림3과 그림4로부터 제조보드의 가사비중의 영향보다는 고무칩과 혼합하는 목재원료칩의 형태가 입자상의 그레놀타입보다 핀타입의 형태가 고무칩과의 표면접착면적이 더 넓은 관계로 더 큰 내부결합강도를 나타내는 것으로 생각되어진다.

그림8-28과 그림8-29에는 보드의 기건비중과 내부결합력의 관계를 원료목재칩의 형태가 그레놀타입과 핀칩타입별로 각각 나타냈다. 이들 결과로부

터, 일반적인 재료의 비중과 강도간의 관계와 마찬가지로 고무와 목재 복합 보드에 있어서도 전체적으로 칩의 형태에 상관없이 시편의 비중의 증가에 따라 내부결합력이 증가하는 정의 상관관계를 나타내었다. 목재편칩에 비해 그레놀칩의 결과가 동일한 비중에 있어서 그 분포범위가 매우 넓은 점으로 미루어 제조시의 가사비중이 같더라도 제조된 보드의 내부결합력에는 시편 간 많은 편차가 있음을 보이고 있는 것으로 생각된다. 그림8-29에서 특이사항으로 고무의 체적비율이 0%인 경우(0.5RP0100와 0.7RP0100), 그레놀타입의 목재칩의 경우에 비해 저비중임에도 불구하고 제조시 가사비중이 0.5에서 내부결합력이 약 4-7.5kg/cm<sup>2</sup>범위의 큰 값을 나타내었다. 그의 고무의 체적비율이 0%가 아닌 경우에 있어서, 목재 편칩으로 제조한 시편이 그레놀 칩으로 제조한 시편에 비하여 전체적으로 내부결합력이 좁은 분포범위를 나타내었다. 이들 결과로부터, strand상의 편칩이 등근입자상의 그레놀칩에 비하여 결합강도가 크고, 또한 고무칩이 없는 목재칩만의 강한 결합력으로 인하여 생긴 결과로 생각된다.

따라서 고무칩과 목재칩을 혼합하여 복합보드를 제조하는 경우에 있어서는, 목재칩의 형태가 그레놀타입인 것보다 편타입인 것이 더 유리할 것으로 판단되었다.

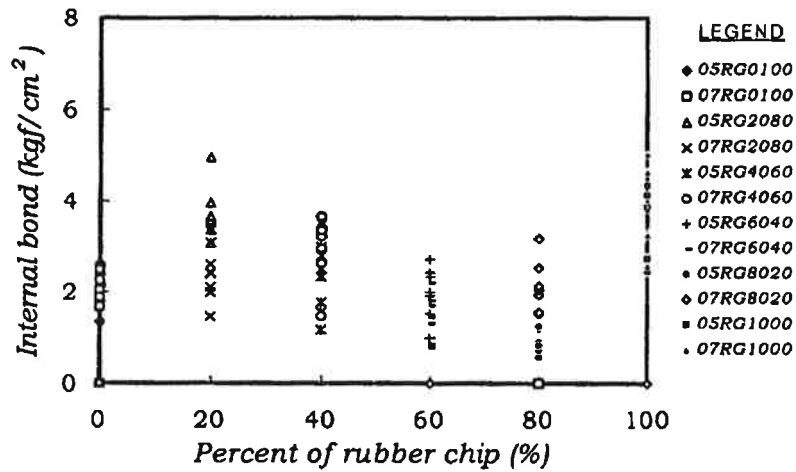


Fig. 8-26 Relationships between volumetric percentage of rubber chip and internal bonding strength of rubber-based wood panels with granule type of wood chip. For instance, in legend, 07RG4060 means nominal specific gravity's 0.7, and percent of rubber chip versus granule type of wood chip is 40 vs 60.

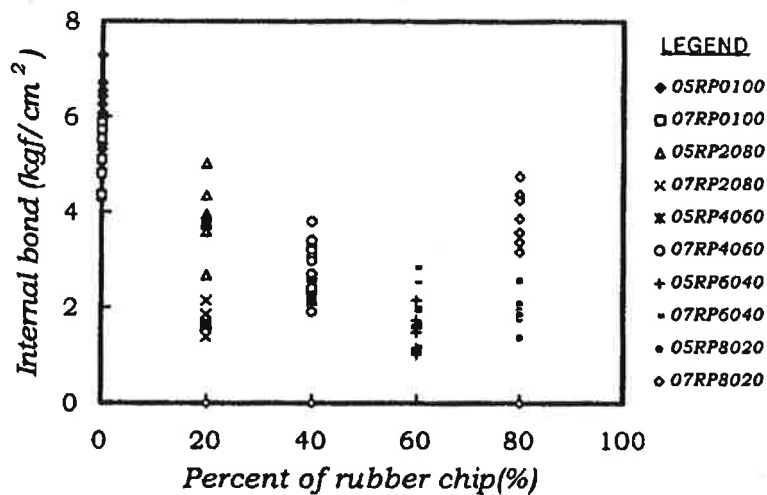


Fig.8-27 Relationships between volumetric percentage of rubber chip and internal bonding strength of rubber-based wood panels with pin type of wood chip. For instance, in legend, 05RP0100 means nominal specific gravity's 0.5, and percent of rubber chip versus pin type of wood chip is 0 vs 100.

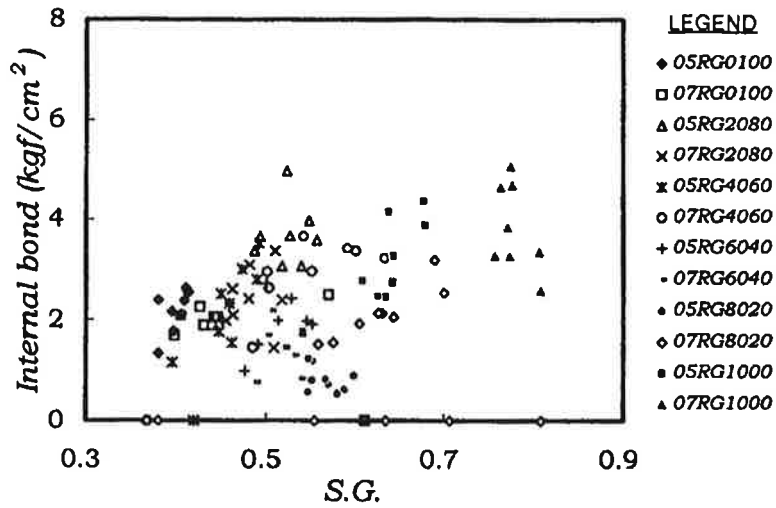


Fig.8-28 Internal bonding strength as a function of specific gravity in air dry of composite panel by granule type of wood chip and rubber chip.

For instance, in legend, 05RG0100 means nominal specific gravity's 0.5, and percent of rubber chip versus granule type of wood chip is 0 vs 100.

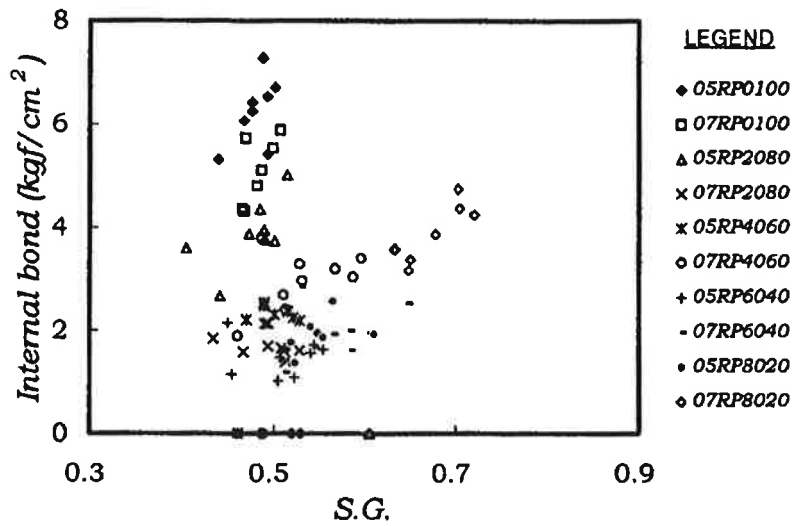


Fig.8-29 Internal bonding strength as a function of specific gravity in air dry of composite panel by pin type of wood chip and rubber chip.

##### 5) 원료혼합비에 따른 휨강도와 압축강도의 변화

그림8-30에는 다양한 배합비의 고무와 목재칩으로 구성된 복합보드의 휨강도측정시험에 의한 휨탄성계수와 휨에 의한 최대처짐량의 관계를 나타내었다. 이 그림으로부터 최대처짐량은 휨탄성계수의 증가에 따라 급격하게 감소하였으며, 본실험에서는 탄성계수  $1,000,000\text{kg/cm}^2$  이상부터는 거의 일정치를 나타냈다. 따라서 고무의 혼합양에 의해 휨탄성계수와 휨작용에 의한 최대처짐량의 산정이 가능함을 시사해 주고 있으며, 기능성을 고려한 다양한 보드의 제조가능성을 알 수 있었다.

이미 전술한 바와 같이 휨응력과 변형률선도에서 알수 있듯이 목재-고무 복합보드의 변형률은 목재소재에 비해 무척 크며, 탄력에 의한 신장성이 매우 뛰어남을 알 수 있다.

그림8-31에는 각 실험조건별 7개씩의 시편의 평균값을 구하여 휨강도와 휨탄성계수의 관계를 풀렀하였다(20조건). 일반적인 탄성체와 마찬가지로 두 변수간에는 정의 상관관계가 인정되었다. 그러나 휨강도가 다른 일반재료에 비해 고무의 혼합 때문에 많이 뒤떨어지는 사실은 피할 수 없는 결점으로, 휨작용을 받는 장소에 본 복합재료의 사용은 지양해야 될 것으로 판단된다.

그림8-32에는 그림34와 똑같은 시험편에 대하여 휨에 의한 최대처짐량과 전단강도와의 상관을 나타내었다. 최대처짐량이 증대할수록 전단강도는 급격하게 저하함을 알 수 있으며, 반드시 휨작용을 받는 곳에 사용하게 된다면 고무의 혼합량을 가능한 줄이는 것이 좋을 것이며, 사용장소별 목재와 고무칩의 혼합비를 잘 조절해야 될 것으로 판단되어진다.

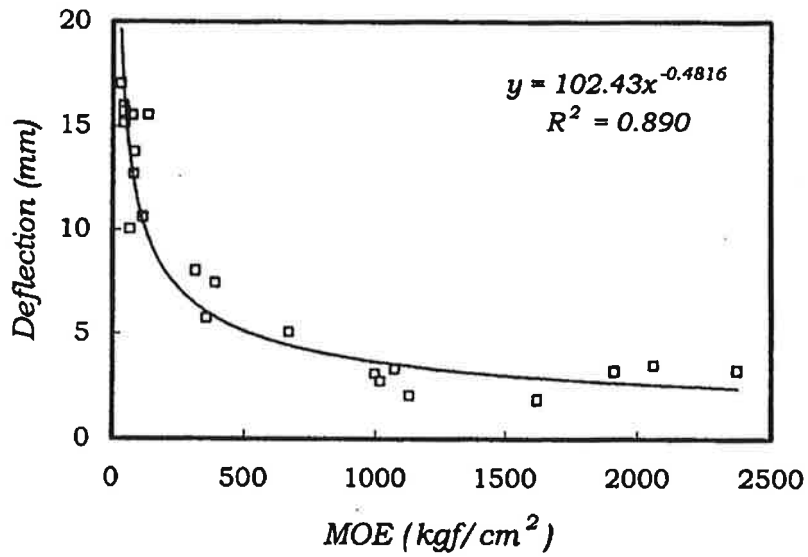


Fig.8-30 Maximum deflection of rubber-based wood panels as a function of modulus of elasticity(MOE) in bending test.I

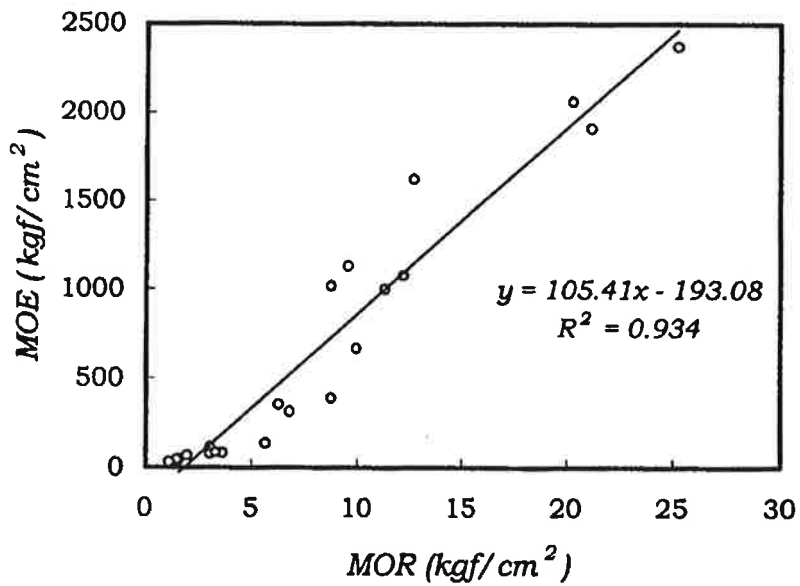


Fig.8-31 Relationships between modulus of rupture(MOR) and modulus of elasticity(MOE) in bending test of rubber-based wood panels.



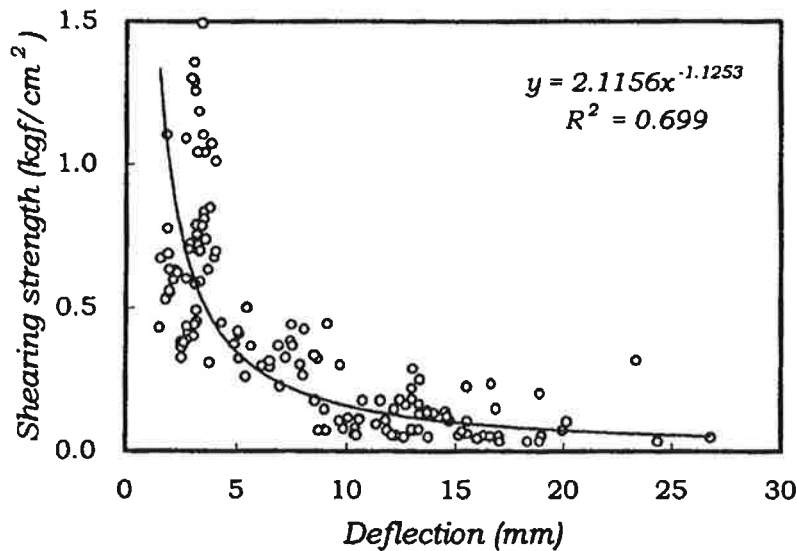


Fig.8-32 Relationships between maximum deflection in bending test and shearing strength of rubber-based wood panels.

