

최 중
연구보고서

목질계 생활폐기물을 이용한 건축자재 개발

Development of Building Materials from Wood Wastes

목질 · 무기질계 복합보드 개발

Development of inorganic-bonded wood composites

기능성 목질 분체복합보드 개발

Development of functional wood-based composite using pulverized elements

목섬유 · 열가소성섬유 복합재 개발

Development of wood fiber/plastic fiber composite

목질 · 시멘트보드의 습식제조공법 개발

Development of wet-process of wood fiber-reinforced cementboard

용융형 목질/플라스틱 복합소재 개발

Development of wood/plastic composite by melt-blending process

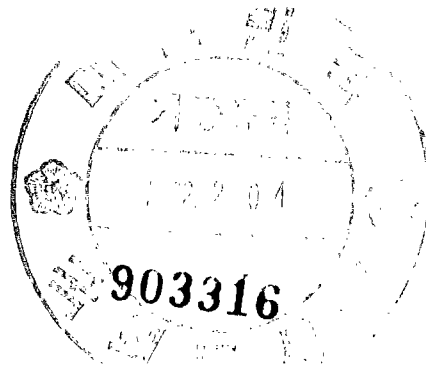
목질폐자원 재활용 블럭 개발

Development of composition block recycled by wood wastes

임업연구원

(건국대학교, 경상대학교, 익산대학)

농림부



최 종 보 고 서

2001년도 농림기술개발사업에 의하여 완료한 목질계 생활폐기물을 이용한 건축자재 개발에 관한 연구의 최종 보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

- 첨부 : 1. 최종보고서 10부
2. 최종보고서 디스켓 1매

2001년 10월 31일

주관연구기관 : 임업연구원

총괄연구책임자 : 박 중 영 (인)

주관연구기관장 : 임업연구원장

직 인

농 립 부 장 관 귀 하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “목질계 생활폐기물을 이용한 건축자재 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001. 10. 31

주관연구기관명 : 임업연구원
총괄연구책임자 : 박 종 영
세부연구책임자 : 박 종 영
세부연구책임자 : 공 영 토
책 임 급 : 여 윤 홍
연 구 원 : 김 재 성
연 구 원 : 서 진 석
연 구 원 : 윤 형 운
연 구 원 : 조 재 성
연 구 원 : 강 은 창
협동연구기관명 : 건국대학교
협동연구책임자 : 원 중 필
협동연구기관명 : 경상대학교
협동연구책임자 : 김 진 학
협동연구기관명 : 의 산 대 학
협동연구책임자 : 박 희 준

요 약 문

I. 제 목

목질계 생활폐기물을 이용한 건축자재 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구과제는 미이용 또는 저이용의 목질폐기물을 재자원화하여 고부가가치의 건축자재를 개발하기 위해 수행되었으며, 목질자원의 효율적 이용 및 쾌적한 주거환경 제공과 목질 소재의 인체친화적 신기능·신수요 개발을 지향하고 있다.

목재자원의 대부분을 수입에 의존하며 자급율이 매우 낮은 우리나라의 실정에서 지금까지 소각 또는 매립되어 온 목질계 폐기물을 건축자재와 같은 고부가가치 용도로 재자원화할 경우, 환경오염의 경감, 폐기물 처리비용의 절감 효과와 함께 목재수입에 따른 막대한 외화를 절약할 수 있을 것이다.

향후 목재산업분야의 기본적인 기술개발의 방향은 「환경친화형 및 자원절약형과 고부가가치 수요창출형」 기술개발이라고 할 수 있으며, 목질폐기물의 효율적인 재자원화 기술 개발이 핵심과제의 하나이다. 따라서 폐목재를 주원료로 이용할 수 있으며, 생산성이 높고, 제품성능의 설계가 용이하며, 신기능 부여가 가능한 친환경소재인 목질복합보드의 개발이 미국, 일본, 독일 등 선진국에서 활발히 전개되어 왔다. 그러나 국내의 기술 수준 및 산업화는 극히 미흡한 실정으로서 적극적인 연구개발 및 제도 정비가 요청되고 있는 상황이다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구과제에서는 주로 각종 폐목질원료와 비목질원료의 특성을 결합시켜 기존 소재보다 우수한 성능을 갖춘 건축용 복합재료 개발을 위한 다양한 실험적 접근이 이루어졌다. 복합재의 원료로서는 아직 재활용되지 못하고 있거나 이용도가 낮은 폐목질을 사용하였으며, 제품형태 및 제조공정 등은 향후 건축자재의 변화 추이 및 제조설비의 국산화에 대응하고자 하였다. 연구 내용 및 범위는 복합원료, 제조공법, 제품형태 및 개발용도 등에 따라 다음과 같이 구분된다.

1. 목질·무기질계 복합보드 개발

- 목질·무기질(시멘트·석고) 복합체의 경화특성 구명
- 목질·석고 복합보드 제조(습식법, 반건식법)
- 목질·시멘트보드의 반건식 제조공정 개선
- 목질·시멘트 복합에 의한 방음보드 제조
- 폐목질·시멘트복합블럭 개발

2. 기능성 목질 분체복합보드 개발

- 분말상 페놀수지를 사용한 폐MDF 분체복합보드 제조조건 구명
- 액상 페놀수지를 사용한 폐MDF 분체복합보드 제조조건 구명
- 폐가구류 재생 분체복합보드의 특성
- 폐지 및 폐합성섬유 복합보드 개발
- 기능성 목질·무기질 분체복합보드 개발
- 폐목질 분체복합보드의 치수안정성 개선 및 VOC(휘발성유기화합물) 방출량 조사

3. 목섬유·열가소성섬유 복합재 개발
 - 난기류혼합방식에 의한 섬유혼합성형장치 개발
 - 제조공정요인에 따른 목섬유·열가소성섬유 복합재의 특성
 - 목섬유·열가소성섬유 복합재의 혼합공정 개선 및 공정변수영향 평가

4. 목질·시멘트보드의 습식제조공법 개발
 - 폐지섬유 보강 시멘트복합체의 물리·역학적 특성
 - 폐지섬유 보강 시멘트복합체의 최적 배합비 결정
 - 시멘트복합체의 수분민감성 및 내구성능 평가

5. 용융형 목질·플라스틱 복합재 개발
 - 목질·폴리프로필렌 복합재 제조
 - 재생플라스틱과의 복합재 제조
 - 범용성 플라스틱과의 복합재 제조
 - 목질·플라스틱 복합재 공장실연시험

6. 목질폐자원 재활용 복합블럭 개발
 - 폐목질 재활용 블럭 및 후판보드 제조기술 개발
 - 폐목질 재활용 블럭의 물성 개선 및 내구성능 평가
 - 흡음보드 개발

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구과제를 통하여 얻어진 주요 성과는 ① 폐목질재활용 분체복합보드, ② 기능성 목질·무기질 복합보드, ③ 폐목질·시멘트 복합블럭, ④ 기류혼합

방식에 의한 목섬유·열가소성섬유 복합재, ⑤ 습식공법에 의한 폐목질섬유·시멘트보드, ⑥ 압출 및 사출성형에 의한 목질·플라스틱복합재, ⑦ 폐목질 재활용 목질블럭(특허 제0277290호), ⑧ 폐목질 재활용 경량흡음보드, ⑨ 폐목질·시멘트복합 흡음보드 등에 대한 제조기술 개발 및 개선이라고 할 수 있다. 그리고 이와 같은 개발기술은 첫째 기존 소재의 개선 및 보완기술과 새로운 소재의 개발 기술, 둘째 이미 상용화되어 있는 제조설비에 대응한 기술과 새로운 설비 개발이 필요한 기술, 셋째 대규모 설비가 필요한 기술과 소규모 국산설비에 적용 가능한 기술 등으로 구분된다. 따라서 앞으로 이와 같은 기술적 특성 및 수요에 적합한 실용화 또는 현장화를 추진해 나가야 할 것이다.

이와 같은 연구개발 추진과정에서의 가장 큰 애로사항은 각종의 복합재 개발 및 공정개선 등을 주 목적으로 하는 본 연구과제의 성격상 많은 실험제조장비가 필요하지만, 여건상 실험장비가 불충분하였다는 점이다. 따라서 본 과제를 수행하는 과정에서 여러가지의 실험장치를 자체 개발하여 활용하였으며, 장치개발이라는 그 나름대로의 성과를 거둘 수 있었다. 또한 일부 세부과제에서는 실험실에서의 연구결과를 실제 현장에 적용해보기 위한 실연시험을 실시하여, 실용화 문제를 검토하였다. 기존의 공장설비는 연구결과로 얻어진 새로운 방법이나 공정에 부합하지 않는 문제점이 있었지만, 현장적용의 가능성을 확인할 수 있었다.

향후 「목질폐기물의 재자원화 촉진」이라고 하는 자원정책적인 목적을 달성하기 위해서는, 지속적인 연구개발과 아울러, 건설폐목재를 비롯한 목질폐기물의 재자원화 촉진을 위한 관련 법령의 정비, 제품의 생산·유통·소비·폐기·활용 등의 전과정에서 생산자·소비자, 정부·민간 및 관련산업 간의 협력체제 구축, 목질폐기물 재활용 사업체에 대한 지원 및 목질폐기물의 수집 및 처리를 위한 설비시스템 확충 등을 반드시 병행해 나가야만 할 것이다.

SUMMARY

This study was carried out to develop the value-added composite materials for construction by recycling the lesser used wood wastes. The target of this research project was to develop environment-friendly use of wood resources and to develop construction materials from waste wood. In pursuit of this purpose, several accomplishment was gathered through experimental practices, such as manufacturing techniques of diverse composites by harmonizing the characteristics of wood materials and non-wood materials. The raw material for composite, geometry(shape and size), and manufacturing techniques of wood composites were developed to be acceptable for the changeable trend of construction materials and localization of manufacturing facilities in near future.

This project was subdivided by several parts according to raw materials of composite used, manufacturing techniques and product types, etc.. The major results by part were as following;

Development of inorganic-bonded wood composites

In this part, a study was conducted to develop manufacturing techniques of inorganic-bonded wood composites for light-weight construction from wastewoods, cement, gypsum and other inorganic materials, having high level performance of fire-resistance, durability and insulation.

Feasibility of raw material, optimum condition of mixing and method of property-enhancing were investigated by hydration reaction. In wood/cement

composite(WCC), curing properties, in case of using old newspaper fiber(ONP) and wood particles was better than in case of using virgin wood. By the types of compounds, an inhibition against curing was in the order of yellow soil < perlite = fly ash < charcoal. In curing properties of wood/gypsum composite(WGC), setting time of wood powder material was shorter than that of wood fibrous material, and addition of yellow soil and wood charcoal lowered inhibition against curing. As a curing reagent, $MgCl_2$ was the most effective and showed higher selectiveness to wood materials than $Al_2(SO_4)_3$. In Korea, a large scale production lines of gypsum board by wet-process are installed and produce fire-resistive partitions or wall system. Correspondingly, the study was tried to use wood raw material in manufacturing process of gypsum board. When wood raw material was mixed by 5 to 10%, ONP showed reinforcing effect, and paper sludge also showed compatability for this purpose. On the other hand, mixing ratio of 15%(wood fiber) to 25%(ONP) of wood raw materials was good for manufacturing process of semi-dry wood/gypsum board. These composites may be possible to be used as low density and shock absorptive board.

Effects of rapid curing and property-improving were investigated in the cement-bonded wood composites produced by applying method of semi-dry mixing and CO_2 gas injection. Wood-cement gypsum boards for interior uses were also manufactured by this process. On the other hand, when clamping-pressing process for rapid curing was applied, setting process was improved to be possible in one day to two days.

Optimum cement/wood ratio was 2.7 to 3.2 in case of semi-dry mixing

method, and higher dimensional stability was shown in C/W of ratio 3.2. Thermal transmission of cement-bonded wood composites was similar or higher than gypsum board, and was higher than that of wood-based panel.

Cement-bonded wood particle/ONP boards for sound barriers were fabricated and performances of these composite boards were evaluated. These composite boards showed low density of 0.83 to 0.96g/cm³. Sound absorption coefficient of these composite boards also was ranged from 0.6 to 0.8, and, particularly, boards with engraving holes on surface(hole-type board) showed a superior absorption rate of about one. Accordingly, hole-type boards figured superior absorption property to flat-type boards. By this result, the full-scale boards made by press-pressing, forming such corrugation as slate, were constructed for sound barrier at the roadside.

As a new approach of recycling wastewoods such as concrete form to construction materials, wood-cement block was developed. Optimum ratio of wood to cement was 30 to 35%. These wood-cement blocks were much more lighter and better shock-resistive than cement block. Furthermore, characteristics and uses of blocks could be diversified by mixing such inorganic ingredients as perlite and controlling density. These composite blocks showed superior properties at cyclic weathering test. These boards could be applied for interior, exterior, or landscape & architectural uses. These blocks could be applied easily by renewing only a little amount of facilities at block factory.

Development of functional wood-based composite using pulverized elements

Wood-based panels used mostly for furniture and interior parts is not recycled. Consequently, composites using pulverized materials were developed as an efficient method of waste wood-recycling approach. Resin blender was newly developed to compound pulverized wood materials or inorganic materials with spreading small amount of liquid resin evenly.

Optimum board manufacturing conditions, including to add powder- or liquid phenolic resin into waste MDF pulverization, were elucidated. In case of adding resin content 7% or more of phenolic resin, boards having high internal bond strength of 15kgf/cm² or more could be manufactured. The composite boards using ONP or waste synthetic fiber and functional boards mixing yellow soil, fly ash, zeolite, and charcoal were manufactured and fire-resistance and far-infrared emissivity of those boards were evaluated. It is believed that the boards developed in this study could be used for high performance flooring in house or interior parts, etc.. Also, three layer composite board combining wood materials and perlite were manufactured for light-weight partition. Also, the emission of formaldehyde and VOC(volatile organic compound) were measured during manufacturing process of the composite pulverized wood wastes.

Development of wood fiber/plastic fiber composite

In this part, manufacturing process of wood fiber/plastic fiber composite,

of which domestic market share is prospected to be enlarged for interior or furniture use in future, was developed. And characteristics of composite according to processing variables were evaluated. As a kernel technology, the invented turbulent air mixing method could be evaluated to be more efficient mixing method than American nonwoven web method, and pilot fiber mat-forming machine was developed. Properties of composites manufactured by this machine were superior to those by conventional method, and mixing portions of thermo-plastic fiber by this advanced approach could be heighten. The relationship between several processing variables and composite properties was evaluated experimentally. Suitable polypropylene fiber(PP fiber) in aspect term was thickness of 3 denier, melt flow index of 25 or more, fiber length of 15mm. Mixing ratio of PP fiber and board density were determining variables on strength properties. The lesser ratio of wood fiber resulted lower strength properties, but resulted better dimensional stability. Adding effect of MAPP was great at low mixing level of wood materials. Property-effecting variables were studied by observing inner board structure with scanning electronic microscope. Higher density of composite increased the mobility of PP, and brought more linking of wood fiber and water to decrease thickness swelling.

Development of wet-process of wood fiber-reinforced cementboard

The purpose of this study was to develop wet-processing of wood fiber-reinforced cement board and to determine technical feasibility of using wastepaper fibers for reinforcement in thin cement products. Fibers

from wastepapers have high levels of non-cellulosic impurities, and the recycling process also breaks and damages the fibers.

To produce wastepaper fiber-cement composites, the influential variables in the slurry-dewatering method during processing composites were identified in an experimental study based on factorial design. Among the proportioning and processing variables investigated, fiber mass fraction and level of substitution of virgin fibers with recycled ones were found to have statistically significant effects on mechanical and physical properties of composites. Subsequently, response surface analysis techniques were used to devise an experimental program that helped determine the optimum combinations of the selected influential variables based on mechanical and physical properties, and cost. The optimized recycled composites versus virgin composites were evaluated technically. The effects of moisture and weathering on the performance of recycled wastepaper fiber-cement composites were investigated through accelerated laboratory tests simulating the effects of wet-dry and freeze-thaw cycles as well as warm water and oven dry. They were shown to possess acceptable short and long-term performance.

Development of wood/plastic composite by melt-blending process

Thermoplastics such as polypropylene(PP), polyethylene(HDPE, LDPE) and polyvinyl chloride(PVC) and some kinds of wood flour were used as matrix and filler materials for wood/plastic composites.

The composites were prepared by melt-blending process in a single

screw extruder. Maleic anhydride modified polypropylene(MAPP) was used as coupling agent. The WF(Wood flour) was compounded up to maximum 50 wt% and the coupling agent was added up to 15 wt%.

To optimize processing conditions; extrusion-temperature setting, compounding route and pre-treatment of WF were checked with four kinds of polypropylenes which have different level of melt index. To evaluate the properties, tensile, impact and flexural properties were measured and the fracture surfaces of the composites were investigated by SEM. Also, the effect of water absorption on the properties was evaluated.

In the case of WF/PP composite, without the coupling agent, the tensile modulus was improved with increasing amount of WF, but the tensile strength and the impact strength were decreased. The tensile strength could be improved by adding the coupling agent, but the impact strength was not affected. The reduced properties were caused by some defects formed from decomposition of the WF at the high processing temperature. The optimum content of coupling agent was found to be 5 wt% on total composite base. Considering the melt index(MI) of PP, it was found that PP with higher MI had better processibility. The high flow property of PP enhanced the dispersion of WF and lowered the processing temperature, and consequently, lowered degradation of WF and PP.

In the case of other plastics, the mechanical properties had similar behavior to above PP composite. For PVC composite, coupling agent was not used, and the properties could be controled widely by changing plasticizer content.

In order to evaluate the processibility on industrial scale, field tests of extrusion and compression molding were conducted at two factories. In the case of extrusion process, there was a problem on sizing the extrusion caused by severe die swell behavior. But, the problem could be solved by adapting a sizing die system which consists of unified die/sizing block with cooling water circulation. In compression molding test, thick boards for desk material were molded. Because of the thickness, there was difficulties on heating and cooling the mold, and the production rate was very low. However, for thin materials below 10 mm, somewhat reasonable production rate could be achieved by adapting a press machine which have two isolated presses for heating and cooling.

Development of composition block recycled by wood wastes

A study on development of wooden block and thick board by approach recycling the processed wood residues occurred in regionally distributed small wood industries with low cost. The mat-formed pressing apparatus was designed and made to make sidewalk blocks(I type and U type) specified in KS F 4419. Optimum manufacturing conditions were studied and possibility of manufacturing techniques of highly durable thick 32mm and 50mm boards for on-site application was ascertained.

Applying 4 types of pressing styles and schedules different from conventional hot pressing methods, high performance block or light-weight thick board having two times of bending strength compared to ready-made cement block and even-state inner density profile were

manufactured. Outdoor durability was also conspicuously improved by degradation-preventing treatment of waste wood-block.

On the other hand, a good sound-absorptive, light board of density 0.5g/cm³ or less, 50mm thickness was developed by forming resonance, i.e. absorptive holes, in surface or inside of board. Patent(No. 0277290) on the developed manufacturing techniques of wood block was acquired.

CONTENTS

Part I.	Introduction	18
Part II.	Development of inorganic-bonded wood composites	23
Part III.	Development of functional wood based composite using pulverized elements	141
Part IV.	Development of wood fiber/plastic fiber composite	204
Part V.	Development of wet-process of wood fiber-reinforced cementboard	246
Part VI.	Development of wood/plastic composite by melt-blending process	336
Part VII.	Development of composite block recycled by wood wastes	462

목 차

제 1 장	서 론	18
제 1 절	연구개발의 배경 및 필요성	18
제 2 절	연구개발의 목적과 범위	21
제 2 장	목질·무기질계 복합보드 개발	23
제 1 절	서 설	23
제 2 절	목질·무기질 복합체의 경화성	25
제 3 절	목질·석고보드 복합보드 제조	43
제 4 절	목질·시멘트보드의 반건식 제조공정 개선	60
제 5 절	목질·시멘트 복합에 의한 방음보드 제조	80
제 6 절	폐목질·시멘트 복합블럭 개발	93
참고문헌		135
제 3 장	기능성 목질 분체복합보드 개발	141
제 1 절	서 설	141
제 2 절	분말상 페놀수지를 사용한 폐MDF 분체복합 보드의 제조	143
제 3 절	액상 페놀수지를 사용한 폐MDF 분체복합보드의 제조	149
제 4 절	폐가구류 재생 분체복합보드의 특성	156
제 5 절	폐지 및 폐합성섬유 복합보드 개발	162
제 6 절	기능성 목질·무기질 분체복합보드 개발	171
제 7 절	폐목질 분체복합보드의 제조공정 개선 및 휘발성유기 화합물(VOC) 방출량 조사	181
참고문헌		200

제 4 장	목섬유·열가소성섬유 복합재 개발	204
제 1 절	서 설	204
제 2 절	제조공정요인에 따른 목섬유·열가소성 섬유 복합재의 특성	205
제 3 절	목섬유·열가소성섬유 복합재의 혼합공정 개선 및 공정 변수영향 평가	219
참고문헌		242
제 5 장	목질·시멘트보드의 습식제조공법 개발	246
제 1 절	서 설	246
제 2 절	연구사	250
제 3 절	폐지섬유보강 시멘트 복합체의 물리·역학적 특성	272
제 4 절	폐지섬유보강 시멘트 복합체의 최적배합비 결정	291
제 5 절	수분민감성 및 내구성능	299
제 6 절	결 론	326
참고문헌		329
제 6 장	용융형 목질/플라스틱 복합소재 개발	336
제 1 절	서 설	336
제 2 절	재료 및 방법	342
제 3 절	폴리프로필렌 복합재(1)	352
제 4 절	폴리프로필렌 복합재(2)	385
제 5 절	다른 플라스틱과의 복합재	414
제 6 절	공장실연실험	437
제 7 절	공정표준화	499

참고문헌	457
제 7 장 목질 폐자원 재활용 블럭 개발	462
제 1 절 서 설	462
제 2 절 목질폐자원을 재활용한 복합블럭 제조	463
제 3 절 목질폐자원 재활용 블럭의 물성 개선	474
제 4 절 폐목질 재활용 블럭의 내구성능 평가 및 신용도 개발	491
참고문헌	502

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 배경 및 필요성

우리나라는 목재사용량의 94% 정도를 수입에 의존하면서도 목질폐기물의 재활용율은 매우 낮은 편이다. 임업연구원의 조사결과에 의하면, 우리나라의 목질폐기물 또는 폐목재(건설폐기물, 목재산업폐기물, 물류폐기물, 임지폐기물, 생활폐기물 등)이 연간 1,100만^m가 발생되며, 이는 전체 목재소비량의 약 40%에 달한다. 전체 폐목재의 재활용율은 43%이지만, 건설폐기물은 4%, 생활폐기물은 12%에 불과하다. 이 가운데 매립처분량이 전체 폐목재의 24%인 260만^m에 달한다. 따라서 이와 같은 폐자원을 건축자재와 같은 고부가가치 용도로 재활용할 경우, 폐기물 처리비용의 절감 뿐만 아니라, 목재수입에 따른 막대한 외화 절감, 국내 임업 및 목재산업의 활성화에 상당한 파급효과를 가져올 것이다.

우리나라보다 목재자원이 풍부한 미국, 독일, 일본 등 선진 각국에서는 목질폐기물의 재자원화, 특히 복합소재에 대한 연구개발 및 산업화가 활발히 전개되어 왔다. 그러나 자원사정이 열악한 국내에서의 폐기물 재활용 기술 개발 및 재활용 시스템은 매우 미흡하며, 산업화는 극히 초보적인 단계이다. 목질폐기물 재활용기술 개발의 필요성을 요약하면 다음과 같다.

(1) 기술적 측면

목질폐기물을 재활용하기 위해서는 수집→분리→분쇄→精選→원료화 등 일련의 과정이 최종 수요를 고려하여 체계적으로 다루어져야 할 것이다. 그러나 목질폐기물을 최대한 재활용해야 한다는 당위성과 필요성은 강조되면서도 실제로 지금까지는 효과적이고 지속적인 대책이 강구되지 못하고 있다.

그 이유로서는 첫째 리사이클제품의 고유 성능에 적합한 용도 개발, 둘째 안정적 대량수요의 확보, 셋째 자동화 생산공정 적용 및 설비 국산화, 넷째 리사이클제품의 2차적 오염방지 대책 등을 포함한 경제적·실용적 기술축적이 이루어지지 않았기 때문이다. 따라서 본 연구과제에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 제조공정 개발, 재료성능 개선, 제품수요 개발 등을 종합적으로 추진하고자 하였다.

(2) 산업적 측면

개방화 추세에 따라 목재가공제품의 수입이 급증하면서 국내 산업의 생산성 및 경쟁력은 상대적으로 저하되어 가고 있다. 또한 목재산업의 경쟁력 약화는 곧 목재자원의 생산, 이용을 전제로 하는 임업의 경쟁력 약화를 의미하며, 임업의 산업화는 목재산업의 활성화가 전제되어야만 하는 것이다.

따라서 목질폐기물의 재활용에 의해 국내 목재원료의 자급율을 탄력적으로 증대시켜 나가야만 하며, 대표적인 고부가가치 상품인 건축자재를 개발하여 목질폐기물 이용의 부가가치를 극대화시켜야만 할 것이다. 또한 목질폐기물 뿐만 아니라 국산 소경재 및 폐잔재를 동시에 이용할 수 있는 건축용 복합재료의 개발에 의해, 한국 임업이 부실하고 있는 국내 목재자원의 수요 확대를 촉진하는 산업연관효과를 극대화시켜 나갈 수 있을 것이다.

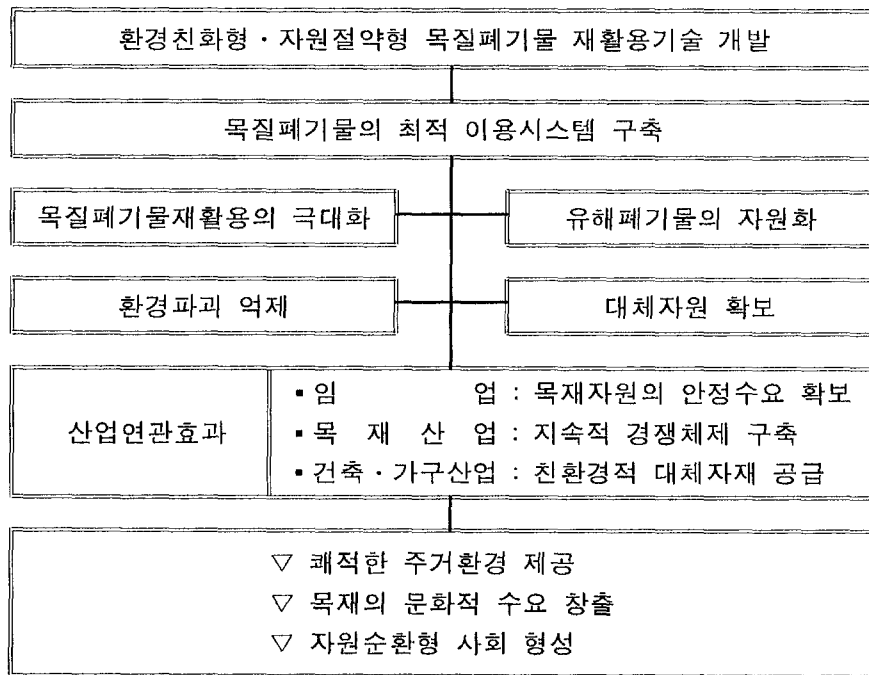
(3) 환경적 측면

목재는 대표적인 環境材(eco-material)이며, 목재자원을 가장 친환경적으로 이용할 수 있는 산업분야가 목질복합보드산업이다. 그러므로 폐목질원료를 이용한 복합보드는 환경친화적 소재로서의 가치를 지니고 있다. 환경적 측면에서의 목질폐기물 재활용기술 개발 및 산업화의 필요성은 다음과 같다.

첫째, 『목재는 동일용도에 사용할 수 있는 각종 소재 가운데 생산→이용→폐기→리사이클이용→폐기→자연분해로 이어지는 전과정을 통하여 가장 친환경적인 소재』라고 한다면, 여기에서 『생산』은 외국에서도 할 수 있지만,

『이용→폐기→리사이클이용』은 국내산업이 존재해야만 가능하며, 이를 위한 국내 기술개발이 필요하다.

둘째, 탄산가스배출권 및 배출기준에 대한 국가간 협의가 진행되고 있는 상황에서, 탄산가스배출량 증가속도 세계 1위인 우리나라의 경우 목질자원 재활용산업의 활성화가 시급하며, 이에 폐목질 재활용 복합소재 제조기술 개발이 요청된다. 아울러 임업이 산업화되어야만 환경보전을 위한 지속적 산림 관리가 가능하므로, 임업과 목질복합보드산업은 환경적 측면에서 필연적인 연관효과를 지니게 된다. 목질폐기물 재활용 기술개발의 연관 효과는 다음과 같이 정리할 수 있다.



< 목질폐기물 재활용 기술개발의 효과 >

제 2 절 연구개발의 목적과 범위

본 연구과제는 미이용 또는 저이용의 목질폐기물을 재자원화하여 고부가가치의 건축자재를 개발하기 위하여 수행되었다. 본 연구에서는 목질자원의 효율적 이용 및 쾌적한 주거환경 제공과 목질 복합소재의 인체친화적 신기능·신수요 개발을 목표로 하여, 주로 목질원료와 비목질원료의 특성을 결합시킨 다양한 복합재료의 제조기술 개발에 관한 실험적 접근이 이루어졌다. 목질폐기물의 리사이클 이용기술 개발에 있어서는, ① 원료이용의 효율성, ② 설비적합성, ③ 제품성능의 차별성, ④ 개발제품의 시장성 등 다각적 측면을 고려한 기술개발의 목적과 범위를 설정하고자 하였다.

우선 원료이용 측면에서, 목질폐기물 중에서도 순수하게精選된 목질원료는 기존의 용도에서도 재활용이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 질이 낮아서 이용상 제약이 있거나 부가가치가 낮았던 목질폐기물을 부가가치가 높은 건축용 복합재 원료로 이용하고자 하는 것이 원료이용 측면에서의 기본 목표이다. 따라서 본 연구에서는 폐목재로부터의 파티클, 톱밥 등과 아울러 폐신문지, 폐가구류의 주요 구성재인 폐MDF 등 다양한 목질원료를 그 性狀에 적합한 복합재의 원료로서 이용하였다. 동시에 폐플라스틱과 같은 비목질 폐기물의 재활용도 본 연구에서 검토되었다.

제조공정 및 설비 측면에서는, 아무리 실험결과가 우수할지라도 이미 외국에서 대형 플랜트로 상업화되어 있는 기술의 모방은 경쟁력면에서 실용화 가능성이 요원하다고 할 수 있다. 따라서 중소기업형의 제조공정 및 설비국산화에 대응할 수 있는 기술개발에 중점을 두었다. 그러나 대형설비 대응기술일지라도 국내의 기존 설비에 그대로 적용할 수 있으면서 대체원료 개발 및 제품성능 개선이 가능한 연구를 동시에 추진하였다.

또한 개발하고자 하는 제품의 성능면에서는, 목질원료와 비목질원료의 특성

을 결합하여 輕量·緩衝·吸音·斷熱·耐久·耐火性 등을 보유한 고성능 및 다기능성의 인체 및 환경친화형 건축자재를 개발함으로써, 보다 쾌적한 삶의 공간을 가꾸어나가고자 하는 목표를 가지고 있다. 특히 본 연구의 세부과제에서 수행된, 석면보드와 같은 유해 건축자재의 대체재 개발, 비포름알데히드계 복합보드의 개발 등은 사회적으로 중요한 과제이다.

한편 개발된 제품의 수요측면에서는, 輕量·乾式·組立式으로 전환되어가는 건축공법 및 건축자재의 수요추세에 유연하게 대응하면서, 기존 소재의 대체수요 확보 및 소재 특성에 적합한 신수요 개발이 점진적으로 확대되기를 기대하고 있다. 따라서 본 연구과제에서 개발하고자 하는 복합재료의 용도는 사용원료, 소재물성, 제품형태 등에 따라 바닥재, 내장재, 가구재, 완충재, 구조재, 방음벽 등 매우 다양하다.

본 연구과제에서는 각종 폐목질원료를 이용하고, 광범위한 기술적 요소를 결합시킨 복합재료를 개발함에 있어서 ① 재료형태의 복합화, ② 재료성능의 특성화, ③ 제조공정의 자동화, ④ 제품수요의 다양화 등의 기본방향을 설정하고, 특히 ① 원료이용의 효율성, ② 제품성능의 신뢰성, ③ 제품수요의 다양성이 증대되도록 하였다. 또한 각 세부과제별 연구목표에 따라 ① 적정 원료 조건 및 복합방법 구명, ② 제조공정 개발 및 제품성능 평가, ③ 공정 최적화 및 현장적용성 평가 등이 단계적으로 수행되었다.

제 2 장 목질·무기질계 복합보드 개발

제 1 절 서 설

목질·무기질계 복합보드에 관한 연구는 근년에 주요 연구테마로 대두되어 온 「목질계 폐기물의 재활용」과 「친환경적 건축소재 개발」이라는 두가지 과제에 대한 대안으로서 그 필요성이 새삼 인식되고 있다. 목재는 신비스러울 정도의 뛰어난 장점을 지닌 소재이면서도 썩거나 불에 타는 결점을 갖는 반면, 무기질 소재는 탁월한 내화성, 내구성을 지니고 있지만 생물학적인 逆機能性을 가지고 있다. 따라서 목질과 무기질을 결합시킨 복합재는 양자의 결합이 상호 보완되어, 환경적으로 안정되고, 자원확보면에서도 유리한 건축자재가 될 수 있다. 즉 목질·무기질보드는 환경·안전·건강을 지향하는 다양한 특성을 지닌 복합재료이다.¹⁾

현재 일본, 독일, 미국 등에서는 목질·시멘트보드의 제조기술에 관한 많은 연구개발 및 산업화가 진전되어 왔으며, 건축 외장재로서의 수요가 확대되고 있다. 국내에서는 본 연구과제 참여 연구자들을 비롯하여 일부 기초적인 연구가 수행되었으나, 국내의 건축재료 수요패턴에 적합한 제품 및 공정개발은 아직 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 과제에서는 국내의 가용자원 현황, 건축공법 및 건축자재의 변

1) 목질·무기질보드의 특성으로서는, 자원이용의 효율성(폐목재, 저질재 활용 가능), 단열성(에너지 절감 효과), 방화성(건축기준법상 대표적인 준불연재), 耐震性, 내충격성, 안전성(無석면, 화재시 유독가스 발생 없음), 음향특성(외부소음 차단, 실내 反響音 흡수), 耐凍害性(구조물의 凍結融解 및 실내結露 방지), 조습성(흡·방습으로 실내습도 조절), 탈취성(암모니아, 메틸아민 등의 탈취 효과), 방부성, 防蟻性, 경량성, 가공성, 시공성(조립식공법), 미관성(표면성형 및 도장가공 용이) 등이 있다.

화 추이, 향후 목질 복합소재의 수요 패턴 등에 대응하여, 다각적인 방법으로 목질·무기질계 복합재 개발연구를 수행하였다. 기술개발의 목표로서는 첫째, 기존의 국내 무기질(시멘트, 석고) 건축자재 산업의 생산공정에 목질원료를 투입시키기 위한 복합제품 제조기술 개발, 둘째, 국산설비에 의해 기존 자재의 수요를 대체시켜 나갈 수 있는 신제품 개발, 그리고 대형 설비가 소요되는 목질·무기질보드의 국내 산업화에 대비한 국내기술 확보 등을 장단기적 목표로 설정하였다.

제 2 절 목질·무기질 복합체의 경화성

목질원료와 무기질원료의 복합화는 목질·시멘트계와 목질·석고계, 기타 무기재료 첨가 등으로 구분할 수 있는데, 각각 특이한 경화방식 및 결합구조를 가지며, 제조공정과 기술적 접근방법 또한 상이하다. 그리고 이와 같은 목질·무기질 복합제품의 원료적성과 적정 혼합방법을 구명하고, 물성을 개선하거나 기능성을 부여하기 위해서는 목질·무기질 혼합계의 경화성 파악이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 다양한 폐목질원료를 사용한 목질·무기질 혼합계의 수화반응에 있어서, 종래에 실시되지 않았던 새로운 실험이 이루어졌다. 즉 각종 무기질 혼화재 및 경화촉진제의 효과를 동시에 분석하여, 복합재의 물성개선 방향 및 신기능 무기질 복합재의 개발 가능성을 검토하고자 하였다. 또한 목질·시멘트系 뿐만 아니라 목질·석고系, 목질·시멘트·석고系에 대한 수화반응조사가 수행되었다. 목질·시멘트계의 수화반응시험방법은 堀江(1998), Hofstrand & Moslemi(1984), 屋代(1968) 등의 보고를 참고하여 정하였으며, 목질·석고계의 수화반응 측정은 국내 석고보드 제조업체에서의 석고보드 제조방법을 응용하여 수분량 및 원료혼합률을 결정하였다.

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 목질원료

목질원료로서는 잣나무 목분, 파티클보드(PB)용 목질칩의 분쇄 목분, 폐신문지 펄프(ONP) 분말, 제지슬러지 분말 등 5종의 원료를 氣乾→분쇄→선

별(20-40#)하여 사용하였다. 단 폐신문지 필프는 신문지를 습식해리, 건조 및 정쇄후 선별하지 않은 상태로 사용하였다.

나. 무기질원료

시멘트는 포틀랜드시멘트(type I)를, 석고원료는 석고보드용 원료인 인산부산 반수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$)를 각각 사용하였다.

다. 경화촉진제 및 경화지연제

시멘트의 경화촉진제로서 MgCl_2 (chloride類), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (sulphate類), Na_2SiO_3 (silicate類) 등을 선정하였으며, 석고 경화지연제로서는 석고보드공장 에서 사용하는 동물성 protein을 첨가하였다.

라. 혼화재

혼화재로서는 금후 본 연구에서 개발하고자 하는 목질·무기질복합체의 내화성, 경량성을 증대시키거나, 기능성을 부여하기 위한 목적으로, 무기질과 의 혼화성이 양호한 것으로 판단되는 fly ash, perlite, 황토, 목탄 분말 등을 선정하여 사용하였다. fly ash는 석탄 연소후 생성되는 부산물로서 내화성 개선효과가 있으며, perlite는 화산암, 진주암 등을 발포처리한 경량골재로서 복합체의 경량성, 단열성 등의 개선이 기대된다. 그리고 열처리된 미장용 황토와 대나무 목탄을 전자파 차폐, 원적외선 방사 등의 기능성 부여를 위하여 사용하였다.

<표 2-1> 목질·무기질복합체의 원료, 첨가제 및 혼화재 구성

구 분	목질원료	첨가제	혼화재
목질·시멘트(WC)계	갓나무 PB용 목질칩 폐신문지필프 슬러지	MgCl_2 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (경화촉진제) Na_2SiO_3	fly ash perlite
목질·석고(WG)계		protein (경화지연제)	황토 목탄
목질·시멘트·석고(WCG)계		none	

2. 실험방법

가. 목질·무기질복합체의 혼합

목질·무기질복합체의 수화반응 측정실험에 있어 원료, 첨가제 및 혼화재의 혼합비는<표 2-2>와 같다. 이 중에서 목질·시멘트·석고복합체(WCGC)의 시멘트/석고 혼합비는 100/0, 97.5/2.5, 95/5, 90/10, 80/20, 50/50, 20/80, 0/100의 수준으로 하였다.

<표 2-2> 목질·무기질복합체의 원료, 첨가제 및 혼화재의 혼합비

구 분	무기질원료 대비 혼합비			
	혼화수	목질원료	첨가제	혼화재
목질·시멘트(WC)계	50%	5%	촉진제 2.0%	5%
목질·석고(WG)계	70%	5%	지연제 0.4%	5%
목질·시멘트·석고(WCGC)계	물/시멘트=50% 물/석고=70%	5%	-	-

나. 복합체의 수화반응조사 및 분석방법

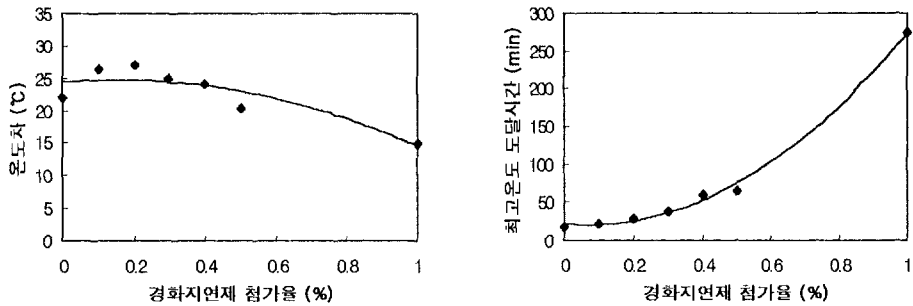
목질·무기질 원료 또는 목질·무기질·혼화재를 소정비율로 건식혼합한 다음, 혼화수를 가한 페이스트 상태에서 수화반응온도를 측정하였다. 시멘트경화촉진제를 첨가하는 경우에는 5% 수용액상태로 첨가하였으며, 분말상의 석고경화지연제는 원료와 함께 건식 혼합한 다음 증류수를 첨가하였다.

혼합페이스트를 Dewar flask에 넣고 열전대(thermocouple)를 삽입하여, 자동온도기록계에 의해 연속측정하여, 최고온도 도달시간[t(hr)], 최고온도[T(°C)] 및 최대온도경사[S, $\Delta T/\Delta t$ (°C/hr)]를 조사하였다. 동시에 control(시멘트-물)의 최고온도 도달시간[t'(hr)], 최고온도[T'(°C)], 최대경사[S', $\Delta T'/\Delta t'$ (°C/hr)]를 측정하여, $I = 100 [(t - t')/t' \cdot (T' - T)/T' \cdot (S' - S)/S']$ 의 공식에 의해 경화장해지수(inhibitory index, I)를 산출하였다.

제 2 항 실험결과

1. 목질·석고 복합체의 수화반응에 미치는 경화지연제 첨가율의 영향

반수석고가 물과 혼합되면 온도가 상승하며 급속히 경화하는 발열반응을 일으키게 되며, 여기에 목질원료를 혼합할 때에 경화지연효과를 가져올 것으로 예측된다. 따라서 수화반응의 조사는 목질·석고보드의 경화성을 예측하는 지표가 될 수 있다. 또한 목질·석고보드를 제조할 때는 원료혼합, 성형, 압체에 이르기까지의 공정간 최소 소요시간이 필요하므로 경화시간의 조절이 필요하다. 따라서 목질·석고보드 제조시의 경화시간 조절을 위하여 수화반응에 미치는 경화지연제(protein)의 첨가 효과를 예비적으로 조사하였다<그림 2-1>.



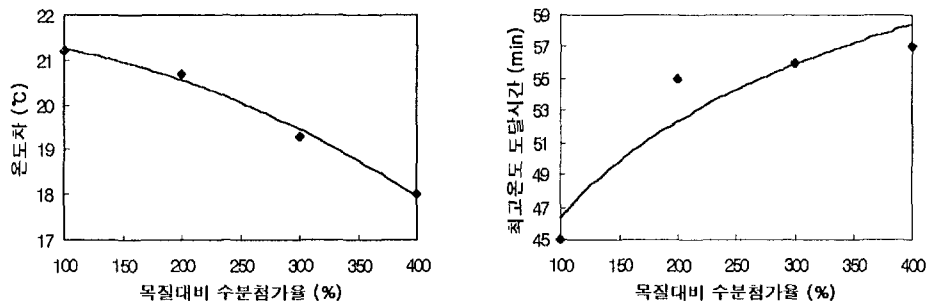
<그림 2-1> 목질·석고 복합체의 수화반응에 미치는 경화지연제 첨가율의 영향

경화지연제 첨가율에 따른 석고 페이스트의 수화반응 온도차(최고온도-개시온도)에 있어서는 경화지연제 0.2% 첨가시 최고온도를 보여주고 있으며, 이 때 최고온도는 약 57°C에 달한다. 이후 경화지연제 첨가량의 증가에 따라 발열온도가 서서히 떨어지는 현상을 보여주고 있다. 또한 지연제 0.3%, 0.4%,

0.5%의 첨가수준에서 최고온도 도달시간은 각각 38분, 59분, 65분이며, 1% 첨가시는 약 4.6시간이 소요됨으로써 경화지연제의 첨가율이 반수석고의 수화반응에 매우 민감하게 영향하고 있다. 이 결과에서 보드제조실험시의 경화지연제 첨가율은 0.3%~0.5%가 적절한 수준인 것으로 여겨지며, 이와 같은 예비실험결과에 따라 목질·석고(WG)계 복합체 경화시험<표 2-2>에서의 첨가율을 0.4%로 정하였다.

2. 목질·석고 복합체의 수화반응에 미치는 混水량의 영향

목질·석고보드 제조시 적정 수분량을 파악하기 위하여 목질원료를 석고 대비 5% 혼합한 복합체의 수화반응에 있어서 혼수량의 영향을 조사하였다<그림 2-2>. 여기에서 혼수량은 석고 무게에 대비한 기본 혼수율을 50%로 하고 여기에 목질무게에 대하여 수분을 첨가한 비율을 말하는 것으로서 목질대비 수분첨가율이 100, 200, 300, 400%일 때, 석고에 대비한 전체혼수율(실제 혼수율)은 각각 55, 60, 65, 70%이다.



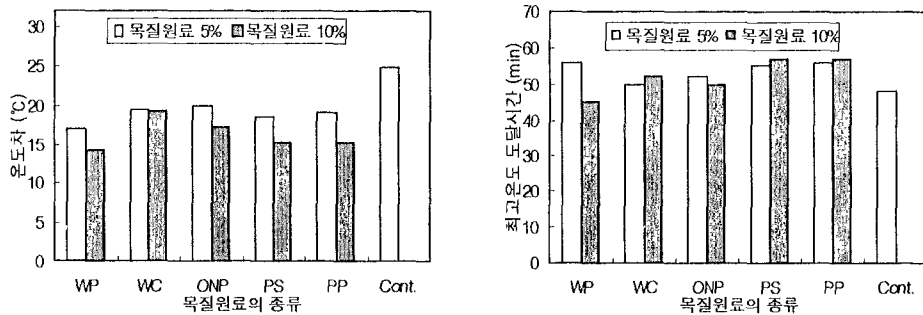
<그림 2-2> 수분첨가율과 목질·석고 복합체의 수화반응과의 관계

<그림 2-2>에서와 같이, 수분량이 증가할수록 수화반응온도의 차이가 뚜렷이 감소하는 경향을 나타냈지만 온도감소폭은 크지 않았다. 또한 최고온도

도달시간은 수분침가율이 증가함에 따라 지연되고 있으나, 수분침가율 200% 이상에서는 지연시간의 증가속도가 서서히 완화되고 있다. 따라서 수분침가율 200% 이상의 경우에는 보드제조실험의 작업시간에 있어서 별다른 문제가 없을 것으로 여겨진다. 단 석고 대비 혼수량을 50% 전후로 할 때에는 수화반응시간을 신중히 고려하여야만 할 것이다.

3. 목질원료의 종류별 목질·석고 복합체의 수화반응

목질원료 종류 및 혼합률에 따른 수화반응 측정결과를 <그림 2-3>에 나타내고 있다.



<그림 2-3> 목질원료의 종류별 목질·석고 복합체의 수화반응

* WP : 잣나무 목분, WC : 폐목질칩, ONP : 폐신문지펠프,
PS : 펄프슬러지, PP : 펄라이트 분말

목질원료가 혼합된 페이스트는 석고 페이스트(control)에 비하여 온도차가 낮게 나타나며, 최고온도 도달시간도 대체로 지연되고 있다. 즉 목질원료는 석고혼합 페이스트상에서 경화지연효과를 보여주고 있다. 원료종류별 온도차는 대체로 비슷한 수준이지만, 목분(WP)의 경우에 다소 낮은 온도차를 보여주고 있으며, 최고온도도달시간은 목분(WP) < 폐목질칩(WC) < 폐신문지펠

프(ONP) < 제지슬러지(PS) < 펠라이트(PP)순으로 경화시간이 완만하게 지연되고 있다. 특히 펠라이트와 제지슬러지 혼합시의 경화반응이 타원료보다 더욱 지연되고 있다. 한편 목질원료의 혼합률에 따라서는 그다지 온도차가 나타나지 않으나, 혼합비율 10%가 5%보다 온도차가 낮게 나타남으로써 경화반응을 다소 저해한다고 할 수 있다. 이와 같은 수화반응실험에서의 원료혼합 및 혼수조건은 습식 목질·석고복합보드 제조실험에 적용할 경우 복합보드의 경화성 및 물성이 예비적으로 판단될 수 있을 것으로 보여진다.

4. 혼화재 첨가에 따른 목질·시멘트복합체(WCC)의 경화성

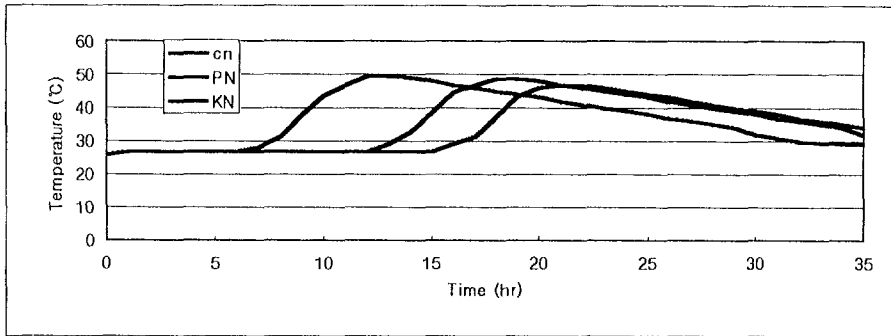
경화촉진제를 첨가하지 않은 목질·시멘트복합체의 수화반응실험 결과는 <표 2-3, 그림 2-4~6>과 같다. 여기에서 수화반응온도차(ΔT)는 최대온도와 초기온도(常溫)의 차이를 말한다.

우선 목질·시멘트복합체(WCC)의 경화성을 목질·석고복합체(WGC)와 대비하였을 때, WCC의 수화반응 최대온도는 WGC와 대체로 유사한 수준이었다. 그러나 최대온도 도달시간은 WCC의 경우에 control(12시간 내외)을 기준으로 목질원료를 혼합함에 따라 경화시간이 더욱 길어지게 되지만, WGC의 경우에는 control의 경화시간이 47분이며, 목질원료 및 혼화재를 혼합할 경우에도 1시간 내외에 경화반응이 종결된다.

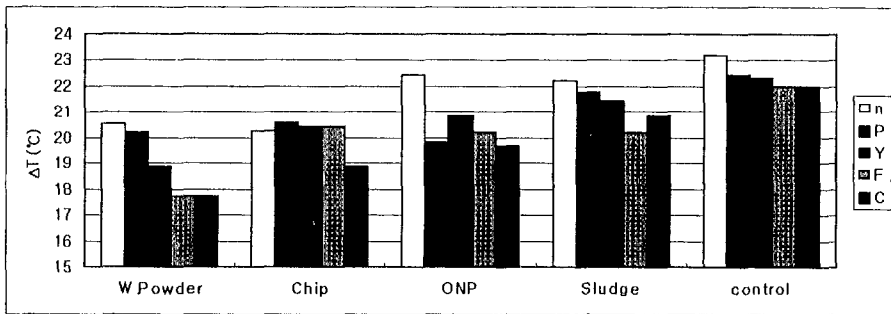
목질원료별 목질·시멘트 복합체의 경화성에 있어서, 온도차는 제지슬러지를 혼합하였을 때 비교적 크게 나타났으며, 잣나무 목분이 가장 낮았다. 그리고 최대온도에 도달하는 시간은 control, 제지슬러지, 목질짚, 폐지펄프, 잣나무 순으로 짧게 나타났다. 목질·시멘트 복합체에 각종 혼화재를 첨가하였을 때는 목질원료와의 조합에 따라서 경화온도의 차이가 다양하게 나타나고 있으며, 황토와 펠라이트를 혼입하였을 때 다소 높은 경화반응온도를 나타냈다.

<표 2-3> 목질·시멘트 복합체(WCC)의 수화반응

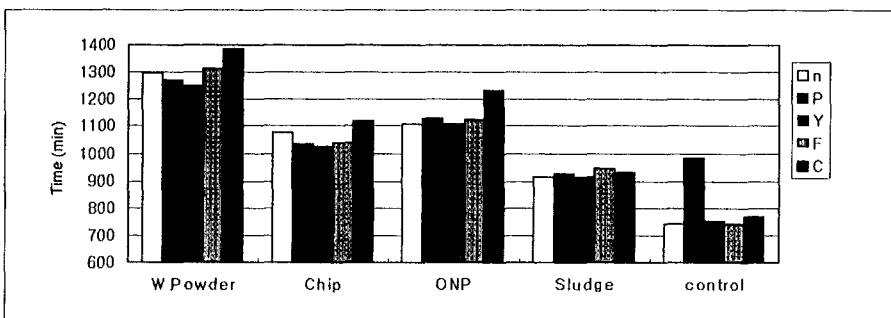
목질원료	혼화재	목질·시멘트복합체(WCC)			
		Legend	온도차 (ΔT) ($^{\circ}\text{C}$)	최대온도 도달시간 (min)	경화장해지수 (I -value)
잣나무	fly ash	CKF	17.70	1,313	9.528
	perlite	CKP	20.20	1,269	5.912
	황토	CKY	18.83	1,248	5.595
	목탄	CKC	17.70	1,383	11.731
	none	CKn	20.53	1,295	4.298
폐목절첩	fly ash	CCF	20.40	1,040	1.317
	perlite	CCP	20.57	1,036	2.068
	황토	CCY	20.43	1,021	1.050
	목탄	CCC	18.87	1,116	4.370
	none	CCn	20.23	1,076	2.895
신문폐지펄프	fly ash	CPF	20.20	1,124	2.065
	perlite	CPP	19.83	1,126	3.513
	황토	CPY	20.87	1,109	1.319
	목탄	CPC	19.67	1,235	5.505
	none	CPn	22.43	1,105	0.569
제지슬러지	fly ash	CSF	20.20	943	0.735
	perlite	CSP	21.77	923	0.600
	황토	CSY	21.47	914	0.440
	목탄	CSC	20.83	929	1.042
	none	CSn	22.23	915	0.075
control (시멘트)	fly ash	CcF	21.97	742	0.002
	perlite	CcP	22.43	981	0.135
	황토	CcY	22.33	750	0.000
	목탄	CcC	22.00	768	0.036
	none	Ccn	23.20	743	0.000



<그림 2-4> 목질·시멘트복합체(WCC)의 수화반응온도 변화
 [cn : control, Pn : 폐지펄프, Kn : 잣나무]



<그림 2-5> 목질·시멘트복합체(WCC)의 혼화제 첨가에 따른 목질원료별 수화반응온도
 [n : 무첨가, P : perlite, Y : 황토, F : fly ash, C : 목탄]



<그림 2-6> 목질·시멘트복합체(WCC)의 혼화제 첨가에 따른 목질원료별 수화반응최대온도 도달시간
 [n : 무첨가, P : perlite, Y : 황토, F : fly ash, C : 목탄]

한편 온도차, 최대온도 도달시간, 최대 온도경사(온도상승율) 등에 의해 산출된 경화장해지수(I-value)는, 혼화재를 첨가하지 않았을 때는 잣나무 > 폐목질짚 > 폐신문지펠프 = 제지슬러지 순으로 비교적 뚜렷한 경화장해도를 나타냈다. 또한 혼화재를 첨가하였을 때는 황토가 목질원료의 경화장해를 경감시키는 흥미로운 현상을 보여주고 있으며, 목탄의 경화장해도는 다소 높게 나타나고 있다. 아울러 황토, 펄라이트, fly ash 등의 혼화재 첨가에 의해 폐목질짚의 경화성이 개선되고 있어, 폐목질원료의 사용에 효과적이라고 할 수 있다.

5. 혼화재 첨가에 따른 목질·석고복합체(WGC)의 경화성

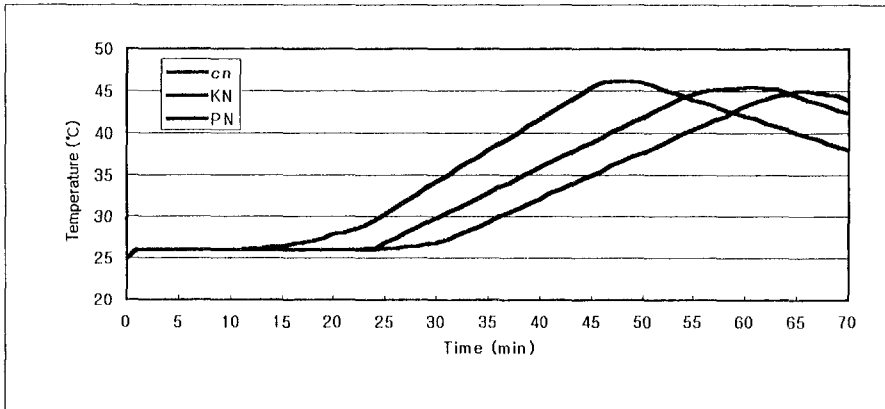
목질·석고복합체의 수화반응온도차는 목질원료 및 혼화재의 종류에 관계 없이 거의 일정수준이지만, 최대온도 도달시간은 원료종류에 따라 다소의 차이를 나타내고 있다. 특히 잣나무, 폐목질짚, 제지슬러지와 같이 일정한 크기(20~40#)로 선별된 粉粒狀 원료가 목석유나 폐신문지펠프와 같이 微粉碎한 섬유상 원료보다 비교적 경화응결시간이 짧은 것으로 나타났다. 이는 시멘트 수화반응시의 결정체 형성이 목질원료의 경화저해성분의 영향을 받는데 비하여, 석고의 수화반응 및 결정성장속도는 목질원료 또는 혼화재의 형상에 따라 다르게 나타나기 때문인 것으로 여겨진다<표 2-4, 그림 2-7~8>.

한편 목질·시멘트 복합체의 경화장해지수 계산식을 적용한 목질·석고복합체의 경화장해지수는, 목질원료에 따른 차이는 경미하지만, 폐신문지펠프가 다소 높게 나타났으며, 혼화재 첨가효과에 있어서는 황토나 목탄을 첨가했을 때는 혼화재를 첨가하지 않은 경우보다 오히려 경화장해도가 낮게 나타나고 있다. 이러한 결과는 금후 제지슬러지의 용도개발과 아울러, 황토, 목탄 등을 이용하여 인체에 유익한 기능성 건축자재를 개발할 수 있다는 매우 흥미로운

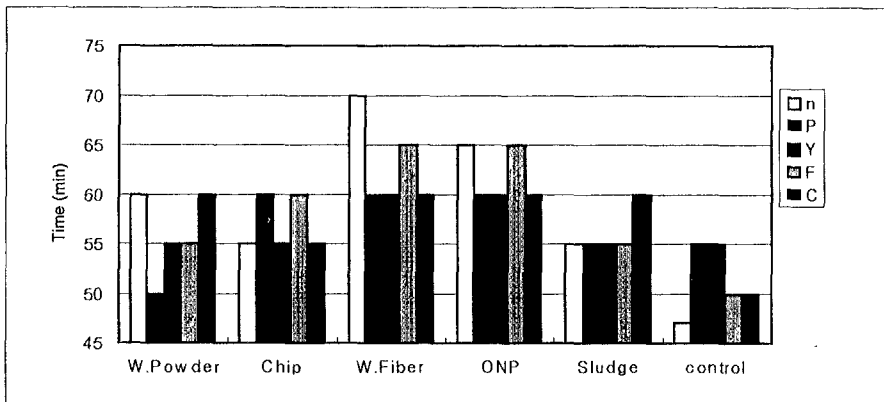
가능성을 보여주고 있다. 대체로 황토나 목탄은 기능성 혼화재로, perlite는 경량재로, fly ash는 난연재로서 그 효과가 기대되고 있다.

<표 2-4> 목질·석고 복합체(WGC)의 수화반응

목질원료	혼화재	목질·석고복합체(WGC)			
		Legend	온도차 (ΔT) ($^{\circ}\text{C}$)	최대온도 도달시간 (min)	경화장해지 수 (I-value)
잣나무	fly ash	GKF	20.0	55	0.010
	perlite	GKP	20.0	55	0.108
	황토	GKY	21.0	55	-0.007
	목탄	GKC	21.0	50	-0.002
	none	GKn	20.5	60	0.084
폐목질칩	fly ash	GCF	20.0	60	0.024
	perlite	GCP	19.5	60	0.084
	황토	GCY	20.0	55	0.015
	목탄	GCC	20.0	55	0.005
	none	GcN	20.0	55	0.015
폐신문지펠프	fly ash	GPF	18.0	65	0.608
	perlite	GPP	20.0	60	0.263
	황토	GPY	20.0	60	0.024
	목탄	GPC	20.5	60	0.028
	none	GPn	21.0	65	0.265
제지슬러지	fly ash	GSF	20.0	55	0.015
	perlite	GSP	20.0	55	0.108
	황토	GSY	20.5	55	0.005
	목탄	GSC	20.5	60	0.028
	none	GSn	20.5	55	0.034
control (시멘트)	fly ash	GcF	20.5	50	-0.003
	perlite	GcP	21.0	55	0.029
	황토	GcY	21.0	55	0.005
	목탄	GcC	21.0	50	-0.002
	none	Gcn	21.2	47	0.000



<그림 2-7> 목질·석고복합체(WGC)의 수화반응온도 변화
 [cn : control, Pn : 폐신문지펄프, Kn : 잣나무]



<그림 2-8> 목질·석고복합체(WGC)의 혼화재 첨가에 따른 목질원료별 수화반응최대온도 도달시간
 [n : 무첨가, P : perlite, Y : 황토, F : fly ash, C : 목탄]

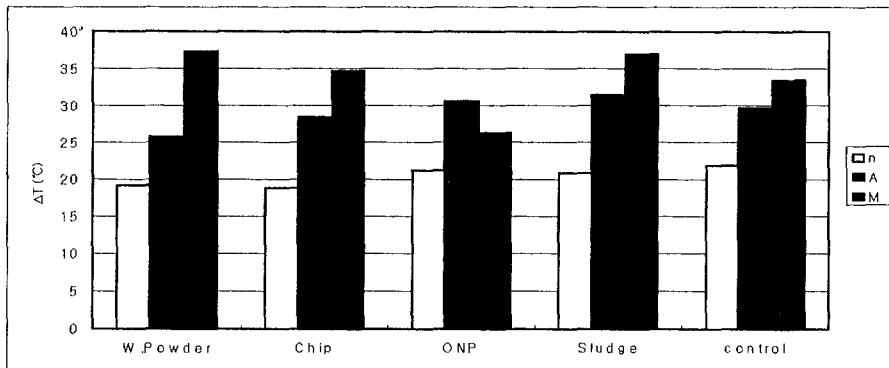
6. 경화촉진제 첨가에 의한 목질·시멘트복합체(WCC)의 경화성 개선

<표 2-5, 그림 2-9~10>에서는 경화촉진제 첨가에 따른 목질·시멘트 수화반응실험 결과를 보여주고 있다.

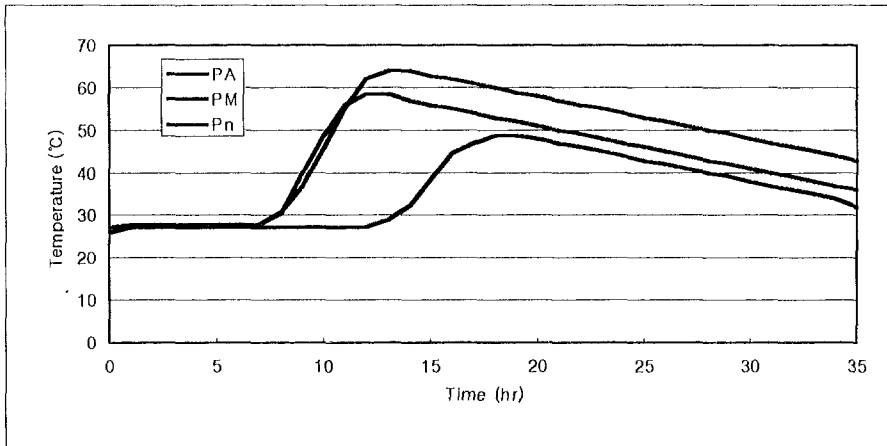
<표 2-5> 경화촉진제 첨가에 따른 목질·시멘트복합체(WCC)의 수화반응

목질원료	혼화제	Legend	온도차(ΔT) 최대온도 도달시간 경화장해지수		
			($^{\circ}\text{C}$)	(min)	(I-value)
잣나무	MgCl ₂	CKM	37.37	930	-19.79
	Al ₂ (SO ₄) ₃	CKA	25.83	940	-2.57
	none	CKn	19.20	1,295	8.39
폐목질칩	MgCl ₂	Ccm	34.67	820	-8.87
	Al ₂ (SO ₄) ₃	CCA	28.57	790	-3.16
	none	CCn	18.90	1,077	6.35
폐신문지펄프	MgCl ₂	CPM	36.40	822	-7.81
	Al ₂ (SO ₄) ₃	CPA	30.63	720	0.88
	none	CPn	21.10	1,105	1.98
제지슬러지	MgCl ₂	CSM	36.93	790	-6.80
	Al ₂ (SO ₄) ₃	CSA	31.47	680	3.00
	none	CSn	20.90	915	0.92
control	MgCl ₂	Ccm	33.50	670	3.97
	Al ₂ (SO ₄) ₃	CcA	29.67	575	8.37
	none	Ccn	21.87	743	0.00

* 경화촉진제 첨가에 따른 경화장해지수는 온도경사(S)를 소거한 I-value 계산공식 $[I = 100[(t - t')/t' \cdot (T' - T)/T']$ 에 의하였음.



<그림 2-9> 목질·시멘트복합체(WCC)의 경화촉진제 첨가에 따른 목질원료 별 수화반응온도
[M : MgCl₂, A : Al₂(SO₄)₃, n : 무첨가]



<그림 2-10> 목질·시멘트복합체(WCC)의 경화촉진제 첨가에 따른 수화 반응온도 변화

[PA : 페지펠프- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, PM : 페신문지펠프- MgCl_2 , Pn : 페신문지펠프-무첨가]

시멘트의 경화촉진제로서는 chloride類인 MgCl_2 , sulphate類인 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 그리고 silicate類인 Na_2SiO_3 등 3종을 사용하였으나, 예비실험결과에서 Na_2SiO_3 는 전혀 경화촉진효과를 나타내지 않았기 때문에 본실험의 결과에서는 제외시켰다.

경화촉진제 종류의 비교에 있어서는 MgCl_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 모두 경화시간 단축에 있어서 매우 양호한 효과를 발휘하고 있으며, 특히 MgCl_2 는 복합체의 수화반응온도를 획기적으로 상승시키는 역할을 보여주고 있다. 또한 이들 경화촉진제 첨가효과는 control(시멘트 100%)보다는 시멘트 경화장해성분을 함유한 목질·시멘트복합체 내에서 더욱 뛰어난 온도상승효과를 발휘하고 있으며, 페지펠프를 제외한 모든 목질원료에 있어서 MgCl_2 가 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 보다 효과적인 것으로 밝혀졌다.

또한 목질원료의 종류와 첨가제의 조합에 따라서 매우 특이한 현상을 나타내고 있는데, MgCl_2 가 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 보다 원료선택성이 비교적 강한 편이다. 즉

MgCl₂는 잣나무 목분, 제지슬러지, 폐목질칩 등에서의 경화촉진효과가 더욱 뛰어나며, 특히 잣나무의 경우에는 경화촉진제를 첨가하지 않았을 때보다 약 2배의 경화온도 상승효과를 나타냈다.

한편 온도차와 최대온도 도달시간에 의한 경화장해지수는 MgCl₂ < Al₂(SO₄)₃ < 무첨가 순으로 뚜렷한 차이를 나타내며, 목질원료간에는 MgCl₂를 첨가하였을 때, 잣나무 목분 < 폐목질칩 < 폐지필프 < 제지슬러지 < control 順으로 나타났다. 이와 같은 실험결과는 금후 목질·시멘트 복합보드의 제조 공정 및 물성 개선에 중요한 지침으로 활용될 수 있을 것이다.

7. 목질·시멘트·석고복합체(WCGC)의 경화성

본 실험에서는 시멘트와 석고의 경화성 및 물성을 결합, 보완시킨 복합보드의 개발가능성을 검토하기 위하여 목질·시멘트·석고복합체의 수화반응을 조사한 결과, <표 2-6, 그림 2-11>에서와 같이, 혼합비율에 따라 매우 특이한 변화현상을 보여주고 있다. 본 실험에서는 목질·시멘트·석고간의 상호작용을 관찰하기 위하여 석고경화지연제를 첨가하지 않았다.

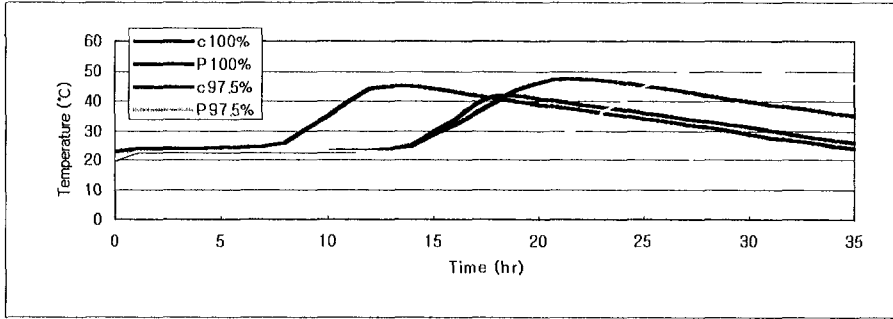
緩경화성인 시멘트와 速경화성의 석고를 혼합하였을 때, 석고비율이 소량일지라도 복합체의 외견상의 초기경화는 주로 석고에 의해 발생되며, 석고에 의한 1차 경화가 완료되면 매우 서서히 2차 경화가 진행되어 간다. 본실험에서 설정한 시멘트·석고의 혼합비율에 따른 경화온도의 변화를 보면, 시멘트 100%에서 최저치의 경화반응 온도차를 보인 복합체는 소량(2.5%)의 석고가 혼합됨에 따라 온도가 급격히 상승하고, 시멘트 50% : 석고 50%의 비율에서 다시 극소점을 나타내다가 석고의 비율이 증가하면서 다시 온도가 상승하는 매우 특이한 현상을 보여주고 있다<그림 2-12>. 한편 경화시간(최대온도 도달시간)의 변화에 있어서는 시멘트에 대한 석고의 혼입에 의해 초기경화는 빨

라지만, 최종적으로 경화가 완료되는 시간은 석고의 비율이 높아짐에 따라 서서히 지연되다가 시멘트 80% : 석고 20%의 비율에서 최장시간을 나타내며, 시멘트 50% : 석고 50%에서는 경화시간이 급속하게 단축되고 있다<그림 2-13>.

이와 같이 목질·시멘트·석고복합체의 경화기구에는 매우 특이하여 아직 해명하기 어려운 부분이 많다. 그러나 이와 같은 경화반응거동의 파악은 시멘트와 석고의 복합 이용에 도움이 될 것이다. 따라서 금후 목질·무기질보드의 제조에 있어서 보드 물성과 경화성에 미치는 무기질원료의 상호작용을 고려하여, 석고는 목질·시멘트보드의 경화조절제로서, 시멘트는 목질·석고보드의 물성보강제로서의 기능을 계속 검토해 나갈 필요가 있다.

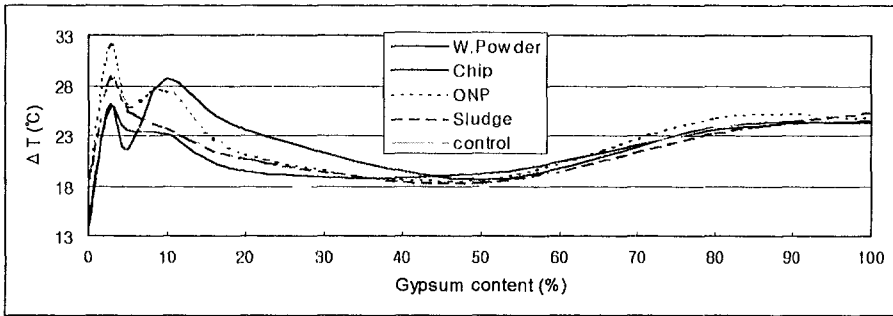
<표 2-6> 목질·시멘트·석고복합체(WCGC)의 수화반응

구 분	무기질혼합비 (시멘트 : 석고)	목질·시멘트·석고 복합체 수화반응				
		잣나무	폐목질칩	폐지펄프	제지슬러지	control
온도차 (ΔT) ($^{\circ}C$)	100 : 0	13.9	15.0	19.0	18.8	21.1
	97.5 : 2.5	26.0	25.5	32.0	28.5	27.5
	95 : 5	21.6	23.6	26.0	25.5	25.0
	90 : 10	28.6	23.1	27.5	23.9	21.5
	80 : 20	23.5	19.5	21.2	20.8	18.5
	50 : 50	18.6	19.2	18.7	18.4	18.0
	20 : 80	23.8	23.5	24.8	23.3	23.9
	0 : 100	24.2	24.5	24.9	25.4	25.5
최대온도 도달시간 (min)	100 : 0	1,125	980	1,065	825	685
	97.5 : 2.5	1,680	1,590	1,680	1,440	1,260
	95 : 5	1,830	1,800	1,890	1,530	1,290
	90 : 10	2,175	2,130	2,250	1,980	1,500
	80 : 20	2,700	2,550	2,670	2,430	1,920
	50 : 50	24	18	20	20	25
	20 : 80	31	27	30	30	26
	0 : 100	35	32	35	30	25

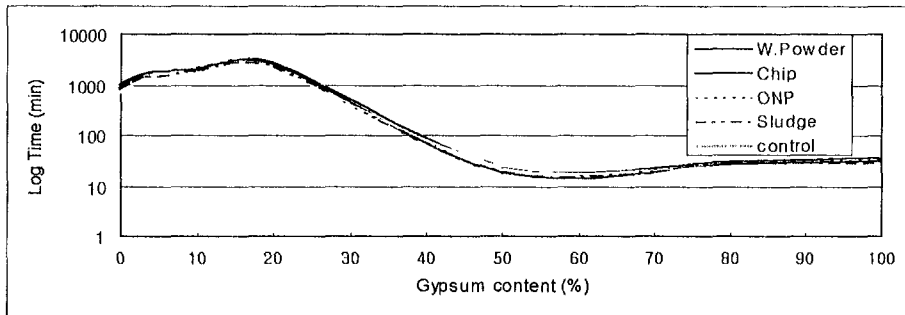


<그림 2-11> 목질·시멘트·석고복합체(WCGC)의 수화반응온도 변화

- * c 100% : control - 시멘트 100%
- * P 100% : 폐신문지펄프 - 시멘트 100%
- * c 97.5% : control - 시멘트 97.5% + 석고 2.5%
- * P 97.5% : 폐신문지펄프 - 시멘트 97.5% + 석고 2.5%



<그림 2-12> 목질·시멘트·석고복합체(WCGC)의 석고 혼합비와 수화반응 최대온도 (온도차)의 관계 [석고 혼합비 : 무기질원료(시멘트:석고)중 시멘트 비율]



<그림 2-13> 목질·시멘트·석고복합체(WCGC)의 석고혼합비와 수화반응온도의 관계 [석고혼합비 : 무기질원료(시멘트:석고)중 시멘트 비율]

제 3 항 결 론

(1) 목질·석고 복합체의 수화반응 요인

목질원료의 종류에 따라 잣나무 목분 > 폐목질칩 = 폐신문지펄프 > 제지슬러지 = 펄라이트 順으로 수화반응온도 및 경화속도가 높으며, 혼수율이 증가함에 따라 경화지연효과가 뚜렷하였다. 또한 작업성을 고려한 목질·석고 복합체에 대한 경화지연제(protein)의 적정 첨가율은 석고원료에 대비하여 0.3~0.5%이다.

(2) 목질·시멘트복합체(WCC)의 경화성

제지슬러지, 폐지펄프 등을 혼합한 목질·시멘트 복합체의 경화성이 양호하였으며, 혼화재 종류에 따라서는 황토 < perlite = fly ash < 목탄 순으로 경화장해도가 낮았다. 특히 황토, perlite, fly ash 등의 혼화재를 첨가할 경우에 폐목질칩의 경화성이 개선되므로 폐목재와의 복합 이용에 효과적이었다.

(3) 목질·석고복합체(WGC)의 경화성

粉粒狀 원료(잣나무 목분, 폐목질칩, 제지슬러지)가 纖維狀 원료(목섬유, 폐지펄프)보다 목질·석고복합체의 경화응결시간이 짧아지며, 황토나 목탄을 첨가할 때는 무첨가보다도 경화장해도가 낮아진다.

(4) 경화촉진제 첨가에 의한 목질·시멘트 복합체의 경화성 개선

$MgCl_2$ 는 경화온도를 획기적으로 상승시키며, 특히 잣나무 목분에 $MgCl_2$ 를 첨가하면 무첨가보다 경화온도가 2배정도 상승한다. $MgCl_2$ 는 $Al_2(SO_4)_3$ 보다 목질원료 선택성이 강한 편이다.

(5) 목질·시멘트·석고복합체(WCGC)의 경화성

혼합비에 따라 석고가 복합체의 경화촉진 또는 경화지연 효과를 나타내며, 시멘트·석고의 혼합비에 따라 복합체의 경화현상은 3단계로 구분되었다.

제 3 절 목질·석고 복합보드 제조

건축내장재로 사용되어 온 석면슬레이트 등은 환경유해 건축자재로서 선진국에서는 사용규제가 강화되고 있으므로 대체재료의 개발이 요구되고 있다. 또한 우리나라는 습식공정에 의한 대규모 석고보드 생산설비를 보유하고 있으며, 내화성 칸막이 및 벽 재료로서 지속적인 공급이 이루어지고 있다. 이에 본 연구에서는 이와 같은 습식 석고보드 제조공정에 목질원료를 복합 이용하여, 폐목질의 신수요를 제시하면서 석고보드의 특성을 개선하기 위한 실험이 수행되었으며, 아울러 새로운 방법으로서 반건식공정에 의한 목질·석고보드를 제조하는 실험이 병행되었다.

본 실험은 제 2절에서 수행된 다양한 목질 및 무기질 복합체의 경화성에 관한 연구 결과를 토대로 습식법 및 반건식법에 의한 목질·석고 복합보드를 제조하고 물성 변화를 검토하여 무기질보드 산업의 대체원료 개발 및 성능개선에 기여하고자 하였다.

제 1 항 습식법에 의한 목질·석고 복합보드 제조

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

목질원료는 잣나무 목분(80mesh 이상, WP), 목질칩(WC), 폐신문지섬유(ONP), 제지슬러지(PS)였으며, 무기질 원료는 반수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$), 펄라이트(PP)였다.

나. 목질·무기질 복합보드 제조

원료의 함수상태에 따른 결합효과를 구명하기 위하여, 목질원료를 상온수에서 충분히 흡수시킨 다음, 원심분리기로 탈수한 습윤상태의 원료를 기건상태의 원료와 함께 사용하였다.

본 실험의 습식법은 반수석고와 목질원료를 슬러리(slurry) 상태로 회전식 혼합기 내에서 기계적으로 혼합하여 성형틀에서 常壓 경화시켜서 보드를 제조하는 방법으로서 기존의 석고보드 제조방법을 적용한 것이다. 습식법에 의한 복합보드 제조방법은 함수조건에 따른 복합보드 제조실험(실험 I)과 원료 혼합조건에 따른 복합보드 제조실험(실험 II)으로 구분하여 <표 2-7>과 같이 실시하였다. 목질대비 수분첨가율이 100, 200, 300, 400%일 때, 석고에 대비한 전체혼수율(실제혼수율)은 각각 55, 60, 65, 70%이 된다. 습식으로 제조된 목질·석고 복합보드는 <사진 2-1>과 같았다.

<표 2-7> 습식법에 의한 목질·무기질 복합보드 제조실험

실험구분	목질원료 함수상태	석고대비 목질혼합률 (%)	석고대비 기본혼수율 (%)	목질대비 수분첨가율 (%)
실험 I	기건, 습윤	5	500	100, 200, 300, 400
실험 II	기건	1, 3, 5, 7, 10, 15	500	300

2. 실험결과

가. 함수조건 및 목질원료 종류에 따른 복합보드의 물성변화

목질혼합률을 5%로 하고, 함수조건(목질대비 수분첨가율)을 100, 200, 300, 400%로 하여 습식 슬러리공법으로 제조한 복합보드의 물성변화를 <그림 2-14~17>에 나타냈다.

전체적으로 보면, 혼화수분의 증가에 따라 밀도가 낮아지며, 동시에 휨강도,

휩탄성계수가 저하되고 아울러, 24시간 상온수 침지후의 吸水率은 증가하고 있다. 밀도의 변동범위는 0.99~1.26g/cm³이며, 필라이트를 첨가한 경우 밀도가 다소 낮아지는데, 이는 수분량이 증가함에 따라 보드내부에 기포형성이 많아지며, 특히 필라이트의 경우 기포발생이 심함으로써 밀도가 낮아지고 동시에 강도적 성질이 떨어진다고 할 수 있다.

휩강도는 폐신문지섬유(ONP)를 혼합한 경우 높게 나타나며, 목재칩(WC)을 혼합한 경우 비교적 낮게 나타나고 있다. 아울러 ONP의 경우 대부분의 수분첨가율에서 목질원료 비혼입 석고보드의 휩강도(38.8kgf/cm²)보다 높은 강도치를 보였으며, 기건원료-수분첨가율 100%에서 최고치 47.4kgf/cm²를 기록하였다. 그리고 제지슬러지의 경우에는 수분첨가율에 따른 휩강도의 변동이 가장 적게 나타났다<그림 2-15>.

휩탄성계수도 수분첨가량의 영향을 크게 받고 있는데, 목재칩을 사용하였을 때, 최저치 28.2tonf/cm²(기건원료-수분첨가율 400%)~최대치 59.5tonf/cm²(습윤원료-수분첨가율100%)의 분포를 보이고 있다<그림 2-16>.

보드의 吸水率은 혼수율에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 보여주고 있으며, 목질원료간에는 별다른 차이가 없었다<그림 2-17>.

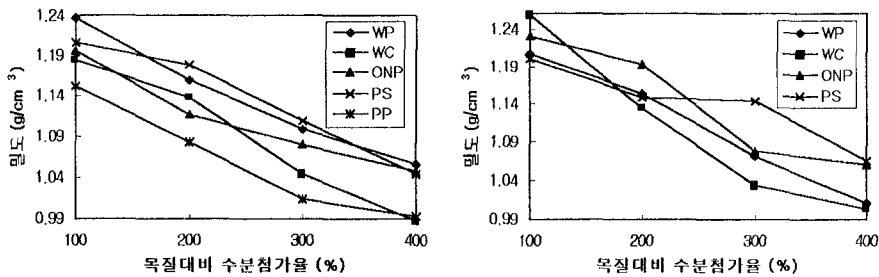
한편 목질원료 종류별 복합보드의 여러 성질을 <그림 2-18~21>에 나타냈는데, 이는 목질대비 수분첨가량 100~400%으로 제조한 보드 전체의 평균치를 목질원료 종류별로 비교한 것이다.

원료종류별 밀도의 평균치는 거의 유사한 수준이다. 휩강도에서는 폐신문지섬유(ONP) > 무첨가(control) > 목분(WP) > 제지슬러지(PS) > 목재칩(WC)의 순으로 강도차이를 보이고 있어, ONP의 경우에는 석고보드의 보강효과를 보여주고 있다.

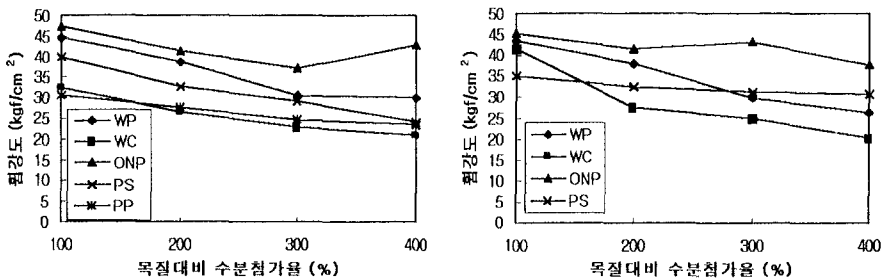
한편 석고 plaster를 사용한 예비실험에서 함수상태가 다른 목질원료를 사용하였을 때, 습윤원료로 제조한 복합보드의 물성이 기건원료보다 양호한 물

성을 나타냈지만, 반수석고를 사용한 본 실험에서는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다.

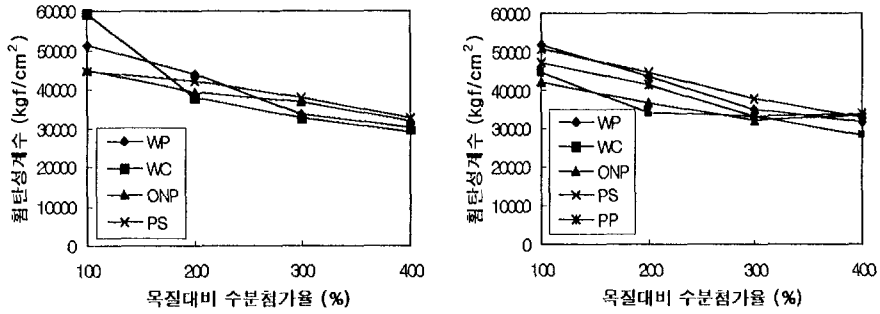
그리고 휨시험 과정에서 나타난 특기할 만한 사실은 원료 종류 및 원료의 함수상태에 따라 파괴거동이 상이하다는 점이다. 전체 시험편 중에서 control을 비롯하여 목분(WP), 펄라이트(PP)의 경우에는 중앙부위가 선형으로 파단되는 脆性파괴를 보여주고 있으나, 그밖의 목질원료를 혼합하였을 경우에는 韌性파괴와 유사한 거동을 나타내고 있다. 특히 ONP의 경우에 하중-변위곡선이 매우 완만하며, PS도 유사한 경향을 갖고 있다. 따라서 ONP는 목질·무기질보드의 보강 및 완충재로서의 역할이 크다고 할 수 있다. 또한 동일한 WP를 사용할 경우에도 습윤상태로 투입할 때는 다소 인성파괴와 유사한 현상을 보여주는 것이 특이하였다.