그림8-33에는 고무칩의 체적비율과 최대처짐량의 상관관계를 나타내었다. 전술한바와 같이 고무의 혼합비율이 증가할수록 처짐량은 직선적으로 증가하며, 고무칩의 존재가 휨작용에 주도적인 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

그래서 전술한 바와 같은 압축시험에 의해 그 용도를 검토해 보았다. 전술한 그림6-2에는 목재이외의 종이류와 고무칩을 혼합하여 제조한 복합보드의 압축 반복시험에 의한 강도치의 변화를 관찰한 것이다. a,b,c의 세가지 스타일은 복합보드의 원료구성양식에 따른 구분으로서 같은원료간의 접합에 의한 다층보드보다는 가능한 원료를 혼합하여 일체화한 재료가 압축강도에 대해 우수한 값을 나타내었다. 또한 일정두께(본시험에서는 10mm)까지 반복압축을 행하였을 때, 회복에 대한 변형량은 시험재료간에 큰 차이를 보이지 않은 것이 특징으로 나타났다.

그림37에 목재편칩과 고무칩의 체적비율에 의한 복합보드의 기전비중과

휨탄성계수와 의 상관을 뚜렷하였다. 이 그림으로부터 알 수 있는 것은 비중이 증가할수록 탄성계수는 급격하게 감소하는 경향을 나타내고 있다는 점이다. 즉, 비중이 높다는 것은 목재보다 무거운 고무칩의 체적비율이 그만큼 높으며 탄력성이 뛰어난 고무의 휨작용에 대한 저항성이 크게 떨어지는 관계로 비중의 증가에 따른 탄성계수의 급격한 저하가 필연적으로 동반되는 것으로 분석되었다. 일반적인 재료는 비중과 탄성계수는 정의 상관관계를 가지지만, 고무칩 복합보드는 이에 정반대의 값을 가지며 특성이라 할 수 있으며, 이로부터 제반 재료학적인 성질을 구체적인 실험검정을 않더라도 대략적으로 추정평가할 수 있을 것이다.

그림38에는 고무칩의 체적비율과 압축강도의 관계를 나타내었다. 종압축강도는 고무칩의 체적비율이 증가할수록 직선적으로 감소하는 경향을 나타냈으며, 목재칩의 강성이 고무칩에 비하여 상당히 큰 관계로 목재칩양이 적어질수록, 즉 고무칩양이 증가함에 따라 압축파괴강도는 매우 낮은 값을 나타냈다. 그림에도 불구하고 앞에서 논술한 고무칩의 탄성회복력은 목재에 비하여 우수한 관계로 반복하중에 의한 복합보드의 복원력은 매우 뛰어난 것으로 판명되었다.

따라서 이 일련의 실험으로부터, 우리는 고무칩을 원료로 한 복합보드의 용도는 휨작용을 받는 곳보다는 압축하중을 받는 장소에 사용되는 것이야말로 고무칩으로서 용도면에서 매우 타당성이 있다고 판단된다. 그런 의미에서, 판상재료로서 벽장재료보다는 온돌과 같은 마루바닥재, 가로수보호 바닥재 등으로 그 용도를 탐구하는 것이 폐자원의 효율적인 활용이라고 생각된다.

그러므로 목재-고무칩 복합보드는 휨작용에 대해서는 매우 약하며, 기능성을 살리기 위해서는 원료의 배합비조절에 관한 면밀한 검토가 복합법칙으로 계산하면 쿠션성을 고려한 보드제작이 가능할 것으로 생각된다.

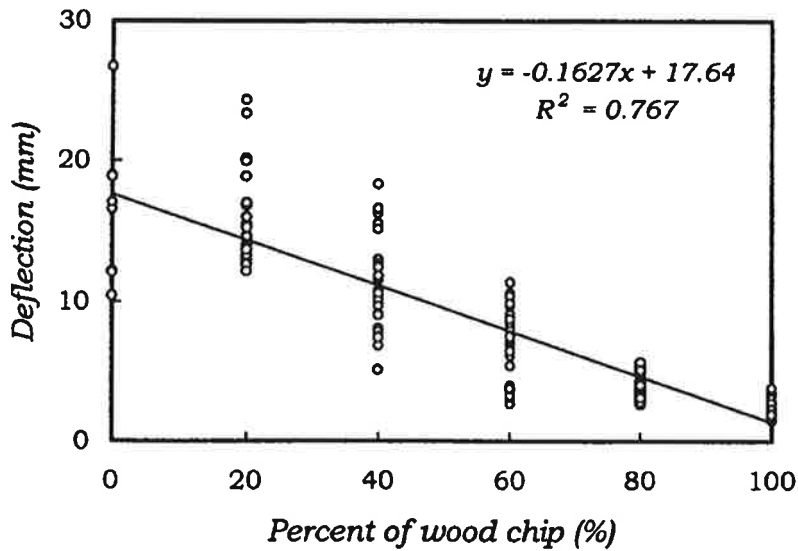


Fig. 8-33 Relationships between percent of wood chip and maximum deflection in bending test of rubber-based wood panels.

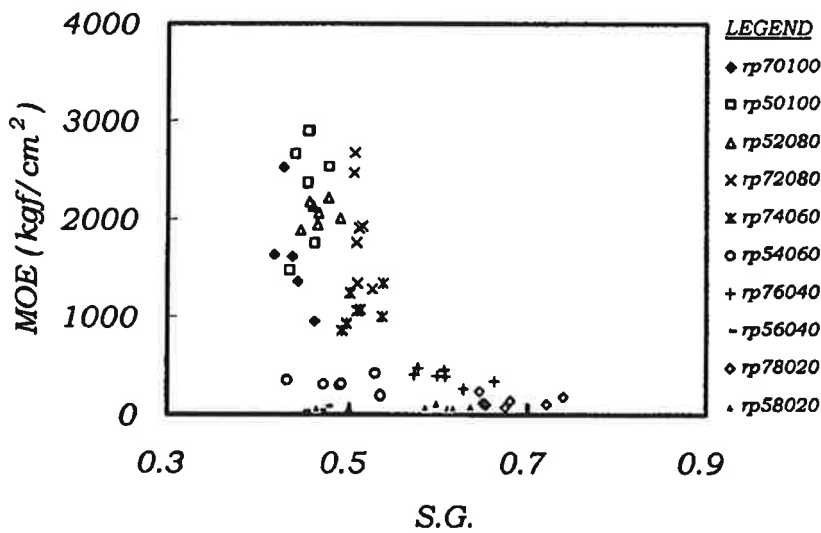


Fig.8-34 Relationships between modulus of elasticity(MOE) as a function of specific gravity in air dry of composite panel by pin type of wood chip and

rubber chip.

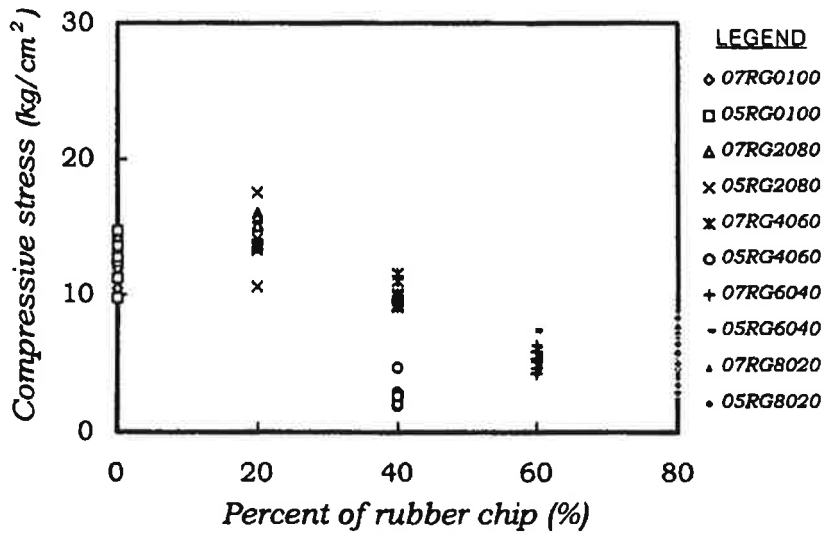


Fig.8-35 Relationships between volumetric percent of rubber chip (granule type) and compressive strength of rubber-based composites.

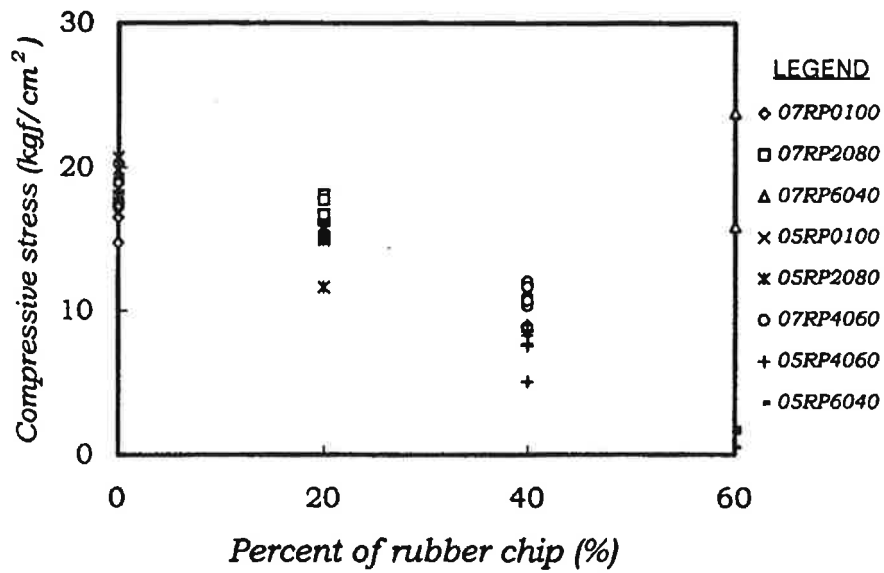


Fig.8-36 Relationships between volumetric percent of rubber chip (pin type) and compressive strength of rubber-based composites.

### 제 3 절 재질특성에 관한 결론

산업폐기물인 페타이어자원의 효율적인 재활용을 위한 고무칩과 목재칩의 복합재료 제조조건 검토를 위하여 원료를 1:1 중량비율로 하고, 열압온도 125℃ 일정조건에서 다양한 열압조건(가압압력과 가압시간)하에서 제조한 복합보드를 휨시험에 의한 재질평가 및 적정 제조조건을 검토하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1. 구성원료 소재의 가비중이 서로 다르기 때문에, 페타이어분말과 폐목재의 체적기준 혼합은 중량기준혼합 결과와 상당한 차이를 나타내었다.
2. 고무칩체적의 증가에 따라 비중은 증가하였고, 복합보드의 함수율은 고무칩의 체적비율이 클수록 감소하는데 이는 흡습성재료인 목재의 영향으로 생각되었다.
3. 목재원료는 strand상의 편칩이 등근입자상의 그레놀칩에 비하여 내부결합강도가 크고, 고무칩과 목재칩을 혼합하여 복합보드를 제조하는 경우에 있어서는, 목재칩의 형태가 그레놀형태보다 편형태인 것이 더 유리할 것으로 판단되었다.
4. 복합보드의 수분 흡수는 다공질성인 목재칩에서만 주로 일어나며, 제조보드의 함수율이 가장 낮은 열압시간조건은 다단계 가압시간 4→3→3분이었다.
5. 습윤상태시의 휨강도는 열압조건에 상관없이 모두 매우 낮은 값을 나타냈으며, 접착제를 바꾸지 않는한 복합보드는 건축물 등의 내장용으로서 사용함이 적당할 것으로 판단되었다.
6. 고무칩이 많은 시편이 비중이 높은반면 평균수축율은 負의 값을 보임으로써, 수분침투에 의해 약해진 원료 입자간의 결합력은 수분이탈후에도 회복되지 못함이 확인되었다.
7. 중량비율 1:1인 혼합비의 경우에 있어서 휨성능평가에 의한 가장 적합한 복합보드 제조조건은 3단계 가압시간 4→3→3분, 3단계 가압압력 45→20→5kg/cm<sup>2</sup>가 가장 적합하였다.

## 제 9 장 복합재료의 용도모색

현재까지 분쇄한 폐목재와 페타이어를 소재로 하는 복합재료는 국내에서는 이에 관한 연구 및 생산이 전혀 이루어지고 있지 못하는 실정이다. 그 원인에는 원료의 수급 및 산업체계의 비효율성 등의 제반 문제를 들수 있겠지만, 무엇보다도 산업폐기물자원의 활용이라는 점에서 일반인들의 인식이 낮으며, 만들어진 제품이 우수하다고 해도 적용여부에는 상당한 어려움이 뒤따를 것으로 예상되기 때문에 이것이 기업화에 큰 난관으로서 작용할 것으로 예상되기 때문이다.

제1년차 연구에 있어서 일본 북해도 임산시험장 및 Sun Floor社를 통한 자료수집 및 방문조사 결과, 일본에서는 수년전부터 목재와 타이어 복합소재를 개발하기 위한 연구가 진행되어 왔으며 현재 실행화 단계에 와 있다. 그러나 이질재료의 복합화에는 어려운 문제점이 속출하고 있었으며, 목재칩을 대량으로 투입하는 경우 결합력의 저하 등의 문제가 있어 목재와 고무칩의 혼합비는 중량비로서 1:8정도의 비율로서만 조정하여 제품을 만들고 있었다. 그 용도에 있어서는 북해도의 경우는 겨울의 난방문제가 가장 큰 과제인 관계로 온돌난방의 바닥재로서의 사용이 주용도였으며, 현재에도 새로운 용도개발을 위해 지속적인 연구를 진행하고 있음을 알 수 있었다.

본 연구결과, 휨작용이 우수한 고무원료의 혼합비 조절에 의해 휨탄성계수와 휨작용에 의한 최대처짐량의 산정이 가능함을 시사해 주고 있으며, 완충성 등의 기능성을 고려한 다양한 보드의 제조가능성을 알 수 있다.

일반 목재나 목질판상재료에 비하여 고무칩의 영향으로 휨성능은 매우 낮게 평가되었으며, 휨작용을 받는 곳보다는 압축작용을 받는 곳에 사용함이 타당할 것으로 생각되었다. 따라서 이 실험으로부터, 우리는 고무칩을 원료로 한 복합보드의 용도는 휨작용을 받는 곳보다는 압축하중을 받는 장소

에 사용되는 것이, 고무칩으로서는 용도면에서 매우 타당성이 있다고 판단된다. 그런 의미에서 고무의 완충성과 탄력성을 고려한다면, 판상재료로서 벽장재료보다는 온돌과 같은 마루바닥재, 실내체육관의 바닥재, 노인이나 어린이 수용시설내부의 바닥재, 상하로 연결되어 있는 아파트와 같은 집합주택의 바닥재 등으로 그 용도를 탐구하는 것이 폐자원의 효율적인 활용에 크게 기여할 것으로 예상되며, 고무와 목재의 혼합비율에 의한 다양한 복합보드의 제조가능성을 알 수 있었다.

그러므로 목재-고무칩 복합보드는 산업화와 연계하여 그 기능성을 살리기 위해서는 원료의 배합비 조절에 관한 면밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 생각되며, 소재의 장점만을 이용한 새로운 복합판상제품이 생산된다면, 처리에 고심하는 산업폐기물의 일종인 페타이어를 효과적으로 재활용함으로써 자원대체효과와 산업폐기물의 재활용 기술개발의 파급효과는 물론 공해문제 해결 등에 따른 상당한 사회적 및 경제적 기대효과는 물론, 지구환경보호라는 시대적 요청에도 크게 부응하는 결과를 가져올 것으로 기대된다.