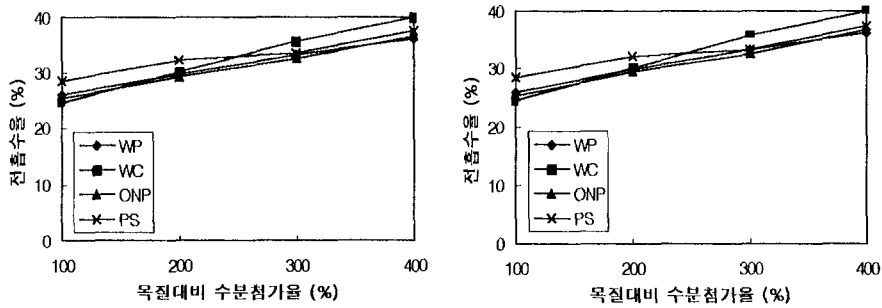
<그림 2-14> 혼수조건(목질대비 수분첨가율)에 따른 복합보드의 밀도 변화



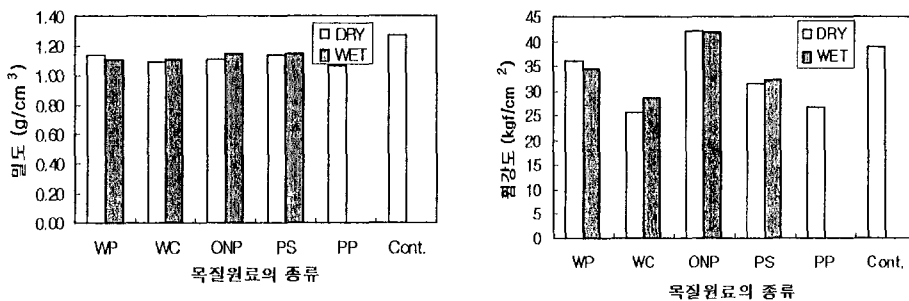
<그림 2-15> 혼수조건(목질대비 수분첨가율)에 따른 복합보드의 휨강도 변화



<그림 2-16> 혼수조건(목질대비 수분첨가율)에 따른 복합보드의 휨탄성계수 변화

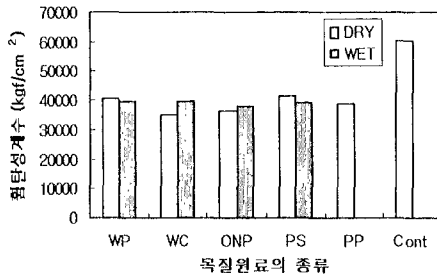


<그림 2-17> 혼수조건(목질대비 수분첨가율)에 따른 복합보드의 흡수율 변화

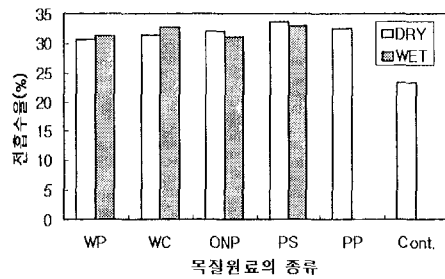


<그림 2-18> 목질원료 종류별 복합 보드의 밀도 비교

<그림 2-19> 목질원료 종류별 복합 보드의 휨강도 비교



<그림 2-20> 목질원료 종류별 복합 보드의 휨탄성계수 비교

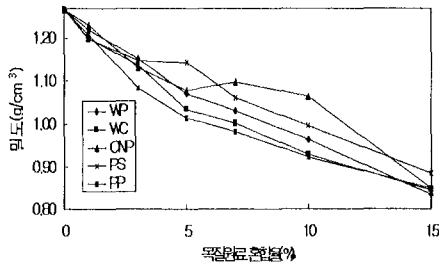


<그림 2-21> 목질원료 종류별 복합 보드의 흡수율 비교

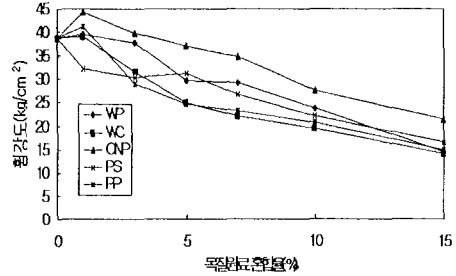
나. 원료혼합조건에 따른 목질원료 종류별 복합보드의 물성변화

습윤상태의 목질원료를 사용하여, 목질대비 수분첨가율을 300%로 하고 목질혼합률 1, 3, 5, 7, 10, 15%로 제조한 보드의 물성변화는 <그림 2-22~25>와 같았다.

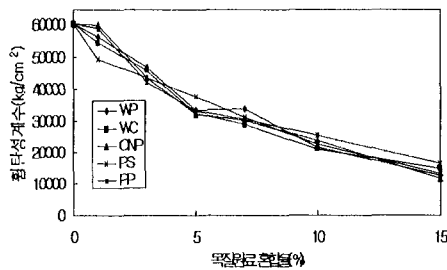
앞에서 목질·석고복합보드 제조시 수분량이 증가할수록 물성이 저하되는 사실이 밝혀진 바 있으나, 여기에서는 목질원료혼합률, 즉, 목질원료 첨가에 따른 물성에의 영향을 평가하고자 하였다. 모든 목질원료에 있어서 혼입량이 증가할수록 밀도가 저하되는 일정한 경향을 나타냈으며, 제지슬리지를 제외한 그밖의 목질원료와 필라이트를 사용하였을 때, 혼합률 1%에서 휨강도가 control(38.8kg/cm²)보다 다소 증가하였다가 혼합률 증가에 따라 휨강도가 감소하였으며, 휨탄성계수 또한 유사한 경향을 보였다. 그러나 보드의 파단상태에 있어서는 목질원료 혼합률이 증가함에 따라 취성과파괴가 점차 감소되는 현상을 보여주고 있다. 따라서 목질원료의 혼합은 무기질보드의 경량화 효과와 아울러 충격흡수면에서 매우 유리하다는 점을 확인할 수 있었다. 한편 흡수율은 목질원료의 혼합에 의해 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이와 같은 결과에 의하면 습식법에 의한 목질·석고보드제조시의 목질원료의 적정혼합률은 5~10%라고 할 수 있다.



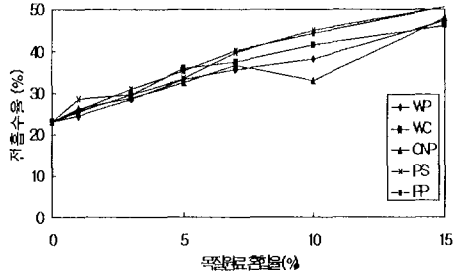
<그림 2-22> 목질원료의 혼합비에 따른 복합보드의 밀도 변화



<그림 2-23> 목질원료의 혼합비에 따른 복합보드의 휨강도 변화



<그림 2-24> 목질원료의 혼합비에 따른 복합보드의 휨탄성계수 변화



<그림 2-25> 목질원료의 혼합비에 따른 복합보드의 흡수율 변화

제 2 장 반건식법에 의한 목질·석고 복합보드 제조

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

사용된 목질원료는 기건상태의 목재칩(WC), 목섬유(WF) 및 폐신문지섬유(ONP)였으며, 무기질 원료로서 반수석고($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$) 및 시멘트(포틀랜드 type I)를 사용하였다.

나. 목질·무기질 복합보드 제조

기건상태의 목질원료를 약간의 습윤상태에서 무기질과 혼합하는 방식으로 회전형 혼합기내에 원료를 투입하고 물을 스프레이하면서 氣流혼합한 다음, 매트를 성형, 압제하여 보드를 제조하였다. 압제조건은 압력 25kgf/cm², 온도 40℃, 시간 20분으로 하였다.

반건식법에 의한 복합보드 제조실험은 목질·석고 복합보드 제조실험(실험 I)과, 목질·석고·시멘트 복합보드 제조실험(실험 II)으로 구분하여 실시하였다<표 2-8>.

<표 2-8> 반건식법에 의한 목질·무기질 복합보드 제조실험

실험구분	목질원료 종 류	무기질대비 목질혼합률 (%)	무기질원료 혼합비 (석고 : 시멘트)	무기질대비 혼수율 (%)
실험 I	기건	0, 10, 15, 20, 25	100:0	35, 40, 45
실험 II	기건	20	95:5, 90:10, 85:15, 80:20	40

2. 실험결과

가. 반건식법에 의한 목질·석고 복합보드의 물성

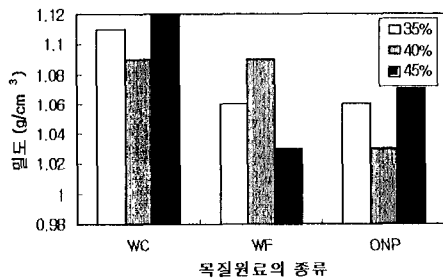
(1) 목질원료 종류 및 혼수조건에 따른 복합보드의 물성

석고에 혼입되는 목질원료의 비율을 15%로 고정하고, 석고대비 混水率을 35, 40, 45%의 3수준으로 하여 제조한 목질원료 종류별 복합보드의 물성은 <그림 2-26~29>와 같다. 여기에서 혼수율이란 목질원료의 혼합률에 관계없이 석고무게에 대비한 물의 양을 말한다.

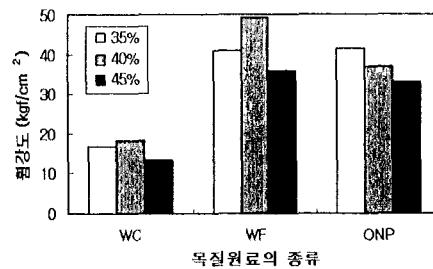
밀도는 혼수율에 따라 일정한 경향은 없으나, 목재칩(WC)이나 폐신문지섬유(ONP)를 혼합한 경우에는 혼수율 45%, 목섬유 혼합구성은 혼수율 40%에서 최대치를 보여주고 있다. 같은 섬유계(lignocellulosic) 원료인 목섬유와 폐

신문지섬유 복합보드를 보면, 목섬유는 혼수율 40%, 폐신문지섬유는 근소하나 혼수율 35%에서 휩성질 및 흡수율이 유리한 것으로 나타났다. 따라서, 혼수율의 효과면에서 섬유질 원료는 35~40%의 혼수율이 바람직한 것으로 여겨진다.

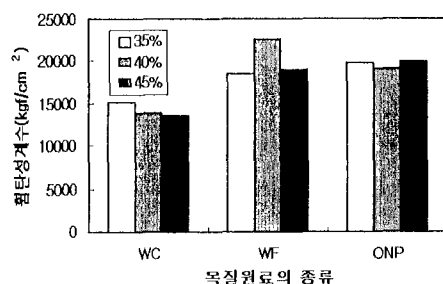
목질원료의 종류별 물성에 있어서 휩성질은 목섬유 및 폐신문지섬유가 목재칩보다 크게 나타났으며, 흡수율은 목섬유가 목재칩과 비슷한 수준으로 낮게 나타나고 있다. 습식보드에서와 마찬가지로 폐신문지섬유를 혼합하는 경우는 타원료에 비하여 흡수율이 증대하는 현상을 보여주고 있다.



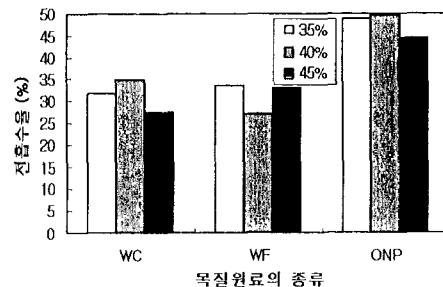
<그림 2-26> 목질원료 종류 및 혼수조건 (석고대비 혼수율)에 따른 복합보드의 밀도 변화



<그림 2-27> 목질원료 종류 및 혼수조건 (석고대비 혼수율)에 따른 복합보드의 휩강도 변화



<그림 2-28> 목질원료 종류 및 혼수조건 (석고대비 혼수율)에 따른 복합보드의 휩탄성계수 변화



<그림 2-29> 목질원료 종류 및 혼수조건 (석고대비 혼수율)에 따른 복합보드의 흡수율 변화

(2) 원료혼합조건에 따른 목질원료 종류별 복합보드의 물성변화

목질원료 혼합조건에 따른 목질·석고복합보드의 밀도, 휨강도, 휨탄성계수 및 흡수율은 <그림 2-30~33>과 같다. 보드의 밀도는 0.91~1.17g/cm³ 범위로 나타났는데, 밀도는 諸물성과의 연관성이 크므로 본 실험의 결과는 앞으로 용도별 보드밀도의 설정시 원료 투입량 및 성형방법 등의 결정에 중요한 참고자료가 될 것으로 여겨진다. 본 실험에서는 반건식법에 의한 목질·석고복합보드의 기준적인 제조조건으로 석고대비 흡수율을 40%, 목질원료의 혼합률을 15%로 하였다.

목질·석고 복합보드의 밀도는 목재칩을 혼입한 것이 목섬유 또는 폐신문지섬유를 혼입한 것보다 다소 높은 값을 보여주었으며, 목섬유와 폐신문지섬유의 보드 밀도범위는 비슷한 수준이었다. 보드 밀도범위는 1.02~1.11g/cm³ 범위로서 목질원료 혼합률의 증가에 따라 다소 밀도가 낮아지는 경향을 볼 수 있었다.

강도시험 결과에 있어서는 석고대비 흡수율 35%에서 목섬유는 5% → 10% → 15%로 혼합률이 증가함에 따라 휨강도가 증가하였으며, 혼합률 15%에서 최대강도(40.7kgf/cm²)를 나타내고 있는데, 이는 폐신문지섬유 혼합률 15, 20, 25%와 유사한 강도수준이다. 한편 목재칩의 경우에는 이들 섬유질보다 낮은 수준의 강도를 보여주고 있다<그림 2-31>. 휨탄성계수는 목섬유 10% 혼합률에서 24.9tonf/cm²로 최고치를 나타냈으며, 폐신문지섬유를 혼입한 보드는 목재칩과 유사한 강성을 나타내고 있다<그림 2-32>.

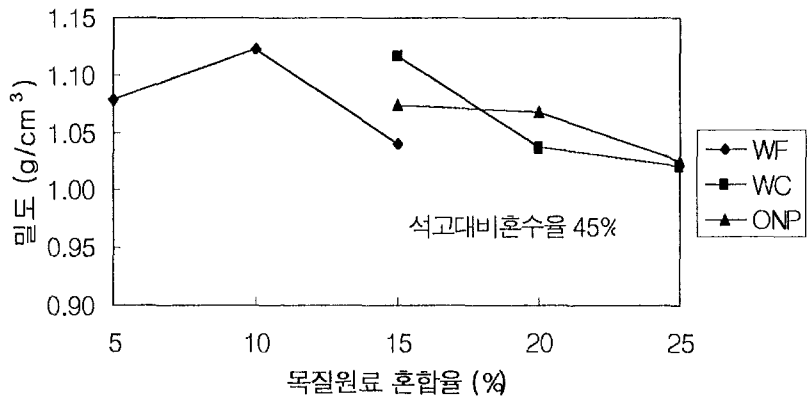
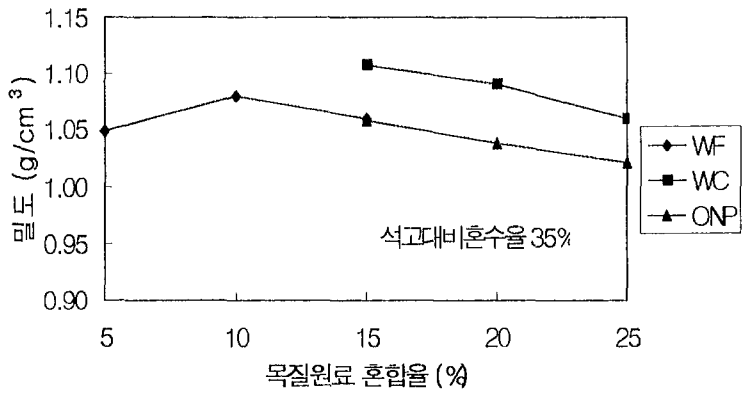
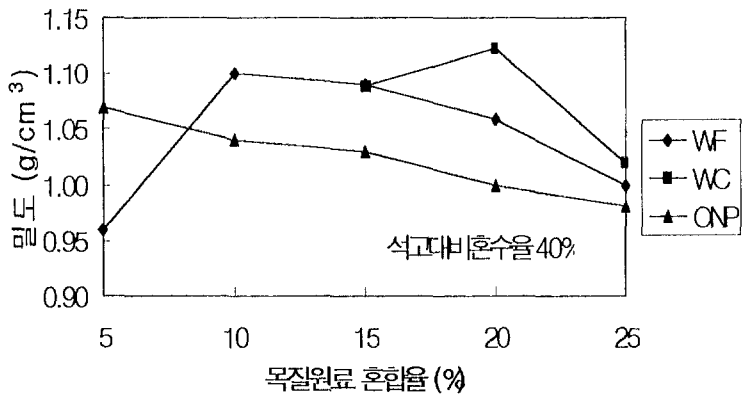
석고대비 흡수율 40%에서의 휨강도는 목섬유 > 폐신문지섬유 > 목재칩의 순으로 나타났으며, 체적비가 큰 목섬유 및 폐신문지섬유는 15%, 목재칩은 20%의 혼합률 수준에서 강도가 가장 높게 나타났다.

한편 석고대비 흡수율 45%에서의 휨강도를 보면, 혼합률 5~15%의 목섬유 혼합의 경우에는 15%에서 최대치를, 혼합률 15~25%의 폐신문지섬유 및 목

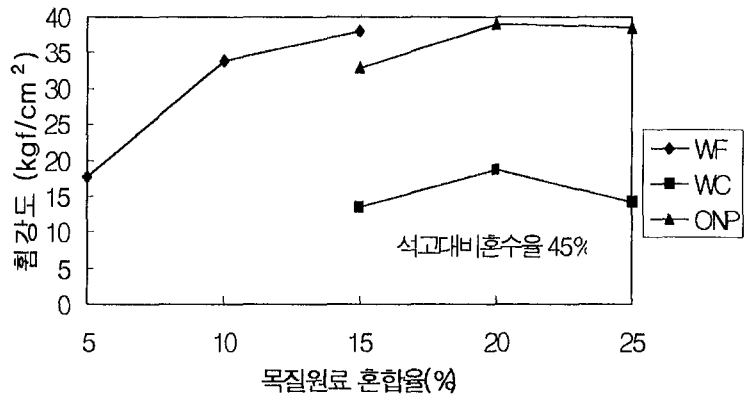
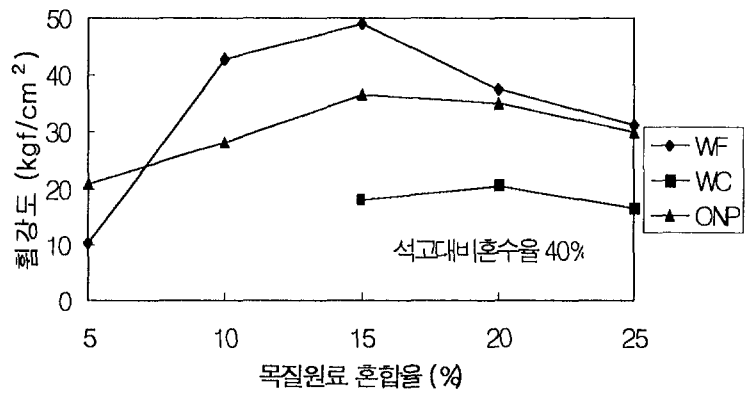
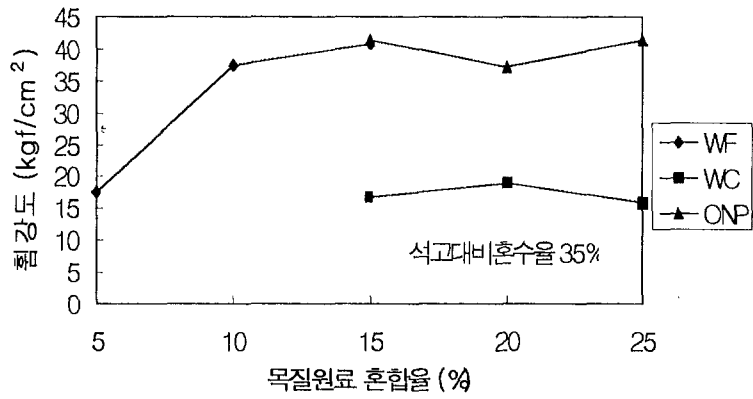
재질 혼합에서는 혼합률 20%에서 최대치를 보여주었다. 그러나 휨탄성계수는 목섬유 사용시 혼합률 10%에서, 폐신문지섬유 및 목재질 사용시에는 혼합률 15%에서 비교적 높은 계수를 나타내고 있으며, 목질 원료량의 증가에 따라 저하되는 경향을 보였다.

본 실험을 통하여 얻어진 목질·석고복합보드의 물성에서의 특이현상은 통상적인 재료물성에서 보는 것과 같은 휨강도와 휨탄성계수의 경향이 일치하지 않는다는 점이다. 즉 <그림 2-31~32>에서 보는 바와 같이 목섬유 또는 폐신문지섬유를 사용한 복합보드는 휨강도가 증가하면서 휨탄성계수는 저하하고 있다. 이와 관련하여 목섬유는 혼합률 10%를 頂點으로 휨탄성계수가 하향하였으며, 폐신문지섬유는 혼합률 증가에 따라 감소하는 추이를 나타냈다. 이와 같이 밀도, 강도, 강성간에 비례적 관계를 갖지 않는 것은 섬유계 목질 원료를 혼합할 경우에 하중과괴곡선이 최대하중에 근접하면서 완만한 커브를 보여주는 인성파괴가 유발하는 현상에 연유하는 것으로 여겨진다.

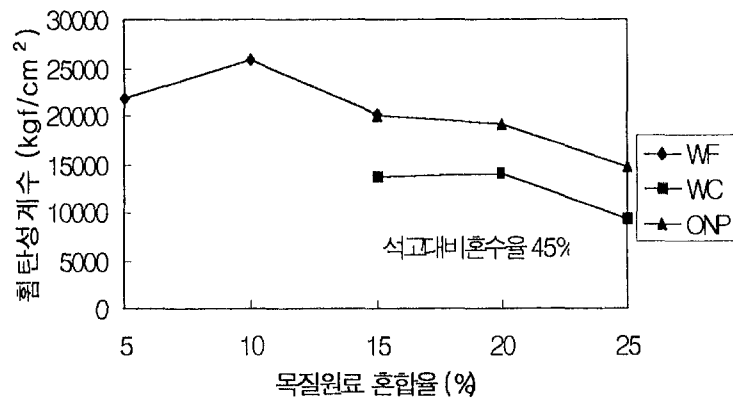
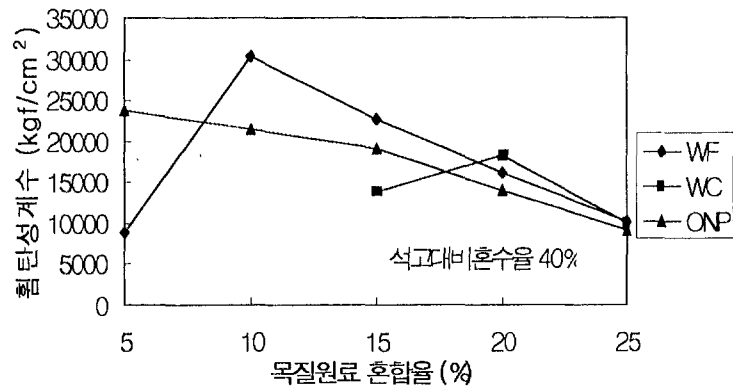
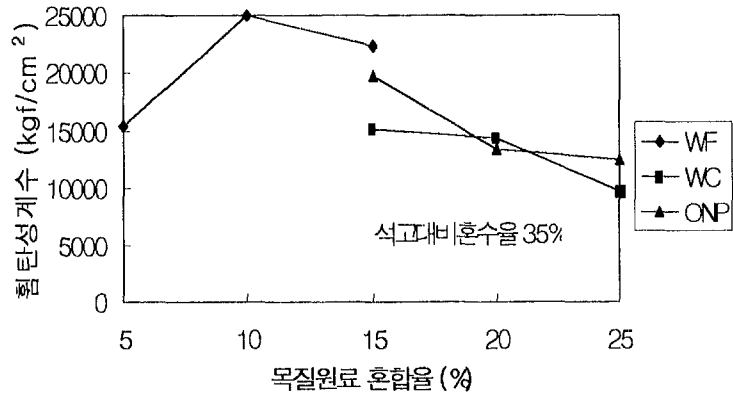
흡수율 측정결과에서는 <그림 2-33>에서 보는 바와 같이 목질원료가 복합보드내에 혼입됨으로써 흡수율이 대체로 증가하는 경향을 보였다. 이 가운데 폐신문지섬유를 혼합한 경우에는 목섬유와는 약간 다른 양상의 흡수율 패턴을 보여주었다. 즉 폐신문지섬유는 혼합률의 증가에 따라 흡수율도 따라 증가하였으나, 목섬유의 경우에는 흡수율이 저하되다가 다시 증가하는 패턴을 보였다. 결과적으로, 폐신문지섬유를 석고대비흡수율 40%, 혼합률 25% 조건으로 혼합한 보드의 흡수율이 가장 높았으며, 목섬유를 석고대비흡수율 40%, 혼합률 15% 조건으로 혼합한 보드의 흡수율이 가장 낮았다.



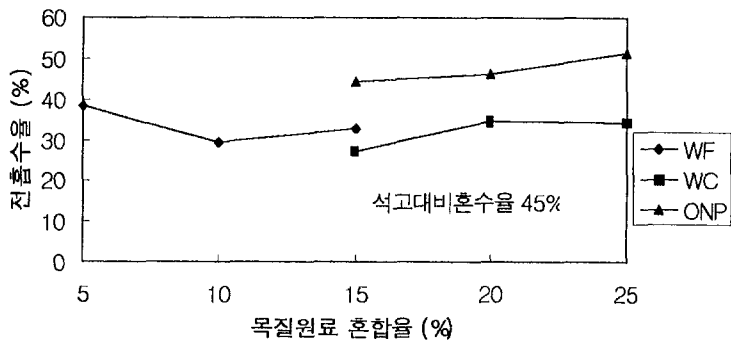
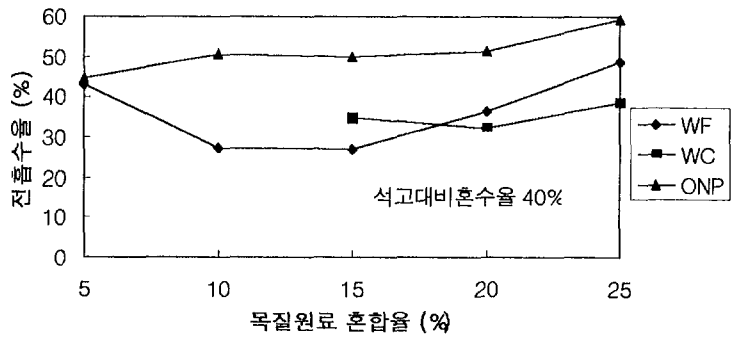
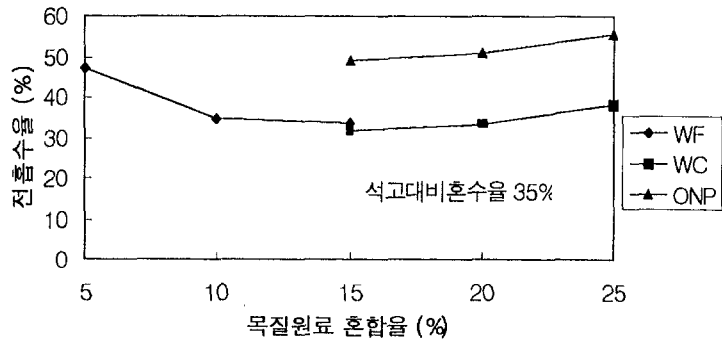
<그림 2-30> 목질원료의 혼합률에 따른 복합보드의 밀도 변화



<그림 2-31> 목질원료의 혼합률에 따른 복합보드의 휨강도 변화



<그림 2-32> 목질원료의 혼합률에 따른 복합보드의 휨탄성계수 변화



<그림 2-33> 목질원료의 혼합률에 따른 복합보드의 전흡수율 변화

나. 반건식법에 의한 목질·석고·시멘트 복합보드의 물성

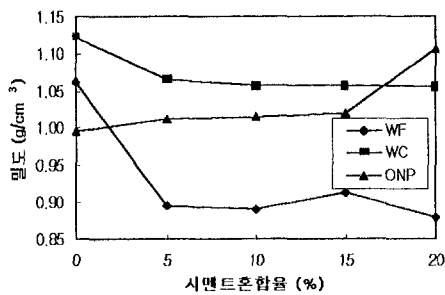
본 실험에서는 목질·석고복합체에 대한 시멘트의 첨가효과를 보고자 복합보드의 결합제로서 석고 : 시멘트의 비율을 95 : 5, 90 : 10, 85 : 15, 80

20으로 하고, 목질원료를 5, 10, 15, 20%의 비율별로 혼합한 구성형태의 보드를 제조하여 그 물성 조사결과를 <그림 2-34~37>에 나타냈다.

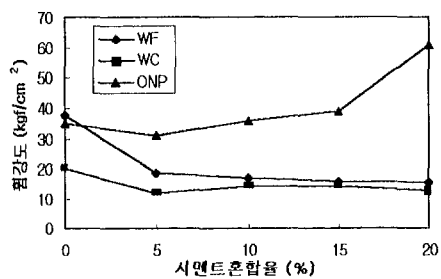
폐신문지섬유의 경우에는 시멘트 혼합효과가 양호한 것으로 나타났으며, 그 외 목섬유 및 목재칩의 경우에는 시멘트혼합에 의해 물성이 저하되었다. 폐신문지섬유 혼합시 5% → 10% → 15% → 20%의 비율에 따라 휨강도가 상승하는 양상을 보여, 혼합률 20%에서는 61kgf/cm²로 현격히 상승된 강도치를 나타냈으며, 이 때 보드밀도는 1.11g/cm³였다. 이와 반대로 목섬유와 목재칩 혼합구성인 경우는 시멘트 혼합에 의해 강도저하현상을 보였다<그림 2-35>.

휨탄성계수에 있어서도 시멘트 혼합률 5%를 기준으로하여 혼합률이 증가할수록 목섬유는 하강세, 폐신문지섬유는 상향세를 이루는 대조적인 현상을 보여주었다. 또한, 밀도의 경우에는 목섬유를 혼합한 경우 시멘트 혼합률 5% 이상에서 밀도가 저하된 결과가 주목되었다<그림 2-36>.

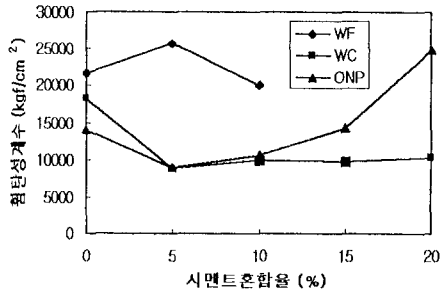
한편 흡수율을 살펴보면, 폐신문지섬유를 혼합하면 시멘트 혼합률 증가에 따라 오히려 흡수율의 감소현상이 나타났으며, 이러한 흡수율 감소현상은 목섬유 사용시의 높은 흡수율과 대조를 이루었다. 석고만을 결합제로 사용했을 때 목섬유보다 신문폐지를 사용하였을 경우에 흡수율이 컸던 점과 비교하면 시멘트에 의한 치수안정성 개선효과가 있는 것으로 유추된다<그림 2-37>.



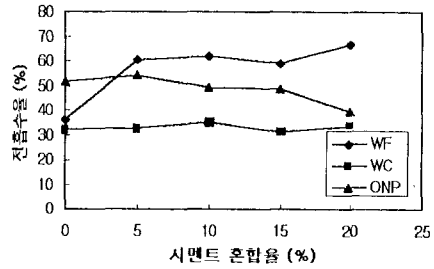
<그림 2-34> 시멘트 혼합률에 따른 복합 보드의 밀도 변화



<그림 2-35> 시멘트 혼합률에 따른 복합 보드의 휨강도 변화



<그림 2-36> 시멘트 혼합률에 따른 복합 보드의 휨탄성계수 변화



<그림 2-37> 시멘트 혼합률에 따른 복합 보드의 흡수율 변화

제 3 항 결 론

(1) 습식법에 의한 목질·석고 복합보드 제조시, 적정 혼합조건은 석고대비 혼수율 65%(목질대비 수분첨가율을 300%), 목질원료 혼합률 5~10%였다.

(2) 목질원료종류별 목질·석고 복합보드의 강도수준은 폐신문지섬유 > 목분 > 제지슬러지 > 목재칩으로 폐신문지섬유는 보강효과가 양호하였다. 목질·석고보드의 파괴형태에 있어서, 목분, 펄라이트는 취성파괴, 펄프원료(폐지섬유, 제지슬러지)는 인성파괴 현상을 나타냈다.

(3) 반건식법에 의한 목질·무기질(석고, 시멘트) 복합보드를 제조하여 물성을 평가한 결과, 적정 혼합조건은 석고대비 혼수율 35~40%, 목질원료 혼합률 15%(목섬유)~25%(폐지섬유)였다. 그리고 폐지섬유·석고보드의 경우, 시멘트혼합에 따라 강도 증강 및 흡수율 감소효과가 있었다.

(4) 이상의 결과에 따라, 폐목질의 복합이용에 의해 저밀도의 완충성 무기질보드의 개발이 기대되며, 특히 폐지섬유, 목섬유는 반건식 보드 제조시 보강 및 완충효과를 나타내고 있다.

제 4 절 목질·시멘트보드의 반건식 제조공정 개선

기존의 목질과 무기질(시멘트, 석고)의 결합에 의한 보드제조시에는 습식 혼합 및 통상압체(conventional pressing)방식을 적용하고 있다. 그러나 목질·무기질(시멘트, 석고) 복합보드의 제조공정에 있어서는 混和水量을 최소화하고, 경화·양생시간을 단축하면서, 물성이 양호한 제품을 생산하기 위한 공정 개선이 필요하며, 환경적 측면에서도 유리하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 일반 목질보드(파티클보드, MDF) 제조공정과 유사한 반건식 제조방식(semi-dry process)에 의해 탄산가스를 매트 내에 분사·주입하는 방식으로 보드를 제조하고, 그 물성을 평가하고자 하였다.

탄산가스 분사·주입 압체방식은 폐목질원료 혼입률 증가, 물 사용량 억제에 의한 작업성 개선, 속경화 체계에 의한 생산성 증가 등을 가져올 수 있는 방식이라고 여겨진다. 또한 반건식 혼합방식과 병행하여 클램핑·압체방식을 적용하여 보드 물성에 미치는 제조인자의 영향을 검토하였다. 이러한 반건식 제조공정은 현재 습식방식으로 제조되는 내장용 석고보드 등의 무기질보드 대체제품을 개발하는 의미도 지니고 있다.

제 1 항 탄산가스 주입·압체에 의한 목질·무기질 복합보드 제조

본 실험에서는 반건식법에 의한 목질·무기질 복합보드의 신속한 경화시스템을 개선하기 위하여, 보드압체시 탄산가스를 매트내에 주입·압체시키는 방식을 적용한 보드 제조실험을 실시하였다. 이 방식은 시멘트·목질 복합보드 제조시 수화물상태의 목질원료로부터 糖성분이 침출되어 시멘트 경화를 저해하는 현상을 차단하기 위한 것으로서, 천공플레이트가 장착된 압체시스템을 통하여 보드내부에 탄산가스를 확산시킴으로써 탄산칼슘 결정체의 생성

을 촉진시키는 반응[$\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$]을 적용하여 목질원료로부터 시멘트경화를 저해하는 추출물의 침출 전에 속경화시키는 기법이다.

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

목질원료로서 폐신문지섬유(ONP), 잣나무 톱밥(10-30#), PB표충용 목질짚(20~40#) 및 MDF용 목섬유를 무기질과 혼합하여 사용하였다.

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(1종), 조강포틀랜드시멘트(3종)의 2종, 석고는 반수형 석고가 사용되었으며, 경화촉진제로서 염화마그네슘과 황산알루미늄, 경화지연제로서 단백질, 혼화재로서 소석회, 鑛滓(slag)가 사용되었다.

나. 실험장치 제작

본 연구의 추진을 위하여 탄산가스 주입압체가 가능한 다기능프레스를 설계·제작하였다. 이 압체기는 탄산가스뿐만 아니라 증기주입도 가능하게 설계하였으며, 별도로 제작한 성형틀내에서 혼합된 원료를 성형한 다음, 穿孔 열판사이에 넣고 압체시에 탄산가스를 복합체 내부에 주입·확산되도록 하였다<사진 2-1~2>. 측면이 밀폐된 성형틀에 가스배기밸브를 부착하여, 매트 압체 전후에 배기를 실시함으로써 보드내부에서 균일한 가스 확산에 의한 주입효과를 이루도록 하였다.

다. 실험방법

(1) 목질·무기질 복합보드의 물성에 미치는 효과 구명

본 실험을 위하여, 물/시멘트 및 물/석고의 혼수율, 목질원료 종류(형태) 및 혼합률, 보통포틀랜드시멘트(type I)와 조강포틀랜드시멘트(type III)의

사용, 목질·석고 복합보드 제조시 혼화제(소석회, 광재) 첨가 효과, 일반 습식제조시 적용되는 경화촉진제 첨가를 반건식 제조방식에 병용, 표·중층 간의 목질원료 종류별 층구성 형태 등의 효과에 대해 구명하였다.

(2) 적정 압채방식 및 조건 구명

목질·무기질 복합보드를 제조함에 있어, 매트 상하에 삽입하는 철망의 매쉬, 열판의 가열(40℃) 및 비가열처리, 탄산가스 주입전의 전배기의 실시 여부, 석고보드에 있어서 탄산가스의 처리유무 효과 등을 구명하였다.

(3) 목질·무기질 복합보드의 제조

목질·무기질 복합보드를 <표 2-9>의 실험조건으로 제조하였다.

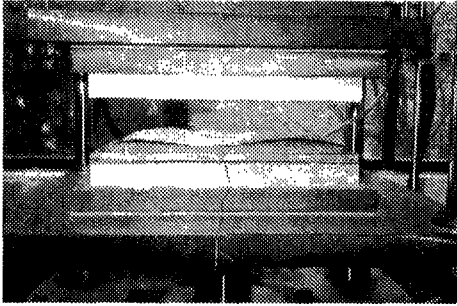
압채조건은 압력 30kgf/cm², 표준시간 8분, 온도를 비가열 및 40℃ 가열로 구분하여 실시한 바, 탄산가스 주입에 의한 보드 제조에는 2분간 전배기(평균 감압도 40cmHg) → 프레스압채 및 탄산가스 주입(봄베가스 주입압력 5kgf/cm²로 조정) 2~5분 → 후배기 1분 (총 8분)이 실시되었다.

목질·시멘트·석고복합보드 제조시 시멘트 : 석고 혼합비율은 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40, 40 : 60, 20 : 80, 0 : 100으로 하였고, 목질·석고 복합보드제조에는 경화지연제를 0.15%, 0.3%, 0.4% 첨가 또는 비첨가하는 시험을 하였다.

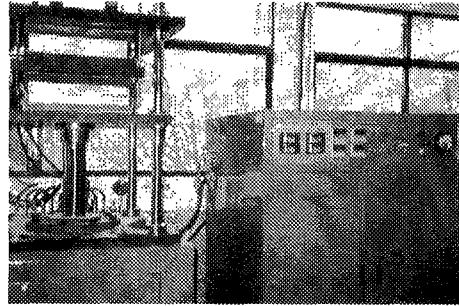
<표 2-9> 목질·무기질복합보드의 제조실험 조건

구 분	압채방식	무기질 대비 혼수율 (%)	무기질 대비 목질 혼합률 (%)	목 표 밀 도 (g/cm ³)
목질·시멘트 복합보드	CO ₂ 주입압채	25, 30, 35	10, 20, 30	1.0, 1.1, 1.2, 1.3
	통상압채	30	20	
목질·석고 복합보드	통상압채	40, 42, 45	20, 30	
목질·시멘트· 석고 복합보드	CO ₂ 주입압채	시멘트 대비 : 30 석고 대비 : 40	20, 30	

* 보드치수(두께×매트면적) : 12mm×42.5cm×42.5cm



<사진 2-2> 목질·무기질 복합보드의 압체 및 열전대에 의한 경화온도 측정



<사진 2-3> 탄산가스 주입방식에 의한 목질·시멘트보드의 압체

2. 실험결과

가. 목질·무기질 복합보드의 반건식 제조공정 개선방법 적용

(1) 목질·시멘트 복합보드 제조

수화반응온도는 폐신문지섬유 혼합시 65~80℃로 반응온도가 급상승하였으며 목섬유는 65℃ 이하로 불량하였다. 또한, 혼수율 및 목질원료의 혼합률이 증가하면 반응온도가 저하하는 경향을 보였으며, 탄산가스 주입시는 수화반응에 따른 온도상승이 유발되어 반응온도 상승이 없는 통상압체방식과 대조를 띠었다.

보드 물성에 있어서는, 목질 혼합률이 10~30% 범위에서 증가한 경우, 휨강도, 휨파괴시 변형량, 두께팽창률 및 흡수율이 증가하는 경향이 나타났다. 복합보드제조에 적절한 폐신문지섬유의 원료 수준은 混水率 30%, 혼합률 30%였다<표 2-10>.

(2) 목질·시멘트·석고 복합보드의 제조(시멘트·석고 혼용효과 구명)

시멘트 : 석고의 혼합비율이 복합보드의 물성에 영향을 미쳤다. 석고는 경화지연제를 처리하지 않고는 몇 분내에 경화되는 성질을 지니고 있다.

<표 2-10> 목질·무기질 복합보드의 수화반응온도 및 물성

목질원료	압제방식	혼수율 (%)	목질혼합률 (%)	수화반응 최대온도 (°C)	힘강도 (kgf/cm ²)	휨과괴시 변형량 (mm)	두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)	
폐신문지 섬유	CO ₂ 주입압제-가열(40°C)	10	10	79.0	10.5	3.5	0.51	56.3	
			25	20	76.0	17.0	6.6	0.93	47.8
			30	30	72.7	29.4	10.2	2.43	50.4
		30	10	71.7	10.7	4.1	0.55	45.4	
			20	77.4	25.3	4.3	0.99	49.3	
			30	73.2	34.9	6.5	1.90	47.6	
		35	10	70.5	8.9	5.2	0.57	45.9	
			20	67.4	19.2	5.6	0.37	46.8	
			30	68.0	19.6	8.6	2.30	51.7	
			통상압제-가열	30	20	온도 상승 없음	6.0	9.2	2.54
	통상압제-비가열				7.8	5.0	2.84	67.7	
목 섬유	CO ₂ 주입압제-가열	10	10	52.1	8.8	4.8	-	-	
			30	20	62.4	15.7	4.0	1.04	39.1
			30	30	65.6	23.4	7.4	-	-

* 밀도 : 목표밀도 1.0g/cm³, 실제밀도 : 0.95~1.05g/cm³

따라서 본 실험에서는 0.15~0.4%의 경화지연제 첨가가 이행되었으며, 지연제 비첨가시 시멘트 : 석고 혼합비 60 : 40에서, 그리고 지연제 0.4% 첨가시 시멘트 : 석고 혼합비 40 : 60에서 보드의 최대강도치가 발현되었다.

시멘트와 석고를 혼용한 실험결과, 무기재료 고유의 경화속도, 탄산가스 주입에 의한 시멘트의 速硬化 효과, 경화지연제에 의한 석고의 緩硬化 효과가 경화메커니즘에 영향을 미치는 것으로 여겨졌다<표 2-11>.

<표 2-11> 목질·시멘트·석고 복합보드의 물성

석 고 무기질원료혼합비 경화지연제 (시멘트 : 석고)	수화반응 최대온도 (°C)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨파괴시 변형량 (mm)	두께 팽창률 (%)	흡수율 (%)	
비첨가	100 : 0	-	24.8	7.0	0.54	46.6
	80 : 20	51.1	27.7	5.3	1.13	49.9
	60 : 40	53.5	36.0	5.8	0.82	50.6
	40 : 60	47.7	23.9	6.9	1.10	50.2
	20 : 80	43.3	25.2	6.6	0.79	49.8
	0 : 100	40.5	11.0	5.6	2.97	62.3
첨가 (석고대비 0.4%)	100 : 0	66.9	16.3	5.7	1.29	48.3
	80 : 20	68.6	26.4	5.2	0.97	53.3
	60 : 40	50.2	26.8	5.2	0.99	50.0
	40 : 60	50.9	29.0	5.9	0.90	45.4
	20 : 80	46.7	26.7	4.9	-	51.3
	0 : 100	43.0	20.9	4.9	0.48	50.3

* 목질원료 : 폐지섬유 20% 혼합, 압제방법 : CO₂주입 및 가열(40°C)압제

* 보드의 예정밀도 : 1.0g/cm³

나. 조강시멘트 및 보통시멘트에 의한 시멘트·석고 복합보드의 물성비교

(1) 폐신문지섬유·무기질 복합보드

조강시멘트를 사용한 경우 보통 시멘트를 사용할 때보다 평균 35% 휨강도가 증가되었다. 휨강도 발현에 적절한 조강시멘트 : 석고 비율은 20~40% : 60~80%로 나타났다. 그리고, 양호한 강도를 나타낸 시멘트 : 석고비율 40 : 60 및 20 : 80의 조건에서 두께팽창률은 낮은 수준을 보였으나 흡수율은 오히려 높음으로써 두께팽창률과 흡수율간에 正의 상관성이 존재하지 않음을 보였다<그림 2-38>.

(2) 톱밥·시멘트 복합보드

잣나무 톱밥의 적절한 혼합수준은 20%로 나타났고, 층구성 효과는 폐지섬유(표층 10%) + 톱밥(중층 10%) > 톱밥(표층 10%) + 폐지섬유(중층 10%)

를 보여주었다. 경화촉진제($Al_2(SO_4)_3$ 및 $MgCl_2$)의 첨가에 의하여 두 강도수준 사이에는 비슷함으로써 탄산가스주입에 併用한 효과를 얻지 못하였다. 그러나, 두께팽창률 및 흡수율은 경화촉진제의 처리효과가 대두되었으며, $Al_2(SO_4)_3$ 사용시 치수안정성이 더욱 향상되었다<그림 2-39>.

다. 압제방식에 따른 목질(폐지섬유)·시멘트 복합보드의 물성

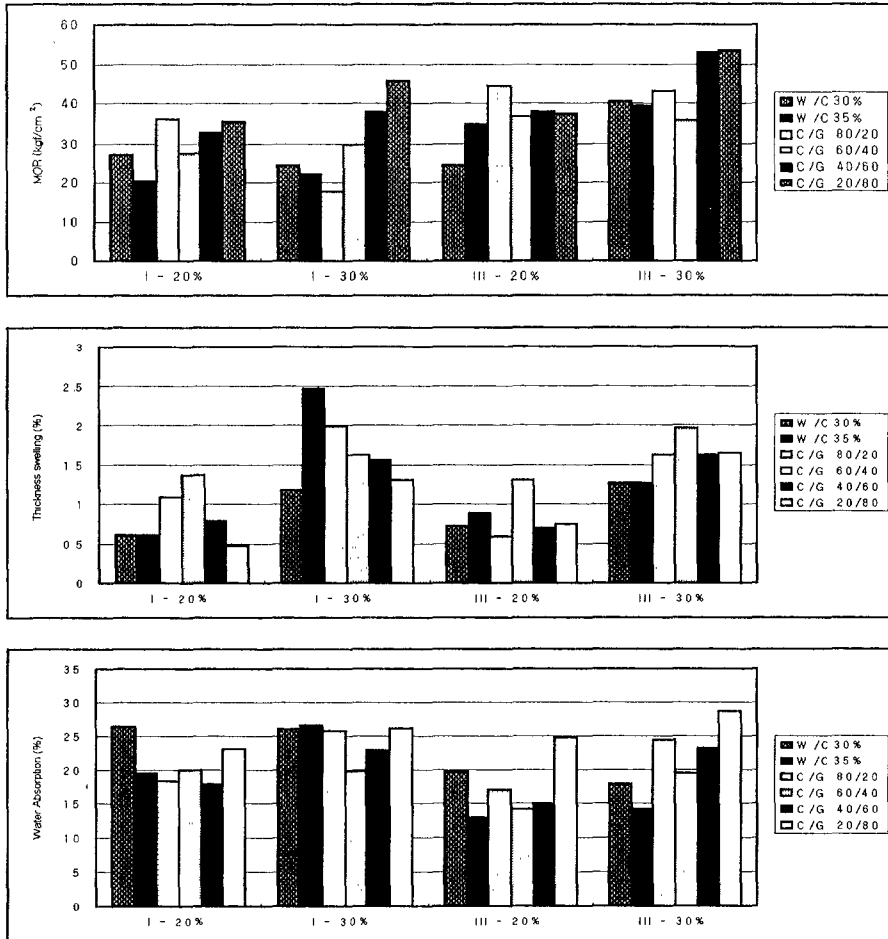
철망 40메쉬를 前排氣와 가열을 하지 않고 사용시 보드의 휨강도가 크게 나타났으며, 철망 60메쉬를 사용했을 때 배기와 가열여부에 관계없이 평균치($25kgf/cm^2$) 이상의 고른 휨강도를 나타냈다.

두께팽창률 및 흡수율에 있어서는, 철망메쉬가 40메쉬 → 50메쉬 → 60메쉬로 증가함에 따라 저하하는 경향을 보였으며, 큰 메쉬(40# 또는 50#) 쪽에서 前排氣후 $40^\circ C$ 가열하거나 非전배기·비가열압제 방식으로 압제하는 경우 흡수성에 다소 안정적으로 寄與하는 현상이 발견되었다. 따라서, 압제조작, 즉 탄산가스 주입시 미세한 공극(micropore)이 조성된 보드내부의 충전과 수화반응에 의해 생성되는 물의 유동성이 보드의 치수안정성에 영향을 미치는 것으로 간주되었다<그림 2-40>.

라. 목질(폐신문지섬유, 톱밥)·석고 복합보드의 물성

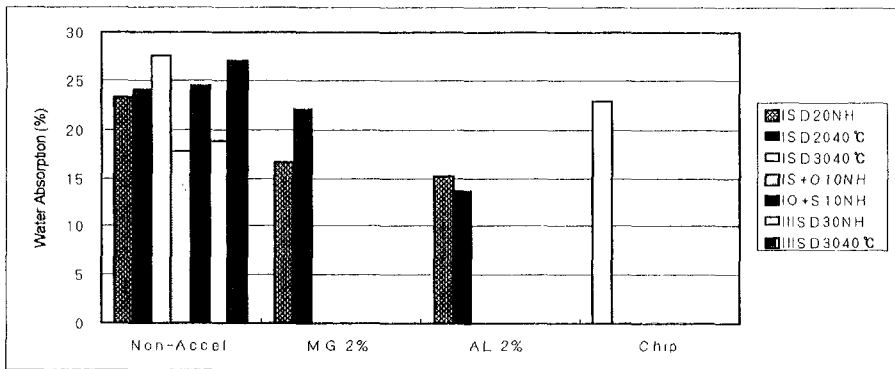
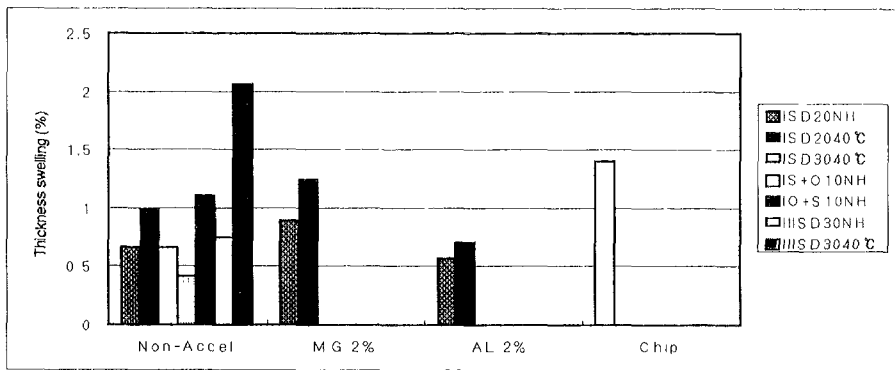
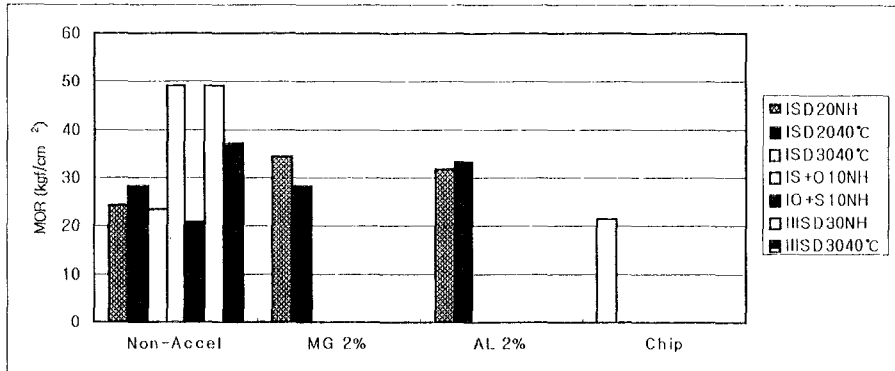
본 실험에서 적용된 경화지연제 0.15% 첨가수준은 목질·석고 복합보드 제조에 적절한 수준으로 밝혀졌다. 이때의 작업시간(석고에 물을 붓고 혼합한 시간)이 약 15분, 압제시간이 약 10분이 소요됨으로써 실험실 단위가 아닌 공장생산을 가상할 때 위의 작업시간의 長短을 고려해야 할 것이다. 혼화제로서, 소석회 또는 광재를 3% 첨가한 경우 지연제 비첨가 복합보드에 비하여 강도가 다소 향상되었다. 한편, 보드의 치수안정성을 위하여 적정량의 경화지연제 첨가가 필요하였으며, 혼수율이 40%에서 45%로 증가시 팽창률 저감현

상이 있었다. 또한, 석고 복합보드(두께팽창률 3% 이하) > 시멘트 복합보드 또는 시멘트·석고 복합보드(평균 두께팽창률 1.2%), 석고 복합보드(흡수율 30%~50%) > 시멘트 복합보드 또는 시멘트·석고 복합보드(흡수율 30% 이하) 크기경향의 물리적 성질이 나타났다<그림 2-41>.



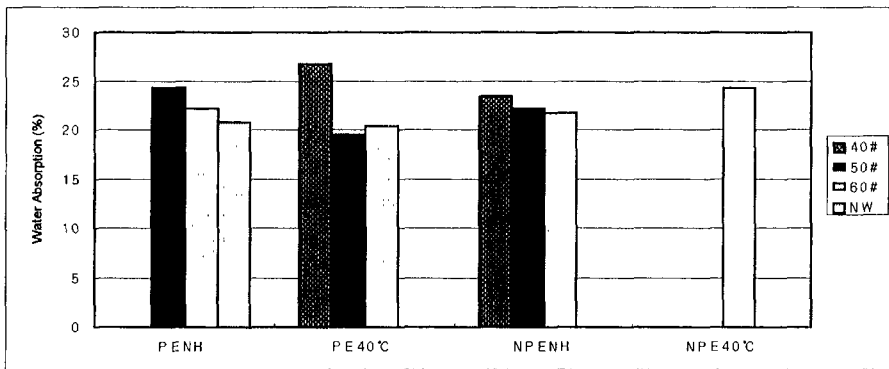
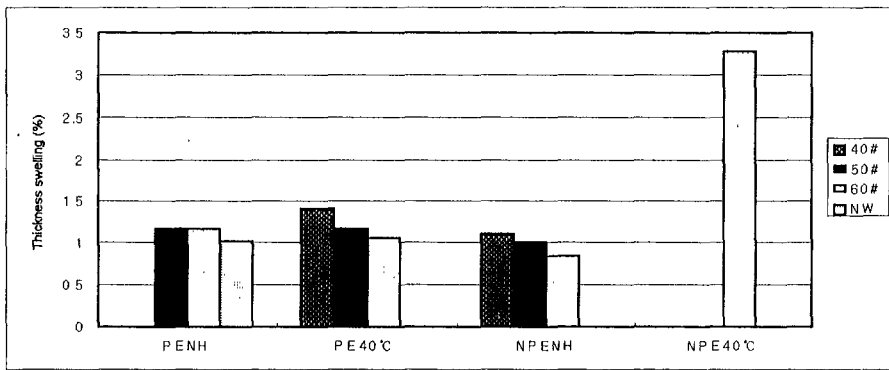
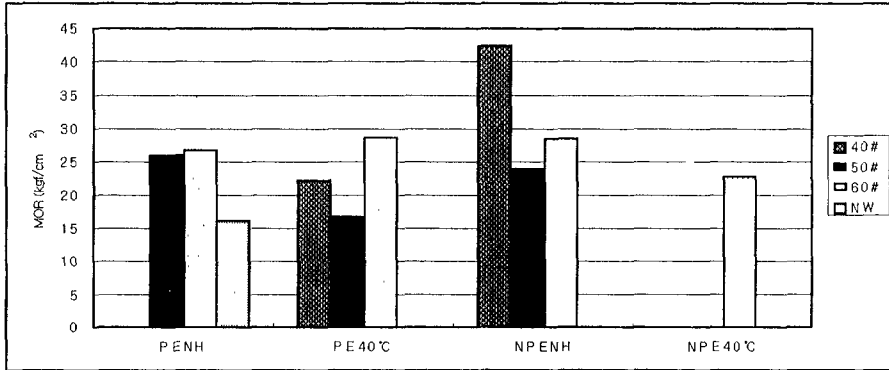
<그림 2-38> 조강시멘트 및 보통시멘트에 의한 폐신문지섬유·무기질 복합 보드의 물성

- * I-20% : 보통시멘트(1종)- 폐신문지섬유 혼합률 20%
- * III-20% : 조강시멘트(3종)- 폐신문지섬유 혼합률 20%
- * W/C 30% : 시멘트 대비 혼수율 30%
- * C/G 80/20 : 시멘트 : 석고 비율= 80 : 20(%)



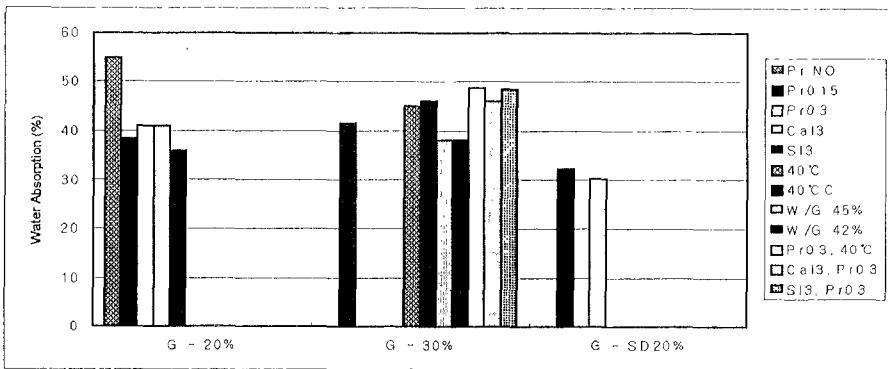
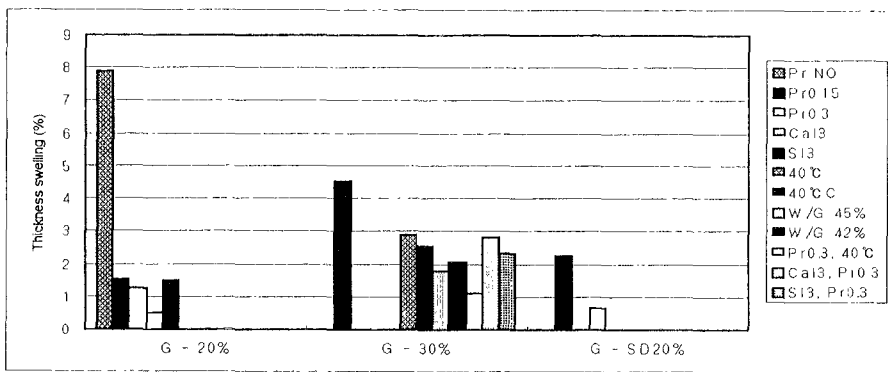
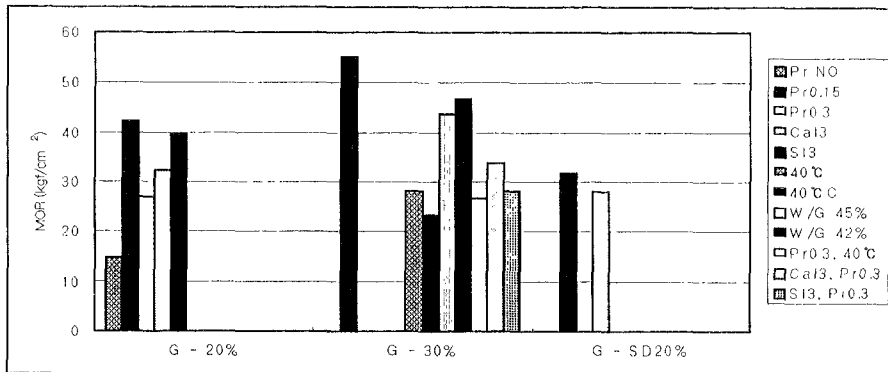
<그림 2-39> 조강시멘트 및 보통시멘트에 의한 톱밥·시멘트 복합보드의 물성

- * Non-Accel : 경화촉진제 非使用, MG : 염화마그네슘, AL : 황산알루미늄
- * ISD20NH : 보통시멘트-톱밥 혼합률 20%-비가열
- * IS+O10NH : 보통시멘트-톱밥(표충)+폐신문지섬유(중충) 각 10% 혼합-비가열
- * IO+S10NH : 보통시멘트-폐신문지섬유(중충)+톱밥(표충) 각 10% 혼합-비가열
- * IIISD30-40°C : 조강시멘트-톱밥 혼합률 30%-40°C가열



<그림 2-40> 압제방식에 따른 폐신문지섬유·시멘트 복합보드의 물성

- * PENH : 전배기 실시-비가열
- * NPE40°C : 전배기 실시않음-40°C가열
- * 40# : 40#의 철망 삽입
- * NW : 철망 使用하지 않음



<그림 2-41> 목질(폐신문지섬유, 톱밥)·석고 복합보드의 물성

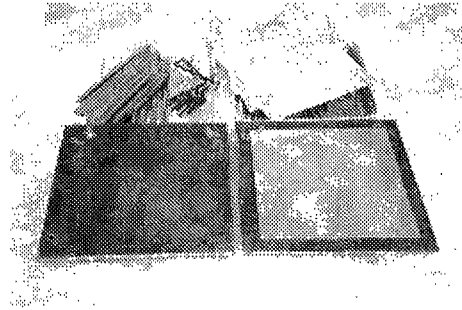
* G-20% : 석고-폐신문지펄프 혼합률 20%

* G-SD20% : 석고-톱밥 혼합률 20%

* Pr No : 경화지연제 비첨가, Cal : 소석회, SI : 팽재

제 2 항 클램핑·압체방식에 의한 목질·시멘트보드 제조

본 실험에서는 반건식 목질·시멘트보드의 제조시스템을 개선하기 위하여, 탄산가스주입방식보다 경제적이면서 요구성능을 갖출 수 있으며, 작업이 용이한 제조방식에 접근코자 하였다. <사진 2-4>은 본 실험에 사용된 클램핑압체기구이다.

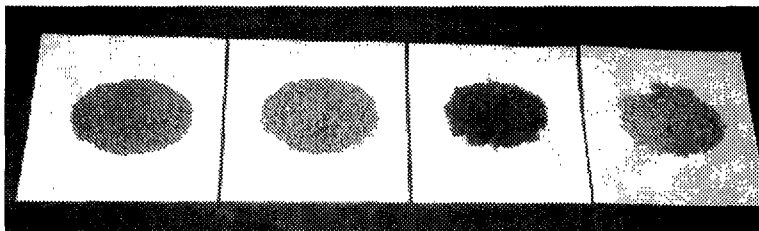


<사진 2-4> 플레이트 클램핑세트

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

1차 실험에서는 클램핑압체방식에 의한 보드(두께 12mm) 제조용 원료로서 파티클보드(PB) 중층용 파티클 및 국내의 폐목재 재활용 성형팔레트 제조공장에서 팔레트 원료로 사용하는 파티클을 6mesh를 통과하는 입자분을 선별하여 보드 구성에 이용하였다<사진 2-5>. 아울러 폐지섬유원료로서 신문폐지를 습식 해리, 건조 및 리파이닝한 폐지섬유를 사용하였다.



<사진 2-5> 목질·시멘트보드 제조용 목질원료

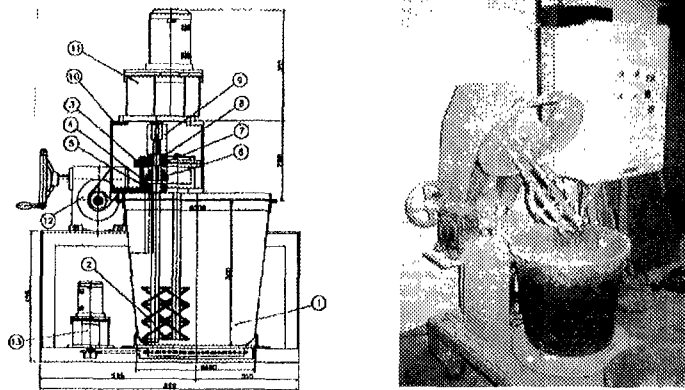
* 좌로부터 PB 표층용 파티클, PB 중층용 파티클, R-파티클, 폐신문지섬유.

2차 실험에서는 PB 표층용 및 중층용 파티클, 폐목질 원료를 파쇄하여 가구재조시 사용되고 있는 파티클(R-파티클(recycled particle)), 그리고 폐신문지섬유를 선별하지 않고 목질계 원료로 사용하였다. 한편, 무기질 원료로서, 시판 포틀랜드시멘트(type I), 경화촉진제(염화마그네슘수화물($MgCl_2 \cdot 6H_2O$))을 사용하였으며, 염화마그네슘의 비수화물 상태를 기준으로 시멘트 중량 대비 3%를 첨가하였다.

나. 실험방법

(1) 보드제조

본 실험에서는 목질원료와 시멘트의 혼합성을 더욱 균일하게 개선하기 위하여, <그림 2-42>와 같은 무기질원료 혼합기(Blade-lift type blender)를 자체 제작하여, 활용하였으며, 또한 종전의 압채방식을 개선한 클램핑압채방식을 새롭게 적용하였다.



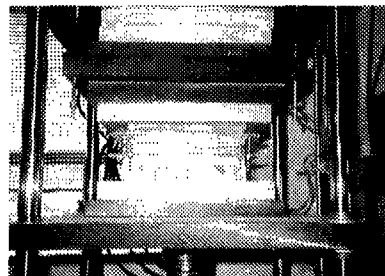
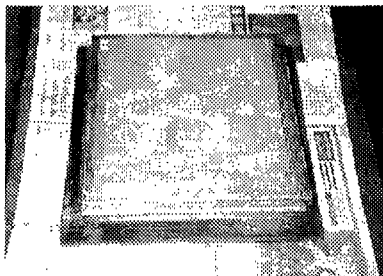
<그림 2-42> 무기질원료 혼합기(리프터형)

먼저 클램핑압채방식에 의한 보드제조조건은 <표 2-12>와 같다. 성형틀내에서 1 batch로 제조되는 보드는 스톱피(두께 12mm)를 이용하여 두께 조절을

하였으며, 일반 PB나 MDF등의 실험적인 제조방법과 유사한 성형·압제·클램핑 과정<사진 2-6>을 거쳐 목표밀도 1.2g/cm³로 하여, 12mm×25cm×25cm의 보드를 제조하였다<사진 2-7>. 클램핑 압제후 성형틀의 4면을 taping하여 50℃의 송풍형 건조기내에 투입하여 24시간 1차양생을 시켰으며, 양생후 비닐백에 넣어 밀폐된 상태로 1주일 정도 습윤양생을 시킨 다음, 비닐백에서 꺼내어 기건상태로 퇴적하였다. 그 후 다시 80℃ 건조기내에서 6.5시간 건조한 다음, 실내의 대기조건에서 평형습수율 상태가 되도록 하였다.

<표 2-12> 클램핑압제 방식에 의한 목질·시멘트보드 제조조건

목표밀도	목질원료 종류	시멘트/목질 比	물/시멘트 比	경화제/시멘트 比
	PB용 파티클			
1.2g/cm ³	팔레트용 파티클 신문폐지 섬유	2.2, 2.7, 3.2	0.5	0.03



<사진 2-6> 클램핑압제방식에 의한 목질·시멘트보드 제조

2. 실험결과

가. 클램핑압제방식에 의한 보드제조 및 성능 평가(1차실험)

클램핑압제방식으로 제조한 목질·시멘트보드의 밀도는 1.18~1.34g/cm³의 범위였으며, 목질원료별로는 폐신문지섬유 > 팔레트용 파티클 > PB용 파티

클의 순이었다. 휨강도는 시멘트/목질원료 비율(C/W比) 2.2, 2.7에서는 PB용 파티클이 다른 원료에 비하여 큰 값을 보였으나, C/W비를 3.2로 하면 폐신문지섬유가 PB용 파티클보다도 큰 강도치를 나타냈다. 이것은 C/W비가 커짐에 따라 시멘트 도포량이 커지면서 섬유의 물리적인 결합이 더 강화됨에 따른 현상으로 보여진다. 즉 휨강도에 있어서는 兩목질파티클로 구성된 경우 C/W비의 증가에 따른 뚜렷한 경향이 보이지 않았는데, 이것은 6mesh를 통과한 粗파티클의 비율이 커짐에 따라, 오히려 충분한 압밀화가 이루어지지 않아서 낮은 강도치를 나타내는 것으로 보여진다. 결국 적당한 파티클 크기의 분포와 파티클의 유연성이 수반된 물리적인 결합력의 증대가 C/W비보다 선행되어야 하는 것으로 보여졌다. 한편, C/W비의 증가에 따라 휨탄성계수(휨강성)는 증대되며, 휨파괴시의 변형량은 낮아지는 경향을 나타냈다<표 2-13>.

<표 2-13> 목질·시멘트 복합보드의 밀도 및 기계적 성질

목질원료 종류	시멘트/목질 比	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (tonf/cm ²)	휨파괴시 변형량 (mm)
PB용 파티클	2.2	1.20	79.0	25.4	1.9
	2.7	1.18	68.7	26.6	1.7
	3.2	1.21	78.1	31.0	1.7
팔레트용 파티클	2.2	1.19	59.4	17.6	2.3
	2.7	1.26	59.3	23.0	2.1
	3.2	1.28	56.1	25.8	2.0
신문폐지 섬유	2.2	1.34	65.9	18.3	3.3
	2.7	1.30	66.0	19.1	2.4
	3.2	1.31	82.1	24.6	2.4

C/W비가 낮은 2.2에서는 3종의 목질원료 모두 치수안정성이 가장 낮았으며, C/W비가 2.7, 3.2로 변동됨에 따라 2.2의 경우보다 상당히 안정되었다. 즉, C/W비 2.2에서 팔레트용 파티클과 폐신문지섬유의 경우 가장 큰 두께팽창률 및 흡수율을 나타냈다.

목질원료의 형태별로는, C/W비가 2.2에서 3.2로 됨에 따라 두께팽창률의

감소효과가 팔레트용 파티클(77%) > PB용 파티클(74%) > 폐신문지섬유(66%), 길이팽창률의 감소효과는 PB용 파티클(65%) > 팔레트용 파티클(38%) > 폐신문지섬유(11%), 그리고 흡수율의 감소효과는 폐신문지섬유(41%) > 팔레트용 파티클(37%) > PB용 파티클(15%)의 순으로 나타났다. 즉 목재 파티클의 경우, 복합보드의 치수안정성을 위해서는 일정수준 이상의 시멘트 도포(coverage)가 반드시 따라야 함을 시사해 주었으며, 폐신문지섬유의 경우 다른 목질 파티클에 비하여 흡수율이 대체로 컸는데, 이는 섬유가 물에 노출되는 경우 시멘트 경화체임에도 불구하고 습윤·保水性을 띠기 때문인 것으로 파악된다<표 2-14>.

<표 2-14> 목질·시멘트 복합보드의 물리적 성질

목질원료 종류	시멘트/목질 比	두께팽창률 (%)	길이팽창률 (%)	흡수율 (%)
PB용 파티클	2.2	0.65	0.43	14.1
	2.7	0.37	0.25	14.3
	3.2	0.17	0.15	12.0
팔레트용 파티클	2.2	1.24	0.37	20.9
	2.7	0.43	0.22	14.2
	3.2	0.28	0.23	13.2
신문폐지 섬유	2.2	0.93	0.37	28.0
	2.7	0.25	0.20	19.9
	3.2	0.32	0.33	16.6

나. 클램핑압체방식에 의한 보드제조 및 성능 평가(2차실험)

목질원료(4種)×C/W比(3형태)로 제조한 목질·시멘트 복합보드의 물성은 <표 2-15>와 같다.

기계적 성질(휨강도 및 휨탄성계수)은 C/W비가 2.2 → 2.7 → 3.2로 됨에 따라 대체로 증가하는 경향을 보였다. 단, 폐신문지섬유 혼입의 경우는 C/W比와 비례적인 강도증가 현상을 나타내지 않았다.

또한, 물리적 성질(두께·길이 팽창률 및 흡수율)은 C/W비 2.2에서는 양호하지 않은 편이었으나, 2.7 → 3.2로 됨에 따라 점차 개선되었으며, 특히 R-파티클의 경우 개선의 폭이 컸다. 이는 R-파티클이 목섬유와 유사한 性狀을 지닌 데 기인한 것으로 보여졌으며, 낮은 C/W비에서는 충분한 시멘트 도포가 이루어지지 않아 물리적인 결합이 약하게 때문이라고 여겨진다. 그러나, 표층용 파티클(小파티클 입자)의 경우는 C/W비 2.2에서 다른 목질원료보다도 치수안정성이 유리한 결과를 보여주었다. 이와 같은 실험을 통하여 PB 중층용 파티클 혼입의 경우, C/W비 3.2에서 최대강도를 나타냈으며, 물리적 성질은 같은 C/W비에서 PB 표층용 파티클 혼입의 경우 가장 치수가 안정되어 나타났다.

<표 2-15> 목질·시멘트보드의 기계·물리적 성질

C/W比	목질원료 형 태	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (10 ³ kgf/cm ²)	두께 팽창률 (%)	길이 팽창률 (%)	흡수율 (%)
2.2	표층용파티클	1.28	51.3	21.3	1.02	0.26	19.5
	중층용파티클	1.18	55.0	15.6	1.25	0.18	27.6
	R-파티클	1.09	41.4	12.0	2.20	0.16	32.6
	폐신문지섬유	1.21	65.3	19.3	1.24	0.25	26.9
2.7	표층용파티클	1.29	53.2	27.9	0.34	0.13	18.2
	중층용파티클	1.27	62.3	20.6	0.89	0.21	18.7
	R-파티클	1.21	64.2	21.7	0.76	0.20	22.5
	폐신문지섬유	1.23	57.8	19.2	0.43	0.18	24.4
3.2	표층용파티클	1.35	55.3	30.1	0.19	0.15	15.2
	중층용파티클	1.29	68.6	31.9	0.47	0.15	16.6
	R-파티클	1.26	54.0	24.2	0.38	0.13	18.9
	폐신문지섬유	1.29	64.9	28.5	0.22	0.15	20.2

한편, 열전도율은 재료의 고유성질, 밀도 및 섬유 배치상태에 따라 달라지는 것으로 알려진 바, 본 실험에서는 목질·시멘트 복합보드의 목질원료 형태, 시멘트/목질比 및 밀도에 따른 뚜렷한 열전도의 경향은 찾을 수 없었으나, 0.103~0.153kcal/mhr^{°C}로서 합판과 목질보드류의 열전도율(0.069~0.100kcal/mhr^{°C})을 상회하였다. 한편 목질·시멘트 복합보드는 석고보드와 비슷하거나 다소 높은 전도율을 지니고 있었다<표 2-16>.

<표 2-16> 목질보드 및 목질·시멘트보드의 밀도 및 열전도율

보드 종류	목질원료 형태	C/W比	밀도 (g/cm ³)	열전도율 (kcal/m · hr · °C)
목질·시멘트 복합보드	표층용 파티클	2.2	1.25	0.144
		2.7	1.37	0.151
		3.2	1.33	0.128
	중층용 파티클	2.2	1.25	0.132
		2.7	1.27	0.124
		3.2	1.23	0.127
	R-파티클	2.2	1.06	0.103
		2.7	1.23	0.127
		3.2	1.24	0.153
	신문폐지 섬유	2.2	1.16	0.129
		2.7	1.27	0.141
		3.2	1.30	0.120
합판	-	-	0.59	0.100
파티클보드	-	-	0.75	0.089
MDF	-	-	0.59	0.069
석고보드	-	-	0.67	0.116

* 시편치수 : 두께 12mm×폭 22cm×길이 22cm,

* 평균온도 : 20°C(상판 33°C-하판 7°C), * 시험방법 : KS L 9016-95

제 3 항 결 론

(1) 목질·시멘트보드의 신속 경화를 위한 공정개선 방법으로서 반건식 혼합 및 탄산가스 주입·압채방식을 적용한 결과, 탄산가스를 주입, 분사할 수 있는 천공형 프레스를 제작, 이용하여 무기질 복합보드의 속경화에 의해 생산성을 향상시킬 수 있었다.

(2) 반건식 공정인 탄산가스 주입·압채 및 적정량의 경화지연제를 첨가함으로써 기존의 내장용 석고보드를 대체할 수 있는 물성의 목질·시멘트·석고의 제조가 가능하였다.

(3) 목질·시멘트 보드의 속경화를 위하여 클램핑·압채방식을 적용하였을 때, 1차 클램핑압채 및 2차 건조양생(50℃·24시간)에 의해 1~2일내에 경화, 양생이 가능한 공정개선효과를 얻을 수 있었다.

(4) 클램핑압채방식으로 제조한 목질·시멘트 복합보드의 적정 시멘트/목질 원료 혼합비(C/W比)는 2.7~3.2로서 보드의 물성이 양호하였으며, C/W비 3.2에서 치수안정성이 우수하게 나타났다. 특히, 파티클보드 표층용 파티클은 모든 C/W비에 걸쳐 치수안정성이 양호하였으며, 목질종류별로는 파티클보드 중층용 파티클 또는 폐신분지섬유를 사용한 보드의 휨강도가 높았다.

(5) 목질·시멘트 복합보드의 열전도율은 석고보드와 유사하거나 높았으며, 합판 및 목질보드의 열전도율을 상회하였다.

제 5 절 목질·시멘트 복합에 의한 방음보드 제조

최근 우리나라에서는 주택, 학교 등 생활공간 주변의 방음벽 수요가 증가하고 있으며, 이들 외장 방음벽은 주로 알루미늄, 수지(투명 아크릴, 폴리카보네이트), 목재 및 시멘트계 제품으로 되어 있다. 그 중 시멘트계는 저비중으로 압출성형된 제품이 주종이다. 본 연구과제에서 제조한 목질·시멘트 복합 보드는 가볍고, 완충성, 내화성, 내부후성이 뛰어나므로 내·외장용 방음재료로서 가능성이 있을 것으로 전망된다. 따라서 본 실험에서는 파티클보드용으로 사용하고 있는 목질 파티클과 폐신문지섬유를 시멘트와 결합한 방음보드를 제조하고 그 성능을 평가하여 실제 방음벽용 보드의 적용 가능성을 검토하였다.

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

폐목질원료로서, 흡음용 보드(두께 50mm) 제조에는 선별하지 않은 PB 중층용 파티클과 팔레트 제조용 파티클 粗입자를 그대로 이용하였다. 또한, 폐신문지를 건식으로 파쇄후 습식 해리한 다음, 다시 리파이닝한 폐지펄프(ONP) 시료를 기건시켜 사용하였다. 한편, 방음벽 실연설치용 보드 제조에는 선별하지 않은 목질파티클(표층용 및 중층용)을 그대로 사용하였다.

시멘트는 시판 포틀랜드시멘트(type I)를 사용하였다. 경화촉진제로서 염화마그네슘($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)을 사용하였으며, 염화마그네슘을 비수화물 상태를 기준으로 시멘트 대비 3%를 첨가하였다. 한편 방음벽 실연축조용 보드제조에는 공업용 염화마그네슘($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)을 시멘트량에 대하여 2% 첨가하였다.

2. 실험방법

가. 보드 제조

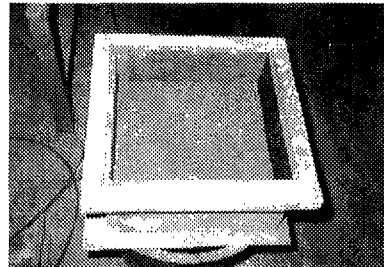
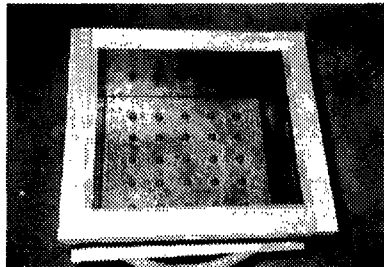
경량·흡음성 목질·시멘트 복합보드의 제조는 리프터(blade-lift)형 혼합기에 의해 목질원료, 시멘트, 경화제($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) 및 물을 균일하게 혼합하여 평판형 및 요철형 보드로 성형한 다음, 프레스 압체방식으로 1일 압체한 뒤, 해압·탈형하였다.

먼저, 흡음성 목질·시멘트보드의 개발에 있어서 표면구조적 방법에 의한 흡음판의 성능부여를 위해 보드 표면에 요철상태를 형성하는 금형<사진 2-8>을 사용하여 <사진 2-9>와 같은 厚板보드(두께 50mm)를 성형·제조하였다. 흡음성 목질·시멘트보드는 목표밀도를 $0.8g/cm^3$ 로 하여, $50mm \times 30cm \times 30cm$ 의 보드를 제조하였는데, 시멘트/목질원료의 비율 0.5, 경화제 첨가량 3%를 적용하였다.

표면구성은 평판형과 요철형의 2종류의 방식으로 제조하였는데, 평판형은 비요철형으로서 일반 파티클보드를 제조하는 방식과 유사하며, 요철형은 요철을 붙인 철판을 성형틀내 아래쪽에 깔고, 그 위에 목질·시멘트 혼합물을 넣고 소정의 두께로 압체하는 방식으로 보드를 형성하였다. 이 때 압체매트 내부의 경화반응거동을 관찰하고자, 열전대를 매트내에 삽입시켜 경화온도를 측정하였다. 제조한 보드는 기건양생을 거친 다음 시편을 채취하여 성능시험을 실시하였다. 양생은 보드를 제조한 다음, $50^\circ C$ 에서 24시간 건조하고 비닐백에 밀봉한 상태로 1주일 퇴적한 후, 비닐백에서 꺼내어 기건상태로 실시하였다. 대조용 목질보드의 경우는 목질원료와 페놀수지를 혼합하여 기존 열압방식을 적용하여 제조하였으며, 국산 침엽수재의 주종인 낙엽송, 잣나무와 라디에타소나무 판재도 시험재료로 포함하였다. 본 실험에서 제조된 보드는 <표 2-17>과 같이 요약될 수 있다<사진 2-8>.

<표 2-17> 흡음용으로 제조된 목질·시멘트보드, 목질보드 및 판재 형태

시 편 종 류	혼입 목질원료 형태	보드 표면형태
목질·시멘트 복합보드	PB용 파티클	평판형(CWF) 요철형(CWH)
	팔레트용 파티클	평판형(CPF) 요철형(CPW)
	폐신문지 섬유	평판형(COF) 요철형(COH)
	PB용 파티클(37%)+MgCl ₂ 3% (습식)	평판형(CW3)
	PB용 파티클(50%), MgCl ₂ 비첨가 (습식)	평판형(CW4)
목질보드	PB용 파티클	평판형(WF) 요철형(WH)
	팔레트용 파티클	평판형(PF) 요철형(PI)
	폐신문지 섬유	평판형(OF) 요철형(OH)
제재목	낙엽송	평판형(NAK)
	잣나무	평판형(JAT)
	라디에타소나무	평판형(RA)



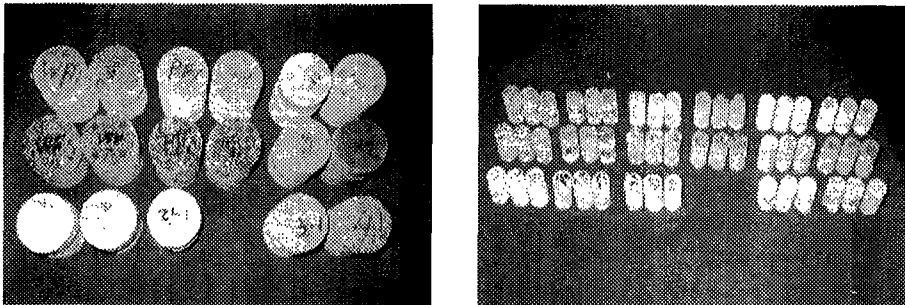
<사진 2-8> 흡음용(요철형) 목질·시멘트보드의 제조장치

나. 흡음시험

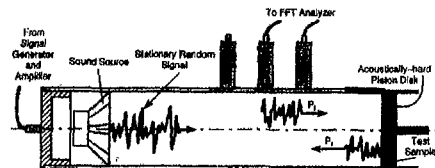
본 연구의 흡음시험을 위하여 제조된 2타입(요철형, 평판형)의 목질·시멘트보드 이외에 대조시험재료(목재, 파티클보드, 섬유판)를 준비하였다. 흡음시험은 KS F 2814-96(관내법에 의한 건축재료의 수직입사 흡음률 측정방법)과 ASTM E 1050-98(standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital

frequency analysis system)에 준하여 <사진 2-10>와 같이 직경 2.9cm와 10cm의 원주체를 절취하였다. 이때, Ⅲ형의 경우 구멍이 원주체에 포함이 되도록 하여 절취하였다. 또한, 비교를 위해 평판형 목질보드와 판재도 같은 크기의 원주체로 절취하였다.

한편, 흡음시험을 위해 사용한 흡음률 측정기(B&K type 4206)를 사용하였으며, impedance tube의 구조는 <사진 2-11>과 같다. 시료는 impedance tube내에서 흡음면이 스피커를 향하도록 장착하였으며, Ⅲ형의 경우 音源이 부딪치는 입사면쪽에 놓이도록 끼웠다. 흡음률의 측정주파수 범위는 50Hz~6400Hz로서, 직경 10cm 원주체는 저주파수帶(50~500Hz), 직경 2.9cm 원주체는 고주파수帶(500~6,400Hz)의 흡음시험에 사용되었다.



<사진 2-10> 흡음시험편(좌: 직경 10cm, 우: 직경 2.9cm)



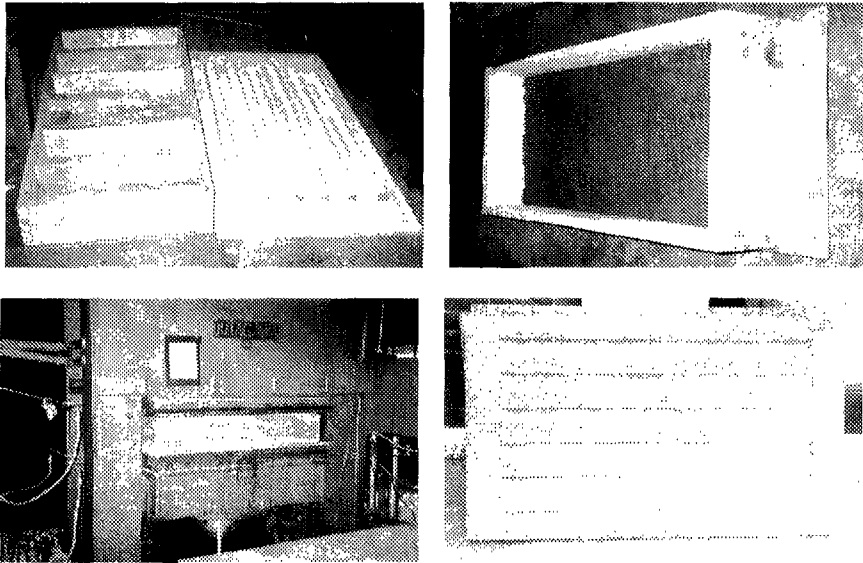
<사진 2-11> 흡음률 측정기 및 내부 구조

다. 방음보드 실연제품 제조

제조된 보드의 실대치수는 두께 5cm×폭 60cm×길이 120cm(방음벽 수평 방향)로 하였다. 보드 제조조건은 다음 <표 2-18>과 같으며, 매트성형 및 프레스 압제방식을 거치는 보드의 제조공정은 <사진 2-12>와 같다. 이 공정에 의해 <사진 2-12>에서와 같이 음이 발생하는 측에 맞닿는 면은 연속형 홈(Ⅲ형)구조를 형성시켜 흡음효과를 내도록 하였다.

<표 2-18> 방음벽용 보드 제조조건

보드밀도 (g/cm ³)	시멘트/목질원료 比(C/W ratio)	물/시멘트 비율(%)	PB용 파티클 (중층용 : 표층용)	경화제 첨가량 (MgCl ₂)
1	3.2	55	90 : 10	2%



<사진 2-12> 방음벽용 실대형 보드

제 2 항 연구결과

1. 흡음용 목질·시멘트보드의 성능 평가

흡음용 목질·시멘트 복합보드의 水和反應거동은 <표 2-19>와 같았다. 혼입원료가 PB용 파티클인 경우 최고온도가 35.3~46.4℃, 최고온도 도달시간은 9.6~12.7시간으로 나타났으며, 팔레트용 파티클의 경우 최고온도가 38.6~47.5℃, 최고온도 도달시간이 6.3~7시간으로 나타났다. 그리고 폐신문지섬유의 경우는 최고온도가 36.8~40.8℃, 최고온도 도달시간이 6.3~9.1시간이었다. 따라서 팔레트용 파티클을 혼입하는 경우, 시멘트 수화온도가 비교적 높고, 최고온도에 신속하게 도달함으로써 수화반응이 가장 우수하게 발현되었다. 그리고 폐신문지섬유의 경우에는 PB용 파티클에 비해 최고온도는 낮은 편이었으나 최고온도 도달시간은 다소 빠른 것으로 나타났다. 이러한 수화반응시 발열반응에 의한 최고온도는 목질·시멘트 복합체의 경화시간과 강도예측의 지표로 이용될 수 있다.

<표 2-19> 흡음용 목질·시멘트보드의 수화반응거동

목질원료 종류	보드표면형태	최고 온도/최고온도 도달시간(℃/hr)
PB용 파티클	평판형	35.3/12.7, 46.4/9.7
	요철형	35.9/12.5, 42/9.6
팔레트용 파티클	평판형	41/7, 45/6.8
	요철형	38.6/6.3, 47.5/6.3
폐신문지섬유	평판형	40.2/6.3, 40.8/9.1
	요철형	36.8/6.6, 36.8/8

* 최고온도/최고온도 도달시간은 보드 시험체 2매에 대한 결과임.

실험제조된 흡음용 목질·시멘트 복합보드의 밀도는 목질원료의 종류별로, 폐신문지섬유 > 팔레트용 파티클 > PB용 파티클의 순이었으며, 휨강도는 팔

레트용 파티클 > 폐신문지섬유 > PB용 파티클의 크기順으로 나타났다. 결과적으로 팔레트용 파티클을 평판형 또는 요철형으로 구성한 경우, 다른 목질 원료를 사용하였을 때보다 높은 강도치를 나타냈다. 이러한 강도의 발현경향은 앞에서 살펴본 수화반응측정의 결과와도 일치하여, 수화반응성이 양호했던 팔레트용 파티클을 사용하였을 때, 높은 강도를 발휘한다는 사실을 보여주었다. 그러나 실용적인 관점에서 강도는 아직 미흡하다고 사료되며, 이것은 보드의 밀도와 직접적인 상관이 있는 것으로 생각된다. 다시말하면 보드 밀도가 최소한 1g/cm³ 이상이 되면서 압밀도를 높이거나 표면적층재료를 보강하는 방법 등이 필요한 것으로 여겨진다. 그리고 보드의 표면유형에 따라서는 요철형이 평판형보다 8~19% 휨강도가 저하되는 경향을 보여 주었다<표 2-20>.

흡음용 목질·시멘트 복합보드의 물리적 성질(치수안정적 성질)은 <표 2-21>과 같다. 보드의 두께팽창률은 0.04~0.14%로서, 팔레트용 파티클(요철형)이 최대치를 나타냈다. 길이팽창률은 0.01~0.04%로서 PB용 파티클(평판형)이 비교적 낮게 나타났다. 흡수율은 9.7~20.9%로 나타났으며, 최대치는 PB용 파티클(요철형), 최저치는 폐신문지섬유(평판형)가 나타났다. 파티클로 구성된 보드가 섬유로 구성된 보드보다 오히려 다소 높은 흡수경향을 나타냈으며, 요철형보드가 평판형 보드보다도 7~13% 상승된 흡수율을 보였다.

<표 2-20> 흡음용 목질·시멘트 복합보드의 밀도 및 휨성질

목질원료 종 류	보드 표면형태	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (tonf/cm ²)	휨과괴시 변 형 량 (mm)
PB용 파티클	평판형	0.93	20.8	2.78	1.9
	요철형	0.91	19.2	2.00	3.2
팔레트용 파티클	평판형	0.97	26.2	3.73	3.2
	요철형	0.91	22.0	3.16	3.2
폐신문지섬유	평판형	0.98	14.6	2.37	2.9
	요철형	0.93	11.8	2.10	2.8

<표 2-21> 흡음용 목질·시멘트 복합보드의 흡수율 및 치수팽창률

목질원료 종류	보드표면형태	흡수율(%)	두께 팽창률(%)	길이 팽창률(%)
PB용 파티클	평판형	18.5	0.09	0.01
	요철형	20.9	0.06	0.02
팔레트용 파티클	평판형	17.6	0.04	0.02
	요철형	19.2	0.14	0.04
폐신문지섬유	평판형	9.7	0.06	0.04
	요철형	10.4	0.06	0.02

2. 흡음시험용 목질·시멘트보드의 밀도 및 압축강도

<표 2-22>에서 보는 바와 같이, 프레스 압채방식으로 제조한 목질·시멘트보드로부터 흡음을 측정을 위해 절취한 직경 10cm 및 2.9cm의 원주시험체는 평균밀도가 0.83~0.96g/cm³로 나타났다. Ⅲ(hole)형은 구멍의 형성 때문에 평판(flat)형에 비하여 밀도가 낮았으며, 폐신문지섬유를 혼합한 시멘트보드가 가장 밀도가 컸다. 목질보드는 평균밀도가 0.53~0.67g/cm³로 나타났으며, 목질·시멘트보드와는 달리 폐신문지섬유를 혼합한 보드의 밀도가 낮게 형성되었다. 침엽수 판재는 0.45~0.53g/cm³를 나타냈다.

보드판면에 수직방향으로 직경 2.9cm 원주형시험체의 압축강도시험(1개의 Ⅲ형이 포함됨)을 한 결과, 목질 파티클·시멘트 복합보드체는 Ⅲ형을 형성한 부분이 취약하므로 이 부분이 쉽게脆性 파괴되고 평판형에 비해 압축강도가 상당히 낮았다.

한편 목재류의 판재나 보드류(PB, MDF)는 변위 20mm 지점까지 변형이 slip되는 양상을 보이며 압축되거나 급격히 파괴되는 현상은 없었다. 판재는 변형량 2mm 이내에서 급격히 응력이 증가하는 기울기를 이룬 반면, 보드류는 완만한 기울기를 형성하였다. 섬유판의 경우는 평면형과 Ⅲ형간의 차이가 파

티클보드에 비하여 그다지 크지 않았으며, 개체간의 負荷履歷도 균일한 편이
 었다. 그러나 목재와 보드류에 비하여 제조된 목질·시멘트보드의 절대강도치가
 낮은 점은 외장용으로서의 실제 강도요구치를 예상할 때 개선의 여지를 남겼다.

<표 2-22> 흡음시험용 원주체의 밀도 및 압축강도

시험편 종류	보드원료 (보드표면 형태)	밀도(g/cm ³)			압축강도 (kgf/cm ²)
		직경 10cm	직경 2.9cm	평균	
목질·시멘트 복합보드	CWF(평판형)	0.90	0.92	0.91	39.1
	CWH(요철형)	0.85	0.80	0.83 (91.2%)	26.1
	CPF(평판형)	0.92	0.92	0.92	50.3
	CPW(요철형)	0.89	0.81	0.85 (92.4%)	16.4
	COF(평판형)	0.98	0.94	0.96	60.7
	COH(요철형)	0.97	0.84	0.91 (94.8%)	33.2
	CW3(평판형)	1.09	1.00	1.05	59.9
	CW4(평판형)	0.72	0.70	0.71	19.4
목질보드	WF(평판형)	0.67	0.64	0.66	285.7
	WH(요철형)	0.62	0.57	0.60 (90.9%)	161.0
	PF(평판형)	0.67	0.66	0.67	320.9
	PH(요철형)	0.62	0.61	0.62 (92.5%)	186.8
	OF(평판형)	0.53	0.55	0.54	197.0
	OH(요철형)	0.53	0.53	0.53 (98.1%)	157.4
제재목	NAK(평판형)	0.45	0.45	0.45	65.6
	JAT(평판형)	0.52	0.53	0.53	104.2
	RA(평판형)	0.53	0.47	0.50	122.7

* 시험편의 약호 내용은 <표 2-17>에 따름.

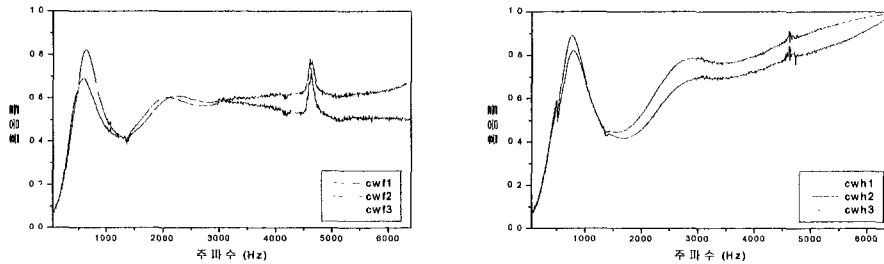
* ()내의 수치는 평판형 보드밀도에 대한 요철형 보드밀도의 비율임.

* 직경 2.9cm 시편으로 압축강도 시험을 실시함.

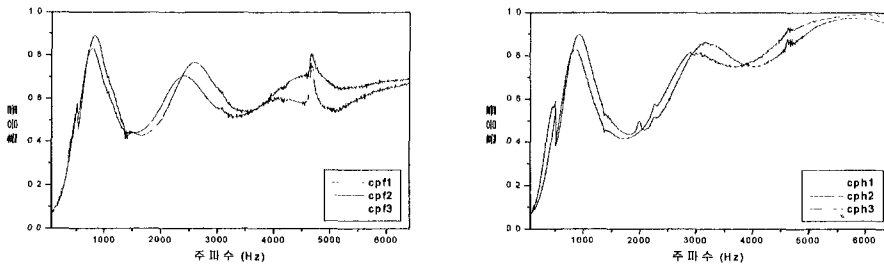
3. 목질·시멘트보드의 흡음률

반건식으로 제조한 목질·시멘트보드는 광범위한 주파수帶에서 흡음률이

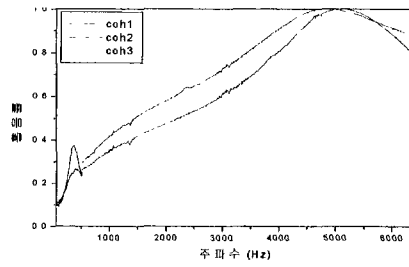
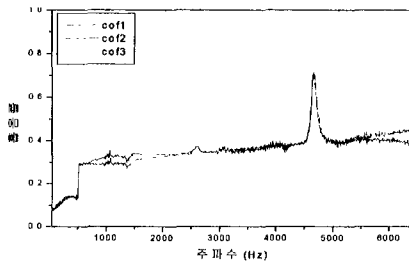
약 0.6~0.8 정도였으며, 특히 凹형 보드는 흡음률 1.0에 근접하는 우수한 흡음성을 발휘하였다. 한편, 목질보드의 경우는 평판형이 약 0.5 이하의 흡음률을 보인 반면 凹형의 경우는 0.1 이상의 흡음률로서 고주파수대로 갈수록 흡음상태가 양호하여 4000~6000Hz에서는 흡음률 1에 접근하는 상태를 보여주었다. 침엽수 판재는 목질보드 평판형과 유사한 흡음률을 보여주었다. 따라서 방음재료의 흡음률의 高低는 밀도보다 표면상태의 영향을 많이 받는 현상을 보여주었다. 즉, 표면에 공극(凹형) 구조를 갖는 것이 흡음에 매우 유리하게 작용한다는 사실을 알 수 있었다<그림 2-42~50>.



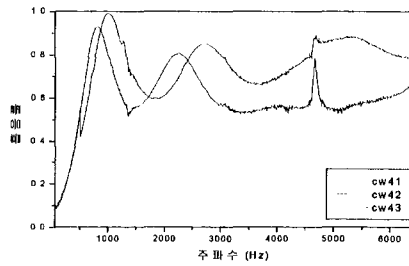
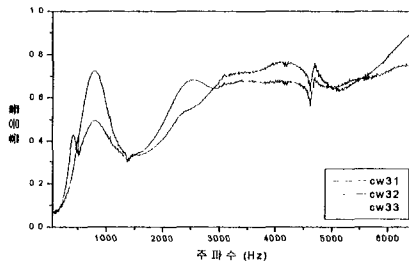
<그림 2-42> 목질·시멘트보드 평판형(CWF) 및 요철형(CWH)의 흡음률



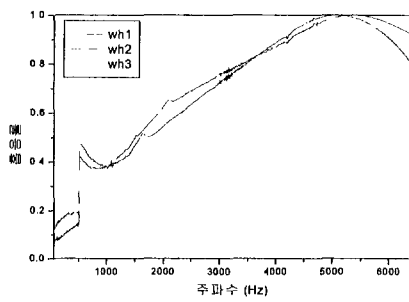
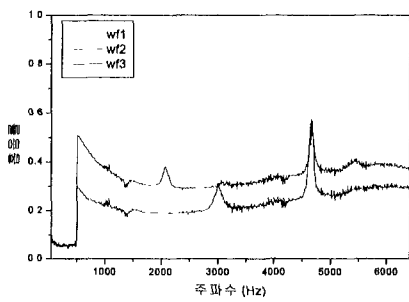
<그림 2-43> 목질·시멘트보드 평판형(CPF) 및 요철형(CPH)의 흡음률



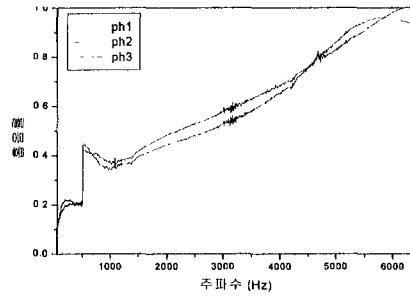
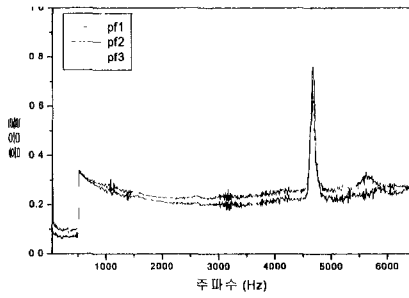
<그림 2-44> 목질·시멘트보드 평판형(OPF) 및 요철형(OPH)의 흡음률



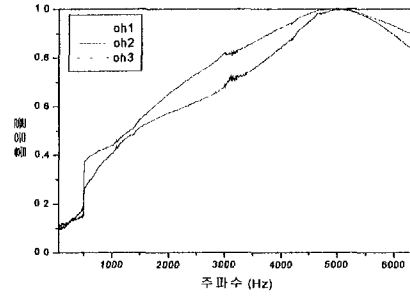
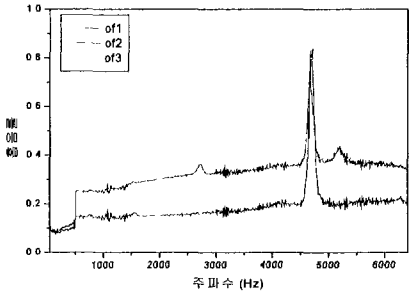
<그림 2-45> 목질·시멘트보드 평판형 (CW3)의 흡음률 <그림 2-46> 목질·시멘트보드 평판형(CW4)의 흡음률



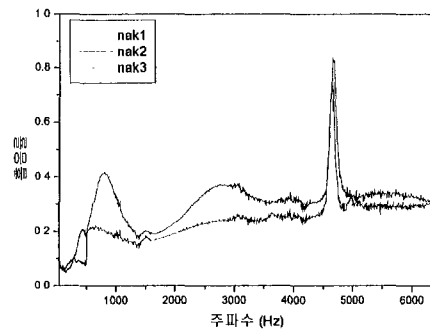
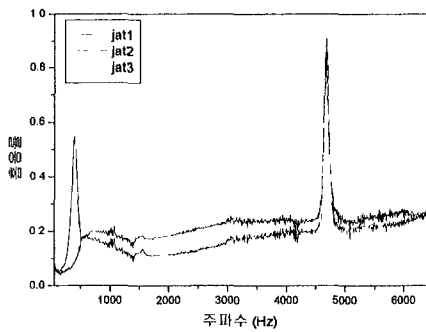
<그림 2-47> 파티클보드 평판형(WF) 및 요철형(WH) 보드의 흡음률



<그림 2-48> 파티클보드 평판형(PF) 및 요철형(PH) 보드의 흡음률



<그림 2-49> 섬유판 평판형(OF) 및 요철형(OH) 보드의 흡음률



<그림 2-50> 잣나무(좌), 낙엽송(우) 판재의 흡음률

4. 방음벽 실연설치

목질·시멘트 복합보드를 이용한 방음벽을 임업연구원 구내에 실연, 설치하였다<사진 2-13>. 이는 표면에 요(Ⅲ)형 굴곡면을 갖는 방음보드(5×60×120cm)를 실험실용 대형 프레스로 제조하여 철제프레임으로 조립한 것이다.

제 3 항 결 론

본 연구에서는 최근의 국내 수요 구조에 적합한 목질·시멘트보드의 용도 개발을 위하여 흡음용 목질·시멘트보드를 제조하여 성능평가를 하였으며, 아울러 실험실용 대형 프레스로 제조, 조립한 방음벽을 시험 제작하였다.

(1) 폐목재 파티클과 폐지섬유를 시멘트와 결합하여 흡음형 방음보드를 제조하고 그 성능을 평가한 결과, 목질·시멘트 보드의 평균밀도는 0.83~0.96g/cm³로서 저밀도형 범위의 보드를 제조하였다.

(2) 수직입사 흡음률 측정방법에 의하여 저주파수帶(50~500Hz) 및 고주파수帶(500~6,400Hz)에서의 흡음률을 측정한 결과, 목질·시멘트보드는 광범위한 주파수帶에서 흡음률이 약 0.6~0.8 정도였으며, 특히 요철형 보드는 흡음률 1.0에 근접하는 우수한 흡음성을 발휘하였다. 이에 대해 대조용으로 사용한 평판형 목질보드와 판재는 흡음률이 대체로 0.5 이하로서 낮게 나타났다.

(3) 목질·시멘트 복합보드와 목질보드의 요(Ⅲ)형 구조는 평판형 구조에 비해 월등한 흡음성능을 나타냈으며, 흡음성은 밀도와는 그다지 상관없으며 표면구조의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 즉 보드표면에 空隙(Ⅲ형)을 형성시켜주는 것이 유리하였다. 이와 같은 실험결과를 응용하여, 방음벽용 실험실용 보드를 프레스압체방식으로 제조하여 실연제품으로 조립, 설치하였다.

제 6 절 폐목질·시멘트 복합블럭 개발

콘크리트거푸집과 같은 건설폐기물은 대량 발생되고 있지만, 토석류 등의 異物質을 함유하고 있어 거의 재활용되지 못하고 있다. 폐목재류를 가장 많이 이용하는 파티클보드 공장에서도 원료의 파쇄, 선별과정에서 금속류는 제거가 용이하지만, 토석류는 많은 공정상의 문제를 일으키고 있다. 따라서 본 연구에서는 ① 이와 같이 기존 용도에서 사용하기 어려운 폐목재류를 건축·토목용으로 완전 재활용할 수 있으며, ② 자체개발 기술 및 소규모의 국산설비에 의한 현장적용이 용이하고, ③ 실수요에 신속히 대응할 수 있는 건축·토목용 자재로 사용할 수 있는 목질·시멘트블럭을 고안하였다.

우리나라의 시멘트 가공제품(콘크리트 플립관, 인터로킹 블럭, 호안 블럭 등)의 연간 매출액은 4,076억원('99년) 규모이며, 505개사의 KS제품 생산업체를 비롯한 전국의 1,360개사(건축자재 1,251개사, 토목자재 109개사)에서 각종 시멘트 제품을 생산, 공급하고 있다. 이와 같이 많은 업체가 가동하고 있으나, 골재인 모래자원이 점차 고갈되어감에 따라 대체 원료의 개발 또한 필요한 시점이다.

목질·시멘트블럭의 제조실험은 제 2장 2절에서 수행된 목질·시멘트 복합체의 경화성 조사 결과를 바탕으로 하여, 목질원료, 첨가제, 혼화재 등을 선정하였으며, 歩道用, 내장용, 토목용 및 조경용 블럭 개발을 목표로 수행되었다.

제 1 항 목질·시멘트블럭의 제조요인 구명

본 연구에서는 우선적으로 목질·시멘트 블럭 개발의 기초 연구로서 목질 원료의 혼합률, 수분량, 경화촉진제 및 밀도 등 제조요인에 따른 블럭의 물성 변화를 조사하였으며, 최적 제조방법을 구명하고자 하였다. 일반적으로 시멘

트제품의 강도시험전 양생기간을 4주 정도로 하고 있으나, 본 실험에서는 현장에서 작업성을 고려한 초기강도의 발현상태를 관찰하고자 7일 양생후 강도시험을 실시하였다.

1. 실험재료

목질원료는 파티클보드 공장에서 폐목재를 원료로 하여 제조된 파티클보드의 내충용 파티클을 사용하였으며, 원료함수율은 8.7%이다. 시멘트는 포틀랜드시멘트(type I)를 사용하였으며, 경화촉진제로서 $MgCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$, $CaCl_2$ 등을 선정하였다.

2. 실험방법

(1) 실험설계

<표 2-23>에서 보는 바와 같이, ① 목질원료 혼합률, ② 매트함수율, ③ 경화촉진제 첨가율, ④ 블럭밀도 등의 요인별로 목질·시멘트블럭 제조실험을 단계적으로 실시하였다.

목질원료 혼합률에 대한 실험에서는 목질원료의 각 혼합률(15~45%)에 대응하여 혼수율을 35~65%로 동시에 변동시켰다. 한편 매트함수율에 대한 실험에서는 목질원료 혼합률을 일정 수준(35%)으로 하고, 수분량은 파티클보드 제조시의 매트함수율(MMC) 개념을 적용하여, 30%를 기준으로 26~34%의 범위에서 MMC를 변동시켜서 블럭의 물성 변화를 측정하였다. 또한 블럭 밀도 $1.20g/cm^3$ 를 기준으로 $1.10\sim 1.30g/cm^3$ 범위의 각 밀도 수준에서 블럭을 제조하였다.

(2) 목질·시멘트블럭 제조

(가) 원료혼합

일정량의 목질원료와 시멘트를 건식 혼합한 다음, 물을 첨가하면서 자체 제작한 전용 혼합기로 균일하게 혼합하였다. 시멘트경화촉진제를 첨가할 경우에는 시멘트 대비 2%를 물에 용해시켜 사용하였다. 따라서 물분자가 결합된 염화마그네슘[MgCl₂·6H₂O]과 황산알루미늄[Al₂(SO₄)₃·14~18H₂O]은 결합수를 제외한 無水시약의 분자량 비율에 의해 첨가량을 계산하였다.

<표 2-23> 목질·시멘트블럭 제조실험요인

실험구분	실험요인별 처리조건			
	목질원료혼합률	메트함수율	경화촉진제	목표밀도
① 목질원료혼합률	15% (35%)			
	20% (40%)			
	25% (45%)			
	30% (50%)	-	None	-
	35% (55%)			
	40% (60%)			
	45% (65%)			
② 메트함수율		26%		
		28%		
	35%	30%	None	1.20g/cm ³
		32%		
		34%		
③ 시멘트경화촉진제	35%	30%	무처리 MgCl ₂ Al ₂ (SO ₄) ₃ CaCl ₂	1.20g/cm ³
④ 목표밀도				1.10g/cm ³
				1.15g/cm ³
	35%	30%	MgCl ₂	1.20g/cm ³
				1.25g/cm ³
				1.30g/cm ³

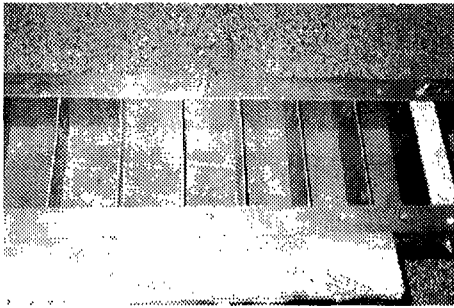
* ①의 실험에서는 목표밀도를 설정하지 않고, 블럭 1개당 시료투입량을 일정하게 하였음.

* 경화촉진제용 시약의 결합수 비율 : MgCl₂-53%, Al₂(SO₄)₃-46%, CaCl₂-0%.

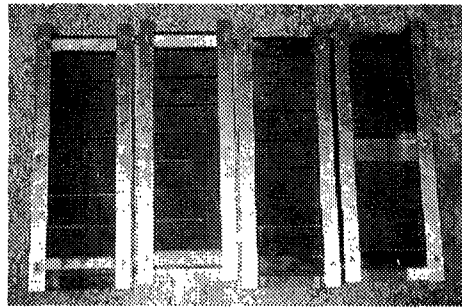
* () : 混水率(전체 원료무게 중의 수분의 비율)

(나) 성형 및 압체

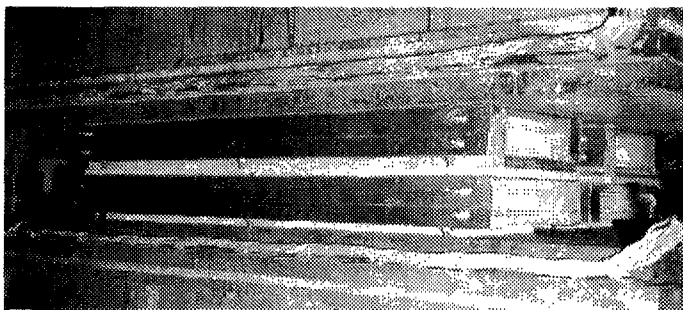
본 실험을 수행하기 위하여 <사진 2-14~16>와 같은 조립식 성형·압체용 기구를 제작, 사용하였다. 각 cell의 내부치수는 높이 100mm×가로 100mm×세로 200mm로 하여, 일정량의 혼합된 시료를 넣은 다음, 두께 50mm의 덮개용 목재 블럭으로 덮고, 대형 프레스(플레이트 크기 750mm×1,360mm)에 성형틀을 삽입하여, 블럭의 최종 높이가 50mm가 될 때까지 가압하였다. 따라서 블럭의 치수는 높이 50mm×가로 100mm×세로 200mm였다.



<사진 2-14> 목질·시멘트블럭 제조
실험용 성형기구



<사진 2-15> 목질·시멘트블럭의
성형



<사진 2-16> 대형프레스에 의한 목질·시멘트블럭의 압체

(다) 양생

프레스에서 24시간 압채후 성형틀을 해체하여, 脫型된 블럭을 비닐 백으로 3일간 밀봉양생시켰다. 24시간 압채후 해압하였을 때, 핸들링에는 전혀 지장이 없었다. 이어서 20℃·65% RH의 조습실에서 3일간 개방양생후 물성시험을 실시하였다. 따라서 전체 양생기간은 7일이었다. 이와 같이 제조된 폐목질·시멘트블럭은 <사진 2-17>과 같다.

(라) 물성시험

KS F 4419(보·차도용 콘크리트 인터로킹 블럭)에 규정되어 있는 휨강도 및 흡수율을 조사하였으며, 동시에 압축강도를 측정하였다.

3. 연구결과

가. 목질원료 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 물성 변화

각 실험요인별로 제조한 목질·시멘트블럭의 물성시험 결과는 <표 2-24>와 같다.

원료 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 밀도 및 휨강도의 변화를 보면 목질비율 15~45%의 범위에서 목질량이 증가함에 따라 블럭의 밀도는 감소하지만, 휨강도는 상승하였다<그림 2-51~52>. 즉 밀도와 휨강도는 서로 대칭적으로 변화하는 경향을 보여준다. 본 실험에서는 목질원료 혼합률에 대응하여 수분량을 일정비율로 변동시켜서 블럭을 제조하였다. 따라서 목질보드 제조시에 적용하는 이른바 매트함수율은 일정하지 않지만, 여기에서 수분의 영향은 고려하지 않았다.

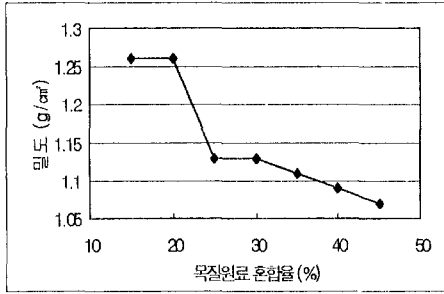
한편 휨강도의 변화만 보았을 때, 목질원료비율의 한계는 대체로 40% 이하인 것으로 여겨진다. 따라서 이후의 다른 요인에 대한 실험에서는 적정 목질원료의 비율을 35%로 추정하여 적용하였다.

<표 2-24> 목질·시멘트블럭의 물성

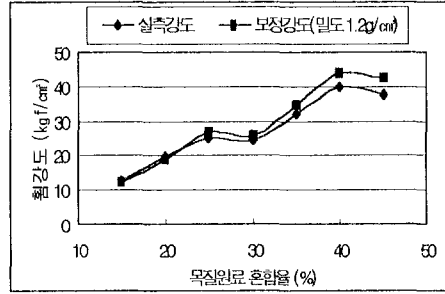
실험구분	처리조건	실측밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	힘강도 (kgf/cm ²)	
				실측강도	보정강도 (밀도1.2g/cm ³ 기준)
①목질혼합물 (혼수율)	15%(35%)	1.26	16.18	12.80	12.19
	20%(40%)	1.26	11.37	19.81	18.87
	25%(45%)	1.13	10.86	25.08	26.63
	30%(50%)	1.13	18.73	24.51	26.03
	35%(55%)	1.11	15.98	32.00	34.59
	40%(60%)	1.09	18.29	39.94	43.97
	45%(65%)	1.07	19.62	37.89	42.49
②매트함수율	26%	1.16	13.62	33.48	34.63
	28%	1.15	13.53	33.16	34.60
	30%	1.18	9.97	32.00	34.59
	32%	1.19	8.57	29.33	29.58
	34%	1.18	7.33	36.89	37.52
③경화촉진제	무처리	1.18	9.97	32.00	34.59
	MgCl ₂	1.19	8.62	45.36	45.74
	Al ₂ (SO ₄) ₃	1.19	10.02	37.72	38.04
	CaCl ₂	1.19	8.64	46.24	46.63
④목표밀도	1.10g/cm ³	1.07	11.53	33.59	37.67
	1.15g/cm ³	1.11	10.53	41.87	45.26
	1.20g/cm ³	1.19	8.62	45.36	45.74
	1.25g/cm ³	1.23	7.44	63.63	62.08
	1.30g/cm ³	1.25	8.07	62.57	60.07

* 실험종류별 제조조건

- ① 경화촉진제 : 무첨가, ② 목질비율 : 35%, 경화촉진제 : 무첨가, 목표밀도 : 1.2g/cm³
- ③ 목질비율 : 35%, 매트함수율 : 30%, 목표밀도 : 1.2g/cm³
- ④ 목질비율 : 35%, 매트함수율 : 30%, 경화촉진제 : MgCl₂ 2%



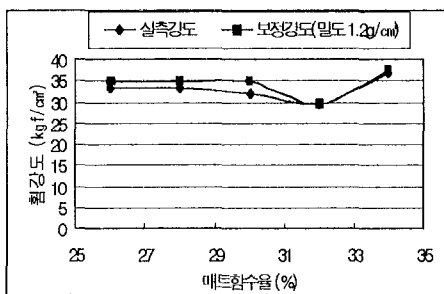
<그림 2-51> 목질원료 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 밀도 변화



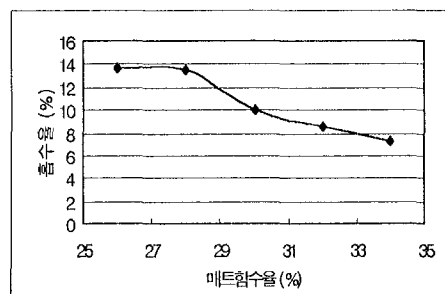
<그림 2-52> 목질원료 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 휨강도 변화

나. 목질·시멘트블럭의 매트함수율에 따른 물성 변화

목질·시멘트복합재의 제조에 있어서 수분량은 원료혼화성, 작업성 및 제품의 물성에 영향을 미치므로 중요한 요인이다. 그러나 여러가지 조건을 고려한 최적 수분량을 결정하기가 실제로 어렵다. 따라서 본 실험에서는 기존의 파티클보드, MDF 등의 목질보드 제조시에 적용하는 매트함수율 개념에 착안하여, 목질·시멘트블럭의 매트함수율을 계산, 조정함으로써, 목질원료 및 시멘트에 대한 일정한 수분량의 조절이 가능토록 하였다.



<그림 2-53> 목질·시멘트블럭의 매트함수율에 따른 휨강도 변화



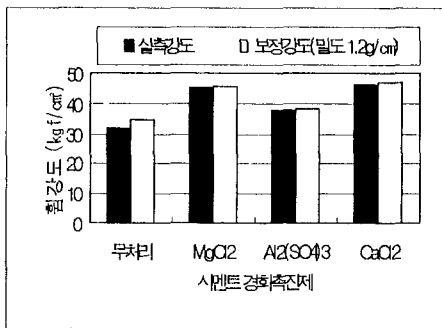
<그림 2-54> 목질·시멘트블럭의 매트함수율에 따른 흡수율 변화

[목질원료비율 : 35%, 경화촉진제 : 무첨가, 목표밀도 : 1.2g/cm³]

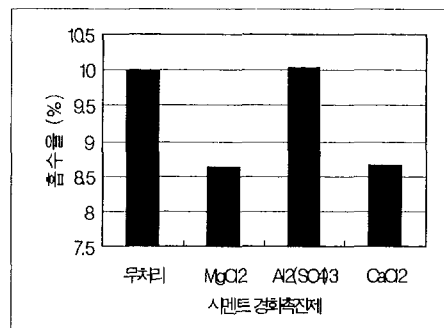
<그림 2-53~54>에서는 이와 같은 매트함수율의 변동에 따른 휨강도나 흡수율의 변화를 보여주고 있다. 블록의 휨강도는 일정한 경향을 보이지는 않았지만, 흡수율은 매트함수율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 매트함수율은 대체로 30% 수준이 작업성이나, 제품의 물성 면에서 적합할 것으로 여겨진다.

다. 목질·시멘트블럭의 경화촉진제 첨가효과

앞의 실험에서 밝혀진 목질원료의 적정 혼합률 및 적정 매트함수율을 토대로 하여, 경화촉진제의 종류별 첨가효과를 구명하였다. 제 2절에서 실시한 각종 폐목질 원료를 사용한 무기질복합체의 수화반응실험의 결과에서, $MgCl_2$ 및 $Al_2(SO_4)_3$ 는 파티클보드용 칩의 시멘트경화 촉진효과가 양호하였으므로 이를 선정하였다 아울러 과거의 목질·시멘트보드에 관한 연구에서 많이 사용되어온 $CaCl_2$ 를 추가하여, 시멘트 대비 2%를 첨가하였다.



<그림 2-55> 경화촉진제 종류별 목질·시멘트블럭의 휨강도



<그림 2-56> 경화촉진제 종류별 목질·시멘트블럭의 흡수율

[목질원료비율 : 35%, 매트함수율 : 30%, 목표밀도 : 1.2g/cm³]

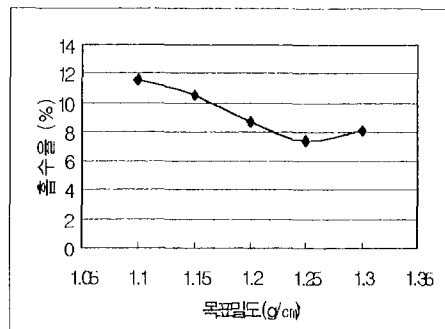
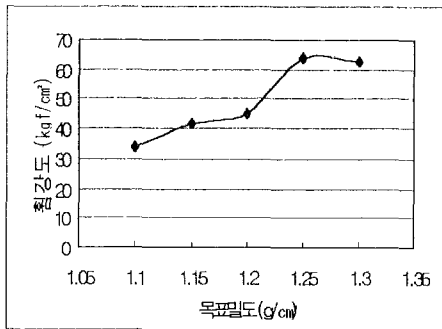
실험결과를 보면, 무처리 블록에 비하여 $MgCl_2$ 와 $CaCl_2$ 를 첨가한 목질·

시멘트블럭은 약 40%의 강도증가 효과를 나타내고 있으며, $Al_2(SO_4)_3$ 는 그 효과가 다소 떨어지고 있다<그림 2-18~19>. 또한 $MgCl_2$ 나 $CaCl_2$ 를 첨가함에 따라 흡수율을 크게 감소시키는 결과를 보여주고 있다. 처리효과 면에서는 $MgCl_2$ 가 가장 양호하지만, $CaCl_2$ 는 가격이 저렴하다는 면에서 유리하다.

라. 목질 · 시멘트블럭의 밀도에 따른 물성 변화

밀도는 목질 · 시멘트블럭을 제조하는데 있어서 가장 기본적인 물성요인 중의 하나이다. 따라서 본 실험에서는 앞의 실험에서 구명된 목질원료혼합물, 매트함수율 및 경화촉진제 등을 적용하여, 밀도 1.10~1.30g/cm³의 범위에서 블럭의 밀도를 변동시켰을 때, 이에 따른 휨강도 및 흡수율의 변화를 조사하였다. 경화촉진제로서는 $MgCl_2$ 를 2% 첨가시켰다.

실험결과에서, 블럭의 밀도증가에 따라 휨강도는 증가하며, 흡수율은 감소하는 경향을 보이고 있다<그림 2-20~21>. 그러나 밀도가 1.30g/cm³에 달하면 휨강도는 다소 감소하고, 흡수율은 다소 증가하는 현상을 나타냄으로서, 밀도 1.3g/cm³이 한계 수준임을 보여주고 있다.



<그림 2-57> 목질 · 시멘트블럭의 밀도에 따른 휨강도 변화

<그림 2-58> 목질 · 시멘트블럭의 밀도에 따른 흡수율 변화

【목질원료비율 : 35%, 매트함수율 : 30%, 경화촉진제 : $MgCl_2$ 2% 첨가】

제 2 항 목질·시멘트블럭의 물성 개선 및 내구성능 평가

본 연구에서 폐목재 이용의 새로운 대안으로서 국내 최초로 개발된 폐목질·시멘트 복합블럭은 기존의 시멘트블럭 또는 시멘트벽돌에 비하여 훨씬 가볍고, 내충격성이 월등하며, 강도 또한 충분할 것으로 판단하였다.

이에 본 항에서는 앞서의 실험결과를 토대로 목질·시멘트블럭의 원료혼합률 및 수분량 등의 공정요인을 최적화하고 목질원료의 크기 및 혼합률에 따른 물성변화를 조사하여, 목질·시멘트블럭의 제조공정을 개선하고자 하였다. 특히 블럭의 밀도변화와 물성과의 관계를 조사하여 경량블럭의 밀도범위를 예측코자 하였으며, 경량·내화성 등을 증대시키기 위한 방법으로 무기질 혼화제와의 복합블럭을 제조하였다. 아울러 내구성능을 평가하여 현장적용시의 문제점을 파악하였다.

목질·시멘트블럭 제조실험에서는 충분한 양생효과를 얻기 위하여 3주 양생 후 강도시험을 실시하였으며, 내후·내구시험 등은 6개월 경과후 실시하였다.

1. 실험재료

가. 목질원료

폐목재를 파쇄한 보드제조용 파티클(내충용, 표충용)을 사용하였으며, 목질원료의 평균함수율은 11%였다.

나. 시멘트

일반용 포틀랜드시멘트(type I, 한일시멘트)를 사용하였다.

다. 시멘트 경화촉진제

지금까지의 목질·시멘트 경화성 조사 및 블럭제조실험 결과에서 가장 양호한 효과를 나타낸 $MgCl_2$ 를 선정, 첨가하였다.

라. 무기질 혼화재

본 실험에서는 목질·시멘트블럭의 경량화, 내화성 향상 및 기능성 부여를 위하여, 제 2절의 목질·무기질 복합체의 경화성 조사에서도 검토되었던 펄라이트(perlite), 탄산칼슘, 황토 등의 무기질 재료를 혼용하였다.²⁾

2. 실험방법

가. 실험의 범위

목질·시멘트블럭의 제조실험은 <표 2-25>에서 보는 바와 같이, 목질 원료의 종류와 혼합률(실험 I), 무기질 혼화재의 종류와 구성비율(실험 II), 목질·시멘트 블럭의 밀도(실험 III) 등의 요인에 대한 실험으로 구분하여 단계적으로 실시하였다.

(1) 실험 I

본실험에서는 보다 다양한 폐목재 재활용을 위하여 입자크기가 다른 2 종류의 파티클을 전년도의 실험결과에서 도출된 적정 혼합비율 범위에서 사용하였다. coarse particle(또는 core particle)은 일반 파티클보드의 내충용으로 쓰여지는 거친파티클이며, fine particle(또는 face particle)은 표충용으로 쓰여지는 미세파티클이다.

(2) 실험 II

2) 무기질혼화재

- ① 펄라이트[상품명 : 파인셀, 제조원 : (주)삼손] : 화산암을 발포시킨 경량재로서 주로 건설현장에서 콘크리트혼합용 내화피복재 및 흙음·단열재로 사용하고 있다.
- ② 탄산칼슘[상품명 : 침강탄산칼슘(EBM), 제조원 : 인바이오틱스(주)] : 석회석을 소성, 유화, CO₂ 첨가 등의 과정을 거쳐 제조한 경질탄산칼슘으로서 국내에서는 대부분 제지용 충전재로 공급하고 있다.
- ③ 황토[제조원 : (주)원진] : 천연황토를 열처리하고 무기결합제가 일부 첨가된 제품으로서 주용도는 주택바닥용이다.

이 실험에서는 목질·시멘트블럭의 물성에 미치는 목질원료(coarse particle, fine particle)와 무기질 혼화재(펄라이트, 탄산칼슘, 황토)의 혼용효과를 검토하고자 하였다. 목질원료와 무기질혼화재의 혼합비율은 압축하기 전의 매트 체적과 블럭의 물성을 고려하였으며, 시멘트에 대한 이들 원료의 비율의 합계는 35%로 하였다.

(3) 실험 III

목질·시멘트블럭의 경량화를 위하여 다양한 밀도수준에서의 목질원료·펄라이트 혼용블럭의 물성변화를 분석하고자 하였으며, 예정밀도는 전년도의 연구결과를 토대로 가능한 낮은 밀도범위를 설정하였다.

<표 2-25> 목질·시멘트블럭 제조실험

실험구분	목질원료	무기질 혼화재	원료혼합률(시멘트 대비)		블럭 예정밀도
			목질원료	무기질혼화재	
실험 I	coarse particle	무첨가	25%	-	free
			30%		
	fine particle		35%		
			40%		
실험 II	coarse particle	펄라이트 탄산칼슘 황 토	35%	0%	free
			30%	5%	
	fine particle		25%	10%	
			20%	15%	
실험 III	coarse particle	펄라이트	20%	20%	0.95~1.25 g/cm ³

* 경화촉진제(MgCl₂) : 시멘트 대비 2% 첨가, 블럭의 매트함수율 : 30%

* 실험 I·II에서는 블럭 1개당 혼합원료의 투입량이 일정함.

나. 원료혼합비 및 수분량 결정

목질·시멘트보드 또는 블럭을 제조할 때 시멘트에 대한 목질원료의 비율을 변동시키면 이에 따라 함유수분량이 변화하게 되며, 이 때의 수분량은

작업성, 양생조건 및 제품의 물성에 영향을 미치게 된다. 그러므로 적정한 수분량의 결정이 매우 중요하며, 수분량에 따른 물성변이를 최소화시키면서, 제품설계를 정밀하게 하기 위해서는 원료혼합비 또는 수분비율의 정량화가 필요하다.

목질·시멘트보드 연구의 세계적 권위자인 미국의 Moslemi 등(1987)은 목질플레이크·시멘트보드의 물성에 미치는 목질/시멘트 비율의 영향에 대한 연구에서, 시멘트/목질 비율을 1.5~3.0(목질/시멘트 = 0.66~0.33)으로 하고, 이 때의 수분량은 독일의 Simatupang박사가 제안한 공식

$$\text{적정수분량}(\ell) = 0.35C + (0.30 - MC)W$$

[C : 시멘트(kg), MC : 목질원료함수율, W : 목질전건무게(kg)]

에 의하여 계산하였다. 또한 일본 북해도임산시험장의 堀江 등(1998)의 연구에서는 본 연구와 유사한 크기의 목질파티클 원료를 사용하였을 때 시멘트/목질 비율을 2.7(목질/시멘트 = 0.37)로 하고, 물/시멘트의 비율을 0.64로 하였다.

<표 2-26> 목질·시멘트블럭의 원료혼합률 및 수분비율

구분	Wo/C	C/Wo	Wo/(Wo+C)	Wa/C	MMC	
실험 I	25%	4.00	0.200	0.544	30%	
	30%	3.33	0.231	0.566		
	35%	2.86	0.259	0.587		
	40%	2.50	0.286	0.609		
구분	Wo/C : F/C	C/(Wo+F)	(Wo+F)/(Wo+F+C)	W/(W+F+C)	Wa/C	MMC
실험 II	35% : 0%	2.86	0.259	0.259	0.587	30%
	30% : 5%			0.222		
	25% : 10%			0.185		
	20% : 15%			0.148		
실험 III	20% : 20%	2.50	0.286	0.143	0.609	30%

* Wo : 목질원료, C : 시멘트, Wa : 수분, F : 무기질혼화재, MMC : 매트함수율

그러나 앞서 말한대로 이와 같은 방법은 정량적인 수분비율의 조절이 이루어지지 못하면서, 연구자에 따라 매우 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 전체 원료무게에 대한 수분량의 비율을 일정하게 하는 매트함수율(MMC)의 개념에 의해 수분량을 결정하였으며, 제1항의 실험결과에서는 MMC를 30%로 하였을 때 블럭 제조의 작업성이나 물성이 양호한 것으로 나타났기 때문에, 본 실험에서는 모든 실험조건에 동일한 MMC를 적용하여 원료혼합물 및 수분함량을 결정하였다<표 2-26>.

참고로 위에서 예를 든 외국 연구자들의 실험에서의 수분비율을 MMC로 추정 산출하면 Moslemi 등의 실험에서는 0.22~0.24이며, 堀江 등의 실험에서는 0.37이 된다.

다. 블럭제조

아래와 같은 방법으로 두께 50mm×가로 100mm×세로 200mm의 실험용 블럭을 제조하였으며, 목질·시멘트블럭의 용도 다양화를 위한 시제품으로서 두께 50mm×가로 200mm×세로 200mm의 정방형 블럭, 두께 50mm·각변의 길이 100mm인 정6각형 블럭의 표본을 제작하였다.

(1) 원료혼합

제 1항에서와 동일한 방법으로 목질, 시멘트, 물을 혼합하였으며, 경화 촉진제로서 염화마그네슘($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)을 시멘트 대비하여 2% 첨가하였다.

(2) 성형·압체

제 1항과 같은 방법으로 목질·시멘트 블럭의 매트를 성형 및 압체하였다.

(3) 양생

대형프레스로 동시에 24시간 압체한 다음 성형틀을 해체하여, 脫型된 블럭을 비닐백으로 밀봉하여 1주일간 양생하였다. 이어서 온도 20℃, 관계습

도 65%의 향온항습실에서 2주일간 개방 양생후 물성시험을 실시하였다. 따라서 강도시험전의 전체 양생기간은 3주일(21일)로 하였다.

다. 성능시험

(1) 일반 물성시험

KS F 4419(보·차도용 콘크리트 인터로킹 블록)의 시험방법에 의하여, 휨강도, 흡수율 등을 측정하였으며, KS의 시험항목 이외에 두께 50mm×가로 30mm×세로 30mm의 시편을 채취하여, 압축강도시험을 실시하였다.

(2) 야외내구시험

목질·시멘트블럭의 야외 사용시 내구성을 평가하기 위하여 실험제조한 블럭을 실제 야외 노천에 시공하거나, 건물 옥상에 설치하여 변화상태를 관찰하였으며, 상운수 중에 담그어 장기간 침지처리를 하였다<사진 2-18~19>. 단 이와 같은 시험은 장시간이 소요되므로, 제 1항에서 제조한 블럭을 사용하였다.

(3) 내부후시험

목질·시멘트블럭의 야외 보도블럭이나 조경용으로 사용할 경우 미생물에 의한 劣化 여부를 조사하기 위하여, 실험 I, II에서 제조한 목질·시멘트블럭에서 두께 50mm×가로 30mm×세로 30mm의 시편을 채취하여 부후시험을 실시하였다. 공시부후균은 갈색부후균인 부후개떡버섯(*Tyromyces palustris*)과 백색부후균인 구름버섯(*Trametes versicolor*)을 사용하였다. 부후균 접종후 3개월이 경과한 다음에 중량감소율 및 압축강도를 측정하였다.

(4) 흡습·흡수시험

목질·시멘트블럭을 흡습처리(25℃·85%의 향온항습기에서 1주일간 흡습) 또는 흡수처리(20℃ 물 속에 1주일간 침지)한 다음, 치수·무게변화율을 조사하고, 휨강도 및 압축강도 시험을 실시하였다.

(5) 흡수·건조 반복시험

KS F 2606(건축용 외벽 보드류의 내수성 시험방법)에 의하여, 목질·시멘트블럭의 흡수(20℃ 물 속에 48시간 침지) 및 건조(60℃ 건조기에서 48시간 건조) 조작을 반복한 다음에 휩강도 및 압축강도를 측정하였다.

(6) 동결·융해 반복시험

KS F 2604(건축용 외벽재료의 내동해성 시험방법)에 준하여, 간이방법으로 목질·시멘트블럭의 동결융해시험을 실시하였다. 우선 48시간 물 속에 침지시킨 다음에, -20℃에서 4시간 동결, 상온에서 2시간 융해의 조작을 반복하고, 휩강도 및 압축강도 시험을 실시하였다.

3. 연구결과

가. 목질원료의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 물성(실험 I)

목질원료의 종류(coarse particle, fine particle)와 시멘트대비 혼합률(Wo/C)에 따른 목질·시멘트블럭의 물성 변화는 <표 2-27> 및 <그림 2-59~62>과 같다.

이 실험에서 제조된 블럭은 원료의 혼합률은 다르지만, 블럭 1개당 혼합원료의 투입량은 일정하였다. 따라서 3주간 양생된 블럭의 밀도는 대체로 유사하지만, 파티클보드의 표층용 미세 파티클(fine particle)을 사용한 블럭의 밀도가 내층용 거친 파티클(coarse particle)을 사용한 블럭의 밀도보다 4.9% 정도 높았다. 그리고 원료혼합률이 증가할수록 약간 감소하는 경향을 보이고 있다 <그림 2-59>. 이는 미세 파티클을 사용한 블럭은 내부공극이 비교적 치밀하면서, 목질원료 상대적 혼합률이 증가함에 따라 블럭 1개당 목질원료의 실질량도 다소 증가하기 때문이라고 할 수 있다. 그러나 처리수준 간의 밀도 차이가 매우 작으므로 본 실험에서는 밀도의 영향이 상당히 소거된 상태에서

강도나 흡수율에 미치는 목질혼합물의 영향을 파악할 수 있다.

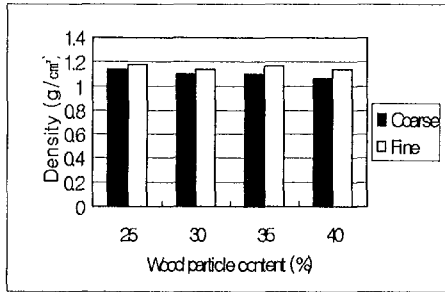
<표 2-27> 목질원료의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 물성(실험 1)

처리구분	목질원료		밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)		압축강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)
	종류	혼합률		실측강도	보정강도 (밀도1.2g/cm ³ 기준)		
C25	coarse	25%	1.129	34.8	37.0	59.5	15.9
C30	coarse	30%	1.100	47.9	52.3	68.8	20.0
C35	coarse	35%	1.100	50.6	55.2	76.1	19.3
C40	coarse	40%	1.063	51.7	58.4	87.9	21.1
평균	-	-	1.098	46.3	50.7	73.1	19.1
F25	fine	25%	1.176	31.1	31.7	96.6	16.5
F30	fine	30%	1.130	35.6	37.8	91.2	14.1
F35	fine	35%	1.159	48.1	49.8	118.6	13.1
F40	fine	40%	1.141	52.4	55.1	120.1	12.9
평균	-	-	1.152	41.8	43.6	106.6	14.2

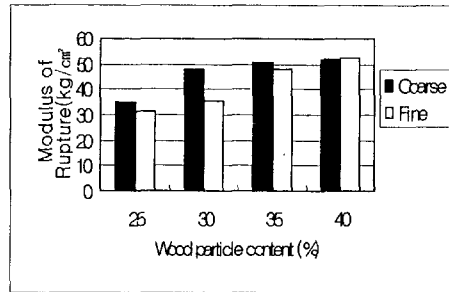
<그림 2-60~61>에서 보는 바와 같이, 목질원료 혼합률이 증가함에 따라 블럭의 휨강도 및 압축강도가 증가하였다. 이러한 경향은 휨강도는 미세 파티클을 사용하였을 때, 그리고 압축강도는 거친 파티클을 사용하였을 때 더욱 뚜렷하였다. 원료파티클의 크기별 평균강도를 비교하면, 미세 파티클을 사용한 블럭은 거친 파티클을 사용한 경우보다 휨강도가 평균 11% 정도 낮으나, 압축강도는 평균 46%가 높다. 또한 미세 파티클로 제조한 블럭의 흡수율은 목질원료 혼합률과 함께 증대하지만 거친 파티클을 사용한 경우에는 일정한 경향이 없었으며, 양자간에는 약 5%(거친 파티클 > 미세 파티클)의 흡수율 차이를 나타내고 있다<그림 2-62>.

한편 동일한 원료(coarse particle)로 제조한 블럭의 강도개선효과를 알기 위하여 밀도 1.2g/cm³를 기준으로 한 보정강도를 제 1항에서의 실험결과와 비교하였을 때, 휨강도가 평균적으로 40% 증가하였다. 그 이유는 강도측정시의 블럭 양생기간이 앞의 실험에서는 1주일이었다가 3주일로 길어졌기 때문

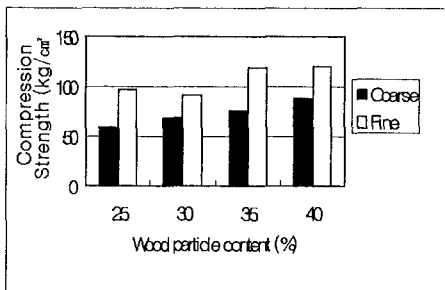
이기도 하지만, 본 실험에서는 공정 개선에 의해 더욱 적정한 원료혼합 및 수분조절이 이루어졌기 때문인 것으로 생각된다.



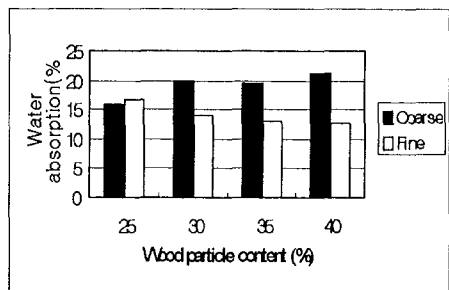
<그림 2-59> 목질원료의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 밀도(실험 1)



<그림 2-60> 목질원료의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 휨강도(실험 1)



<그림 2-61> 목질원료의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 압축강도(실험 1)



<그림 2-62> 목질원료의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 흡수율(실험 1)

나. 무기질 혼화제의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 물성(실험 II)

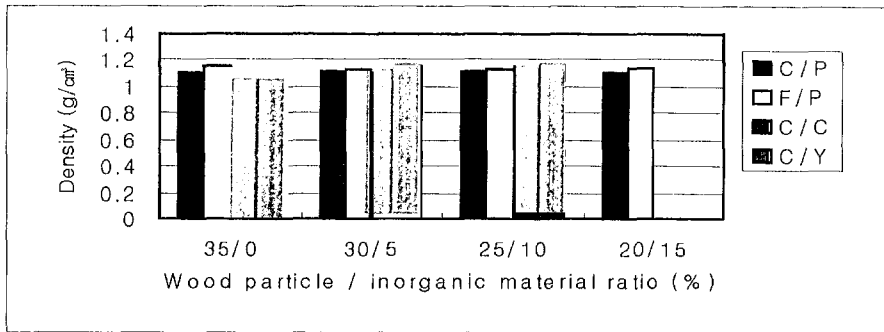
본 실험에 사용한 펠라이트, 탄산칼슘, 황토 등은 시멘트와의 혼화성이 우수하고, 경량·내화·단열성 및 인체친화적 기능성을 지닌 무기재료라고 할 수 있다. 이와 같은 무기질 재료와 목질원료와 혼용비율에 따른 블럭의

물성변화를 <표 2-28>과 <그림 2-63~66>에 나타냈다. 여기에서 목질원료/탄산칼슘 또는 목질원료/황토의 혼합비를 20%/15%로 할 경우에는 원료의 부피(성형량)가 작아지면서 수분량이 과다하여 성형이 곤란하였다.

<표 2-28> 무기질 혼화제의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 물성(실험 II)

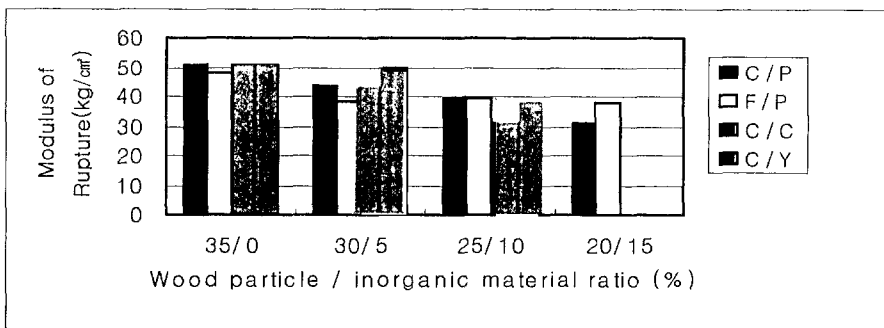
처리구분	목질원료		무기질혼화제		밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)
	종류	혼합률	종류	혼합률				
C35/P 0	coarse	35%	펠라이트	0%	1.100	50.6	76.1	19.3
C30/P 5	coarse	30%	펠라이트	5%	1.110	43.5	67.0	17.8
C25/P10	coarse	25%	펠라이트	10%	1.113	39.2	63.9	16.5
C20/P15	coarse	20%	펠라이트	15%	1.101	30.9	58.5	14.7
F35/P 0	fine	35%	펠라이트	0%	1.159	48.1	118.6	13.1
F30/P 5	fine	30%	펠라이트	5%	1.122	38.3	84.6	16.7
F25/P10	fine	25%	펠라이트	10%	1.127	39.6	86.3	13.6
F20/P15	fine	20%	펠라이트	15%	1.139	37.5	77.0	13.0
C35/C 0	coarse	35%	탄산칼슘	0%	1.100	50.6	118.6	19.3
C30/C 5	coarse	30%	탄산칼슘	5%	1.099	43.0	69.7	16.7
C25/C10	coarse	25%	탄산칼슘	10%	1.149	30.7	65.0	12.9
C35/Y 0	coarse	35%	황 토	0%	1.100	50.6	118.6	19.3
C30/Y 5	coarse	30%	황 토	5%	1.151	49.9	77.7	15.9
C25/Y10	coarse	25%	황 토	10%	1.174	38.1	64.1	12.5

性狀이 다른 무기질 혼화제를 혼합한 블럭의 물성을 비교하였을 때, 밀도는 무기질 종류에 관계없이 거의 일정한 수준을 유지하면서, 휨강도나 압축강도는 혼합비율에 따라 다른 결과를 보여주고 있으나, 흡수율은 대체로 펠라이트 > 탄산칼슘 > 황토 순으로 나타났다. 이와 같은 흡수율 시험결과는 동일한 무게비율로 무기질을 혼합할지라도 펠라이트와 같이 체적비가 큰 원료의 흡수량이 증대하기 때문이라고 할 수 있다.

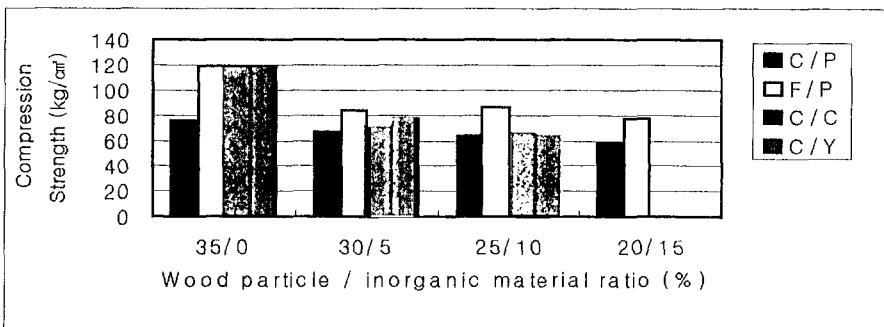


<그림 2-63> 무기질혼화재의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 밀도(실험 II)

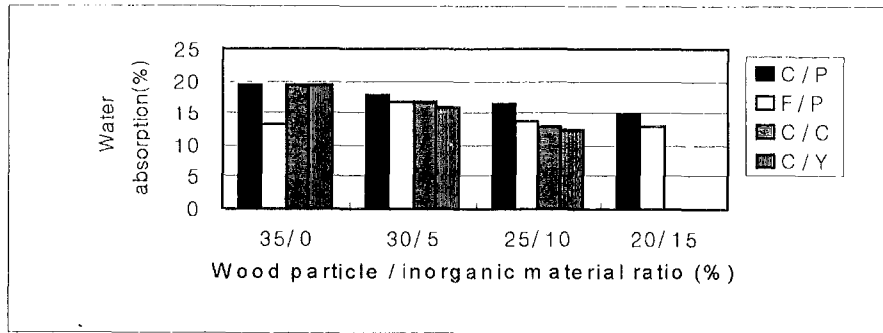
C / P = coarse particle / 펄라이트, F / P = fine particle / 펄라이트
 C / C = coarse particle / 탄산칼슘, C / Y = coarse particle / 황토



<그림 2-64> 무기질혼화재의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 휨강도(실험 II)



<그림 2-65> 무기질혼화재의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 압축강도(실험 II)



<그림 2-66> 무기질혼화재의 종류 및 혼합률에 따른 목질·시멘트블럭의 흡수율(실험 II)

또한 목질원료/무기질원료의 혼합비에 따른 물성변화를 보면, 전체적으로 무기질원료의 상대적 비율이 증가할수록 강도가 저하되면서 흡수율이 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 목질원료(coarse particle) 25% + 무기질혼화재 10%를 혼합 사용한 블럭의 휨강도를 목질원료만 35% 사용한 블럭과 비교하였을 때, 펠라이트나 탄산칼슘 사용시에 64~65% 정도 감소되었다.

그러나 무기질 혼합시에는 흡수율이 크게 감소되는 개선효과가 있으며, 동시에 경량·내화성 등의 개선효과가 기대되며, 내장용이나 조적용으로 사용할 경우에는 강도 면에서도 충분할 것으로 생각된다. 아울러 미세 파티클을 사용할 때는 무기질원료의 혼합비 증가에 따른 블럭의 물성 변화가 거친 파티클을 사용할 때보다 훨씬 작다는 사실을 알 수 있었다.

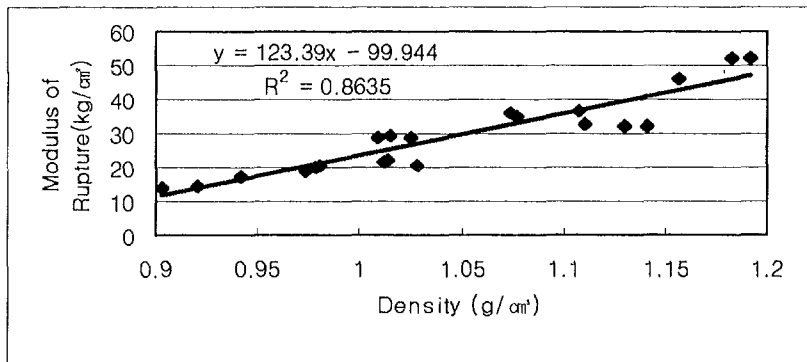
다. 경량 목질·시멘트블럭의 밀도와 물성의 관계(실험 III)

<그림 2-67~69>는 목질·시멘트블럭의 밀도와 휨강도·압축강도·흡수율 등과의 관계를 나타낸 것으로서, 이 때의 원료구성은 시멘트에 대하여 목질원료(coarse particle)와 펠라이트를 동일비율(20%/20%)로 혼합한 것이다.

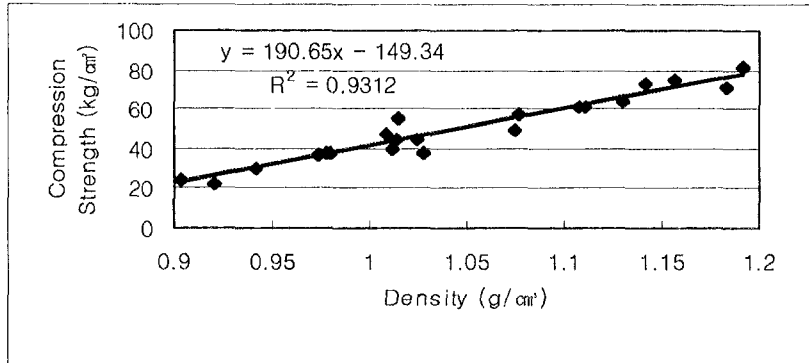
<표 2-29> 경량 목질·시멘트블럭의 밀도에 따른 물성(실험 III)

밀도구분 (g/cm ³)	목질원료		무기질혼화재		밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)
	종류	혼합률	종류	혼합률				
1.25CP	coarse	20%	펄라이트	20%	1.177	50.2	75.7	14.1
1.20CP	coarse	20%	펄라이트	20%	1.127	32.3	65.8	18.6
1.15CP	coarse	20%	펄라이트	20%	1.086	35.8	55.8	19.2
1.10CP	coarse	20%	펄라이트	20%	1.016	29.1	49.4	21.7
1.05CP	coarse	20%	펄라이트	20%	1.018	21.6	40.8	23.8
1.00CP	coarse	20%	펄라이트	20%	0.977	19.8	37.8	26.8
0.95CP	coarse	20%	펄라이트	20%	0.922	15.2	25.6	27.9

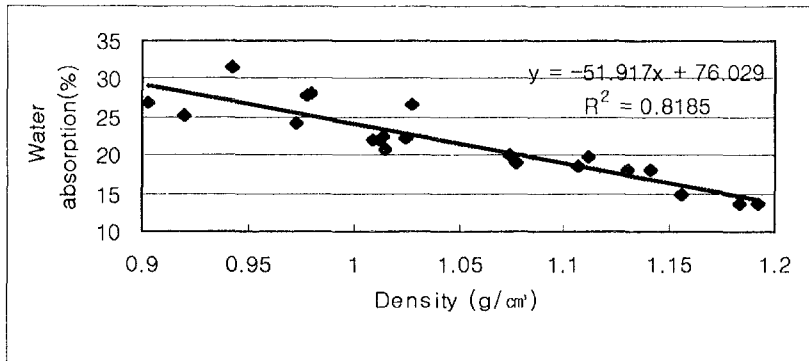
<그림 2-67~69>에서 보는 바와 같이 0.9~1.2g/cm³의 밀도범위에서 블럭의 밀도와 물리·기계적 성질은 매우 밀접한 상관관계를 갖는다. 밀도 증가에 따라 휨강도 및 압축강도는 직선적으로 증가하며, 흡수율은 직선적으로 감소하고 있다. 또한 밀도와 흡수율의 관계에 있어서는 밀도가 낮아질수록 흡수율의 편차가 다소 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 밀도와 물성과의 관계를 이용하여 밀도 조절에 의해 요구성능에 적합한 복합 블럭을 제조할 수 있을 것이다.



<그림 2-67> 목질·시멘트블럭의 밀도와 휨강도의 관계(실험 III)



<그림 2-68> 목질·시멘트블럭의 밀도와 압축강도의 관계(실험 III)



<그림 2-69> 목질·시멘트블럭의 밀도와 흡수율의 관계(실험 III)

라. 목질·시멘트블럭의 야외내구성

본 연구에서 개발된 목질·시멘트블럭의 내구성능을 평가하기 위하여, 제 1항의 실험에서 제조한 블럭으로 장기간의 침수처리에 의한 흡수율 및 치수변화를 조사하였으며, 동시에 야외에 지중 매설하거나 건물 옥상 등에 장기간 방치시켜 놓고, 외관 변화상태를 관찰하였다.

9개월간 침수처리된 블럭은 흡수량이 초기보다 약 4배 정도 증가되었으나, 치수변화나 변색은 거의 없었으며, 목질원료 혼합률의 증가에 따라 다소 흡수율이 증가되는 현상을 나타냈다.

<표 2-30> 장기(9개월) 침수처리후 목질·시멘트블럭의 흡수율

실험구분	처리조건	침수시간경과에 따른 흡수율 (%)	
		24시간후	9개월후
① 목질원료혼합물	20%(40%)	11.4	38.6
	25%(45%)	10.9	38.8
	30%(50%)	18.7	43.9
	35%(55%)	16.0	43.0
	40%(60%)	18.3	48.9
② 블럭밀도	1.10g/cm ³	11.5	36.1
	1.15g/cm ³	10.5	43.1
	1.25g/cm ³	7.4	32.7
	1.30g/cm ³	8.1	35.3

- * 본 실험은 제1항의 실험 ①, ②에서 제조한 블럭을 사용한 것임.
- * 실험 ① : ()내는 시멘트대비 흡수율, 경화촉진제 무첨가.
- * 실험 ② : 목질원료혼합물 35%, 매트흡수율 30%, 경화촉진제 MgCl₂ 2%.

<표 2-31> 장기(24개월) 야외폭로후 목질·시멘트블럭의 압축강도

설치장소	실내	옥상	地中
압축강도(kgf/cm ²)	41.10 (38)	42.33 (39)	44.61 (46)

- * 압축강도는 제1항의 실험 ①, ②, ③ 중에서 동일조건으로 제조한 블럭을 6개씩 임의 추출하여 시험한 평균치임.
- * ()는 wet시험용으로 침수 후, 재건조하여 강도 시험한 것임.

또한 야외에 설치된 블럭은 24개월 경과된 이후에도 부후되지 않고 건전하였으나, 연삭(sanding)된 블럭표면의 목질부 재색이 변색되었다<사진 2-18~19>. 그러나 어느 경우에도 장기간 야외폭로처리된 블럭의 내부는 <사진 2-20~21>과 같이 초기와 같은 건전한 상태를 유지하고 있으며, 압축강도 또한 전혀 저하되지 않았다<표 2-32>. 따라서 내구성 면에서도 문제가 없으며, 사용 후에도 연삭 및 표면도장을 하게 되면 원상태를 그대로 유지하게 된다. 다만 장기간 침수처리시에는 경화제의 침출에 의한 것으로 여겨지는 옅은 피막이 수면 위에 형성되지만, 이로 인한 환경유해 문제는 없을 것으로 생각된다.

마. 목질·시멘트블럭의 내부후성

갈색부후균(*Tyromyces palustris*) 및 백색부후균(*Trametes versicolor*)을 목질·시멘트블럭에 접종후 3개월간 부후시킨 상태에서 중량감소율 및 압축강도를 측정 한 결과는 <표 2-33>과 같다.

<표 2-33> 부후처리된 목질·시멘트블럭의 중량감소율 및 압축강도

실험 구분	처리구분	중량감소율 (%)			압축강도 (kgf/cm ²)	
		백색부후균	갈색부후균	무처리	백색부후균	갈색부후균
실험 I	C25	0	0	64.3	66.5(103.4)	66.6(103.5)
	C30	0	0	55.7	51.4 (92.4)	64.2(115.3)
	C35	0	0	81.6	67.5 (82.7)	71.1 (87.2)
	C40	0	0	87.6	73.4 (83.8)	76.6 (87.5)
	평균	-	-	72.3	64.7 (90.6)	69.6 (98.4)
	F25	0	0	89.5	83.7 (93.5)	76.7 (85.7)
	F30	0	0	84.0	87.2(103.8)	77.7 (92.6)
	F35	0	0	104.1	113.3(108.9)	97.1(103.3)
	F40	0	0	105.7	107.6(107.1)	112.8(106.7)
	평균	-	-	95.8	97.9(102.0)	91.1 (94.6)
실험 II	C35/P 0	0	0	81.6	67.5 (94.3)	71.1 (87.2)
	C30/P 5	0	0	69.4	72.3(104.2)	60.6 (87.4)
	C25/P10	0	0	65.9	55.0 (83.4)	56.0 (84.9)
	C20/P15	0	0	49.2	54.8(111.3)	47.0 (95.4)
	평균	-	-	66.5	62.4 (95.4)	58.7 (88.7)
	F35/P 0	0	0	104.1	113.3(108.9)	97.1 (93.3)
	F30/P 5	0	0	68.5	73.4(107.1)	72.5(105.8)
	F25/P10	0	0	87.3	68.2 (78.2)	72.9 (83.5)
	F20/P15	0	0	59.9	61.3(102.4)	74.8(125.0)
	평균	-	-	79.9	79.1 (99.1)	79.3(101.9)

* 대조시험편의 중량감소율 { 소나무 - 백색부후균 : 9.80%, 갈색부후균 : 16.13%
백합나무 - 백색부후균 : 48.19%, 갈색부후균 - 25.24%

* () : 부후처리후 압축강도 유지율(%)

중량감소율에 있어서는 부후처리에 의해서 전혀 중량 감소가 없었으며, 부후처리 후에는 생장된 부후균사의 무게로 인하여 처리전의 건전시험편보다 오히려 중량이 다소 증가되었다. 이에 비하여 대조시험용으로 사용한 목재는 상당한 부후가 진전되었다.

부후처리후의 압축강도 시험에서는, 강도 감소가 거의 없었으며, 부후처리 전후의 차이보다 시험편간 편차가 크게 나타나며, 오히려 강도가 증가된 경우도 있었다. 전체적으로는 일정한 경향이 없었으나, 다만 실험 I, II에서의 공통적인 현상은 미세 파티클(F)을 사용한 목질·시멘트블럭은 부후처리 후 압축강도 감소가 거의 없었으며 오히려 다소 증가된 반면, 거친 파티클(C)을 사용한 목질·시멘트블럭은 평균 약 7% 정도의 강도 감소를 나타냈다.

바. 목질·시멘트블럭의 내수성 및 내동해성

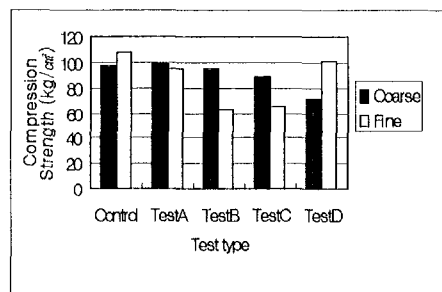
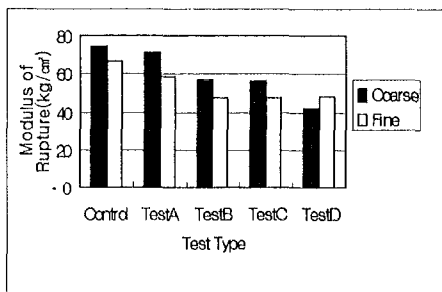
이상의 결과로부터 목질원료의 적정 수준으로 판단되는 목질원료 혼합률 35%로 제조한 2종류의 목질·시멘트블럭(C35 : coarse particle 35%, F35 : fine particle 35%)의 내수성 및 내동해성을 평가하기 위하여, 흡습·흡수시험, 흡수·건조 반복시험 및 동결·융해 반복시험 등의 열화처리를 실시하였으며, 그 결과는 <표 2-34> 및 <그림 2-70~76>과 같다.

흡습처리(시험 A)에 의해서 목질·시멘트블럭의 강도나 흡수율은 거의 변화하지 않으나, 흡수처리(시험 B)에서는 강도적 성질이 저하되고, 흡수율은 약 20~25%, 두께변화율은 0.6~1.0%에 달한다. 동결·융해반복처리(시험 C)에서는 흡수처리보다 강도저하가 다소 크지만, 두께변화율은 다소 작은 편이다. 흡수·건조반복처리(시험 D)의 경우에는, 강도저하율이 상대적으로 크게 나타난다. 한편 원료파티클의 입자크기에 따라서는 별다른 차이가 없었으나, 거친 파티클(C35) 사용시의 흡수율 및 두께변화율이 미세 파티클(F35)을 사용할 때보다 다소 큰 편이었다.

<표 2-34> 각종 열화처리에 의한 목질·시멘트블럭의 물성 변화(실험 I 중에서)

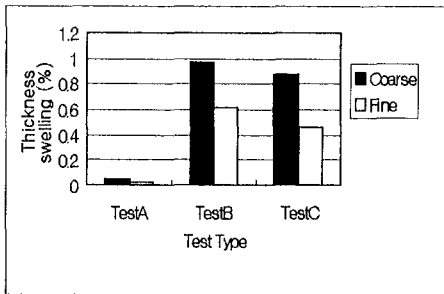
블럭 종류	시험구분	휨강도 (kgf/cm ²)	압축강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두께변화율 (%)
C35	무처리	74.53	98.00	-	-
	흡습시험(A)	71.66	98.15	0.43	0.05
	흡수시험(B)	56.64	94.51	25.16	0.97
	동결·융해시험(C)	56.14	89.26	26.61	0.88
	흡수·건조시험(D)	42.17	70.85	21.17	0.43
	흡수시 건조시			-2.38	-0.34
F35	무처리	66.82	107.70	-	-
	흡습시험(A)	58.98	95.51	0.38	0.02
	흡수시험(B)	47.53	63.10	21.21	0.61
	동결·융해시험(C)	47.55	65.49	27.44	0.45
	흡수·건조시험(D)	48.60	100.40	13.54	0.12
	흡수시 건조시			-6.73	-0.40

- * 무처리 : 기건상태
- * 흡습시험(Test A) : 25℃ · 85%RH의 항온기에서 10일간 흡습처리
- * 흡수시험(Test B) : 20℃의 물 속에 10일간 침지
- * 동결·융해반복시험(Test C) : 상온수 · 48시간 침지후,
-20℃ · 4시간 ↔ 20℃ 물 · 2시간 (10Cycle)
- * 흡수·건조반복시험(Test D) : 20℃ 물 · 48시간 침지 ↔ 60℃ · 48시간 (5Cycle)

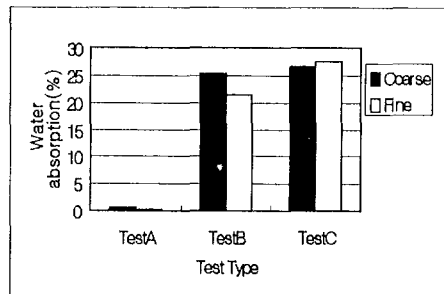


<그림 2-70> 각종 열화처리에 의한 목질·시멘트블럭의 휨강도 변화

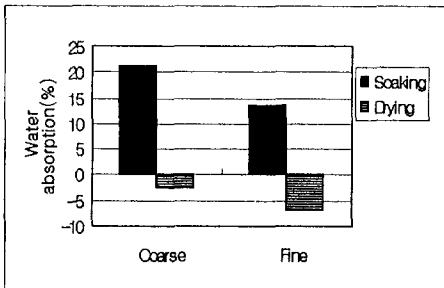
<그림 2-71> 각종 열화처리에 의한 목질·시멘트블럭의 압축강도 변화



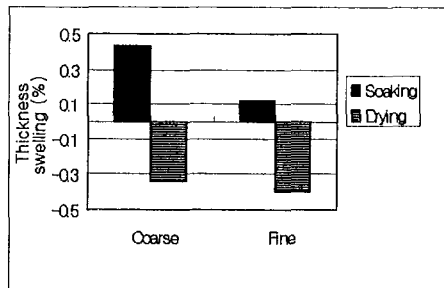
<그림 2-72> 각종 열화처리에 의한 목질·시멘트블럭의 흡수율 비교



<그림 2-73> 각종 열화처리에 의한 목질·시멘트블럭의 두께변화율 비교



<그림 2-74> 흡수·건조반복처리에 의한 목질·시멘트블럭의 흡수율 비교



<그림 2-75> 흡수·건조반복처리에 의한 목질·시멘트블럭의 두께변화율 비교

제 4 항 폐목질·시멘트블럭의 공장제조실연시험

본 연구과제에서 개발된 폐목질·시멘트블럭의 현장적용성, 설비적합성 및 공정상의 문제점 등을 검토하기 위한 공장실연시험을 실시하였다<사진 2-23>.

1. 실험공장

실연시험에 협력해 준 업체는 경기도 의정부시 장암동에 위치한 (주)한국 호안산업으로, 콘크리트 블럭, 인터로킹 블럭 등의 시멘트 가공제품을 전문생산하는 KS 인증업체이다. 이 공장이 보유한 건축용 콘크리트 블럭(벽돌) 제조설비를 사용하였으며, 同社의 이진효 부사장, 양재관 공장장을 비롯한 현장 작업자들의 적극적인 협조를 받았다.

2. 실험방법

목질·시멘트블럭의 사용원료는 실험실에서와 같은 폐목재를 분쇄한 파티클보드용 원료를 사용하였다. 공장실험의 조건은 본 연구결과로부터 얻어진 표준조건을 적용하였다<표 2-35>. 단, 표준적인 혼합원료 투입량은 제품밀도 1.25g/cm³을 기준으로 계산하였지만, 실제 투입량은 공장설비구조에 따라 조절되었으며, 혼합원료중의 수분량(메트함수율)은 30%를 기준으로 하였지만, 실제 수분량은 현장 작업성에 따라 조절하였다. 원료가 충분히 혼합 성형되도록 수분을 추가로 첨가하였으며, 실제 수분량은 33~35%가 적합할 것으로 판단되었다. 블럭의 성형틀은 1組에 32개가 유압진동식 프레스에 의해 동시에 성형 및 압제되며, 진동 및 가압시간은 성형상태를 보면서 3~5분간으로 조절하였다. 그밖의 작업방법은 현장에서 협의해 가면서 수정 및 조절하였다.

<표 2-35> 폐목질·시멘트블럭 공장실험조건

시멘트	목질원료종류	목질원료혼합률	제품치수	경화촉진제
보통시멘트 (type I)	Coarse	30%(C30)	가로 190mm 세로 90mm 높이 57mm	공업용 MgCl ₂ (시멘트 대비 2% 첨가)
	particle	35%(C35)		
	Fine particle	30%(F30) 35%(F35)		

* 제품치수는 KS F 4004(콘크리트 벽돌)의 기준에 의함.

1차 성형과정에서 성형상태가 불량하거나, 성형량이 부족하거나, 또는 탈형 후 부스러진 경우에는 혼합원료를 재투입하여 2차 성형을 하였으며, 재투입 시에는 충격 가압 및 진동을 반복해서 가하였다.

성형된 블럭의 상태에 있어서, 미세 파티클(F30, F35)을 혼합한 블럭은 표면이 매끈하고, 충분히 충전되지만, 거친 파티클(C30, C35)을 혼합할 때는 혼합의 균일성이 다소 떨어지며, 표면이 거칠고, 압체몰드의 틈새에 파티클이 끼이는 등 작업성이 떨어졌다. 탈형 후에는 압축된 목질원료가 회복되는 현상에 의해, 블럭의 높이가 콘크리트 블럭의 기준 높이(190mm)보다, 약 5~10 mm가 높아지며, 이와 같은 현상은 미세 파티클보다는 거친 파티클에서 그리고 목질원료 혼합률이 높을수록 더욱 크게 나타났다.

따라서 현장작업성(혼합성, 성형성), 표면성, 압체후 팽창성, 다른 골재와의 혼합성 등의 면에서 거친 파티클보다는 미세 파티클을 사용하는 쪽이 유리하다고 할 수 있었다.

3. 공장실연제품의 물성

공장실연시험에서 제조한 목질·시멘트블럭의 물성을 실험실에서 제조한 블럭과 비교, 측정하였으며, 동시에 同공장에서 동일설비로 생산한 콘크리트

블럭의 측정치와 대비하였다<표 2-36>, <그림 2-76~79>. 단, 실대블럭의 치수 그대로 측정하는 압축강도시험에서는 실험실에서 제조한 목질·시멘트블럭과 콘크리트 블럭은 임업연구원이 보유한 강도시험기의 최대시험하중을 초과하기 때문에 측정이 불가능하였다.

실험실에서 제조한 목질·시멘트블럭에 대비하여, 공장에서 실연 제조한 목질·시멘트블럭의 밀도는 70~80%, 흡수율은 2~3배 수준이며, 강도는 현저히 떨어졌다. 이와 같이 공장실연제품의 물성이 저하된 결정적인 요인은, 콘크리트 제품을 생산하는 공장설비의 구조가 목질원료를 사용하는 목질·시멘트블럭의 특성과 일치되지 않기 때문이라고 할 수 있다. 즉 목재는 가압후 즉시 압력을 제거하면 팽창 회복되는 성질을 지니고 있어, 목질원료가 갖는 응력이 완화될 때까지 압채상태를 유지해야만 한다. 또한 밀도가 낮고 부피가 큰 목질원료를 투입할 때는 성형틀의 높이를 더욱 높이지 않으면 원료투입량의 한계가 있다.