미국이나 일본의 자료수집결과, 미국에서는 완충재로서 일본에서는 수년 전 부터 목재와 타이어 복합소재를 개발하여 실행화 단계에 와 있다. 일본의 목재 및 타이어 복합소재는 주로 바닥재로서의 사용의 검토하고 있으며, 현재는 새로운 용도를 찾기위해 계속 연구개발중에 있다.

국내의 경우 순수한 페타이어 분말을 사용하여 평면상의 제품을 생산하는 업체가 수곳에 달하고 있다. 그러나 목재를 혼합한 판상제품은 현재 생산이 되고 있지 않다. 국내의 페타이어 분말을 사용하여 고무 바닥재를 제조하는 회사를 방문하여 토의 한 결과 본 연구에 대해서 상당한 흥미를 가지고 있었다. 본 연구와 관련된 제품을 생산하는 B사(대구 달성군 소재)의 경우, 페타이어와 폐고무를 분쇄하여 바인더 첨가한후 바닥재를 생산하는 회사로, 생산 제품(상품명:베스텝)은 미끄럼 방지 및 탄력성이 우수하여 골

프장 및 테니스장 등에 바닥재로 시공된다고 하였다. 경북 달성군에 위치한 K사도 역시 B사와 마찬가지로 고무바닥재를 제품(제품명:슈퍼 러브 매트)으로 생산하고 있었다

그러나 페타이어를 분말로 제조하기 위해서 소요되는 설비 및 운영경비가 막대하여 고무분말의 가격이 비싸고, 또한 고무를 접착시킬수 있는 접착제의 가격이 상당히 고가임이 한계점으로 생각되고 있다. 또한 목재와 고무, 접착제인 폴리우레탄수지까지 모두 연소가 잘된다는 단점을 지니고 있어 건축 내장재 부분으로는 소방법 규제로 인하여 한계가 있다는 것 등도 용도개발의 제한요소로 작용하고 있는 현실에 있다.

더욱 중요한 사실은 이런 어려운 여건속에서도 본연구과제는 차세기의 우리자손들이 맞이해야 할 소가과 매립으로 인한 환경오염의 위기 및 폐자원의 효율적인 이용이란 관점에서 지속적으로 진행될 필요가 있으며, 더불어 정부차원의 과감한 투자가 매우 절실한 분야라고 판단된다.



## 제 10 장 종합결과 및 고찰

임지폐잔재와 페타이어복합에 의한 목질계 판상제품의 제조기술개발, 즉 목재와 페타이어로부터 얻어지는 고무의 복합재료인 판상제품의 개발시도는 현재 전무한 상태이나 수 많은 부수효과가 기대되는 분야이다.

우리나라는 1970년대에 시작된 치산녹화 10개년 계획으로 절대녹화가 성공하였고 이후 꾸준한 산지투자의 덕택으로 헥타르당 축적이 10여입방메타에서 현재는 40입방메타를 넘는 세계적으로 알려진 조림성공국가이다. 그러나 주지하는 바와 같이 산림의 내용은 20-30년생이하의 유령급이 대부분이고 수종선정등 초기 계획단계의 여러가지 문제점등으로 산림의 자원화에는 많은 어려움이 있다. 그나마 최근 인건비의 급격한 상승으로 육림작업에 필수적인 간벌작업에 막대한 투자가 요구되고 있으나 생산되는 간벌재를 비롯한 임지폐잔재의 가격하락은 산림의 경제립화에 크나큰 장애요인으로 알려져 있다. 지금까지 이의 이용을 위하여 간벌재의 통나무집 사용을 비롯한 톱밥제조등 몇가지 방법을 제시하고 있으나 반드시 박피를 해야하는 제약 때문에 제조단가가 높아져 실제적으로는 극히 일부가 이용되는데에 불과한 실정이다.

다음은 페타이어에 대한 현황을 보면 1997년 7월 기준으로 등록 자동차 대수가 1,000만대를 넘었으며 이에 따라 폐기물로 버리는 페타이어가 연간 약 천만개에 달하고 있다. 또 연간 증가율이 10%를 상회하고 있으나, 이에 대한 처리방법이 없어 무단 투기되거나 불법적인 방법으로 단순 소각하므로서 환경오염의 심각한 문제로 대두되고 있다. 환경에 대한 관심이 확대되면서 특정폐기물에 대한 적정처리 및 처분에 대한 감시와 법적규제가 날로 확대 강화되고 있으므로 환경오염방지를 위하여 특정폐기물은 무해화, 안정화하여 적정처분해야만 한다. 페타이어의 회수현황을 보면, 1988년에는 30.4%, '90, '91년에는 시군의 토목공사용으로 사용하여 재활용율이 선진국수준인

70%까지 상승하였으나 이런 수요를 제외한 재생타이어, 재생고무, 연료용등 나머지 분야의 재활용은 전년도에 비하여 크게 증가하지 않아 '92년은 발생 총량의 31%에 머무른 실적으로 환경오염원으로서 사회적으로 심각한 문제에 봉착하고 있다.

현재까지 페타이어의 이용방법으로는 재생타이어, 어초나 사방공사 등에 이용하는 원형이용방법과 소각등에 의한 열이용방법이 있다. 또 재생고무나 페타이어를 분쇄, 고무성분만을 분리하여 분말로 만들고 이를 가공 처리하여 보도블럭, 고무벽돌등을 제조하여 건설자재로 이용되는 바닥재나 아스팔트 포장에 이용되는 고무아스팔트로 이용하는 경우가 있다. 페타이어를 미세한 분말로 만들기 위해서는 페타이어분쇄에 막대한 에너지가 소용되고 있으며, 분말고무를 이용하여 바닥재등을 제조하는데 일반적으로 폴리우레탄 수지를 사용함으로 생산비용이 높아져 경제성면에서 많은 문제점을 가지고 있다. 따라서 가까운 장래를 내다볼때, 폐자원으로부터의 국토보전차원에서 환경보호와 국가차원에서의 재활용산업의 활성화 대책의 일환으로 본 연구의 개시는 현시대상황에 비추어볼때 필연적이라 할 수 있을 것이다.

## 가. 연구개발의 필요성

자동차산업의 발달에 따른 폐기 타이어의 처리문제가 사회문제로 등장한 이래, 그 처리문제에 대한 필요성이 날로 높아가고 있다. 폐기물의 소각, 매립은 자원의 재이용과 환경문제를 생각해 볼 때 합리적인 처리방안이 되지 못하며, 따라서 쓰레기자원의 재활용을 위한 근본적인 대책마련이 절실하다고 할 수 있다. 이런 의미에서 본 과제는 연구배경에서 논한 내용과 같이 효과적인 이용을 하고 있지 못하는 간벌재를 비롯한 임지폐잔재와 산업폐기물로서 그 처리에 고심하고 있는 페타이어를 복합하여 새로운 판상제품을 개발함으로써, 목질계재료와 異種재료와의 복합화기술을 개발함으로써 복합

제의 제품개발과 제조기술을 확립함에 있다. 여기서 얻어지는 기대효과는 임지폐잔재를 비롯한 폐목질자원과 공해산물인 페타이어를 복합판상제품화함으로써 그 처리에 고심하고 있는 폐자원의 재활용을 극대화 함은 물론 프라스틱과 같은 타 폐자원의 재활용 기술개발에의 파급효과 및 목질과 타 재료간의 판상제품기술 향상에도 기여하게 될 것으로 기대된다.

또한 특정폐기물인 페타이어의 효율적인 처리로 공해문제 해결과 환경보존에 기여함은 물론 다양한 폐재료를 사용한 제품의 수요창출에 의한 상품성을 부여할 수 있을 것이다. 특히 환경오염을 줄이는 데에 크게 기여할 것이며 재생산업의 창업기회 창출로 고용효과의 증대 등 경제사회적인 측면에서의 효과가 크게 기대된다.

#### 나. 국내외 관련기술의 현황과 문제점

자동차산업은 해가 갈수록 전세계적으로 고속성장을 계속하고 있다. 이는 현대인의 문화의식 수준 향상 때문이라 생각된다. 전년도에 비해 올해의 자동차 수요는 국내 유수의 H사를 비롯한 자동차 생산 회사의 신기종 개발 및 해외진출에 더불어 직장인이 아닌 주부 및 청소년 운전자까지 지속적으로 증가하고 있으며, 이에 동반한 자동차 산업 폐기물의 계속적 증가는 피할 수 없는 현실이다. 1996년도 일본의 산업 폐기물 처리 심포지움에서 산업폐기물의 처리는 미루더라도, 1차적으로 제품의 생산과정에서 배출되는 이산화탄소등의 유해가스 억제대책에 부심하고 있으며, 이는 미국, 프랑스를 비롯한 서구 선진국에서 앞으로 해결해야 할 과제이다. 특히, 산업시설에서 배출되는 이산화탄소는 지구환경파괴의 주범이며, 대기층의 오존층을 파괴하여 지구온난화를 유발하고 있다. 1996년도 유럽의 프랑스에서 6월에 개최된 선진국 정상 회담인 G7 summit회의에서도 개발도상국의 발전을 저해하는 선진국 위주의 환경보호운동은 중지하더라도 각국의 상황을 고려한 환경

파괴 방지법안 마련에 대한 의견이 제시되었던 것은 누구나 잘 알고 있는 사실이다. 가까운 일본의 경우에 있어서는 산업 폐기물의 재생 산업화에 많은 사람들이 관심을 가지고 정부의 강력한 지원아래 산학연이 일치가 되어 해결점을 모색하고 있다. 올해 7월에 페타이어 및 플라스틱류의 처리실태 및 처리방안에 관한 산학연 심포지움에서 최종적으로 산업폐기물이 되는 제품을 생산하는 생산자가 생산과정에서도 부담금을 현재 물고 있지만 앞으로는 사용후의 폐기과정에서 발생하는 비용도 일부 부담을 해야한다는 주장이 강하게 시사되고 있다. 일본은 강력한 지방자치체로서 각 현마다 조례, 조항을 증가하는 폐기물의 대처 방안으로 해마다 개정 신설을 반복하고 있으며, 폐자원의 처리 문제 및 유효 활용방안에 대해서 매우 적극적으로 대처하고 있는 나라의 하나라고 할 수 있다.

미국의 경우에 있어서도 오레곤주, 미네소타주, 워싱턴주에서는 최근 페타이어 리사이클화의 제품으로서 운동장 및 놀이광장의 바닥재로서 또는 loading-dock bumper로서 사용하고 있으며, 와이오밍주등에서는 경량 filler 제로서 폐고무 칩을 건설현장에서 사용하고 있다. 물론 사용에 있어서 다양한 처리 및 칩의 크기 조절을 하고 있으며, 인터넷 정보로서 국제적으로 페타이어의 활용법에 대해 세계 각국의 관련자들과 정보 교환을 하고 있다.

우리나라에서는 현재 골프장, 도로바닥재 등 특수용도로서 극히 일부가 바닥재로서 사용되고 있다. 일반에게 널리 알려지지 않는 원인은 제품에 비해 소비의 욕구충족이 이루어 질수 없기 때문으로 사료된다. 국내유수의 바닥재 생산업체인 H사, L사의 최고 제품 가격이 평당 약 8만원 정도인 것에 비해 페타이어만으로도 된 판상제품은 평당 12만원 이상을 요구하고 있다. 그 원인은 고무에 의한 제품의 제조 단가의 상승이 직접적인 원인이지만 앞으로 제조 단가 경감에 관한 연구 및 국가 산업의 장래를 책임질 정부의 지원등이 많이 필요한 분야라 생각된다.

따라서 이러한 모든 사항을 고려해볼때 해마다 증가하는 페타이어의 처리방안으로써 국내뿐만 아닌 전세계적으로 리사이클 공업 제품화는 필수 불가결하며, 그 용도 개발에 적극적으로 대처 해야 할 것이다.

## 다. 앞으로의 전망

앞으로 GR, UR, TR, BR 등 각국간의 직간접적인 환경규제와 세계 경제 정세의 급변으로 인하여 각국간 또는 국내 폐기물 쓰레기의 감량화, 자원의 재활용, 재사용 정책상 환경 친화적 포장재료로서 목질계 폐재료 및 잡종고지의 재활용 기술, 종이 완충 포장재(내포장), 종이 포장재(외포장)는 무공해 포장재료로써 대단히 각광을 받을 것이다.

재생용제품에 있어서는 사용시의 강도와 원료의 섬유장, 건식해리조건, 성형조건 첨가제 개발 및 첨가량 조절, 고해도, 건조전 수분등을 연구분석하여 완충재로서의 신뢰성을 높여야되며, 생산비용의 절감이라는 과제가 남아 있다. 덧붙여 고무칩원료와의 다양한 복합화방안 및 용도모색 또한 큰 과제로 남아있다고 할 수 있겠다.

전세계적으로 산업폐기물과 생활쓰레기에 의한 매립지선정, 소각으로 인한 대기오염문제 등의 과제는 앞으로 필연적으로 생길 문제로서 지금부터 하나씩 해결해야만 할 우선적인 과제임에 틀림없다.

## 라. 연구개발결과

### 1. 임지폐잔재의 발생행황과 이용실태

임지폐잔재는 간벌 및 수종갱신등 일련의 작업에서 배출, 생산되는 소경재를 말한다. 특히 이때 생산되는 간벌재는 벌채현장에서 버리는 경우가 대부분인 것으로 파악되고 있다. 간벌 및 수종갱신에 의해 생산된 목재는 1994년에 690,000 m<sup>3</sup>로, 이 수치로서 임지폐잔재의 양을 대략적으로 추정할

수 있다. 목질폐자원이 발생하는 또 다른 경우는 목재관련 공장에서 발생하는 폐재이다. 이 경우 제재소에서 발생하는 것과 목재 가공공장에서 발생하는 경우로 구분할 수 있다. 이때 폐기물은 주로 수피, 목분, 톱밥, 대패밥, 합판폐재, 가공손실재등이다. 실제로 임산폐자원 발생량적 측면에서 임지폐잔재량과 제재폐재량을 비교해보면 실제로 제재폐재량은 임지폐잔재량의 수배에 달하고 있다. 이러한 제재폐재는 각 목재관련 공장에서 연료나 기타 목적으로 대부분 사용하고 있다.

또한 국내목재공업에 있어서 폐재 이용비율은 최고치가 14%에 불과하다. 한편 국내재의 벌채 과정에서는 주벌목을 제외한 간벌목, 수종 갱신목, 기타 벌채목을 벌채폐목이라 한다. 국내에서 발생하는 임지폐잔재는 전체적으로 침엽수가 활엽수보다 월등히 많이 발생하고 있으며, 수종별로는 소나무와 참나무가 약 80%로 우위를 점하고 있다. 국내 임지폐잔재는 벌채현장에서 버리는 경우를 제외하고는 갱목, 펄프재, 건축자재, 연료재로 주로 이용되고 있다. 또한 임지폐잔재의 17%가 연료재로 사용된다는 사실은 귀중한 목재자원의 낭비라고 할 수 있을 것이다.

## 2. 페타이어 발생 및 처리실태

폭발적인 자동차 수요증가와 함께 기하급수적으로 배출되는 페타이어는 환경오염의 원인이 된지 이미 오래전 일이다. 국내의 자동차 페타이어 생산량은 1997년 7월 현재 페타이어 발생갯수는 1,700만여개를 초과하였다.