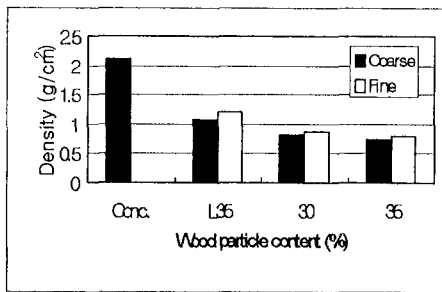
이와 같이 공장실연작업에서는 실제 원료투입량이 적으며, 밀도가 낮아지기 때문에 물성이 저하된다고 할 수 있다. 본 연구 1~2항의 실험결과에서도 밝혀졌듯이, 블럭의 밀도는 모든 물성의 결정요인이 되고 있다. 따라서 원료 성형틀의 높이를 증가시키고, 압채후 클램프상태에서 1일 정도만 지속시킬 수 있도록 공장설비구조를 일부만 변경시키면, 실험실에서 제조한 목질·시멘트블럭 수준의 물성을 갖는 제품 생산이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

그리고 <표 2-36>에서도 알 수 있듯이, 실험실에서 제조한 목질·시멘트블럭은 콘크리트블럭보다 무게가 1/2 정도로 가벼우면서, 3배 정도의 높은 휨강도를 보여주고 있다.

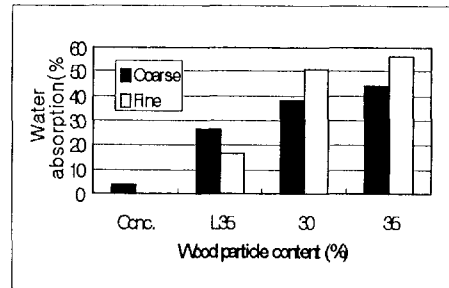
한편 본 연구의 추진과정에서 기존의 콘크리트제품 공장의 설비를 그대로 활용하여, 목질·시멘트블럭을 물성의 구애를 받지 않고 소하천의 湖岸블럭 등 토목재료로 이용할 수 있는 방안을 새롭게 착안하였으며, 향후 이에 대한 연구검토를 추진할 계획이다.

<표 2-36> 폐목질·시멘트블럭 공장실연제품의 물성

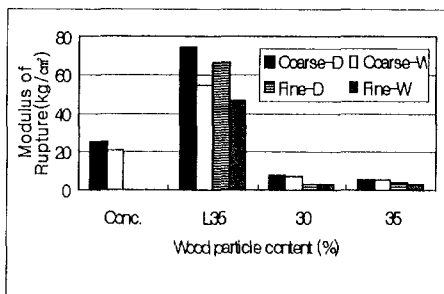
제조구분	치리구분	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)		압축강도 (kgf/cm ²)
				Dry	Wet	Wet
실험실제조	LC35	1.07	26.21	74.53	54.94	-
목질·시멘트블럭	LF35	1.20	16.47	66.82	46.50	-
공장제조	C30	0.82	38.25	7.64	7.11	19.55
	C35	0.75	43.78	5.88	5.88	13.66
	목질·시멘트블럭	F30	0.86	50.86	3.56	3.14
	F35	0.79	56.55	4.24	3.26	5.35
콘크리트 블럭		2.12	-	25.55	20.57	-



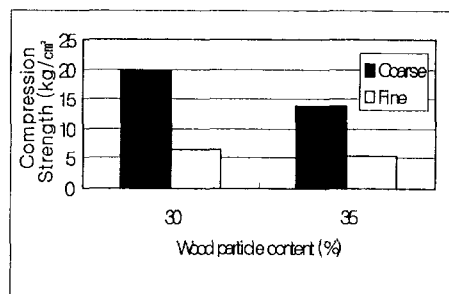
<그림 6-76> 폐목질·시멘트블럭 공장 실연제품의 밀도



<그림 6-77> 폐목질·시멘트블럭 공장 실연제품의 흡수율



<그림 6-78> 폐목질·시멘트블럭 공장 실연제품의 휨강도



<그림 6-79> 폐목질·시멘트블럭 공장 실연제품의 압축강도

제 5 항 폐목질·시멘트블럭의 경제성

1. 목질계 생활폐기물 발생량 및 재활용실태

우리나라에서는 목질폐기물이 가공산업, 건설, 물류 등의 현장에서 연간 1,100만m³가 발생하는 것으로 추정되며, 이는 국내 총 목재수급량의 40%에 달한다. 그리고 폐목재류의 약 85%는 건설 및 가공산업에서 발생되고 있다. 이와 같이 대량으로 배출되는 목질폐기물 중에서 목질보드, 톱밥 등으로 재활용되는 양은 23.3%에 불과하며, 나머지는 그 밖의 폐기물과 함께 소각되거나 매립되고 있는 실정이다.

임업연구원에서 발표한 「폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안」 연구에서 폐목재의 재활용 촉진을 위한 제도 개선의 일환으로 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률시행령」 개정을 통해 목질계 생활폐기물을 지정부산물로 지정하여 2000년 1월부터 배출되는 건축폐목재의 30%를 의무적으로 파티클보드 및 MDF 제조용, 연료용, 사료용으로 재활용하여야만 한다는 의무규정을 명시하고 있다.

목질·시멘트블럭 제조는 목질계 생활폐기물 자원의 활용을 극대화시킬 수 있는 자원의 이용으로 향후 법적 후속 조치 즉, 파티클보드 생산업체 및 재생칩 가공업체가 폐기물 중간처리업체에 등록되어 목질폐기물을 처리할 수 있는 제도적 장치가 마련된다면 목질·시멘트블럭에 사용되는 목질 원료를 쉽게 확보할 수 있을 것으로 본다. 현재는 폐가구류 등 가연성 폐기물의 직매립이 금지되기 때문에 폐목재의 매립을 대체할 수 있는 재활용 용도개발 및 촉진방안이 시급히 요구되고 있고, 이들 목질폐기물은 건축 및 토목용의 목질·시멘트 블럭의 원료로 이용될 수 있을 것으로 보여진다.

2. 폐목재의 경제적 가치

목질폐기물의 건축자재 이용은 자원의 축적과 함께 목재를 구입하는 데 들어가는 막대한 외화절감 차원에서 수입원목을 대체할 폐목재 자원이 원자재 원료로서 갖는 경제적 가치가 어느 정도인지를 파악하기 위해 국내 원목 생산 금액과 비교해 본 바는 <표 2-37>과 같았다.

우리나라는 1999년 한해동안 1,694천m³의 원목을 생산하여 1,091억원의 생산액을 나타내고 있는데, 이는 국내 목재 총수급량의 6%에 불과하며 국내 폐목재 발생액의 불과 1/6.5에 지나지 않는 작은 금액이다.

연간 폐목재 발생량은 국내 목재 총수급량 1조8천억 규모의 40%에 달하는 7,085억원에 이르는 막대한 국내자원이다. 실제로 2000년도에 수입된 칩 물량만 해도 1,084천톤에 83,501천\$의 수입액을 지출한 것으로 나타나고 있는데, 이러한 외화손실을 줄여나가기 위해서는 무엇보다 폐목재의 재활용이 촉진되어야만 할 것이다.

<표 2-37> 국내 목재수급량 및 폐목재 발생량

목재 총수급량	원목		폐목재	
	수량	금액	수량	금액
27,816천m ³ (17,914억원)	1,694천m ³	1,091억원	11,001천m ³	7,085억원

- 1) 자료 : 산림청, 2000년 임산물생산통계
- 2) 생산단가는 국내원목 생산단가(64,404원/m³)를 적용

3. 목질·시멘트블럭 제조원가

가. 목질원료 비용

목질·시멘트블럭 원료인 폐목재 재생칩을 생산하는 업체는 국내에 한

솔포럼, 동화기업, 성장기업 등 몇 업체에 지나지 않으며 이들 업체에서 생산하는 재활용 칩은 양질의 폐목재를 수집하여 파티클보드 및 MDF 생산에 이용되고 있다. 그러나 뿔물질이 포함된 저급의 건설폐목재가 건축자재로 재활용될 수 있다면 경제적, 환경적 가치는 매우 크다고 할 수 있다.

목질 칩의 가격은 국내 재활용업체에서 건설폐재 1톤을 수집하는 데 15,000원의 수집비용이 소요되며 제조원가의 37.5%를 점하고 있다. 이를 다시 기계조작비 28.6%, chipping 손실 1.2%, 전력 및 기계·시설 감가상각비 17.0%의 고정비가 투입되어 33,703원의 직접경비가 발생하게 되는데 칩 제조원가의 84.3%에 달한다. 간접비는 일반관리, 복리후생, 영업의 비용 등으로 15.7%인 6,254원이 소요되며 기업이윤에 대한 잉여금은 목질·시멘트블럭을 제조업체가 목질원료를 자체 조달할 경우이므로 여기에서는 배제하였다.

<표 2-38> 목질폐기물을 이용한 칩 제조가격 (단위 : 원/톤)

구 분	제조원가	직접비					간접비
		계	원료수집비	가공비용	칩핑손실	전력· 감가상각비	
금액	39,957	33,703	15,000	11,429	476	6,798	6,254
(%)	100	84.3	(37.5)	(28.6)	(1.2)	(17.0)	15.7

*자료 : 임업연구원 연구자료 제159호. 폐목재 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안.

나. 목질·시멘트블럭 제조 원가

블럭 제조업체에 목질 칩을 공급할 경우에는 지역에 따라 운송비용이 매우 다르기 때문에 수송비용을 배제한 순수 칩 가격만을 가지고 산출하였다. 목질·시멘트블럭은 기존의 블럭공장 시설을 그대로 적용하여 常用化하였을 때 변동비 중의 원재료비만을 적용하였으며, 고정비는 기존 시멘트블럭 제조비용을 일괄 적용하였다.

목질·시멘트블럭 1개를 제조하는데 투입되는 원재료비는 공장 출하가격 대비 76.7%인 96.2원이 투입되어 시멘트블럭의 원재료비 대비 5배에 이른다. 목질·시멘트블럭 제조에 있어 시멘트가 차지하는 투입비는 59원으로 가장 높았으며 폐목질 칩원료 10.2원, 경화제 3.1원이 투입되었다. 고정비의 전기·수도·유류 등의 고정비를 포함한 부대비용은 12.9원으로 출하가격의 12.6%에 해당되며, 영업비용 등 제비용을 포함한 기업이윤 등을 16.6%를 적용하였을 때 공장출하가격은 102.2원으로 산출되며 시멘트블럭 가격대비 2.7배를 나타냈다. 이와 같은 가격형성은 고정비의 원재료비만을 비교 분석한 것으로 본 제품의 상용화를 이루기 위해서는 현재의 일반 시멘트블럭 제조시스템에서 기계 및 시설부문의 초기투자비용이 요구된다. 그러나 목질·시멘트블럭은 일반 시멘트블럭에 비해 현저한 무게 감소와 표면 샌딩만으로도 목재의 특징을 살릴 수 있다는 장점으로 일반 시멘트에 비해 물류비 절감과 소비자 선호도가 매우 높을 것으로 전망된다.

<표 2-39> 목질·시멘트블럭 원가분석

(단위: 원/개)

구 분	시멘트블럭		목질·시멘트블럭	
	투입비 (원)	구성비 (%)	투입비 (원)	구성비 (%)
목질(칩)원료	-		10.2	
모래(석분)	9.3		-	
경 화 제	0.2		3.1	
시 멘 트	9.6		59.0	
소 계	19.1	49.8	72.3	70.8
전기·수도·유류 등 부대비용 총괄	12.9	33.5	12.9	12.6
영업비용+기업이윤 (제비용 포함)	6.4	16.7	17.0	16.6
출하가격	38.4	100.0	102.2	100.0

* 폐목질·시멘트블럭의 공장제조 원단위 산출 근거

① 표준 제조조건

- 예정밀도 : 1.2g/cm³ 기준
- 목질원료 : 목질파티클을 시멘트 대비 35%(전건무게 비율) 혼합
- 경화제 : 공업용 염화칼슘을 시멘트 대비 2%(전건무게 비율) 첨가

② 블럭(5.7×9×19cm) 1개당 원료 투입량

시멘트 : 644g, 파티클(함수율 12%) : 256g, 경화제 : 13g, 물 : 347g

4. 목질·시멘트블럭의 시장성

최근 주택경기의 호조로 신축공사가 활발히 진행되면서 외벽재 등으로 사용되는 점토벽돌 등은 공급에 비해 수요가 크게 부족한 실정이다. IMF이후 점토 벽돌공장의 가동율이 60%까지 떨어졌던 점을 감안하면, 벽돌수요는 점차 증가추세를 보일 것으로 전망된다. 점토벽돌조합에 의하면 전년도에 비해 점토벽돌 생산량이 17%가 증가하였으며, 이것은 그린벨트 해제 및 건축규제 완화에 따른 주택의 신·증축이 크게 증가했기 때문이며, 지방자치단체에서 보도블럭과 조경용 등으로의 사용이 크게 늘어났기 때문으로 볼 수 있다.

시멘트블럭과 같은 건축자재 또한 국내에서 골재를 채취·공급하는데는 강모래 채취가 점차 어려워지면서 바다모래 사용비중이 점차 증가 추세에 있고, 특히 자갈의 경우 석산에서 나오는 깬자갈의 비중이 95%대에 이르고 있지만 환경관련법과 산지관리법 등에서 법적 규제를 강화하고 있어 지속적인 골재확보에 많은 어려움을 더하고 있다.

이러한 시점에서 목질·시멘트블럭과 같은 인체 및 환경친화적인 특성을 지닌 새로운 제품의 상용화는 파티클보드나 MDF 등의 원료로 사용이 곤란한 건설폐목재(약 570만m³)를 안정적인 원재료로 활용할 수 있다는 점과 장기적인 골재 수급대책의 하나로서 의미가 있다고 할 수 있다.

제 6 항 결 론

(1) 기존의 용도에서 재활용되지 못하고 있는 저질의 목질폐기물을 건설자재로 이용할 수 있는 새로운 방안으로서 목질·시멘트블럭을 개발하였으며, 본 연구에서 개발한 목질·시멘트블럭은 폐목질원료의 공급, 적용설비 및 수요측면에서 실용화 가능성이 높을 것으로 여겨진다.

(2) KS F 4419(보차도용 콘크리트 인터로킹 블럭)의 휨강도 기준을 월등히 상회할 수 있는 폐목질·시멘트블럭의 제조가 가능하며, 특히 목질·시멘트블럭의 내충격성은 기존의 시멘트블럭과 결정적으로 대비되는 우수한 특성이라고 할 수 있으며, 내장재로 충분히 사용할 수 있을 만큼 외관이 우수하다.

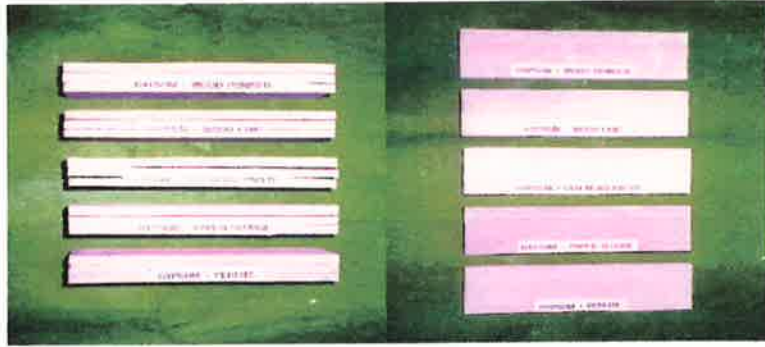
(3) 목질원료의 종류, 혼합률, 수분량, 첨가제 등 폐목질·시멘트블럭의 공정요인을 적정화하고, 제조공정을 개선하였다.

(4) 목질·시멘트 블럭의 밀도변화와 물성의 관계를 조사하여 경량블럭의 물성범위를 예측하였으며, 무기질혼화제와의 혼용방법에 의해 경량·내화·단열성을 갖도록 목질·시멘트블럭의 특성 및 용도의 다양화를 시도하였다.

(5) 다양한 처리방법에 의해 내구성능을 평가하였으며, 장기간 야외사용시에도 물성변화가 없음을 실험적으로 확인하였다.

(6) 공장실연시험을 통하여 현장적용시의 문제점을 파악하고, 제조원가를 분석한 결과, 기존설비를 최대한 활용하여 저질폐목재를 건설자재로 이용할 수 있는 현장적용성이 있는 것으로 판단되었다.

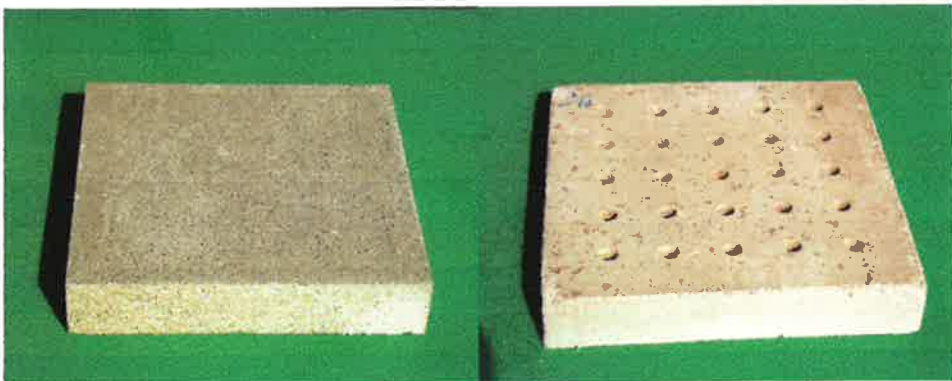
(7) 이와 같은 목질·시멘트블럭의 용도에 있어서는 歩道용으로서 뿐만아니라, 내장용, 조경용, 토목용 등 다양한 수요개발이 기대된다.



<사진 2-1> 습식법으로 제조한 목질·석고보드
(위로부터 목분, 목질칩, 폐지섬유, Perlite 사용)



<사진 2-7> 클램핑 압체방식으로 제조한 목질·시멘트보드
(좌로부터 거친파티클, 미세파티클, 폐지섬유 사용)



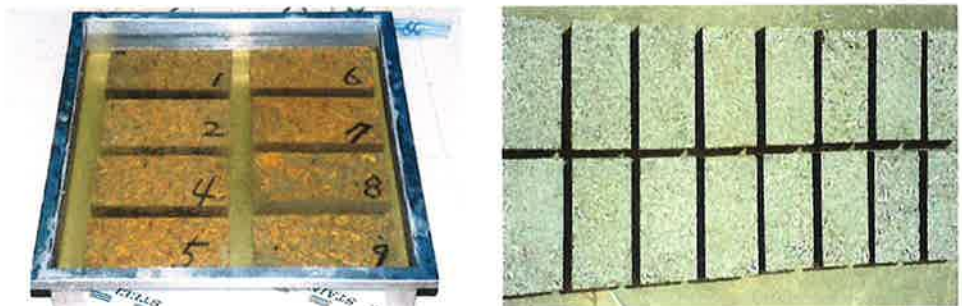
<사진 2-9> 흡음용 목질·시멘트보드(左 : 평판형, 右 : 요철형)



<사진 2-16> 목질·시멘트보드를 이용한 방음벽 실연제품



<사진 2-17> 목질·시멘트블럭 완성제품 (좌 : 표면연삭전, 우 : 표면연삭후)



<사진 2-18> 목질·시멘트블럭의 수중침지처리(左) 및 야외폭로처리(右)
(24개월 경과상태)



<사진 2-19> 야외에 설치된 목질·시멘트블럭(左 : 설치직후, 右 : 9개월 경과후)



<사진 2-20> 야외폭로처리 24개월 경과 후 목질·시멘트블럭의 표면 및 단면상태 (左 : 실내, 中 : 옥상, 右 : 地中)



<사진 2-21> 야외폭로처리 24개월 경과 후 목질·시멘트블럭의 표면 연마상태 (左 : 실내, 中 : 옥상, 右 : 地中)



<사진 2-22> 폐목질·시멘트블럭의 다용도화를 위한 시제품





<사진 2-23> 목질 · 시멘트블럭의 공장제조실연시험

참 고 문 헌

- ASTM C 1185-92. Standard test method for sampling and testing non-asbestos fiber-cement flat sheet, roofing and siding shingles, and clapboards.
- Ahn, W. Y. and A. A. Moslemi. 1979. Electron microscopic examination of wood-cement bonds in wood particle composites. *Wood Sci. and Tech.* 8(1): 1-12.
- Eusebio, D. A., S. Kawai, Y. Imamura and H. Sasaki. 1993. Isocyanate-inorganic bonded composites II. *Mokuzai Gakkaishi.* 39(11): 1267-1275.
- Eusebio, D. A., S. Kawai, Y. Imamura and H. Sasaki. 1994. Isocyanate-inorganic bonded composites III. *Mokuzai Gakkaishi.* 40(9): 922-930.
- Gram, H. E. and P. Nimityongskul. 1987. Durability of Natural Fibres in Cement-based Roofing Sheets. Published in *Building Materials for Low-income Housing*, E. & F. N Spon Ltd. : 328-334
- Günter Natus and Karl Schäfer. New developments of gypsum fiberboard in Europe. *Proceedings of 28th international particleboard/composite materials symposium in Washington State University.* pp. 153-157.
- Hans G. Schwarz, Rick Wentworth and Gerd Eilmus. The new age of inorganic-bonded wood compositions in North America. *Proceedings of 28th international particleboard/composite materials symposium in Washington State University.* pp. 143-152.
- Hans-Joachim Deppe and Oliver Jann. Recycling of waste wood in

- Germany. Proceedings of 28th international particleboard/composite materials symposium in Washington State University. pp. 231-241.
- John A. Youngquist. 1995. Unlikely partners? The marriage of wood and nonwood materials. *Forest Products J.* 45(10): 25-30.
- Lange, H., T. Lieber, and M. H. Simatupang. 1986. Investigation on the relation between strength properties and dimension stability of cement-bonded particleboards. *Holz Roh-Werkstoff.* 44(4): 127-132.
- Ling-Fei Ma et al. 1996. Strength and dimensional stability of cement-bonded composites manufactured by rapid curing method with sodium silicate. *Proc. 3rd Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium.* pp. 484-489.
- Miller, D. P., A. A. Moslemi, and P. H. Short. 1989. The use of fly ash in wood-cement composites. *Forest Prod. J.* 39(9): 34-38.
- Moslemi, A. A. and Margaret P. Hamel. 1989. Fiber and particleboards bonded with inorganic binders. *Forest Products Research Society.* pp. 193.
- Moslemi, A. A. 1991. Inorganic bonded wood and fiber composite materials. *Forest Products Research Society.* pp. 142.
- Paulisan, P. 1989. Verfahren zur Herstellung plattenförmiger Verbundstoffe. *European Patent 89107567.* 3.
- Ramirez, A. P. and A. Solis. 1984. Development of a new composite material from waste polymers, natural fibers, and mineral fillers. *J. Thermoplastic Comp. Mat.* 1: 184.
- Rowell, R. M., J. A. Youngquist, and D. McNatt. 1991. Composites from recycled materials. In : *Proc. of 25th International Particleboard/*

- Composite Materials Symposium. T. M. Maloney, ed., Washington State Univ., Pullman, WA. pp. 301-314.
- Rowell, R. M. 1992a. Opportunities for lignocellulosic materials and composites. American Chemical Society: ACS Symposium Series 476. Washington, D. C., Chapter 2. pp. 12-27.
- Rowell, R. M. 1992b. Opportunities for value added bio-based composites. Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium. 9-13. November 1992. Rotorua, New Zealand. pp. 244-251.
- Rowell, R. M., T. Rials, H. Spelter, D. Luneke, R. A. Arola, R. Narayan, P. Davis, J. Simonsen, T. Friberg, D. White, and R. W. Hemingway. 1993. Opportunities for composites from recycled waste wood-based resources: A problem analysis and research plan. For. Prod. J. 43(1): 55-63.
- Schmidt, E. and K. Karpati. 1986. Verfahren zum raschen Binden von Zement und Fasermaterialien enthaltenden und mit Zement geklebten Platten und Profilen. European Patent 0189127 B1.
- Schwarz, H. G. und M. H. Simatupang. 1984. Einfluß einer Wärmebehandlung auf die Druckfestigkeit von Proben aus Portland-Zement und Fichten- oder Buchen spänen. Holz Roh-Werkstoff. 42: 13-17.
- Sekisui Chemical Co. 1981. Wood chip cement products. JP. 56/140059. Chemical Abstract. 96(10): 73740.
- Shigekura Y. 1989. Wood fiberboards bonded with inorganic binders in Japan. Proc. 1st International Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Material, Forest Products Research Society. pp.

141-150.

- Simatupang, M. H., N. Seddig, C. Habighorst, and R. L. Geimer 1991. Technologies for rapid production of mineral-bonded wood composite boards. In: A. A. Moslemi (Ed.), *Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials*. Forest Products Research Society, Madison, Wisconsin. pp. 18- 27.
- Soroushian, P. and S. Marikunte. "Reinforcement of cement-based materials with cellulose fibers" . Thin section fiber reinforced concrete and forrocement. America Concrete Institute. Publication SP-124. pp. 99-124.
- Suh, J. S. and M. H. Simatupang. 1996. Properties of cement-bonded larch particleboards fabricated by conventional and CO₂ gas injection methods. *Journal of Korean Society of Furniture Technology*. 6(1/2): 31-41.
- Takats, P. and M. H. Simatupang. 1993. Suitability of fiber sludge as reinforcing material manufacturing of gypsum fiberboards. In: A. A. Moslemi (Ed.), *Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials*. Forest Products Research Society, Madison, Wisconsin. Volume 3. pp. 97- 106.
- Thomas, C. O., R. C. Thomas and K. C. Hover. 1987. Wastepaper fibres in cementitious composites. *Journal of Environmental Engineering*. 113(1): 16-31.
- Yamagishi, K., M. Kitazawa, and Y. Namioka. 1985. Studies on manufacturing wood-cement boards with imperfect cement hardening species. Report of the Hokkaido Forest Products

- Research Institute. No. 74, pp. 1-48.
- Youngquist, J. A., and R. M. Rowell. 1989. Opportunities for combining wood with nonwood materials. Proceedings of 23th International Particleboard/Composite Materials Symposium. T. M. Maloney, ed., Washington State Univ., Pullman, WA. pp. 141-157.
- Youngquist, J. A., B. W. English, and R. M. Rowell. 1993. Alternative uses for wastepaper in wood-based composite products. In: Proc. of 1993 Recycling Symposium, New Orleans, L. A. Atlanta, GA. TAPPI Press. pp. 359-365.
- 關谷道雄. 石膏. 技報堂. pp. 316.
- 堀江秀夫, 阿部龍雄, 小川尚久, 角田重夫. 1998. セメントボードの製造に関する研究(第1報)-カラマツ材の混入限度の検討. 林産試験場報. 12(1): 1-6.
- 馬 靈飛, 黒木康雄, ドウワイト・エユヤビオ, 川井秀一, 佐佐木光. 1996. 竹質セメントボードの製造 (第1報)- 竹材混合セメントペーストの水和特性. 木材學會誌. 42(1): 34-42.
- 兵田宗男. 1991. 廢木材・再生木材を考えるために(II). 木材工業. 46(4): 160-164.
- 石原茂久. 1989. スーパーウッドの時代- 新技術開發と展望(木材の複合化). 木材工業. 44(11): 665-670.
- 城 基義. 1987. 新しい木質ボード材料(木質セメントボード・木質-石膏ボード). 木材工業. 42(12): 574-577.
- 永富 辨, 黒木康雄, ドウワイト A. エユセビオ, 馬靈 飛, 川井秀一, 佐々木光. 1996. 木質セメント板の迅速硬化(第2報). 日本木材學會誌. 42(7): 659-667.
- 永富 辨, 黒木康雄, ドウワイト A. エユセビオ, 馬靈 飛, 川井秀一, 佐々木光.

1996. 木質セメント板の迅速硬化(第5報). 日本木材學會誌. 42(10): 977-984.
- 永富 辨. 1997. 木質セメントボードの迅速硬化技術の開発研究. pp. 139.
- 齊藤 勝外 4人. 1993. 木炭積層ボード. 林産試験場月報. 7(2): 1- 6.
- 박종영, 이화형. 1982. 한국 낙엽송재의 목질시멘트판 재질에 미치는 전처리 및 첨가제 효과. 충남대학교 농업기술연구보고. 9(1): 250~259.
- 서진석. 1993. 국산 및 외국산 목재파티클 결합에 의한 석고복합체의 전단·휨강도적 성질. 한국가구학회지. 4(1): 21~25.
- 오정수, 윤화영. 1995. 목재폐기물의 재활용. 목재공학. 23(1): 3~12.

제 3 장 기능성 목질 분체복합보드 개발

제 1 절 서 설

지금까지 산업화된 목질보드류는 원료의 크기 및 형태에 따라 스트랜드보드, 플레이크보드, 파티클보드, 섬유판 등으로 분류되며, 원목 뿐만 아니라 대량의 폐목재가 원료로 쓰여지고 있다. 목질보드는 자원을 효율적으로 이용할 수 있고, 제품생산성이 높으며, 친환경적인 소재라는 인식과 더불어 현재 세계적으로 생산량이 증가하고 있다. 우리나라에서도 목질보드류 사용량이 꾸준히 증가하여 2000년도에는 약 250만m³가 사용되었다. 특히 섬유판의 주종인 MDF는 우리나라가 세계 3위의 생산국이다. 따라서 앞으로의 폐목재 리사이클링 문제는 이와 같이 대량 사용되고 폐기되어질 목질보드류를 다시 재자원화해야만 하는 단계에 이르렀다.

그러나 보통 목재와는 달리 폐목질보드를 분쇄하면 형상이 불균일하고 물성이 취약하며, 접착제나 표면재료로 쓰여진 플라스틱 등이 혼합되어 있기 때문에, 이러한 결함요인들을 해소시키기 위해서는 원래의 보드원료를 구성하고 있는 엘리먼트보다 더욱 微粉體化시켜 사용해야만 한다. 또한 보드형태로 재결합시키는 과정에서 접착제의 혼합, 성형 등에 기술적, 경제적 문제가 따르게 되며, 이를 해결하지 않고는 실용성이 없다. 이와 아울러 또 하나의 중요한 폐목질원료인 폐종이가 지금까지는 주로 재생지, 포장재 등으로 재활용되어 왔으나, 성능상의 한계로 건축재료로서는 이용되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 粉體化된 폐목질원료의 복합성형방법에 초점을 맞추어 고성능의 건축용보드 제조기술을 개발하고자 하였다. 목질보드원료의 微粉體化는 세계적으로 목질보드분야 기술개발에 있어서 하나의 추세이며 새로

은 연구과제이기도 하다. 폐목질 원료를 분체상으로 결합시켜서 보드를 제조할 경우에는, ① 性状이 다양한 폐목질원료를 범용적으로 이용할 수 있으며, ② 내화성이나 기능성을 부가시키기 위한 무기질 원료와의 복합이 용이하고, ③ 균질 치밀한 제품을 만들 수 있으므로 물성과 경제성을 고려한 다양한 재료설계가 가능하며, ④ 미세한 성형가공제품을 제조하여 용도를 고급화시킬 수 있으며, ⑤ 소규모설비에 의한 공정자동화가 가능하므로 실용성이 높을 것으로 기대된다.

제 2 절 분말상 페놀수지를 사용한 폐MDF 분체복합 보드의 제조

본실험에서는 예비적으로 몇가지 폐목질보드를 분쇄하여 보드를 제조해 본 결과, MDF의 미분쇄 분말이 미세 섬유형태를 유지하고 있어, 기계적 결합력이 가장 우수한 것으로 판단되었다. 따라서 폐MDF의 분체를 분말상 페놀수지로 결합한 보드제조실험을 실시하였으며, 우선적으로 보드의 열압온도와 접착제의 첨가비율에 따른 보드물성을 조사하고 복합보드의 적정 제조조건을 구명하였다.

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 목질원료

폐목질원료로 사용된 MDF(중밀도섬유판) 분체는 MDF제조공장의 제조과정에서 발생된 불량품을 수집, 미분쇄기로 분쇄한 후 진동체로 선별(20~40mesh)하여 사용하였으며, 시료의 함수율은 8%로 조정하였다.

나. 접착제

복합보드를 제조하는데 사용한 접착제는 분말상 novolak형 페놀수지 [제조원 : (주)강남화성]로서 용점은 65~80℃, 수지고형분은 99%였다.

다. 보드제조

선별된 분말상 시료를 이용하여 밀도 0.8g/cm³, 수지 첨가율을 3, 5, 7, 9%의 4수준으로 설정하여, 6mm×25cm×25cm 크기의 보드를 제조하였다.

분체복합보드의 실험제조조건은 <표 3-1>과 같다. 목질원료와 분말상 페놀수지를 압축공기 분사방식에 의해 혼합한 다음, 분체보드용으로 제작한 성형틀내에 고르게 성형시킨 후 열압하여 보드를 제조하였으며, 이 때 열압조건은 온도 170, 190, 210℃, 총 열압시간 20분으로 하여, 一段 압력을 가하여 압체하였다.

<표 3-1> 분말상 페놀수지를 사용한 분체복합보드의 실험제조조건

목표밀도 (g/cm ³)	함지율 (%)	열압온도 (℃)	열압시간 (분)
0.8	3	170	20
	5	190	
	7	210	
	9		

2. 보드의 물리·기계적 성질 측정

KS F 3200(섬유판)의 규정에 의해 보드의 휨성질, 박리강도, 흡수율 및 두께팽창률을 6반복씩 측정하였다. 휨시험은 폭 5cm×길이 25cm인 시험편을 채취하여 만능강도시험기(Hounsfield S-Series, Model H50KS)를 사용하여 하중속도 10mm/min로 휨강도(MOR)와 휨탄성계수(MOE)를 측정하였으며, 휨시험이 끝난 후 각 시험편의 兩端에서 박리강도 시험편을 5×5cm로 채취하여 박리강도시험을 실시하였다. 또한 5×5cm의 시험편을 채취하여 25±1℃의 물속에 24시간 침지한 다음, 두께팽창률 및 흡수율을 측정하였다.

제 2 항 실험결과

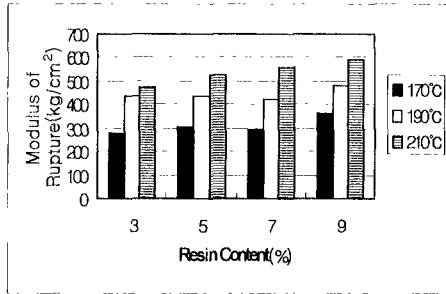
<표 3-2>는 본 실험에서 제조한 분체복합보드의 수지침가율 및 열압조건에 따른 휨성질, 박리강도 및 치수안정성 등을 보여주고 있다.

<표 3-2> 분말상 페놀수지를 사용한 폐목질(MDF) 분체복합보드의 물리·기계적 성질

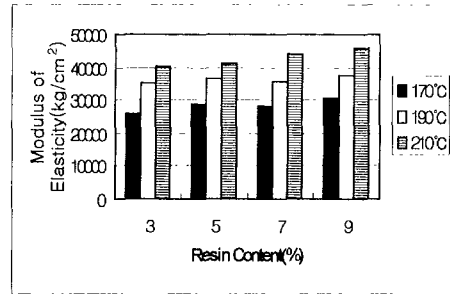
목표밀도 (g/cm ³)	합지율 (%)	열압온도 (°C)	실측밀도 (g/cm ³)	합수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두께팽창률 (%)
0.8	3	170	0.83	5.40	279.3	25,846	1.91	46.62	30.58
	5	170	0.80	4.80	303.4	28,706	2.40	39.82	24.64
	7	170	0.84	4.40	289.1	28,197	3.28	46.01	22.05
	9	170	0.85	4.20	361.3	30,534	3.92	33.28	20.26
0.8	3	190	0.84	4.45	431.7	35,252	4.66	28.95	17.44
	5	190	0.86	4.30	436.3	36,503	5.39	28.59	13.21
	7	190	0.85	4.67	422.3	35,432	5.40	26.03	15.97
	9	190	0.86	4.61	481.7	37,418	6.02	27.53	14.96
0.8	3	210	0.83	5.09	472.8	40,094	4.72	27.82	11.25
	5	210	0.86	4.87	527.8	41,250	5.42	24.45	10.59
	7	210	0.83	4.92	557.7	43,887	8.09	23.04	10.28
	9	210	0.85	4.85	591.2	45,774	7.16	23.51	8.87

1. 휨성질

<그림 3-1>에서와 같이 분체복합보드는 열압온도의 상승 또는 수지첨가율(합지율)의 증가에 따라 휨성질이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 합지율의 증가에 비해 열압온도의 증가가 분체복합보드의 휨성질에 더욱 민감하게 작용하는 것으로 나타났다. 열압온도 170°C, 합지율 9%인 보드의 휨성질(휨강도 361.3kg/cm², 휨탄성계수 30,534kg/cm²)은 열압온도 210°C, 합지율 3%로 제조한 보드의 휨성질(휨강도 472.8kg/cm², 휨탄성계수 40,094kg/cm²)보다 모두 낮은 것으로 나타났다. 즉 170°C의 열압온도로 제조된 보드는 열압과정에서 열이 내층으로 충분히 전달되지 못한 상태에서 열압이 종료되어 완전한 경화가 이루어지지 못한 것으로 여겨진다.



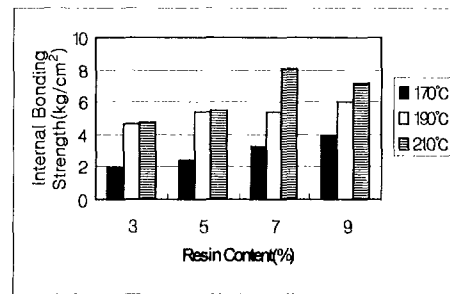
<그림 3-1> 분말상 페놀수지를 사용한 분체복합보드의 휨강도



<그림 3-2> 분말상 페놀수지를 사용한 분체복합보드의 휨탄성계수

2. 박리강도

분체복합보드의 박리강도는 수지 첨가량과 열압온도가 증가할수록 내부결합력도 증가하는 경향을 보였다<그림 3-3>. 이러한 분체복합보드의 내부결합력의 차이는 첨가된 수지량에 따른 영향보다는 열압온도의 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다. 수지첨가량이 7%인 복합보드의 경우 170°C



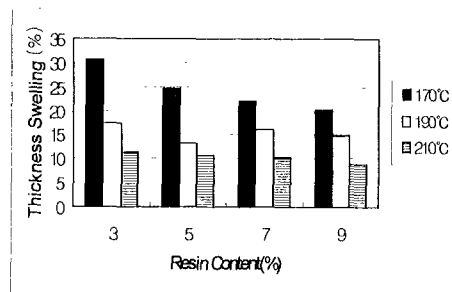
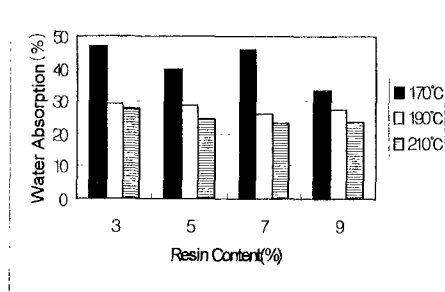
<그림 3-3> 분말상 페놀수지를 사용한 분체복합보드의 박리강도

로 열압한 보드의 박리강도는 3.28kg/cm², 190°C로 열압한 보드는 5.40kg/cm² 그리고 210°C로 열압한 보드는 8.09kg/cm²로 현저히 증가하는 것으로 나타났으나, 열압온도가 190°C인 보드의 경우 수지첨가량이 증가함에 따라 분체복합보드의 내부결합력이 다소 증가하는 경향을 보이지만 큰 변화는 없는 결과로 미루어 위 영향을 알 수 있었다.

3. 치수안정성

분체복합보드의 치수안정성은 휨성질과 비슷한 경향을 나타냈다. <그림

3-4~5>에서 볼 수 있듯이 열압온도가 증가함에 따라 흡수율과 두께팽창률 모두 감소되어 치수안정성이 개선되고 있다. 흡수율의 경우 열압온도 170℃로 제조된 분체복합보드는 함지율 5%인 보드보다 함지율이 7%인 보드가 오히려 흡수율이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 보드 내부로의 열전달이 충분치 못하였기 때문에 나타난 현상으로 보여지며, 수지침가율이 증가함에 따라 치수안정성도 개선되는 경향을 나타내고 있다.



<그림 3-4> 분말상 페놀수지를 사용한 분체복합보드의 흡수율

<그림 3-5> 분말상 페놀수지를 사용한 분체복합보드의 두께팽창률

제 3 항 결 론

(1) 폐가구류의 주요 구성소재인 폐MDF와 분말상 페놀수지 접착제를 사용하여 분체상 복합보드를 제조하였을 때, 190℃ 이상의 열압온도에서 보드 내층으로의 열전달이 원활하여 완전한 수지경화가 이루어지고 있다. 수지침가량은 5% 이상에서 충분한 물성을 나타내고 있으며, 3%일 경우에도 내층으로의 열전달만 충분히 이루어진다면 보드 물성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

(2) 보드의 밀도가 1.0g/cm³일 때는 내층이 과밀화되어 잔류수증기의 압력으로 인한 내부응력이 발생하여 내부결합층이 부분적으로 박리되었으나 밀도 0.8g/cm³일 때는 정상적인 보드제조가 가능하며, 기계적 성질 또한 매우 양호

한 것으로 밝혀졌다.

(3) 본 실험에서 실시한 목질원료와 분말상 수지접착제의 분체혼합 및 성형방식은 폐목질자원을 이용한 기능성 복합보드제조에 매우 용이한 방법으로 여겨지며, 특히 폐MDF의 분체는 미세섬유형상을 유지하고 있어 재구성보드의 강도발현에 효과적이었다.

제 3 절 액상 페놀수지를 사용한 페MDF 분체복합 보드의 제조

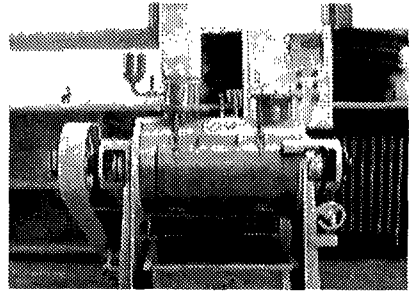
제 2절에서는 분체상목질원료와 균일한 혼합을 이룰 수 있으며, 작업성이 용이한 노블락형 분말페놀수지를 첨가하여 페MDF를 이용한 보드를 제조하고 물성에 미치는 각 공정요인에 대하여 검토하였다. 그러나 분말상수지를 사용한 보드는 수지가격에 따른 제조비용 부담이 따르게 된다. 반면에 레졸형 액상페놀수지를 사용할 경우에는 수지가격은 비교적 저렴하나 미세 목질원료에 대한 균일한 도포가 어려운 문제점이 있다.

따라서 본 실험에서는 우선적으로 액상수지를 균일하고 신속하게 도포할 수 있는 장치를 응용 개발하여, 수지도포의 불균일성 문제를 해결하고자 하였다. 그리고 既 연구에 이어서 액상 페놀수지를 첨가한 페MDF 분체보드를 제조하여 보드물성에 미치는 제조요인의 영향을 구명코자 하였다.

제 1 항 분체복합보드 제조용 접착제 도포장치 개발

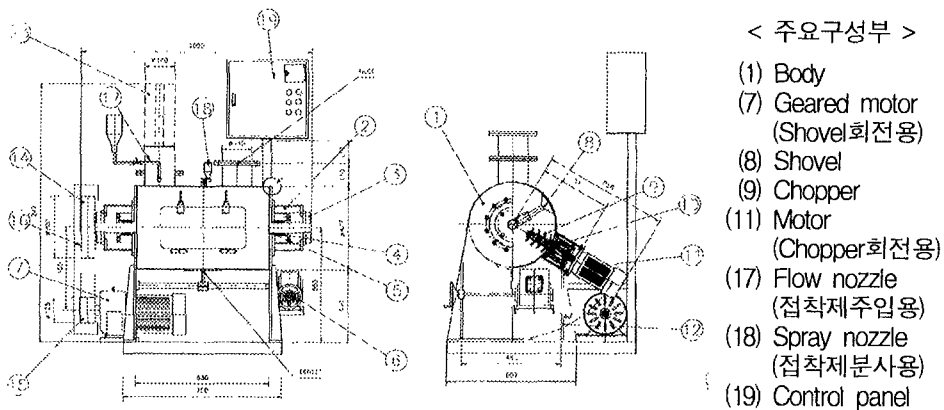
접착제의 혼합 또는 도포는 복합보드의 물성 변이를 좌우하는 매우 중요한 공정이다. 지금까지 파티클보드나 MDF(중밀도섬유판)를 실험 제조할 때의 접착제 도포는 드럼형 스프레이도포장치에 의해 가능하였지만, 본 연구에서와 같이 분체상 목질원료나 무기질원료에 대하여 액상수지를 균일하게 도포하는 것은 기존의 목질보드 제조방식으로는 매우 어렵다. 또한 본 연구에서도 제 2절에서 수행된 실험과 같이 분말상 수지를 혼합할 경우에는 기류혼합 방식에 의해 가능하였지만, 종래의 방식에 의해 소량의 高粘度 액상 수지를 미세 입자의 분말상 또는 섬유상 원료에 균일하게 도포한다는 것이 거의 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 액상수지를 분체상 또는 미세섬유상 원료에 도포하기 위한 장치를 자체적으로 개발, 응용하여 사용하였다. 「개량형 분체혼합기」라고 할 수 있는 이 장치의 원리는 분체공학분야에서 적용되어온 shovel mixer로서, 본 연구의 실험을 위하여 분체상 원료의 혼합은 물론 액상수지의 도포가 가능하도록



<사진 3-1> 분체원료 혼합용 Shovel Mixer

구조를 개량한 것으로서, 분말상 수지와 액상 수지의 도포가 모두 가능하도록 설계, 제작되었다. 실제 실험결과, 분말상 및 미세섬유상 원료에 대한 액상 페놀수지의 도포가 균일하게 이루어졌으며, 소규모 설비공장에 대한 실용화를 목표로 하는 본 연구목적에 따라 산업적 응용도 충분히 가능할 것으로 기대된다. <그림 3-6>은 이 장치의 기본구조를 보여주고 있으며, <표 3-3>에서는 이 장치의 제원 및 성능을 나타내고 있다.



<그림 3-6> 본 연구에서 개발 응용한 분체원료 혼합용 Shovel Mixer의 구조

<표 3-3> 분체원료·접착제 혼합장치의 제원 및 성능

장치제원	- 믹서 : 396mm(지름)×630mm(길이) - 전체 : 396mm(지름)×630mm(길이)
혼합용량	믹서용량 : 50 ℓ, 적정시료혼합량 : 25 ℓ
혼합성능	Shovel 회전수 : 160rpm, Chopper 회전수 : 3,600rpm
사용원료	분말상 원료, 점유상 원료
사용접착제	분말상 접착제, 액상접착제
접착제 도포방법	噴射방법 및 滴下방법 겸용

제 2 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 목질원료

폐목질원료로 사용된 MDF(중밀도섬유판) 분체원료는 제 2절에서와 같은 MDF제조공장의 제조과정에서 발생된 MDF 불량제품을 미분쇄, 선별(20~40mesh)한 것이며, 액상 페놀수지 사용시 매트함수를 조정을 위하여 시료를 전건시켰다. <사진 3-2>는 분쇄, 선별된 폐MDF의 분체원료를



<사진 3-2> 폐MDF를 분쇄한 분체원료의 현미경 사진(×40)

촬영한 것으로서 미분쇄 후에도 針狀의 미세섬유의 형태를 유지하고 있음을 보여주고 있다.

나. 접착제

복합보드용 접착제는 합판제조용으로 사용되는 액상 Resol형 페놀수지를 사용하였으며, 수지고형분은 40%였다.

2. 실험방법

본 실험에서의 보드제조조건은 <표 3-4>와 같다. 액상수지를 도포할 경우에는 함지율 수준은 다를지라도 매트함수율이 일정해야 하므로, 수분을 후 첨가하는 방식으로 매트함수율을 13.5%로 조정하였다. 접착제의 도포작업은 앞서 설명한 바와 같이, Shovel 믹서에 의해 이루어졌다. 접착제가 도포된 시료는 분체보드 성형을 위하여 제작한 4각 성형틀내에 고르게 성형한 다음 열압하였다. 보드열압시 발생하는 수증기가 원활하게 배출되도록 성형틀의 4변에 5cm 간격으로 배기구를 설치하였다.

열압정화가 완료된 보드는 냉각처리를 하였으며, 이어서 온도 20℃, 60% RH의 항온항습실에서 조습시킨 다음, 밀도, 함수율, 휨강도, 휨탄성계수, 박리강도, 흡수율 및 두께팽창률 등을 6반복 측정하였다.

<표 3-4> 액상 페놀수지를 사용한 분체복합보드의 실험제조조건

목표밀도	함지율	열압조건		
		온도	압력	시간
0.8g/cm ³	3%, 5%, 7%, 9%	170℃, 190℃, 210℃	40kgf/cm ²	8분

* 매트함수율 : 13.5%, 보드 치수 : 6mm×250mm×250mm

제 3 항 실험결과

액상페놀수지를 도포하여 제조한 페MDF 분체복합보드의 물리·기계적 성질 측정결과를 <표 3-5>에 정리하였다. 앞서 설명한대로 본 연구에서 새롭게 적용한 분체원료·접착제 혼합장치에 의해 미립체의 목질원료에 액상수지

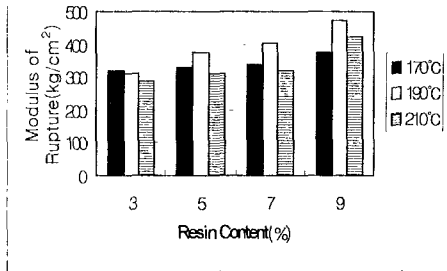
를 균일하게 도포할 수 있었으며, 양호한 물성의 보드제조가 가능하였다.

<표 3-5> 액상페놀수지를 사용한 페목질(MDF) 분체보드의 물리·기계적 성질

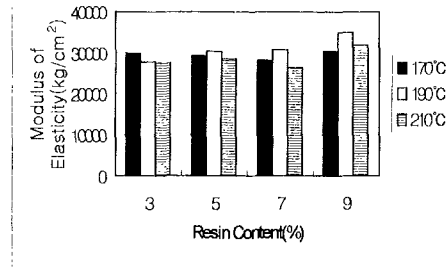
목표밀도 (g/cm ³)	합지율 (%)	열압온도 (°C)	실측밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두께팽창률 (%)
0.8	3	170	0.82	6.39	320.23	29,584	10.00	62.22	21.21
	5	170	0.80	6.67	326.40	29,277	11.61	55.33	17.17
	7	170	0.81	6.78	337.47	28,330	13.50	49.97	14.12
	9	170	0.82	6.80	375.00	30,439	14.68	46.66	11.74
0.8	3	190	0.80	6.59	308.08	27,881	10.76	65.13	21.13
	5	190	0.80	6.23	374.50	30,475	16.30	52.53	16.11
	7	190	0.80	6.81	402.83	30,738	19.23	47.56	13.48
	9	190	0.81	6.77	470.65	34,782	20.42	42.02	11.03
0.8	3	210	0.81	6.39	285.48	27,279	9.94	69.36	23.75
	5	210	0.81	6.64	309.28	28,691	10.49	58.41	20.43
	7	210	0.82	6.37	317.13	26,285	15.04	51.20	16.99
	9	210	0.82	6.57	421.60	31,961	16.28	45.85	14.87

1. 휨성질

액상페놀수지로 제조된 분체복합보드는 <그림 3-7~8>에서와 같이, 수지첨가량이 증가함에 따라 휨성질도 증가하는 경향을 보였으나, 휨성질의 변동폭은 크지 않았다. 열압온도에서는 190°C로 제조된 보드의 휨성질이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 210°C에서는 오히려 휨성질이 다소 감소하는 현상을 보여주고 있다. 따라서 합지율 7% 이상, 열압온도 190°C에서 충분한 강도의 보드를 제조할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서, 분말상수지를 사용할 때는 고온일수록 강도가 높아지는 현상과 상이한 수지경화특성을 보여주었다.



<그림 3-7> 액상페놀수지를 사용한 분체 복합보드의 휨강도



<그림 3-8> 액상페놀수지를 사용한 분체 복합보드의 휨탄성계수

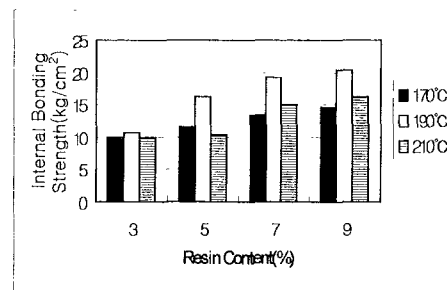
2. 박리강도

박리강도도 휨성질과 유사한 경향을 나타냈으며, 열압온도 190°C로 제조된 보드의 박리강도가 가장 우수하였다. 수지첨가량의 증가에 따라 박리강도가 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈다<그림 3-9>.

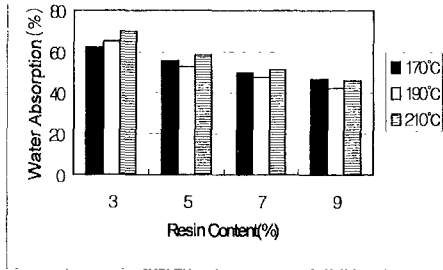
대체로 액상수지를 사용할 경우에는 분말상수지를 사용한 보드보다 접착력이 더욱 증강되었으며, 일반 파티클보드나 MDF에 비하여 박리강도가 몇 배 강한 초고강도의 보드제조가 가능하였다.

3. 치수안정성

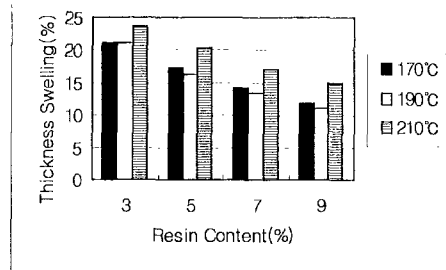
액상페놀수지를 도포한 분체복합보드의 흡수율은 수지첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 열압온도 변화에 따른 차이는 발견할 수 없었다<그림 3-10>. 그리고 두께 팽창률의 경우에도 수지첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 열압온도에 의한 차이는 적었다<그림 3-11>.



<그림 3-9> 액상페놀수지를 사용한 분체복합보드의 박리강도



<그림 3-10> 액상페놀수지를 사용한 분체복합보드의 흡수율



<그림 3-11> 액상페놀수지를 사용한 분체복합보드의 두께팽창률

제 4 항 결 론

액상 페놀수지를 사용한 페MDF 분체 복합보드의 적정 제조조건 및 보드의 물성요인을 구명하고자 실시한 본 연구에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) 분말상 및 미세섬유상 원료에 대한 액상 페놀수지의 균일한 도포를 위해 개발한 shovel mixer는 접착제가 균일하게 도포됨을 확인할 수 있었다.

(2) 액상 페놀수지를 사용한 페MDF 복합보드는 열압온도를 190°C로 하였을 때 가장 양호한 물성을 나타냈으며, 함지율의 경우에는 최소 3% 첨가할 경우에도 KS F 3200(섬유판)의 300타입 기준치 중 흡수두께팽창률을 제외한 모든 물성을 충족시킬 수 있었다.

(3) 액상수지를 사용할 경우에는 분말상수지를 사용한 보드보다 접착력이 더욱 증강되었으며, 박리강도가 10~20kgf/cm²에 달하는 초고강도의 보드제조가 가능하였다.

제 4 절 폐가구류 재생 분체복합보드의 특성

이상에서는 폐목질보드류와 같이 지금까지 대부분 재활용되지 않았던 폐목질자원의 고부가가치 이용을 위한 새로운 방안으로서 「분체복합보드의 개발」을 위한 연구가 수행되었다. 지금까지의 연구결과에서 효율성이 우수한 분체원료·접착제 혼합장치를 개발하였고, 현장적용이 용이한 복합보드의 제조공정이 정립되었으며, 폐가구재나 폐지를 이용하여 제품성능이 뛰어난 바닥재나 내장재의 제조 가능성을 밝혔다.

그러나 실제 대량 발생하는 폐가구류는 대부분 목질보드 표면에 열경화성 또는 열가소성 수지 시트가 적층된 상태이기 때문에, 폐가구류의 재활용시 문제점으로 대두되고 있다. 따라서 본 절에서는 일반적인 표면재료인 열경화성수지함침지(LPL)가 적층된 폐MDF를 그대로 분쇄한 목질원료를 사용하여 분체복합보드 제조실험을 실시하였다. 특히 본 실험에서는 액상 페놀수지를 사용할 경우에 보다 양호한 물성의 보드를 제조하기 위하여 噴射방향을 자유로이 조절할 수 있는 개량된 스프레이기구를 본 연구에서 개발한 목질분체용 접착제 혼합장치(shovel mixer)와 병용하여 보드제조실험을 실시하였다.

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 목질원료

목질원료로 사용된 폐MDF 분체는 표면에 열경화성수지함침지(LPL)가 오버레이된 가구용 MDF를 분쇄, 선별(20~40mesh)하여 사용하였다. 액상페놀수지를 도포할 목질원료는 함수율을 전건시켰으며, 분말상페놀수지를 도포

합 목질원료는 함수율을 8%로 조정하였다.

나. 접착제

복합보드 제조용 접착제는 제 2절에서 사용한 분말상 Novolak型 페놀수지(고형분 99%)와 제 3절에서 사용한 Resol型 페놀수지(고형분 40%)이다.

2. 실험방법

복합보드의 제조공정 요인은 아래 <표 3-6>과 같으며, KS 시험방법에 의해 복합보드의 물리·기계적 성질을 조사하였다.

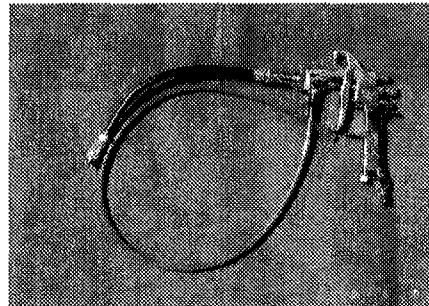
<표 3-6> 복합보드의 실험제조 공정요인

목질원료	접착제	합지율 (%)	목표밀도	보드 두께	열압조건		
					온도	압력	시간
페MDF 분체	분말상페놀수지	3	0.8g/cm ³	6mm	210℃		
		5			40kgf/cm ²	8분	
	7	190℃					
	9						

* 목질원료는 열경화성수지함침지(LPL)가 오버레이된 가구용 페MDF임.

본 실험에서 분말상 페놀수지를 도포할 경우에는 함수율을 8% 내외로 조정된 원료를 그대로 사용하였으며, 액상 페놀수지를 도포할 경우에는 수분을 후첨가하는 방식에 의해 매트함수율을 13.5%로 조정하였다.

한편 분말상 페놀수지를 도포할 때에는 앞 절의 실험에서와 같은 방법으로 압축공기를 이용한 난기류혼합방식에 의하여 도포하였으며, 액상 페놀수지는 목질분체용 접착제 혼합장치를 사용하



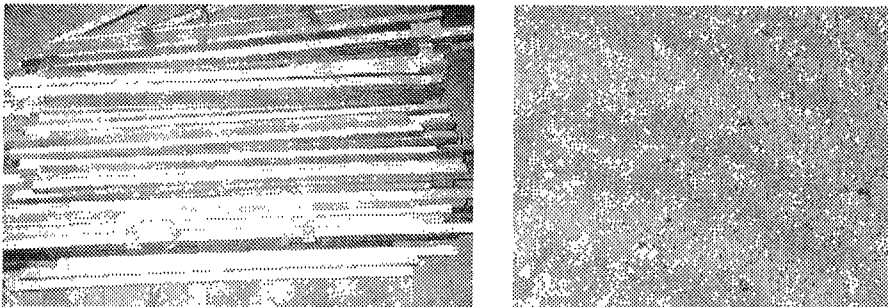
<사진 3-3> 개량 스프레이기구

였으며, 보다 균일한 수지의 도포를 위해 <사진 3-3>과 같은 개량 스프레이 기구를 사용하였다.

제 2 항 실험결과

<사진 3-4>는 열경화성수지함침지(LPL)가 표면에 적층된 폐MDF와 이를 분쇄, 이용한 분쇄복합보드의 표면상태를 보여주고 있다. 보드표면에는 폐MDF 분쇄 중에 LPL의 분말이 혼합되어 흰색 반점이 나타나고 있으나, 재활용 복합제품의 사용시에는 다시 오버레이가공을 하게 되므로 사용상의 제약은 거의 없다고 할 수 있다.

<표 3-7>은 멜라민수지함침지가 표면적층된 폐MDF 분쇄로 제조한 복합보드의 물리·기계적 성질의 측정결과이다.



<사진 3-4> 원료로 사용된 MDF 폐재(左)와 제조한 분쇄보드의 표면(右)

1. 휨성질

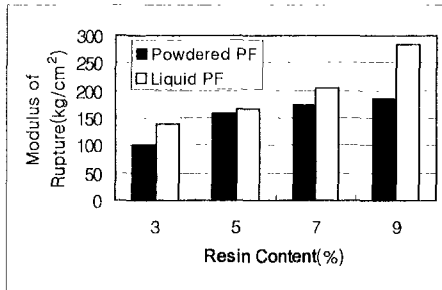
<그림 3-12~13>에서 보는 바와 같이, LPL시트가 오버레이된 폐MDF로 제조된 복합보드의 휨성질은 분말상 폐놀수지와 액상폐놀수지 모두 수지 첨가량이 증가함에 따라 휨성질이 증가하고 있다. 또한 분말상수지보다는 액상

페놀수지로 제조된 복합보드의 휨성질이 우수한 것으로 나타났다.

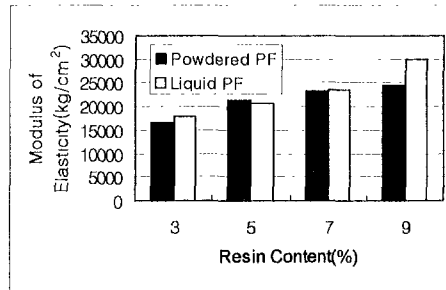
<표 3-7> 페MDF(LPL오버레이 제품) 복합보드의 물리·기계적 성질

사 용 접착제	합지율 (%)	열압 온도 (°C)	실측 밀도 (g/cm ³)	합수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성 계 수 (kgf/cm ²)	박리 강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두께 팽창률 (%)
분말상	3	210	0.79	6.65	101	16,662	5.59	62.7	18.7
페놀수지	5	210	0.79	6.35	159	21,362	8.38	56.8	15.5
	7	210	0.80	6.64	173	23,303	10.45	60.6	14.1
	9	210	0.78	6.55	186	24,547	11.50	55.8	13.6
액 상	3	190	0.78	6.74	139	17,913	5.15	76.5	21.6
페놀수지	5	190	0.78	6.87	168	20,767	6.85	63.2	15.5
	7	190	0.78	6.39	205	23,449	7.94	52.6	12.7
	9	190	0.79	6.59	284	29,973	16.25	39.8	11.1

* 보드의 목표밀도 : 0.8g/cm³



<그림 3-12> LPL오버레이 페MDF를 이용한 분체복합보드의 휨강도



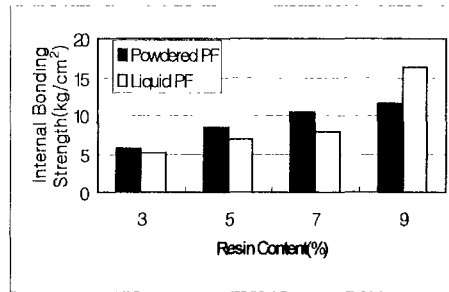
<그림 3-13> LPL오버레이 페MDF를 이용한 분체복합보드의 휨탄성계수

이는 개량스프레이 기구를 사용하여 미세 목질분체에 액상수지를 도포할 때 분사수지의 입자가 더욱 미세해짐으로서 균일한 도포가 이루어졌기 때문

이라고 할 수 있다. 그리고 표면에 오버레이가공을 하지 않은 MDF 분체로 제조한 보드에 비하여 LPL시트가 오버레이된 페MDF로 제조한 복합보드의 휨성질이 모두 저하되었다. 분말상 수지를 9% 도포하였을 때, 휨강도는 약 70% 감소하였으며, 액상 페놀수지를 사용하였을 때에는 약 40%의 강도 감소가 있었다. 액상페놀수지 사용시의 강도 감소율이 적은 것은 수지 도포장치의 개선효과를 보여주는 것으로 보여진다.

2. 박리강도

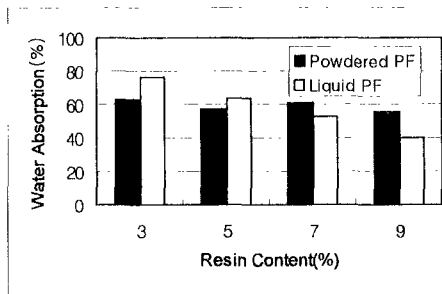
페MDF(LPL오버레이) 분체복합보드의 박리강도는 <그림 3-14>에서와 같이 수지첨가량이 증가할수록 내부결합력도 증가하였으며, 특히 액상페놀수지의 경우 수지 첨가율이 9%인 복합보드의 내부결합력이 16.3kgf/cm²으로 매우 우수한 것으로 나타났다. 이는 스프레이 기구의 개량에 의해 액상 페놀수지의 도포가 매우 균일하게 이루어진 결과라고 할 수 있다. 또한 액상페놀수지를 사용할 경우, 오버레이가공을 하지 않은 페MDF 분체복합보드에 비하여 박리강도 감소정도가 적게 나타났다. 수지 종류에 따른 적정첨가율을 검토하였을 때, 함지율 7%까지는 분말상 페놀수지를 사용하였을 때의 박리강도가 우수하였으나 함지율 9%에서는 액상 페놀수지로 제조한 복합보드의 박리강도가 훨씬 높은 것으로 나타났다.



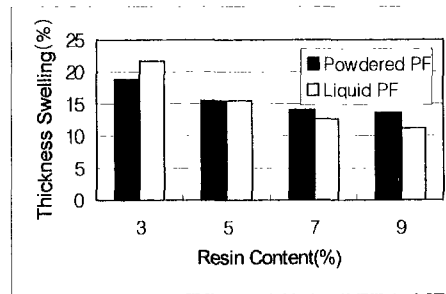
<그림 3-14> LPL오버레이 페MDF를 이용한 분체복합보드의 박리강도

3. 치수안정성

분말상 페놀수지, 액상 페놀수지 모두 수지침가량이 증가함에 따라 페 MDF(LPL오버레이) 분체복합보드의 흡수율이 감소되고, 치수안정성이 개선 되는 효과를 보였다<그림 3-14~15>. 특히 액상페놀수지로 제조된 분체복합 보드는 수지침가량의 증가에 따른 치수안정성 개선 효과가 크게 나타났다.



<그림 3-15> LPL오버레이 페MDF를 이용한 분체복합보드의 흡수율



<그림 3-16> LPL오버레이 페MDF를 이용한 분체복합보드의 두께팽창률

제 3 항 결 론

(1) 열경화성수지함침지(LPL)가 표면에 오버레이된 페MDF를 이용한 분체복합보드의 제조공정요인별 물성변화를 조사한 결과, 폐가구류를 재활용한 복합보드는 물성상의 문제가 없을 것으로 나타났다.

(2) 액상페놀수지로 제조된 분체복합보드의 물성이 분말상페놀수지를 사용한 제품보다 우수하였으며, 액상수지를 사용할 경우에는 수지의 균일한 도포가 가장 중요한 공정변수라고 할 수 있다.

제 5 절 폐지 및 폐합성섬유 복합보드 개발

현재 우리나라의 폐지재활용율은 약 60%로서, 세계적으로도 매우 높은 편이다. 국내에서는 폐지를 재활용한 포장용기 등 성형제품 개발에 대한 연구가 이루어져 왔다. 그러나 폐지를 이용한 건축용 패널제품의 개발은 아직 착수되고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 폐신문지를 해리한 분체상 또는 미세섬유상 원료에 액상페놀수지를 첨가한 복합보드를 제조하여 그 특성을 구명하기 위한 실험을 수행하였다.

지금까지는 펄프상 원료에 접착제를 균일하게 도포하기 어려운 공정상의 문제로 인하여 폐지를 재활용한 고강도 패널제품의 제조가 이루어지지 못하였다. 본 연구과제에서 응용개발한 분체원료용 접착제 도포장치를 사용하여 균질치밀하며, 성능이 우수한 건축용 보드를 제조하고자 하였다. 또한 본 연구에서는 廢衣類로부터 대량 얻어지는 폐합성섬유의 새로운 용도를 개발함과 동시에 폐지복합보드의 보강 및 완충성 개선을 위하여, 폐지섬유에 폐합성섬유를 혼합시킨 보드를 제조하여 그 물성을 평가하였다.

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 폐지섬유

폐신문지를 습식해리하여 기건시킨 다음, 리파이닝을 하여 다시 전건시킨후 사용하였다.

나. 폐합성섬유

온실보온재 등으로 사용하는 폐합성섬유를 입수하여, 스트랜드상으로 재분쇄하여 사용하였다.

다. 접착제

복합보드용 접착제는 제 3절 및 4절에서 사용하였던 액상 resol형 페놀 수지이며, 수지고형분은 40%였다.

2. 실험방법

본 실험에서의 보드제조조건은 <표 3-8>과 같다. 본 실험에서도 수분을 후첨가하는 방법으로 매트함수율을 13.5%로 조정하였다. 접착제의 도포작업은 이전의 실험과 마찬가지로, 자체 제작한 분체혼합용 shovel 믹서에 의해 이루어졌다. 폐지섬유의 경우에는 질량에 대한 체적비가 커서 단위표면적당 수지도포량이 매우 낮으므로, 접착제의 첨가율을 최소 3%에서 최대 13%에 이르기까지 광범위한 수준에서 보드를 제조하였다.

<표 3-8> 폐지 및 폐섬유를 이용한 복합보드의 실험제조조건

목표밀도	함지율	열압조건		
		온도	압력	시간
0.8g/cm ³	3%, 5%, 7%, 9%, 11%, 13%	170℃, 190℃, 210℃	40kgf/cm ²	8분

* 매트함수율 : 13.5%, 보드 치수 : 6mm×250mm×250mm

제 2 항 실험결과

1. 폐지섬유 복합보드의 물성

<표 3-9>에서는 실험 제조한 폐지섬유 복합보드의 물리·기계적 성질을 보여주고 있다.

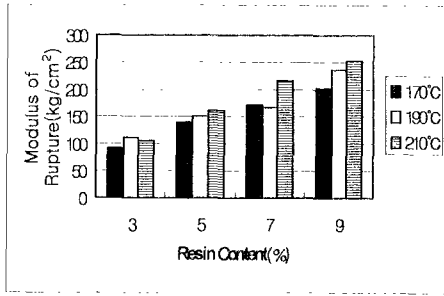
<표 3-9> 폐지섬유 복합보드의 물리·기계적 성질

목표밀도 (g/cm ³)	함지율 (%)	열압온도 (°C)	실측밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두께팽창률 (%)
0.8	3	170	0.82	5.33	92.07	10,326	2.13	102.52	47.53
	5	170	0.85	5.60	140.07	14,068	2.39	92.45	42.55
	7	170	0.84	5.45	172.78	16,832	3.09	80.13	33.42
	9	170	0.82	5.47	202.93	16,691	4.37	65.93	23.02
	11	170	0.82	5.71	-	-	9.25	53.68	11.23
	13	170	0.84	5.50	-	-	12.00	48.86	10.44
0.8	3	190	0.82	5.59	111.98	10,994	2.36	100.95	40.34
	5	190	0.84	5.52	148.62	14,318	2.46	85.42	35.62
	7	190	0.84	5.22	167.58	15,454	3.13	81.28	27.30
	9	190	0.84	5.38	236.42	19,777	6.02	62.53	19.34
	11	190	0.83	5.67	-	-	9.39	52.56	9.68
	13	190	0.81	5.68	-	-	14.54	50.06	8.41
0.8	3	210	0.83	5.46	105.94	11,166	2.51	91.24	33.31
	5	210	0.84	5.27	162.32	15,311	2.99	85.82	30.43
	7	210	0.84	5.33	216.10	20,701	3.63	66.69	24.69
	9	210	0.84	5.35	253.67	20,810	7.01	65.21	19.34
	11	210	0.81	5.34	-	-	10.33	50.59	8.79
	13	210	0.83	5.77	-	-	15.91	44.00	7.66

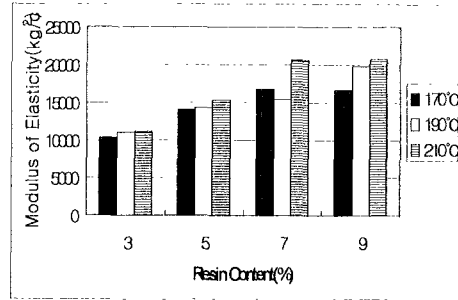
가. 휨성질

<그림 3-17~18>은 수지침가율 및 열압온도에 따른 폐지섬유 복합보드의 휨강도 및 휨탄성계수를 나타내고 있다. 여기에서 열압온도와 수지침가율이 증가할수록 휨성질은 직선적으로 증가하였다. 단 함지율이 3%인 경우에 열압온도에 따른 휨성질의 차이가 명확치 않은 것은 미세한 섬유원료에 대한 수지도포량으로서 너무 함지율이 낮기 때문이라고 할 수 있다. 또한 시판 보

드의 수지도포량보다 훨씬 낮은 수준인 7%의 함지율에서도 시판 파티클보드 정도의 휨강도를 나타내고 있는 것은 본 연구에서 개발, 적용한 접착제도포 장치의 성능이 매우 우수하기 때문인 것으로 보여진다.



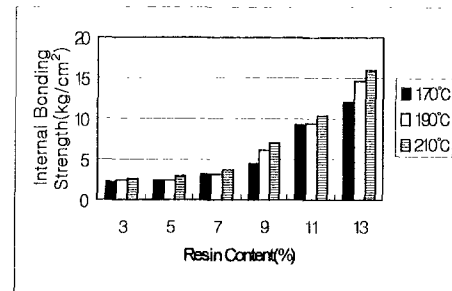
<그림 3-17> 페지섬유 복합보드의 휨강도



<그림 3-18> 페지섬유 복합보드의 휨탄성계수

나. 박리강도

<그림 3-19>에서와 같이, 함지율을 3%에서 13%까지 단계적으로 증가시켰을 때, 페지섬유 복합보드의 박리강도는 指數함수와 유사한 증가곡선을 나타내고 있다. 즉 5% 미만의 수지도포량은 미세원료의 비표면적에 대하여 너무 過少한 것으로 보여지며, 약 9% 이상의 함지율에서 매우 양호한 접착

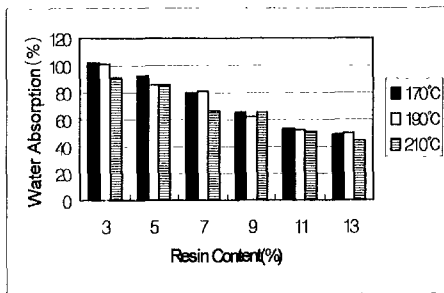


<그림 3-19> 페지섬유 복합보드의 박리강도

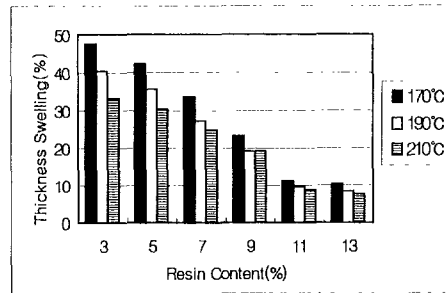
성능을 나타내고 있다. 따라서 미세섬유원료를 이용한 보드제조시 가장 중요시 되는 내부접착력 문제는 본 실험결과를 통하여 충분히 해소될 수 있었다.

다. 치수안정성

폐지섬유보드에 있어서 함지율의 증가에 따라 흡수율 및 두께팽창률이 감소하는 현상은 앞서 설명한 액상수지를 도포한 목질분체보드와 유사한 경향을 보여주고 있다. 그러나 압체온도의 영향에 있어서는 분체보드와는 다른 특이한 결과를 보여주고 있다. 즉 분체보드에 있어서는 압체온도가 상승할수록 흡수율이 다소 증가되었지만, 폐지섬유보드의 경우에는 유사하거나 감소하는 현상을 나타냈다<그림 3-20>. 또한 압체온도의 상승에 따라 분체보드는 두께팽창률이 현저히 감소되었지만, 폐지섬유보드의 경우에는 감소폭이 크지 않았다<그림 3-21>. 그리고 전체적으로 폐지섬유보드의 치수안정성은 분체보드보다 크게 떨어지고 있어, 폐지섬유보드의 취약점으로 나타나고 있다. 11% 이상의 함지율에서는 치수안정성의 문제가 거의 없을 것으로 판단되지만, 내수제 첨가 등의 방법에 의해 더욱 개선될 수 있을 것이다.



<그림 3-20> 폐지섬유 복합보드의 흡수율



<그림 3-21> 폐지섬유 복합보드의 두께팽창률

2. 폐지섬유 · 폐합성섬유 복합보드의 물성

본 실험에서는 폐합성섬유가 갖는 보강효과, 緩衝性, 보온성 등의 특성을 폐목질섬유와 결합시킨 복합보드를 개발하기 위하여, 폐지섬유와의 복합보드를 제조하였다. 또한 이를 토대로 하여 기능성 목질·무기질계 복합보드 개

말에 있어서 무기질원료의 脆性을 보완하는 緩衝·補强材料로서의 활용가능성을 검토하고자 하였다. 폐지섬유·폐합성섬유 복합보드의 물성시험결과를 정리하면 아래 <표 3-10>과 같다.

<표 3-10> 폐지섬유·폐합성섬유 복합보드의 물리·기계적 성질

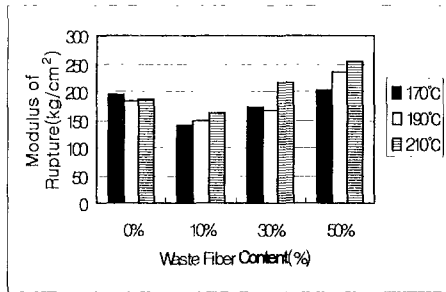
열압온도 (℃)	폐섬유 혼합율 (%)	실측밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨영계수 (kgf/cm ²)	휨충격 흡수에너지 (J/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두께팽창률 (%)
170	0	0.84	5.50	193.35	14,452	4.02	12.00	48.86	10.44
170	10	0.85	5.60	140.07	14,068	4.15	7.98	92.45	42.55
170	30	0.84	5.45	172.78	16,832	5.38	6.35	80.13	33.42
170	50	0.82	5.47	202.93	16,691	5.81	4.01	65.93	23.02
190	0	0.81	5.68	183.02	13,774	3.55	14.54	50.06	8.41
190	10	0.84	5.52	148.62	14,318	4.67	8.50	85.42	35.62
190	30	0.84	5.22	167.58	15,454	5.18	7.00	81.28	27.3
190	50	0.84	5.38	236.42	19,777	5.45	3.49	62.53	19.34
210	0	0.83	5.77	187.73	13,593	3.59	15.91	44.00	7.66
210	10	0.84	5.27	162.32	15,311	3.73	8.09	85.82	30.43
210	30	0.84	5.33	216.10	20,701	3.96	4.50	66.69	24.69
210	50	0.84	5.35	253.67	20,810	4.46	3.63	65.21	19.34

* 목표밀도 : 0.8g/cm³, 함지율 : 13%

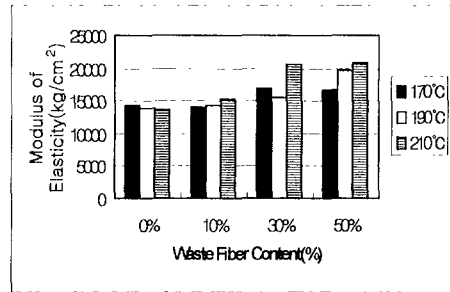
가. 휨성질

폐지섬유·폐합성섬유 복합보드의 휨강도는 <그림 3-22>에서와 같이 폐섬유의 혼입량이 10%인 경우에는 100% 폐지섬유보드보다 감소하다가 폐섬유 혼입량이 30%, 50%로 증가함에 따라 다시 휨강도가 증가하는 경향을 보였으며, 폐섬유의 혼합율이 50%일 때 보드의 휨성질이 가장 우수한 것으로 나타났다. 특히 폐섬유 혼합율 50%에서는 열압온도의 상승에 따라 휨강도 또

한 증가하였다. 또한 <그림 3-23>에서 알 수 있듯이 열압온도의 상승 및 폐섬유 혼합율의 증가에 따라 보드의 휨탄성계수가 증가하는 것으로 나타났다. 즉 열압온도가 상승됨에 따라 異種섬유원료간의 연화 및 고착현상이 더욱 두드러지면서, 합성섬유혼합율이 증가할수록 압축비가 상승하기 때문인 것으로 보여진다.



<그림 3-22> 폐지섬유·폐합성섬유 복합보드의 휨강도



<그림 3-23> 폐지섬유·폐합성섬유 복합보드의 휨탄성계수

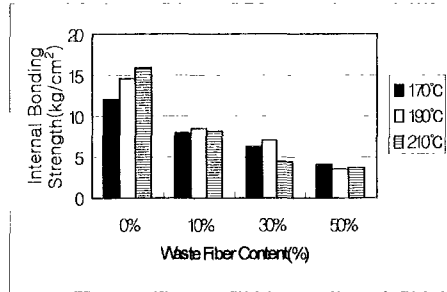
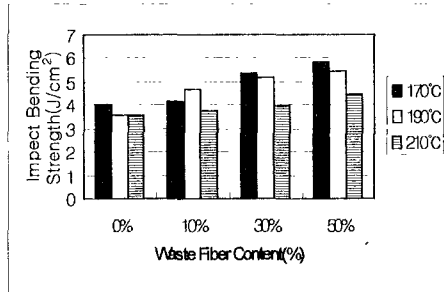
나. 휨충격흡수에너지

본 실험에서는 특히 폐합성섬유의 혼합에 따른 충격흡수 또는 충격완화 효과를 관찰하기 위하여 charpy형 충격시험기에 의해서 휨충격흡수에너지를 측정하였다. 그 결과 <그림 3-24>에서와 같이 폐섬유의 혼합율이 증가함에 따라 충격흡수에너지가 증가하는 현상을 파악할 수 있었다. 그러나 열압온도에 있어서는 온도를 상승시킬수록 휨강도는 증가하는 반면, 충격흡수에너지는 감소하는 경향을 나타내고 있다.

다. 박리강도

<그림 3-25>는 복합보드의 박리강도 측정결과이다. 여기에서 폐합성섬유의 혼입량이 증가함에 따라 내부결합력은 감소하고 있다. 이는 섬유지름이 작은 폐합성섬유에 의해 비표면적이 더욱 커짐으로써 접착제가 고루 도포되

지 않기 때문인 것으로 사료된다. 한편 열압온도에 따른 박리강도변화는 일정한 경향을 보이지 않았다.

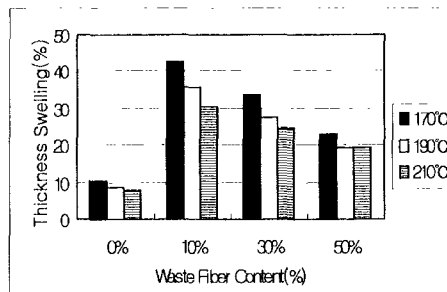
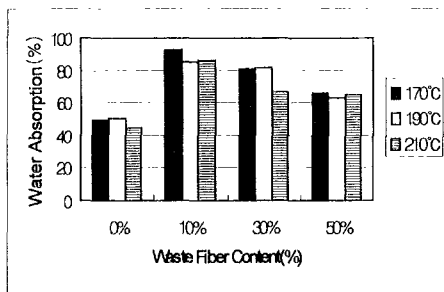


<그림 3-24> 폐지섬유·폐합성섬유복합 보드의 휨충격흡수에너지

<그림 3-25> 폐지섬유·폐합성섬유복합 보드의 박리강도

라. 치수안정성

<그림 3-26~27>에서 보는 바와 같이, 폐합성섬유를 혼합하면 100% 폐지섬유보드에 비하여 흡수율과 두께팽창률이 크게 증가하였다. 폐합성섬유의 혼합량이 증가함에 따라 두께팽창률은 다시 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 폐합성섬유량이 많을수록 압축비가 커지면서, 접착이 도포된 섬유들간의 결합력이 커지는 결과 때문인 것으로 보여진다.



<그림 3-26> 폐지섬유·폐합성섬유복합 보드의 흡수율

<그림 3-27> 폐지섬유·폐합성섬유복합 보드의 두께팽창률

제 3 항 결 론

(1) 폐지섬유 복합보드의 물성은 열압온도 210℃, 함지율 11%의 조건으로 제조된 보드가 가장 우수한 것으로 나타났다. 즉 미세 섬유상 원료의 비표면적이 매우 크므로 목질 분체원료보다 수지소요량이 많아지고 있다.

(2) 폐지섬유·폐합성섬유 복합보드의 물성은 휨성질의 경우 폐섬유 혼입율이 50%인 보드가 가장 우수하였으나, 그밖의 물성은 휨성질과 다소 상이한 현상을 나타내고 있으며, 폐합성섬유의 복합이용에 의해 휨강도 및 내충격성이 개선되는 실용적 효과가 있는 것으로 밝혀졌다.

제 6 절 기능성 목질·무기질 분체복합보드 개발

앞서의 실험결과에서 폐가구류나 폐지를 성능이 뛰어난 바닥재나 내장재의 원료로 충분히 활용할 수 있다는 가능성을 밝혔다. 폐목질 분체복합보드 개발을 위한 본 연구를 착수하면서 목질원료의 분체상 이용방법의 여러가지 잇점을 제시하였으며, 이 가운데 건축용 보드로서 다양한 기능성과 내화성을 부가시킬 수 있는 무기질 원료와의 복합이 용이하다는 점에 주목할 필요가 있다.

따라서 본 실험에서는 원료이용의 효율성, 제조공정, 제품용도 등을 고려하여 선정된 몇 가지의 무기질 원료를 사용하여 목질·무기질 분체복합보드를 제조하고, 그 특성을 조사하여 일종의 기능성 복합보드를 개발하고자 하였다. 한편 최근에 우리나라에서는 황토, 맥반석 등의 무기재료가 인체친화적인 실내건축자재로 많이 사용되고 있어, 이와 같은 무기질 원료를 사용한 건축용 패널제품 개발의 時宜性이 있을 것으로 여겨진다.

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 목질원료

목질원료는 제 2~3절에서의 실험과 마찬가지로 표면오버레이를 하지 않은 폐MDF 분체를 사용하였으며, 시료의 함수율은 8%로 조정하였다.

나. 무기질 원료

복합보드 제조용으로 사용된 무기질 원료로서는 황토, 맥반석, 제올라이트 등의 천연무기재료와 석탄연소 폐기물인 fly ash를 분말상태로 사용하였

다. 아울러 탁월한 목질계 기능소재라고 할 수 있는 목탄(대나무) 분말을 혼합원료로 사용하였다.

다. 접착제

복합보드를 제조하는데 사용한 접착제는 제 2절 및 4절에서와 같은 분말상 novolak型 페놀수지이다.

2. 보드제조

목질원료에 대하여 무기질원료를 10, 30, 50%의 무게비율로 혼합하여, 목표밀도 0.8g/cm³의 목질·무기질 분체복합보드를 제조하였으며, 전체 원료무게에 대한 수지첨가율은 일정수준(9%)으로 하였다. 보드의 크기는 6mm×25cm×25cm이다. 압축공기 분사방식에 의하여 목질원료, 무기질 원료 그리고 분말상 페놀수지를 동시 혼합한 다음, 분체보드용으로 제작한 성형틀내에 성형시킨 후 열압하여 보드를 제조하였으며, 열압온도는 210℃로 하여 8분간 압제하였다. 목질·무기질 분체복합보드의 실험제조조건은 <표 3-11>과 같다.

<표 3-11> 목질·무기질 분체복합보드의 실험제조조건

무기질원료	무기질 혼합비율 (%)	목표밀도 (g/cm ³)	합지율 (%)	열압온도 (℃)	열압시간 (분)
황토					
맥반석	10				
제올라이트	30	0.8	9	210	8
Fly ash	50				
목탄					

3. 보드의 물성 및 성능시험

가. 물리·기계적 성질 측정

KS F 3200(섬유판)에 의해 보드의 휨성질, 박리강도, 흡수율 및 두께 팽창률을 6반복씩 측정하였다.

나. 원적외선방사시험

실험제조한 목질·무기질 복합보드의 기능성 평가를 위하여 원적외선방사시험을 실시하였다. 한국건자재시험연구원이 보유한 FT-IR spectrometer에 의해 원적외선 방사율과 원적외선 방사에너지를 측정하였으며, 측정온도는 40℃, 파장범위는 5~20 μ m였다.

다. 내화성시험

임업연구원이 보유하고 있는 난연시험기에 의해 온도시간면적, 단위면적당 발연계수, 착화시간 등을 측정하였다. 난연시험은 220×220mm의 시험편을 채취하여 40±5℃의 건조기에서 24시간 건조한 다음 실시하였다. 시험편의 受熱面 크기는 180×180mm이며, 副熱源으로 3분간 가열한 다음 다시 主熱源으로 3분간 가열하였다.

제 2 항 실험결과

1. 물리·기계적 성질

실험제조한 목질·무기질 분체복합보드의 수지침가율 및 열압조건에 따른 휨성질, 박리강도, 치수안정성 등을 <표 3-12>에 보여주고 있다.

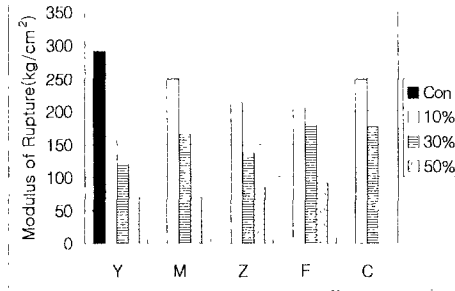
<표 3-12> 목질·무기질 분체복합보드의 물리·기계적 성질

무기질 종 류	무기질 혼합비 (%)	목표 밀도 (g/cm ³)	실측 밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두께팽창률 (%)
Control	0	0.8	0.82	6.49	291.30	29,131	17.56	19.50	6.55
황토 (Y)	10	0.8	0.82	6.61	162.43	21,393	13.17	24.63	8.04
	30		0.81	6.57	120.85	14,715	9.64	31.86	6.90
	50		0.83	6.45	69.53	9,285	7.21	38.69	5.37
맥반석 (M)	10	0.8	0.82	6.46	248.78	27,726	18.24	20.35	10.85
	30		0.82	6.51	164.67	20,385	13.53	18.82	5.88
	50		0.82	6.46	69.01	9,956	8.19	20.67	4.07
Zeolite (Z)	10	0.8	0.82	6.25	213.03	22,126	17.11	23.48	8.46
	30		0.82	6.59	136.58	17,538	13.49	41.73	7.59
	50		0.82	6.58	86.57	11,435	7.96	61.48	5.95
Fly ash (F)	10	0.8	0.82	6.45	204.88	25,611	20.16	19.65	7.44
	30		0.82	6.62	179.27	19,371	15.77	18.67	6.12
	50		0.82	6.32	90.80	9,959	12.43	18.94	4.17
목탄 (C)	10	0.8	0.82	6.45	248.75	25,911	17.24	20.39	7.48
	50		0.82	6.29	176.48	21,186	16.74	24.14	6.17

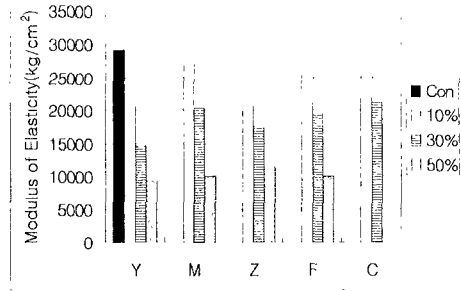
* 함수율 : 9%, 열압온도 : 210℃

가. 휨성질

목질·무기질 분체복합보드의 휨성질은 <그림 3-28~29>에서와 같이 무기질의 혼입량이 증가함에 따라 대체로 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 특히 황토를 첨가한 복합보드의 경우에는 10%의 첨가수준에서도 무첨가보드(control)에 비하여 휨강도가 크게 저하되었다. 그러나 맥반석과 목탄을 10% 첨가한 보드의 휨강도는 무첨가보드에 근접하고 있다. 평균적인 휨강도는 대체로 무기질원료의 종류에 따라 목탄 = 맥반석 > Fly ash = 제올라이트 > 황토 순으로 나타나고 있다.



<그림 3-28> 목질·무기질 분체복합 보드의 휨강도

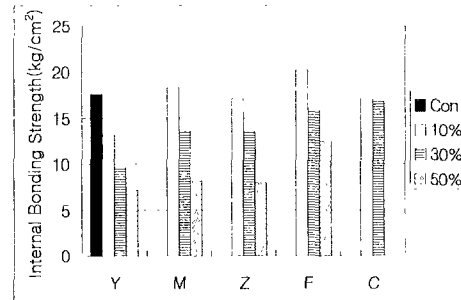


<그림 3-29> 목질·무기질 분체복합 보드의 휨탄성계수

나. 박리강도

목질·무기질 복합보드의 박리강도 시험결과에서는 혼합원료의 종류에 따라 다소 특이한 현상을 보여주고 있다<그림 3-30>.

무기질원료를 10% 정도 혼합할지라도 무첨가보드와 유사한 수준의 박리강도를 보여주고 있으며, 맥반석과 Fly ash를 혼합할 경우에는 오히려



<그림 3-30> 목질·무기질 분체복합 보드의 박리강도

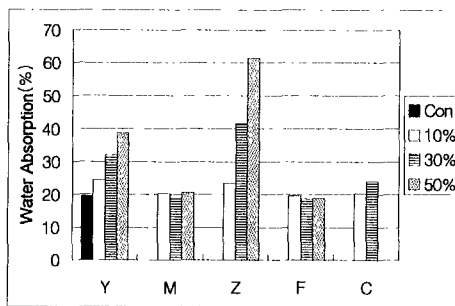
다소 박리강도를 증가시키는 현상을 나타내고 있다. 한편 10~30%의 목탄을 첨가한 경우에는 무첨가보드와 거의 유사한 수준의 박리강도를 보이고 있어, 내부결합력의 저하를 일으키지 않고 있다.

다. 흡수율 및 두께팽창률

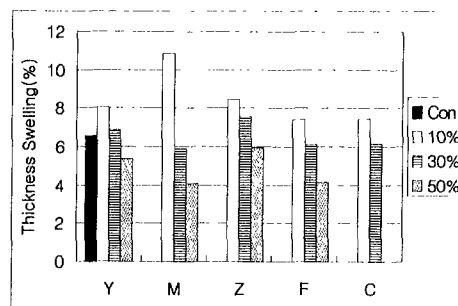
목질·무기질 분체복합보드의 수분에 대한 성질은 <그림 3-31~32>에서와 같이 무기질의 성질과 혼입량에 따라 각기 다른 경향을 보이고 있다. 흡수율의 경우에는 제올라이트를 혼합할 때에 가장 높은 것으로 나타났는데,

이는 제올라이트 자체의 성질 때문인 것으로 여겨진다. 합성제올라이트는 일반식 $\text{Na}_m(\text{AlO}_2)_m(\text{SiO}_2)_n \cdot x\text{H}_2\text{O} (m < n)$ 로 표시되는 함수알루미늄규산염으로서 Na^+ 와 H_2O 는 결정구조를 파괴하지 않고 변환된다. 그리고 탈수된 후에는 몇 Å의 균일한 공동을 갖기 때문에 그보다 작은 분자만을 선택적으로 흡착하여, 분자체(molecular sieve)로서 이용되고 있다. 또한 주위의 수분을 결정수로서 흡수하는 성질이 있기 때문에 다른 무기질에 비해 많은 양의 수분을 흡수함으로써 흡수율이 가장 큰 것으로 보여진다.

두께팽창률의 경우에는 흡수율과 다른 경향을 나타내고 있다. 즉 무기질이 10%혼입되면 두께팽창률은 증가하지만 혼입량이 증가함에 따라 두께팽창률은 감소하고 있다. 이는 목질 원료인 페MDF의 분체는 수분 흡수로 인하여 섬유 자체가 팽윤하는 반면에, 무기질원료의 경우에는 수분 흡수로 인한 무기질 자체의 팽윤율이 목질원료에 비하여 적기 때문에 두께팽창률이 감소하는 것으로 사료된다.



<그림 3-31> 목질·무기질 분체복합 보드의 흡수율

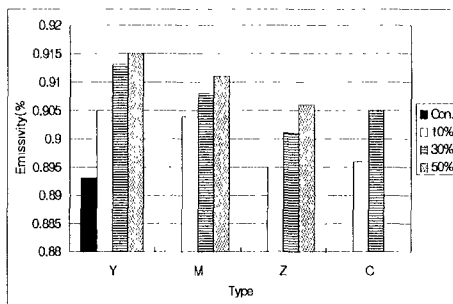


<그림 3-32> 목질·무기질 분체복합 보드의 두께팽창률

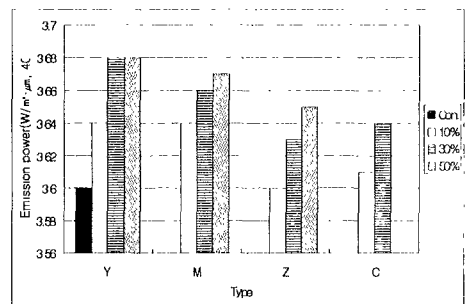
2. 원적외선방사효과

무기질 혼입량의 증가에 따라 원적외선 방사율과 방사에너지가 뚜렷이

증가하고 있다. 여기에서 원적외선 방사율은 완전한 원적외선 방사체(block body)에 대한 비교치로 나타낸 것이다. 혼합원료의 종류에 따른 원적외선 방사효과는 황토 > 맥반석 > 제올라이트 > 목탄 > 무첨가 순으로 나타났다. 따라서 본 실험의 원적외선 측정범위(파장 5~20 μ m)에서의 방사에너지 결과로부터 인체에 양호한 효과를 줄 수 있는 기능성 분체복합보드 개발이 가능한 것으로 판단되었다<그림 3-33~34>.



<그림 3-33> 목질·무기질 분체복합 보드의 원적외선방사율



<그림 3-34> 목질·무기질 분체복합 보드의 원적외선방사 에너지

3. 내화성

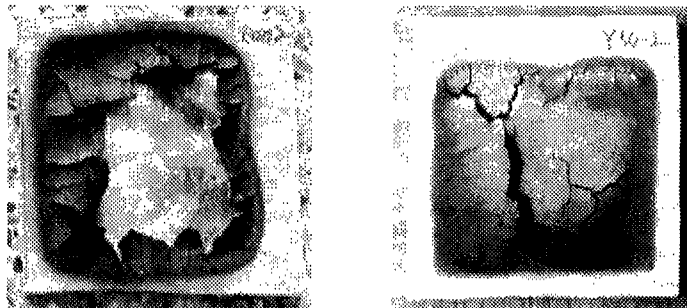
목질·무기질 복합보드의 난연시험 결과에서는 분체복합보드의 무기질 원료의 혼합율이 증가함에 따라 내화성이 뚜렷이 개선되고 있음을 알 수 있다 <표 3-13, 그림 3-35, 36>.

또한 <사진 3-5>에서와 같이, 황토가 50% 첨가된 목질·무기질복합보드의 경우에는 난연시험 후에 이면할렬이 그다지 심하지 않았으나, 무기질을 혼합하지 않은 대조보드(control)의 경우에는 시험편의 대부분이 소실되었다. 단위 면적당 발연계수에서도 황토가 50% 첨가된 보드의 발연계수가 대조보드에

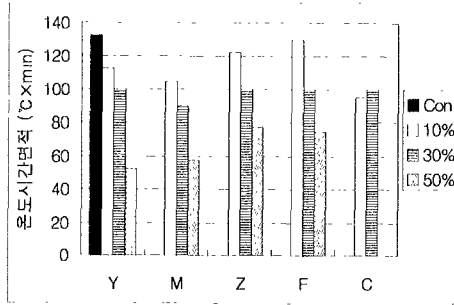
비하여 83% 정도 감소된 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로부터 본 연구에서 개발한 목질·무기질복합보드를 내장재로 사용할 경우에는 화재발생시 유해가스배출에 의한 피해를 크게 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

<표 3-13> 목질·무기질 분체복합보드의 난연시험결과

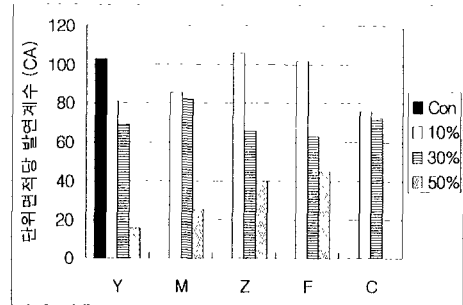
무기질 원료		실측밀도 (g/cm ³)	온도시간 면적 (°C×min.)	단위면적당 발연계수 (CA)	착화시간 (sec)
종류	혼합율(%)				
Control	0	0.82	132.5	89.5	62
	10	0.82	112.5	81.0	62
	30	0.81	100.0	52.5	95
황토(Y)	50	0.83	52.5	15.5	140
	10	0.82	105.0	72.5	76
	30	0.82	90.0	64.0	100
맥반석(M)	50	0.82	57.5	21.5	137
	10	0.82	122.5	85.5	63
	30	0.82	100.0	54.5	90
제올라이트(Z)	50	0.82	77.5	32.5	125
	10	0.82	130.0	81.0	60
	30	0.82	100.0	53.0	92
Fly ash(F)	50	0.82	75.0	31.5	110
	10	0.82	95.0	68.5	93
	30	0.82	100.0	54.0	102



<사진 3-5> 난연시험 후의 목질·무기질복합보드 (左 : Control, 右 : 황토 50% 혼합)

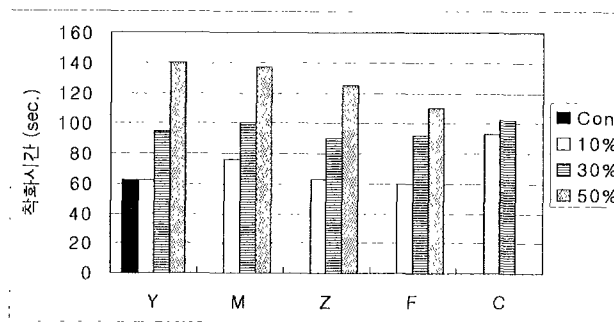


<그림 3-35> 목질·무기질 분체복합 보드의 연소시 온도·시간면적



<그림 3-36> 목질·무기질 분체복합 보드의 연소시 단위면적당 발연계수

<그림 3-37>은 목질·무기질 복합보드의 착화시간을 보여주는 것으로서, 무기질 첨가율의 증가에 따라 착화시간이 지연되었다. 특히 황토나 맥반석을 50% 첨가할 때는 착화시간을 2배 정도 지연시키는 효과를 나타냈다. 혼합원료의 종류별 내화성능을 비교하였을 때, 황토와 맥반석은 온도시간면적, 단위면적당 발연계수 및 착화시간지연 등에서 모두 양호한 것으로 나타났으며, 목탄의 경우에도 모든 항목에서 우수한 것으로 판명되었다. 그러나 첨가된 무기질 원료가 10% 이하일 경우에는 내화성능이 크게 떨어졌으며, 내화성능을 갖는 복합보드 제조시에는 무기질원료가 30% 이상 첨가되어야 할 것이다.



<그림 3-37> 목질·무기질 분체복합보드의 착화시간

제 3 항 결 론

(1) 폐목질분체와 무기질원료의 분체복합보드를 제조하였을 때, 무기질혼합비의 증가에 따라 강도적 성질은 대체로 감소하지만, 혼합비 30% 이하에서는 내부접착력이 문제되지 않으며, 치수안정성 또한 양호하다. 특히 맥반석 또는 Fly ash를 10% 혼합하면 오히려 접착력이 증대하며, 목탄 첨가사용시에도 양호한 물성을 나타낸다.

(2) 무기질원료 혼입량 증가에 의해 복합보드의 원적외선 방사율이 뚜렷이 증가하며, 특히 황토와 맥반석을 사용할 때 매우 효과적이다. 그 밖에도 목탄 혼합보드는 전자파차폐효과가 기대된다.

(3) 목질·무기질 분체복합보드의 난연시험 결과, 황토 > 맥반석 > (목탄) > 제올라이트 = fly ash > 무처리 순의 내화성을 나타내고 있으며, 황토 50% 첨가시에는 무처리에 비하여 착화시간이 2배 지연되며, 발연계수는 1/6로 감소되는 효과를 보여주었다.

제 7 절 폐목질분체복합보드의 제조공정 개선 및 휘발성유기화합물(VOC) 방출량 조사

이상에서의 연구결과에서 밝혀졌듯이 폐목질을 재활용한 분체복합보드는 강도 및 내부접착력이 매우 뛰어나며, 기능소재화가 가능하였다. 그러나 분체복합보드의 제조공정, 제품물성 및 용도개발에 있어서 몇가지 사항에 대한 보완적인 검토가 필요하다.

첫째, 본 연구에서 개발한 분체복합보드를 제조하기 위해서 폐목질을 분쇄하면, 실제 발생하는 분체의 입도범위가 크므로, 선별후에 20mesh 이상의 거친 입자는 재분쇄를 해야만 하는 문제가 있다. 둘째, 분체복합보드의 물성증에서 상대적으로 갖는 취약성은 흡수후의 치수안정성이라고 할 수 있다. 셋째, 복합보드의 용도에 따라서 요구되는 성능이 다르며, 경량칸막이, 내장재 등의 용도에서는 강도보다는 경량성 또는 내화성이 더욱 요구된다. 넷째, 향후 열경화성수지를 사용하는 새로운 복합보드의 산업화를 위해서는 인체 유해한 휘발성유기화합물(VOC)의 방출 문제가 심층 검토되어야만 할 것이다.

따라서 본 절에서는 이와 같은 사항들을 중심으로 한 실험적 검토가 이루어졌다.

제 1항에서는 원료의 선별수율을 최대화시키면서, 경량성, 내화성을 향상시키기 위한 방법으로, 목질원료를 사용한 3층구성보드와 목질원료와 무기질원료인 펄라이트를 적층시킨 3층구성 분체복합보드를 제조하여, 그 특성을 평가하였다.

제 2항에서는 분체보드의 치수안정성을 개선하기 위한 일종의 방법으로 목질원료에 대한 열처리 효과를 검토하였다.

제 3항에서는 분체보드의 제조과정에서 발생하는 포름알데히드 및 VOC를 정량적으로 측정, 분석하여 제조요인과의 관계를 구명하였다.

제 1 항 3층구성 분체복합보드의 제조

1. 3층구성 분체복합보드의 제조방법

3층구성 분체복합보드의 제조는 다음 두가지 방법으로 이루어졌다. 첫번째 방법으로서 표층과 내층의 목질원료 크기를 달리한 목질 3층보드를 제조하였다. 그리고 복합보드의 경량화 및 내화성 향상을 위하여 보드 내층에 천연 무기질원료인 펄라이트를 적층구성한 3층 복합보드를 제조하였다. 여기에서 목질분체원료는 종전과 마찬가지로 폐MDF를 분쇄, 사용한 것이다. 3층구성 분체복합보드의 제조실험요인은 <표 3-14>와 같다.

<표 3-14> 3층구성 분체복합보드의 제조실험요인

보드종류	접착제	합지율 (%)		예정밀도 (g/cm ³)	보드 두께 (mm)	열압조건		
		표층	내층			온도 (°C)	압력 (kgf/cm ²)	시간 (분/mm)
목질분체보드		9	5	0.8	6			
			7					
목질·펄라이트 분체보드	분말상 페놀수지	9	9	0.5	12	210	40	15
				0.6				
				0.7				
				0.8				

* 목질·펄라이트 분체보드의 예정밀도는 펄라이트를 사용한 내층 밀도임.

여기에서 표층과 내층의 목질분체원료의 粒度를 달리한 3층구성 목질분체보드의 경우에는 보드 두께를 6mm와 12mm 2종류의 보드를 제조하였으며, 목표밀도는 0.8g/cm³, 중층 합지율을 5, 7, 9% 등 3수준으로 설정하였다. 이 때 표층용 분체원료는 40~60mesh, 내층용 분체원료는 10~20mesh의 크기로 선별하였다. 그리고 펄라이트를 내층원료로 사용한 3층경량복합보드는 내층의

밀도를 0.5, 0.6, 0.7, 0.8g/cm³의 4수준으로 구분하여 보드를 제조하였으며, 이때 함지율은 표층과 내층 모두 9%로 하였다.

2. 3층구성 분체복합보드의 물성

<표 3-15>는 3층구성 분체복합보드의 물리·기계적 성질 측정 결과이다.

<표 3-15> 3층구성 분체복합보드의 물리·기계적 성질

보드구성	함지율 (%)	예정밀도 (내층) (g/cm ³)	실측밀도 (전체) (g/cm ³)	함수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성 계 수 (kgf/cm ²)	박리 강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두 개 팽창률 (%)
목질분체복합보드 (두께 6mm)	5	0.8	0.80	6.93	337	42,905	6.44	44.5	12.7
	7	0.8	0.80	6.83	356	43,002	11.06	43.4	12.5
	9	0.8	0.80	6.67	370	43,868	12.77	41.9	12.3
목질분체복합보드 (두께 12mm)	5	0.8	0.81	6.12	288	29,274	5.71	38.4	8.7
	7	0.8	0.81	6.09	301	31,267	8.44	34.9	8.2
	9	0.8	0.80	6.22	335	32,537	9.30	33.9	7.9
목질·필라이트 분체복합보드 (두께 12mm)	9	0.5	0.66	6.65	145	23,040	1.45	62.4	8.4
	9	0.6	0.71	6.79	219	24,720	2.09	54.8	7.6
	9	0.7	0.76	6.52	261	33,177	3.80	46.0	7.3
	9	0.8	0.81	6.70	274	34,082	4.10	41.7	6.9

* 열압온도 : 210℃

본 실험에서 분말상 페놀수지를 사용하여 제조한 3층구성 목질분체 복합보드는 외관상 내층의 박리현상이 전혀 없었으나, 목질분체와 필라이트를 복합구성한 경량 목질·필라이트분체 복합보드의 경우에는, 내층밀도를 0.8g/cm³로 하였을 때, 일부 내층에서의 박리현상이 나타나기도 하였다. 그리고 제조된 목질·필라이트 분체복합보드의 실제 밀도는 0.66~0.81g/cm³의 분포를 나타내

고 있어 약 20% 정도의 경량화 효과를 보이고 있다.

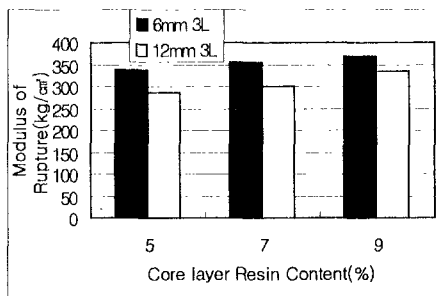
가. 휨성질

<그림 3-38~39>는 목질 분체원료로 구성된 3층보드(예정밀도 0.8g/cm³, 두께 6mm 및 12mm)의 휨성질을 접착제 첨가율(합지율)과의 관계로서 나타낸 것이며, <그림 3-40~41>에서는 표층은 목질분체, 내층은 펄라이트로 구성된 목질·펄라이트 분체복합보드(두께 12mm)의 휨성질을 내층 밀도와와의 관계로 나타내고 있다.

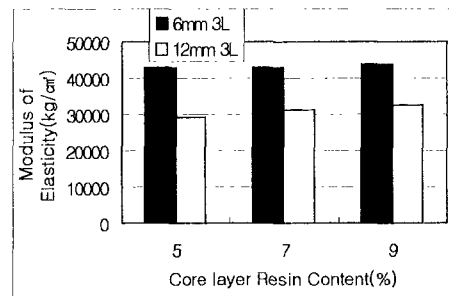
<그림 3-38~41>에 나타냈듯이 동일수준의 밀도(0.8g/cm³)와 합지율(9%)로 제조된 2가지 타입의 보드(두께 12mm)의 휨성질을 비교해보면, 내층에 목질분체를 사용한 보드에 대비하여 펄라이트를 사용한 보드는 휨강도가 82%로서 다소 취약해지지만, 휨탄성계수는 오히려 5% 정도 증가하고 있다. 또한 목질·펄라이트 복합보드는 내층의 설계밀도 0.6g/cm³(보드전체의 실측밀도 0.71g/cm³)에서 일반 파티클보드 수준인 휨강도 200kgf/cm²을 상회하는 충분한 강도를 발휘하지만, 내층설계밀도 0.5g/cm³(보드전체의 실측밀도 0.66g/cm³)에서는 강도가 150kgf/cm² 이하로 떨어지고 있어, 실제 용도상의 요구강도에 대응한 밀도설계가 필요하다.

한편 보드제조 공정요인에 따른 3층구성 분체복합보드의 휨성질 변화를 살펴보면 다음과 같다. 우선 목질분체보드의 휨성질은 내층의 수지첨가량이 증가함에 따라 증대되는 경향을 보이지만 그 차이는 미미하였다<그림 3-38~39>. 3층구성보드의 표층은 수지첨가율을 모두 동일 수준인 9%로 하였기 때문에 내층의 합지율이 5, 7, 9%로 다를지라도 보드의 휨성질을 좌우하는 보드 표층의 인장·압축응력이 동일 수준이므로 이와 같은 결과가 나타났다고 할 수 있다. 3층보드중에서도 두께가 6mm인 보드의 휨강도가 두께 12mm인 보드보다 다소 높게 나타나고 있다.

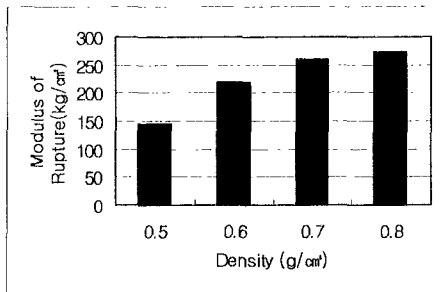
또한 목질·펠라이트 복합보드에서는 100% 펠라이트를 사용한 보드 내층의 밀도가 감소함에 따라 휨성질도 저하되고 있다<그림 3-40~41>. 이들 보드의 휨과괴시에 일어나는 보드단면상의 파괴형태를 관찰하였을 때, 주로 표층(목질)과 내층(펠라이트)의 경계면에서 전단파괴가 일어나고 있으며, 밀도가 낮아짐에 따라 이와 같은 異種재료가 결합된 층간 계면의 기계적 결합력이 저하되기 때문인 것으로 생각된다.



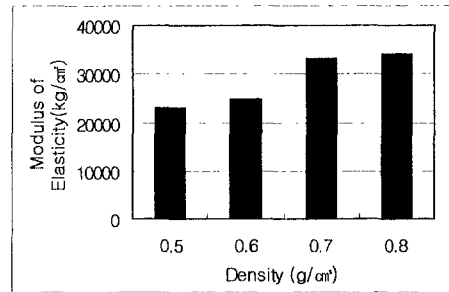
<그림 3-38> 3층 목질분체보드의 휨강도



<그림 3-39> 3층 목질분체보드의 휨탄성계수



<그림 3-40> 3층 목질·펠라이트 분체복합보드의 휨강도



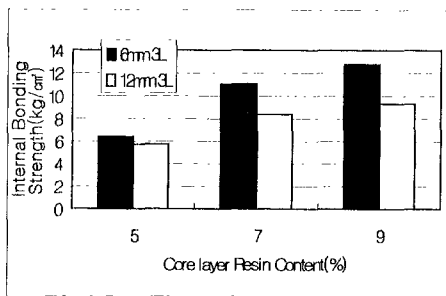
<그림 3-41> 3층 목질·펠라이트 분체복합보드의 휨탄성계수

나. 박리강도

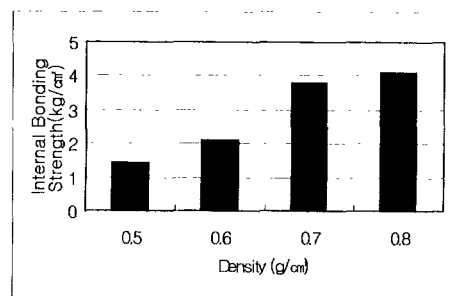
보드제조요인에 따른 3층구성의 목질분체보드 및 목질·펠라이트 분체 복합보드의 밀도와 박리강도의 관계는 <그림 3-42~43>과 같다. 휨강도와

마찬가지로 동일수준의 밀도($0.8\text{g}/\text{cm}^3$)와 함지율(9%)로 제조된 2가지 타입의 보드의 박리강도를 비교하였을 때, 내층에 목질분체를 사용한 보드에 비하여 펄라이트를 사용한 보드의 박리강도가 절반 이하로 떨어지고 있으며, 내·외층 모두 목질분체를 사용한 보드 중에서도 두께 6mm의 보드가 두께 12mm의 보드보다 약 13~37% 높은 박리강도를 보여주고 있다.

또한 함지율 및 밀도에 따른 박리강도의 변화는 휨강도보다 더욱 뚜렷하다. 특히 목질·펄라이트 분체복합보드의 박리강도는 펄라이트를 사용한 내층밀도에 대한 의존성이 크며, 인장과파시에는 내층(펄라이트)과 표층(목질)간의 경계에서 박리가 되고 있다. 따라서 어느 경우이던 접착제 첨가율에 의해 박리강도의 컨트롤이 충분히 가능하지만, 펄라이트를 사용한 보드의 밀도수준이 낮을 때에는 박리강도를 높이기 어려운 한계가 있는 것으로 나타났다.



<그림 3-42> 3층 목질 분체보드의 박리강도

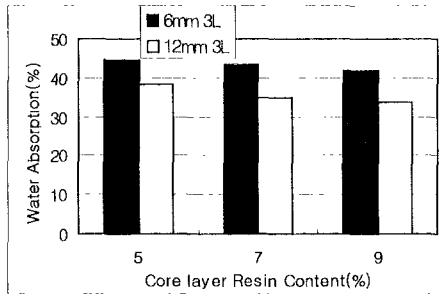


<그림 3-43> 3층 목질·펄라이트 분체복합보드의 박리강도

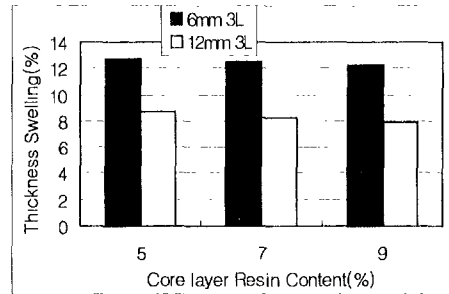
다. 치수안정성

보드제조요인에 따른 3층구성의 목질분체보드 및 목질·펄라이트 분체복합보드의 흡수율과 두께팽창률의 변화를 보면, 3층보드의 내층에 펄라이트를 사용한 복합보드는 대체로 순수 목질분체보드보다 두께팽창률이 다소 감소되었지만, 뚜렷한 차이를 나타내지는 않았다. 그리고 보드의 종류에 따라서 목질분체보드에서 수지첨가율을 증가시키면 흡수율과 두께팽창률이 감소되는

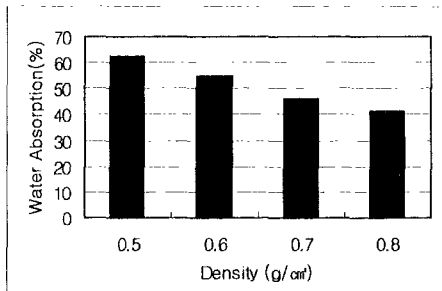
경향을 보여주고 있으며, 두께 12mm의 보드가 두께 6mm 보드보다 흡수율 및 두께팽창률이 상당히 낮았다<그림 3-44~45>. 한편 목질·펠라이트 분체복합보드에서는 내충밀도가 커짐에 따라 흡수율 및 두께팽창률이 점차 감소되는 경향을 보이고 있다<그림 3-46~47>.



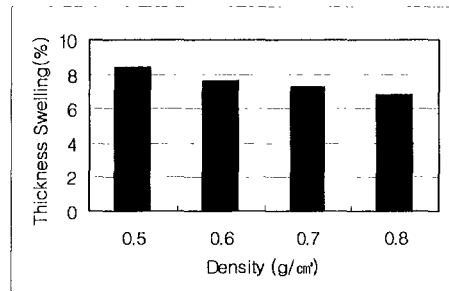
<그림 3-44> 3층 목질 분체복합보드의 흡수율



<그림 3-45> 3층 목질 분체보드의 두께팽창률



<그림 3-46> 3층 목질·펠라이트 분체복합보드의 흡수율



<그림 3-47> 3층 목질·펠라이트 분체복합보드의 두께팽창률

제 2 항 열처리에 의한 폐목질분체복합보드의 치수안정성 개선

1. 실험재료

목질원료는 제 2~3절에서의 실험과 마찬가지로 표면오버레이를 하지 않은 페MDF 분체를 사용하였으며, 보드 제조시 사용한 접착제는 제 2절~3절에서와 같은 분말상 페놀수지와 액상 페놀수지였다.

2. 열처리 분체복합보드의 제조방법

목질보드의 치수안정화 방법으로서 液相처리 또는 氣相처리에 의한 각종 화학적 처리방법이 연구되어 왔으나, 연속식 대형 생산설비에 실제로 적용하기 어려운 공정상 또는 비용상의 문제로 대부분 실용화되지 못하였다. 게다가 본 연구에서 사용된 미분체 목질원료는 이와 같은 처리가 더욱 까다롭다. 따라서 비교적 현장 적용이 용이하다고 여겨지는 열처리방법에 의한 보드제조실험을 실시하였다. 이 방법은 목질원료를 구성하고 있는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 중에서 열에 가장 분해하기 쉬운 헤미셀룰로오스를 열분해시키면서, 셀룰로오스의 수산기를 제거하여 흡수율을 줄이고 보드의 치수안정성을 개선해 보고자 하는 것이다.

목질원료의 열처리 방법은 성형틀과 열압기를 이용하여 페MDF 분체원료를 170, 190, 210℃의 온도조건에서 20분간 적당한 압력을 가하면서 열처리를 하였다. 접착제 도포 및 매트 성형 후의 열압온도는 앞의 실험결과에서 적정 조건으로 선정된 210℃와 190℃를 각각 적용하였다. 열처리 분체보드의 실험 제조조건은 <표 3-16>과 같다.

<표 3-16> 열처리 분체복합보드의 실험제조조건

접착제	열처리온도	함지율	목표밀도	보드 두께	열압조건		
					온도	압력	시간
분말상페놀수지	170℃	9%	0.8g/cm ³	6mm	210℃	40kgf/cm ²	8분
	190℃				190℃		
액상페놀수지	210℃						

2. 열처리 분체복합보드의 물성

<표 3-17>은 열처리 분체복합보드의 물리·기계적 성질 측정결과이다.

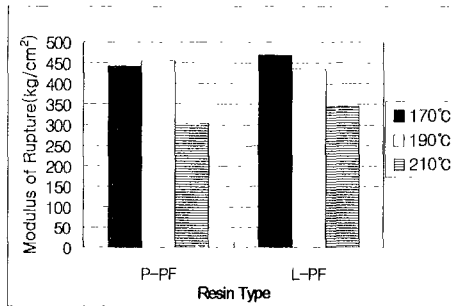
<표 3-17> 열처리 분체복합보드의 물리·기계적 성질

사용 접착제	열처리 온도 (°C)	열압 온도 (°C)	실측 밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성 계 수 (kgf/cm ²)	박리 강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	두 계 팽창률 (%)
분말상	170	210	0.80	5.40	442.5	40,914	11.45	23.80	8.62
	190	210	0.77	4.80	455.8	39,747	9.45	21.38	7.32
액 상	170	190	0.81	4.20	468.6	37,393	13.27	20.79	10.05
	190	190	0.81	4.45	436.1	39,338	11.34	17.20	8.86
페놀수지	170	190	0.83	4.30	345.7	33,675	8.58	15.82	8.60
	210	210	0.81	4.40	305.0	29,631	6.20	16.76	7.21

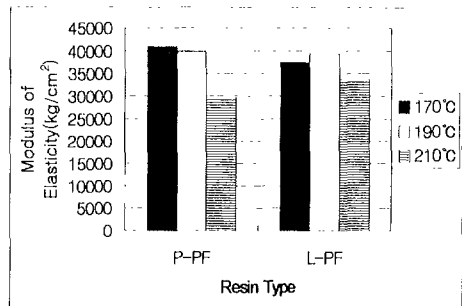
가. 강도적 성질

<그림 3-48~50>은 열처리 온도에 따른 분체보드의 휨성질 및 박리강도의 변화를 나타낸 것이다.

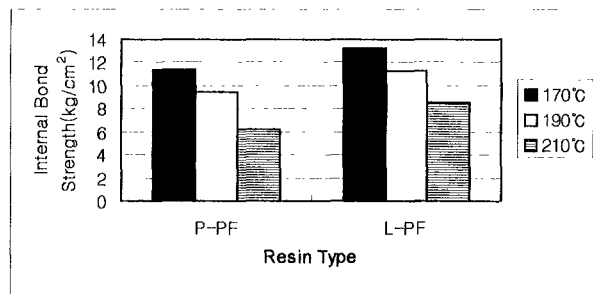
원료의 열처리를 하지 않은 앞서의 분체보드 제조실험 결과와 대비하였을 때, 열처리 온도 170°C에서는 보드 물성이 거의 저하되지 않았다. 그러나 목질원료의 열처리 온도를 증가시킴에 따라, 보드의 강도적 성질이 대체로 감소되는 경향을 보여주고 있다. 그러나 열처리 온도 170~190°C 간에는 휨성질의 변동이 거의 없었다. 이와 같이 200°C 이상의 고온에서 목질원료를 열처리하게 되면 목재성분의 일부가 열분해되어 보드의 강도적 성질에 영향을 미치고 있음을 추측할 수 있다. 그러나 전체적으로는 양호한 보드 물성을 나타내고 있으며, 분말상 수지와 액상수지간의 평균적인 물성은 대등한 수준이므로, 분체보드 제조공정 및 조건은 적정화되어 있음을 알 수 있다.



<그림 3-48> 열처리 분체복합보드의 휨강도



<그림 3-49> 열처리 분체복합보드의 휨탄성계수



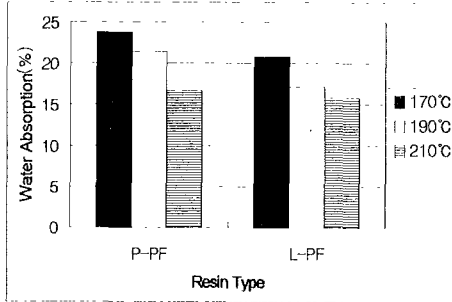
<그림 3-50> 열처리 분체복합보드의 박리강도

다. 치수안정성

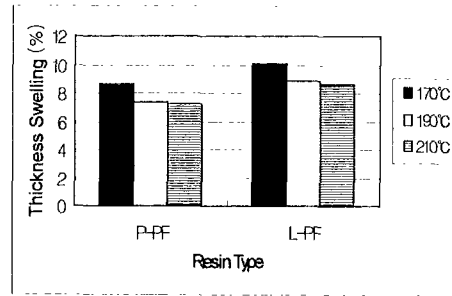
<그림 3-51~52>에서와 같이, 목질원료에 대한 열처리 온도가 증가함에 따라 대체로 분체보드의 흡수율 및 두께팽창률이 감소하고 있어, 열처리에 의한 내수성 및 치수안정성 개선효과를 보여주고 있다. 특히 두께팽창률의 경우에는 열처리 온도 170~190°C 간에는 두께팽창률의 감소폭이 비교적 크지만, 190~210°C 간에는 별다른 차이가 없었다.

따라서 열처리 목질분체보드의 물성시험 결과를 종합적으로 고찰하였을 때, 목질원료에 대한 열처리 온도조건은 190°C가 가장 적합하며, 이와 같은 열처리방식에 의해, 만족할만한 수준은 아니지만, 강도적 성질의 저하없이 분

체복합보드의 치수안정성을 개선시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.



<그림 3-51> 열처리 분체복합보드의 흡수율



<그림 3-52> 열처리 분체복합보드의 두께팽창률

제 3 항 폐목질 분체복합보드 제조과정에서의 VOC(휘발성 유기화합물) 방출량 분석

1. 실험재료

제 2항에서와 마찬가지로, 목질원료는 표면오버레이를 하지 않은 폐MDF 분체(흡수율 8%)를 사용하였으며, 접착제는 분말상 페놀수지와 액상 페놀수지를 사용하였다.

2. 분체보드의 제조 및 포름알데히드·VOC의 포집방법

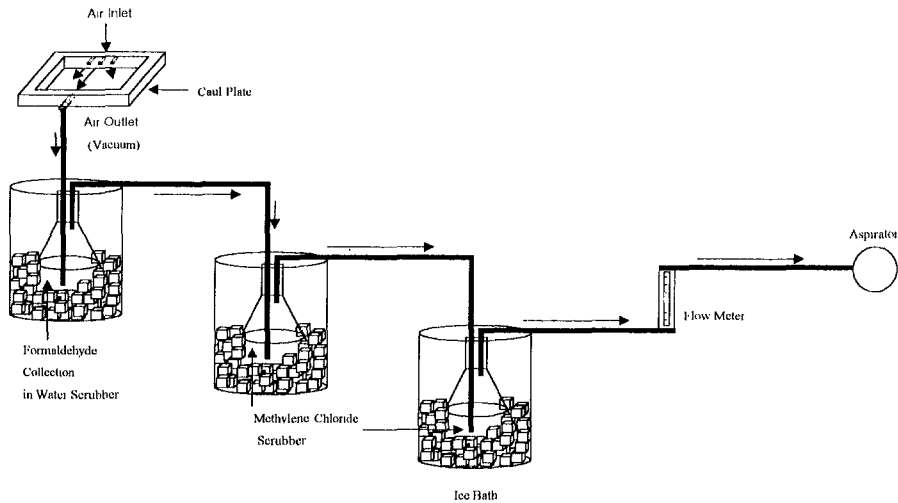
<표 3-18>의 실험조건에 의해 분체보드를 제조하면서, 열압시에 방출되는 포름알데히드 및 VOC를 포집하였다.

<표 3-18> 포름알데히드 · VOC 포집 조건

접착제	함지율 (%)	열압조건		
		온도	압력	시간
분말상폐놀수지	5	210℃	40kgf/cm ²	8분
	7			
액상폐놀수지	9	190℃		

가. 포름알데히드 · VOC 포집장치

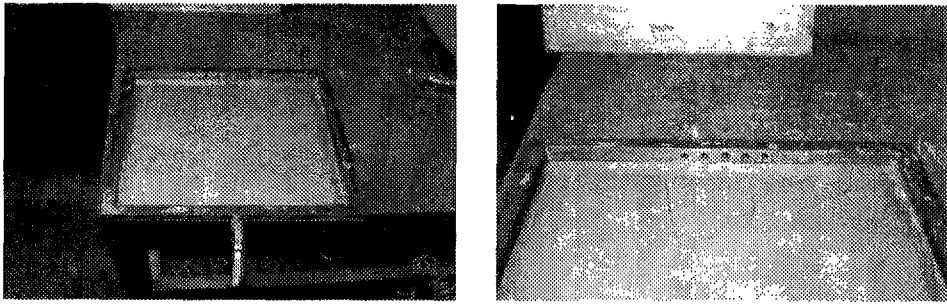
보드의 가열압제시 방출되는 포름알데히드와 VOC의 포집을 위하여 <그림 3-53>과 같은 포집장치를 제작, 사용하였다. 열압시 메트의 측면에서 방출되는 포름알데히드 및 VOC와 수증기는 밀폐된 압체틀(Closed caul plate)<사진 3-6>에 의해 손실없이 포집되도록 고안하였다.



<그림 3-53> 포름알데히드 및 VOC 포집시스템

closed caul plate에 의해 포집된 가스 및 수증기는 3단계로 구성된 가스세정기를 통과하게 된다. 첫 번째 세정기는 냉각수조에 증류수 100ml가 담겨져 있고, 두 번째와 세 번째 세정기에는 각각 100ml의 methylene chloride가 담

져 있으며, 냉각용 수조에 의해 냉각을 시켰다. 압제 종료후 caul palte가 닫히면 VOC 포집시스템이 작동하고, aspirator에 의해 1.5 l/min의 속도로 공기를 순환시켰다.



<사진 3-6> 포름알데히드 및 VOC 포집용 압체틀(Closed caul plate)

나. 포름알데히드 분석

첫번째 세정기에 용해된 수용액 샘플을 채취하여 포름알데히드를 측정하였다. 포름알데히드는 아세틸아세톤법에 의해 파장 416nm에서 흡광도를 측정한 후, 검량선 (농도(mg/l)=2.164×흡광도, $r^2=0.999928$)으로부터 비색 정량하였다.

다. VOC 분석

VOC는 첫 번째 세정기와 Methylene chloride가 담겨져 있는 나머지 두 세정기로부터 채취한 시료를 분별 증류하여 GC/MS(gas chromatographic/mass spectrometric analysis)로 분석하였다.

GC/MS의 오븐 온도는 40℃에서 4분간 유지하였고, 280℃까지 분당 10℃씩 상승하도록 프로그램을 설정 하여 8분간 유지시켰다. carrier gas는 헬륨을 사용하였으며, 유속 0.7ml/min으로 하였다. 주입구 온도는 270℃, 컬럼은 30-m J&W scientific DB-5MS를 사용하였다. 이온화장치의 전압은 70ev, 온

도는 200℃, mass의 주사(scan) 범위는 1.6scan에 대해 분당 40~500m/z로 하였다.

<표 3-19> VOC분석용 표준물질

VOC	분자식	CAS no.	분자량	BP(℃)
Pentanal	C ₅ H ₁₂ O	110-62-3	86.10	103
Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	66-25-1	100.20	131
α-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	7785-70-8	136.20	155
β-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	18172-67-3	136.20	165
Octanal	C ₈ H ₁₆ O	124-13-0	128.20	171
Heptane	C ₇ H ₁₆	142-82-5	100.21	98
Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	464-43-7	154.25	210
Heptadecane	C ₁₇ H ₃₆	629-78-7	240.48	302
Octadecane	C ₁₈ H ₃₈	593-45-3	254.50	317

시간경과에 따른 mass 검출기의 반응변화효과를 줄이기 위한 internal standard로써 10ppm hexadecane을 20μl를 첨가하여 VOC를 정량하였으며, methylene chloride 용액 내의 TVOC(total VOC)양은 <표 3-19>에서와 같은 9종의 표준 물질에 의해 계산하였다.

3. 분체보드 제조시의 포름알데히드 및 TVOC 방출량

폐목질분체보드의 제조 과정에서 발생하는 포름알데히드와 TVOC의 방출량은 <표 3-20>, <그림 3-54~55>와 같다.

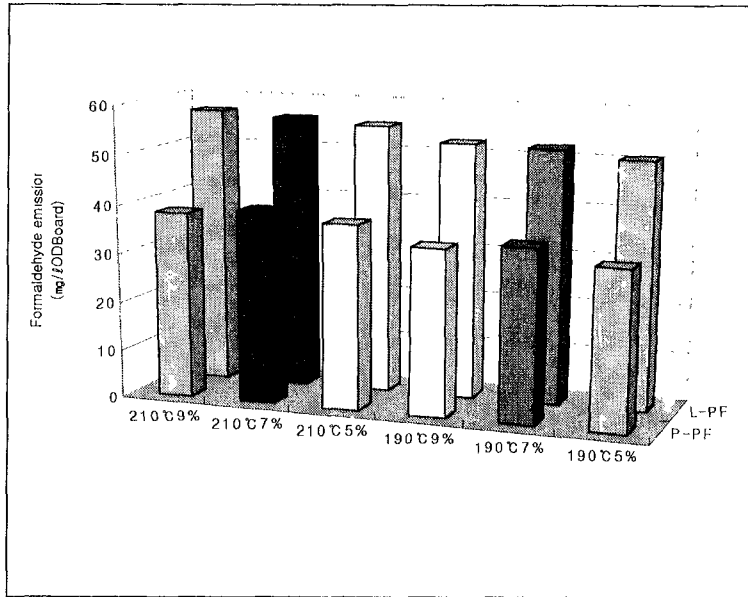
대체로 포름알데히드와 TVOC 방출량은 집착제 첨가율이 증가함에 따라, 그리고 열압온도가 높아지면서 더욱 많이 발생하게 되며, 분말상 수지보다는 액상 수지 사용시 대폭 증가되었다.

<표 3-20> 분체보드 제조조건에 따른 포름알데히드 및 TVOC 방출량

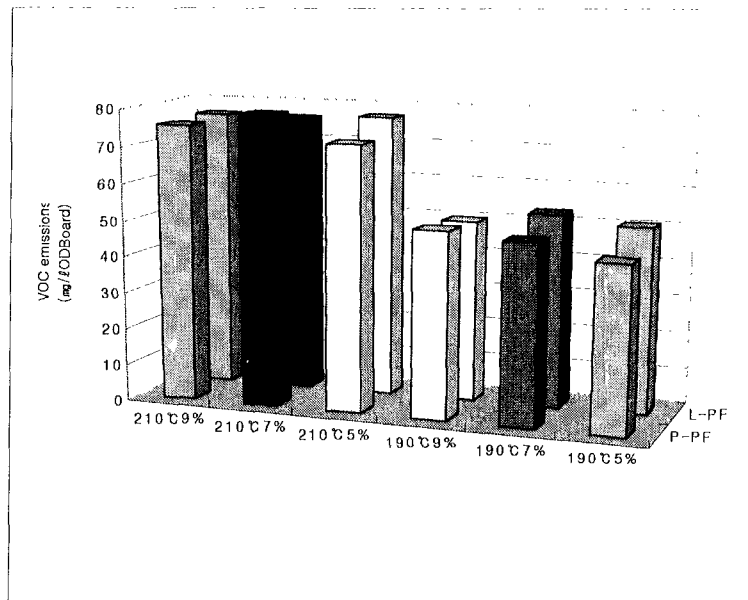
사용접착제	열압온도 (℃)	함지율 (%)	포름알데히드 방출량 (mg/ℓ ODboard)	TVOC 방출량 (mg/ℓ ODboard)
분말상 페놀수지	190	5	32.41	45.03
		7	35.39	49.05
		9	34.18	50.78
	210	5	37.86	72.43
		7	39.60	79.34
		9	38.38	75.71
액상 페놀수지	190	5	50.57	50.65
		7	52.12	52.96
		9	52.51	49.74
	210	5	55.29	77.12
		7	56.12	76.11
		9	57.19	76.38

수지종류에 따라서는, 분말상 수지를 사용할 때보다 액상 수지를 사용할 때 포름알데히드 방출량은 평균 49%가 증가한 반면, TVOC량은 평균 약 3% 정도 증가하였다. 또한 열압온도를 190℃에서 210℃로 상승시킴에 따라, 포름알데히드 방출량은 분말상 수지 사용시 13.6%, 액상수지 사용시 8.6%가 증가한데 비하여, TVOC량은 각각 57.0%, 49.7%가 증가하는 대조적인 현상을 나타내고 있다. 한편 함지율이 포름알데히드나 TVOC 방출량의 증가에 미치는 영향은 열압온도보다는 미미하다는 사실을 파악할 수 있었다.

이와 같은 결과로부터, 복합보드 제조과정에서의 VOC 방출 및 에너지 소비량 등을 고려하였을 때, 복합보드의 물성 개선을 위해 열압온도를 높이는 것은 건강 및 환경보전 측면에서 바람직하지 않다는 점을 알 수 있다. 그리고 가격이 비쌀지라도 포름알데히드 방출량의 극소화가 필요한 제한된 용도에서는 분말상 수지를 사용하는 것도 고려해야 할 것으로 생각된다.



<그림 3-54> 폐목질분체보드 제조조건에 따른 포름알데히드 방출량



<그림 3-55> 폐목질분체보드 제조조건에 따른 TVOC 방출량

제 4 항 결 론

본 연구에서 개발된 폐목질 분체복합보드의 용도 다양화, 물성 보완을 위한 실험적 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 3층구성 분체복합보드의 제조

3층구성 목질분체보드의 제조는 저급 폐목질 이용의 효율성 증대 차원에서 바람직한것으로 기대된다.

폐목질 분체와 무기질 소재인 펄라이트의 적층 구성에 의해, 치수안정성이 우수하고, 경량·내화성 면에서 유리한 경량벽체용의 3층 복합보드를 제조하였다.

(2) 열처리에 의한 폐목질분체복합보드의 치수안정성 개선

목질분체원료를 190℃에서 열처리하여, 분말상 수지 또는 액상 수지를 첨가한 분체복합보드를 제조하였을 때, 강도적 성질의 저하없이 치수안정성이 개선되었다.

(3) 폐목질분체복합보드 제조과정에서의 VOC(휘발성유기화합물) 방출량 분석

폐목질분체보드의 제조 과정에서 발생하는 포름알데히드와 VOC의 방출량은 집착제 첨가율보다는 열압온도의 상승에 따라 현저히 증가되었으며, 분말상 수지보다는 액상 수지 사용시 대폭 증가된다는 사실이 밝혀졌다. 따라서 실제 공장의 생산라인에 적용할 때에는 제품 물성 뿐만 아니라, VOC 방출 및 에너지 소비량 등을 고려하여 열압온도를 210℃ 이하로 낮추어야만 할 것이다.



<사진 3-6> 폐목질분체보드



<사진 3-7> 폐목질·황토 분체복합보드



<사진 3-8> 폐목질·Fly ash 분체복합보드



<사진 3-9> 폐목질·목탄 분체복합보드



<사진 3-10> 폐지섬유복합보드



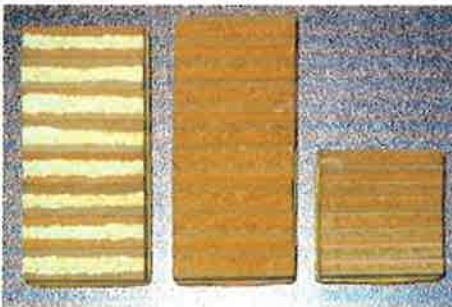
<사진 3-11> 폐지·폐합성섬유복합보드



<사진 3-12> 폐MDF분체복합보드의 표면(左側)과 내부파단면(右側) (×40)



<사진 3-13> 폐목질·황토 분체복합보드의 표면(左側)과 내부파단면(右側) (×40)



<사진 3-14> 3층구성 목질분체복합보드

左 : 목질·필라이트분체 복합보드(두께 12mm)

中 : 3층 목질분체보드(두께 12mm)

右 : 3층 목질분체보드(두께 6mm)

참고문헌

- Brooks, S. H. 1972. Medium density fiberboard and municipal waste. In: Proc. of 6th. Inter. Particleboard Symp. T. M. Maloney, ed., Washington State Univ., Pullman, pp. 233-242.
- Chow, P. and Z. Bao. 1996. Effects of two fiber treatments on properties of Hemlock hardboard, Forest Products J. 46(7/8).
- Ellis, S. C., J. N. R. Ruddick, P. R. Steiner. 1993. A feasibility study of composites produced from telephone directory paper, plastics, and other adhesives. Forest Products J. 43(7/8): 23-26.
- English, B. 1992. Meeting society's challenge: Value-added products from recycled materials. Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium. pp. 326-335.
- Falk. B. 1997. Wood recycling. Opportunities for the woodwaste resource. Forest Products J. 47(6): 17-22.
- Falk. R. H., D. Green, S. C. Lantz. 1999. Evaluation of lumber recycled from an industrial military building. Forest Products J. 49(5): 49-55.
- Hans-Joachim Deppe and Oliver Jann. Recycling of waste wood in Germany. Proceedings of 28th international particleboard/composite materials symposium in Washington State University. pp. 231-241.
- Hunt. J. F., C. B. Vick. 1999. Stength and processing properties of wet-formed hardboards from recycled corrugated containers and commercial hardboard fibers. Forest Products J. 49(5): 69-74.
- Hunt. J. F., D. Jenkins, C. T. Scott, K. Hovey. 1997. Mechanical properties

of spaceboard panels and pallets made from recycled linerboard mill sludge. TAPPI Proceedings, Environmental Conference and Exhibit. 481-488.

John A. Youngquist, Geoge E. Myers. 1994. Composite from recycled wood and plastics. USDA Forest Service Forest Products Laboratory Madison, WI 53705-2398

John A. Youngquist. 1995. Unlikely partners? The marriage of wood and nonwood materials. *Forest Products J.* 45(10): 25-30.

Rowell, R. M. 1986. A simplified procedure for the acetylation of hardwood and softwood flakes for flakeboard production. *J. of wood chemistry and technology.*

Rowell, R. M. 1992a. Opportunities for lignocellulosic materials and composites. *American Chemical Society: ACS Symposium Series* 476. Washington, D. C., Chapter 2. pp. 12-27.

Rowell, R. M. 1992b. Opportunities for value added bio-based composites. *Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium.* 9-13. November 1992. Rotorua, New Zealand. pp. 244-251.

Rowell, R. M. Chemical modification of agricultural fibers for property enhanced composites. *Denmark Academy of Technical Sciences.* pp. 49-70.

Rowell, R. M., J. A. Youngquist, and D. McNatt. 1991. Composites from recycled materials. In : *Proc. of 25th International Particleboard/Composite Materials Symposium.* T. M. Maloney, ed., Washington State Univ., Pullman, WA. pp. 301-314.

Rowell, R. M., S. Kawai, and M. Inoue. 1995. Dimensionally stabilized

- fiberboard. *Wood and Fiber Science*. 27(4): 428-436.
- Rowell, R. M., T. Rials, H. Spelter, D. Luneke, R. A. Arola, R. Narayan, P. Davis, J. Simonsen, T. Friberg, D. White, and R. W. Hemingway. 1993. Opportunities for composites from recycled waste wood-based resources: A problem analysis and research plan. *For. Prod. J.* 43(1): 55-63.
- Rowell, R. M., H. Spelter, R. A. Arola, P. Davis, T. Friberg, R. W. Hemingway, T. Rials, D. Luneke, R. Narayan, J. Simonsen, D. White. 1993. Opportunities for composites from recycled wastewood-based resources: a problem analysis and research plan. *Forest Products J.* 43(1): 55-63.
- Suchsland, O. 1998. Laboratory experiments on the use of recycled newsprint in wood composites. *Forest Products J.* 48(11/12): 55-64.
- Youngquist, J. A., and R. M. Rowell. 1989. Opportunities for combining wood with nonwood materials. *Proceedings of 23th International Particleboard/Composite Materials Symposium*. T. M. Maloney, ed., Washington State Univ., Pullman, WA. pp. 141-157.
- Youngquist, J. A., B. W. English, and R. M. Rowell. 1993. Alternative uses for wastepaper in wood-based composite products. In: *Proc. of 1993 Recycling Symposium*, New Orleans, L. A. Atlanta, GA. TAPPI Press. pp. 359-365.
- 兵田宗男. 1991. 廢木材・再生木材を考えるために(II). *木材工業*. 46(4): 160-164.
- 石原茂久. 1989. スーパーウッドの時代- 新技術開発と展望(木材の複合化). *木材工業*. 44(11): 665-670.

- 長澤長八郎, 熊谷八百三. 1989. Niめっき木片を用いた木質系電磁波シールド材. 木材學會誌. 35(12): 1092-1099.
- 大澤清志外 4人. 1992. ゴムチップと木質チップとの成形パネルの床衝撃音遮音特性 (第2報). 林産試験場月報. 6(2): 15-18.
- 齊藤 勝外 4人. 1993. 木炭積層ボード. 林産試験場月報. 7(2): 1- 6.
- 關谷道雄. 石膏. 技報堂. pp. 316.
- 박종영, 이화형. 1982. 한국 낙엽송재의 목질세멘트판 재질에 미치는 전처리 및 첨가제 효과. 충남대학교 농업기술연구보고. 9(1): 250~259.
- 박종영, 조재성. 1999. 폐목질자원 분립체복합에 의한 기능성 복합보드 개발 연구(III) - 폐지 및 폐합성섬유 복합보드의 특성. 한국목재공학회 '99 추계학술발표논문집 : 231-236.
- 오정수, 윤화영. 1995. 목재폐기물의 재활용. 목재공학. 23(1): 3~12.
- 조재성, 박종영. 1999. 폐목질자원 분립체복합에 의한 기능성 복합보드 개발 연구(I) - 폐MDF분체를 이용한 복합보드 제조조건 구명. 한국목재공학회 '99 학술발표논문집 : 120-124.
- 조재성, 박종영. 1999. 폐목질자원 분립체복합에 의한 기능성 복합보드 개발 연구(II) - 액상폐놀수지를 사용한 폐MDF분체 복합보드 제조조건 구명. 한국목재공학회 '99 추계학술발표논문집 : 43-47.
- 조재성, 박종영. 2000. 폐목질자원 분립체복합에 의한 기능성 복합보드 개발 연구(IV) - 기능성 무기질 원료를 이용한 복합보드의 특성. 한국목재공학회 2000 학술발표논문집 : 90-94.
- 조재성, 박종영. 2000. 폐목질자원 분립체복합에 의한 기능성 복합보드 개발 연구(IV) - 폐가구 MDF를 이용한 복합보드의 특성. 한국목재공학회 2000 추계학술발표논문집 : 72-76.

제 4 장 목섬유 · 열가소성섬유 복합재 개발

제 1 절 서 설

목재와 플라스틱의 복합소재는 양자의 특성이 결합된 목재 또는 플라스틱의 대체소재로 등장하고 있으며, 목질자원의 효율적, 친환경적 이용의 차원에서 유리하다고 할 수 있다. 그리고 목질·플라스틱 복합재는 물성, 가공성, 내구성, 외관 등이 뛰어나므로 다방면의 수요 확대가 예상된다.

목질·플라스틱 복합재 중에서도 섬유상 복합재는 제조공정을 省力化, 자동화시킬 수 있으므로 생산성이 높고, 물성 면에서도 목질보드나 플라스틱보다 우수한 대형 판상제품의 제조가 가능하며, 향후 국내 시장에서도 내장용, 가구용 등으로 대량 수요가 전망되고 있다.

근년에 미국 임산물연구소를 중심으로 목섬유·열가소성섬유 복합재에 대한 활발한 연구가 진행되어 왔으며, 미국의 Valmet nonwoven machinery社가 새로운 방법에 의한 복합재의 제조에 특허를 획득하면서 자동차 성형품, 가구부재, 절연재료, 음향판 등의 생산을 계획하고 있다. 세계적으로 이 분야는 연구차원에서 산업화 단계로 이행되어가고 있으나, 국내에서는 이제 연구개발의 착수단계라고 할 수 있다.

따라서 본 연구과제는 목섬유·폴리프로필렌섬유 복합재의 우리나라의 자원사정, 기술수준 및 제품수요에 적합한 국내 기반기술을 확보하기 위하여 수행되었다. 본 연구에서 개발하고자 하는 핵심기술은 미국에서 개발된 nonwoven web 방법보다 더욱 효율적인 혼합방식을 개발, 응용하여, 복합재의 공정요인을 구명하고 물성이 우수한 복합재를 개발하고자 하였다.

제 2 절 제조공정요인에 따른 목섬유·열가소성섬유 복합재의 특성

제 1 항 섬유혼합장치 개발

1. 재료 및 방법

가. 실험재료

MDF공장에서 해섬된 MDF용 섬유원료로서 수종은 대부분이 라디에타소나무이며, <표 4-1>의 증해조건으로 증해한 후 디스크 리파이너에서 해섬한 것으로 열기건조에 의해 함수율을 8~10%로 조정하였다.

<표 4-1> 목섬유와 폴리프로필렌 섬유의 특성

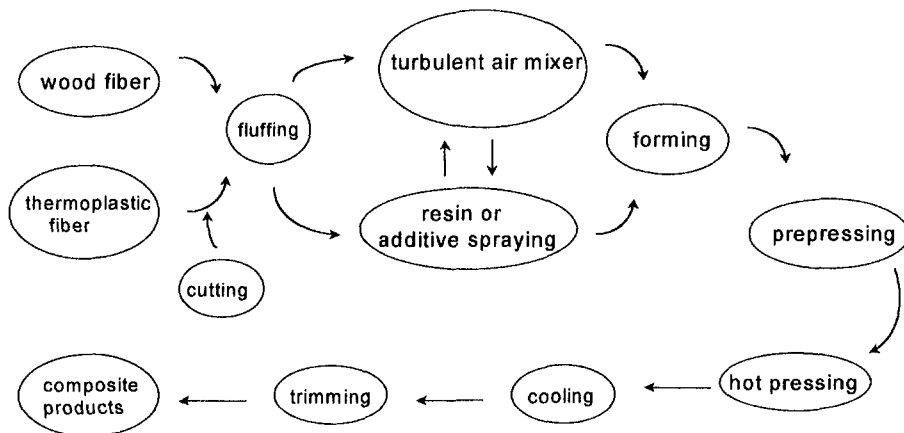
형 태	특 성
목섬유	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수종 : 라디에타소나무 ▪ 증해온도 : 160℃ ▪ 증해시간 : 2~3분 ▪ 증해압력 : 7~10kgf/cm²
폴리프로필렌 섬유	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 용융온도(T_m): 170~175℃* ▪ 데니어(Denier) : 3, 6, 15, 20 ▪ 영률(Young's Modulus) : 500~1000kgf/mm² ▪ 신장률(Elongation) : 30~50% ▪ 밀도 : 0.91g/cm³ ▪ 용도 : 카페트, 의류, 밧줄, 포장재, 부직포, 필터, 장갑, 캔바스, 양말, 좌석커버, 모포 등 ▪ 흡습성 : 0.01%

본 실험에서 플라스틱재료로는 폴리프로필렌(PP) 섬유를 사용하였으며, 섬유장 실험에 사용된 섬유는 토우(tow) 상태였다. 섬유굵기는 3데니어, 용융지수는 25g /10min이고 크립프(주름)가 없는 형태였다. 데니어의 영향에 대한 실험에는 MI 15g/10min, 길이 1.0cm의 크립프가 있는 6, 15, 20데니어의 섬유를 사용하였다. 용융지수의 영향에 대한 실험에는 길이 1.0cm, 6데니어로 크립프가 있으며, 용융지수 15와 25g/min인 섬유를 사용하였다.

이들 목섬유와 열가소성 섬유의 특성을 나타내면 <표 4-1>에 나타낸 바와 같다. 또한 색상적용실험에는 적색, 분홍색, 녹색, 남색, 검정색, 하늘색, 보라색, 노란색을 사용하였다.

나. 복합재의 제조공정 및 조건

복합재의 크기는 0.3cm(두께)×25cm(폭)×25cm(길이)였다. 복합재의 제조공정<그림 4-1>은 우선 tow상태의 열가소성 섬유를 섬유장에 따라 절단한 다음, 소정의 혼합비에 따라 목섬유와 함께 본 실험에서 고안한 섬유혼합기에 넣고 7-8kgf/cm² 압력으로 압축공기를 섬유혼합기 입구의 노즐을 통하여



<Fig. 4-1> Manufacturing process of wood fiber - thermoplastic fiber composite by turbulent air mixing method

분사하여 혼합기내에서 亂氣流를 발생시켜서, 亂氣流에 의해 섬유들 사이의 마찰로 인하여 목섬유와 열가소성 섬유가 혼합되게 하는 방법을 적용하였다.

15~20초간 혼합하여 섬유간에 기계적인 결합이 충분히 이루어지면, 혼합 섬유를 꺼내어 성형공정으로 이송하였다. 성형틀에 섬유 매트를 일정하게 조절하여 놓은 다음 2~4 kgf/cm²의 압력으로 약 1분 30초 동안 예비가압하였다. 예비가압이 끝나면 <표 4-2>의 열압스케줄에 의해 열압하고, 열압된 보드를 냉각프레스로 옮겨서 일정시간동안 냉각과 동시에 냉압을 시켰다. 이때 냉각 온도는 약 45℃ 정도로 하였다. 냉각처리가 끝난 보드는 온도 20±1℃, 상대 습도 60±3%의 항온항습실에서 수주일간 조습, 양생하였다. 6반복으로 보드를 제조하여 KS F-3104의 방법에 의해 밀도, 함수율, 휨강도, 휨탄성계수, 인장강도, 흡수량, 두께팽창률 등을 10반복 측정하였다.

<표 4-2> 목섬유-폴리프로필렌섬유 복합체의 제조조건

제조인자	수준	목표 밀도 (g/cm ³)	비율		압체조건			
			목섬유	PP 섬유	열압 시간 (분)	열압 온도 (℃)	압체 압력 (kgf/cm ²)	냉압 (kgf/cm ²)
PP 섬유길이 (cm)	0.5	1.0	90	10	6	195	65	10
	1.0	1.0	90	10	6	195	65	50
	1.5	1.0	90	10	6	195	65	10
	2.0	1.0	90	10	6	195	65	50
	2.5	1.0	90	10	6	195	65	9
	3.8	1.0	90	10	6	195	65	49
PP 섬유denier	5.2	1.0	90	10	6	195	65	9
	6	1.0	90	10	6	195	65	49
	15	1.0	90	10	6	195	65	10
PP 섬유용융지수	20	1.0	90	10	6	195	65	50
	15	1.0	90	10	6	195	90	10
색상	25	1.0	90	10	6	195	50	50
	-	0.6	50	50	4	195	20	9

2. 실험결과

가. 실험실용 난기류혼합 장치 제작

본 실험의 핵심 기술인 난기류혼합성형장치 개발을 위한 전 단계로 실험실 규모의 섬유혼합기를 임업연구원내에서 제작하였다. 이 장치는 목섬유와 열가소성섬유가 균일하게 혼합되도록 압축공기의 유입을 고르게 하기 위해 5개의 밸브를 후면 하부에 설치하였다. 또한 후면 상부에 유입된 공기가 빠져 나갈 수 있도록 8mm 직경의 5개의 구멍을 뚫어 약 200mesh의 철망으로 막아서 혼합섬유의 이탈을 방지하였다. 또한 후면에 경사를 주어 섬유가 정체되는 것을 방지하도록 하였다. 이 혼합장치의 성능은 <표 4-3>과 같았다.

<표 4-3> 실험실용 난기류혼합기의 성능

구분	성능
섬유혼합용량	혼합기 체적의 50~60%
혼합시간	20~30초/300g
혼합비율	열가소성 섬유비율이 50% 이상 가능
압축공기압	7~8 kg/cm ²

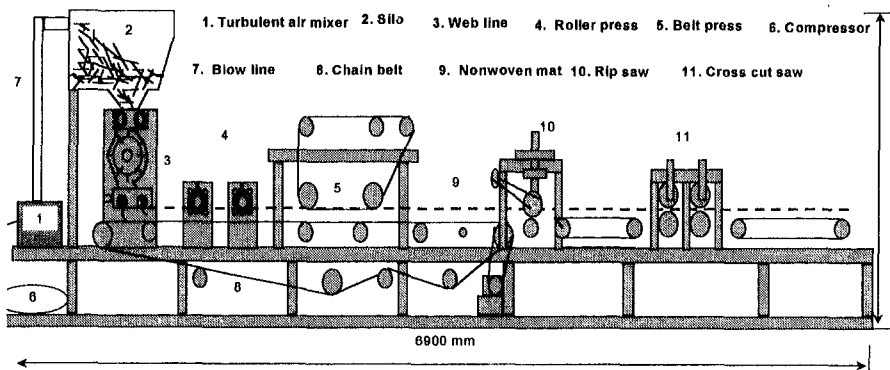
나. 파이롯트 난기류혼합성형장치 개발

상기 실험실용 난기류섬유혼합기의 성능이 상당히 만족스럽다고 판단되었다. 그러므로 이 장치의 핵심부분인 「난기류혼합장치」와 부직포공정에서 사용하는 「매트 성형장치」 및 중밀도 섬유판공정에서 사용하는 「에비가압장치」를 설계의 기본개념으로 도입하여 섬유혼합성형장치의 모델 개발의 기초로 이용하였다. 이러한 개념을 충분히 살려서 기계전문가와 여러번의 협의를 거쳐 <그림 4-2>와 같은 섬유혼합성형장치의 설계도면을 완성하였다. 이

장치는 전장이 6.9m이며 폭이 70cm로서 섬유혼합부분, 매트성형부분, 전가압부분, 매트절삭부분으로 구성되어 있다. 이 장치의 특징은 원료의 투입과 이송에 기류를 이용한다는 점과 매트 두께를 넓은 범위로 조정할 수 있다는 점과 연속적으로 작업이 가능하며, 균일한 매트를 얻을 수 있다는 점이었다.

제 2 항 열가소성섬유 형상조건에 따른 복합재의 특성

열가소성 섬유가 목섬유 또는 신문고지 섬유와 혼합이 될 때 가장 문제가 되는 부분은 열가소성 섬유의 형상조건이다. 이 형상조건에는 섬유장, 크립프 유무, 섬유 굵기 등이 포함된다.



<Fig 4 - 2> Design drawing of Turbulent Air Mixer and Mat Former Machine

폴리프로필렌 섬유는 굵기와 섬유장에 따라 목섬유와의 혼합정도가 육안으로 구분될 정도로 차이가 난다. 가장 영향을 많이 미치는 것은 폴리프로필렌의 섬유장인데 본 실험에서는 비교적 짧은 부분과 현재 외국에서 이용해 왔던 비교적 긴 섬유장과의 비교실험을 하였다. 염색하지 않은 토우상태의 폴리프로필렌 섬유(3데니어, MI 25g/10min)를 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.8, 5.2 cm로 종이 재단기를 이용하여 재단하였다. 3.8cm와 5.2cm의 섬유장은 직물을

제조하는데 양모와의 직조에 가장 적합한 크기이며 보통 외국에서는 이와같은 긴 섬유장을 이용하여 복합재를 제조한다. 또한 섬유의 굵기는 6, 15, 및 20 데니어를 사용하였다. 이때 섬유의 MI는 15g/10min 이었으며 길이는 1.0 cm 이었다. 제조조건은 혼합비율 (목섬유 : PP섬유 = 90 : 10), 비중 1.0, 매트함수율 10%, 크기 25× 25×0.3cm로 6반복 제조하였다.

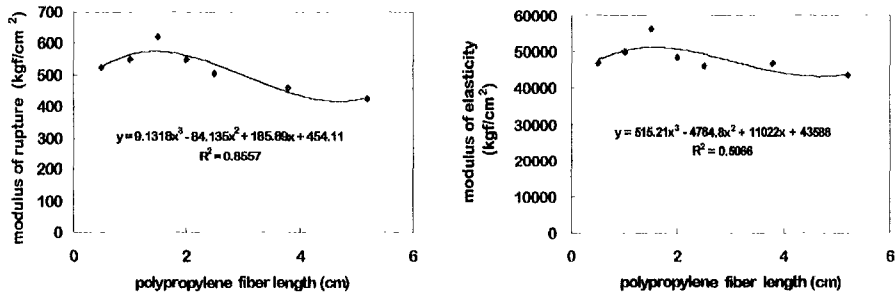
폴리프로필렌 섬유장에 대한 실험결과는 <표 4-4, 그림 4-3~7>에 나타냈다. 난기류혼합기에 가장 적합한 섬유장은 1.5cm로 밝혀졌다. 이때 사용된 폴리프로필렌섬유는 3데니어와 용융지수 25g/10min 그리고 크립프가 없는 상태였다.

<표 4-4> 열가소성섬유 형상 조건에 따른 복합재의 성질 결과

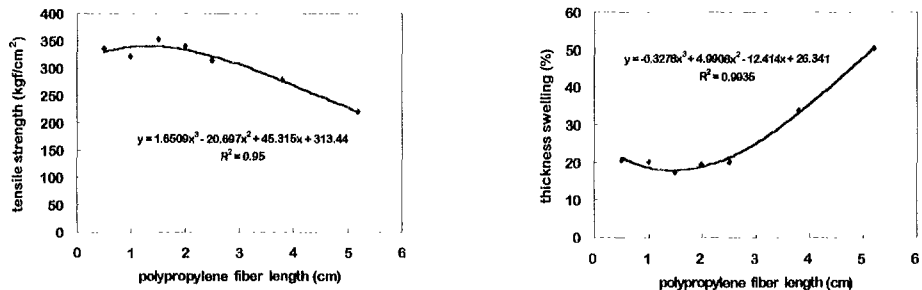
형상조건	함수율 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kg/cm ²)	휨탄성 계수 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	흡수율 (%)	두께 팽창률 (%)	
섬유장 (cm)	0.5	5.5 (0.42)	1.02 (0.05)	524 (89)	46910 (7102)	337 (20)	33.3 (6.28)	20.6 (3.84)
	1.0	5.2 (0.18)	1.05 (0.03)	550 (66)	50055 (4518)	332 (17)	33.4 (6.78)	20.1 (4.7)
	1.5	4.6 (1.27)	1.05 (0.06)	620 (110)	56306 (6633)	353 (39)	33.3 (6.62)	17.2 (1.79)
	2.0	4.9 (0.16)	1.05 (0.05)	552 (72)	48353 (5741)	341 (18)	31.9 (6.6)	19.5 (4.55)
	2.5	5.2 (0.37)	1.04 (0.08)	507 (106)	45995 (7572)	315 (25)	34.7 (9.4)	20.2 (4.44)
	3.8	5.3 (0.26)	1.02 (0.04)	462 (83)	46808 (4447)	279 (24)	49.3 (12.06)	33.9 (8.92)
	5.2	5.1 (0.25)	0.99 (0.06)	427 (79)	43496 (6429)	222 (52)	71.4 (28.7)	50.5 (15.31)
섬유굵기 (denier)	6	6.0 (1.01)	0.97 (0.06)	408 (66)	42068 (5170)	241 (29)	50.7 (12.5)	31.6 (5.92)
	12	5.4 (0.18)	1.01 (0.06)	445 (74)	43393 (3977)	245 (29)	53.8 (15.2)	33.5 (10.2)
	15	5.8 (0.36)	0.99 (0.06)	432 (97)	41851 (8695)	269 (28)	43.6 (2.10)	29 (6.36)

미국하드보드협회(AHA)의 경질섬유판의 성능요구치를 살펴보면 두께팽창률을 25%이하, 흡수율 35%이하, 휨강도 316kgf/cm² 이상, 인장강도 182kgf/cm² 이상으로 규정되어 있다. 따라서 이 성능요구치를 전체적으로 만족하는 부분은 섬유장 0.5cm에서 2.5cm까지로 나타났다.

특히 섬유장 3.8cm 이상에서는 혼합상태가 급격하게 불량해지는 것으로 나타났다. 섬유장의 효과는 0.5cm에서 2.5cm까지 이용해도 만족스러운 성질을 나타내는 것으로 판단되었다. <그림 4-3>부터 <그림 4-7>에서 볼 수 있듯이 섬유장이 2cm 이상으로 길어질수록 휨성질과 인장강도의 저하, 그리고 두께팽창률과 흡수율의 저하가 초래되었다.



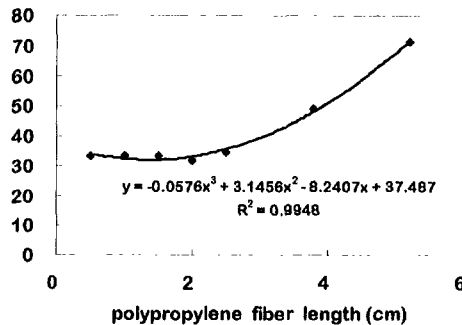
<그림 4-3> PP 섬유장에 따른 휨파괴계수 <그림 4-4> PP 섬유장에 따른 휨탄성계수



<그림 4-5> PP 섬유장에 따른 인장강도 <그림 4-6> PP 섬유장에 따른 두께팽창률

미국임산물연구소(USDA FPL)

에서는 부직포 장치를 이용하여 비교적 장섬유인 3.8cm와 5.2cm를 사용하여 복합재를 제조하였는데 여기에는 단순한 기계적 혼합과 needle punching 공정이 반드시 필요하다. <그림 4-2>에 나타낸



바와 같이 needle punching을 하지 않으면 장섬유의 불균일한 혼합을 제어할 수 없다. 따라서 본 실험에서 개발한 비교적 단섬유를 이용하는 공정은 needle punching이 필요치 않을 뿐만 아니라 난기류혼합만으로도 우수한 성능을 지닌 복합재의 제조가 가능하다는 것을 입증해 주었다.

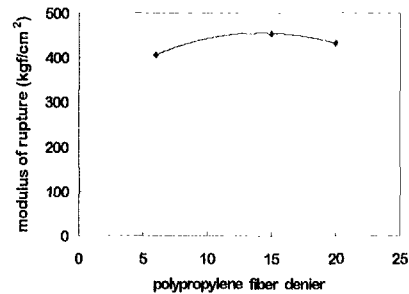
미국임산물연구소의 Youngquist 등 일련의 실험결과를 인용하면 동일 밀도수준의 복합재에서 휨파괴계수가 296kgf/cm², 휨탄성계수가 34880kgf/cm², 인장강도가 150kgf/cm², 흡수율이 54.7%, 두께팽창률이 40.3%였다고 발표하였다. 본 실험 결과(섬유장 1.5cm를 기준으로 했을 때, 휨파괴계수 620kgf/cm², 휨탄성계수 56306kgf/cm², 인장강도 353kgf/cm², 흡수율 33.3%, 두께팽창률 17.2%)와 비교할 때, 본 실험에서 제조한 복합재가 아주 우수한 성질을 갖는 것을 알 수 있었다. 이러한 차이는 폴리프로필렌섬유 형상과 공정상의 차이가 주된 원인이라 본다. 따라서 단섬유를 사용하여 난기류를 이용하는 혼합방식은 복합재의 성능을 개선하는 데 아주 효과적인 방법이었다.

또한 섬유의 형상 차이도 생각해 볼 수 있는데, 본 실험에서는 크립프가 없고 비교적 굵기가 가늘고 용융지수(MI)가 높은 섬유를 사용한 점도 복합재의 성질의 차이를 발생시켰다고 할 수 있다. 섬유의 굵기가 복합재의 성질에 어떠한 영향을 미치는가를 밝히기 위하여 6, 12, 15데니어의 섬유를 사용하여

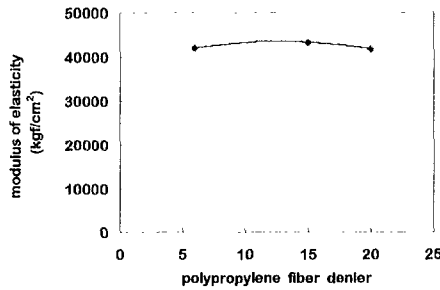
복합재를 제조하였다. <표 4-4, 그림 4-8~12>는 섬유 굵기에 따른 실험결과를 나타낸 것이다.

본 실험에서 섬유 굵기의 영향평가에 사용된 섬유들은 MI 15이며 크립프가 있는 섬유였다. 제조 조건은 섬유장의 실험과 동일하게 하였다. 이 실험에서 준비한 섬유 굵기의 차이는 복합재의 물리적 및 기계적 성질에 커다란 영향을 미치지 않는다고 할 수 있었으며 그 경향 또한 뚜렷하지 않았다. 이와같은 결과는 본 실험에서 사용한 섬유가 크립프가 있는 상태이기 때문에 혼합의 균일성을 보장하는 데 어려움이 있었던 것으로 생각된다.

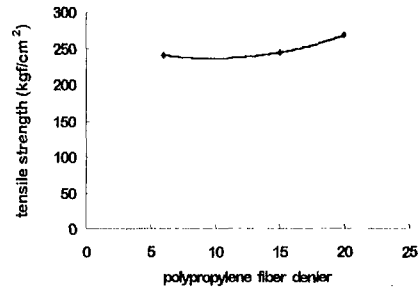
특히 섬유 굵기의 차이를 크게 하여 실험한다는 현실적인 어려움도 있었다. 즉, 폴리프로필렌섬유를 생산하는 과정에서 3데니어 이하의 섬유는 용융지수가 상당히 높아지고 10데니어 이상 섬유는 용융지수 10미만으로 생산되는데, 이들의 차이를 더욱 실험하기 위해서는 재료의 확보가 용이하지 않은 어려움이 따른다. 또한 현재까지의 실험 결과만으로 확실한 결론을 내릴수 없기 때문에 크립프가 없는 상태의 재료를 섬유제조회사로부터 제차 분양 받아 보다 확실한 추가실험이 필요하다고 판단되었다.



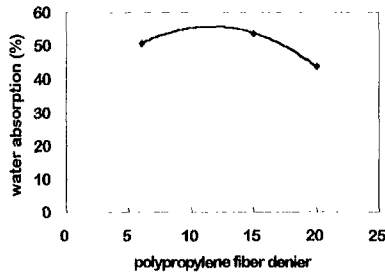
<그림 4-8> PP섬유 denier에 따른 휨파괴계수



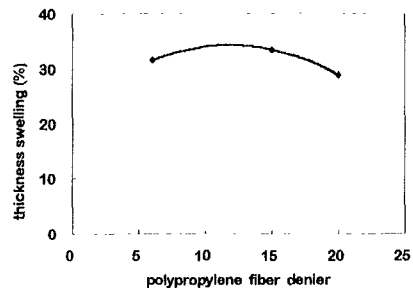
<그림 4-9> PP섬유 denier에 따른
휨탄성계수



<그림 4-10> PP섬유 denier에 따른
인장강도



<그림 4-12> PP섬유 denier에 따른
흡수율



<그림 4-11> PP섬유 denier에 따른
두께 팽창률

제 3 항 열가소성섬유 용융지수에 따른 복합재의 물성

1. 용융지수와 복합재의 물성 평가

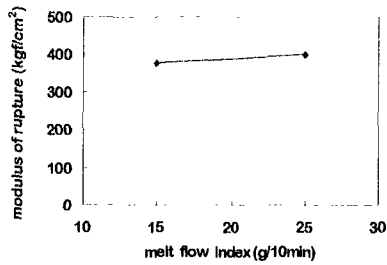
용융지수의 영향 평가에 적용된 폴리프로필렌섬유는 크립프가 있으며 6데니어의 굵기를 갖는 용융지수 15 및 25g/10min였으며, 제반 제조조건은 혼합비율 90 : 10 (목섬유 : PP섬유), 비중 1.0, 매트함수율 10%, 크기 0.3×25×25cm, 섬유장 1.0cm였다.