국내의 페타이어 발생량은 1994년에 15,753,000 개로 1993년에 비해 약 28.6%로 늘어났는데, 이에 대한 활용대책은 미흡한 것으로 알려져 있다. 이중 승용차 타이어는 전체 페타이어의 약 78%를 차지하고 있는데, 해마다 대형 타이어(버스, 트럭)는 줄어드는 반면, 소형타이어는 승용차의 증가와 함께 비례적으로 상승추세에 있다. 페타이어는 일본의 경우 약 90%가 재활용되고 있지만, 국내에서는 배출량의 절반정도인 58%가 재활용되고 있다.

일본의 경우 도로시공시에는 아스팔트와 병행하여 의무적으로 페타이어를 사용하게 하고 있기 때문에 수요부족으로 우리나라로부터 수입까지 해 가고 있다. 국내의 경우 해마다 증가되는 페타이어의 재활용은 중간 수거업자를 통해 이루어 진다. 대한 타이어협회에서 지정한 전국 20개의 전문 수거업체가 타이어 판매점이나 정비업체 등으로부터 페타이어를 개당 150원(대형은 500원)에 사서 재활용업체에 무료로 공급해 준다. 페타이어를 구입하는 비용은 대한 타이어 공업협회가 지급하고 있다. 페타이어를 회수할 의무가 있는 제조업체(5社)와 수입업체(12社)가 대한 타이어 공업협회에 처리를 위탁해 수거비와 관리비를 주고 있기 때문이다. 페타이어를 재활용하는 방법에는 여러가지가 있다. 국내에서 사용하는 방법은 고무 분말가공과 건류식 소각법이다. 이 밖에도 수출을 하거나 원형 그대로를 건축물등에 이용 또는 트레드 부분을 잘라서 상품을 만들기도 한다.

페타이어가 가장 많이 활용되고 있는 곳은 군부대이다. 94년도 재활용 현황을 보면 군부대가 전체의 79.9%를 차지했고, 고무 분말등의 가공이용이 11.1%였으며, 수출이나 기타 활용은 아주 적은 수준이다. 이를 볼때, 앞으로 군부대의 수요가 적어질 경우 페타이어로 인한 환경오염이 심각해질 것임을 알 수 있다. 이는 정부의 적극적인 대책이 필요하다는 의미도 포함된다. 현재 활발한 움직임을 보이고 있는 재활용업체는 3곳 정도이다. 모두가 고무 분말 가공에 의해 재생고무나 보도블록등을 만들고 있다. 부성종합산업사(경북 달성군 논공면 소재)는 보도블록과 매트를 생산·판매하고 있으며 대흥공업(주)는 재생고무를 만든다. 또한 현진화학(전남 나주시 소재)은 고무 분말을 수출하고 있다. 본 실험에서는 주로 현진화학으로 부터 고무분말을 구입하여 실험에 사용하였다.

### 3. 임지폐잔재의 적정 chip화 기술개발

목재와 고무분말계 복합소재를 만들기 위해서는 먼저 목재 칩의 형상과

크기를 결정하여야만 한다. 페타이어 분말의 적정크기는 예비실험 결과 2 - 5 mm가 적합하다고 판단됨에 따라 목재칩의 형태는 2가지로 제조하였다.

#### 목재와 고무분말계 판상소재용 칩의 제조

##### 가. 편칩

Tub-Grinder(PRT-1000)에 의해 목재를 2회 분쇄하여 얻어진 목편을 3단계 스크린을 통해 적정크기의 편칩을 분리 채취하였다. 이때 편칩은 A형(7 mm 스크린을 통과하고 5 mm 스크린을 통과하지 않은 칩)과 B형(5 mm 스크린을 통과한 것 중에서 2 mm 스크린을 통과하지 않은 칩)의 2가지로 제조하였다.

##### 나. 톱밥형 칩

톱밥제조기 (SJS 9250)로 제조된 톱밥중에서 2단계 스크린을 통해 분리 채취하였으며, 이때 톱밥형 칩은 편칩과 마찬가지로 A형(5 mm 스크린을 통과치 않은 목편)과 B형(5 mm 스크린을 통과하고 2 mm 스크린을 통과치 않은 목편) 2가지로 제조하였다.

#### 목재 칩의 형태별 제조단가 및 수피 혼입 비율

- 편칩형: 45.4 원/kg, - 톱밥형: 70.0 원/kg, - 편칩형: 22%/100m<sup>3</sup>,
- 톱밥형: 15%/100m<sup>3</sup>

#### 목재분쇄장비

- 목재 파쇄기: Tub Grinder(PRT-1000, 외산),  
수입판매회사: 풍림특장
- 톱밥제조기(SJS 9250, 삼진기업)

#### 4. 페타이어의 적정분쇄기술 현황

페타이어의 주된 처리방법은 원형으로의 이용, 연료 및 열분해 소각을 통한 열이용 방법, 분말처리 및 가공기술 등으로 대별할 수 있다. 이들중



분말화 즉 분쇄화는 기계적 분쇄법과 냉동에 의한 분쇄법으로 나눌수 있다. 이들의 특징을 보면 Grinding에 의한 기계적 방법은 회수율이 낮고, 에너지 소요가 크며, 미분쇄화하기 어려움이 있는 반면, 냉동분쇄법은 섬유류, 스틸류와 고무류를 효과적으로 분리할 수 있으며, 분쇄된 고무는 순도가 높다. 그러나 국내에서는 설비 및 운영비가 많이 소요되는 냉동분쇄공장은 없고, 전부 기계적 분쇄방법에 의존하고 있다. 또한 페타이어의 기계적 분쇄공장마저도 전국에 4곳에 지나지 않는다. 이들이 소유하고 있는 페타이어 분쇄 기계는 대부분이 현재 특허출원중에 있고, 경쟁회사의 견제로 인하여 외부인에게는 절대 공개하지 않았다. 그리고 공장의 생산설비도 마찬가지로의 경우였다. 페타이어의 분쇄에 있어서 가장 큰 애로점은 소형 승용차 타이어의 측면에 존재하는 강철 와이어의 분리이다. 일부회사에서는 강철와이어 제거기술이 없기 때문에 대형 타이어만을 기계적 분쇄를 실시하고 있다. 왜냐하면 대형타이어에는 강철 와이어가 없어서 고무질만을 분쇄하면 되기 때문이다.

현재 일본에서는 소형차 타이어의 기계적 분쇄방법에 있어서, 와이어의 분리, 제거 방법이 개발중에 있는 것으로 알려져 있다. 이 방법은 페타이어를 분쇄하는 과정에서 자석을 이용하여 제거하는 방법이다. 또한 기계적 분쇄공정에 있어서 승용차 타이어를 분쇄하는 경우 강철와이어에 의한 칼날의 내구성 저하로 많은 애로점이 있다.

##### 5. 접착제 선택 및 접착공정 개발

복합보드를 제조하기 위해 투입되는 재료로는 폐목재, 페타이어, 접착제, 경화제 등이 있다. 보드의 제조시 사용된 열압프레스는 직접, 설계 제작한 것으로, 2단 제조방식을 구비하고 있다. 페타이어와 목재를 동시에 접착 할 수 있는 접착제는 현재 국내에서 시판되고 있는 제품은 없다. 본 실험에서 사용한 접착제는 폴리우레탄 계열의 접착제로서, 공장(M산업)에서 소량 제

조하여 구입, 사용하였다. 보드의 성형시 순간배기없이 연속적으로 압력을 가하여 제조하였으며, 열압온도의 설정은 접착제 및 경화제 자체의 경화온도를 충분히 고려하여 설정하였고, 성형재료의 혼합은 먼저 일정량의 폐목재와 페타이어 분말을 충분히 혼합한 후, 경화제 및 접착제를 순차적으로 투입, 혼합하였다. 이를 21 cm(가로) X 21 cm(세로) 스테인레스 재질의 정방형 성형몰드에 투입한 다음, 상부면을 일정하게 조절하여 열압, 성형하였다.

#### 6. 복합보드 제조를 위한 각 소재의 투입량 계산방법

보드 제조시 반드시 고려해야 할 사항은 최종적으로 생산된 보드의 비중이다. 만약 동일한 비중을 갖는 다른 성상의 소재를 사용하여 보드를 제조한다면, 최종 생산된 보드의 비중은 큰 문제가 없다. 그러나 본 실험에서 사용한 소재는 비중이 각기 다르기 때문에 단순히 중량만을 기준으로 투입하여 성형한다면, 최종 보드의 비중은 조절이 상당히 어렵다고 판단되었다. 그래서 본 실험에서는 이러한 점을 해결하고자 각 소재의 가비중과 부피를 이용하여 미리 소재의 투입량을 결정하였다. 페타이어분말과 폐목재의 부피기준 혼합은 중량기준 혼합과 상당한 차이를 나타내었다. 이러한 이유는 각 소재의 가비중이 서로 다르기 때문이다. 만약 페타이어 3~4 mm 분말(R34)과 그래놀칩(대)을 혼합하여 보드를 만들었을때, 부피기준 혼합비율이 R34:WPS=1:1(V/V)이라면 중량을 기준으로 하면 실제로 25:7로 혼합되어 있는 것이다. 또한 각 소재를 동일한 중량, 즉 1:1로 투입하려면, 부피기준으로 페타이어 20부, 폐목재 80부로 투입 및 혼합하여야만 근사치에 가깝게 된다. 한편, 동일한 부피비로 페타이어와 폐목재를 투입한다 하더라도, 폐목재는 성상에 따라 중량비는 달라진다. 이는 동일한 목재라 하더라도 형태에 따라 가비중이 다르기 때문이다.

#### 7. 폐목재 및 페타이어의 성상이 혼합보드 제조에 미치는 영향

폐목재의 성상을 기준으로 하여 제조된 보드의 외형 및 강성을 고려 해 보면(표1-14,1-15) 핀칩(소)와 그레놀칩(대)가 페타이어의 입자크기에 관계 없이 보드의 제조에 적합한 것으로 나타났다. 페타이어분말의 입자크기 측면에서 고려해보면 3-4 mm 입자가 2 -3 mm보다 다소 유리하다고 판단된다.

#### 8. 페타이어와 폐목재의 혼합비 변화에 따른 보드성형상태 비교

혼합보드의 사용목적에 따라 각 소재의 혼합비율 및 접착제 투입량은 달라져야만 한다. 만약 쿠손을 필요로 하는 보드를 제조하려면 페타이어의 비율이 높아야만 하고, 자연분해성 또는 흡음성을 필요로 한다면 폐목재의 비율이 높아야만 할 것으로 추측된다. 페타이어와 그레놀칩을 혼합하여 제조된 보드는 부피기준 혼합비율이 40:60을 기준으로 하여 폐목재 혼입량이 증가할수록 보드의 외관적 성상과 강성은 제품으로서의 질이 상당히 떨어졌다. 특히 혼합비율이 30:70(페타이어:폐목재)이후로, 폐목재의 혼합 비율이 증가할수록 폐목재 입자들이 접착이 되질 않아서 보드의 일부분에 펑크가 나타났다. 펑크가 발생하는 정도는 폐목재 혼합비율이 증가할수록 더욱 심하게 나타났다. 이러한 원인에는 먼저 폐목재의 혼합비율이 증가함으로써, 보드 전체의 표면적이 증가하여 접착제에 의한 접착이 전체적으로 불균일하게 일어났기 때문이라 판단되며, 또 다른 이유로는 성형 압력이 낮아서 소재간의 완벽한 압착이 이루어 지지 않았기 때문으로 판단된다.

#### 9. 성형압력변화에 따른 보드의 제조상태

페타이어와 폐목재를 혼합, 성형하여 보드를 제조하는데 있어서, 폐목재의 비율이 많아질수록 제조된 보드의 성형상태는 외관이나 강성면에서 상당히 뒤떨어 지는 결과를 나타내었다. 이에 대한 원인으로는 접착제양과 성형 압력이 원인으로 작용할 수가 있다. 접착제양은 보드의 생산단가에 큰 비중

을 차지하고 있기때문에, 먼저 성형압력을 변화시켜 보드를 제조하였다. 페타이어 3-4 mm와 폐목재(WGL)를 1:9로 혼합하고, 동일한 양의 접착제를 투입시켜 성형압력만을 변수로 하여 보드를 제조한 결과이다. 성형압력을  $2\text{kg/cm}^2$ 으로 했을때, 보드의 두께는 32.4 mm로서 최초 예상치(15 mm)에 비해 상당히 높게 나타났다. 이에 영향을 받아 비중 또한 최초 예상치(0.50)보다 상당히 낮았다. 페타이어 및 폐목재의 혼합비율은 1:9로서, 폐목재의 혼합비율이 대단히 높은 보드를 제조한 후, 예상 보드 두께(15 mm) 및 비중(0.7)을 기준으로 보드를 판단해보면 성형압력이  $20\text{ kg/cm}^2$  부근이 적합하다고 생각된다. 그러나 이때 보드의 성형상태는 불량으로 나타났다. 또한 생산된 보드의 성형상태 측면에서는  $12\text{ kg/cm}^2$ 이 원만하다고 판단된다.  $12\text{ kg/cm}^2$ 을 초과하여 압력을 상승시킨 결과, 보드의 일부분에서 팽크 현상이 두드러졌으며, 또한 보드의 표면이 거칠게 나타났다. 또한 폐목재의 혼합량이 페타이어 혼합량에 비해 큰 차이가 날 경우에는 성형 압력 최소  $2\text{ kg/cm}^2$  를 초과해야 한다는 사실을 알 수 있었다.

이와 같은 사실로 생각해 볼때, 페타이어와 그레놀칩을 사용한 보드의 제조에 있어, 그레놀칩이 전체의 70%이상 혼합되어 있으면 성형압력을 최소  $2\text{kg/cm}^2$  을 초과하여야만 원하는 비중의 보드를 제조할 수있다고 판단된다. 그리고 성형 압력이 증가 할수록 보드 표면의 평활 상태가 불량하게 나타났는데, 이는 고무가 압착동안에 수축되어 있다가, 압착후에는 고무가 지니는 고유의 탄성이 회복되어 보드의 접착에 영향을 미친것으로 생각된다. 이러한 사항을 개선하기 위해서는 압착시간을 연장하는 것이 그 해결책으로 판단되지만, 압착시간의 장기화는 생산성과 연결됨으로 산업화 측면에서는 불리하게 작용할 것으로 생각된다.

결과적으로 본 연구진이 폐목재의 형태적인 측면에서 고려해볼때, 편칩이 그레놀칩보다 복합보드에 더 적합하다고 판단된다.

## 10. 부차적 복합재료 원료의 탐색

폐기 타이어와 목재의 복합화 주요요소는 고무칩과 목재칩이며, 이 두가지의 주성분을 기재로 한 복합화 원료는 여러 가지 분야의 원료를 생각할 수 있게 한다. 주요성분인 목재는 간벌재로서 벌채현장에서 버리는 경우가 대부분인 임지폐잔재로 소경재가 많은 비중을 차지하고 있다고 할 수 있다. 이외에도 플라스틱, 비닐계 등의 무기계 원료와의 복합화가 자원의 재활용 및 용도적성에 따라 목재와의 재구성방안에 대해 검토되고 있는 현실에 와 있다. 또한 목재와의 복합화는 고무칩 이외에도 농업부산물인 폐기 비닐류, 열화비닐, PET병, 플라스틱, 폐지류, 숯과 같은 원료들을 생각해 볼 수 있을 것이다.

이와는 다르게 폐기 타이어를 주요인자로서 구성한 고무계 복합재료로는 전술한 목재와의 복합화 및 도시의 생활쓰레기로부터 배출되는 신문지, 골판지, 백상지 등의 잡종고지와 복합화를 들 수 있다.

이에 본 연구과제에서는 목재-고무계 복합보드의 구성요소원료를 페타이어인 고무소비촉진을 시킨다는 의미에서 고무원료 기준으로 목재이외의 원료변화에 의한 복합재료의 제조에 관한 실험을 행하였다. 원료로서는 최근 도시쓰레기로서 주요부분을 차지하고 있는 신문고지 및 사무실인쇄용지(백상지)를 이용하였다. 먼저 이들재료를 슈레더(분쇄기)로써 잘게 자른후 그대로 원료로 이용하거나, 슈레더에 잘린 것을 다시 피브릴화시켜 섬유덩어리로 만든 원료로 재가공하였다. 고무원료에 비해서 이들원료는 섬유상인 점을 감안하면 원료의 체적면에 있어서 상당히 bulk하여 접착제혼입 등의 공정이 원만하지 못하였으며 제조과정에 있어서 수작업에 의한 번거로움이 상당히 많았던 것으로 생각된다. 그러나 일반적인 제조조건인 열압온도 120℃, 열압압력과 시간을 3단계스텝으로 45kg/cm<sup>2</sup>(4분)→30kg/cm<sup>2</sup>(3분)→5kg/cm<sup>2</sup>(3분)의 조건으로 복합보드를 제조한 결과, 예상과는 달리 외관상으

로는 상당히 양호한 제품이 제조되었다. 압체메카니즘을 생각해보면 접착제가 섬유다발과 분말상의 넓은 원료표면에 고르게 도포된다는 것은 사실상 어려우나, 고온에서 열압체에 의해 접착제성분의 원료간 침투이동이 이루어진 것으로 생각된다. 이것은 종이류의 통기성 및 투과성이 목재재료에 비해 훨씬 우수하기 때문에 압체성형에 별 문제가 생기지 않은 것으로 생각되었다. 또 두가지 원료를 완전히 믹서하여 만든 것과 각각의 원료를 분리하여 2층보드를 만드는 데는 제조상 별 하자가 없는 점으로 미루어 기능성을 고려하여 제조한다면, 원료의 기본물성에 차이가 있지만 잘 이용한다면 그 용도도 많을 것으로 예상된다. 따라서 본 실험결과, 페타이어를 원료로 하는 고무와 도시쓰레기중 많은 부분을 차지하는 종이류를 복합화하여 재료로서 개발하는 것도 상당히 큰 의미가 있을 것으로 판단된다.

#### 11. 압체조건에 의한 적정 성형조건 검토

실험에 사용한 시료는 침엽수 목재칩으로써 함수율은 2%이며, 목재칩의 비중측정은 먼저 칩 중량을 측정후 부정형의 부피는 메스실린더를 이용하여 가사비중으로서 산출하였다. 고무는 일반 페타이어로써 고무의 크기는 평균직경이 3~4mm 정도였다. 고무칩의 비중측정은 목재칩의 측정과 같은 방법으로 행하였으며 10회 측정평균값은 가사비중이 목재 약 0.2, 고무 약 0.5~0.6이었다. 또한 수분치환에 의한 엄밀한 체적측정에 있어서 실제 평균 비중은 목재가 약 0.62, 고무는 0.96의 값을 나타냈다. 접착제는 복합 보드 제조에서 고무를 사용하였기 때문에 폴리우레탄을 사용하였으며, 접착 수지량은 제조보드 총중량의 10%를 첨가하였다. 경화제는 접착제량의 10%를 첨가하여 보드를 제작하고 고무칩( $\phi=3\text{mm}$ )과 목재칩( $\phi=3\sim 4\text{mm}$ )의 복합보드 제조에 있어서 원료의 혼합비율은 중량비로써 1:1로 고정하여 섞어, 크기  $190\text{mm}\times 210\text{mm}\times 10\text{mm}$ (두께)인 복합 보드를 제조하였다. 이때 목표비중은 0.7로

산정하였고, 보드수는 각 조건당 2매씩으로서 열압스케줄을 다양하게 변화시켜 열압성형조건을 검토하였다.

적정 압체조건은 열압온도 120℃, 열압압력과 시간은 3단계스텝으로 45kg/cm<sup>2</sup>(4분)→20kg/cm<sup>2</sup>(3분)→5kg/cm<sup>2</sup>(3분)의 조건이 일반적으로 에너지 효율면이나 재료의 품질면에서 무난한 것으로 판단되었다.

## 12. 복합보드의 각종복합화 기술에 의한 기능성부여

고무는 탄력성이 매우 풍부한 재료이며, 목재는 탄성체이면서도 점탄성과 소성을 공유하고 있고 원료의 복합화 조건에 따라 상이한 성질을 발현하는 생물재료라고 할 수 있다. 따라서 고무와 목재 구성요소 원료의 배합비율 및 접착제의 종류에 따라서, 만들어지는 최종 제품의 성질이 달라지는 것은 의심할 여지가 없으며, 복합재의 사용조건 및 용도에 따라서 이들 원료비율과 접착제의 선정이 적절하게 이루어져야만 할 것으로 판단된다.

여기에서 고려해 볼 수 있는 제조보드의 기능성은 흡음성이나 단열성 및 쿠션성 등이 있을 수 있다. 이를 위해 우선 생산할 수 있는 복합보드의 크기에 대한 제반 재료량 및 구성요소별 적정혼합비율의 결정을 위하여 일련의 이론식을 유도하여 적정배합량을 결정하였다. 그리고 실제 실험원료의 양적인 조절을 위하여 목재칩과 폐고무칩의 가사비중 및 단위중량당의 체적을 정리해 보면, 목재의 대형편칩이 소형편칩보다 가사비중이 약간 크며, 변이폭도 약간 크게 나타났으며, 또한 고무의 대형칩이 소형칩에 비하여 가사비중이 큰 점으로 미루어 목재와 고무칩에 상관없이 칩의 크기가 가사비중의 증대에 영향을 주는 것으로 추정되었다. 이 결과로부터 고무칩의 가사비중이 목재칩보다 2-3mm칩에서 약2.5배, 3-4mm칩에서는 약3.0배정도로 크게 나타나, 중량분율로 볼 때 고무가 단위체적당 많은 중량이 나감을 알 수 있으나 동일비중의 복합재료를 제조하는 경우에 있어서 목재의 중량분율이 많아짐에 비례해서 목재의 체적분율은 매우 크게 될 것이 예상된다.

### 13. 원료의 복합화방식에 의한 기능성부여

원료혼합비율 및 용도에 따른 재료개발에 따른 원료배합조건 탐색에 있어서는, 먼저 체적비를 지양하고, 고무와 목재는 중량비로서 만들고자 하는 복합보드를 설계하여 정해진 열압스케줄에 따라 복합보드를 제조하였다. 목재칩과 고무칩의 복합화방식에 의한 기능성부여는 각각의 소재의 특성을 살릴수 있는 재료개발이 되어야 하며, 이 사실로부터 먼저 목재의 따뜻함과 흡음능력 및 고무의 탄력성을 부여하는 제품개발을 생각할 수 있다. 즉 일정한 비중으로 고정된 보드를 제조함에 있어서 어느 쪽의 원료를 많이 투입하느냐에 따라 제품의 성질이 확연하게 달라짐을 알 수 있다. 따라서 목재와 고무의 원료량의 배합비율에 따라 강성(rigidity)을 부여할 것인지 아니면 탄력성을 부여할것인지를 결정할 수 있다. 목재량이 많을수록 제조한 보드의 강성은 크고, 고무량이 많을수록 강성은 떨어지는 반면에 탄력성은 풍부하게 나타났다. 이런특성을 기초로 먼저 온돌바닥재로서의 개발 및 적용과, 두 번째는 가로수 보호대의 개발과 적용시험을 들 수 있다. 온돌바닥재로서는 중량이 많이 나가는 고무량을 가능한 배제하는 편이 좋으며, 가로수의 수목보호대는 외장재료인 만큼 내후성이 강한 고무가 많은 복합보드가 적합할 것으로 예상된다.

일반적으로 이종원료에 의한 복합재의 역학적 성질은 혼합의 법칙(law of mixture)에 의해 평가할 수 있다. 즉 지금 목재원료를  $w$ 로, 고무원료를  $r$ 의 아래첨자로 표기하여, 목재와 고무원료로 만들어진 재료가 외력을 받았을때의 응력과 탄성계수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma = v_r \sigma_r + (1-v_r)\sigma_w, \quad E = E_r v_r + E_w(1-v_r)$$

따라서 구성원료 각각의 특성과 함유비율을 알게 되면 만들고자 하는



복합재의 특성을 고려하여 적소에 사용할 재료를 제조할 수 있는 것이다. 배합비율에 따른 제품의 특성을 생각해 볼 경우, 동일한 비중이 되도록 원료량을 중량비율로서 조정하여 복합보드를 만든다면, 보드의 제반 물성치는 원료의 배합비율에 따라 절대적인 영향을 미칠것으로 판단된다. 특히 바닥재로서 사용될 때, 쿠션성이나 흡음성, 단열성능이 뛰어날 수 있도록 제조설계를 할 수 있다면 본 연구과제에서 이루고자 하는 결과는 매우 효율적으로 이루어질 수 있을 것으로 생각된다.

#### 14. 안료의 도입

목재-고무계 복합보드의 용도에 따른 기능성부여측면에서 감각특성을 고려한 안료의 착색은 재료의 질감향상 및 이용자의 마음을 컨트롤하기 위해 필요한 공정으로 생각된다. 목재의 종류에 따라 시각적인 느낌은 다종다양하게 나타나지만, 목재와 검은색의 고무와의 복합재료는 사람들에게 친근감을 줄만큼 화려하거나 시각적인 친근감을 얻기란 매우 어렵다. 따라서 목재-고무계 복합재료의 용도확대방안의 하나로서 복합보드에 적절한 색상의 부여가 필요하다고 생각된다. 기존의 복합보드제조업체의 방문조사결과, 안료와 고무의 혼합이 수작업에 의해 손쉽게 이루어질 수 있음을 보여주었다. 단지 문제점이 있다면 외장재로 사용될 경우, 페타이어의 재활용품인 관계로 재생고무는 표면에만 안료가 착색하기 때문에 외기에 노출되어 변색될 우려가 있어 장기간의 사용에는 문제점이 있다는 것이다. 변색이 되지 않는 착색고무가 필요하다면 고무원료의 생산단계에서 착색을 하면 원료자체가 색을 발현하기 때문에 변색의 우려가 없지만, 이 경우 재활용고무를 활용한다는 본연구사업의 취지와는 멀어지기 때문에 변색의 문제점은 필연적인 것으로 남을 수 밖에 없는 것으로 생각된다.

#### 15. 최적제조공정 도출

목재와 고무계 복합보드 제조에 있어서, 최적 제조공정 도출은 에너지절

약과 우수한 품질의 판상제품개발을 위해 필요불가결한 작업이라고 할 수 있다. 이 조건을 알아내기 위해서는 목재칩과 고무칩의 배합비율에 따라서 다양한 열압조건(온도, 압력, 시간, 전처리방법)을 시도하고, 제조된 복합제품의 성형상태 및 물리적성질에 관한 제반실험을 통한 종합적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

결과를 요약하면, ①목재칩은 크기의 대소에 관계없이 단독이든, 고무와 같이든 잘 용화되어 압밀화되고 표면이 평활하게 이루어짐이 stop bar의 유무에 상관없이 확인되었으며, 두께는 stop bar가 없는 경우는 0.9-1.0cm 정도였으며, stop bar로써 얻어지는 보드의 밀도조절이 어느 정도 가능성이 입증되었다. ②150℃의 고온이라도 복합판재 이탈후, 압체온도 상승으로 인한 상판과 하판 프레스에 부착함으로써 뜰어지는 현상은 발견할 수 없었다. 즉, 압체온도가 높으면 압체시간을 짧게 하고, 반면에 압체온도가 수지경화가 이루어질 수 있는 최소한의 온도라도 압체시간을 길게 하면 목질계고무 복합판재의 성형문제는 크게 어려움이 없을 것으로 기대된다. ③150℃, 9분간(40kg-4분, 15kg-3분, 5kg-2분)의 압체시간으로 압체한 경우에도 120도 40kg-4분, 15kg-3분, 5kg-3분 처리한 경우와 마찬가지로 목재칩은 다소에 관계없이 평활한 면을 이루고 있으나 고무는 돌출되어 있는 면이 많았다. 그러나 제일 처음으로 실시한 실험에서는 120도, 40kg-5분, 15kg-5분, 5kg-5분의 3단계 열압의 경우, 고무의 평활도는 매우 우수하였다. 단지 열압시간이 길었던지 이형제가 부족한 탓이었는지 열판에 보드가 붙어 이탈되지 않았던 점만이 결점이었다. 그러나 접착제가 많이 도포된 부분은 접착력 향상으로 인해 고무, 목재칩에 관계없이 표면이 평활하게 마무리되었다. 따라서 고무칩이 많은 적게 몰린 부분이든 고무끼리의 접착, 용화성 발휘 및 보드표면의 평활함을 위해서는 고온, 고압, 장시간압체, 다량의 접착제 중에서 경제성을 고려하여 압체조건을 결정해야 할 것이다.

## 16. 중량비가 일정한 경우에 있어서 물리적 성질 및 재질특성

복합보드의 물리적성질은 먼저 다양한 조건하에서 제조한 복합보드의 비중, 흡수율, 실효접착제도포량, 열압체시 제조보드내부의 온도분포, 흡습성, 수축·팽윤율 등의 조사항목을 들 수 있다.

### (1) 열압시 매트내부의 온도분포 및 경시변화

목재-고무계 복합보드의 제조과정에 있어서 보드내부 온도분포의 경시변화를 측정하였다. 열압체시의 보드의 표면과 뒷면, 중심층과 보드두께의 1/4에 해당하는 곳에서의 온도를 열전대(K-type)와 데이터로그(Data Aquisition System)에 의해 시간에 따른 변이를 관찰하였다. 표면층의 온도는 열압체와 동시에 거의 순간적으로 상승하여 설정온도에 가까워지지만, 중심층으로 갈수록 온도상승속도는 매우 느리며, 열압체가 끝나는 시점까지도 표층부의 온도에는 도달하지 못함을 잘 알 수 있다. 따라서 내부중심층의 접착제경화를 위한 실압체시간은 설정한 압체시간보다도 더 많이 소요됨을 추정할 수 있으며, 폴리우레탄수지의 경화온도가 120℃가 적당하다고 한다면 내부가 그 온도에 도달한 시점을 기준으로 열압스케줄을 설정할 수도 있을 것이다.