복합재의 제조에 있어서 열가소성 섬유의 용융지수가 중요한 변수로 판단

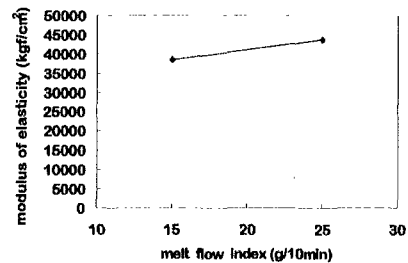
되나 용융지수에 따른 복합재의 성질을 파악하기 위해서 열가소성 섬유와 겜의 굵기를 고정해야 할 필요성이 있다. 그러나 현재까지 섬유테니어를 고정하고 용융지수가 다른 섬유를 구하는 것은 상당히 어렵다. 그 이유는 용융지수가 높은 섬유는 테니어가 낮게 생산되며 용융지수가 낮으면 테니어가 높은 상태로 생산되기 때문에 양자를 조절한다는 것은 공정상 쉽지 않다. 따라서 본 실험에서는 비교적 높은 용융지수를 갖는 MI 15와 MI 25에서 실험을 하였다. 실험결과는 <표 4-5, 그림 4-13~17>에 나타냈다.

<표 4-5> 열가소성섬유 용융지수에 따른 복합재의 성질결과

형상조건	함수율 (%)	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kg/cm ²)	휨탄성 계수 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	흡수율 (%)	두께 팽창률 (%)	
용융지수 (g/10min)	15	5.8 (0.021)	0.97 (0.04)	377 (47)	38569 (4657)	234 (25)	49.7 (7.77)	30.5 (5.11)
	25	5.7 (0.13)	0.99 (0.03)	401 (67)	43698 (5239)	233 (28)	54.34 (8.82)	33.5 (4.14)



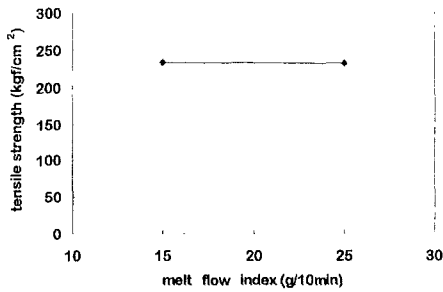
<그림 4-13> PP섬유 용융지수에 따른 휨파괴계수



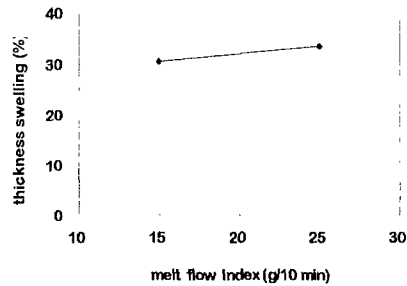
<그림 4-14> PP섬유 용융지수에 따른 휨탄성계수

<표 4-5>에서 나타낸 바와 같이 용융지수가 커질수록 휨강도, 휨탄성 계수 및 인장강도가 개선되었다. 그러나 두께팽창률과 흡수율은 다소 증가한 것으로 나타났다. 용융지수가 커지면 복합재 제조시 매트내에서 열의 작용에 따

라 용융된 섬유의 유동속도가 보다 빨라지게 되어 복합재의 성질이 개선될 것으로 예상되는데 본 실험의 결과는 이러한 예측을 만족스럽게 보여주지는 못하고 있다. 특히 물리적 성질의 개선이 이루어지지 않는 것으로 나타났다. 이와같은 결과를 본 실험의 조건과는 다르나 섬유장의 실험에서 사용된 3테니어, 25ML, 길이 1.0cm의 결과와 간접 비교해 보면 같은 용융지수에서도 아주 큰 값의 차이를 나타낸다고 할 수 있다. 이러한 현상이 일어나는 원인은 폴리프로필렌섬유에 크립프가 있느냐 없느냐 하는 차이와 섬유의 굵기 차이에 의한 것으로 여겨진다.

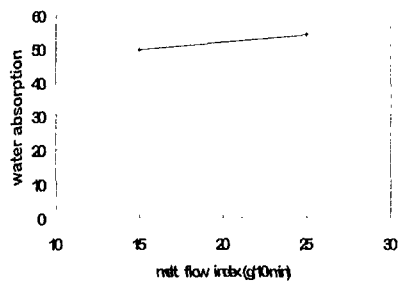


<그림 4-15> PP섬유 용융지수에 따른 인장강도



<그림 4-16> PP섬유 용융지수에 따른 두께팽창률

섬유장, 섬유굵기, 섬유 용융지수의 영향 평가에 대한 실험을 종합적으로 판단해보면 몇 가지 중요한 결론을 얻을 수 있다. 첫째, 난기류혼합 방법만으로도 충분한 물성을 얻을 수 있으며, 둘째, 섬유장은 0.5cm에서 2.5cm까지 이용할 수 있으나 가장 우수한 성질을 나타내는 길이는 1.5cm였다.

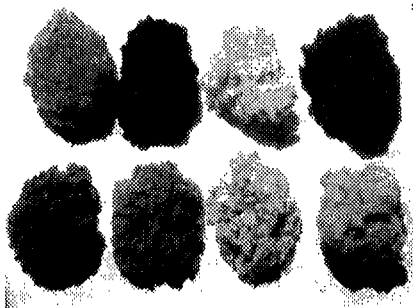


<그림 4-17> PP섬유 용융지수에 따른 흡수율

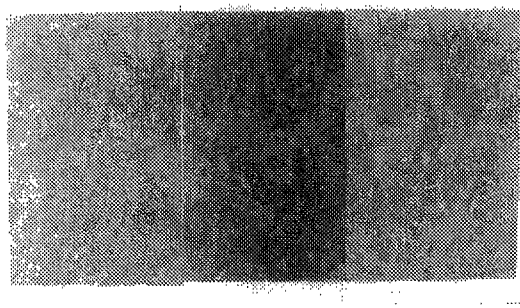
셋째, 섬유의 굵기는 용융지수보다 복합재 물성에 미치는 영향이 적었다.

넷째, 크림프의 유무에 따라서 혼합균일성의 차이와 이로 인한 복합재의 성질의 차이가 발생된다. 본 실험결과로부터 폴리프로필렌섬유는 크림프가 없으며, 테니어는 3정도, 용융지수는 25이상, 섬유장은 1.5cm 정도인 것이 가장 적합한 것으로 판단되었다.

2. 색상적용시험(칼러보드 제조시험)



<사진 4-1> 선염색 폴리프로필렌 섬유



<사진 4-2> 다양한 색상의 목섬유 · 폴리프로필렌섬유 복합재

복합재에 다양한 색상을 적용시키고자 폴리프로필렌섬유 생산업체로부터 8종류의 색상을 분양받아 목섬유와 50 : 50씩을 혼합하여 비중 0.6인 복합재를 제조하였다. <사진 4-1> 과 같이 선염색된 폴리프로필렌섬유를 난기류혼합기를 이용



<사진 4-3> 두께별, 밀도별로 제조한 목섬유 · 폴리프로필렌섬유 복합재

하여 목섬유와의 혼합에 의해 <사진 4-2, 4-3>에서와 같이 우수한 무늬와 색상을 지닌 복합재를 제조할 수 있었다.

이렇게 제조된 복합재는 우수한 치수안정성과 유연성 및 인성을 동시에 지

니고 있기 때문에 작업성이 좋고 내구성이 뛰어나므로 예상되나 폴리프로필렌섬유가 광분해에 대한 저항이 크지 않기 때문에 그 대책이 요구된다. 선염색된 폴리프로필렌섬유를 복합재의 표면층 구성재료로 이용하는 것이 가능하여 염색처리비용을 낮출 수 있다. 이러한 coloring 방법은 색상의 농도조절과 혼합색상의 적용이 가능하여 다양한 패턴을 지닌 건축장식재로서 수요가 기대된다.

제 4 항 결 론

(1) 실험실용 亂氣流혼합장치를 제작·이용하였는데, 이 장치는 섬유의 혼합균일성이 높고, 단시간에 혼합이 가능하며, 열가소성 섬유의 혼합비율을 50% 이상 높일 수 있었다.

(2) 난기류혼합방법, 不織布제조공정에서의 매트성형방법, 그리고 MDF제조공정에서의 예비가압방식 등의 구조를 집약시킨 연속식 섬유혼합성형장치의 기본모델을 고안하였다.

(3) 목섬유·열가소성섬유 복합재의 적정 열압조건은 온도 195~200℃, 시간 5.5분이며, 본 연구에서 개발한 복합재는 미국임산물연구소에서 제조한 복합재보다 물성이 우수하였다.

(4) 열가소성섬유의 적정 형상 및 물성 조건을 구명한 바, 폴리프로필렌의 섬유장은 10~15mm가 적합하며, crimp(주름)가 없는 섬유를 사용할 때 혼합성이 균일하였고, 섬유간 결합력의 증대에 유리하였다. 그리고 섬유 굵기가 가늘고, 용융지수가 높을수록 복합재의 물성 향상에 유리하였다.

(5) 다양한 색상의 폴리프로필렌 섬유와 목섬유를 이용한 칼라보드를 개발하였으며, 이는 바닥재, 칸막이, 벽판등의 내장재로 사용할 수 있는 새로운 패턴의 소재로 이용될 수 있을 것이다.

제 3 절 목섬유·열가소성섬유 복합재의 혼합공정 개선 및 공정변수영향 평가

제 1 항 복합재의 혼합공정 개선 및 파이롯트 섬유혼합성형 장치 개발

1. 재료 및 방법

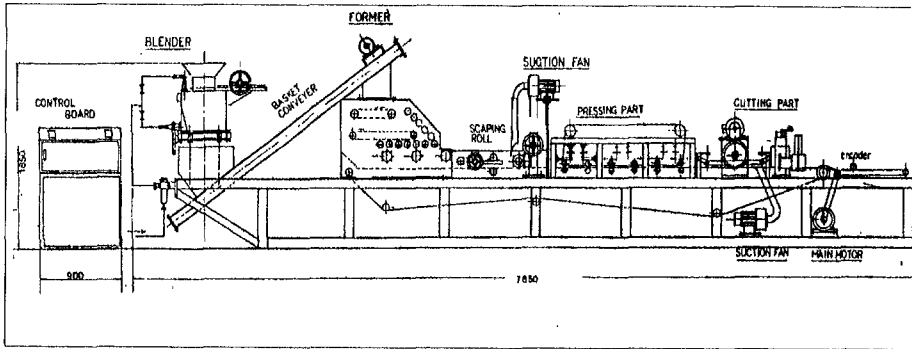
가. 목질 및 열가소성섬유 원료 조제

목섬유·열가소성섬유 복합재 제조에 필요한 목섬유는 MDF 공장으로 부터 접착제가 도포되지 않은 상태로 건조하여 분양받았다. 수종은 라디에타 소나무이며, 함수율은 10%였다. 섬유제조 조건은 증해온도 160℃, 증해압력 7~10kgf/cm², 증해시간 2~3분으로 증제한 후 디스크 리파이너에서 해섬한 것이다. 폴리프로필렌섬유는 굵기 3데니어, 용융지수 25g/10min, 형태는 크림 프가 없는 섬유를 공장에서 직접 길이 10mm의 크기로 주문, 절단하여 구입하였다.

나. 혼합공정 개선 및 공정변수 영향 평가

(1) 혼합공정 개선

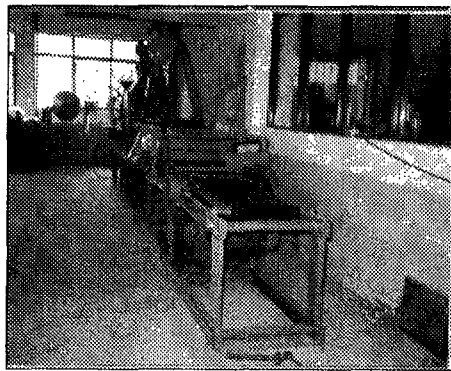
혼합공정을 개선하기 위하여 파이롯트 난기류혼합 성형장치를 제작하여 본 실험에 이용하였다. 이 파이롯트 섬유혼합·성형장치는 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2절에서 제작, 사용하였던 난기류혼합기(turbulent air mixer)를 더욱 개선하여 혼합부(mixing part)를 구성하고, MDF 생산에 필요한 성형기를 개선보완하여 성형부(forming part)를 이루었으며, 진가압부(prepressing part) 그리고 종절삭과 횡절삭을 이루는 재단부(cutting part)로 구성되어 있다.



<그림 4-18> 파이롯트 섬유혼합·성형장치의 단면도

(2) 파이롯트 섬유혼합·성형장치 개발

파이롯트 섬유·혼합 성형장치는 제 2절의 시험에서 자체 고안, 설계한 기본 장치구조 및 레이아웃을 바탕으로 하여, 기계제작업체와 함께 세부설계협의, 설계보안, 기계제작, 실험운전 및 장치보완 등의 과정을 거쳐 국내외 최초로 <사진 4-4>와 같은 장치를 개발하였다.



<사진 4-4> 파이롯트 섬유혼합·성형장치

이 장치의 제원은 길이 7850mm, 폭 700mm, 높이 1850mm, 메인 벨트의 폭 480mm이다. 벨트의 속도는 최소 160mm/min, 최대 1500mm/min, 도핑 롤의 속도는 최소 104rpm, 최대 936rpm이다. 이 장치로 섬유혼합매트를 성형하였을 때, 시간적으로 성형된 매트간에 다소의 무게 차이가 나타나므로 장치의 정밀제어가 필요했다. 장치의 주요부분 구성을 <사진 4-4>에 나타내고 있으며, 복합제 제조과정에 대

한 설명은 <사진 4-5>에 나타내고 있다.

(3) 파이롯트 섬유혼합·성형장치의 구조 및 기능

(가) 주요부분

본 장치의 각 파트별 구조 및 기능을 설명하고, 설계, 제작 및 운전 과정에서 파악된 문제점과 아울러 실용화단계에서의 보완 및 해결방안에 대하여 설명하면 다음과 같다.

1) 혼합부 및 이송부

혼합부<사진 4-5의 a>는 기존의 연구(윤 1996, 1997)에서 이용해 왔던 난기류혼합기의 원리를 그대로 적용하고자 하였으나, 노즐의 형태와 크기, 공기유량, 혼합박스의 형태 및 용량 등의 최적화에 대한 기계공학적 연구검토가 충분치 못함에 따라, 목섬유의 분산, 혼합을 완벽하게 해주지는 못하는 것으로 판단된다.

주요 문제점으로는 사각혼합기의 상부 모서리에 기류가 정체하는 현상과 정전기 발생에 의해 혼합기 내벽에 플라스틱 섬유가 부착하는 현상 그리고 개폐장치에 목섬유가 끼어 투입공기가 새어나와 혼합도를 저하시키는 현상 등이 있다. 이와같이 기계장치의 최적화는 다양한 기술요소를 결합시켜야만 하는 매우 어려운 과제이므로, 실제 산업현장에 적용하고자 할 때는 이와 같은 문제점의 해결이 필요하다. 부수적으로 나타난 문제로서는 콘베이어 벨트에 의해 목섬유를 이동시키는 이송라인의 내부공간을 좀 더 넓혀줄 필요가 있다. 또한 혼합된 섬유가 일정량씩 연속적으로 이송라인으로 들어갈 수 있도록 하기 위한 고안이 필요하다.

2) 성형부

성형부<사진 4-5의 b>는 부직포 공정에서 사용하는 성형장치와 중밀도 섬유판(MDF) 제조라인에서의 성형장치모형을 축소, 보완하여 제작하였

다. 이 장치에서 가장 중점을 둔 부분은 혼합된 섬유가 흐트러지지 않고 일정한 높이와 면방향에서 균일한 분포를 하도록 설계한 것이다. 현재 제작된 성형장치는 도핑롤과 디스트리뷰터롤의 상호보완적 역할이 원활하지 않으며, 성형라인이 짧기 때문에 매트를 충분하게 컨트롤하기 어렵다는 점이다. 그렇지만 도핑롤 아래에 가이드를 설치하여 성형기 후면에서부터 혼합된 섬유의 흐름이 발생하도록 보완하였으며, 매트의 가장자리의 엉킴현상이나 분리현상을 막기 위하여 성형라인 내부까지 가이드판을 보완, 설치하였다.

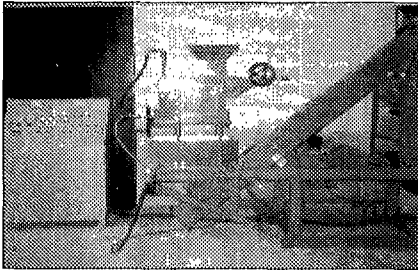
3) 예비가압부

예비가압부<사진 4-5의 c>는 두꺼운 매트를 가압시켜 매트의 밀도를 높여줌으로써 매트의 밀도 편차를 줄여서, 후속공정에 원활하게 연결되도록 매트를 조절하는 기능을 부여하는 목적에 따라 설계되었다. 이 부분에는 별다른 문제는 없으나, 가압벨트가 정확히 고정되도록 세심한 주의가 필요하다. 또한 목섬유의 비율이 높아지면 가압시 매트의 응력이 상대적으로 커지므로 예비가압부의 압체높이 또는 압력을 적당히 조정해주어야만 한다.

4) 재단부

재단부<사진 4-5의 d>는 이 파이롯트장치의 제작상에 가장 많은 어려움이 있었다. 섬유상 매트의 재단은 열압경화된 보드의 재단보다 더욱 기술적 난점이 있으나, 실제 산업적으로 적용할 때는 충분히 해결가능할 것으로 여겨진다.

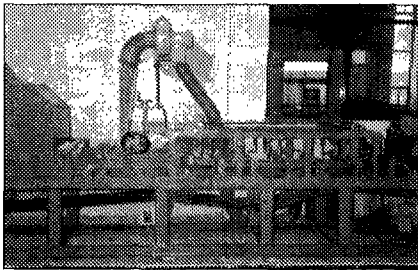
횡절단은 주벨트의 운전속도 및 섬유상 매트절단자체의 기술적 문제점이 함께 해결되어야 하나, 이 문제를 근본적으로 개선하기 위해서는 섬유매트를 횡절단하는 것보다, 롤러프레스를 사용하여 열압, 경화시킨 후 재단하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.



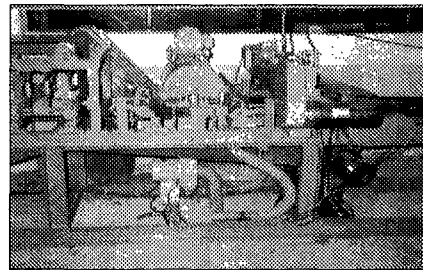
a 혼합부



b 성형부



c 예비가압부



d 재단부

<사진 4-5> 파이롯트 섬유혼합·성형장치의 주요부분

(4) 파이롯트 장치를 이용한 복합재 제조과정

본 실험에서 설계, 제작한 파이롯트 섬유혼합·성형장치를 사용한 실제 복합재 제조과정 <사진 4-6>을 설명하면 다음과 같다. 우선 <사진 4-6>의 a와 같이 원료를 준비하고, 원료를 혼합기 안으로 투입(b)한 다음, 콤프레샤에서 압축된 공기를 혼합기 하부와 상부를 통해 불어넣으면 c와 같이 혼합된다. 이어서 혼합된 섬유를 성형기(d)에 넣으면 매트가 형성되고, 형성된 매트는 e와 같이 casting roll을 통과하면서 일정 높이를 갖게 되며, 이 매트는 최종적인 높이 조절을 위하여 scalping roll을 통과하면서 예정 높이 이상의 매트는 블로우 라인으로 흡입, 회수되면서 매트의 높이를 일정하게 조정하게

된다(f). 이 매트는 g와 같이 예비가압 라인을 통과하면서 두께가 압축되어 길이재단(h)이나 폭재단(i)시에 매트가 안정되도록 하고 두께방향과 면방향에서 균일성이 부여된다. j는 질삭이 끝난 매트의 형상이고 k는 이 세 장의 매트를 적층한 형태이다. l은 열압과 냉압을 거쳐서 완성된 최종 복합재의 형상을 매트와 대비하여 나타낸 것이다.



a 목섬유와 폴리프로필렌섬유



b 혼합기에 투입된 목섬유와 PP섬유



c 혼합기에 혼합된 섬유



d 성형기 후면으로 쌓이는 섬유



e 성형기 전면의 casting roll



f 흡입장치가 부착된 scalping roll



g 매트가 prepressing되는 장면



h 리핑되는 매트



i 횡질된 매트가 이동하는 모습



j 절삭된 매트의 형상



k 절단된 매트를 적층한 형태



l 제조된 매트와 복합재

<사진 4-6> 파이롯트 섬유혼합 성형장치를 이용한 목섬유-열가소성 섬유 제조공정

(5) 난기류혼합기와 파이롯트 섬유혼합·성형장치로 제조한 복합재의 비교

파이롯트 섬유혼합·성형장치로 제조된 복합재는 <표 4-6>과 같이

난기류 혼합기에 의해 제조된 복합재보다 우수한 성질을 지니는 것으로 나타났다. 특히 파이롯트장치에서 연속생산된 매트가 길이방향으로 밀도차이가 존재함에도 불구하고 우수한 물성을 보이고 있다. 이것은 수작업으로 하는 성형작업보다 기계적으로 하는 성형작업이 보다 균일한 매트성형을 이루기때문인 것으로 보여진다. 따라서 파이롯트 섬유혼합·성형장치 및 공정의 실용화 가능성이 있는 것으로 생각되지만, 개선해야 하는 부분도 많이 눈에 띄고 있다. 또한 여기에는 설비규모에 따른 효과가 있기 때문에 설비가 대형화되고, 정밀제어기술이 적용되면, 복합재의 물성변이를 현저히 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

<표 4-6> 난기류 혼합기와 파이롯트 섬유혼합·성형장치로 제조한 복합재의 성질 비교

장치구분	밀도 (g/cm ³)	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)
난기류 혼합기	0.58 (0.045)	156 (17.08)	6,399 (962)	99.5 (8.54)
파이롯트 섬유·혼합성형장치	0.53 (0.028)	207 (21.79)	8,933 (1,118)	92.0 (7.22)

* 제조조건: 목섬유/폴리프로필렌섬유 = 50/50, 열압온도 195℃, 열압시간 5분

제 2 항 복합재의 공정변수 영향 평가

1. 실험설계

본 실험은 공정변수에 따른 복합재의 성질을 예측 가능하도록 하여, 새로운 기능성이나 요구되는 물성을 갖는 복합재의 제조에 필요한 기초자료를 제공하고자 실시한 것이다. <표 4-7>은 공정변수와 결합제 수준의 영향을 평가하기 위한 실험설계를 요약한 것이다. 공정변수는 5수준의 밀도(0.2, 0.4,

0.6, 0.8, 1.0g/cm³)와 7수준의 혼합비(10, 20, 30, 40, 50, 60, 70%) 그리고 5수준의 목섬유 함수율(2, 4, 8, 12, 16%)에 대하여 평가하였고, 결합제의 영향은 6수준(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0%)으로 설정하여 평가하였다.

<표 4-6> 공정변수와 결합제 수준에 따른 목섬유·폴리프로필렌섬유 복합재 제조를 위한 실험설계

공정 변수	목표 밀도 (g/cm ³)	매트 함수율 (%)	열압조건			구성비			냉각 시간 (min)
			온도 (°C)	시간 (min)	압력 (kgf/cm ²)	목섬유 (%)	P.P 섬유 (%)	MAPP (%)	
밀도 수준	0.2	4.0	195	6	5	50	50	0	3
	0.4	4.0	195	6	10	50	50	0	3
	0.6	4.0	195	6	20	50	50	0	3
	0.8	4.0	195	6	35	50	50	0	3
	1.0	4.0	195	6	50	50	50	0	3
폴리프 로필렌 혼합비 수준	0.8	7.2	195	6	35	90	10	0	3
	0.8	6.4	195	6	35	80	20	0	3
	0.8	5.6	195	6	35	70	30	0	3
	0.8	4.8	195	6	35	60	40	0	3
	0.8	4.0	195	6	35	50	50	0	3
	0.8	3.2	195	6	35	40	60	0	3
	0.8	2.4	195	6	35	30	70	0	3
목섬유 함수율 수준	0.8	1	195	6	35	50	50	0	3
	0.8	2	195	6	35	50	50	0	3
	0.8	4	195	6	35	50	50	0	3
	0.8	6	195	6	35	50	50	0	3
	0.8	8	195	6	35	50	50	0	3
결합제 수준	0.8	4.3	195	6	35	49.5	50	0.5	3
	0.8	4.7	195	6	35	49.0	50	1.0	3
	0.8	5.0	195	6	35	48.5	50	1.5	3
	0.8	5.3	195	6	35	48.0	50	2.0	3
	0.8	5.7	195	6	35	47.5	50	2.5	3
	0.8	6.0	195	6	35	47.0	50	3.0	3

<표 4-7>에서 결합제로 쓰이는 MAPP는 고형분 40%의 에멀전 형태로서 Eastman사의 유화지침서에 의하여 직접압력법(direct pressure method)으로 실험실에서 제조한 것이다. 여기에서 냉각시간은 열판의 온도가 45℃에 이르는 시간을 말한다.

2. 밀도와 함수율

<표 4-7~8>은 각각의 조건에서 제조한 복합재의 실제 밀도와 함수율을 나타낸 것이다.

복합재의 밀도는 저밀도 영역에서는 목표밀도보다 높게, 고밀도 영역에서는 목표밀도보다 낮게 나타났다. 또한 복합재의 함수율은 매우 낮은 수준인 약 2~4%를 나타냈다. <표 4-7>의 밀도수준별 시험에서도 목섬유와 폴리프로필렌섬유의 혼합비가 50 : 50이기 때문에 대기중의 수분의 흡수가 매우 어려워져서 함수율이 낮게 나타난 것으로 생각된다.

<표 4-7> 예정밀도 및 폴리프로필렌 혼합비에 따라 제조된 복합재의 밀도 및 함수율

공정변수	수준	매트함수율 (%)	복합재 밀도 (g/cm ³)	복합재 함수율 (%)
밀도 (g/cm ³)	0.2	4.0	0.27(0.04)	3.74(0.38)
	0.4	4.0	0.43(0.05)	3.59(0.31)
	0.6	4.0	0.58(0.07)	2.86(0.22)
	0.8	4.0	0.77(0.07)	2.54(0.21)
	1.0	4.0	0.86(0.05)	2.20(0.38)
혼합비 (Wood : PP)	9 : 1	7.2	0.75(0.05)	3.88(0.57)
	8 : 2	6.4	0.75(0.05)	4.41(0.61)
	7 : 3	5.6	0.74(0.04)	3.48(0.34)
	6 : 4	4.8	0.78(0.07)	2.77(0.29)
	5 : 5	4.0	0.79(0.05)	2.17(0.24)
	4 : 6	3.2	0.78(0.05)	1.63(0.12)
	3 : 7	2.4	0.82(0.01)	2.06(0.18)

* ()내 수치는 표준편차임.

<표 4-8>의 밀도와 함수율 측정결과를 통해서 알 수 있듯이 목섬유의 양이 많아지면 함수율이 높아지는 것을 볼 수 있다. 저밀도 영역에서 실제밀도가 목표밀도보다 높은 것은 일률적으로 적용된 열압시간때문인 것으로 생각되므로, 보다 짧은 열압시간을 적용하는 것이 바람직할 것이다.

<표 4-8> 목섬유의 함수율 및 결합제 수준에 따라 제조된 복합재의 밀도 및 함수율

공정변수	수준	매트함수율 (%)	복합재 밀도 (g/cm ³)	복합재 함수율 (%)
목섬유 함수율 (%)	1	1	0.74(0.06)	2.30(0.44)
	2	2	0.75(0.06)	2.15(0.22)
	4	4	0.81(0.03)	2.07(0.36)
	8	6	0.80(0.05)	1.54(0.36)
	16	8	0.78(0.06)	2.19(0.18)
결합제(MAPP) (%)	0.5	4.3	0.74(0.03)	1.74(0.22)
	1.0	4.7	0.74(0.04)	2.13(0.26)
	1.5	5.0	0.76(0.05)	1.74(0.31)
	2.0	5.3	0.77(0.06)	1.96(0.32)
	2.5	5.7	0.76(0.06)	2.11(0.29)
	3.0	6.0	0.75(0.05)	2.33(0.34)

* ()내 수치는 표준편차임.

3. 물리·기계적 성질

공정변수와 결합제의 영향을 평가하기 위해 제조된 복합재의 물리·기계적 성질을 <표 4-9~10>에 평균값과 표준편차로서 나타냈다. 물리·기계적 성질은 KS F 3104에 의거하여 측정하였다. 또한 <그림 4-19~26>에서는 복합재 제조시 각 공정변수와 결합제 영향을 보여주고 있다.

<표 4-9, 그림 4-19~20>에 나타낸 것과 같이, 복합재의 기계적 성질은 밀도의 영향과 폴리프로필렌의 혼합비의 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이는 <표 4-10>에 나타낸 목섬유 함수율과 결합제보다 더 큰 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다. 동일한 혼합비(목섬유 : 폴리프로필렌섬유= 50 : 50)

조건에서 밀도가 높아진다는 것은 고온에서 폴리프로필렌의 유동성이 커진다는 것을 의미한다. 즉 밀도가 커질수록 기계적 성질은 크게 향상되었다.

혼합비율 조건의 경우 동일한 목표밀도에서 목섬유의 양이 높을수록 기계적 성질은 저하되었다. 그러나 목섬유가 60% 이하인 조건에서는 휨강도가 향상되지 않고 일정하게 유지되었다. 폴리프로필렌 함량이 40%이상으로 높은 경우에는 휨탄성계수의 저하가 일어났다.

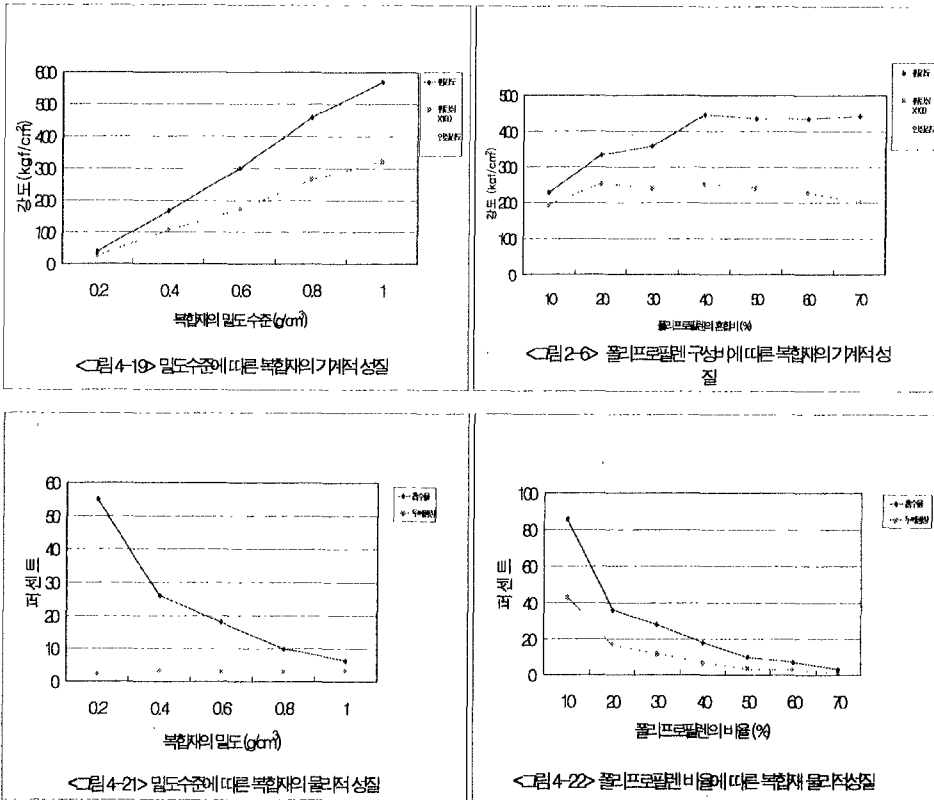
<표 4-9> 밀도 및 폴리프로필렌 혼합비 조건에 따른 복합재의 물리·기계적 성질

공정변수	수준	기계적 성질			물리적 성질	
		휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	24시간 흡수율 (%)	24시간 두께팽창률 (%)
밀도 (g/cm ³)	0.2	39(8.3)	2,556(301)	17(4.4)	55(2.9)	2.3(0.87)
	0.4	166(24.2)	10,631(1,054)	46(12.4)	26(3.3)	3.2(2.1)
	0.6	298(61.2)	1,7212(3,070)	106(9.2)	18(6.6)	2.9(0.9)
	0.8	459(38.6)	26,393(1,686)	198(8.7)	10(3.3)	3.0(0.6)
	1.0	569(28.7)	31,996(2,808)	221(31.7)	6.4(1.5)	3.3(1.0)
혼합비 (Wood : PP)	9 : 1	227(43.9)	19,425(4,075)	98(11.1)	86(7.6)	43(5.3)
	8 : 2	332(22.9)	25,273(2,331)	147(12.3)	36(3.7)	17(3.2)
	7 : 3	360(38.5)	24,027(1,360)	161(10.0)	28(3.9)	12(1.9)
	6 : 4	445(34.5)	25,359(595)	183(14.1)	18(3.6)	6.8(1.4)
	5 : 5	434(43.5)	24,116(2,109)	174(14.6)	9.9(1.3)	3.5(0.6)
	4 : 6	434(34.0)	22,752(1,722)	168(8.2)	7.4(1.5)	2.9(0.6)
	3 : 7	442(40.9)	20,323(2,035)	190(15.1)	3.4(1.2)	1.2(0.6)

동일 밀도수준에서도 혼합비율의 차이에 따라서 휨강도는 227kgf/cm²(목섬유 90%)에서 445kgf/cm²(목섬유 60%)까지 차이를 보였으며, 휨탄성계수는 약 19,000kgf/cm²에서 25,000kgf/cm²의 차이를 보였다. <그림 4-19~20>을 통해 쉽게 확인할 수 있듯이, 폴리프로필렌의 혼합량의 증가는 밀도의 증가와 약

간 다른 양상을 보인다. 휨강도는 폴리프로필렌섬유 40%까지 증가하다 일정해지고 휨탄성계수는 폴리프로필렌 20%까지 증가하다 완만하게 감소하는 추세를 보였다. 또한 인장강도는 폴리프로필렌의 비율이 높아짐에 따라 완만하게 증가하는 추세를 보였다.

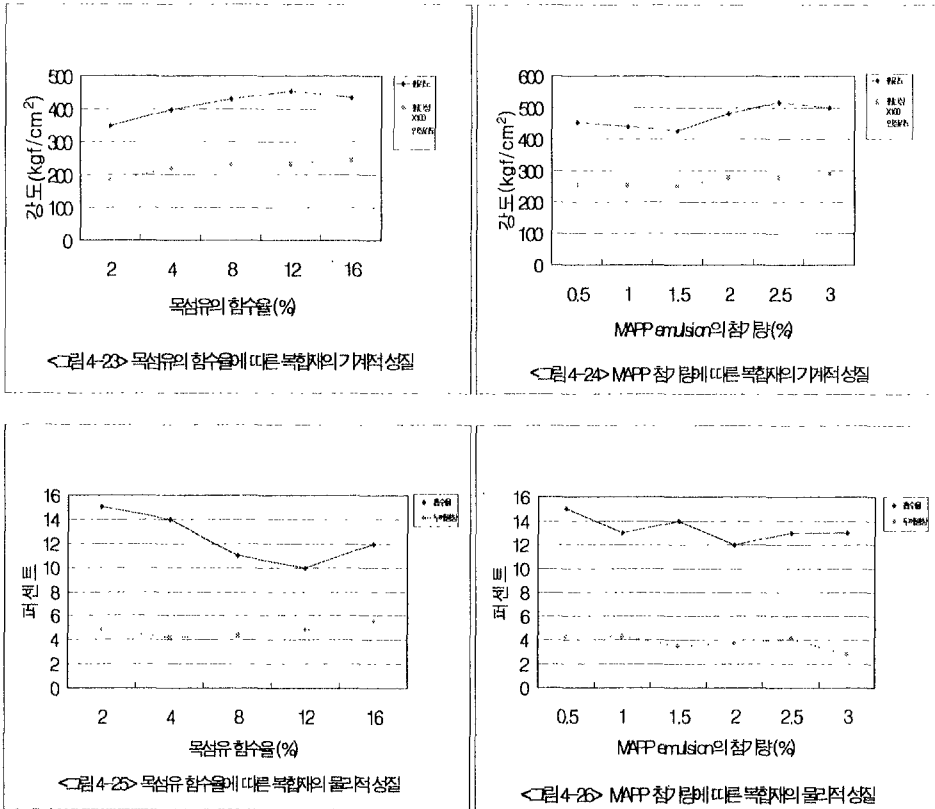
<그림 4-21~22>를 통해서 알 수 있듯이, 밀도가 감소할수록 흡수율이 크게 감소하였고 두께팽창률은 거의 변화가 없었다. 또한 폴리프로필렌의 혼합비가 커질수록 흡수율과 두께팽창률이 저하하는 양상을 보였다. 높은 혼합비(폴리프로필렌 70%)의 경우에는 흡수율을 3.4%, 두께팽창률을 1.2%까지 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 이는 목섬유·폴리프로필렌섬유 복합재의 물리적 성질은 폴리프로필렌의 혼합비율에 크게 좌우되고 있다는 사실을 시사해 주고 있다.



목섬유의 함수율과 결합제의 영향을 평가한 결과는 <표 4-10, 그림 4-23~26>에 나타났다. 목섬유의 함수율이 증가함에 따라서 휨강도는 점진적인 증가, 휨탄성계수는 완만한 증가를 보였으며, 인장강도는 거의 변화가 없었다. 휨성질의 증가현상은 일단 목섬유에 존재하는 수분의 양이 많아지면 열압시 증기압의 상승을 불러일으키고 이로 인하여 목섬유가 더욱 유연해짐과 동시에 매트내의 유동이 쉬워지기 때문인 것으로 추론할 수 있다. 또한 목섬유내의 수분은 폴리프로필렌섬유의 용융성에 영향을 미치는 것으로 생각된다. <그림 4-25>에서 목섬유 함수율 증가에 따른 흡수율의 저하와 두께팽창률의 완만한 증가현상은 두 가지 추론을 가능케 한다. 첫째는 목섬유의 함수율이 높아짐에 따라 매트내의 유동성이 증가하고 이에 따라 공극의 감소로 인한 흡수율의 감소를 가져온다는 것이고, 둘째는 목섬유 함수율의 증가에 따른 두께팽창률의 감소효과가 폴리프로필렌의 높은 혼합량(50%)에 의해 상쇄된다는 점이다.

<표 4-10> 목섬유 함수율 및 결합제의 수준에 따른 복합재의 물리·기계적 성질

공정변수 수준	기계적 성질			물리적 성질		
	휨성질		인장강도 (kgf/cm ²)	24시간 흡수율 (%)	24시간 두께팽창률 (%)	
	휨강도 (kgf/cm ²)	휨탄성계수 (kgf/cm ²)				
목섬유 함수율 (%)	2	350(35.3)	18,179(2,448)	176(14.6)	15(3.9)	4.8(1.7)
	4	397(19.6)	21,887(1,349)	173(17.8)	14(0.7)	4.2(1.1)
	8	430(42.2)	23,070(1,574)	177(10.7)	11(1.5)	4.4(1.5)
	12	454(49.5)	23,379(1,588)	165(12.8)	10(1.6)	4.8(1.5)
	16	434(28.8)	24,736(1,318)	177(13.3)	12(2.1)	5.5(1.9)
결합제 (%)	0.5	454(84.3)	25,371(3,852)	202(15.8)	15(2.0)	4.2(0.8)
	1.0	439(26.4)	25,495(2,475)	187(18.3)	13(2.1)	4.3(1.4)
	1.5	426(42.6)	25,095(3,061)	187(12.5)	14(3.7)	3.5(0.8)
	2.0	483(74.8)	27,832(3,903)	209(16.7)	12(1.3)	3.7(1.4)
	2.5	516(26.2)	27,926(1,395)	220(14.2)	13(5.2)	4.1(0.7)
	3.0	500(51.6)	29,262(2,632)	201(17.4)	13(2.4)	2.8(1.1)



목섬유와 폴리프로필렌은 극성과 비극성의 성질을 갖고 있기 때문에 상용성이 매우 낮은 것이 사실이다. 이와 같은 점을 극복하기 위하여 사용하는 첨가제가 결합제이다. 본 실험에서 결합제로 사용한 MAPP는 목재와 폴리프로필렌의 결합에 가장 흔히 사용되고 있다.

<그림 4-24, 26>은 이 MAPP를 목섬유에 대해 0.5%부터 3.0%까지 사용한 결과이다. MAPP를 수준별로 첨가한 결과, 기계적 성질은 수준이 올라갈수록 향상되는 결과를 보였으나 물리적 성질은 미미한 개선이 있는 것으로 나타났다. MAPP의 처리가 이와 같이 큰 효과를 나타내지 못한 이유는 윤과 엄(1997)의 연구에서도 발표한 바 있듯이 높은 폴리프로필렌의 함량(50%)때문이라고 생각된다. 윤과 박(1997)의 발표에 의하면 저함량의 폴리프로필렌 혼

합의 경우 MAPP의 사용이 복합재의 기계적 및 물리적 성질 향상에 크게 기여한다고 하였다. 따라서 본 실험에서 폴리프로필렌을 많이 혼합하는 경우에는 MAPP의 효과가 매우 적은 것으로 확인되었다.

제 3 항 복합재 내부구조의 주사현미경적 관찰

본 실험은 <표 4-11>과 같은 조건으로 난기류혼합법에 의하여 밀도수준을 0.6, 0.8, 1.0 및 1.2g/cm³ 로 한 목섬유·폴리프로필렌 복합재를 제조하였다. 우선, 폴리프로필렌섬유를 (주)금성화섬으로부터 분양받았는데, tow상태의 염색되지 않은 crimp가 없는 섬유로서 굵기가 3 denier, 유동지수(MI)가 25 g/10min였으며, 섬유장이 1±0.2cm가 되도록 절단·사용하였다. 이후, 목섬유와 폴리프로필렌섬유를 난기류혼합기를 이용하여 혼합하였으며, 열압이 끝난 복합재는 caul에서 빼내지 않고 즉시 냉압기로 옮겨서 열압과 같은 압력에서 3분동안 냉압하였다.

<표 4-11> 밀도수준별 목섬유·폴리프로필렌 복합재의 제조조건

예정밀도 (g/cm ³)	예정 Mat 함수율 (%)	열압조건			혼합비율		냉각시간 (min.)
		온도 (°C)	시간 (min.)	압력 (kg/cm ²)	목섬유 (%)	PP섬유 (%)	
0.6	10	195	5	20	90	10	3
0.8	10	195	5	40	90	10	3
1.0	10	195	5	50	90	10	3
1.2	10	195	5	60	90	10	3

위의 조건으로 제조한 복합재를 KS F 3104에 의하여 24시간 흡수처리를 한 결과, 복합재의 밀도가 증가됨에 따라 두께팽창률과 흡수율이 감소하는

경향을 보여주었다<표 4-12>.

<표 4-12> 밀도수준별 목섬유·폴리프로필렌 복합재의 물리적 성질

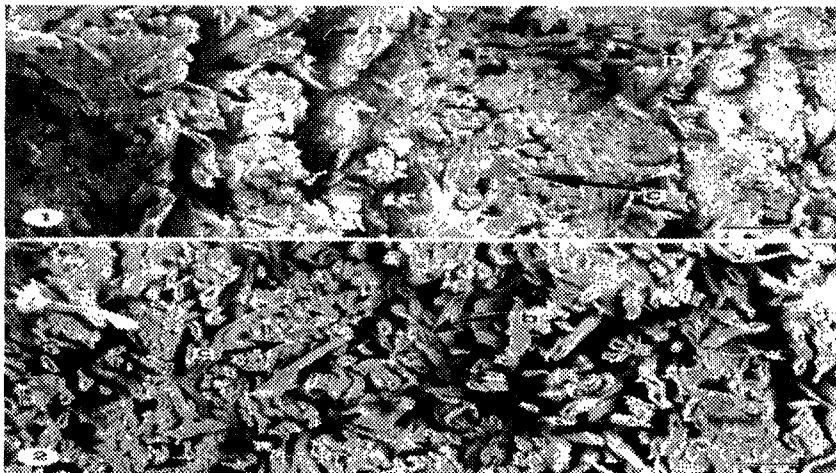
예정밀도 (g/cm ³)	실측밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	두께팽창률 (%)	흡수율 (%)
0.6	0.60 (0.05)	5.0 (0.2)	42.2 (5.7)	144 (11.0)
0.8	0.76 (0.05)	4.3 (0.3)	50.9 (8.3)	106 (18.1)
1.0	0.95 (0.07)	4.5 (0.3)	24.6 (4.6)	43 (10.1)
1.2	1.10 (0.04)	4.2 (0.2)	9.3 (1.1)	12 (3.8)

* ()내 수치는 표준편차임.

이와 같은 복합재의 밀도 증가에 따른 두께팽창률과 흡수율의 감소원인을 구명하고자 복합재의 미세구조를 SEM으로 관찰하는 실험을 하였다. 이 실험을 위하여 제조된 복합재의 중앙부에서 길이와 너비가 각각 5cm인 시험편을 밀도별로 1개를 채취하여, 이 시험편을 등근톱을 이용하여 2개로 절단하여 한쪽은 흡수전의 건조 시험편으로 이용하였으며, 다른 한쪽은 24시간 흡수시킨 다음 온도 30℃, 상대습도 60%의 조건으로 약 1주일 이상 조습시켜 흡수후의 시험편으로 이용하였다. 모든 시험편은 예리한 칼로 최종 관찰면을 절삭한 다음 주사전자현미경으로 관찰하였다. JEOL사의 JSM- 5410LV 주사전자현미경을 이용하여 가속전압 15kV으로 관찰 및 사진촬영을 하였다. 시험편에 전도성을 부여하기 위하여 JEOL사의 JFC1190E ion sputtering device를 사용하여 백금으로 50nm 두께가 되도록 코팅하였다. 가능한 동일한 부위의 흡수전 및 흡수후의 변화를 비교하고자 시험편의 절단부에 유성펜으로 표시한 다음 표시부 중앙을 따라 절단하고 이들 절단면이 관찰면이 되도록 하였다.

<사진 4-7~8>은 밀도 0.6 및 0.8 g/cm³의 조건에서 제조된 복합재의 24시

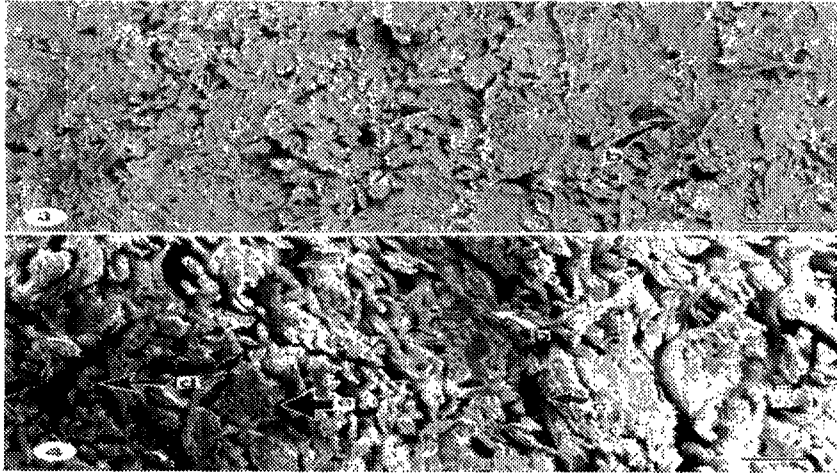
간 흡수전 및 흡수후의 시편 측면에서 촬영한 주사전자현미경 사진으로 복합재 내부의 목섬유 및 폴리프로필렌섬유의 분포나 결합 양식을 보여주고 있다. 사진 ①의 경우 흡수전의 밀도 0.6 g/cm^3 인 복합재의 내부 구조를 보여주는 사진으로써 복합재 내부에 다량의 공극이 존재하며 일부 목섬유에는 찌그러짐이 발생되어 있음을 보여주고 있다. 또한 압체에 의해 편평한 형태로 완전히 찌그러지지 못한 폴리프로필렌섬유가 목섬유 사이에서 많이 관찰되고 있는데 이는 밀도 0.6 g/cm^3 의 수준에서는 압체력에 의한 내부압력의 발생과 열전달이 충분하게 일어나지 못하였기 때문에 폴리프로필렌섬유가 충분히 용융되어 편평한 형태로 압착되지 못하게 된 것과 관련이 있는 것으로 여겨졌다.



<사진 4-7> 밀도 0.6 g/cm^3 인 목섬유-폴리프로필렌 복합재의 24시간 침수전·후의 측면 내부사진
(a : 공극, b : 찌그러진 목섬유, c : 약간 변형된 폴리프로필렌섬유, 측정 눈금 : $100 \mu\text{m}$).

<사진 4-7-②>는 24시간 흡수후의 밀도 0.6 g/cm^3 인 복합재 측면을 나타내는 사진으로 흡수전<그림 4-7-①>보다는 목섬유들이 개개의 섬유 형태로 많이 박리되어 있으며 공극도 더 많은 양으로 관찰되고 있다. 이와 같이 섬

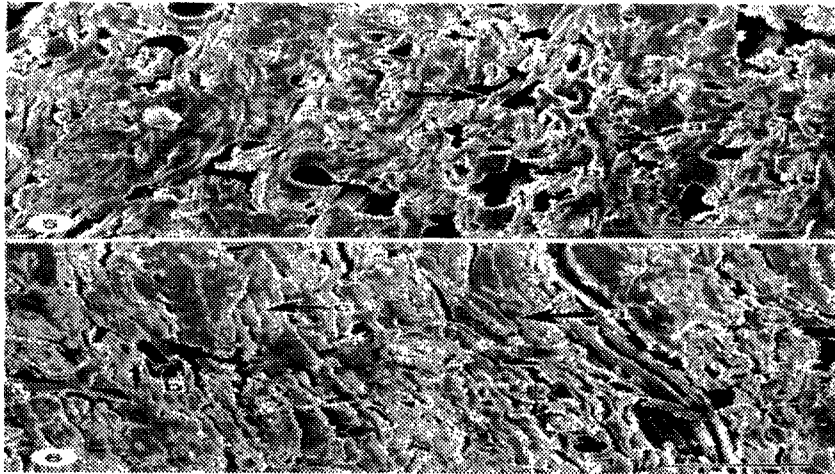
유간의 박리와 공극 비율이 밀도 0.6 g/cm^3 이상인 복합재(사진 4-8~11)보다 많이 나타난다는 것은 두께팽창의 정도가 상대적으로 크다는 것과 관련이 있는 것으로 사료되었다.



<사진 4-8> 밀도 0.8 g/cm^3 인 목섬유·폴리프로필렌 복합재의 24시간 침수전·후의 측면 내부 사진
(a : 찌그러진 목섬유, b 불완전하게 납작퍼진 폴리프로필렌섬유, c : 공극, d : 목섬유, e : 목섬유속, 측정 눈금 : $100 \mu\text{m}$).

<사진 4-8>은 흡수전의 밀도 0.8 g/cm^3 인 복합재 측면을 나타내는 사진으로서, 이 경우에는 <사진 4-7>의 밀도 0.6 g/cm^3 의 복합재보다 목섬유들의 찌그러짐 현상이 더욱 현저해짐으로서, 그 내부가 더욱 치밀해져 있으나, 아직도 용융된 폴리프로필렌섬유가 목섬유를 피복할 만큼 충분히 유동되거나 또는 압체에 의해 편평한 형태로 완전히 찌그러지지 않은 상태를 많이 보이고 있다. <사진 4-8-④>는 24시간 흡수후의 밀도 0.8 g/cm^3 인 복합재 측면을 나타내는 사진으로서, <사진 4-7-②>의 밀도 0.6 g/cm^3 인 복합재의 팽창후 내부구조보다도 공극이 적으면서도 개개의 섬유보다는 다발상의 섬유속(fiber

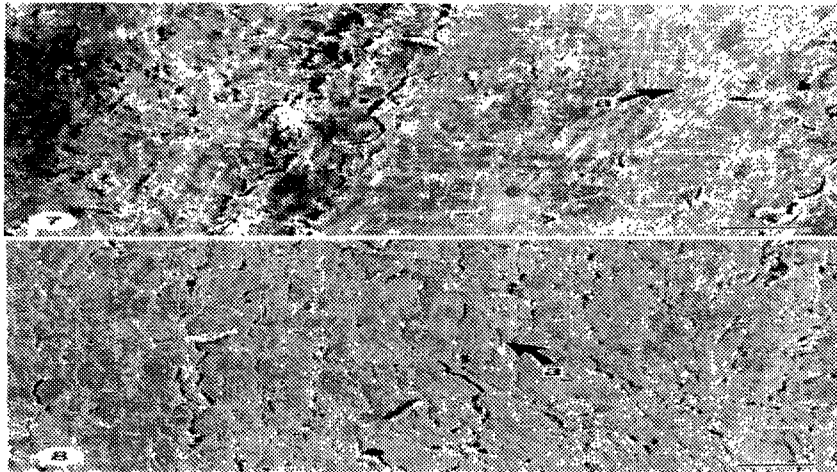
bundle)이 다소 많은 양으로 나타나고 있다. 하지만 <사진 4-9~10>의 밀도 1.0 또는 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 의 복합재와 비교하여 볼 때, <사진 4-7~8>의 밀도 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ 및 $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 인 복합재 모두 용융된 폴리프로필렌섬유가 유동되어 목섬유를 둘러싸는 상태가 되기에는 불충분한 밀도수준으로 판단되었다.



<사진 4-9> 밀도 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 인 목섬유 · 폴리프로필렌섬유 복합재 복합재의 24시간 침수전 · 후의 측면 내부사진
(a : 불완전하게 납작퍼진 폴리프로필렌섬유, b : 공극, c : 찌그러진 목섬유, 측정 눈금 : $100\ \mu\text{m}$).

<사진 4-9-⑤>는 흡수전의 밀도 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 인 복합재 측면을 나타내는 사진으로 이 경우 폴리프로필렌섬유가 완전히 용융되어 압체력에 의해 원래의 둥근 형태를 식별할 수 없는 정도의 얇은 막으로 편평하게 압축된 형태를 많이 보이고 있다. <그림 4-9-⑥>은 24시간 흡수후의 밀도 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 인 복합재 측면을 나타내는 사진으로 흡수전의 <사진 4-9-⑤>와 마찬가지로 정도의 공극이 존재하고 있으며 또한 찌그러진 목섬유의 회복도 거의 일어나지 않은 상태를 보이고 있다. <사진 4-8>의 밀도 $0.8\text{g}/\text{cm}^3$ 인 복합재와 비교하여

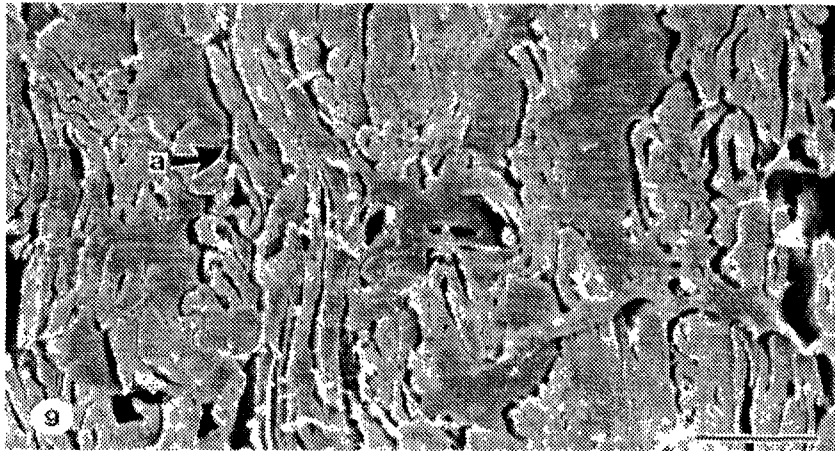
볼 때 목섬유의 찌그러짐이나 내부의 치밀도가 크게 향상되어 있는데 이는 이 수준의 밀도 조건하에서 열압체에 의한 매트 내부의 압축 증대가 폴리프로필렌섬유의 용융 및 유동에 다소 크게 영향하였기 때문인 것으로 여겨졌다. 그러나 <사진 4-10>의 밀도가 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 인 복합재보다는 용융된 폴리프로필렌섬유가 완벽하게 목섬유를 둘러싸지 못하고 있기 때문에 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 의 조건에서도 역시 만족스러운 두께팽창률이 나타나지 못한 것으로 사료되었다.



<사진 4-10> 밀도 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 인 목섬유 · 폴리프로필렌 복합재의 24시간 침수전 · 후의 측면 내부사진
(a : 용융된 폴리프로필렌섬유에 의해 둘러싸인 찌그러진 목섬유, 측정눈금 : $100\ \mu\text{m}$).

본 실험에서 가장 높게 설정한 밀도 조건인 <사진 4-10>의 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 의 복합재는 이보다 낮은 밀도 조건인 <사진 4-7~9>의 복합재에 비하여 치밀한 내부구조를 갖는다는 것을 알 수 있었다. 이 경우 목섬유가 전부 찌그러져 있으며 용융된 폴리프로필렌섬유가 완전히 목섬유를 둘러쌀 뿐만이 아니라 찌그러진 목섬유도 압체력에 의해 함께 밀려짐에 따라 복합재 내부가 층상배

열에서 다소 벗어난 일정하지 못한 배열의 혼련된 구조를 보이게 되는 것으로 밝혀졌는데, 이러한 구조는 압출기로 제조한 목섬유·폴리프로필렌섬유 복합재(Clemons 1995)에서 흔히 관찰되는 현상으로 여겨지고 있다. <사진 4-10>은 24시간 흡수후의 밀도 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 인 복합재 측면을 나타내는 사진으로 장시간의 흡수에도 불구하고 상당히 치밀한 구조가 그대로 유지되고 있음을 보여주고 있다. 이는 nonwoven web composite에 있어서 고밀도로 갈수록 치수안정성이 증가됨을 설명해 줄 수 있는 주된 이유인 것으로 여겨진다.



<사진 4-11> 밀도 $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ 인 목섬유·폴리프로필렌 복합재의 24시간 침수후의 내부사진(측정 눈금: $50\mu\text{m}$).

그러나 극성인 목섬유와 비극성인 폴리프로필렌섬유는 서로 相溶性이 없기 때문에 직접적이 결합이 이루어지지 않는다는 사실을 <사진 4-11>의 SEM 관찰을 통해 확인할 수 있었으며, 밀도별 흡수에 따른 두께팽창률의 차이는 용융된 폴리프로필렌섬유의 분산 양식(distribution pattern)에 기인됨을 확인할 수 있었다.

본 실험과 아주 유사한 조건으로 수행된 Youngquist *et al.*(1992)의 연구결

과에서는 밀도 0.4, 0.7, 1.0, 1.2g/cm³인 복합재의 두께팽창률이 각각 23.9, 34.5, 40.3, 42.7%로 직선적으로 증가하는 경향이 나타난 데 반하여, 본 실험에서는 고밀도 조건으로 갈수록 두께팽창률이 감소하는 경향을 보였고, 또한 이와 같은 경향이 나타난 근거를 주사전자현미경 사진을 통하여 확인할 수 있었다. 따라서 복합재의 밀도 증가가 반드시 두께팽창률의 증가를 가져온다고 결론지을 수 없는 것으로 여겨졌으며, 오히려 고밀도 조건일수록 폴리프로필렌섬유의 용융과 유동이 보다 크게 일어남으로써 두께팽창 억제에 유리하게 작용됨을 본 실험 결과 알 수 있었다.

nonwoven web composite의 두께팽창은 복합재 내부에 존재하는 열가소성 섬유유의 용융과 유동 정도에 따라 달라지게 되는데, 저밀도 조건의 경우보다 고밀도 조건이 복합재 내부의 열가소성 섬유유의 용융도와 유동속도를 증가시키는데 유리하다고 판단되었다. 고밀도 조건에서는 10%의 열가소성 섬유유의 혼합비율에서도 nonwoven web composite가 압출기를 이용하여 제조한 복합재와 매우 유사한 특성을 보였는데 이는 열압체시 매트 내부에 부하된 높은 압력으로 인하여 용융된 폴리프로필렌섬유가 널리 퍼지면서 동시에 목섬유를 완전히 둘러쌀 수 있기 때문인 것으로 생각되었다(Clemons 1995; English and Falk 1995). 이와 같이 용융된 폴리프로필렌섬유가 목섬유를 완전히 둘러싸므로써 흡수에도 불구하고 물분자와 목섬유의 수산기 사이의 직접적인 접촉이 어려워져 두께팽창률이 낮아지는 결과를 나타냈다고 추론할 수 있다. 그러나 Youngquist *et al.*(1992)의 연구결과에 어떤 오류가 있다는 것은 아니다. 본 실험 조건보다 약 5℃ 정도 낮은 열압온도, 상이한 냉각공정, 긴 열가소성 섬유이용 등 이들이 적용한 여러 제조공정 변수를 고려한다면, 고밀도 조건에서도 폴리프로필렌섬유의 용융과 유동이 충분하게 일어나지 못할 가능성도 있을 수 있으며, 이들이 제조한 복합재의 내부에서도 폴리프로필렌섬유의 충분한 용융과 유동이 일어났다면, 본 실험과 유사한 결과를

보일 수도 있을 것으로 생각되었다.

제 4 항 결 론

(1) 亂기류혼합방식을 적용하여 파이롯트 섬유혼합성형장치를 자체 설계, 개발하였으며, 이 장치에 의한 목섬유·폴리프로필렌섬유 복합재 제조실험을 실시하여, 성능이 우수하고, 공정 省力化가 가능한 복합재를 제조하였다.

(2) 파이롯트 섬유혼합성형장치의 성능 및 문제점을 검토하고, 밀도, 혼합비 및 목섬유 함수율 등의 다양한 공정변수에 따른 복합재의 성능을 구명함으로써, 공장설비에 적용 가능성을 제시하였다.

(3) 폴리프로필렌의 혼합비 및 복합재의 밀도가 강도적 성질의 결정 변수이며, 목섬유 : 폴리프로필렌의 혼합비율이 60 : 40이 될 때까지 목섬유 비율을 낮추고 폴리프로필렌 섬유비율을 높이는 경우, 강도적 성질이 향상되어 안정적 경향을 보였다. 또한, 상대적인 폴리프로필렌섬유 비율이 높아질수록 치수안정성은 개선되었다. 한편, 결합제(MAPP)를 2% 정도 첨가하는 것이 물리·기계적 성질 향상면에서 적절하였다.

(4) 복합재 내부구조를 주사현미경(SEM)으로 관찰하여 물성변화요인을 해명하였다. 그 결과 복합재의 밀도가 높을수록 폴리프로필렌의 유동성이 증가하여, 목섬유와 수분의 결합을 억제하고 두께팽창률과 흡수율이 감소됨을 유추할 수 있었다.

참고문헌

- American Hardboard Association. 1982. American National Standards Institute. Basic Hardboard, ANSI-AHA A 135.4 (Reaffirmed Jan. 11, 1988.) Palatine, Illinois
- Boldizar, A., C. Klason, J. Kubat, P. Naluud, and P. Saha. 1987. Prehydrolyzed cellulose as reinforced filler for thermoplastics. *Int. J. Polym. Mater.* 11 : 229~262
- Chtourou, H., B. Riedi, and A. Ait-kadi. 1992. Reinforced polyolefins with wood fiber. *J. Reinf. Plast. Compos.* 2 : 342~394
- Eastman Chemocals Co. 1986. The emulsification of epolene E-type waxes. Pub. No. F-256C
- Felix, J. M., and P. Gatenholm. 1991. The nature of adhesion in composite of modified cellulose fibers and polypropylene. *J. Appl. Polym. Sci.* 42 : 609~612
- Felix, J. M., P. Gatenholm, and H. P. Schreiber. 1993. Controlled interactions in cellulose-polymer composite. 1. Effect on mechanical properties. *Polym. Compos.* 14(6) : 449~457
- Geimer R. L., C. M. Clemons, and J. E. Wood, Jr. 1993. Density range of compression-molded polypropylene-wood composites. *Wood & Fiber Sci.* 25(2) : 163~169
- Kishi, H., M. Yoshiaka, A. Ymanoi, and N. Shiraishi. 1988. Composites of wood and polypropylene. *Mokuzai Gakkaishi* 43(2) : 133~139
- Klason, C., J. Kubat, and H-E. Stromvall. 1984. The efficeincy of cellulosic filler in common thermoplastics. 1. Filling without

- processing aids or coupling agents. *Int. J. Polym. Mater.* 10 : 159~187
- Krzysik, A. M., and J. A. Youngquist. 1991. Bonding of air-formed wood fiber/polypropylene fibre composites. *Int. J. Adhesives.* 11(4) : 235~240
- Krzysik, A. M., and J. A. Youngquist, G. E. Myers, I. S. Chahyadi, and P. C. Kolosick. 1990. Wood-polymer bonding in extruded and nonwoven web composite panels. In : Proc. Symp. wood adhesives 1990-wood/nonwood composites. conner, A. H. ed. USDA Forest Serv., Forest Products Laboratory. Madison, Wis. : 183~189
- Maldas, D., and B. V. Kokta. 1990. Effect of coating treatments on the mechanical behavior of wood-fiber-filled polystyrene composite. *J. Appl. Polym. Sci., 40 : 917~928*
- Maldas, D., and B. V. Kokta. 1993. Role of coupling agents and treatments on the performance of wood fiber-thermoplastic composite. In : Wood fiber/polymer composites : fundamental concept, process, and materials option. Wolcott, M. P. ed., West Virginia, Morgantown, W. Va. : 112~120
- Myers, G. E., I. S. Chahyadi, C. Gonzalez, and C. A. Coberly. 1993. Wood flour and polypropylene or high density polyethylene composites : influence of maleated polypropylene concentration and extrusion temperature on propertues. In : wood fiber/polymer composites : Fundamental concept, process, and materials option. Wolcott. M. P. ed., West virginia, Morgantown, W. Va. : 49~56
- Rowell, R. M. 1990. Acetyl balance for the acetylation of wood particle by

- a symplified procedure. *Hozforschung* 44(4) : 263~269
- Rowell, R. M., J. A. Youngquist, J. S. Rowell, and J. A. Hyatt. 1991. Dimensional stability of aspen fiberboard made from acetylated fiber. *Wood & Fiber Sci.* 23(4) : 558~566
- Westin, M., and R. Simomson. 1992. High performance composites from acetylated wood fiber. *Pacific Rim Bio-Based Compo. Symp.* : 235~242
- Woodhams, R. T., G. Thomas, and D. K. Rogers. 1984. Wood fiber as reinforcing filler for polyolefins. *Polym. Eng. Sci.* 24(15) : 1166~1171
- Yam, K. L., B. K. Gogoi, C. C. Lai, and S. E. Seeke. 1990. Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene. *Polym. Eng. Sci.* 30(1) : 693~699
- Yoon, H. U. 1997. Characteristics and development prospect of wood fiber-polypropylene fiber composite by turbulent air mixing. *In* : Proceeding of Inter. Symp. on Forest Science in the 21th century. Institute of Forest Science, Kookmin Univ., Oct. 15. Seoul, Korea : 91~100
- Youngquist, J. A., A. M. Krzysik, J. H. Muehl, and C. Carll. 1993. Properties of wood fiber and polymer fiber composites. *In* : Wood fiber/polymer composites : Fundamental concept, process, and materials option. Wolcott, M. P. ed., West virginia, Morgantown, W. Va. : 79~86
- Youngquist, J. A., A. M. Krzysik, J. H. Muehl, and C. Carll. 1992. Mechanical and physical properties of air-formed wood-fiber

/polymer-fiber composites. *Forest Prod. J.* 42(6) : 41~48

Youngquist, J. A., J. Muehl, A. Krzysik, and T. Xin. 1990. Mechanical and physical properties of wood/plastic fiber composites made with air-formed dry-process technology. Proceedings of 1990 Joint International conference on processing and utilization of low grade hardboards and international trade of forest-related products, S. Y. Wang and R. E. Tang, eds. National Taiwan Univ., Taiwan : 159~162

신용수. 1997. 아세틸화 목섬유와 열가소성 섬유로 제조한 복합재의 치수안정성. 서울대학교. 석사학위논문.

엄영근, 윤형운. 1996. 목질계섬유-폴리프로필렌 섬유 복합재의 치수안정성 개선에 관한 연구. 국민대학교 산림과학 9 : 129~139

엄영근, 윤형운. 1997. Nonwoven web composite의 두께팽윤에 관한 전자현미경적 연구. 미발표.

윤형운. 1996. Nonwoven web법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재의 성질과 공정 개선에 관한 연구. 서울대학교. 박사학위논문

윤형운, 이필우. 1996. 난기류 혼합법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(I)-공정변수가 복합재의 물리적 성질에 미치는 영향-. 목재공학 24(3) : 101~109

윤형운, 이필우. 1996. 난기류 혼합법을 이용한 목섬유-열가소성 섬유 복합재에 관한 연구(II)-공정변수가 복합재의 기계적 성질에 미치는 영향-. 목재공학 25(3) : 58~65

이철주. 1997. 신문고지섬유-목섬유-열가소성섬유 복합재의 물리적 및 기계적 성질. 서울대학교. 석사학위논문

한국공업규격. 1987. KS F 3104. 공업진흥청. 서울

제 5 장 목질·시멘트보드의 습식제조 공법 개발

제 1 절 서 설

水硬性 시멘트는 철강과 목재와 함께 현재 가장 널리 쓰여지는 건설재료 중 하나이다. 특히, 시멘트는 제조시 소비되는 에너지가 금속과 플라스틱에 비해 상당히 낮으며, 보통 온도에서 물과 함께 경화가 발생하기 때문에 시멘트 제품의 폭넓은 사용을 가능하게 하는 요인으로 작용한다. 하지만, 시멘트계 재료는 인장응력이나 충격하중하에서 취성적으로 파괴되는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점의 효과적인 해결책으로 단섬유를 시멘트 복합체 제조시 사용하는데, 섬유는 시멘트계 재료내에서 균열을 제어하여, 시멘트 복합체의 인성과 인장응력을 크게 증가시킨다.

석면섬유는 그 뛰어난 재료적 특성으로 인해 1970년부터 1980년까지 여러 분야에서 많이 사용되어왔다⁽³⁵⁾. 시멘트 복합체로서는 1900년 남오스트리아의 루드리히 헤첵(Ludrich Hatschek)에 의해 초조공법이 발명된 이래 그 탁월한 성능 때문에 널리 사용되어 왔다⁽¹³⁾. 하지만, 현재 석면은 유럽연합(EU)의 거의 모든 나라를 비롯하여 캐나다, 호주, 미국 등 대부분의 선진국에서 석면이 가진 인체 유해성에 따라 전면 사용금지 내지는 극히 일부의 사용을 허가하고 있는 상태이기 때문에 무석면 시멘트 복합체로의 전환이 요구되고 있다⁽³⁵⁾. 그러나, 국내의 상황은 석면에 대한 규제가 있으나, 시멘트계 재료에는 여전히 많은 양을 사용하고 있다. 그러한 이유는 다른 섬유로 전환하기에는 석면을 대체하는 보강섬유가 필요하나 석면과 같은 역할을 할 수 있는 대체 섬유가 알려져 있지 않기 때문이다.

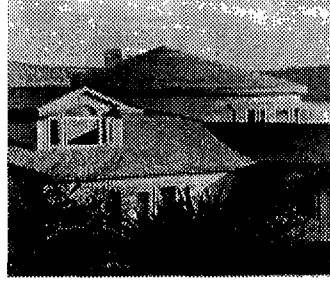
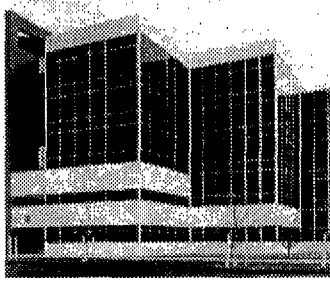
또한, 일부 섬유가 석면을 대체하더라도 아직까지는 경제적인 효과가 부족

하거나 제조과정(Hatschek Process)을 대규모로 변경해야 하는 문제점을 안고 있다.

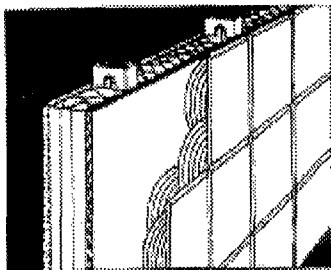
목질섬유는 초기 연구에서 시멘트와 첨가제 입자를 유지할 능력이 없는 직물구조이며, 이러한 구조는 빠른 배수와 모체입자의 손실을 허용하여 낮은 제품 강도를 나타낸다는 것이 밝혀지면서 보강재로서의 사용에 어려움을 겪었다. 그러나, 이후의 연구들을 통해 목질섬유의 정제를 통해 섬유표면을 피브릴화(fibrillation)하여 섬유 표면적을 증가시켜 제조과정 동안 시멘트와 첨가제 입자를 유지하는 섬유 보유력을 증진시킴으로써 해결되었다.

이러한 목질섬유로 보강된 시멘트 복합체는 석면과 유사한 강도와 인성을 가질 뿐 아니라 상대적으로 낮은 에너지를 필요로 하기 때문에 뛰어난 보강재로 인식되었으며, 건설자재로서 석면섬유의 사용비율이 가장 높은 초조공법을 이용함으로써 기존 생산설비를 그대로 활용할 수 있는 경제성을 지녔다. 이러한 섬유보강 시멘트 복합체는 외장용 패널, 칸막이, 천장과 벽, 정원 울타리, 사일로 라이닝, 배수와 관계 수로, 타일, 파이프, 물 흡통과 부속품, 그리고 도서관 마루 등을 포함한 넓고 다양한 분야의 제품으로 활용될 수 있다<Fig. 5-1⁽²⁵⁾>.

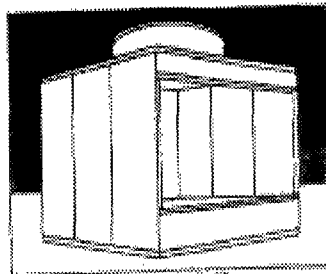
폐지섬유는 순수 목질섬유에 비해 잉크 및 접착물 등의 불순물을 함유하고 있으며, 섬유로의 재생과정에서 섬유길이가 더욱 짧아지며, 낮은 섬유강도를 가지게 된다. 이러한 원인들로 인해 시멘트 복합체 내에 폐지섬유를 혼입할 경우, 시멘트 모체와의 부착성능 저하 및 보강효과의 감소로 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체에 비해 역학적 성능이 감소하게 된다. 하지만, 경제·환경적 측면에서 살펴보면, 폐지섬유를 사용함으로써 순수 목질섬유 비용에 비해 약 15~20% 정도에 미치며, 폐지섬유를 활용함으로써 환경적인 효과도 함께 얻을 수 있다. 또한, 폐지섬유로 순수 목질섬유를 대체함으로써 그 경제성은 더욱 증대될 수 있을 것이다.



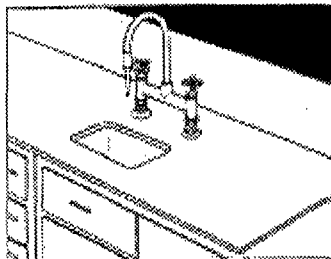
(a) Residential and Commercial Construction



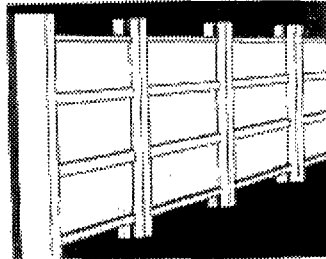
SUBSTRATE FOR TILE



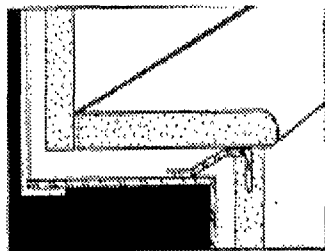
SPRAY BOOTH COMPONENTS



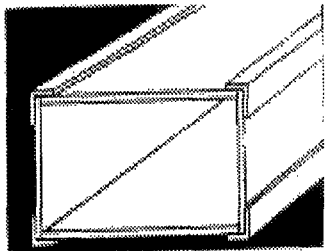
LABORATORY TOPS AND SPLASHES



EXTERIOR FENCING



STAIR TREADS & RISERS



DUCT WORK

(b) Industrial and Commercial Components

Fig. 5-1. Typical application of wood fiber reinforced cement composites⁽²⁵⁾

본 연구는 습식제조공법에 의한 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 최적 배합비를 도출하고, 그에 따른 장·단기간의 공학적 특성을 파악하는데 그 목적이 있다.

이를 위해 우선 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체에 대한 물리·역학적 특성을 파악하고, 순수 목질섬유 대비 폐지섬유대체수준을 세분화하여 실험을 실시하였으며, 이것의 물리·역학적 특성치를 측정하여 통계적 분석을 통해 최적의 성능을 위한 변수조건을 찾고자 하였다. 여기서, 물리·역학적 특성으로는 휨성능, 밀도, 흡수율 등을 측정하였다.

또한, 이 결과를 바탕으로 각 특성치에 대한 諸인자(섬유혼입율, 섬유정제수준, 섬유대체수준)의 영향을 통계적으로 95% 신뢰수준에서 상호 비교·분석하여 최적배합비 도출을 위한 집약된 실험설계를 실시하였다. 이러한 실험설계를 통하여 얻어진 실험결과를 바탕으로 통계적 분석법의 하나인 반응표면분석법을 이용하여 최적배합을 도출해낸 후, 최종적으로 최적배합비에 따른 시편의 공학적 특성을 조사하였다. 또한, 복합체의 장기내구특성을 조사하였으며, 미세구조 분석을 통해 열화원인을 알아보았다.

본 과제의 연구 범위는 물리·역학적 특성 파악, 최적배합비 도출을 위한 통계적 분석, 수분민감성 및 내구성능 평가로 하였다. 연구 내용은 ① 역학적 특성인 휨성능 ② 물리적 특성인 밀도, 흡수율 ③ 분산분석 ④ 반응표면분석 ⑤ 오븐건조, 상대습도 $50 \pm 5\%$, 습윤상태에서의 수분민감성 ⑥ 건조-습윤반복, 동결융해 오븐건조상태에서의 내구성능 등으로 하였다.

제 2 절 연구사

제 1 항 개 요

시멘트 복합체는 그것을 구성하는 각 재료 자체가 서로 다른 성질을 가지고 있는 화학적 시스템으로 이루어져 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 경우 가장 초점을 맞추어야 하는 것은 알칼리성인 시멘트계 환경 하에 산성인 목질 펄프가 그리 적합하지 못하다는 것이다. 또한, 폐지가 시멘트 모체 내에서 얼마만큼의 성능을 발휘할 것인가의 문제는 재료와 제조과정 뿐 아니라 주위 환경 노출시에 상당한 영향을 받게 된다. 이러한 문제점에 대해 Murray의 제안과 Sutermeister와 Barrow의 실험적 연구가 수행된 이래로 목질섬유 내에 산성도를 증가시키는 요인들이 섬유의 열화를 촉진시킨다는 것이 입증되었다⁽⁹⁾⁽⁴⁰⁾. 산성 환경조건에서는 목질섬유의 화학성분 중 대부분을 이루고 있는 고분자인 셀룰로오스 분자의 가수분해를 통해 열화가 촉진되며, 분자고리의 길이가 짧아진다. 심지어 분자를 형성하는 분자고리의 분리로 인해 물리적 특성의 상당한 손실을 가져온다. 이에 반해 탄산칼슘이나 탄산마그네슘과 같은 중성의 환경에서는 산성의 집중을 최소화함으로써 산성 상태에서의 가수분해 작용을 최소화한다. 또한, 셀룰로오스 분자는 알칼리 환경 하에서 가수분해에 의한 분열의 피해를 입으며, 이러한 현상은 목질 섬유에 잔류해 있는 리그닌에 의해 더욱 촉진된다⁽⁹⁾.

제 2 항 목질섬유보강 시멘트 복합체

시멘트 복합체의 취성적 파괴를 방지하는 방법으로 짧고 임의적으로 분산된 섬유를 보강제로 사용하는 것이 효과적인 접근으로 나타났다. 이러한 섬유

유는 시멘트 모체 내부에 균열성장을 멈추게 하거나 지연시키는데 효과적이며, 이로 인해 재료의 인성 특성과 균열 저항성을 향상시킨다. Fig. 5-2는 섬유유리의 균열저항 메카니즘과 인장거동을 보이고 있다⁽¹³⁾⁽¹⁸⁾.

천연 셀룰로오스, 폴리에틸렌, 유리섬유 등을 사용한 섬유계 시멘트 복합체는 얇은 판 제품 등 다양한 분야에 적용되고 있으며, 타섬유와 비교하여 상대적으로 저비용인 목질섬유는 상업적으로 유리한 측면을 가지고 있다. Fig. 5-3은 여러 종류의 섬유보강 시멘트 복합체의 휨거동을 보이고 있는데, 목질섬유는 높은 에너지 흡수능력을 지니고 있다.

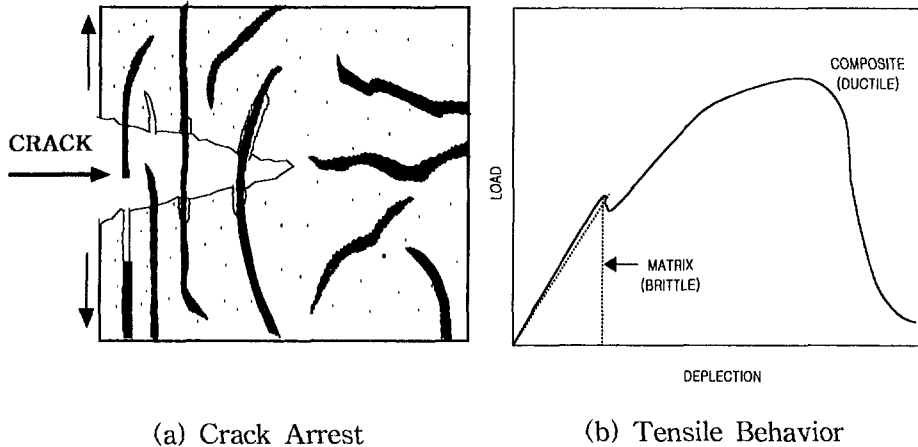


Fig. 5-2. Reinforcement action of fibers in cement-based materials⁽¹³⁾⁽¹⁸⁾.

1. 목질섬유

시멘트계 재료는 상대적으로 낮은 인장강도이며 취성적이다. 이로 인해 여러 종류의 섬유유가 모체의 급격한 파괴를 극복하기 위해 사용되고 있다. 석면, 강, 유리, 합성, 천연섬유 등은 시멘트계 재료의 보강재로서 성공적으로 사용되고 있는 대표적인 섬유들이다. Table 5-1은 순수 목질섬유의 특성을 다른 섬유와 비교한 것이다.

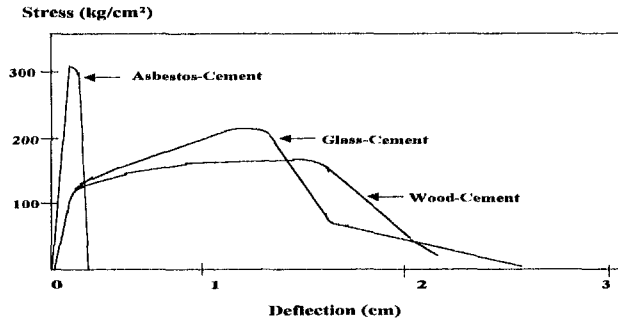


Fig. 5-3. Flexural performance of cellulose fiber-cement composite compared with glass fiber reinforced cement and asbestos cement⁽⁵⁵⁾

Table 5-1. Properties of wood fiber and other fibers⁽³³⁾

Fiber	Diameter(μm)	Specific Gravity	Elastic Modulus (kgf/cm^2)	Tensile Strength (kgf/cm^2)
Steel	5-500	7.84	2000000	5000-20000
Glass	9-15	2.6	700000-800000	20000-40000
Asbestos	0.02-0.4	2.6	1640000	31000
Polypropylene	20-200	0.9	350000	50000-75000
Wood	20-130	1.5	710000	7000

목질 섬유는 침엽수 및 활엽수로부터 펄프화과정을 거쳐 제조된다. 침엽수와 활엽수의 화학성분은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등이며, 이들 성분은 세포벽과 세포간층을 구성하는 물질이며 모든 수종에 90% 이상 다량으로 존재하며, 10% 이하의 수지, 타닌 등의 추출물과 무기물 등을 포함한다.

Table 5-2는 침·활엽수별 목재의 주요성분을 보여 주고 있다⁽⁵⁰⁾.

Table 5-2. Component of wood⁽⁵⁰⁾ (wt %)

Species	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	Extractives
Hardwood	40~44	15~35	18~25	1~5
Softwood	40~44	20~32	25~35	2~8

Fig. 5-4는 침엽수 및 활엽수의 수종별 섬유형태를 기하학적으로 보여주고 있다. 이 그림에서는 섬유의 상대적 크기를 나타내기 위해 같은 배율로 도식되었는데, 수종에 따라 차이가 있지만 침엽수가 활엽수에 비해 상당히 긴 섬유장을 나타낸다⁽²⁸⁾. 이를 통해 복합체의 휨성능 향상을 위해 활엽수보다 침엽수를 사용하는 것이 더 효과적임을 알 수 있다.

목재의 구조적 성질에 대해 살펴보면, 목재 조각의 인장강도는 약 700 kgf/cm²이나, 많은 결점을 포함하고 있다. 그러나, 목재에서 분리된 단섬유들의 인장강도는 Fig. 5-5에서 보는 바와 같이 7000 kgf/cm²로 상당한 증가를 보이며, 목질섬유의 화학적 주요 구성성분인 셀룰로오스 섬유의 인장강도는 약 70,000 kgf/cm²로 경이적인 증가를 나타낸다. 목질 섬유의 중횡비는 약 50이며, 활엽수의 경우는 직경이 20~60 μm이고 침엽수의 경우는 30~130 μm이다. 섬유길이는 활엽수에서 0.5~3.0 mm의 범위이고 침엽수의 경우에는 2.0~4.5 mm의 범위이다⁽¹¹⁾.

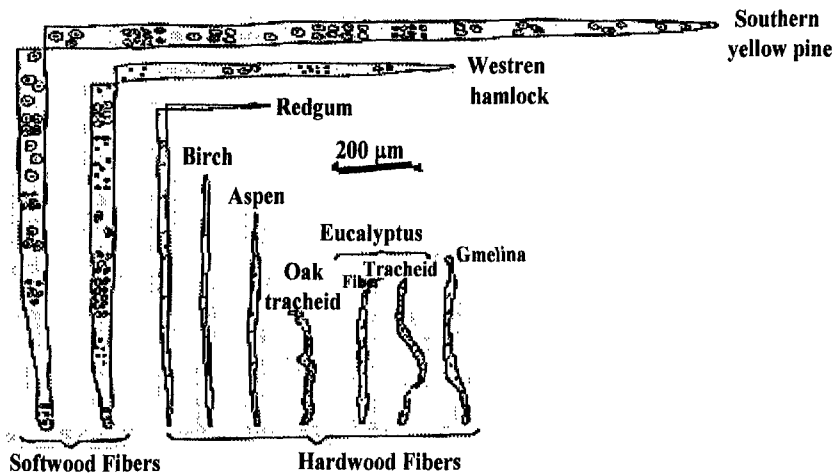


Fig. 5-4. Major cell types in softwoods and hardwoods⁽²⁸⁾.