### (2) 중량비 1:1인 경우에 있어서 기건상태시의 비중과 흡수율

복합보드 제조시의 열압조건과 제품의 흡수율 및 비중을 기건상태와 24시간 증류수 흡수후의 습윤상태별로 검토하였다. 먼저 상태시험편을 보게 되면, 복합보드 각 시편의 기건흡수율 존재범위는 1.8~3.4%였으며, 목표 비중은 0.7이었으나 실제로 측정된 비중은 0.559~0.708의 범위로 나타났다. 이렇게 편차가 나타나는 원인은 고무칩의 비중이 목재에 비해 현저하게 크기 때문에 열압전 매트성형시에 고무칩이 목재칩과 고르게 분포하지 않기 때문에 생긴 것으로 판단되었다. 압체시의 용력완화를 고려하여 가압압력의 크기를 3단계로 다르게 하였으나(예를 들면, 35→15→5kg/cm<sup>2</sup>로부터 55→15→5

kg/cm<sup>3</sup>까지) 동일 가압시간에 있어서 비중과 함수율간에는 큰 차이를 볼 수 없었으며, 가압시간 역시 3단계로 하였으나 가장 짧은 7분(3→2→2분)과 가장 긴 19분(7→6→6분)의 모든범위에 있어서 비중과 함수율에 차이점을 발견할 수 없었다. 이것은 주어진 목재와 고무칩의 원료조건에만 의존하는 것으로 열압조건은 복합보드의 기건상태시 함수율과 비중에는 전혀 영향하지 못함을 나타내는 것이라 생각된다. 또한 목재와 고무의 중량비율이 1:1로써 수분흡수에 관여하는 다공질체인 목재의 함유량이 모든 복합보드에 있어서 똑 같기때문에 전 조건에서 함수율과 비중에는 차이가 없는 것으로 생각되었다. 또 기건비중과 가압시간에 따른 제조보드의 함수율의 관계를 플롯해보면, 목표비중 0.7 부근에서 넓게 분포하고 있음을 알 수 있는데, 이는 열압압력의 차이에서 오는 원인으로 생각되었다. 전체적으로 비중과 함수율간에는 일정 상관관계는 보이지 않으며 열압시간에 의한 변이도 보이지 않았다. 그러나 시험편을 증류수에 24시간 흡수시키는 경우와 같은 습윤상태시에 있어서는 이와는 다른 결과를 나타내고 있다. 전체조건에 있어서 함수율의 분포범위는 49.7%(45→20→5kg/cm<sup>3</sup>, 4→3→3분)~76.0%(35→15→5kg/cm<sup>3</sup>, 3→2→2분)로서 약 26%라는 큰 차이가 있다. 따라서 수분을 흡수한 양만큼 중량의 변화 때문에 비중도 크게 변화하고 있으며, 전체적으로 0.86(45→15→5kg/cm<sup>3</sup>, 5→5→5분)~1.19(45→15→5kg/cm<sup>3</sup>, 4→3→3분)의 범위로서, 그 차이는 큰값의 약 30%, 작은값의 약 40%에 해당한다. 또 35→15→5kg/cm<sup>3</sup>와 45→20→5kg/cm<sup>3</sup>의 조건을 제외하면, 함수율이 전체적으로 가장 낮은 가압시간 조건은 4→3→3분이며, 이때의 비중 또한 가장 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 목재는 가압압력의 영향보다는 가압시간에 의해 기초물성의 변화가 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 기존의 관련 연구결과를 참고해 볼때, 전체 가압시간 10분의 열압스케줄에 있어서 목재 구성성분인 셀룰로스와 헤미셀룰로스가 열처리에 의한 수분흡착표면의 소수화 및 리그닌의 용출에 의한

표면피복효과 등에 의해 수분의 흡수가 다른 가압시간대에 비하여 현저하게 늦어졌음을 추정할 수 있다. 따라서 이 결과들로부터 열압스케줄에 있어서 가압시간은 4→3→3분이 가장 적당한 복합보드 제조조건임을 확인할 수 있었다. 기건비중과 24시간 상온의 증류수에 침지한 후의 함수율과의 상관관계를 보면, 기건비중이 클수록 침지후의 함수율은 직선적으로 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 미묘한 차이이지만 고무칩양의 편차에 의한 것으로서, 수분이 흡수되는 부분은 고무칩보다는 다공질의 목재칩이므로 목재칩의 양이 많은 저비중의 시편에서 높은 함수율을 나타낸 것으로 생각되었다. 따라서 여기서 수분흡수량은 원료칩의 배합비율이 열압조건의 영향보다 크게 나타난 것으로 보이며, 함수율과 비중의 조절은 원료칩의 배합비율로써 어느 정도 조정할 수 있음을 판단할 수 있었다.

### (3) 열압조건에 의한 기계적성질

기건상태시의 휨강도는 가압시간 3→2→2분, 가압압력 45→20→5kg/cm<sup>2</sup>에서 가장 높은 값을, 가압시간 5→5→5분과 가압압력 45→20→10kg/cm<sup>2</sup>에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 그리고, 전체적으로 7→6→6분에서는 프레스 압력 조건 모두에 있어서 휨강도가 다른 조건보다 크며, 변화도 없다. 그 반면 5→5→5분에서 전체적으로는 고른 분포를 나타내나 다른 시간대와 비교해서 낮은 것으로 나타났고, 3→2→2분에서는 압체조건에 따라 변화의 폭이 크다. 또한 가압압력을 시기별로 검토해 보면 초기압력이 35kg/cm<sup>2</sup>에서, 중기압력은 20kg/cm<sup>2</sup>에서, 말기압력은 5kg/cm<sup>2</sup>일때 파괴계수가 가장 크나 전체적으로 조건별 큰 편차는 보이지 않는다. 이 표로부터 복합보드의 휨강도는 3→2→2분의 45→20→5kg/cm<sup>2</sup>의 조건이 가장 좋은 것으로 나타났다.

습윤상태시의 휨강도에서는 열압조건에 상관없이 기건상태의 시험결과에 비하여 모두 매우 낮은 값을 나타냈다. 기건상태 시험결과는 가압압력과 가압시간에 휨강도의 변이가 매우 크게 나타났지만, 습윤성시험에서는 말기압

력 10kg/cm<sup>2</sup>, 15kg/cm<sup>2</sup>인 경우의 3단계 가압시간 3분→2분→2분을 제외하면 휨 강도의 크기는 약 5.2kgf/cm<sup>2</sup>의 균일한 값을 보이고 있다. 이것은 다양한 가압압력과 가압시간에 관계없이 재료가 수분을 일단 흡수하게 되면 재료구성 요소인 고무칩과 목재칩의 내부결합력이 현저하게 저하됨을 추정할 수 있다. 특히 고무와 목재는 성질이 매우 다른 이종재료인 관계로 수분에 의한 결합력의 저하는 필연적이며, 흡수성 재료인 목재칩 원료의 흡수에 의한 팽윤으로 원료간의 결합은 약해질 수밖에 없을 것으로 생각된다. 따라서 고무와 목재 복합보드재료는 폴리우레탄계의 접착제를 사용하는 경우에 있어서는, 수분이 존재하는 습윤상태에서의 사용은 부적당한 것으로 판단되었다. 또한 휨성능은 일반 목재나 목질판상재료에 비하여 고무칩의 영향으로 매우 낮고, 전술한 수분에 대한 취약성 때문에 외장재 보다는 내장재로서, 휨작용을 받는 곳보다는 압축작용을 받는 곳에 사용함이 탄력성 있는 재료로써 타당성이 있지 않나 생각되었다. 기건비중과 휨강도와와의 상관을 보면, 3단계 열압시간인 3→2→2분, 4→3→3분인 경우에 약간의 편차가 보이긴 하지만, 전체적으로 비중과 파괴계수간에는 정의 상관을 나타내며, 전체 열압시간이 길어질수록 파괴계수는 뚜렷한 정의 상관을 나타내었다. 기건상태시의 탄성계수는 전체적으로 가압시간 7→6→6(분)의 경우가 모든 가압압력조건에 있어서 가장 큰 경향을 보이고 있음을 알 수 있음을 볼 때, 단시간 가압하는 경우보다 장시간 가압하는 경우에 있어서 탄성계수도 크게 나타났다. 따라서 고압의 장시간 열처리가 성형매트원료간의 내부결합력과 재료의 강성향상에 어떤 영향을 미친 것으로 추정된다. 24시간 수분에 침지한 후의 탄성계수는 가압시간과 압력조건에 있어서 특정한 경향은 보이지 않았다. 이것은 습윤에 의해 고무칩과 목재칩 원료간의 결합력약화에 의해 복합보드의 하중에 대한 저항력이 제조조건에 관계없이 급격하게 떨어진 것에 기인하는 것으로 생각된다. 전체적으로 상태시험이 습윤시험의 경우보다 탄성계수가

약 60%정도 큰 값을 나타냈으며, 이는 접착제에 의한 내수성이 목재와 고무간에 가장 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다. 휨강도와 휨탄성계수의 관계를 열압스케줄 조건에 의존하지 않고 전체에 대해 검토해 보면, 일반적인 탄성체와 마찬가지로 두 변수간에는 정의 상관관계가 인정되었다. 일반적으로 고무와 목재 복합보드재료의 휨강도가 다른 일반재료에 비해 탄력성이 뛰어난 고무의 혼합때문에 많이 뒤떨어지는 사실은 피할 수 없는 결점으로서, 지점간 거리가 넓은 곳에서 휨작용을 받는 장소에 본 복합재료의 사용은 지양해야 될 것으로 판단된다. 여기서 비중과 함수율, 파괴강도와 탄성계수의 전체적인 성질의 검토와 고찰로부터, 적용한 열압스케줄조건에 있어서 가압시간 4→3→3(분), 가압압력 45→20→5(kg/cm<sup>2</sup>)이 고무와 목재의 중량비율 1:1인 복합보드제조에는 최적의 조건이라 판단되었다. 상태시험에 있어서 복합보드의 휨시험에 의한 가압시간별 휨탄성계수와 휨에 의한 보드중앙부분에 있어서 최대처짐량은 휨탄성계수의 증가에 따라 급격하게 단조감소하는 경향을 나타냈으며, 탄성계수100GPa부터는 거의 일정한 값을 나타냈다. 또한 열압압력에 따른 탄성계수에는 차이가 없지만 처짐량간에는 큰 차이가 있음을 보여주었다.

#### (4) 평균수축율의 변화

기건비중과 함수율 1%당의 두께방향에 있어서 평균수축율의 상관관계는 비중이 증가할수록 평균수축율은 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 일반적으로 알려진 목재의 비중과 수축율간의 상관관계와는 역의 관계로써, 복합보드 구성요소인 원료칩의 배합비율의 균일성과 고무칩이 많은 고비중의 보드가 수분흡수후 건조에 의한 수축작용이 일어나지 못하는데 기인하는 것으로 생각된다. 이것은 원료칩자체의 수축현상보다는 원료칩 입자간의 접착력이 약화되어 수분이 제거된 후에도 보드 전체가 수축하지 못하는 현상으로서, 비중에 대하여 負의 평균수축율을 보이고 있는 것이 이를 확인해 주는

것이며, 같은 조건으로 제조한 동일보드에서 채취한 시편간에 생기는 비중의 편차는 고무칩의 분산정도가 고르지 못하기 때문에 생기는 현상이기 때문이다. 즉, 수분흡수성이 큰 목재칩이 많이 포함된 복합보드의 수축율은 고무칩이 많은 보드보다 더 큰 수축율을 나타낼 것으로 생각되며, 고무칩이 많은 쪽이 비중이 상대적으로 높다고 한다면 고무원료칩 간극사이에 존재하는 수분이 제거되면서 시편의 치수가 수분흡수전보다 줄어들지 않고 팽윤된 상태의 치수 그대로 남아있기 때문에 일어나는 현상으로 판단된다.

#### 17. 원료체적비를 달리한 경우에 있어서 내부결합력 및 물성

##### (1) 원료혼합비에 따른 비중과 함수율의 변화

제조보드의 전체 구성요소 체적에 대한 고무칩요소의 체적비율에 대한 제조보드의 비중의 변화는 목재칩이 편칩, 그래놀칩인가에 상관없이 전체적으로 고무칩체적의 증가에 따라 비중은 증가하였다. 고무칩이 들어가게 되면 고무의 높은 탄성복원력으로 인해 보드의 두께가 늘어나는 경시변화가 있을 수 있으며, 소성가공이 가능한 목재를 혼합한다고 하여도 목적하는 용도의 보드제조에는 한계가 있다고 할 것이다. 따라서 고무와 같이 탄성이 풍부한 원료인 경우에는 중량비로 하여 일정비중의 보드를 일정한 규격재로서 생산해야 만이 치수의 경시변화를 최소한으로 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 보드의 함수율은 고무칩의 체적비가 클수록 감소하는 경향을 보이고 있다. 고무칩이 약 100%정도인 복합보드에 있어서는 거의 0%에 가까운 함수율을 나타내고 있다. 이것은 원료고무의 수분흡수율이 거의 없으며, 반면에 다공질재료인 목재칩의 수분흡수에 의해 이런 현상이 나타난 것으로 생각된다. 따라서 복합보드를 외장재로서 사용하게 될 경우, 목재칩에 수분저항성이 있는 내수제 등의 치수안정화처리를 행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

##### (2) 원료혼합비에 따른 내부결합력의 변화



비중이 0.5와 0.7의 복합보드에 있어서 고무칩과 목재그래놀칩의 원료체적비에 따른 내부결합력을 검토해 보면, 고무칩의 체적비율과 내부결합력간에는 어떤 일정한 경향은 보이지 않는 것으로 생각되었다. 또한 각 제조조건간에도 특이사항은 보이지 않았으며, 고무체적비가 100%인 경우에 내부결합강도가 큰 값을 나타내었다. 이것은 동일 구성요소인 고무칩간의 강한 결합에 의한 접촉강도의 향상에 의한 것으로 생각되어진다. 이와는 다르게 목재원료인 편칩타입에 있어서는, 고무칩의 체적비율이 80%, 제조시 가사비중이 0.7인 경우 이외에는 전체적으로 고무칩비율이 증가할수록 보드의 내부결합력은 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 그래놀타입의 목재칩으로 제조한 시편에 비하여 내부결합력의 수치도 고무체적비율이 낮은 범위에 있어서는 비교적 큰 값을 나타냈다. 원료고무의 체적비율이 0%와 20%에 있어서 시편의 가사비중이 0.5인 경우가 0.7의 경우보다 더 높은 내부결합력을 나타내었다. 따라서 제조보드의 가사비중의 영향보다는 고무칩과 혼합하는 목재원료칩의 형태가 입자상의 그래놀타입보다 편타입의 형태가 고무칩과의 표면접촉면적이 더 넓은 관계로 더 큰 내부결합강도를 나타내는 것으로 생각되어진다.

보드의 기건비중과 내부결합력의 관계를 원료목재칩의 형태가 그래놀타입과 편칩타입별로 각각 나타낸 결과로부터, 일반적인 재료의 비중과 강도간의 관계와 마찬가지로 고무와 목재 복합보드에 있어서도 전체적으로 칩의 형태에 상관없이 시편의 비중의 증가에 따라 내부결합력이 증가하는 정의 상관관계를 나타내었다. 목재편칩에 비해 그래놀칩의 결과가 동일한 비중에 있어서 그 분포범위가 매우 넓은 점으로 미루어 제조시의 가사비중이 같더라도 제조된 보드의 내부결합력에는 시편간 많은 편차가 있음을 보이고 있는 것으로 생각된다. 이들 결과로부터, strand상의 편칩이 등근입자상의 그래놀칩에 비하여 결합강도가 크고, 또한 고무칩이 없는 목재칩만의 강한 결

함력으로 인하여 생긴 결과로 생각된다.