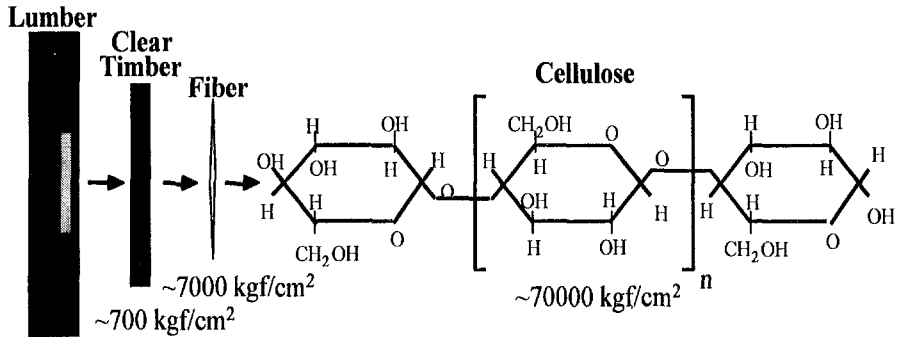


Fig. 5-5. Structure of a tree⁽¹¹⁾.

가. 물 흡수력

목질 세포내의 수분은 수소결합면의 마이크로피브릴(microfibrils) 사이에 존재한다. 수분이 세포벽 내부로 흡수됨에 따라 팽창이 일어나고, 결국 목재조직 전체적인 체적 변화를 발생시킨다. 건조시에는 세포벽으로부터 이러한 결합수가 제거됨으로써 세포벽과 목재조직이 수축한다.

세포벽을 완전히 포화시킬 만큼의 충분한 수분을 보유하거나 액상수가 세포 도관에 전혀 존재하지 않는 상태를 “섬유포화점”이라고 칭하며, 이 상태에서 최대팽창 부피가 나타난다. 섬유포화점 이상의 함수율에서는 더 이상 목재 치수의 변화를 발생하지 않는데, 섬유 포화점은 보통 오븐건조를 기본으로 할 때 25~30%의 범위이며, 습윤시에는 20~23%이다⁽²⁸⁾.

수분 증발을 동반한 주위환경의 노출은 목재를 평형함수율에 도달하게 하며, 평형함수율은 언제나 섬유포화점을 밑돈다. 또한, 평형함수율은 주위 환경의 상대습도, 온도, 목재의 건조정도 등에 따라 변한다. 목재 치수의 변화(수축과 팽창)는 결합수 함량 변화의 산물이며, 목재수분이 섬유포화점 이하가 될 때까지 발생한다⁽²⁸⁾.

나. 온도영향

목재에 대한 온도 영향은 수분에 따른 온도의 상호작용에 의해 일부 설명할 수 있다. 일반적으로 목재 강도는 섬유포화점 아래의 일정한 목재 수분의 수준에서 온도 증가에 따라 감소하며, 일정한 온도에서 함수율이 높아질수록 감소한다. 추가적으로 온도, 시간, pH 등의 상호작용도 목재의 강도에 영향을 미친다. 목재의 열분해(pyrolysis)는 목재의 다양한 고형성분의 파손을 야기하는데, 그 비율은 반응의 발생시 온도, 공기량, 반응시간 등에 따라 주로 결정된다⁽⁵⁰⁾. 이러한 목재 열분해는 대부분 무게손실로 나타난다. 셀룰로오스는 실제 300 °C에서 거의 영향을 받지 않으나, 리그닌의 경우 300 °C에 접근하거나 이를 넘어서면 중량감소를 나타낸다⁽⁵⁰⁾.

다. 생물학적 침해

목재는 일반적인 환경 하에서 생물학적 열화가 발생하며, 일반적으로 유기질의 열화로부터 영양분을 얻는 미세 유기체인 균류가 그 원인이다. 유기질인 목재의 경우 균의 종류에 따라 세포벽 유기질이 열화될 수 있다. 균류가 활동하기 위해서는 온화한 온도인 약 5~38 °C 정도를 요구하며, 산소와 충분한 수분을 필요로 한다⁽²¹⁾.

라. 역학적 거동

단일 목질섬유의 응력-변형률 특성은 복합체의 특성을 결정하는 중요한 역할을 수행한다. Fig. 5-6은 변형 전·후의 목질섬유를 나타내며, 대부분의 섬유가 이와 유사한 형상을 가진다. 섬유의 말단을 고정단으로 고정하더라도 변형 하에 섬유는 꼬이게 된다⁽³⁶⁾. 이러한 현상은 목질 섬유의 구조와 직교셀의 좌굴이론에 의해 설명할 수 있다⁽³⁶⁾. 목질섬유는 헤미셀룰로오스와 리그닌으로 구성된 모체 내에 셀룰로오스 소섬유(protofibrils)의 층으로 구성된 공

동형 관의 형태이다. 대부분의 세포벽 재료는 S₂층, 즉 급격한 나선형 방향의 micro fibril에 포함되어있다⁽³⁶⁾. 따라서, 목질섬유는 나선형으로 구부러진 섬유보강 복합체 관으로 간주할 수 있다. 실험·이론적 좌굴모형은 Fig. 5-7에서와 같이 제시되었다. 이러한 모형은 단일 목질섬유에서와 확연한 유사성을 보이고 있다⁽³⁶⁾.

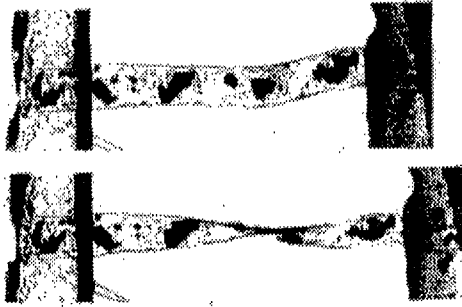


Fig. 5-6. Spruce wood fibers, pulped by the kraft process, before and after straining⁽³⁶⁾

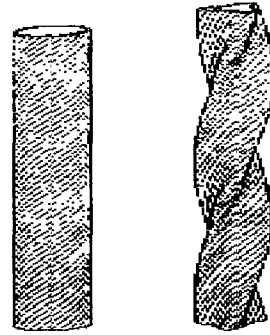


Fig. 5-7. Buckling of a spirally wound tube under axial tensile strain⁽³⁶⁾

Fig. 5-8에서 보는 바와 같이 좌굴발생이 없는 섬유는 실제 선형 응력-변형을 곡선을 띠게 되지만, 좌굴발생 섬유의 경우는 S자형의 곡선을 보인다⁽³⁶⁾. 좌굴형태의 초기발생은 응력-변형을 곡선의 항복점과 일치한다. 좌굴이론은 임계 좌굴응력을 섬유벽의 나선각과 섬유벽 두께 등의 주탄성계수의 함수로써 예측된다.

이러한 사항들의 연계성은 기술적으로 매우 중요한데, 좌굴에 저항하는 섬유의 응력-변형을 곡선은 무저항 섬유와 매우 다른 거동을 보인다. 따라서, 목질섬유로부터 얻은 데이터는 非직물구조와 같은 느슨한 결합구조의 거동을 보이기 때문에 종이와 보드 같은 密實한 결합구조에 직접 적용하기에는 어려움이 있다.

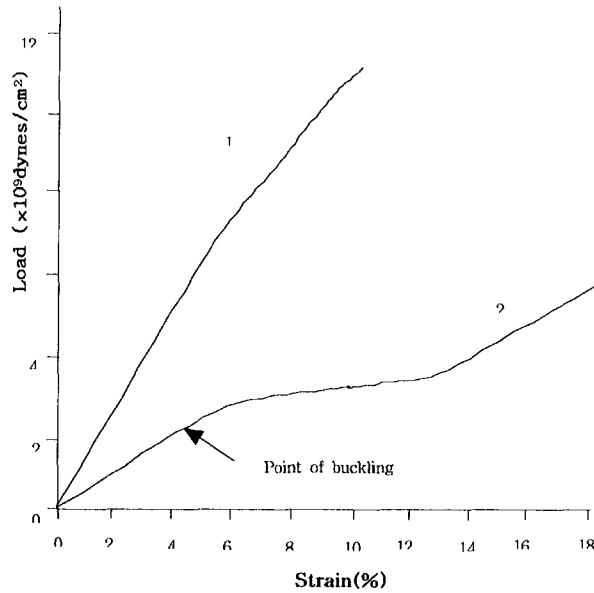


Fig. 5-8. Stress-strain curves of spruce wood fibers

(좌굴하지 않은 섬유에 대해서는 1, 좌굴한 섬유에 대해서는 2)⁽³⁶⁾

2. 목질 섬유의 처리

시멘트 복합체 내에서 목질섬유의 성능을 향상시키기 위해 다수의 기계·화학적 처리 기술이 성공적으로 시도되었다. 기계적 처리로는 섬유정제(叩解, beating)를 통해 섬유를 팽윤시킴으로써 섬유와 시멘트paste간의 결합력을 향상시키는 형태이다⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁸⁾. 화학적 처리로는 결합제(coupling agent)를 사용하여 섬유를 도포함으로써 시멘트 모체와 섬유의 결합력을 향상시키거나 알칼리 환경 하에서 섬유를 보호하는 형태이다.

가. 목질섬유의 정제

일반적인 정제과정은 건조한 목질 섬유를 수시간 동안 물에 수침한 뒤, 섬유를 해리하고 고해(beating)시키기 위해 발리 비터(vally beater)나 디스크 리파이너(disc refiner) 그리고 PFI mill 등을 사용한다⁽¹⁶⁾. 목질 섬유의 정제과

정은 다음과 같은 세 가지 주요한 영향을 미친다.

- ① 단섬유화
- ② 1차벽의 일부 내지는 전체적인 손상에 의한 외부 피브릴화
- ③ 복합체에 사용하기에 알맞은 섬유를 만드는 내부 피브릴화

나. 결합체에 의한 표면처리

섬유와 모체간의 결합력은 복합체의 성능에 중요한 영향을 미친다. 섬유와 모체간의 접촉면은 응력전달과 균열발생 시점에서 균열을 지지하고 응력을 분산시킴으로써 복합체의 파괴에너지를 증가시키는 두가지 역할을 수행하므로 접촉면 결합강도를 조절하는 것은 매우 중요하다⁽¹⁴⁾.

Coutts 등은 결합체를 이용하여 섬유를 개선함으로써 시간에 따른 접촉면 결합의 안정성을 제공하는 복합체 제조의 가능성을 보고하였다⁽¹⁴⁾. 접촉면 상에서 응력 전환의 극대화는 점착력의 향상을 포함한다. 재료의 파괴에너지는 점착력의 향상에 의해 일부 감소를 보이며, 복합체의 강도와 탄성계수의 증가는 인성의 감소를 수반한다.

목질 섬유보강 시멘트 복합체의 접촉면 결합강도는 섬유표면 처리에 따라 상당히 좌우된다. 목질 섬유는 표면에 공유 수산기(OH)를 포함하고 있으며, 이러한 섬유의 유기질 표면은 시멘트 모체에 존재하는 무기질 폴리머와의 결합에 적합하지 않다. 따라서, 섬유표면과 모체간의 점착력을 증진시키기 위한 결합체를 요구한다. 결합체는 화학적 공유결합을 형성함으로써 섬유와 모체간의 연결고리으로써 역할을 한다.

다. 목질섬유의 코팅

콘크리트 내에서 목질 섬유의 분해를 발생시키는 중요 인자는 콘크리트의 알칼리 공격수에 의한 화학적 침해를 들 수 있다. 이러한 분해를 막거나

지연시키기 위한 방법 중 하나는 섬유가 알칼리 환경에서 분해되기 어렵도록 섬유의 일부 성분과 반응하고 새로운 성분을 생성시키는 화학제를 섬유에 주입하는 것이다. 이러한 화학제는 두 가지 종류로 크게 나눌 수 있는데, 하나는 섬유와 주위 성분간의 반응을 저지하는 것이며, 다른 하나는 차수효과를 가지는 것이다⁽²¹⁾.

3. 목질섬유보강 시멘트 복합체의 제조방법

목질섬유보강 시멘트 복합체의 경우 몰딩과 슬러리 탈수의 두 가지 제조공정이 주로 쓰인다⁽¹⁷⁾. 이 중 몰딩 공정은 전통적인 모르타르 제조형태와 유사하며, 기본적으로 각 재료를 혼합한 후 외부 진동을 통해 다짐을 실시한다. 이에 반해, 슬러리-탈수공법은 우선 다른 혼합물과 함께 다량의 물을 함유한 슬러리 상태로 혼합한 후, 잉여수를 제거한다. 그 다음, 진공을 통해 다짐을 실시하고 슬러리를 프레스를 통해 가압한다. 위 두 공정중에서 얇은 시멘트 복합체의 제조에 주로 사용되는 것은 슬러리-탈수 공정이다.

목질섬유보강 시멘트 복합체는 슬러리-탈수 공법을 통해 묽은 슬러리 상태(고형물 20%)로 만들어진다⁽¹¹⁾⁽¹³⁾. 과잉수는 진공 흡입과 가압을 적용함으로써 제거되며, 일반적으로 고압증기양생(오토클레이브)을 실시한다.

슬러리-탈수 공법의 성공적인 적용을 위한 주요인자는 진공흡입시 시멘트 입자를 보유할 수 있는 섬유의 능력이다. 석면섬유는 시멘트 입자의 보유력에 있어 이상적이다. 활엽수 목질섬유의 경우는 시멘트 입자의 유실을 저지하기에는 충분치 않다. Coutts 등의 연구에서 가공하지 않은 활엽수 목질섬유는 목질섬유보강 시멘트 복합체의 제조시 시멘트 보유력이 불충분하다고 보고하였다⁽¹⁷⁾. 정제를 통해 섬유를 피브릴화하거나 화학적 처리를 거치면 섬유의 시멘트 보유력을 향상시킴으로써 슬러리-탈수 공법을 사용하여 목질섬유보강 시멘트 복합체의 제조가 가능해진다.

Coutts와 Pedersen의 연구에서는 석면 시멘트 복합체의 제조를 위해 개발된 Haschek공정을 일부 수정하여 얇은 목질섬유보강 시멘트 복합체를 제조하였다⁽¹¹⁾⁽¹³⁾⁽³⁷⁾.

Haschek공정에 사용되는 슬러리는 10-20%의 고형분을 가진다. Fig. 5-9는 Haschek공정을 도식적으로 나타냈다⁽¹³⁾. 제조공정은 다음과 같은데, 우선 섬유와 시멘트 및 실리카의 묽은 슬러리는 여러 개의 스크린 실린더를 가진 탱크에 공급되고, 적정량의 혼합물을 건져내어 펠트 위로 매트를 형성한 후, 잉여수를 제거하기 위해 진공박스로 이동시킨다. 각 단층은 요구되는 두께에 도달할 때까지 축적물에 적층한 후, 절단 와이어로 자른 후 고압증기양생을 실시하기 위해 오토클레이브로 이동시킨다.

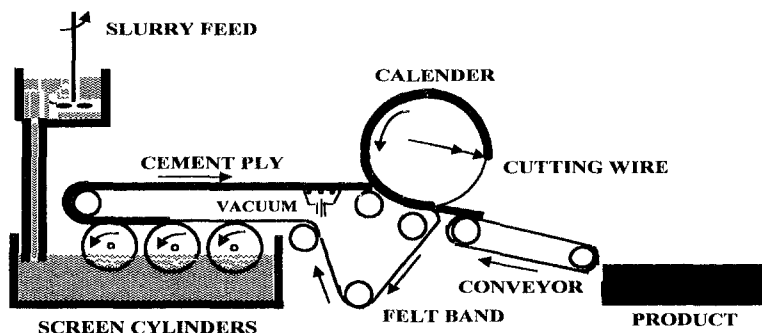


Fig. 5-9. The hatschek process for the manufacture of fiber reinforced cement sheets⁽¹³⁾

Haschek 제조공정에서 가장 중요한 목질섬유의 역할은 와이어 메쉬를 통하여 슬러리를 거르는 과정에서 시멘트 입자를 보존하는 것이다. 만일 섬유가 진공흡입시 시멘트 입자를 보존하지 못할 경우, 판은 결합체의 부족이 발생하며 최종 복합체가 다량의 잉여수를 함유하게 된다.

목질섬유는 진공-탈수시 시멘트와 실리카 모래질 입자를 보유하는 역할을

충분히 수행하지 못한다⁽¹¹⁾⁽¹³⁾. 목질섬유의 식물구조는 빠른 배수속도를 가지게 하며 모체입자의 손실을 발생시켜, 결과적으로 복합체는 약한 강도를 나타낸다. 슬러리의 배수율을 감소시키는 것이 고형물 손실을 최소화하는데 효과적이며, 슬러리의 함수율을 낮추거나 섬유를 피브릴화시킴으로써 적정수준의 복합체를 만들 수 있다⁽³⁵⁾.

제 3 항 시멘트 복합체내에서 폐지섬유의 거동

폐지섬유는 순수 목질섬유와 비교하여 길이가 짧고, 부스러기가 많으며, 연약하기 때문에 파괴되기가 쉽다는 단점을 지닌다. 시멘트 제품의 보강용인 순수 목질섬유의 대체재로서 폐지의 사용은 Coutts와 Hirajima 등에 의해 연구되었다⁽¹²⁾⁽²⁶⁾. Coutts의 연구에서 사용된 폐지의 종류는 크라프트 펄프화된 *P. radiata*, 혼합 eucalyptus, 기계적으로 펄프화된 *P. radiata*, 중성의 황산염 화학펄프화된 혼합 eucalyptus 등과 셀룰로오스 섬유가 아닌 다른 형태의 섬유가 미량 존재한다.

Table 5-3은 폐지 섬유길이 분포를 크라프트 *P. radiata*와 크라프트 *E. regnans* 섬유의 데이터와 비교하였다. 폐지섬유는 다른 섬유에 비해 섬유길이 짧으며, 미립분이 차지하는 비율이 크다⁽¹²⁾.

Coutts의 연구에서 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 제조시 사용된 폐지는 실험실에서 기계적 처리를 거쳐 얻었으며, 모체는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 복합체 내에서 폐지섬유혼입율은 2~16 wt%로 사용하였다. 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체에 관한 이전 연구에서 휨강도는 섬유 혼입율 8~10 wt% 정도에서 최대값을 보였다⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁹⁾. 폐지 섬유보강 시멘트의 경우는 섬유혼입율이 약 12 wt%에서 최대 휨강도를 나타냈으며, 수분에 대한 영향은 건조상태에서의 휨강도의 47~75%를 감소시킨다. 이러한 현상은 습윤상태와

건조상태에서 시험된 기건양생 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체에서 관찰된 강도의 저하와 거의 유사하다⁽⁹⁾⁽¹⁹⁾.

Coutts의 연구에서 사용된 폐지는 침엽수와 활엽수를 포함하고 있으나, 앞의 Table 5-3에서 보는 바와 같이 재생시 상당한 피해를 입어 높은 미립분의 함량을 가진다⁽²⁸⁾. 이렇게 미립분을 다량 함유한 섬유는 복합체 내에서 보강 섬유로써 보다는 충전재로서의 역할을 수행하게 된다. 이것은 다수의 단섬유(0.6 mm 이하)가 복합체의 보강력에는 거의 영향을 끼치지 못하며, 충분한 양의 장섬유 획득을 위해 더 큰 섬유혼입율을 요구하게 되기 때문이다. 폐지섬유보강 시멘트복합체의 휨강도 값을 Fig. 5-10에서 나타냈는데, *E. regnans* 섬유로 보강된 시멘트 복합체의 휨강도보다 낮음을 볼 수 있다.

Table 5-4. Fiber length data⁽¹²⁾

Length (mm)	Weighted Distribution (%)		
	<i>P. radiata</i>	<i>E. regnan</i>	Wastepaper
<0.2	2.6	2.0	6.6
0.2-0.6	4.0	12.8	21.2
0.6-1.2	9.1	74.2	40.0
1.2-2.0	18.0	9.0	15.3
2.0-3.0	28.0	1.5	11.0
3.0-4.0	25.0	-	5.2
4.0-5.0	11.0	-	1.0
>5.0	3.0	-	-
Weighted Average (mm)	3.2	1.0	1.9

이와 유사한 섬유혼입율에 따른 최대 휨강도 값의 변화는 섬유혼입율 10 wt% 정도에서 최대치를 가지는 *P. radiata* 열기계펄프 보강 공기양생 시멘트의 경우에도 찾아볼 수 있다. 이 경우 높은 섬유혼입율에 비해 낮은 휨강도를 나타내는 것은 주어진 질량에 비해 섬유의 수가 적기 때문이며, 이것은 펄핑과정시 제거되지 않은 추출물로 인한 것이다⁽¹⁰⁾.

섬유장의 감소 외에도 물리·화학적으로 변화된 재생섬유의 표면특성이 섬

유-시멘트 복합체의 휨성능에 영향을 미친다.

복합체의 파괴 메카니즘은 섬유절단과 섬유인발을 모두 포함한다. 여기서, 섬유인발은 파괴 인성치에 상당한 영향을 미치며, 단섬유의 경우 섬유와 모체의 결합이 파괴된 후에 모체로부터 섬유가 뽑히는데 소요되는 에너지가 균열진행에 요구되는 에너지의 소산을 지체시키는 역할을 수행한다.

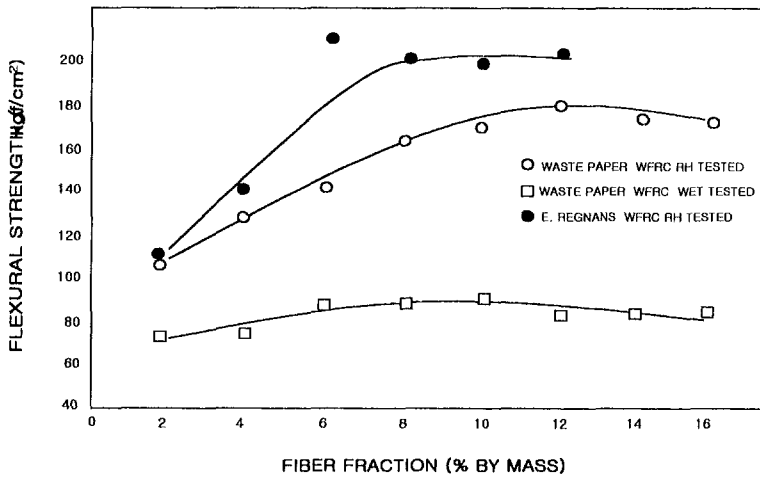


Fig. 5-10. Flexural strength versus fiber fraction⁽¹²⁾

Fig. 5-11은 폐지와 E. regnans 섬유보강 시멘트의 섬유혼입율에 따른 파괴인성을 나타낸 것이다. 여기서, E. regnans 섬유는 상대적인 섬유혼입율에 따라 폐지섬유의 파괴 인성치의 거의 두 배에 가까운데, 이것은 폐지섬유에 내재된 단섬유의 존재에 의한 것이다. 크라프트 E. regnans 섬유보강 시멘트 복합체는 P. radiata 섬유보강 시멘트 복합체의 거의 절반 정도의 파괴인성치를 보이며, 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 E. regnans와 P. radiata 각각의 평균 섬유길이 1.0mm와 3.2mm가 파괴인성의 증가에 가장 중요한 요소로 작용하고 있음을 증명하는 것이다⁽¹⁰⁾.

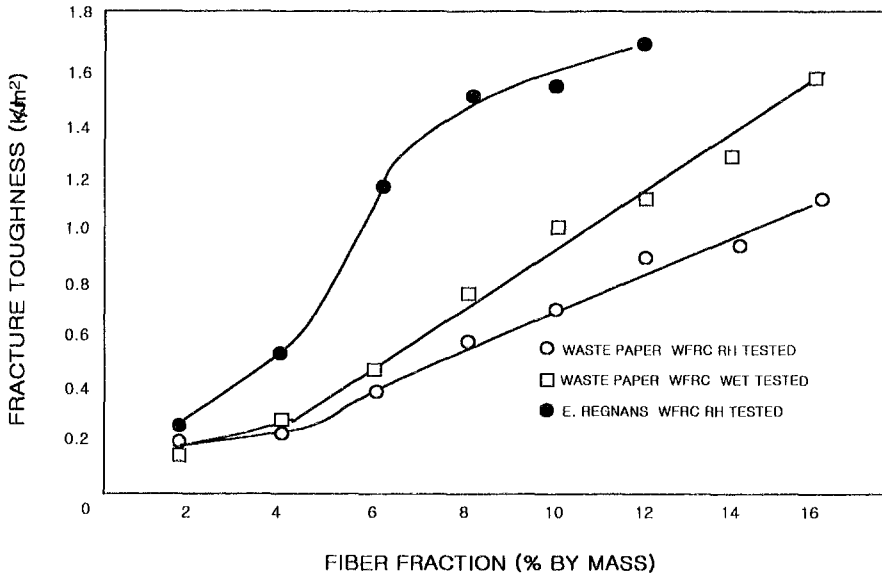


Fig. 5-11. Fracture toughness versus fiber fraction⁽¹²⁾

폐지섬유보강 복합체의 습윤상태에서 파괴인성치의 증가량은 매우 작으며, 건조상태 값의 40% 이상이 되지 못한다. *P. radiata* 섬유보강 시멘트 복합체의 경우, 섬유혼입율 6~8 wt%에서 습윤상태의 파괴인성이 건조상태값에 비해 약 150%까지 증가하였다.

대기양생된 *E. regnans* 섬유보강 시멘트복합체의 물리적 특성은 Fig. 5-12와 같다. 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 높은 밀도는 모체를 密實하게 채우는 미세섬유에 기인한 것이며, 이를 통해 모체에 공극을 적게 생성시킨다. 이에 따라 주어진 섬유혼입율에서 *E. regnans* 섬유보강 시멘트 복합체와 비교한 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 흡수율이 낮음을 설명할 수 있다.

Hirajima 등의 연구자들도 얇은 시멘트복합체의 생산시에 고품 폐기물로부터 재생한 펄프를 사용하였는데⁽²⁶⁾, 보강섬유로써 폐신문지의 활용은 천연 목질섬유를 사용한 시멘트복합체의 생산공정을 수정 내지는 변화시킬 필요가

없다는 것을 알 수 있었다. 이와 같이, 재생된 폐지섬유가 얇은 시멘트 복합체의 경우 보강섬유로 알맞다는 것을 증명하였다.

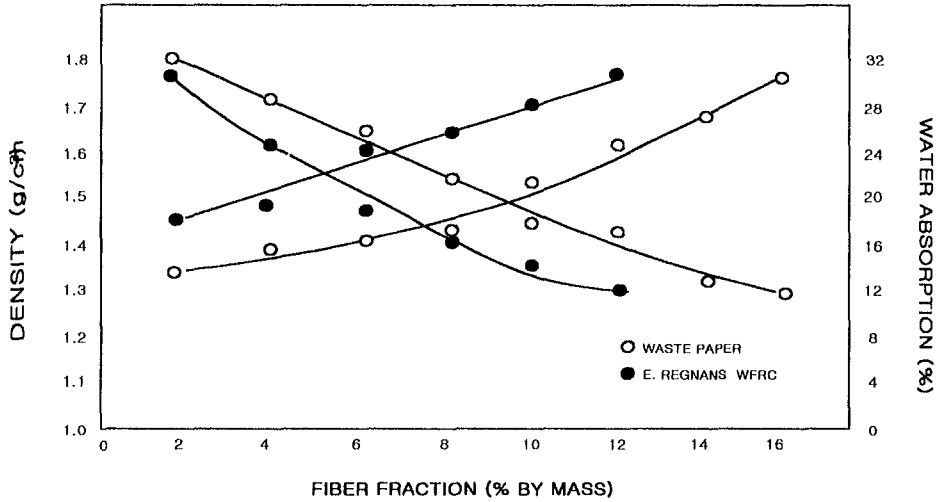


Fig. 5-12. Water absorption and density⁽¹²⁾

제 4 항 수분민감성

폐지섬유보강 시멘트 복합체는 수분변화에 매우 민감하며, 복합체가 각기 다른 함수율을 가지고 있을 때, 휨강도와 휨인성에 상당한 차이를 보인다. 일반적으로 폐지 섬유보강 시멘트 복합체는 함수율의 증가에 따라 휨강도의 감소와 휨인성의 증가 경향을 보인다.

Coutts의 연구에서는 여러 가지 다른 함수율에서 목질섬유보강 시멘트 복합체에 대한 휨시험 결과를 발표하였다⁽⁸⁾. 복합체는 슬러리-탈수 방법에 의해 제조되었으며, 다양한 침엽수 P. Radiata 크라프트 섬유의 혼입율에 따른 결과를 나타냈다. 또한, 복합체(실리카 모래-시멘트 비 = 1)는 상대습도 $50 \pm 5\%$

의 대기 중에 대기양생되거나 8.6 kg/cm^2 의 증기압 하에서 8시간동안 오토클레이브한 후, 시험전까지 대기중에 노출시킨 후, 다음과 같은 세 가지 방법으로 퇴적한 후의 수분민감성을 측정하였다.

(a) 상대습도 $50 \pm 5\%$ 와 $22 \pm 2^\circ \text{C}$ 의 온도로 유지한 실험실 조건, (b) 24시간 동안 106°C 의 오븐건조 후 대기 중에 식힘, (c) 48시간 동안 물속에 침지한 후 시험전에 천으로 잉여수를 제거한 상태로 구분하여 시험하였다.

시험결과, 습윤상태에서의 목질섬유보강 시멘트 모르타르의 휨강도는 상대 습도 50%로 시험된 시편에 비해 약 50% 감소하였으며, 오븐 건조시 목질 섬유보강 시멘트 복합체의 휨강도는 증가하는 것이 관찰되었다. 또한, 오븐 건조 시편은 섬유혼입율 6 wt%까지 상대 습도 시편에 비해 높은 강도를 가지지만, 그 이상의 섬유혼입율에서는 유사한 강도를 나타냈다. 이러한 결과는 Coutts에 의해 섬유혼입율 6 wt% 이하에서 섬유간의 결합력이 섬유와 모체간의 결합력에 비해 작다는 것으로 규명되었으며, 오븐건조시 섬유와 모체간의 결합력이 상대습도에 제어된 동일한 결합에 비해 큰 하중을 필요로 한다는 것을 알 수 있다⁽⁸⁾.

섬유혼입율이 증가함(6 wt% 이상)에 따라 공기량의 증가와 섬유와 섬유간의 결합력이 커지며, 이에 따라 섬유 표면적을 증가시킴으로써 섬유와 모체간의 결합력을 저하시킨다. 또한, 공기량의 증가는 섬유와 모체간의 접촉면적을 줄이고, 이로 인해 모체와 결합할 수 있는 섬유의 잠재능력을 소실시킨다. 따라서, 섬유혼입율이 증가하면 오븐건조와 상대습도 하에서는 일반적으로 휨강도가 그대로 유지되지만 습윤상태에서는 복합체에 제하된 하중의 증가를 지탱하는 섬유와 섬유간 결합력(수소결합)의 역할이 증가하기 때문에 휨강도가 계속적으로 감소한다.

Coutts 등은 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체의 파괴메카니즘에 대한 함수율의 영향에 관한 미세구조를 연구하였다⁽¹⁵⁾. 각 시편은 슬러리-탈수 과정

에 의해 제조되었으며 오토클레이브로 양생하였다. 그 후, 시편은 앞에서 언급한대로 휨시험 이전에 세 가지 환경조건에서 퇴적하였다. 이 연구에서는 높은 섬유혼입율의 표면분석시 섬유간의 뭉침으로 인해 복합체 파괴거동을 해석하기 어려운 문제점을 줄이기 위해 낮은 섬유혼입율의 복합체를 사용하였다.

오븐건조 복합체의 파괴메카니즘은 섬유파괴가 지배적이며, 섬유표면 노출 부분에 달라 붙어있는 모체는 섬유와 모체간의 강한 결합력을 나타냈다. 이에 반해 수분에 포화된 시편의 경우는 섬유인발에 의한 파괴메카니즘을 보이며, 섬유가 꼬이는 형태를 나타냈다. 인장 제어시 섬유의 꼬임에 관한 연구는 Page 등에 의해 보고된 바 있는데, 이것은 인장 하에 중공형의 목질섬유의 파괴형태로 인한 것이다⁽³⁶⁾. 수분 포화 복합체에서 파괴표면섬유에는 모체가 거의 달라붙어 있지 않으며, 섬유와 모체간의 미약한 결합력을 나타낸다. 상대습도 $50 \pm 5\%$ 로 퇴적한 복합체의 경우는 섬유파괴와 섬유인발이 동시에 발생한다.

제 5 항 내구성능

재생된 폐지섬유보강 시멘트 복합체가 가혹한 환경조건에서 장기간 견딜 수 있는가는 시멘트계 재료의 성능향상을 도모하는데 매우 중요한 문제이다. 특히, 목질 섬유의 친수성과 생물학적 침해의 가능성에 유의해야 한다⁽²¹⁾. 하지만, 생물학적 침해의 경우 천연섬유가 시멘트 재료 내에 사용될 때는 생물학적 분해가 일어날 수 있다는 증거는 아직 발견되지 않았으며, 더욱이 폐지 섬유보강 시멘트 복합체의 내구특성에 대한 시험 데이터가 거의 없는 실정이다.

1. 열화 메카니즘

목질섬유를 시멘트 복합체에 사용하기 위해서는 외부환경 노출시 알칼리 침해에 대한 리그닌의 민감성을 고려하여 리그닌 함량을 최소화하는 것이 필요하다. 일반적으로 외부환경 노출시 복합체의 휨강도와 탄성계수가 증가하지만, 열화가 진행될수록 목질 섬유보강 시멘트 복합체는 취성적으로 변화한다⁽³⁾⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾.

목질섬유보강 시멘트 복합체의 장기 내구성능에 대한 대부분의 시험결과는 시멘트계 재료내에 천연섬유(예, sisal)를 사용하는 것을 다루고 있다⁽²¹⁾. 이 경우, 시멘트 모체의 알칼리도를 감소시키거나 천연섬유를 보호하지 않는 한, 건조-습윤 반복작용은 섬유의 내부로 알칼리 공극수가 이동함으로써 중성의 공극수의 감소뿐 아니라 섬유의 분해가 발생한다. 이를 통해 자연 섬유보강 시멘트 복합체에서의 취성화와 휨강도 손실이 발생할 수 있다. 건조-습윤 반복시험은 자연섬유의 열화과정을 촉진시키는 중요한 인자이며, 이것은 시멘트 생성물 주위의 온도와 습도 조건에 변화에 따른 것이다⁽²¹⁾. 대기온도에서 실내 노출조건이나 연속된 수중 침지조건은 복합체에 두드러진 피해를 주는 건조-습윤 반복만큼의 영향을 미치지 못한다. Gram의 연구에 따르면 위와 같은 조건에서 2년간 노출 후에도 sisal삼(麻) 섬유보강 시멘트복합체의 취성화가 발생하지 않았다⁽²¹⁾.

또한, Gram은 건조-습윤반복 시험 하에서 천연섬유 보강 시멘트복합체의 취성화를 이끄는 메카니즘을 규명하였다⁽²¹⁾. 이 연구에 따르면, 시멘트복합체 내에 알칼리 공극수가 섬유 구성요소의 분해로 인해 중간벽에 존재하는 리그닌과 헤미셀룰로오스와 반응을 일으켜 결국 독립된 섬유 세포간의 연결고리를 약화시키게 된다. 온도와 습도의 외부변화는 콘크리트 공극으로부터 수분의 공급과 제거를 제공하게 되고, 이것은 알칼리 공극수가 자연섬유로 이동하여 점진적으로 분해시키는 수분이동을 발생시키며, 결국 시멘트 복합체의 취성화를 가져온다.

앞에서 언급한 바와 같이 화학적 처리를 거친 목질섬유는 리그닌의 함량을 줄임으로써 천연섬유에 비해 알칼리 공극수에 의한 침해에 더 잘 견딘다. 노화에 의해 복합체에 증가된 강도에 따른 인성의 감소는 이러한 열화과정, 즉 수화생성물에 의해 섬유 중공이 채워짐에 의한 것이며, 결론적으로 섬유의 파괴형태의 변화가 발생한다⁽¹⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽³⁸⁾⁽⁵¹⁾. 수화생성물에 의한 섬유 중공과 세포벽 공극의 충전현상은 강도와 강성의 증가를 낳게 된다. 추가적으로 열화된 섬유는 치수적으로 더욱 안정화되고 섬유와 모체간의 분리가 거의 관찰되지 않는다. 간단히 말하면, 열화과정은 섬유의 강성, 강도, 결합강도 등은 증가시키나, 섬유의 연성을 감소시킨다. 즉, 복합체의 강성과 강도를 향상시키나 취성은 증가시킨다.

2. 내구성능 평가

가. 溫水 침지

온수 침지시험은 유리 섬유보강 시멘트 복합체의 노화과정을 촉진시키고 이에 상응하는 강도손실을 규명하기 위해 사용되었다. 목질 섬유의 경우는 섬유 내지는 시멘트 모체와의 결합력에 대한 노화의 영향을 조사하기 위해 사용되었다. 대부분 온수 침지시 재료특성의 변화는 수침 20일 이전에 지배적으로 발생하며, 그 후에는 일정하게 유지된다. 촉진노화 조건에 따라 온수 침지는 목질 섬유보강 시멘트 복합체의 탄성계수를 증가시켰으며, 다른 영향은 거의 나타나지 않았다.

Harper는 외부환경 노출 진행에 따라 목질 섬유의 열화가 거의 변화없이 유사하게 나타남을 포함하여 목질섬유보강 시멘트 복합체에 대한 온수 침지의 영향에 관해서 연구하였다⁽²⁵⁾. 그의 연구에서 목질 섬유의 성분 중 알칼리 침해에 가장 민감한 리그닌이 화학적 펄핑 과정 동안 거의 제거되었다는 사

실을 설명하였으며, 목질 섬유보강 시멘트 판에서는 섬유-시멘트 결합의 성질을 거의 변화시키지 못하기 때문에 비슷하게 유지되었다. 복합체의 파괴는 섬유 인발에 의해 지배적으로 발생한다.

나. 건조-습윤 반복 시험

Sharman 등은 건조-습윤 반복 시험에 대한 목질섬유보강 시멘트 복합체의 영향에 대해 연구하였다⁽⁴²⁾. 연구결과 10회 이하의 반복하에서 약간의 탄성계수 증가를 보이며, 그 이상의 반복에서는 변화를 보이지 않았다. 이에 따라, 건조-습윤 반복 하에 복합체의 취성화 가능성은 조사되지 않았다.

Akers 등에 의해서도 건조-습윤 반복에 대한 연구결과가 발표되었다. 이 연구에서도 목질섬유보강 시멘트복합체의 열화 거동에 대해 천연폭로조건과 촉진 조건을 비교하여 조사하였다⁽³⁾. 이 연구에서는 포틀랜드 시멘트에 8%의 목질섬유와 대기온도 및 상대습도로 양생된 제품과 같은 8% 목질섬유와 실리카계 모체를 포함하여 오토클레이브 양생제품을 사용하였다. 천연폭로의 경우 $6 \times 400 \times 600\text{mm}$, 촉진노화시험의 경우 $6 \times 100 \times 200\text{mm}$ 의 시편을 사용하였다. 포틀랜드시멘트계 제품과 포틀랜드시멘트 실리카계 제품은 각각 5년과 4년 동안 천연조건에 폭로되었으며, 촉진 시험도 같은 제품에 대해 실시하였다. 촉진시험에는 건조-습윤 반복시험을 포함하며, 각 반복은 24시간 동안 다음의 각 단계조건, 즉, (a) 9시간동안 20℃의 물에 침지, (b) 3시간 동안 20℃ 대기중에 방치, (c) 9시간동안 80℃의 적외선 조사, (d) 3시간 동안 20℃ 대기중에 방냉시키는 것으로 되어 있다.

천연조건에 폭로된 시편에 대한 실험결과 일반적으로 강도와 강성의 증가를 보였다. 이러한 강도 증가는 포틀랜드시멘트계 시편의 경우 5년에 걸쳐 1750kg/m^2 에서 1870kg/m^2 로 밀도 증가를, 포틀랜드시멘트/실리카계 시편의 경우 4년에 걸쳐 1610kg/m^2 에서 1790kg/m^2 로 밀도 증가를 보였다.

천연폭로된 제품내에 목질섬유의 중합도(degree of polymerization)는 폭로에 따라 공기양생 제품의 경우 약 20%, 오토클레이브 양생 제품의 경우 35% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 폭로에 따른 강도 증가와 반대의 경향을 보이는 것이다. 따라서, 중합도의 감소를 가져오는 폭로의 영향은 섬유와 모체간의 결합력 향상과 복합체의 밀실화를 포함한 다른 과정에 의해 보상된다.

천연폭로시편은 취성적이며, 이들 복합체의 취성화는 파괴면에서 섬유인발보다 섬유파괴에 의한 결과를 낳는 섬유와 모체간의 결합력 증가가 그 원인이다. 이러한 폭로 영향은 섬유인발과 연관된 에너지 흡수능력을 저하시키며, 이와 관련하여 촉진노화에 방치된 시편은 164~123 kgf/cm²로의 휨강도 감소를 보였다. 이것은 천연폭로 복합체에서 보여진 휨강도의 상승과 반대되는 경향이며, 탄성계수의 증가와 중합도의 하락은 유사한 경향을 보인다.

다. 탄산화

탄산화는 석면 시멘트 복합체에서 중요한 노화 메카니즘으로 복합체의 취성화를 발생시킨다⁽³⁰⁾. 셀룰로오스 섬유의 경우 탄산화는 시멘트 공극수의 알칼리도 저하 내지는 셀룰로오스 섬유와 시멘트계 모체의 결합력 증가에 따라 미생물 침해에 대한 민감성이 증가한다. 탄산화의 비율과 함량은 복합체의 물리적 조건과 지역의 기후조건(상대습도와 온도)에 따른다. 시멘트 제품에서 처리 목질 섬유의 미생물 침해는 Mansur와 Aziz에 의해 연구된 바 있는데, 시멘트계 모체의 높은 알칼리 환경에서 미생물 침해는 발생하지 않는 것으로 조사되었다⁽³⁰⁾. 하지만, 風化와 탄산화의 영향을 받은 후 시멘트 복합체의 pH가 장기적으로 하락하는 것은 생물학적 침해에 대한 저항성에 악영향을 미치는 것으로 나타났다.

제 3 절 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 물리·역학적 특성

제 1 항 개 요

폐지섬유는 목질섬유에 비해 다수의 불순물을 함유하고 있으며, 섬유 재생 과정시 섬유길이가 짧아지고, 섬유강도가 떨어진다⁽¹²⁾. 이로 인해 시멘트 복합체 내에 폐지섬유를 다량 혼입할 경우, 시멘트 모체와의 부착성능 저하 및 보강효과의 감소로 역학적 성능이 감소한다⁽¹²⁾. 하지만, 경제·환경적 측면에서 살펴보면, 폐지섬유를 사용함으로써 목질섬유 비용의 약 15~20%를 절약할 수 있으며, 폐지를 재활용함으로써 환경적인 효과도 얻을 수 있다. 따라서, 소정의 물리·역학적 성능을 발휘하는 폐지섬유 시멘트 복합체의 개발은 경제성 및 환경적 측면에서 많은 효과를 가져다준다.

본 절은 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 최적배합비를 도출하기 위하여 복합체 제조를 위한 재료구성비에 따른 공학적 특성의 파악을 그 내용으로 하고 있다.

제 2 항 사용재료

1. 시멘트

본 연구에서는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트(Type I)를 사용하였으며, 사용된 시멘트의 특성은 Table 5-4와 같다.

Table 5-4. Chemical and physical properties of cement

Fineness (cm^2/g)	Specific gravity	Stability (%)	Compressive strength(kgf/cm^2)		
			3 days	7 days	28 days
3,488	3.15	0.08	224	308	404

2. 폐지섬유

본 연구에서는 폐신문지를 사용하였다. 폐신문지의 섬유화는 비용과 공정에서 재활용하기가 편리하도록 건조한 상태의 폐신문지를 수거한 상태로 분쇄기계를 이용한 가공을 통하여 섬유화시켰다.

섬유의 길이분포는 섬유길이측정장치인 Kajaani 기계에 의해 분석하였다. 폐지섬유와 천연(virgin) 섬유의 길이 분포도는 Fig. 5-13과 같으며, 그림에서와 같이 폐지섬유의 평균길이는 1.5mm로서 순수 목질섬유 평균길이 3mm보다 짧다.

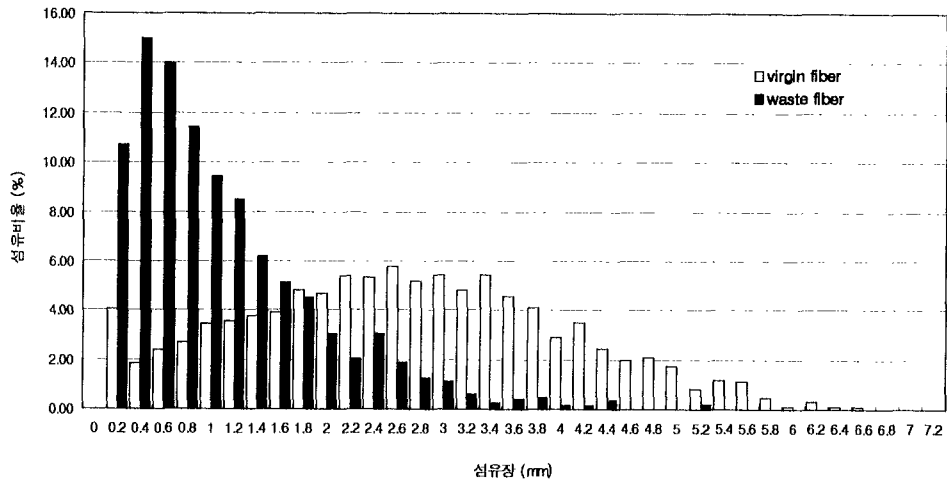


Fig. 5-13. Fiber length distribution of virgin fiber and wastepaper fiber

3. 섬유의 형상

목질섬유와 폐지섬유의 표면형태를 주사전자현미경 (scanning electronic microscope)을 사용하여 관찰하였다. Fig. 5-14(a), (b)에서와 같이 폐지섬유의 형상은 순수 목질섬유와 상당히 다른 것을 관찰할 수 있는데, 순수 목질섬유는 표면이 매끈한 반면, 폐지섬유의 표면은 표면에 노출된 피브릴화로 인해 거친 형태를 띠며, 전체적인 사진을 통해서 미세섬유가 존재하고 있음을 알 수 있다.

이러한 폐지섬유의 형상으로 보아 시멘트 복합체내에서의 폐지섬유는 섬유 길이는 짧지만 시멘트 모체와 더욱 강한 부착력을 가질 수 있으리라고 생각된다.

4. 규 사 (silica-sand)

사용된 규사의 물리·화학적 성질은 Table 5-5과 같다.

Table 5-5. Physical and chemical properties of silica-sand

Specific gravity	Fineness(cm^2/g)		Moisture content(%)									
2.65	6120		<0.1									
Silica-sand	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I	Total
(%)	92.75	3.34	3.34	0.20	0.02	0.04	0.85	0.67	-	0.02	0.69	99.99

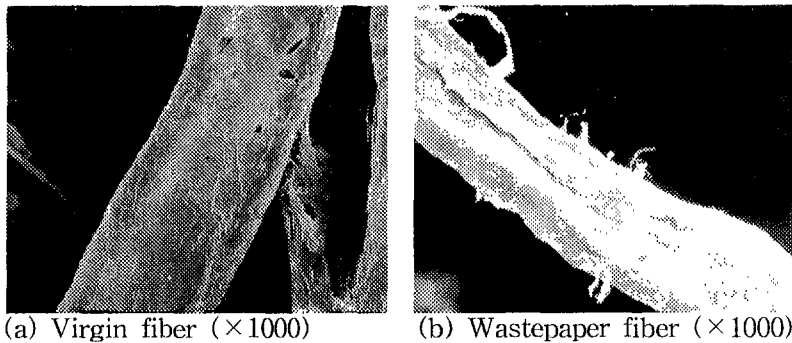


Fig. 5-14. Scanning electronic microscope of fibers; (a) virgin fiber
(b) wastepaper fiber

제 3 항 실험실 장비설치 및 제조

현재 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체의 상업적 제조방법은 주로 습식제조공법인 환망식초조공법을 이용하고 있다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 현

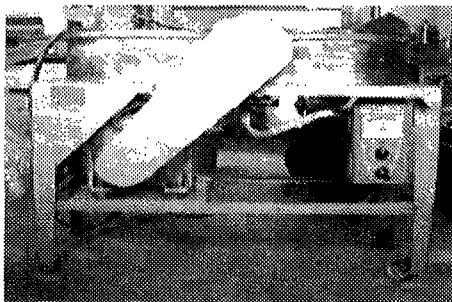
재 상업적으로 사용되고 있는 초조공법을 실험실 수준에서 재구성하였으며 Fig. 5-15(a)~(d)에 나타냈다.

폐지섬유보강 시멘트 복합체를 생산하는 습식제조공법의 주요공정을 살펴보면 다음과 같다. 우선 펄프화되어 있는 섬유를 시멘트 복합체와의 부착성능 향상을 위해 정제과정을 통해 알맞은 수준의 漚水度(freeness)를 만든다. 배합은 묽은 슬러리 상에서, 시멘트와 여러재료들을 혼합기에서 혼합을 하며, 슬러리-탈수를 통해 여분의 물을 제거한 후, 가압과 고압증기양생을 하는 것이 전체적인 공정이다. 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 습식제조과정을 좀더 자세하게 살펴보면 다음과 같다.

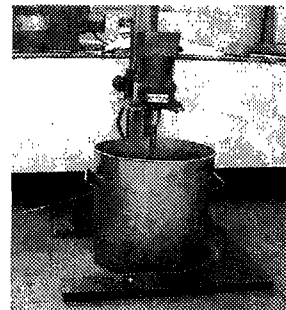
1. 섬유화

섬유의 정제는 비터기를 통하여 펄프의 여수도(freeness)를 측정하여 이것의 최적조건을 찾아 사용하는 것을 목적으로 한다. 이러한 최적화 값은 폐지섬유와 모체의 결합력을 증진시키기 위한 것으로서 적정 수준의 여수도 값은 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 성능을 향상시킨다.

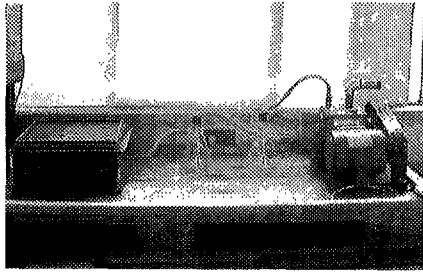
2. 혼합



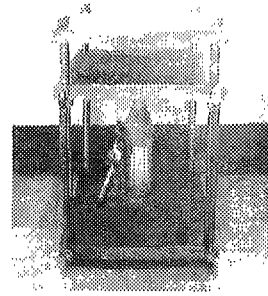
(a) Beater



(b) Mixer

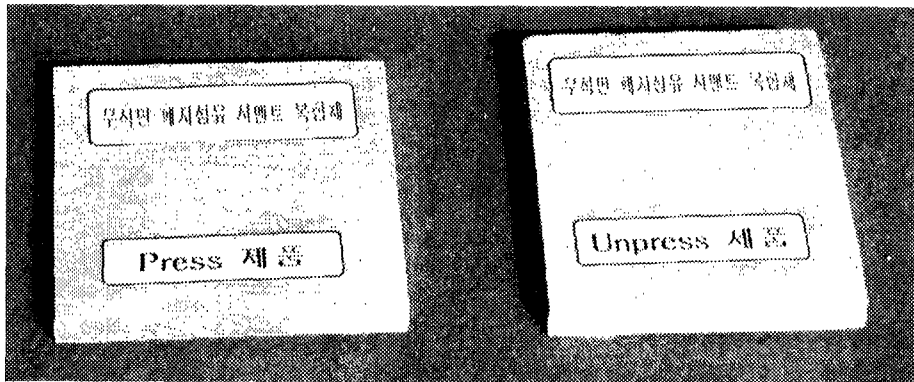


(c) Slurry-dewatering apparatus



(d) Press

Fig. 5-15. Laboratory set-up for the manufacture of wastepaper fiber reinforced cement composites



<Photo 5-1> Wastepaper fiber-cement composite by pressed- (left) or unpressed (right) method.

섬유 슬러리를 붓고 낮은 속도로 회전시키면서 시멘트와 규사를 투입한다. 이때 슬러리의 고형물 농도는 약 20wt%이다. 그 후 시멘트 입자와 섬유 간의 결합력을 향상시키고 진공-탈수 여과시 스크린을 통과하는 시멘트 입자를 막기 위해서 소량의 응집제(flocculant)를 넣어 슬러리 안의 시멘트 물질이 응집하기 좋게 해준다. 혼합시간은 약 5분 정도이며 혼합기에서 실시한다.

3. 진공-탈수

배합이 끝난 후 배합물을 흡수성이 있는 성형상자에 붓고 스크린 위에 퍼트린 후 0.6 kgf/cm^2 (게이지 압력)의 흡입력으로 약 5분간 흡입함으로써 보드 내에 존재하는 잉여수를 제거한다.

4. 가 압

탈수가 끝나고 나면 시료를 필터 스크린에서 분리하여 두 개의 철판 사이에 두고 2.4 kgf/cm^2 (非가압) 또는 65 kgf/cm^2 (가압)의 압력으로 약 30분 동안 가압한다.

5. 양 생

가압된 복합체는 약 12시간 동안 $60\sim 70^\circ\text{C}$ 의 증기 양생기에서 먼저 양생을 거친 뒤, 10 kgf/cm^2 의 압력과 내부온도 180°C 의 고온고압 상태에서 12시간 정도 양생을 시킨다. 이러한 고압증기양생의 효과는 짧은 시간에 높은 조기 강도를 얻을 수 있고, 안정된 복합체 결정물을 만들어, 치수 안정성과 내구성이 우수한 복합체를 만들어 준다. 본 실험에서 사용된 양생 사이클은 Fig. 5-16과 같다.

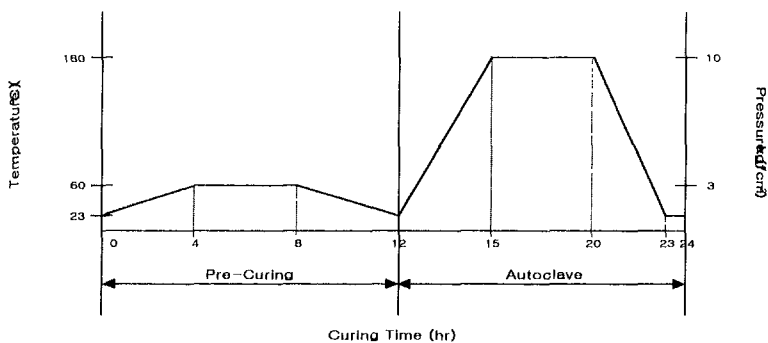


Fig. 5-16. Curing cycle of wastepaper fiber-reinforced cement composites

제 4 항 실험설계

본 실험에서는 복합체의 특성에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상되는 아래의 네 가지 변수를 채택하여 실험을 실시하였다.

1. 섬유혼입율

섬유혼입율은 복합체의 전체 고품량에 대한 섬유의 중량비로써 정의한다. 본 실험에서는 세 가지(8 wt%, 10 wt%, 12 wt%)의 섬유혼입율로 복합체에 미치는 영향을 구명하는 데 사용하였다.

2. 섬유정제수준

슬러리 상태에서 섬유의 정제는 섬유표면에 미세 피브릴화를 발생시키며, 이것은 섬유의 여과성능(탈수시 시멘트의 손실을 막음)을 향상시키는데 도움을 준다. 또한, 시멘트계 모체와 섬유의 결합력을 향상시킨다. 섬유정제수준은 섬유정제수준의 증가에 따라 그 값이 감소하는 Canadian Standard Freeness(CSF)로 측정하였다. 본 실험에서는 Table 5-7에서와 같이 500과 350의 두 가지 수준으로 실험을 실시하였다.

3. 섬유대체수준

순수 목질섬유의 대체율로서 순수 목질섬유 대비 20%, 35%, 50% 세 가지 수준으로 폐지섬유를 대체하였다.

4. 압력재하수준

압력재하수준은 두 가지 수준으로 구분되는데, 각각 2.4 kgf/cm²와 65 kgf/cm²이다. 여기서, 2.4 kgf/cm²의 압력재하수준은 그리 높지 않은 강도와 내구성을 요구하는 내장 보드용 제품을 생산할 경우를 고려하였으며, 65 kgf/cm²는 높은 강도와 내구성을 요구하는 외장용 보드와 지붕재 등에 사용할 목적으로 사용하였다. 위의 네 가지 변수를 바탕으로 Table 5-6과 같은 실험설계를 실시하였다.

제 5 항 실험결과

Table 5-6의 실험설계에 의해 제조된 각각의 시료에 대해 ASTM C 1185에 의한 휨강도, 밀도 및 물 흡수력을 측정하였다. 실험은 2회 반복 실시하였으며, 실험결과는 Tabel 5-7(a), (b)와 Fig. 5-17(a)~(c) 및 Fig. 5-18(a)~(c)와 같다.

우선, 실험결과 중 휨강도는 영향인자인 섬유혼입율과 섬유정제수준을 연관시켜 생각하면, 섬유의 여수도가 500인 경우에는 섬유혼입율의 증가에 따라 휨강도가 감소하지만, 여수도 350인 경우는 섬유혼입율 8 wt%에서보다 10 wt%에서 더 큰 휨강도를 나타내며, 12 wt%에서는 다시 하락하는 경향을 나타냈다.

그 원인은 섬유정제수준이 높을수록 섬유의 단섬유화와 피브릴화가 증대됨으로써 더욱 높은 섬유혼입율에서 최대 휨강도가 나타난 것으로 사료된다.

Table 5-6. Experimental design

No.	Compaction Pressure (kgf/cm ²)	Fiber Mass Fraction (%)	Fiber Beating Level (CSF)	Fiber Substitution Level (%)	
1	65 (pressed)	8	500	20	
2				35	
3				50	
4				20	
5				350	35
6				50	
7		10	500	20	
8				35	
9				50	
10				20	
11				350	35
12				50	
13		12	500	20	
14				35	
15				50	
16				20	
17				350	35
18				50	

19			20
20		500	35
21			50
22		8	20
23		350	35
24			50
25			20
26		500	35
27	2.4		50
28	(unpressed)	10	20
29		350	35
30			50
31			20
32		500	35
33			50
34		12	20
35		350	35
36			50

또한, 섬유대체수준은 폐지섬유의 양이 증가함에 따라 휨강도가 감소하는 경향을 나타낸다. 밀도와 흡수율의 경우, 밀도는 섬유혼입율이 낮을수록, 섬유정제수준이 높을수록, 섬유대체수준이 낮을수록 높게 나타나며, 흡수율은 이와 반대로 나타났다. 이러한 실험결과를 바탕으로 각 인자들 (섬유혼입율, 섬유정제수준, 섬유대체수준)과 이들 서로간의 상호작용의 종속변수 (휨강도, 밀도, 흡수율)에 대한 유의성을 검정하기 위한 분산분석을 실시한 결과는 Table 5-8(a), (b)와 같다.

Table에서 보는 바와 같이 휨강도에 대해서는 섬유혼입율과 섬유대체수준이 99% 신뢰수준에서 유의성을 가지며, 밀도와 흡수율에 대해서는 가압시료와 섬유혼입율, 섬유정제수준 및 섬유대체수준간에는 99% 신뢰수준의 유의성을 가졌다. 비가압시료는 섬유혼입율과 섬유대체수준간에만 99% 신뢰수준의 유의성을 나타냈다.

Table 5-7(a). Test results (pressed)

No.	Flexural Strength* (kgf/cm ²)	Mean (St. Dev.)	Density (g/cm ³)	Mean (St. Dev.)	Water Absorption (%)	Mean (St.Dev.)
1	91.38	90.29 (0.837)	1.25	1.24 (0.014)	27.79	28.37 (0.530)
	89.38		1.22		28.63	
	90.38		1.24		28.09	
	90.01		1.25		28.97	
2	81.07	79.91 (1.099)	1.22	1.21 (0.000)	28.38	29.43 (1.606)
	79.36		1.22		28.94	
	78.75		1.21		29.13	
	80.46		1.19		31.27	
3	68.38	70.43 (1.783)	1.17	1.19 (0.022)	33.12	31.07 (2.320)
	69.64		1.18		32.46	
	71.27		1.19		30.78	
	72.43		1.22		27.92	
4	84.36	85.87 (1.760)	1.23	1.25 (0.016)	26.78	26.54 (2.059)
	85.47		1.25		25.13	
	85.24		1.25		29.36	
	88.41		1.27		24.89	
5	81.56	80.35 (0.956)	1.24	1.23 (0.014)	26.36	28.25 (1.514)
	80.12		1.23		28.12	
	79.25		1.21		30.05	
	80.47		1.24		28.47	
6	67.25	68.27 (1.338)	1.20	1.21 (0.022)	32.12	30.01 (2.750)
	66.98		1.19		32.56	
	69.45		1.24		28.34	
	69.40		1.21		27.02	
7	87.32	85.67 (1.307)	1.19	1.17 (0.018)	29.45	31.65 (1.839)
	85.98		1.18		30.87	
	84.25		1.16		32.78	
	85.13		1.15		33.50	
8	82.17	82.62 (0.429)	1.15	1.14 (0.012)	33.73	32.94 (0.710)
	82.39		1.13		32.13	
	82.78		1.13		32.47	
	83.14		1.15		32.43	
9	73.90	73.85 (0.229)	1.10	1.10 (0.008)	34.92	34.39 (0.466)
	73.58		1.09		34.26	
	73.79		1.10		34.56	
	74.13		1.11		33.82	
10	89.29	89.36 (0.443)	1.20	1.19 (0.008)	30.40	31.01 (0.442)
	88.85		1.19		31.36	
	89.37		1.18		30.97	
	89.93		1.19		31.31	

Table 5-7(a). (Cont'd) Test results (pressed)

11	82.40		1.16		30.71	
	81.47	83.25	1.14	1.16	33.13	32.03
	83.79	(1.688)	1.17	(0.014)	32.45	(1.028)
	85.34		1.17		31.83	
12	73.02		1.12		35.51	
	72.94	73.62	1.11	1.12	33.99	33.93
	73.81	(0.826)	1.12	(0.008)	33.54	(1.185)
	74.71		1.13		32.68	
13	79.80		1.11		35.61	
	79.43	80.27	1.08	1.10	35.04	34.63
	81.07	(0.780)	1.11	(0.014)	33.49	(0.911)
	80.78		1.10		34.38	
14	73.54		1.09		36.72	
	73.82	74.05	1.07	1.08	36.49	36.34
	73.79	(0.678)	1.07	(0.012)	36.38	(0.406)
	75.05		1.09		35.77	
15	64.91		1.04		37.61	
	69.34	67.34	1.08	1.06	37.56	37.79
	66.73	(1.946)	1.05	(0.018)	38.18	(0.282)
	68.38		1.07		37.81	
16	83.21		1.14		34.66	
	79.36	82.42	1.10	1.12	33.16	33.54
	81.68	(2.556)	1.10	(0.023)	34.36	(1.225)
	85.43		1.14		31.98	
17	76.20		1.10		34.99	
	76.34	76.19	1.10	1.09	36.35	35.84
	76.29	(0.183)	1.08	(0.012)	36.14	(0.598)
	75.93		1.08		35.88	
18	69.31		1.07		36.52	
	69.85	70.06	1.06	1.07	36.85	36.44
	69.74	(0.885)	1.07	(0.008)	36.44	(0.372)
	71.34		1.08		35.95	
Control (Virgin fiber)	109.43		1.23		28.38	

Note) * : Wet Strength

Table 5-7(b). Test results (unpressed)

No.	Flexural Strength* (kg/cm ²)	Mean (St. Dev.)	Density (g/cm ³)	Mean (St. Dev.)	Water Absorption (%)	Mean (St. Dev.)
19	55.16		1.12		33.46	
	54.01	54.85	1.13	1.13	33.10	32.77
	55.36	(0.595)	1.14	(0.008)	32.03	(0.635)
	54.87		1.13		32.49	
20	45.48		1.10		33.37	
	45.64	46.56	1.10	1.11	35.16	34.02
	48.34	(1.320)	1.13	(0.014)	33.34	(0.860)
	46.78		1.11		34.21	
21	38.82		1.08		35.90	
	38.67	39.14	1.09	1.10	35.69	35.34
	39.93	(0.562)	1.12	(0.018)	35.01	(0.542)
	39.14		1.11		34.76	
22	49.36		1.14		31.96	
	48.99	49.41	1.13	1.14	32.89	32.01
	49.93	(0.388)	1.15	(0.008)	31.36	(0.641)
	49.36		1.14		31.83	
23	41.63		1.12		33.71	
	43.13	43.21	1.11	1.12	33.83	33.32
	43.97	(1.139)	1.12	(0.008)	32.97	(0.528)
	44.11		1.13		32.77	
24	36.63		1.10		35.69	
	35.83	36.69	1.08	1.10	35.39	34.96
	37.36	(0.647)	1.11	(0.014)	34.47	(0.685)
	36.94		1.11		34.29	
25	51.08		1.08		38.08	
	51.21	51.78	1.08	1.09	36.21	35.89
	52.71	(0.774)	1.10	(0.012)	34.37	(1.652)
	52.12		1.10		34.90	
26	49.83		1.09		35.45	
	47.64	48.84	1.06	1.08	37.33	36.11
	48.88	(0.904)	1.08	(0.014)	36.28	(0.910)
	49.01		1.09		35.38	
27	44.34		1.07		36.37	
	42.67	42.76	1.07	1.06	36.37	37.34
	42.48	(1.161)	1.06	(0.014)	37.49	(1.305)
	41.55		1.04		39.13	
28	53.21		1.07		34.51	
	54.98	54.32	1.11	1.10	34.12	34.94
	54.37	(0.781)	1.12	(0.022)	35.45	(0.745)
	54.72		1.10		35.68	

Table 5-7(b). (Cont'd) Test results (unpressed)

29	48.62		1.09		35.21	
	47.56	47.85	1.08	1.08	35.94	36.22
	46.92	(0.763)	1.07	(0.008)	36.82	(0.803)
	48.30		1.08		36.91	
30	42.87		1.07		37.23	
	41.85	42.98	1.05	1.07	36.45	37.03
	42.12	(1.465)	1.05	(0.028)	36.87	(0.481)
	45.08		1.11		37.57	
31	45.21		1.06		37.54	
	45.02	44.35	1.05	1.05	37.68	38.51
	43.65	(0.888)	1.04	(0.008)	39.47	(1.042)
	43.52		1.05		39.35	
32	40.66		1.02		40.12	
	40.87	40.73	1.03	1.03	40.53	39.44
	40.12	(0.479)	1.03	(0.008)	39.20	(1.162)
	41.27		1.04		37.91	
33	35.45		1.01		41.87	
	35.87	36.31	1.01	1.02	40.78	40.13
	38.25	(1.305)	1.04	(0.014)	38.21	(1.566)
	35.67		1.02		39.66	
34	44.87		1.04		39.58	
	45.32	45.22	1.05	1.05	38.74	38.68
	45.63	(0.330)	1.05	(0.008)	39.02	(0.934)
	45.06		1.06		37.38	
35	42.21		1.06		37.87	
	40.54	40.87	1.03	1.04	39.02	39.05
	40.68	(0.933)	1.04	(0.014)	38.78	(1.104)
	40.05		1.03		40.53	
36	35.12		1.01		39.45	
	37.95	37.12	1.02	1.02	38.95	40.11
	38.75	(1.587)	1.03	(0.008)	41.30	(1.095)
	36.66		1.02		40.11	
Control (virgin fiber)	64.05		1.13		32.52	

Note) * ∴ Wet strength

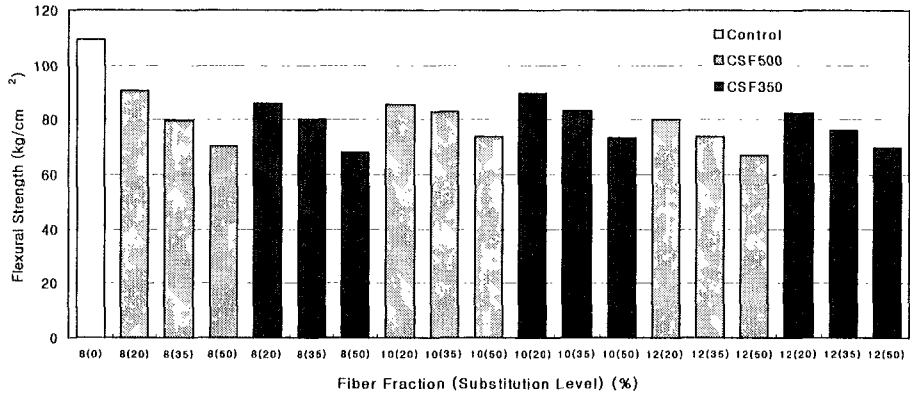


Fig. 5-17(a). Flexural strength (pressed)

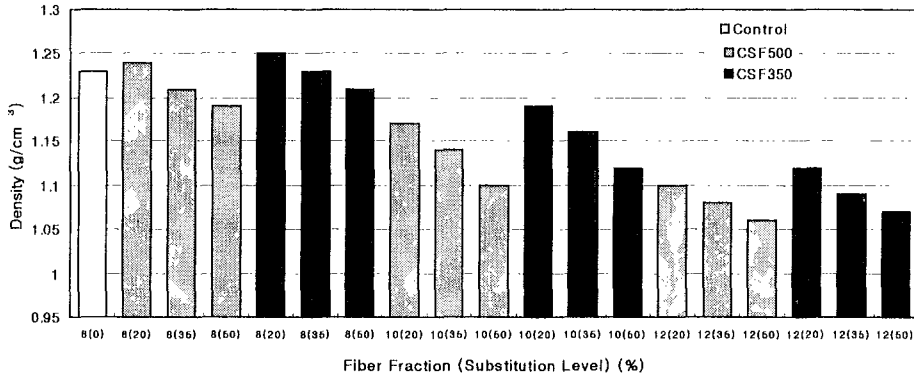


Fig. 5-17(b). Density (pressed)

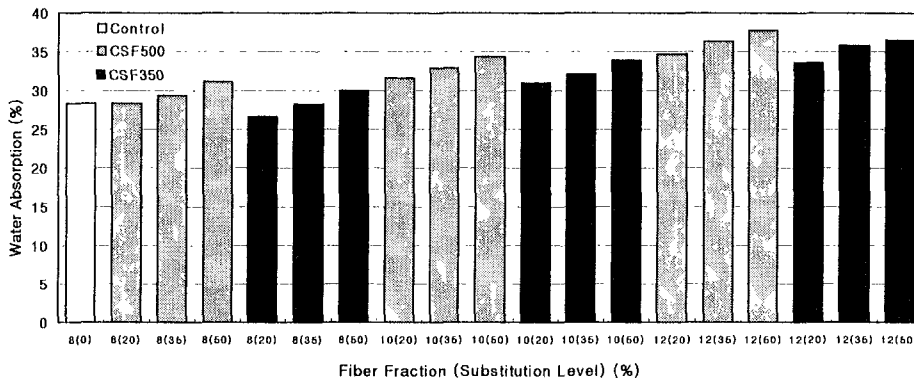


Fig. 5-17(c). Water absorption (pressed)

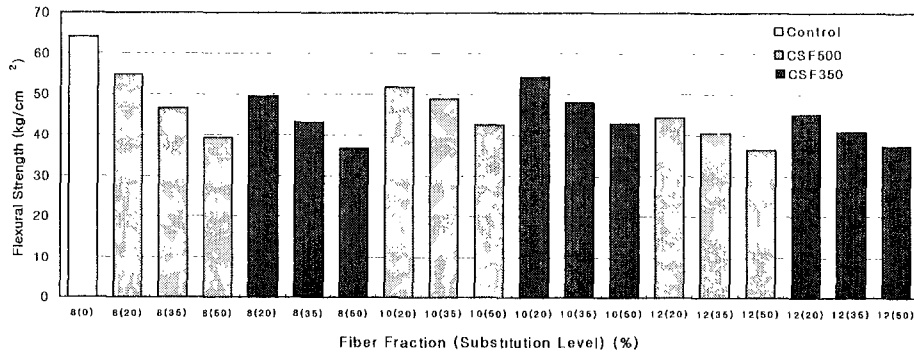


Fig. 5-18(a). Flexural strength (unpressed)

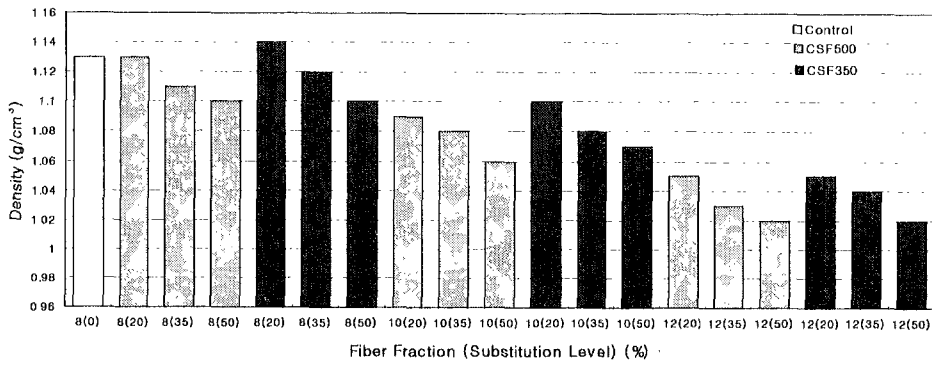


Fig. 5-18(b). Density (unpressed)

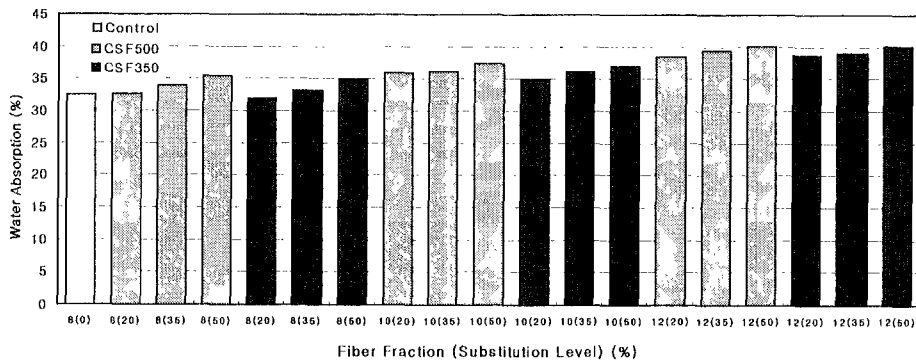


Fig. 5-18(c). Water absorption (unpressed)

Table 5-8(a). Results of the analysis of variance (pressed)

Flexural strength					
Source	Sum-of-Squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Fiber Fraction	124.496	2	62.248	25.973**	0.005
Fiber Beat. L.	1.350	1	1.350	0.563	0.495
Fiber Sub. L.	686.101	2	343.051	143.138**	0.000
Fiber Fraction × Fiber Beat. L.	15.841	2	7.921	2.129	0.142
Fiber Fraction × Fiber Sub. L.	24.290	4	6.072	3.305	0.195
Fiber Beat. L. × Fiber Sub. L.	0.689	2	0.345	2.534	0.870
Error	9.587	4	2.397		
Density					
Source	Sum-of-Squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Fiber Fraction	5.490E-02	2	2.745E-02	1647.000**	0.000
Fiber Beat. L.	1.250E-03	1	1.250E-02	75.000**	0.001
Fiber Sub. L.	8.533E-03	2	4.267E-03	256.000**	0.000
Fiber Fraction × Fiber Beat. L.	3.333E-05	2	1.667E-05	1.000	0.444
Fiber Fraction × Fiber Sub. L.	4.667E-04	4	1.167E-05	7.000*	0.043
Fiber Beat. L. × Fiber Sub. L.	0.000	2	0.000	0.000	1.000
Error	6.667E-05	4	1.667E-05		
Water absorption					
Source	Sum-of-Squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Fiber Fraction	139.839	2	69.920	848.653**	0.000
Fiber Beat. L.	4.520	1	4.520	54.862**	0.002
Fiber Sub. L.	26.673	2	13.337	161.875**	0.000
Fiber Fraction × Fiber Beat. L.	0.355	2	0.177	2.153	0.232
Fiber Fraction × Fiber Sub. L.	0.477	4	0.119	1.447	0.364
Fiber Beat. L. × Fiber Sub. L.	8.308E-02	2	4.154E-02	0.504	0.638
Error	0.330	4	8.239E-02	1,069.494	1.236

Note) * : statistically significant at 95% confidence level

** : statistically significant at 99% confidence level

Table 5-8(b). Results of the analysis of variance (unpressed)

Flexural strength					
Source	Sum-of-Squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Fiber Fraction	162.027	2	81.013	64.507**	0.001
Fiber Beat. L.	3.251	1	3.251	2.589	0.183
Fiber Sub. L.	351.365	2	175.682	139.887**	0.000
Fiber Fraction × Fiber Beat. L.	18.879	2	9.440	7.516*	0.044
Fiber Fraction × Fiber Sub. L.	19.685	4	4.921	3.919	0.107
Fiber Beat. L. × Fiber Sub. L.	0.712	2	0.356	0.283	0.767
Error	5.024	4	1.256		
Density					
Source	Sum-of-Squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Fiber Fraction	2.008E-02	2	1.004E-02	451.750**	0.000
Fiber Beat. L.	1.389E-04	1	1.389E-04	6.250	0.067
Fiber Sub. L.	3.011E-03	2	1.506E-03	67.750**	0.001
Fiber Fraction × Fiber Beat. L.	1.111E-05	2	5.556E-06	0.250	0.790
Fiber Fraction × Fiber Sub. L.	2.222E-05	4	5.556E-06	0.250	0.896
Fiber Beat. L. × Fiber Sub. L.	1.111E-05	2	5.556E-06	0.250	0.790
Error	8.889E-05	4	2.222E-05		
Water absorption					
Source	Sum-of-Squares	DF	Mean-Square	F-Ratio	P
Fiber Fraction	93.820	2	46.910	539.159**	0.000
Fiber Beat. L.	0.580	1	0.580	6.662	0.061
Fiber Sub. L.	12.275	2	6.137	70.540**	0.001
Fiber Fraction × Fiber Beat. L.	0.215	2	0.107	1.234	0.383
Fiber Fraction × Fiber Sub. L.	0.856	4	0.214	2.459	0.202
Fiber Beat. L. × Fiber Sub. L.	5.974E-02	2	2.987E-00 2	0.343	0.728
Error	0.348	4	8.701E-02		

Note) * : statistically significant at 95% confidence level

** : statistically significant at 99% confidence level

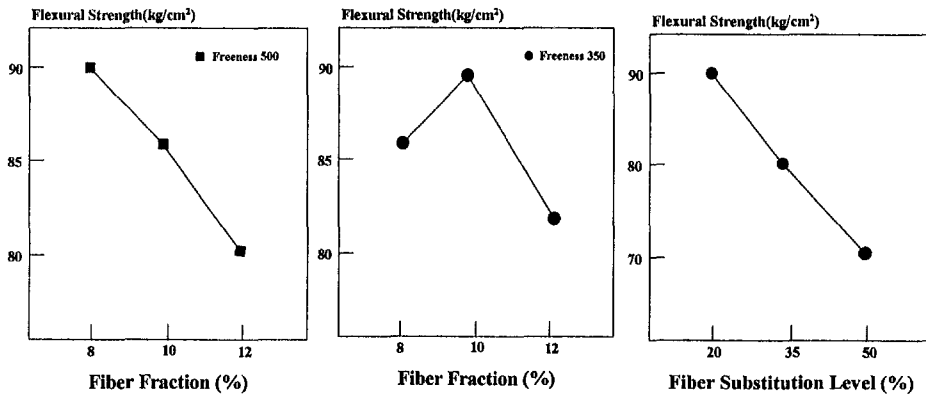


Fig. 5-19(a). Trends in flexural strength

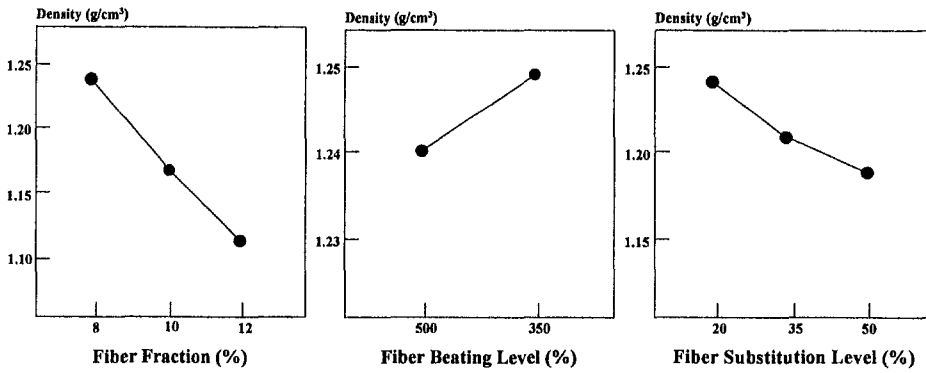


Fig. 5-19(b). Trends in density

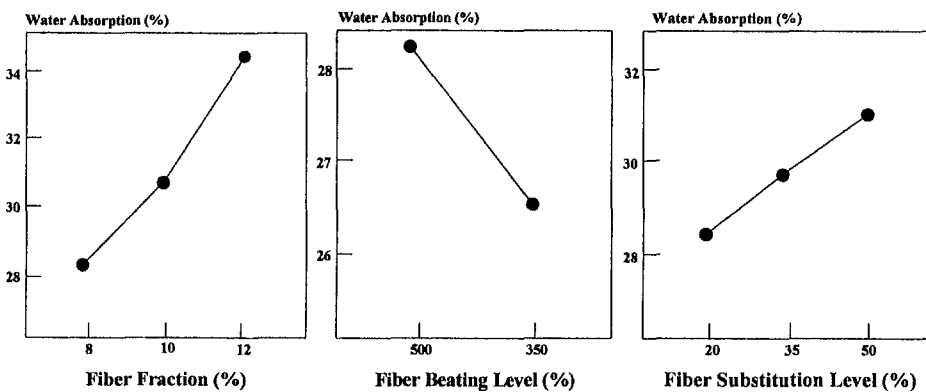


Fig. 5-19(c). Trends in water absorption

<그림-5.19(a)~(c)>는 위와 같은 요인배치법을 바탕으로 각 인자들에 의한 특성치의 경향을 도식적으로 나타낸 것이다. 단, 가압 복합체와 비가압 복합체는 거의 같은 경향을 보이기 때문에 가압 복합체의 경우만을 나타냈다.

제 6 항 결 론

폐지섬유보강 시멘트 복합체의 특성에 영향을 미칠 것으로 사료되는 세 인자(섬유혼입율, 섬유정제수준, 폐지섬유대체수준)를 고려하여 실험을 실시하였으며, 이들 인자에 따른 영향을 통계적 방법으로 해석하였다.

(1) 본 실험의 결과, 우선 여수도 500의 경우, 가압상태와 비가압상태 모두 고품물 대비 섬유혼입율 8 wt%에서 순수 목질섬유 대비 20 %를 폐지섬유로 대체하였을 때 가장 좋은 특성을 나타냈으며, 35 %와 50 %의 대체수준에서는 10 wt%에서 나타냈다.

여수도 350의 경우에는 모든 섬유대체수준에서 고품물 대비 섬유혼입율 10 wt%에서 가장 좋은 특성을 나타냈다.

(2) 또한, 섬유정제수준에 의한 영향은 통계적으로 95 % 신뢰수준에서 유의하지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 작업성과 마무리성에서는 여수도 350이 여수도 500에 비해 좋게 나타났다. 복합체의 물리·역학적 특성은 섬유혼입율과 폐지섬유대체수준에 의하여 통계적으로 95 % 신뢰수준에서 유의한 영향을 받았다.

(3) 가압상태에서 폐지섬유대체수준이 35 % 이상일 경우는 기본 휨강도가 85 kgf/cm²에 미치지 못하므로 외장용으로 사용하기에는 어려움이 있다고 판단되며, 비가압상태에서는 폐지섬유 대체수준이 35 %이상에서도 기본 휨강도인 45 kgf/cm²를 나타냄으로써 내장용으로서의 사용이 가능하리라 사료된다.

제 4 절 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 최적배합비 결정

제 1 항 개 요

본 절에서는 3절에서의 실험결과를 바탕으로 복합체의 물리·역학적 특성에 영향을 미치는 세 변수(섬유혼입율, 폐지섬유대체수준, 섬유정제)에 대한 최적배합비를 도출하고자 하며, 최적배합비 도출을 위한 설계는 통계기법의 하나인 반응표면분석법을 이용하였다.

반응표면분석법은 구속조건(소정의 규정)을 만족하는 실험변수의 범위를 그래픽적으로 표시하며, 각 실험변수가 만족하는 범위를 하나의 그래프로 나타냄으로써 구속조건 내에서 가장 경제적인 지점을 선택하여 최적화를 도출할 수 있는 통계적 분석방법이다.

본 절에서 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 최적배합비를 도출하였으며, 이를 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체와 비교하였다.

제 2 항 최적화를 위한 실험설계

앞장에서 실시된 실험결과를 바탕으로 불필요한 인자를 삭제하고 적절한 인자를 선택하여 Table 5-9와 같은 최적 배합비 도출을 위한 실험설계를 실시하였다.

Table 5-9. Optimization experimental design

Type	Variables	Fiber Mass Fraction (%)	Fiber Beating Level (CSF)	Fiber Substitution Level (%)
Pressed		8, 10	350 (Fixed)	20, 30
Unpressed		8, 10	350 (Fixed)	35, 45

제 3 항 실험결과 및 분석

앞 절의 실험설계에 따른 실험결과는 Table 5-10(a),(b)와 Fig. 5-20(a),(b)와 같다. 3절에서와 같이 섬유혼입율 8 wt%에서보다 10 wt%에서 더 큰 휨강도를 나타냈다.