### (3) 원료혼합비에 따른 휨강도와 압축강도의 변화

다양한 배합비의 고무와 목재칩으로 구성된 복합보드의 휨강도측정시험에 의한 휨탄성계수와 휨에 의한 최대처짐량의 관계로부터, 최대처짐량은 휨탄성계수의 증가에 따라 급격하게 감소하였으며, 탄성계수  $1,000\text{kg/cm}^2$  이상부터는 거의 일정치를 나타냈다. 따라서 고무의 혼합양에 의해 휨탄성계수와 휨작용에 의한 최대처짐량의 산정이 가능함을 시사해 주고 있으며, 가능성을 고려한 다양한 보드의 제조가능성을 알 수 있었다. 휨용력과 변형률 선도에서 알 수 있듯이 목재-고무 복합보드의 변형률은 목재소재에 비해 무척 크며, 탄력에 의한 신장성이 매우 뛰어남을 알 수 있다. 휨강도와 휨탄성계수의 관계에서, 일반적인 탄성체와 마찬가지로 두 변수간에는 정의 상관관계가 인정되었으나 휨강도가 다른 일반재료에 비해 고무의 혼합 때문에 많이 뒤떨어지는 사실은 피할 수 없는 결점으로서, 휨작용을 받는 장소에 본 복합재료의 사용은 지양해야 될 것으로 판단된다. 고무칩의 체적비율과 최대처짐량의 상관관계로부터, 고무의 혼합비율이 증가할수록 처짐량은 직선적으로 증가하며, 고무칩의 존재가 휨작용에 주도적인 역할을 하고 있음을 알 수 있었다.

### 18. 목질-고무계 복합재료의 용도모색

분쇄한 패목재와 페타이어를 소재로 하는 복합재료는 현재 국내에서는 연구 및 생산이 전혀 이루어 지지 않고 있다. 본 연구진만이 국내에서 최초로 이분야에 대한 연구를 수행중에 있다. 일본의 자료수집 및 방문조사 결과 일본에서는 수년전 부터 목재와 타이어 복합소재를 개발하여 실행화 단계에 와 있다. 일본의 목재 및 타이어 복합소재는 주로 바닥재로서의 사용의 검토하고 있으며, 현재는 새로운 용도를 찾기위해 계속 모색 추진중에 있다. 국내의 경우 순수한 페타이어 분말을 사용하여 평면상의 제품을 생산

하는 업체가 수곳에 달하고 있다. 그러나 목재를 혼합한 판상제품은 현재 생산이 되고 있지않다. 일반 목재나 목질판상재료에 비하여 고무칩의 영향으로 휨성능은 매우 낮게 평가되었으므로, 휨작용을 받는 곳보다는 압축작용을 받는 곳에 사용함이 타당할 것으로 생각되었다. 따라서 이 결과로부터, 우리는 고무칩을 원료로 한 복합보드의 용도는 휨작용을 받는 곳보다는 압축하중을 받는 장소에 사용되는 것이, 고무칩으로서는 용도면에서 매우 타당성이 있다고 판단된다. 그런 의미에서 고무의 완충성과 탄력성을 고려한다면, 판상재료로서 벽장재료보다는 온돌과 같은 마루바닥재, 실내체육관의 바닥재, 노인이나 어린이 수용시설내부의 바닥재, 상하로 연결되어 있는 아파트와 같은 집합주택의 바닥재 등으로 그 용도를 탐구하는 것이 폐자원의 효율적인 활용에 크게 기여할 것으로 예상되었다.

#### 마. 활용에 대한 건의 및 금후의 연구방향

지금까지 페타이어 고무칩만으로 된 판상재료는 이미 생산단계에 있지만 목재와의 복합화연구는 전무한 관계로, 본 연구에서는 목재와 폐고무의 복합화 기술탐색을 위한 최적제조조건을 검토하고자 하였으며, 기초물성과 기계적 성질 평가를 통해 목재-고무칩 복합보드의 재질을 평가 및 복합재료의 용도를 모색하는데 그 목적을 두고 연구를 진행하여 상기의 결과를 획득하였다. 이 연구결과를 실용화시키기 위해서는 앞으로 현장적용시험에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각되며, 폐자원을 이용한 재활용품의 소비촉진을 위한 정부의 적극적인 지원이 있어야 할 것으로 생각된다.

2년간의 본 연구결과, 목재원료를 고무원료에 첨가함으로써 고무의 결점을 보완할 수 있는 다양한 복합재료의 개발이 가능하며, 산업폐기물의 효율적인 재활용이라는 당초의 목적을 달성할 수 있었다고 판단된다. 폐기 타이어로부터 얻어지는 고무원료와 목재원료의 매우 이질적인 두가지 구성요소는 소재의 특성이 너무나 다르기 때문에 제품의 생산에는 상당한 어려움이

있지만, 각 소재의 장점만을 이용한 새로운 제품이 생산된다면 상당한 산업 경제적·사회환경적 차원에서 얻어지는 효과는 클 것으로 기대되며 소각에 의한 탄산가스 발생에 따른 지구온난화 방지효과는 그 무엇보다도 비할 수 없는 가치가 있을 것이다.

최종적으로는 목재-고무 칩보드 제품생산에 관한 특허권 취득 및 재생산업화의 길을 모색하고, 얻어진 기술로서 플라스틱, 페비닐등의 여타 산업폐자원으로 부터 새로운 제품생산의 관련연구를 지속적으로 추진한다. 본 연구과제의 결과를 활성화하여 관련 폐기물의 처리 및 활용방안과도 연계하여, 국가적으로 매우 큰 산업경제적·사회문화적 기대효과 뿐만 아니라, 우리의 후손에게 길이 물려줄 수 있는 그 무엇보다도 비길 수 없는 깨끗한 땅과 물을 남겨 줄 수 있어야 되겠다.

효율적인 산업폐기물처리는 확실한 국가의 장래를 건강하게 보장해주는 보장성보험과 같은 것으로서, 관련 산업체에는 세제혜택과 용자 등의 적극적인 지원 및 만들어진 제품을 국가 공공 산업시설물 등에 우선적으로 적용될 수 있도록 배려함이 본 과제건과 같은 관련업체에 활력을 불어넣어 줄 것으로 기대된다. 폐기물과 같은 쓰레기의 처리에 들어가는 경비는 무시할 수 없을 정도로 크며, 쓰레기처리 구조문제를 시·군·당국과 쓰레기 처리업자 및 국민들간의 합리적인 토론과 합의에 의해서만 경비절감이 이루어질 수 있기 때문에 방송매체 등을 통한 충분한 홍보와 의식전환의 계기마련을 위한 정부의 지원이 필요하다고 하겠다.

결론적으로 설혹 폐자원의 재활용산업이 사실상 경제성이 전혀 없다고 판단되더라도 정부차원에서의 관련산업체 지원 및 세제혜택 등의 정부의 적극적인 개입 및 과감한 투자가 이루어져야 하겠다.

# 여 백

## 참 고 문 헌

1. D.N.Humphrey and R.A.Eaton, Tire chips as insulation beneath gravel surfaced roads, Proc. of 2nd International Symposium on Frost in Geotechnical Engineering, p.137-149(1993), Anchorage, U.S.A.
2. D.E.Newcomb and A.Drescher, Engineering Properties of Shredded Tires in Light-weight Fill Applications, Transportation Research Board, 73rd Annual Meeting, Reprint(1994), Washington D.C., U.S.A.
3. 久報 宏, 自動車用古タイヤの用排水路票入め材への滴用, 農業土木學會誌, 63(5), p.467-470 (1995).
4. 久報 宏, 廢棄タイヤの建設材料への利用に関する研究, 開發論集, 57, p.45-52(1995.2月)
5. “성형판 제조공정의 합리화”, 북해도임산시험장보고, 제10권 4호, p.37-38(1996)
6. “목질재료와 異種재료의 복합화기술”, *ibid*, 10(4), p.19-27(1996)
7. 達田哲則의 8인, “체육판에서의 상난방에 관한 연구”, *ibid*, 6(1) p.12-19(1992)
8. 江秀大의 4인, “체육판에서의 상난방에 관한 연구(第2報)”, *ibid*, 6(6) p.6-14(1992)
9. 大澤清志의 4인, “고무칩과 성형판넬의 상충격음차음성능(제1보)”, *ibid*, 5(2), p.14-17(1991).
10. 大澤清志의 4인, “고무칩과 성형판넬의 상충격음차음성능(제2보)”, *ibid*, 6(2), p.15-18(1992).
11. 谷口 “WPC의 연구, 개발-현상과 장래-”, 목재공업, 48(7), p.304-309 (1993)

12. 末吉修三, “목조주택의 차음성능”, *ibid*, 48(8), p.356-362(1993)
13. 青木 宏, “저밀도파이버 성형체의 제조와 물성”, *ibid*, 49(1), p.24-27(1994)
14. 山岸宏一, “체육관 상난방시스템의 개발(II)- 개발의 경과와 실증예”, *ibid*, 49(5), p.208-213(1994).
15. 일본목재가공기술협회관서지부, “제8회 목질보드심포지움(I)”, *ibid*, 47(6), p.250-254(1992)
16. 일본목재가공기술협회관서지부, “제8회 목질보드심포지움(II)”, *ibid*, 47(7), p.306-311(1992)
17. 일본목재가공기술협회목질보드부회, “Eco-material로서의 목질보드류의 현상과 장래”, *ibid*, 48(3), p.127-131(1993)
18. 북해도임산시험장, “목재이용의 다양화를 촉진하기 위한 기술개발”. 북해도임산시험장보고, 6(4), p.5-17(1992)
19. 일본목재학회(편), “목재의 과학과 이용기술Ⅳ, No.2. 산업·생활폐기물(1996)
20. 대구광역시, 월간“대구경제”, 1997년 1월-8월
21. 일본주택&목재기술센터, 1996.3, “목질폐기물재자원화기술개발사업보고서”
22. 太田利彦의, 纖維學會誌, Vol.47(1), p.92-99(1991)
23. 藤井智之, 志水一允, 바이오매스변환계획연구보고, 4호, p.47-66(1987)
24. 辻田義治, 表面, Vol.25(4), p.197-206(1987)
25. Y.Maeda and et.al, SEN-I GAKKAISHI, Vol.50(11), p.493-497(1994)
26. Tamako Toda and et.al, *ibid*, Vol.50(12), p.599-607(1994)
27. M.Nakahara , 大分縣産業科學技術센터, p.26-31(1994)
28. H. Sakurai and et. al, 静岡縣工業技術센터 연구보고, Vol.40, p.26-33(1995)
29. H. Sakurai and et. al, 機能紙研究會誌, 機能紙研究會, 10,

p.86-94(1992)

30. H. Sakurai and et. al, 富士工技센터 연구보고, Vol.2, p.33-42(1992)
31. H. Sakurai and et. al, 富士工技센터 연구보고, Vol.3, p.23-38(1993)
32. H. Sakurai and et. al, 富士工技센터 연구보고, Vol.4, p.9-15(1994)
33. (재)고지재생촉진센터, 1996, "사무실고지 리사이클의 현상과 재생지의 이용에 대해서".
34. 특집/"자원환경문제와 고지활용", 紙·펄프기술타임즈, 1994.5월
35. 고지의 이용/"고지를 원료로 하는 섬유판", 紙·パ技協誌, Vol.48(10), p.93(1963)
36. "古紙의 제지원료이외의 용도에 대해서", 紙·パ技協誌, Vol.48(10), p.7-17(1994)
37. 이승언 외, "단열설계 및 시공가이드 북", 1997.2, 통상산업부 별책보고서
38. 조동우, 이승언, 박홍순 외, "건축물의 단열설계 및 시공시스템 개발 연구", 1997.4, 금강종합건설(주)&한국건설기술연구원.
39. 조준현, "건축재료학", 1990, 技文堂
40. 서승하, 이성금, "실내건축재료학", 1997.2월, 光文閣
41. McKeever, D.B., Youngquist, J.A., English, B.W., Sources and Availability of Recovered Wood and Fiber for Composite Products, Proceedings of the 29th international particleboard/composite materials symposium, 197-214(1995)
42. McKeever, D.B., Resource Potential of Wood-Based Wastes in the United States, Proceedings of 2d Biomass conference of the Americas, Energy, environment, agriculture, and industry; 1995 p.21-24, Portland, OR. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, p.77-87(1995)



43. English, Brent, Clemons, Craig M., Stark, Nicole, Schneider, James P., Waste-Wood-Derived Fillers for Plastics. 1996. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-91. Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 15
44. English, B. Meeting Society's Challenge, Value-Added Products From Recycled Materials, Proceedings of the Pacific Rim Bio-based composites Symposium, 1992, p.9-13, Rotorua, New Zealand. FRI Bulletin, 177. Rotorua, New Zealand, New Zealand Forest Research Institute, 1992, p.326-335
45. Youngquist, J.A., Meyers, G.E., Muehl, J.H., Krzysik, A.M., Clemens, C.M., Brown, L. Composites from Recycled Wood and Plastics
46. Rowell, R.M., Utilization of Recycled Agriculture-Based Fiber for Composites
47. Hamilton, T.E., Youngquist, J.A., Baker, A.J., Rowell, R., Laufenberg T.L., Collet, M.P., Alternative Uses of Recovered Fibers. Focus '95+ Landmark paper recycling symposium proceedings, 1991 March 19-21, Atlanta, GA. Atlanta, GA, TAPPI, 1991, p. 333-341.
48. Youngquist, J.A., Unlikely Partners, The Marriage of Wood and Nonwood Materials FOREST PRODUCTS JOURNAL VOL. 45, NO. 10 p. 25-30
49. Reineke, L.H., Briquets From Wood Residue, FPL-RN-075
50. Ince, Peter J., McKeever, David B. Recovery of Paper and Wood for Recycling, Actual and Potential. 1995. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-88. Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 11

51. Koning, J.W., Skog, K.E. Use of Wood Energy in the United States-  
An Opportunity, Biomass 12, 27-36, (1987)
52. English, B. Biobased, Biodegradable Geotextiles: USDA Forest Service  
Research Update, Proceedings of the 2d Pacific Rim bio-based  
composites symposium, 1994 November p.6-9, Vancouver, Canada.  
Cancouver, B.C., University of British Columbia, p.204-212; 1994
53. Clausen, C.A. Bacterial Asssociations with Decaying Wood, a Review,  
International Biodeterioration & Biodegradation, p.101-107(1996)
54. Laufenberg, T.L.; Horn, R., Wegner, T., Bean, S. Improvements in  
Recycling Wood and Wood-Fiber Products
55. Ince, P.J., Skog, K.E., Heath, L.S. Recycling in the Big Picture - the  
Really Big Picture, Resource Recycling. 14(6), p.41-45, June 1995
56. Ince, Peter J. Recycling of Wood and Paper Products in the United  
States. 1996. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-89. Madison, WI: U.S.  
Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
57. Rowell, R.M. Composite Materials from Agricultural Resources  
Olesen, Ole, Rexen, Finn, Larsen, Jorgen, eds. Research in industrial  
application of non food crops, I, plant fibres, Proceedings of a seminar;  
1995 May; Copenhagen, Denmark. Lyngby, Denmark Academy of  
Technical Science, p.27-41
58. Spelter, Henry. Capacity, production, and manufacture of wood-based  
panels in the United States and Canada. 1996. Gen. Tech. Rep.  
FPL-GTR-90. Madison, WI, U.S. Department of Agriculture, Forest  
Service, Forest Products Laboratory. 17p.
59. Koning, J.W.; Skog, K.E. Use of Wood for Energy in the United

- States-A Threat or a Challenge, Energy from biomass and wastes.  
1987, p.1309-1319.
60. Wolfe,R. Gjinolli,A.E. Assessment of Cement-Bonded Wood  
Composites as Means of Using Low-Valued Wood for Engineered  
Applications Gopu, Vijaya K.A., ed. Proceedings of the international  
wood engineering conference, 1996 October p.28-31, New Orleans LA.  
Baton Rouge, LA, Louisiana State University, Vol. 3, p.74-81
61. Vladimir M. Makarov, Valerij F. Drozdovski, Valdimir Sokolov  
(Translator), Reprocessing of Tires and Rubber Wastes, Recycling  
from the Rubber Products Industry (Ellis Horwood Series), 1991
62. Junk Ecology Series, Recycling Wood and Sticks, Troll Assoc (Lib)  
1990
63. Xiasong, Wood fiber and recycled tire rubber hybrid composites,  
doctor dissertation, Michigan Technological Uni. 1995.

## 그림모음

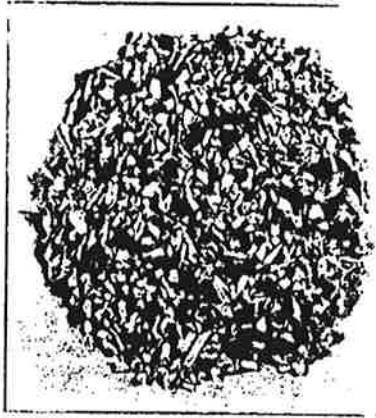


그림 3-1 톱밥형(그레놀) 칩(A형)

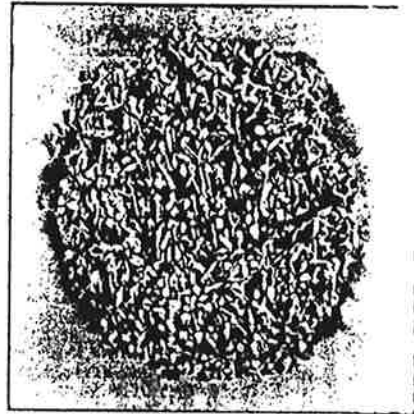


그림 3-2 톱밥형(그레놀) 칩(B형)



그림 3-3 편칩(A형)



그림 3-4 편칩(B형)

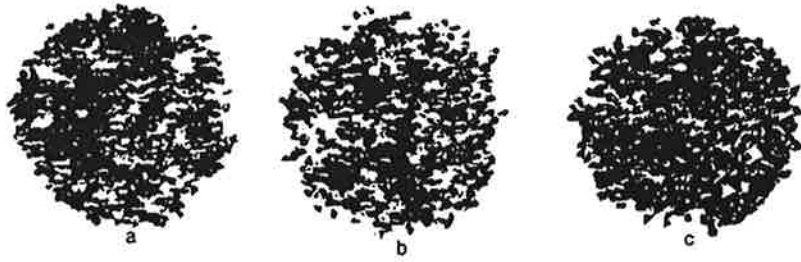


그림3-5 기계적 분쇄에 의한 페타이어 고무분말(현진화학)  
 a : 직경2.0-3.0mm b : 직경3.0-4.0mm c : 직경4.0-5.0mm

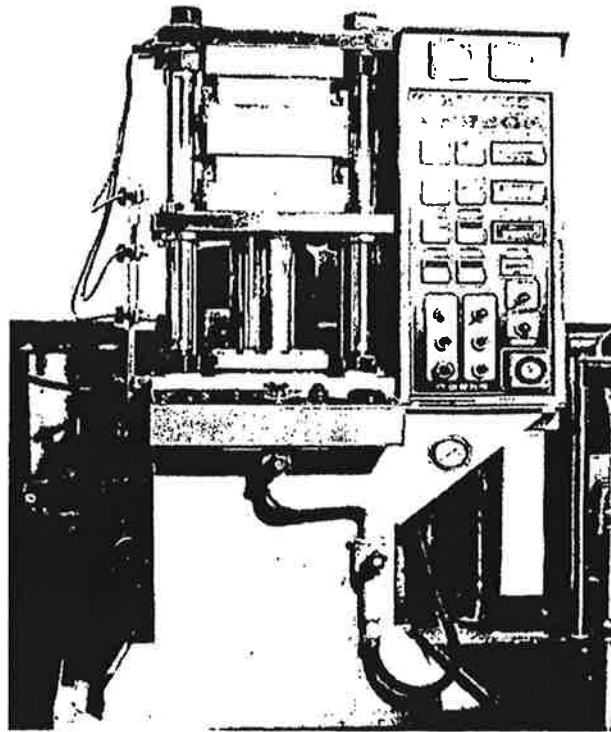


그림 4-1b 실험에 사용한 열압성형기

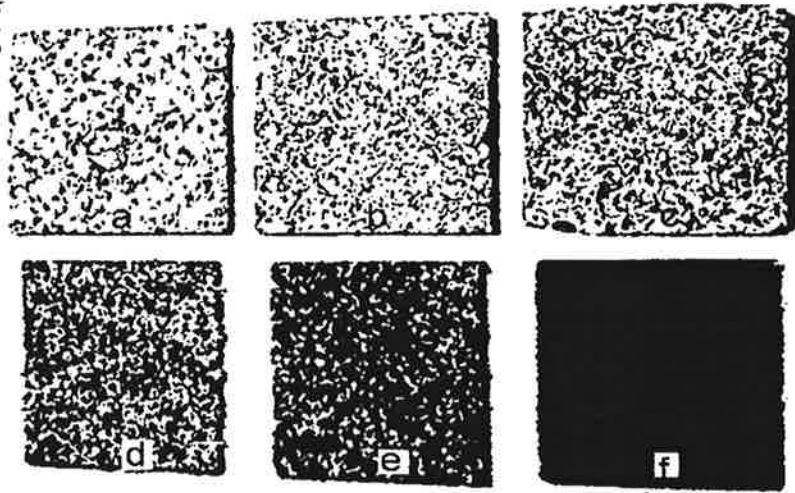


그림 4-2 편칩(WPS)과 페타이어 분말(R34) 혼합에 의한 복합판상 제품  
 고무 : 목재 혼합비 a 0 : 100, b 20 : 80, c 40 : 60,  
 d 60 : 40, e 80 : 20, f 100 : 0

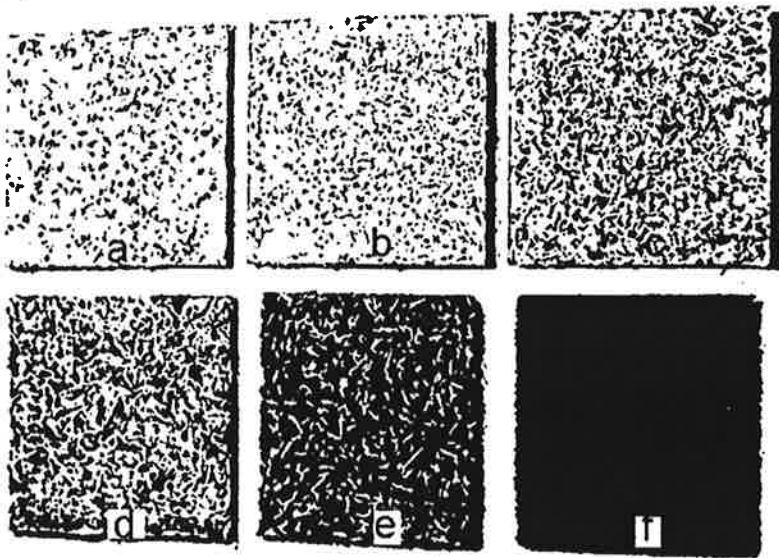


그림 4-3 그레놀칩(WGL)과 페타이어 분말(R34) 혼합에 의한 복합판상 제품  
 고무 : 목재 혼합비 a 0 : 100, b 20 : 80, c 40 : 60,  
 d 60 : 40, e 80 : 20, f 100 : 0

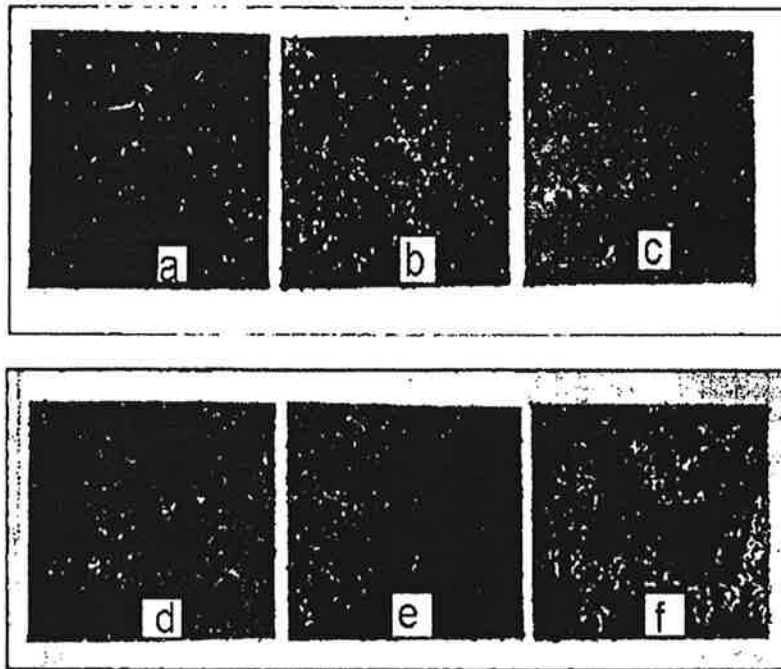


사진 5-1. 고무칩과 잡종고지와의 복합재료(a-c : 표면, d-e : 뒷면)  
 a-d : 고무칩+백상지 2층보드 b-e : 해리한 신문지+고무 혼합보드  
 c-f : 백상지+고무 혼합보드

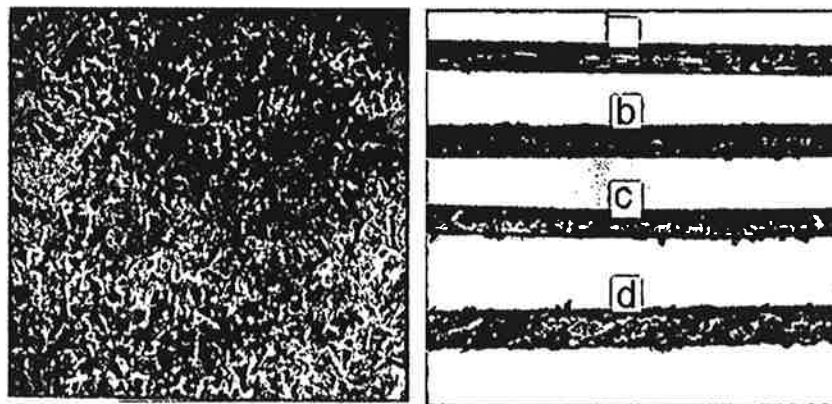


사진5-2 백상지 슈레더와고무칩 복합보드(左) 및 잡종고지와 고무의 복합보드 단면(右).

- a. 목재칩+고무칩 b. 해리한 신문지+고무칩 혼합보드
- c. 신문지슈레더+고무칩 2층보드 d. 백상지 슈레더+고무칩 혼합보드

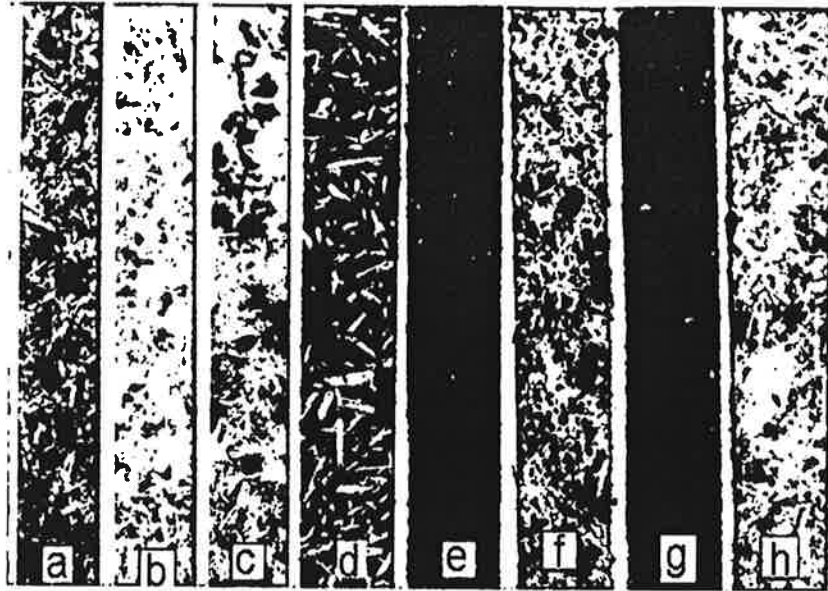


사진7-1. 각종 원료칩과 고무칩을 혼합한 복합보드의 예  
 a. 건축폐재+염화비닐+고무 b. 간벌폐잔재+염화비닐 c. 목재칩+고무칩  
 d. 목재칩+고무칩(bulk) e. 신문용지해리지+고무칩  
 f. 백상지 슈레더 + 고무칩 g. 백상지와 고무칩 2층보드(앞면과 뒷면)

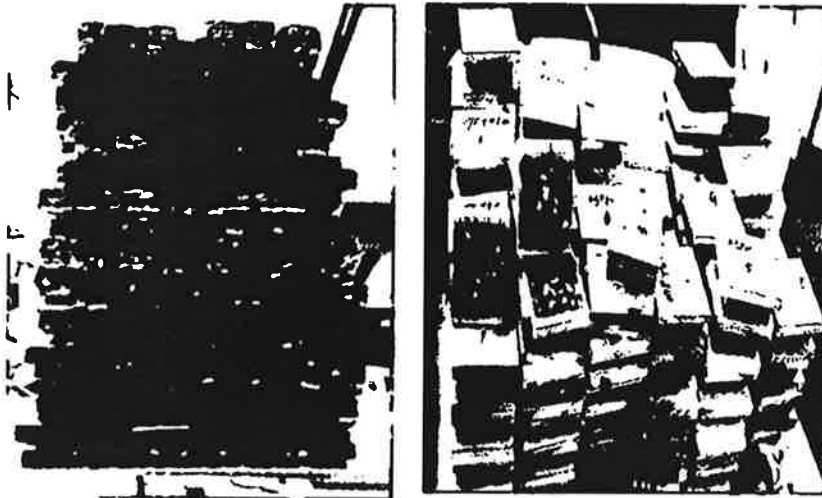


사진8-1. 목재칩과 고무칩 복합보드의 각종 시험재료의 예  
 左: 휨시험편, 右: 박리강도 시험편





사진8-2. 복합재료의 휨시험(上)과 압축시험(下)

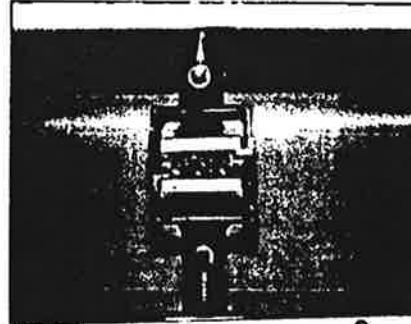


사진8-3. 복합재료의 내부결합력 시험에 있어서 시험편의 파괴과정 (上→下)