Table 5-10(a). Experimental results (pressed)

Compression Pressure (kgf/cm ²)	Fiber Mass Fraction(%)	Fiber Substitution Level (%)	Flexural Strength* (kgf/cm ²)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
65 (Pressed)	8	20	87.32	1.26	23.45
			86.74	1.27	23.74
			86.01	1.24	23.41
			85.73	1.27	26.76
		Mean (St. Dev.)	86.45 (0.719)	1.26 (0.014)	24.34 (1.620)
	10	20	90.12	1.22	30.35
			90.91	1.23	29.36
			92.32	1.19	27.98
			91.73	1.20	25.95
		Mean (St. Dev.)	91.27 (0.960)	1.21 (0.018)	28.41 (1.906)
	8	30	81.98	1.18	31.94
			82.49	1.18	31.34
			83.76	1.17	30.13
			85.85	1.15	30.35
		Mean (St. Dev.)	83.52 (1.724)	1.17 (0.014)	30.94 (0.849)
	10	30	84.42	1.12	31.69
			85.56	1.13	32.38
			87.13	1.14	31.35
			85.49	1.17	31.10
		Mean (St. Dev.)	85.65 (1.116)	1.14 (0.022)	31.63 (0.555)
Control (Virgin fiber)			109.43	1.23	28.38

Note) * : Wet Strength

Table 5-10(b). Experimental results (unpressed)

Compression Pressure (kgf/cm ²)	Fiber Mass Fraction (%)	Fiber Substitution Level (%)	Flexural Strength (kgf/cm ²)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
2.4 (Unpressed)	8	35	45.44	1.14	32.93
			46.11	1.14	33.34
			44.74	1.12	34.01
			43.75	1.12	33.96
		Mean (St. Dev.)	45.01 (1.009)	1.13 (0.012)	33.56 (0.519)
	10	35	48.53	1.09	34.85
			49.12	1.10	35.33
			47.37	1.06	36.72
			48.38	1.07	36.86
		Mean (St. Dev.)	48.35 (0.727)	1.08 (0.018)	35.94 (1.002)
	8	45	39.23	1.11	33.49
			39.76	1.11	33.78
			38.18	1.08	34.31
			38.67	1.10	34.26
		Mean (St. Dev.)	38.96 (0.684)	1.10 (0.014)	33.96 (0.394)
	10	45	45.49	1.08	37.38
46.25			1.09	37.03	
43.93			1.08	36.77	
43.81			1.07	35.34	
Mean (St. Dev.)		44.87 (1.197)	1.08 (0.008)	36.63 (0.896)	
Control (Virgin fiber)			64.05	1.13	32.52

Note) * : Wet Strength

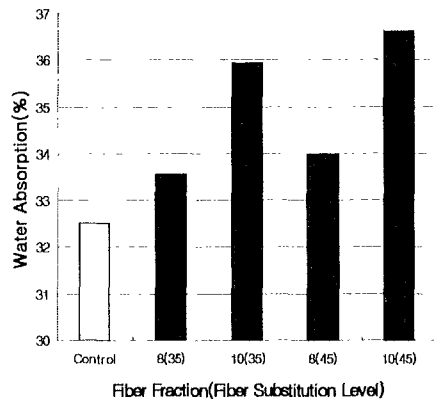
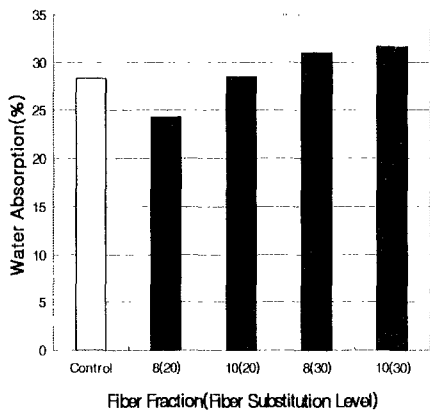
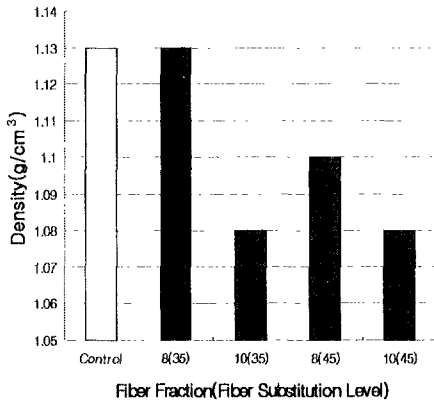
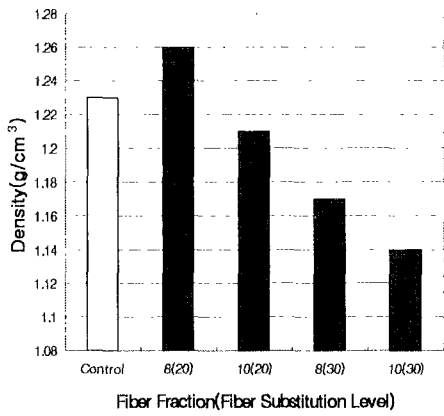
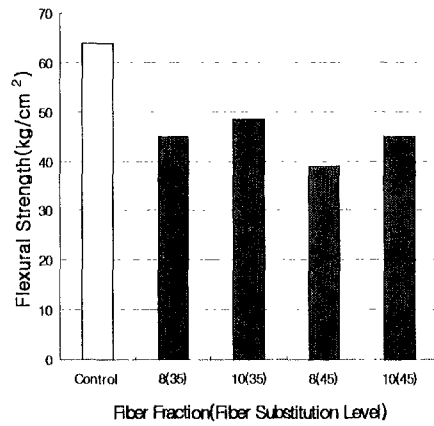
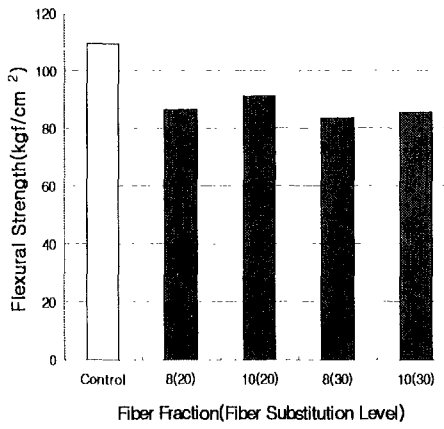


Fig. 5-20(a). Test results(pressed)

Fig. 5-20(b). Test results(unpressed)

위와 같은 실험결과를 바탕으로 적정수준의 물리·역학적 특성(가압 복합체 : 휨강도 = 85 kgf/cm² 이상, 밀도 = 1.2~1.3 g/cm³, 흡수율 = 20~30 %, 비가압 복합체 : 휨강도 = 45 kgf/cm² 이상, 밀도 = 1.1 ~1.2g/cm³, 흡수율 = 30~35 %)을 만족하고 가장 경제적인 최적배합비 결정을 위해 반응표면분석법을 이용하여 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 5-21(a), (b)와 같다.

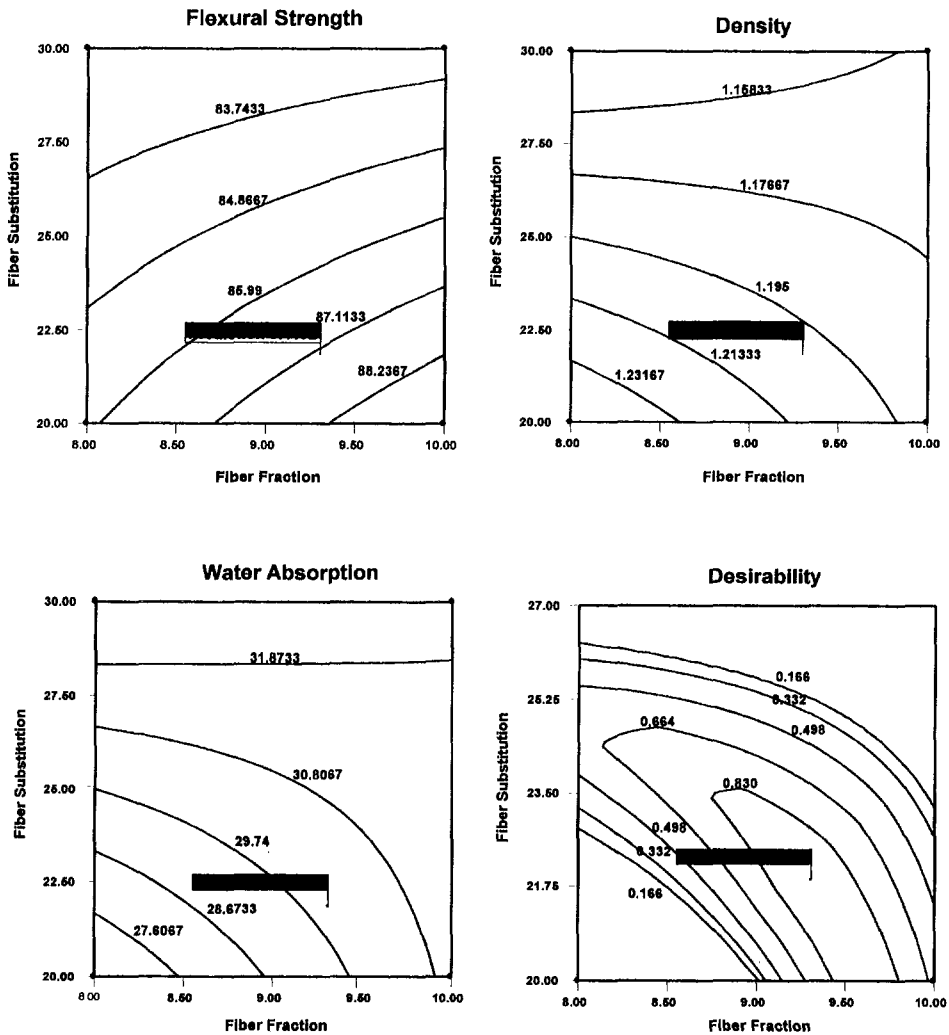


Fig. 5-21(a). Optimization: response surface analysis (pressed)

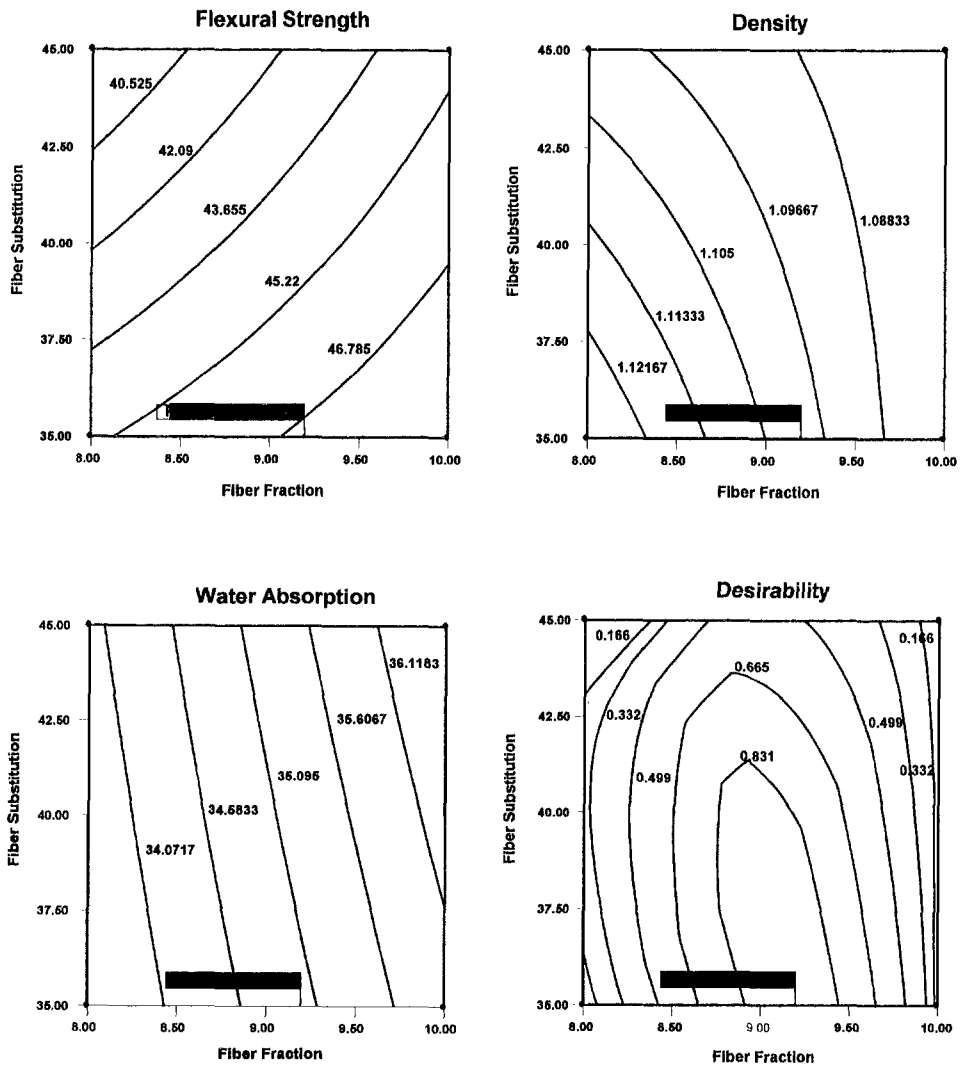


Fig. 5-21(b). Optimization: response surface analysis (unpressed)

최적배합비 도출을 위한 반응표면분석결과, 가압 복합체의 경우 섬유혼입을 약 9 wt%와 섬유대체수준 22%에서 최적배합이 도출되었으며, 비가압 복합체의 경우는 섬유혼입을 9 wt%와 섬유대체수준 35%에서 최적배합비가 도출되었다.

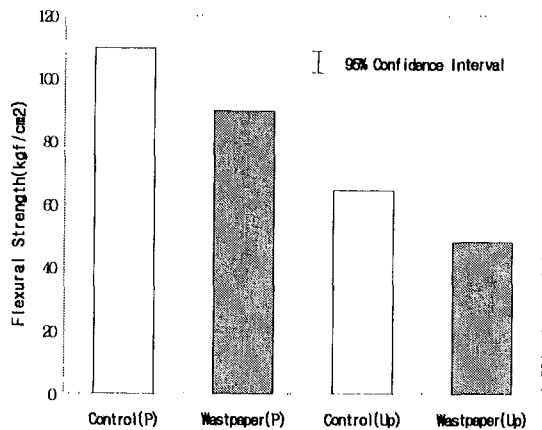
제 4 항 최적배합비에 따른 복합체의 평가

반응표면분석법을 통해 도출된 최적배합비에 따라 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 물리·역학적 특성을 검증하기 위한 실험을 실시하였다. 실험은 2회 반복 실시하였으며, 그 결과는 Table 5-11와 Fig. 5-22와 같다.

Table 5-11. Test results

Compression Pressure (kg/cm ²)	Fiber Mass Fraction (%)	Fiber Substitution Level (%)	Flexural Strength* (kgf/cm ²)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
65 (Pressed)	9	22	89.29	1.23	29.40
			88.85	1.19	29.36
			89.37	1.22	28.97
			89.93	1.21	29.31
		Mean (St. Dev.)	89.36 (0.443)	1.21 (0.017)	29.26 (0.197)
		Control (Virgin fiber)	109.43	1.23	28.38
2.4 (Unpressed)	9	35	46.48	1.12	32.37
			46.64	1.11	34.16
			48.34	1.14	32.34
			47.78	1.12	33.21
		Mean (St. Dev.)	47.84 (0.904)	1.12 (0.013)	33.02 (0.860)
		Control (Virgin fiber)	64.05	1.13	32.52

Note) * : wet strength



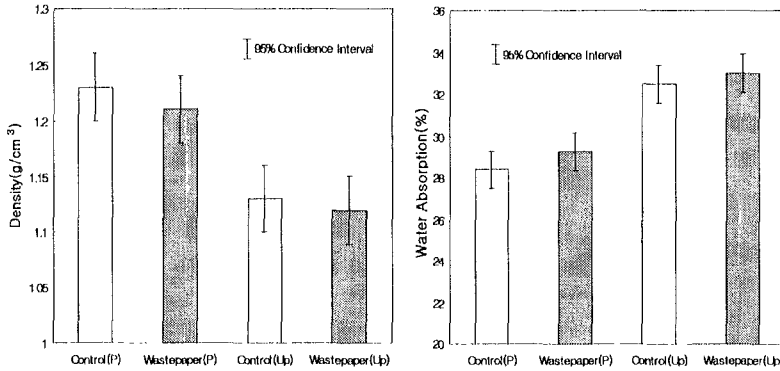


Fig. 5-22. Evaluation results of optimization composites

Table 5-11의 실험결과와 같이 최적배합비에 따른 모든 물리·역학적 특성치는 앞에서 언급한 반응표면분석 결과치(Fig. 5-21 a, b)와 비교한 바, 적정 수준 이상을 나타냈다.

제 4 항 결 론

본 절에서는 앞절의 실험결과인 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 물리·역학적 특성을 바탕으로 복합체의 최적배합비를 결정하기 위해 통계적 분석방법 중 하나인 반응표면분석법을 사용하여 가장 경제적인 배합을 도출하였다.

(1) 가압 복합체의 경우 섬유혼입율 9 wt%와 섬유대체수준 22%, 비가압 복합체의 경우는 섬유혼입율 9 wt%와 섬유대체수준 35%가 최적조건으로 결정되었다.

(2) 또한, 도출된 최적배합비의 복합체에 대한 평가를 한 결과 앞절에서 정했던 소정의 물리·역학적 성능(가압 복합체 : 휨강도 = 85 kgf/cm² 이상, 밀도 = 1.2~1.3 g/cm³, 흡수율 = 20~30%, 비가압 복합체 : 휨강도 = 45 kgf/cm² 이상, 밀도 = 1.1~1.2g/cm³, 흡수율 = 30~35%)을 만족하였다.

제 5 절 수분민감성 및 내구성능

제 1 항 개 요

건설재료는 재료가 노출될 수 있는 환경에서 장기 거동을 평가할 필요가 있다. 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 경우도 이와 같은 내구성능 평가를 통해 건설재료로서 사용이 가능한지를 평가하며, 열화원인에 따른 대책을 강구해야 할 필요가 있다. 이를 위해 모체 내 섬유유 보강력을 판단하며, 목질섬유가 수분에 민감한 성질을 보이기 때문에 여러 수분조건에 따른 복합체의 성능을 확인하는 것이 필요하다.

본 절에서는 최적화된 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 장기 내구성능과 수분민감성을 확인하고, 문제점을 발견하여 성능을 향상시키는 것을 목적으로 하였다. 장기 내구성능의 평가를 위한 방법으로 실험실 내에서 촉진 열화(耐候性) 시험을 시도하였다.

촉진열화 메카니즘을 시험하기 위해서 두가지 측면을 고려하였다. 하나는 온도와 수분의 영향 등과 같은 변수를 사용하여 잠재 열화 메카니즘을 규명하는 것이며, 다른 하나는 자연기후조건 하에서 시간에 따른 변화를 촉진방법을 통해 해석하는 것이다. 여기서, 촉진시간과 천연열화와의 관계는 일정한 함수로 표현할 수 없으며, 그 이유는 지역에 따른 기후조건과 같은 지역 내에서도 약간의 기후 차이에 의한 것이다. 본 연구에서 채택한 촉진열화시험은 ASTM C 1186의 기준을 따랐다.

제 2 항 실험방법

1. 수분민감성

복합체 성능에 대한 수분의 영향을 확인하기 위해 ① 온도 23 ℃와 상대 습도 50±5 %로 2일 동안 조절된 조건에 둔 氣乾상태 ② 시편 질량에 변화가 발생하지 않을 때까지 102 ℃에서 全乾시킨 상태 ③ 48시간동안 23 ℃의 물에 습윤상태로 침수시킨 飽和상태 등의 3가지 조건에 따라 휨성능 시험을 하였다.

순수 목질섬유보강 시멘트 복합체에 대한 이전 연구를 통해 섬유와 시멘트계 모체의 결합력에 대한 수분 영향은 복합체 특성을 전체적으로 지배하며, 다음과 같은 몇 가지의 영향으로 기술할 수 있다.

시멘트계 재료의 급격한 건조는 복합체의 불균일한 건조로 인한 건조수축량의 차이가 발생하여 결국 균열이 일어난다. 이러한 균열은 압축강도에는 별다른 영향을 미치지 않지만 휨강도와 인장강도를 저하시킨다^(70,71). 반면에 건조가 매우 느리게 발생할 경우, 크리프에 의한 내부응력의 재분배와 완화로 인해 강도가 증가한다.

습윤시 시멘트계 재료는 흡수된 수분에 의해 시멘트 겔이 팽창됨으로써 압축강도의 손실을 낳고 Si-O-Si 결합의 파괴가 발생한다. 그 결과 고품입자간의 접착력이 감소한다. 이에 반해, 건조시에는 수분의 방출로 인해 강도가 증가한다.

2. 촉진열화시험

가. 건조-습윤 반복시험

건조-습윤 반복시험은 시멘트 복합체가 건조와 습윤이 반복되는 환경에 노출되었을 경우 열화의 물리·화학적 메카니즘을 구명하기 위해 실시되었다. 건조-습윤 반복의 조건에서는 목질섬유의 일부 성분에 대해 시멘트계 재료의 알칼리 공격수에 의한 침해가 촉진된다. 이것은 모체로부터 생성된 수화생성물이 섬유내부나 모체와의 접촉면으로 이동하여 축적되는 것을 의미한

다. 건조-습윤 반복시험은 12시간 동안 60℃의 건조기에 넣은 후 꺼내어 12시간 동안 23℃의 물에 수침하는 것을 1 cycle로 하여 25 cycle을 거친 복합체로 시험을 실시하였다. 시험은 수분민감성 시험에서와 같이 물리·역학적 특성을 열화 이전의 복합체와 비교하였다.

나. 동결융해시험

본 시험은 동결융해 반복조건에 노출된 복합체의 열화가능성에 대해 조사하였다. 시멘트 입자 모세 공극수의 동결은 수분의 체적팽창에 의해 콘크리트의 균열과 열화를 발생시키는 내부응력을 발생시킨다. 동결융해 시험은 KS F 2456의 B법인 기중동결(-18℃), 수중융해(5℃)법에 따라 실시되었으며, 1 cycle의 소요시간은 3~4시간이다. 시험은 총 25 cycle로 실시되었다.

다. 60℃ 건조시험

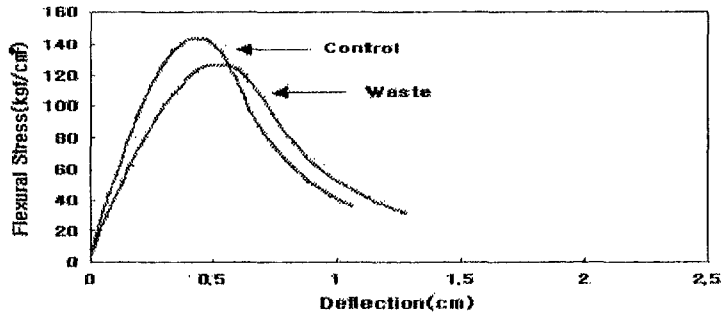
여름철 장기간 건조한 환경 하에 노출된 복합체의 열화의 정도를 파악하기 위해 시험을 실시하였다. 실험실적 촉진시험을 위해 60℃의 건조기에서 55일 동안 건조시킨 후 시험을 실시하였다.

제 3 항 수분과 열화의 영향에 따른 공학적 특성

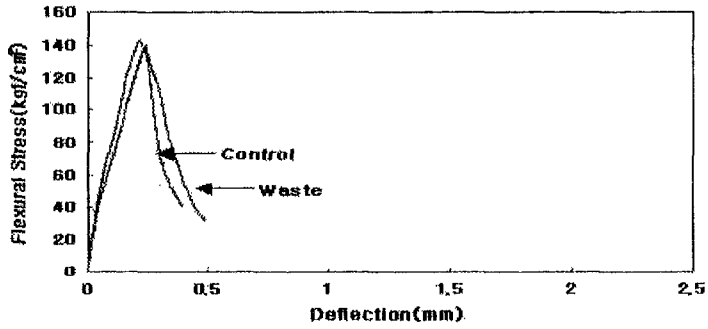
1. 수분민감성

최적배합비에 의해 제작한 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 수분민감성은 위에서 언급한 바와 같이 세가지 조건(기건상태, 전건상태, 습윤포화상태)에 방치한 후, 2개의 시편을 제작하고 2회 반복 시험을 실시하였다.

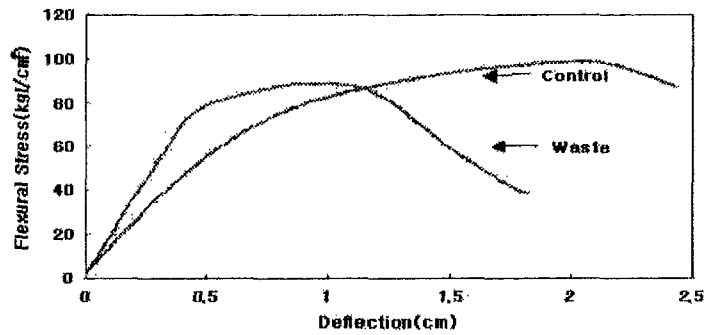
수분조건에 따른 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 휨하중-변위 거동은 Fig. 5-23~24와 같았으며, Table 5-12~13에 나타냈다.



(a) Air

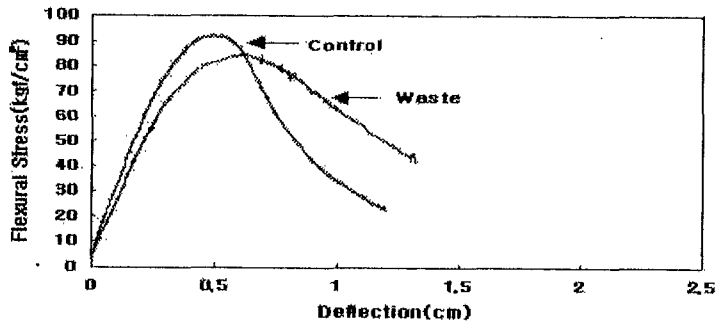


(b) Oven

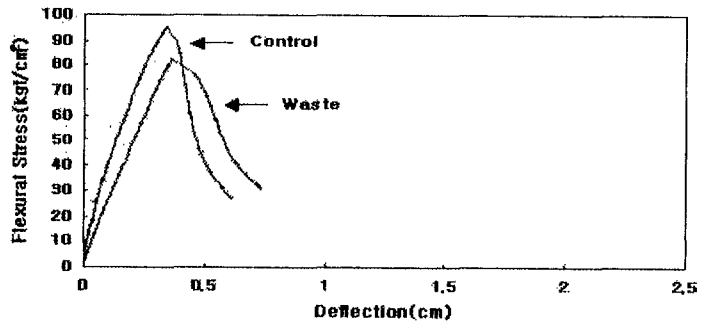


(c) Wet

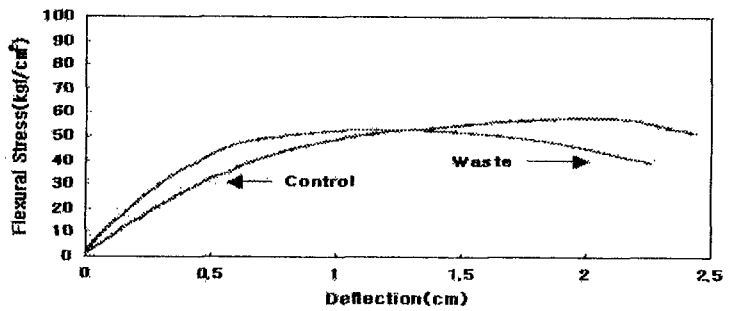
Fig. 5-23. Typical flexural load-deflection behavior in various moisture conditions(Pressed); (a) air-dry, (b) oven-dry, (c) wet



(a) Air

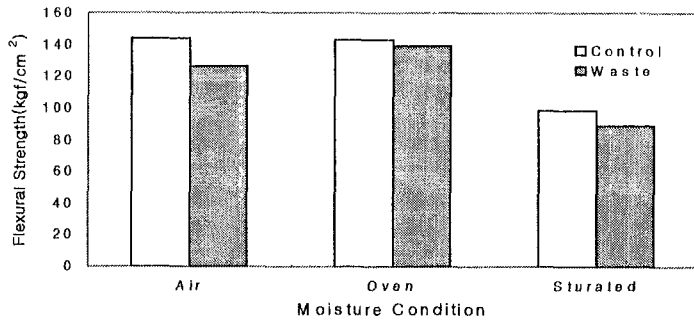


(b) Oven

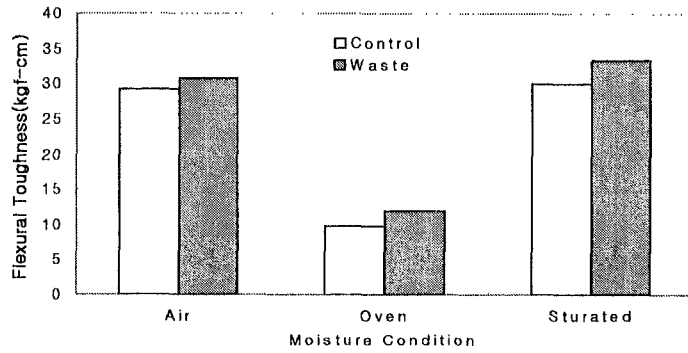


(c) Wet

Fig. 5-24. Typical flexural load-deflection behavior in various moisture conditions(Unpressed); (a) air-dry, (b) oven-dry, (c) wet

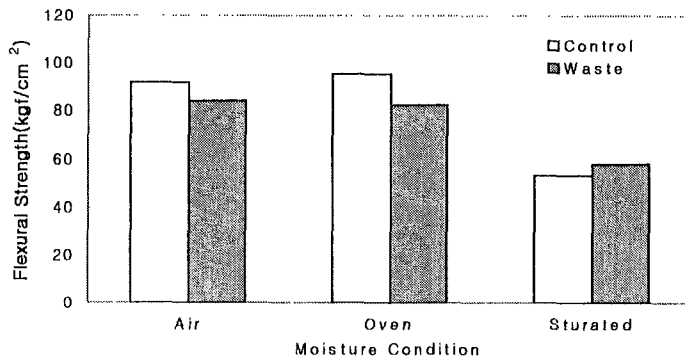


(a) Flexural strength

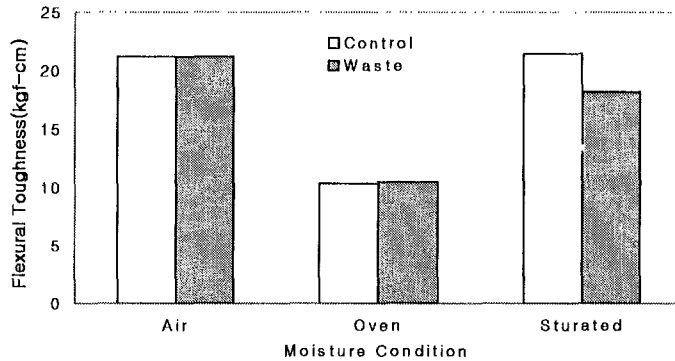


(b) Flexural toughness

Fig. 5-25. Flexural performance in various moisture conditions (pressed)
: (a) flexural strength, (b) flexural toughness



(a) Flexural strength



(b) Flexural toughness

Fig. 5-26. Flexural performance in various moisture conditions (unpressed): (a) flexural strength, (b) flexural toughness

Table 5-12. Effects of moisture condition on the flexural strength (kgf/cm²)

Type of Composite	Moisture Condition			
	Air-Dried	Oven-Dried	Saturated	
Control	Pressed	140.5	140.3	97.5
		148.3	144.4	96.4
		147.4	142.6	98.9
		138.6	145.1	102
	Mean (St. Dev.)	143.7 (4.87)	143.1 (2.14)	98.7 (2.43)
	Unpressed	90.4	96.7	53.6
		92.8	94.4	55.1
		91.3	96.3	52.4
		93.1	94.2	50.9
	Mean (St. Dev.)	91.9 (1.27)	95.4 (1.28)	53.0 (1.78)
Waste	Pressed	123.8	138.5	87.3
		130.3	137.4	88.5
		127.6	140.6	90.3
		123.1	139.5	89.5
	Mean (St. Dev.)	126.2 (3.37)	139 (1.37)	88.9 (1.30)
	Unpressed	85.1	81.7	57.4
		84.3	82.4	57.6
		81.7	84.2	58.9
		85.3	80.9	57.7
	Mean (St. Dev.)	84.1 (1.66)	82.3 (1.41)	57.9 (0.68)

Table 5-13. Effects of moisture condition on the flexural toughness (kgf-cm)

Type of Composite	Moisture Condition			
	Air-Dried	Oven-Dried	Saturated	
Control	Pressed	28.91	9.30	30.31
		29.48	9.58	29.67
		29.15	9.75	30.39
		29.30	10.54	29.90
	Mean	29.21	9.79	30.07
	(St. Dev.)	(0.24)	(0.53)	(0.34)
	Unpressed	21.40	10.38	21.12
		22.16	9.83	21.80
		20.21	10.76	21.45
		21.19	10.56	21.40
Mean		21.24	10.38	21.44
(St. Dev.)		(0.80)	(0.40)	(0.28)
Waste	Pressed	30.66	11.81	33.17
		30.69	12.34	34.19
		31.23	11.95	32.40
		30.79	11.31	33.78
	Mean	30.84	11.85	33.39
	(St. Dev.)	(0.26)	(0.42)	(0.78)
	Unpressed	21.80	9.83	17.04
		21.17	10.78	18.26
		21.31	10.81	16.68
		20.70	10.28	20.59
Mean		21.26	10.43	18.14
(St. Dev.)		(0.46)	(0.47)	(1.77)

기건상태에서 습윤상태로의 함수율 증가는 휨강도를 감소시키지만, 인성치는 함수율이 증가함에 따라 증가했다. 전건상태에서 복합체는 휨인성에 악영향을 미쳤는데, 이것은 건조열(48시간동안 102℃)에 의한 섬유 열화에 의한

것으로 판단된다. 이러한 실험결과를 바탕으로 다중비교를 실시한 바, Table 5-14~17과 같았으며 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 휨성능에 대한 수분의 영향은 통계적으로 유의하게 나타났다.

Table 5-14. Statical analysis of the flexural strength test result under various moisture condition (pressed)

	Control			Waste		
	Air	Oven	Saturated	Air	Oven	Saturated
Control	Air	-				
	Oven	-	-			
	Saturated	**	**	-		
Waste	Air			-		
	Oven			**	-	
	Saturated			**	**	--

Table 5-15. Statical analysis of the flexural strength test result under various moisture condition (unpressed)

	Control			Waste		
	Air	Oven	Saturated	Air	Oven	Saturated
Control	Air	-				
	Oven	**	-			
	Saturated	**	**	-		
Waste	Air			-		
	Oven			**	-	
	Saturated			**	**	-

-: Statistically insignificant difference

*: Statistically significant difference at 95% confidence level

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-16. Statical analysis of the flexural toughness test result under various moisture condition (pressed)

		Control			Waste		
		Air	Oven	Saturated	Air	Oven	Saturated
Control	Air	-					
	Oven	**	-				
	Saturated	**	**	-			
Waste	Air				-		
	Oven				-	-	
	Saturated				**	**	-

Table 5-17. Statical analysis of the flexural toughness test result under various moisture condition (unpressed)

		Control			Waste		
		Air	Oven	Saturated	Air	Oven	Saturated
Control	Air	-					
	Oven	**	-				
	Saturated	**	**	-			
Waste	Air				-		
	Oven				**	-	
	Saturated				**	**	-

-: Statistically insignificant difference

*: Statistically significant difference at 95% confidence level

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

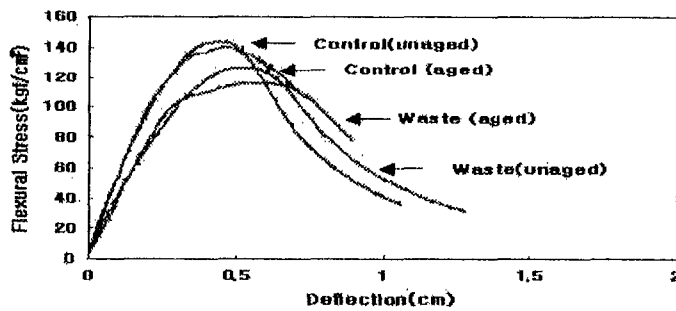
2. 축진열화시험

가. 건조-습윤 반복시험

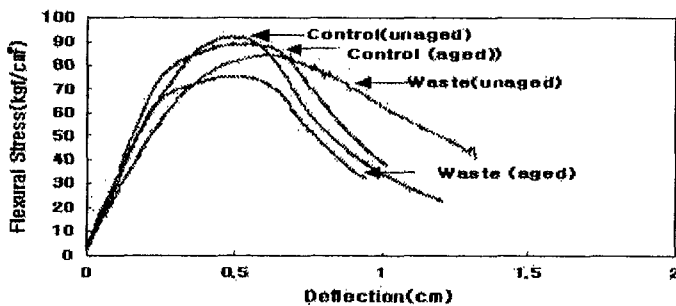
Fig. 5-27은 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 건조-습윤 반복시험 후의 휨하중-변위 거동에 대한 것이며, 그 결과는 Fig. 5-27~29 및 Table 5-18에 나타냈다. 건조-습윤 반복이 복합체의 휨강도에 대한 영향은 거의 나타나지 않았으나, 휨인성의 감소를 발생시켰다. 가압 복합체의 경우(건조-습윤 반복 시험前)는 Table 5-19와 같이 기준(control) 복합체의 휨강도 경우를 제외하고 건조-습윤 반복의 영향이 휨강도와 휨인성 모두에 대해 99% 신뢰수준에

서 통계적으로 유의하게 나타났다. 비가압 복합체의 경우는 Table 5-20과 같이 기준(control) 복합체의 휨강도가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하며, 그 밖에는 99% 신뢰수준에서 유의하였다.

또한, 건조-습윤 반복이 복합체의 휨성능에 미치는 영향으로서 휨강도는 가압 및 비가압 기준 복합체(control)가 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 비해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다. 그러나 휨인성의 경우는 폐지섬유보강 시멘트 복합체가 기준 복합체에 비해 가압 복합체의 경우 95% 신뢰수준, 비가압 복합체의 경우 99% 신뢰수준에서 높은 것으로 나타났다(Table 5-21~22).

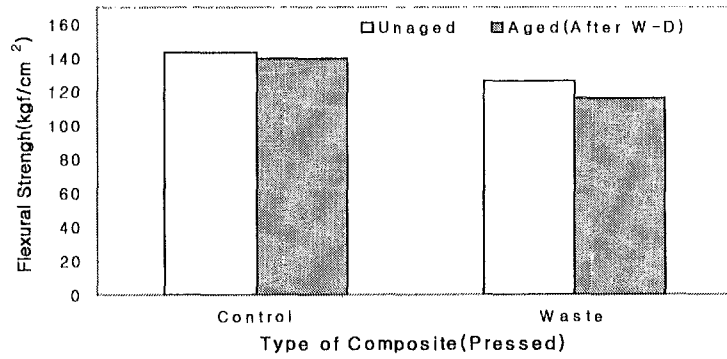


(a) Pressed

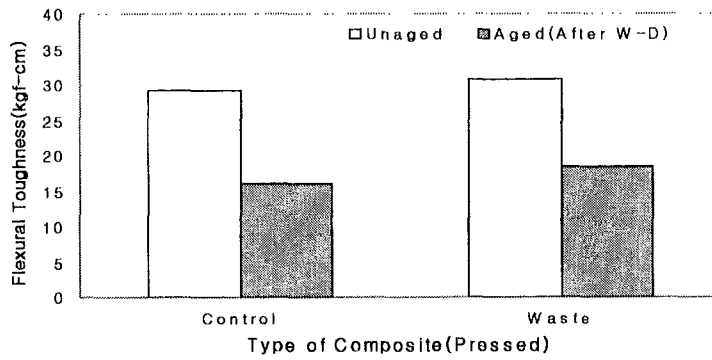


(b) Unpressed

Fig. 5-27. Typical flexural load-deflection behavior after repeated wet-dry cycles

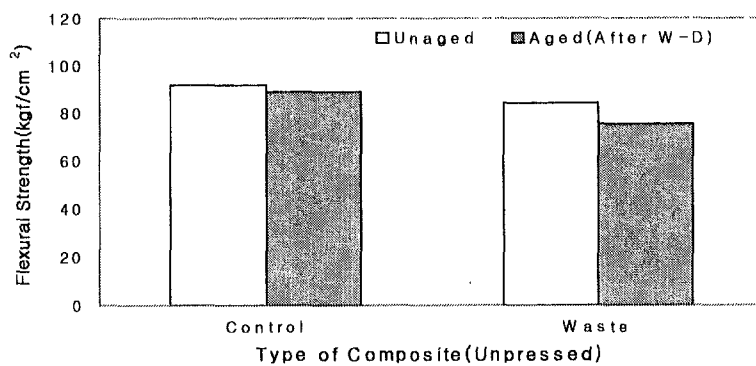


(a) Flexural strength

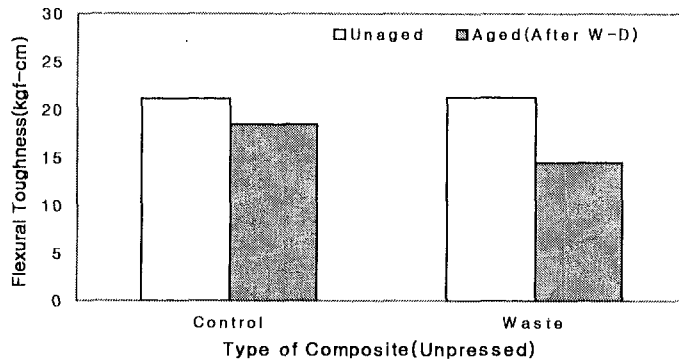


(b) Flexural toughness

Fig. 5-28. Flexural performance after wetting-drying of pressed wastepaper fiber-reinforced cement composites: (a) flexural strength, (b) flexural toughness



(a) Flexural strength



(b) Flexural toughness

Fig. 5-29. Flexural performance after wetting-drying of unpressed wastepaper fiber-reinforced cement composites: (a) flexural strength, (b) flexural toughness

Table 5-18. Effects of repeated wetting-drying on the flexural performance of wastepaper fiber-reinforced cement composites

Type of Composite	After Wet-Dry		
	Strength(kgf/cm ²)	Toughness(kgf-cm)	
Control	139.8	15.79	
	143.6	16.67	
	137.4	15.69	
	140.8	16.40	
	Mean(St. Dev.)	140.4(2.57)	16.14(0.47)
	Unpressed	90.2	18.83
88.3		18.34	
89.8		19.04	
87.3		17.99	
Mean(St. Dev.)		88.9(1.34)	18.55(0.48)
Waste		114.5	18.02
	120.1	19.09	
	112.4	19.59	
	115.8	16.96	
	Mean(St. Dev.)	115.7(3.25)	18.41(1.17)
	Unpressed	74.8	14.51
74.5		14.71	
77.1		15.23	
74.4		14.02	
Mean(St. Dev.)		75.2(1.28)	14.62(0.50)

		Unaged	
Control	Pressed	140.5	28.91
		148.3	29.48
		147.4	29.15
		138.6	29.30
	Mean(St. Dev.)	143.7(4.87)	29.21(0.24)
	Unpressed	90.4	21.40
92.8		22.16	
91.3		20.21	
93.1		21.19	
Mean(St. Dev.)	91.9(1.27)	21.24(0.80)	
Waste	Pressed	123.8	30.66
		130.3	30.69
		127.6	31.23
		123.1	30.79
	Mean(St. Dev.)	126.2(3.37)	30.84(0.26)
	Unpressed	85.1	21.80
84.3		21.17	
81.7		21.31	
85.3		20.70	
Mean(St. Dev.)	84.1(1.66)	21.26(0.46)	

Table 5-19. Results of the analysis of test data (pressed)

		Unaged			
		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Aged	Control	N.S		**	
	Waste	**		**	

N.S: Statistically insignificant difference

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-20. Results of the analysis of test data (unpressed)

		Unaged			
		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Aged	Control	*		**	
	Waste	**		**	

*: Statistically significant difference at 95% confidence level

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-21. Statistical analysis of test results(aged, pressed)

	Flexural Strength		Flexural Toughness	
	Control	Waste	Control	Waste
Control	-	-	-	-
Waste	**	-	*	-

*: Statistically significant difference at 95% confidence level

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-22. Statistical analysis of test results(aged, unpressed)

	Flexural Strength		Flexural Toughness	
	Control	Waste	Control	Waste
Control	-	-	-	-
Waste	**	-	**	-

** : Statistically significant difference at 99% level confidence level

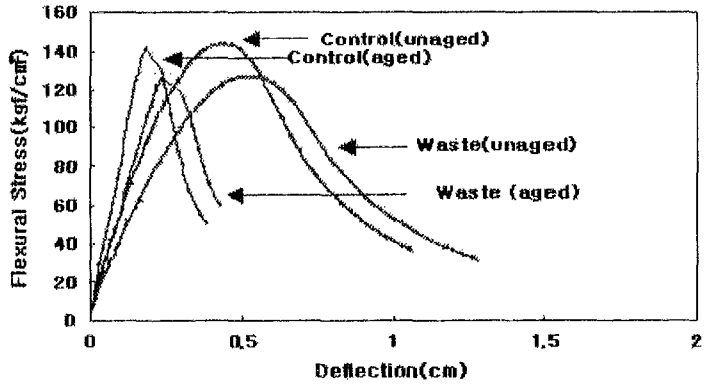
나. 동결융해시험

Fig. 5-30은 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 동결-융해 반복시험 후의 휨하중-변위 거동에 대하여 나타낸 것이다.

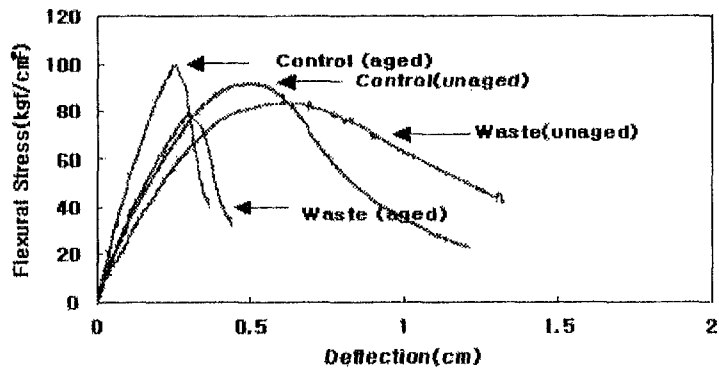
휨성능에 대한 동결융해 반복의 영향은 Table 5-23과 Fig. 5-31, 5-32에 나타냈다. 휨강도에 대한 동결융해 반복시험후의 영향은 거의 나타나지 않았지만 휨인성은 감소하였다.

가압 복합체의 경우, 동결융해반복이 휨강도에는 통계적으로 유의한 영향을 미치지 않았으나, 휨인성의 경우는 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것을 나타냈다(Table 5-24). 비가압 복합체의 경우, 휨강도와 휨인성 모두가 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하였다(Table 5-25).

또한, Table 5-26~27에서 알 수 있듯이 동결융해반복後 휨강도는 기준 복합체(control)가 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 비해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 수준으로 높은 강도를 나타냈다. 그러나 휨인성의 경우는 유의성이 없었다.

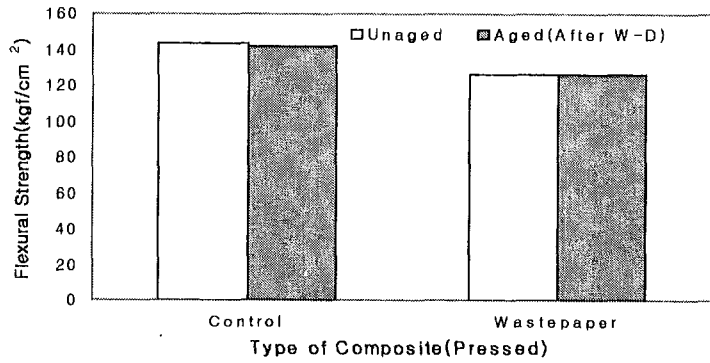


(a) Pressed

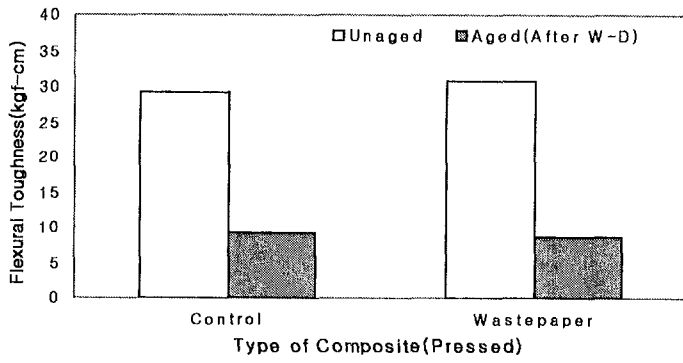


(b) Unpressed

Fig. 5-30. Typical flexural load-deflection behavior after repeated freezing thaw cycles: (a) pressed, (b) unpressed

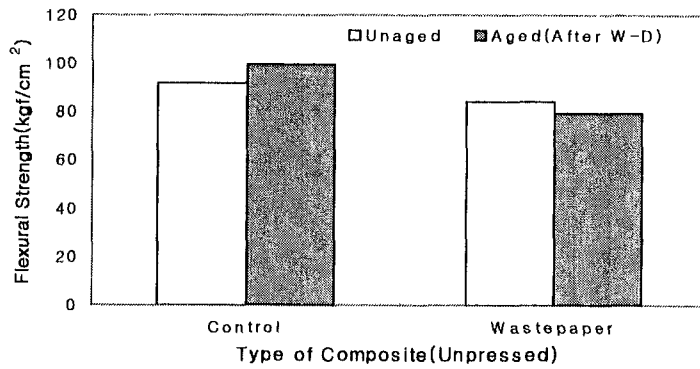


(a) Flexural strength

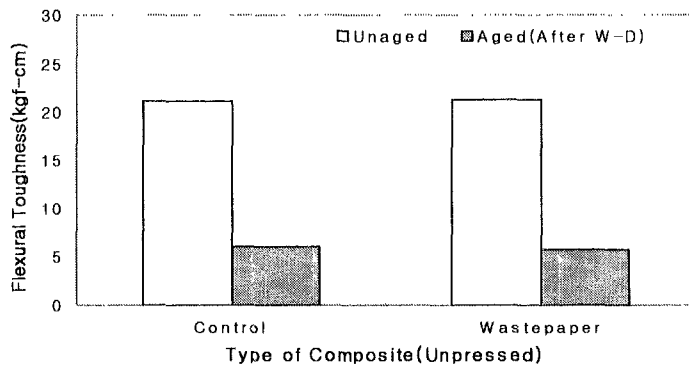


(b) Flexural toughness

Fig. 5-31. Flexural performance after freeze-thaw of pressed wastepaper fiber-reinforced cement composites: (a) flexural strength, (b) flexural toughness



(a) Flexural strength



(b) Flexural toughness

Fig. 5-32. Flexural performance after freeze-thaw of unpressed wastepaper fiber-reinforced cement composites: (a) flexural strength, (b) flexural toughness

Table 5-23. Effects of repeated freeze-thaw on the flexural performance of wastepaper fiber-reinforced cement composites

Type of Composite	After Freeze-Thaw		
	Strength(kgf/cm ²)	Toughness(kgf-cm)	
Control	Pressed	141.9	9.04
		140.7	9.35
		143.3	9.55
		142.1	8.94
	Mean(St. Dev.)	142.0(1.06)	9.22(0.28)
	Unpressed	98.9	5.99
		99.7	6.44
		100.1	5.93
99.3		5.59	
Mean(St. Dev.)	99.5(0.52)	5.99(0.35)	
Waste	Pressed	126.8	8.80
		124.5	9.12
		125.9	8.68
		129.2	8.28
	Mean(St. Dev.)	126.6(1.97)	8.72(0.35)
	Unpressed	78.5	5.44
		79.3	5.65
		82.7	5.90
77.9		5.99	
Mean(St. Dev.)	79.6(2.14)	5.75(0.25)	

		Unaged		
Control	Pressed	140.5	28.91	
		148.3	29.48	
		147.4	29.15	
	Unpressed	138.6	29.30	
		Mean(St. Dev.)	143.7(4.87)	29.21(0.24)
		90.4	21.40	
Waste	Pressed	92.8	22.16	
		91.3	20.21	
		93.1	21.19	
	Unpressed	Mean(St. Dev.)	91.9(1.27)	21.24(0.80)
		123.8	30.66	
		130.3	30.69	
Waste	Pressed	127.6	31.23	
		123.1	30.79	
		Mean(St. Dev.)	126.2(3.37)	30.84(0.26)
	Unpressed	85.1	21.80	
		84.3	21.17	
		81.7	21.31	
Mean(St. Dev.)	85.3	20.70		
		84.1(1.66)	21.26(0.46)	

Table 5-24. Results of the analysis of test data (pressed)

		Unaged			
		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Aged	Control	N.S		**	
	Waste	N.S		**	

N.S: Statistically insignificant difference

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-25. Results of the analysis of test data (unpressed)

		Unaged			
		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Aged	Control	**		**	
	Waste	**		**	

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-26 Statistical analysis of test results (aged, pressed)

	Flexural Strength		Flexural Toughness	
	Control	Waste	Control	Waste
Control	-	-	-	-
Waste	**	-	N.S	-

N.S: Statistically insignificant difference

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-27. Statistical analysis of test results (aged, unpressed)

	Flexural Strength		Flexural Toughness	
	Control	Waste	Control	Waste
Control	-	-	-	-
Waste	**	-	N.S	-

N.S: Statistically insignificant difference

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

다. 장기 60℃ 건조시험

Fig. 5-33은 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 장기 60℃ 건조 후 휨하중-변위 거동에 대하여 나타낸 것이며, 휨성능에 대한 건조의 영향을 Table 5-28와 Fig. 5-34~35에 나타냈다.

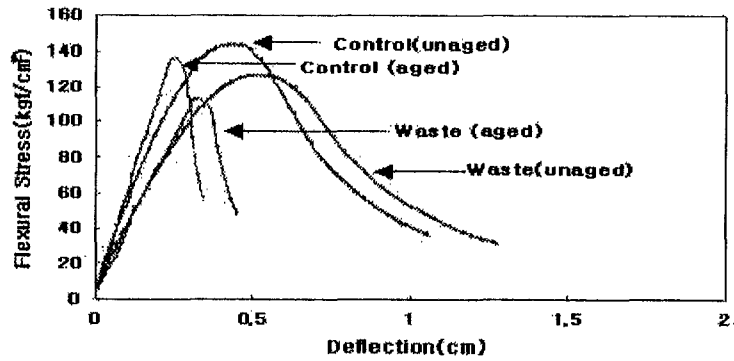
휨강도는 장기 건조 후 영향이 거의 없었으며, 휨인성은 감소를 보였다.

가압 복합체의 경우는 장기 건조의 영향이 휨강도와 휨인성 모두에 대해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Table 5-29).

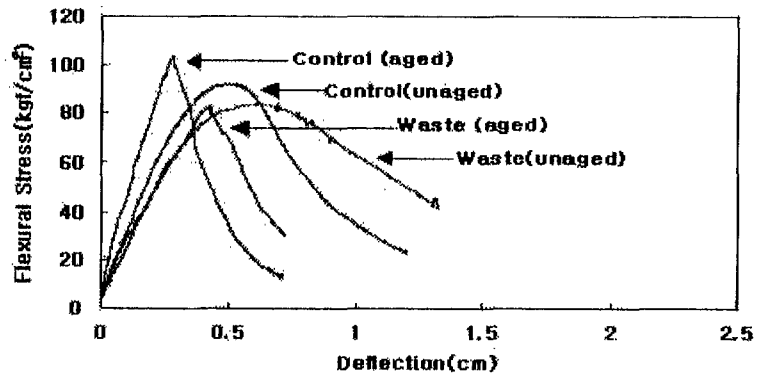
비가압 복합체의 경우 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 휨강도가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것을 제외하고는 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하였다(Table 5-30).

또한 Table 5-31~32에서 알 수 있듯이 장기 건조후 휨강도는 기준 복합체(control)가 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 비해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하게 나타났다. 그러나 휨인성의 경우는 가압 복합체의 경우 폐지섬

유보강 시멘트 복합체가 95% 신뢰수준에서, 비가압 복합체의 경우 기준 복합체가 99% 신뢰수준에서 통계적으로 높게 나타났다.

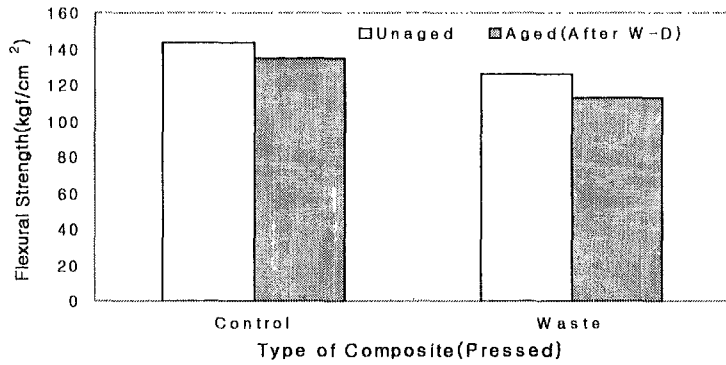


(a) Pressed

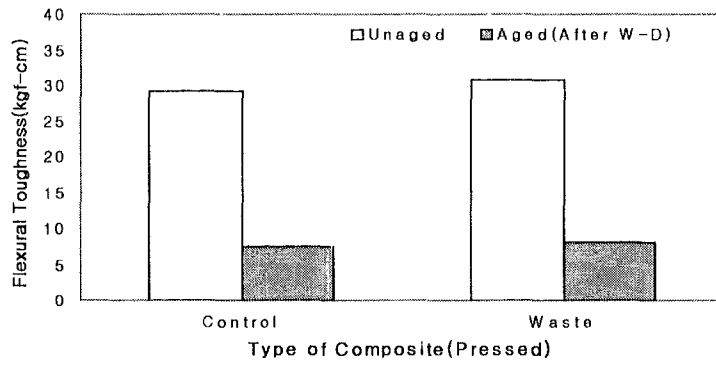


(b) Unpressed

Fig. 5-33. Typical flexural load-deflection behavior after long-term drying

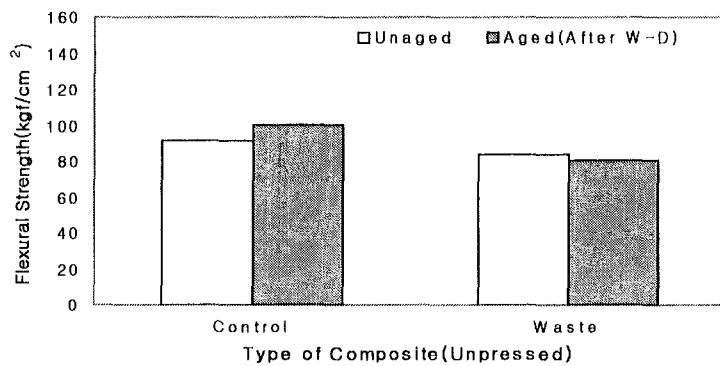


(a) Flexural strength

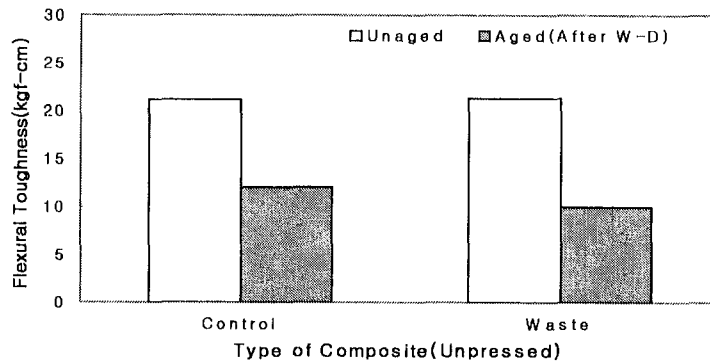


(b) Flexural toughness

Fig. 5-34. Flexural performance after long-term drying of pressed wastepaper fiber-reinforced cement composites: flexural strength, (b) flexural toughness



(a) Flexural strength



(b) Flexural toughness

Fig. 5-35. Flexural performance after long-term drying of unpressed wastepaper fiber-reinforced cement composites: flexural strength, (b) flexural toughness

Table 5-28. Effects of long-term drying on the flexural performance of wastepaper fiber-reinforced cement composites

Type of Composite	After Long-Term Drying			
	Strength(kgf/cm ²)	Toughness(kgf-cm)		
Control		135.4	7.22	
	Pressed		133.9	7.07
			137.4	7.54
			134.1	7.65
		Mean(St. Dev.)	135.2(1.61)	7.37(0.27)
	Unpressed		101.7	12.02
			103.4	11.32
		97.5	12.38	
		99	12.79	
Mean(St. Dev.)	100.4(2.65)	12.13(0.62)		
Waste		113.1	8.41	
	Pressed		112.4	7.95
			111.8	8.00
			113.5	7.68
		Mean(St. Dev.)	112.7(0.75)	8.01(0.30)
	Unpressed		80.5	10.10
			83.4	10.73
			80.7	10.37
			79.8	8.96
Mean(St. Dev.)		81.1(1.58)	10.04(0.76)	

		Unaged	
Control	Pressed	140.5	28.91
		148.3	29.48
		147.4	29.15
		138.6	29.30
	Mean(St. Dev.)	143.7(4.87)	29.21(0.24)
	Unpressed	90.4	21.40
		92.8	22.16
		91.3	20.21
93.1		21.19	
Mean(St. Dev.)	91.9(1.27)	21.24(0.80)	
Waste	Pressed	123.8	30.66
		130.3	30.69
		127.6	31.23
		123.1	30.79
	Mean(St. Dev.)	126.2(3.37)	30.84(0.26)
	Unpressed	85.1	21.80
		84.3	21.17
		81.7	21.31
85.3		20.70	
Mean(St. Dev.)	84.1(1.66)	21.26(0.46)	

Table 5-29. Results of the analysis of test data (pressed)

		Unaged			
		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Aged	Control	**		**	
	Waste		**		**

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-30. Results of the analysis of test data (unpressed)

		Unaged			
		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Aged	Control	**		**	
	Waste		*		**

*: Statistically significant difference at 95% confidence level

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-31 Statistical analysis of test results (aged, pressed)

		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Control		--		--	
Waste		**	--	*	--

*: Statistically significant difference at 95% confidence level

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

Table 5-32 Statistical analysis of test results (aged, unpressed)

		Flexural Strength		Flexural Toughness	
		Control	Waste	Control	Waste
Control		--		--	
Waste		**	--	**	--

** : Statistically significant difference at 99% confidence level

제 4 항 결 론

본 절에서는 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 수분민감성과 장기 내구성능을 평가하였다. 수분민감성을 측정하기 위해 기건, 건조, 습윤 등의 조건에 방치한 후 시험을 실시하였다. 또한, 각 시편은 건조-습윤 반복, 동결융해 반복, 장기 60℃ 건조 등의 촉진열화시험을 실시하였다.

1. 수분민감성

기건조건에서 습윤조건으로의 함수율 증가는 기준 복합체(순수 천연섬유보강 시멘트 복합체)와 폐지섬유보강 시멘트 복합체 모두의 휨강도를 감소시켰다. 하지만, 휨인성은 함수율 증가에 따라 증가하였다. 또한, 측정된 휨인성치는 휨강도의 손실과 관련된 경향을 나타내지 않았는데, 오픈건조 조건의 복합체는 휨성능에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과를 토대로 변수들의 분석과 비교를 통해 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 대한 수분 영향은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

2. 건조-습윤 반복시험

건조-습윤 반복시험은 휨강도와 휨인성 모두 95% 신뢰수준에서 통계적으로 감소했다. 가압 복합체의 경우는 건조-습윤 반복의 영향으로 휨강도와 휨인성 모두에 대해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 비가압 복합체의 경우는 기준 복합체(control)의 휨강도가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하며, 그 밖에는 99% 신뢰수준에서 유의하였다.

또한, 휨강도는 기준 복합체(control)가 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 비해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 높은 것으로 나타났으나, 휨인성의 경우는 폐지섬유보강 시멘트 복합체가 기준 복합체에 비해 가압 복합체의 경우 95%

신뢰수준에서 높으며, 비가압 복합체의 경우 99% 신뢰수준에서 높은 것으로 나타났다.

3. 동결융해 반복시험

본 연구에서 가압 복합체의 경우 동결융해 반복이 휨강도에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못했으나, 휨인성의 경우는 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 영향을 미쳤다. 비가압 복합체의 경우 휨강도와 휨인성 모두 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

또한, 휨강도는 기준 복합체가 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 비해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 높은 강도를 나타냈으나, 휨인성의 경우는 통계적인 유의수준의 차이를 보이지 않았다.

4. 장기 60℃ 건조 시험

장기 60℃ 건조에 의한 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 휨성능은 휨강도와 휨인성 모두에서 감소를 보였다. 우선 가압 복합체의 경우는 휨강도와 휨인성 모두가 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 감소를 나타냈다.

비가압 복합체의 경우는 폐지섬유보강 시멘트 복합체가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 감소를 보인 것을 제외하고는 모두 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 감소를 나타냈다.

또한, 휨강도는 기준 복합체가 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 비해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 높은 것으로 나타났으나, 휨인성의 경우는 가압 복합체의 경우 폐지섬유보강 시멘트 복합체가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 높게 나타났으며, 비가압 복합체의 경우 기준 복합체가 99% 신뢰수준에서 통계적으로 높게 나타났다.

제 6 절 결 론

본 연구는 폐지섬유보강 시멘트 복합체 제조를 위한 최적 배합비 결정 및 배합의 특성과 내구성능을 구명하였으며, 실험적으로 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 특성에 영향을 미칠 것으로 판단되는 세 인자(섬유혼입율, 섬유정제수준, 섬유대체수준)를 고려하여 본 실험을 실시하였으며, 이들 인자에 따른 영향을 통계적 방법으로 해석하였는데, 여수도 500의 경우 가압상태와 비가압상태 모두 순수 목질섬유 대비 20%의 섬유대체수준일 경우 고품물 대비 섬유혼입율 8 wt%에서 가장 좋은 특성을 나타냈으며, 35%와 50%의 섬유대체수준에서는 10 wt%에서 나타났다. 여수도 350의 경우에는 모든 섬유대체수준에서 고품물 대비 섬유혼입율 10 wt%에서 가장 좋은 특성을 나타냈다.

2. 섬유혼입율과 섬유대체수준에 따른 복합체의 물리·역학적 특성은 통계적으로 95% 신뢰수준에서 유의한 영향을 받았다.

3. 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 물리·역학적 특성을 바탕으로 복합체의 최적배합비를 결정하기 위해 통계적 분석방법 중 하나인 반응표면분석법을 사용하여 통계적으로 가장 경제적인 배합을 도출하였다. 그 결과 가압 복합체의 경우 섬유혼입율 9 wt%와 섬유대체수준 22%, 비가압 복합체의 경우는 섬유혼입율 9 wt%와 섬유대체수준 35%에서 결정되었다.

4. 수분민감성 시험에서 기건 조건에서 습윤조건으로의 함수율 증가는 기준

복합체(순수천연섬유보강 시멘트복합체)와 폐지섬유보강 시멘트 복합체 모두의 휨강도를 감소시켰다. 하지만, 휨인성은 함수율 증가에 따라 증가하였다. 또한, 측정된 휨인성치는 휨강도의 손실과 관련된 경향을 나타내지 않았다. 全乾조건인 복합체는 휨성능에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 실험결과를 토대로 변수들의 분석과 비교를 통해 폐지섬유보강 시멘트 복합체에 대한 수분영향은 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

5. 건조-습윤 반복시험은 휨강도와 휨인성 모두 95% 신뢰수준 이상에서 통계적으로 감소했다. 가압 복합체의 경우는 건조-습윤 반복의 영향으로 휨강도와 휨인성 모두에 대해 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 비가압 복합체의 경우는 기준 복합체(control)의 휨강도가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의하며, 그 밖에는 99% 신뢰수준에서 유의하였다.

6. 동결융해 반복은 휨강도의 변화에 거의 영향이 없으나, 휨인성의 감소를 발생시켰다. 본 연구에서 가압 복합체의 경우 동결융해 반복이 휨강도에 통계적으로 유의한 영향을 미치지 못했으나, 휨인성의 경우는 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 영향을 미쳤다. 비가압 복합체의 경우 휨강도와 휨인성 모두 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

7. 장기 60℃ 건조에 의한 폐지섬유보강 시멘트 복합체의 휨성능은 휨강도와 휨인성 모두 감소를 보였다. 우선 가압 복합체의 경우는 휨강도와 휨인성 모두가 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 감소를 나타냈다. 비가압 복합체의 경우는 폐지섬유보강 시멘트 복합체가 95% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 감소를 보인 것을 제외하고는 모두 99% 신뢰수준에서 통계적으로 유의한 감소를 나타냈다.

8. 이상의 세 내구성능 시험결과를 검토해보면 폐지섬유보강 시멘트 복합체는 기준 복합체에 비해 휨강도는 다소 낮지만 휨인성은 비슷하거나 오히려 더 나은 특성을 나타냄으로써 폐지섬유로의 대체 가능성을 발견하였다.

9. 본 연구에서 다룬 폐지섬유보강 시멘트 복합체는 폐지섬유를 사용함으로써 자원재활용 문제 및 환경적 문제를 해결할 수 있으며, 아울러 석면-시멘트 복합체의 대체제인 순수 목질섬유보강 시멘트 복합체에 비해 더욱 경제적인 재료로서 대체가능성을 보였다.

참 고 문 헌

- Akers, S. A. S., Crawford, D., Schultest, K., and Gerneka, D. A., "Micromechanical Studies of Fresh and Weathered Fiber Cement Composites, Part 1: Dry Testing", *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 11, No. 2, May 1989, pp. 125-131.
- Akers, S. A. S., and Garrett, G. G., "The Influence of Processing Parameters on the Strength and Toughness of Asbestos Cement Composites", *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, May, 1986, Vol. 8, No. 2, pp. 93-100.
- Akers, S. A. S., and Studinka, J. B., "Ageing Behavior of Cellulose Fiber Cement Composites in Natural Weathering and Accelerated Tests", *The International Journal of Cement Composites and Light Weight Concrete*, Vol. 11, No. 2, May 1989, pp. 93-97.
- Andonian, R., Mai, Y. W. and Cotterell, B., "Strength and Fracture Properties of Cellulose Fiber Reinforced Cement Composites," *The International Journal of Cement Composites*, Vol. 1, No. 4, Dec. 1979, pp. 151-158
- Bentur, A. and Akers, S. A. S., "The Microstructure and Ageing of Cellulose Fiber Reinforced Cement Composites Cured in a Normal Environment", *The International Journal of Cement Composites and Light Weight Concrete*, Vol. 11, No. 2, May, 1989, pp. 99-109.
- Bentur, A. and Akers, S. A. S., "The Microstructure and Ageing of Cellulose Fiber Reinforced Autoclaved Cement Composites Cured

- in a Normal Environment”, *The International Journal of Cement Composites and Light Weight Concrete*, Vol. 11, No. 2, May, 1989, pp. 111-115.
- Bentur, A. and Mindess, S., “Fiber Reinforced Cementitious Composites”, Elsevier Science Publishers Ltd, 1990, pp. 1-11
- Coutts, R. S. P., “Autoclaved Beaten Wood Fiber Reinforced Cement Composites,” *Composites*, Vol. 15, No. 2, Apr. 1984, pp. 139-143
- Coutts, R. S. P., “Fiber-Matrix Interface in Air-Cured Wood-Pulp Fiber Cement Composites”, *Journal of Materials Science Letters* Vol. 6, 1987, pp. 140-142.
- Coutts, R. S. P., “High Yield Wood Pulps as Reinforcement for Cement Products”, *Appita*, Vol. 39, No. 1, January, 1986, pp. 31-35.
- Coutts, R. S. P., “Sticks and Stones,” *Forest Products Newsletter*, (CSIRO Division of Chemical and Wood Technology (Australia), Vol. 2, No. 1, Jan. 1988, pp 1-4
- Coutts, R. S. P., “Wastepaper fiber in cement products”, *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 11, No. 3, August. 1989, pp 143-147
- Coutts, R. S. P., “Wood Fibers in Inorganic Matrices”, *Chemistry in Australia*, Vol. 50, No. 5, May, 1983, pp. 143-148.
- Coutts, R. S. P., and Campbell, M. D., “Coupling Agents In Wood Fiber Reinforced Cement Composites”, *Composites*, Vol. 10, No. 4, Cot. 1979, pp. 228-232.
- Coutts, R. S. P. and Kightly, P., “Binding in Wood Fiber-Cement Composites”, *Journal of Materials Science*, Vol. 19, 1984, pp. 3355-3359.
- Coutts, R. S. P., and Kightly, P., “Microstructure of Autoclaved Refined

- Wood-Fiber Cement Mortars”, *Journal of Materials Science*, Vol. 17, 1982, pp. 1801-1806.
- Coutts, R. S. P. and Michell, A. S., “Wood Pulp Fiber-Cement Composites”, *Journal of Applied Polymer Science: Applied Polymer Symposium 37*, John Wiley & Sons, Inc., 1983, pp. 829-844.
- Coutts, R. S. P., and Ridikas, V., “Refined Wood Fiber-Cement Products”, *Appita*, Vol. 35, No. 5, March 1981, pp. 395-400.
- Coutts, R. S. P., and Warden, P. G., “Effect of Compaction on the Properties of Air-Cured Wood Fiber Reinforced Cement”, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 12, 1990, pp. 151-156.
- Davis, G. W., Campbell, M. D., and Coutts, R. S. P., “A S.E.M Study of Wood Fiber Reinforced Cement Composites”, *Holzforschung*(Berlin), Vol. 35, 1981, pp. 201-204.
- Gram, H. E., “Durability of Natural Fibers in Concrete”, *Swedish Cement and Concrete Research Institute*, Stockholm, 1983, pp. 255.
- Gram, H. E., “Durability Studies of Natural Organic Fibers in Concrete, Mortar or Cement”, 3rd International Symposium on Developments in Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium FRC, July, 1986.
- Gram, H. E. and Nimityongskul, P., “Durability of Natural Fibers in Cement-based Roofing Sheets”, *Journal of Ferrocement*, Vol. 17, No. 4, October, 1987, pp. 321-327.
- Hamed, M., and Campbell, A. G., “Wood-Cement Chemical Relationships”, *Forest Products Research Society*, 1989, pp.43-47.
- Harper, S., “Developing Asbestos-Free Calcium Silicate Building Boards”, *Composites*, Apr., 1982, pp. 123-128.
- Hiragima, M., Kago, M., Kobayashi, Y. and Matsuo, R. “Reserch on

- Manufacture of Pulp Cement Board Using Recovered Pulp From Municipal Solid Waste for Reinforcement(Part II): Batchwise Formation of Pulp Cement Boards”, *Japan Tappi*, Vol. 36, No. 5, May, 1982, pp. 557-564.
- Klimesch, D. S. and Ray, A., “Autoclaved Cement-Quartz Pastes with Metakaolin Additions”, *Advanced Cement Based Material*, 1998, pp. 109-118.
- Kocurek, M. J. and Stevens, C. F. B., “Pulp and Paper Manufacture, Vol. 1: Properties of Fibrous Raw Materials and Their Preparation for Pulping”, *Joint Textbook Committee of the Paper Industry*, Atlanta, Georgia, 1983, pp. 1-54.
- Lin, X., Silsbee, M. R., and Roy, D. M., “Improvements in the Durability of Cellulose Reinforced Cementitious Composites”, *Proceedings of the Materials Research Society’s Symposium on Mechanisms of Chemical Degradation of Cement-based Systems*, Boston, Nov., 1995, pp. 106-113.
- Mansur, M. A. and Aziz, M. A., “A Study of Jute Fiber Reinforced Cement Composites”, *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 4, No. 2, 1982, pp. 75-82.
- Michell, A. J., “Composites of Commercial Wood Pulp Fibers and Cement”, *Appita*, Vol. 33, No. 6, May, 1980, pp. 461-463.
- Michell, A. J., and Freischmidt, G., “Effect of Fiber Curl on the Properties of Wood Pulp Fiber-Cement and Silica Sheets”, *Journal of Materials Science*, Vol 25, 1990, pp. 5225-5230.
- Mindess, S., and Bentur, A., “Technical Notes: The Fracture of Wood Fiber Reinforced Cement”, *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 4, No. 4, 1982, pp.

245-249.

Morrissey, F. E., Coutts, R. S. P. and Grossman, P. U. A., "Bond between Cellulose Fibers and Cement," International Journal of Cement Composites and Light Weight Concrete, Vol. 7, 198, pp. 73-80. Concrete.

New-A Wood-Fiber Cement Building Board, CSIRO Industrial Research News 146, Australia, May 1981, pp. 1-4

Page, D. H., El-Hosseiny, F., and Winkler, K., "Behavior of Single Wood Fiber Under Axial Tensile Strain", Nature, Vol. 229, Jan. 1971, pp. 252-253.

Pedersen, N., "Commercial Development of Alternatives To Asbestos Sheet Products Based On Short Fibers", Fibrous Concrete, Proceedings of the Symposium on Fibrous Concrete Held in London on 16th April 1980, The Concrete Society, Concrete International 1980, The Construction Press, Lancaster, London, New York, pp. 189-193.

Pririe, B. J., Glasser, F. P., Schmitt-Henco, C., and Akers, S. A. S., "Durability Studies and Characterization of the Matrix and Fiber-Cement Interface of Asbestos-Free Fiber-Cement Products", Cement and Concrete Composites, Vol. 12, 1990, pp. 233-244.

Radjy, F. F., Sellevold, E. J., Moell, S. M., and Danielssen, T. "Use of Microsilica Additives in Asbestos Free Fiber Reinforced Cement", Third International Symposium on Developments in Fiber Reinforced Cement and Concrete, Vol. 1, Jul. 1986, pp 13-17.

Sahani, C. J. and Wilson, W. K., "Preservation of Libraries and Archives", American Scientist, Vol. 75, No. 3, May-June, pp. 240- 251.

Sharman, W. R., "Durability of Fiber-Concrete Sheet Cladding", New

- Zealand Concrete Construction, Aug. 1983, pp. 3-7.
- Sharman, W. R., and Vautier, B. P., "Accelerated Durability Testing of Autoclaved Wood-Fiber-Reinforced Cement-Sheet Composites", Durability of Building Materials, Vol. 3, 1986, pp.255-275.
- Simatupang, M. H., and Lange, H., "Lignocellulosic and Plastic Fibers for Manufacturing of Fiber Cement Boards", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 9, No. 2, May, 1987, pp. 109-112.
- Sinha, U. N., Dutta, S. N., Chaliha, B. P., and Iyengar, M. S., "Possibilities of Replacing Asbestos in Asbestos Cement Sheets by Cellulose Pulp", Indian Concrete Journal, Aug. 1975, pp. 228-232.
- Sorfa, P., "Properties of Wood-Cement Composites", Journal of Applied Polymer Science: Applied Polymer Symposium, Vol 40, 1984, pp. 209-216.
- Soroushian, P., "Moisture Effects on dimensional Stability, Short-term Engineering Properties and Long-term Performance of Wood fiber Reinforced Cement Composites", Advanced Composites, 1992, pp. 74-77.
- Soroushian, P. and Marikunte, S., "Reinforcement of Cement-Based Materials with Cellulose Fibers" Thin Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement. America Concrete Institute. Publication SP-124 : pp. 99-124
- Soroushian, P., and Marikunte S., "Statistical Evaluation of Long-Term Durability Characteristics of Cellulose Fiber Reinforced Cement Composites", ACI Materials Journal, V. 91, No. 6, November-December 1994, pp. 607-616.
- Studinka, J. B., "Asbestos Substitution in the Fiber Cement Industry",

- The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 11, No. 2, May, 1989, pp. 73-78.
- Suchsland, O. and Woodson, G. E., "Fiberboard Manufacturing Practices In the United States", United States Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook, No. 640, 1986, pp. 13-87.
- Tait, R. B. and Akers, S. A. S., "Micromechanical Studies of Fresh and Weathered Fiber Cement Composites, Part 2: Wet Testing", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 11, No. 2, May, 1989, pp. 125-131.
- TAPPI 227, Freeness of Pulp, Tappi Standards, Technical Association of Pulp and Paper Industry, 1958.
- Termonia, Y., "Tensile Strength of Discontinuous Fiber-Reinforced Composites", Int. Conf. on Micromechanics of Failure of Quasi-Brittle Materials, June, 1990, pp. 315-322.
- Thomas, C. O., Thomas, R. C. and Hover, K. C., "Wastepaper Fibers in Cementitious Composites", Journal of Environmental Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 113, No. 1, February, 1987, pp. 16-31.
- Vinson, K. D., and Daniel, J. I., "Specialty Cellulose Fibers for Cement Reinforcement," Thin-Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement, SP-124, American Concrete Institute, Detroit, 1990, pp. 1-18

제 6 장 용융형 목질·플라스틱 복합소재 개발

제 1 절 서 설

제 1 항 생활 폐기물의 재활용

급변하는 과학·기술의 발달로 인해 산업화 이후 인류는 보다 풍요로운 삶을 영위하고 있다. 그러나 이러한 발전은 현재에 이르러 환경파괴라는 새로운 문제를 안고 있다. 특히, 세계 제2차 대전 이후 산업의 발전에 따라 파생된 플라스틱을 포함한 인공 물질이 환경을 오염시켜 세계적으로 큰 사회문제가 되고 있다.

플라스틱은 강도, 내수성, 투명성, 화학안정성, 전기·열적 특성 등으로 포장재료, 일반잡화 등의 짧은 사용연한을 갖는 소비분야 및 자동차, 가전, 유통, 공업부품 등의 공업분야에 널리 사용되고 있다. 국내의 경우 1992년 116만 3천 톤 규모로 플라스틱의 총 생산량이 급증하고 있고 연평균 증가율이 15%에 달하고 있다(Table 6-1).

또한 생활수준이 향상되고 국민소득이 높아짐에 따라 발생하는 폐기물이 급증하고 있으며, “그린라운드(GR)”와 같은 각종 국제 환경 규제에 의해 폐기물의 처리는 금후 가장 중요한 산업이 될 것이다.

폐플라스틱의 처리방법으로는 다른 폐기물과 같이 매립, 소각, 해양투기 및 회수, 재활용 등이 있다. 그러나 매립에 의한 처리방법은 환경오염 및 지역주민의 기피 등으로 매립지 확보에 문제가 있고 분해가 용이하지 않으므로 토양오염의 문제를 안고 있다. 소각이나 해양투기 또한 심각한 대기오염과 환경오염을 일으킨다.

Table 6-1. Quantity of domestic waste-plastics (unit : MT, %)

Year	Resin	LDPE	HDPE	PP	PVC	PS	ABS	Total
	1983	58,588	19,887	35,240	49,049	10,397	2,237	175,396
1984	73,702	26,881	51,802	57,841	14,444	3,767	228,437	
1985	103,249	35,846	75,057	78,173	20,969	5,548	318,842	
1986	127,242	51,144	95,172	93,620	24,914	7,849	399,941	
1987	147,228	71,303	122,481	104,406	29,567	10,931	485,916	
1988	75,794	90,462	144,789	176,013	64,051	12,653	563,762	
1989	210,715	115,811	177,617	191,473	64,303	15,028	774,947	
1990	242,155	147,787	215,099	182,317	67,398	19,707	872,463	
1991	272,771	179,585	253,598	186,036	79,920	25,917	997,827	
1992	319,782	218,439	304,232	197,529	90,087	33,684	1,163,753	
IPY	87/83	25.9	37.6	36.5	20.8	29.9	48.7	29.0
	92/88	16.1	24.7	20.4	2.9	8.9	27.8	15.1

* IPY : Increasing rate per year

결론적으로 가장 좋은 처리방법은 폐플라스틱의 재활용으로서 재생 플라스틱 형태, 즉 자재로서의 재활용이 가장 좋은 방법이라 할 수 있다. 그러나 열가소성 플라스틱의 경우 재활용 공정을 거침으로서 초기에 지니고 있던 물성이 손실되는 경우가 많은데, 이러한 경우 유기·무기의 충전재를 사용한 복합재의 응용이 필수적이라 할 수 있다.

최근 이러한 충전재로서 목질섬유에 대한 관심이 고조되고 있다. 이것은 목질 재료가 가지는 싼 가격과 분해성에 기인한다. 목질은 생태계의 조화를 유지하면서 영속적으로 이용이 가능한 바이오매스자원이며, 이 목질 바이오매스자원을 생산, 이용하는 것 또한 환경 친화적이라 할 수 있다.

그리고 이러한 목재뿐만 아니라 각종 폐기물을 이용할 수 있는 목질보드공업 또는 목질복합재료공업은 가장 미래지향적인 환경산업이 될 수 있을 것이

며, 우리 나라의 임업 및 임산업이 침체의 늪에서 벗어나 경쟁력 있는 산업으로 육성되기 위해서는 이와 같은 목질복합재료의 개발에 의한 신수요 창출로 그 활로를 열어갈 수 있는 계기가 될 수도 있을 것이다.

더불어 목재의 가격 상승과 원료 확보의 어려움, 그리고 국제적인 원목 공급의 감소로 인해 이미 폐자재의 이용은 관심의 대상이고 활발한 연구를 통해 많은 목질 제품이 개발되었고, 상업화가 이루어진 제품도 다양하다.

폐기물 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 또한 손쉽게 이용할 수 있는 대상은 생활폐기물(municipal solid waste, MSW)인데, 우리나라에서 발생하는 전체 생활폐기물 중에서 종이류가 21.5%, 비닐 또는 플라스틱 류가 5.0%, 그리고 목재류가 4.2% 정도 된다고 보고되어 있다.

목재 및 종이류 등의 가용 목질폐기물이 25.7%나 되며, 이들은 플라스틱 폐기물과 함께 복합재의 원료로 이용될 수 있다.

본 연구에서는 종래의 열경화성의 목질보드가 아닌 열성형이 가능한 복합재에 대한 연구로서, 국내산 잣나무 목분과 폴리프로필렌을 이용한 용융형 복합재를 개발코자하며, 실험실용 단축 압출기를 이용한 최적의 혼련조건과 기초 물성을 확보하고, maleated PP를 이용하여 계면에서의 접착력을 향상시키기 위한 내용을 다루고 있다.

나아가, 폐목질계와 폐플라스틱계의 복합재 개발에 응용함으로써, 재활용과 열성형성 복합재 개발을 동시에 만족시키고자 한다.

제 2 항 목질 · 플라스틱 복합재

목질 복합재는 입자크기(particle size)에 따라 크게 세 가지 형태로 나누어 지는데, 합판이나 단판적층재(LVL, laminated veneer lumber)와 같은 단판根幹(veneer-based) 복합재와 웨이퍼보드, 파티클보드나 시멘트보드와 같은 파

티클 근간 복합재, 그리고 중밀도섬유판(MDF, medium-density fiberboard)과 경질섬유판 등의 섬유 근간 복합재로 구분한다. 이런 복합재는 요소수지와 같은 열경화성 수지를 접착제로 사용하여 제조하며, 판상 형태의 제품으로 가구나 건축내장재로 사용되고 있다.

국내의 경우 합판 등과 같은 단판구성형태의 복합재는 사용량이 줄어들고 있고, particle board와 MDF 등의 복합재는 1995년의 공급량이 547,180m³와 542,904m³로 꾸준히 상승하여, 1991년에 비해 약 3배 가량 증가하였다(Table 6-2).

Table 6-2. Production of wood composites unit: m³

Year	Plywood	Hardboard	Particleboard	MDF
1991	1,134,360	50,885	155,095	241,944
1992	947,553	48,216	275,727	305,809
1993	897,903	138,218	435,212	268,442
1994	886,008	21,445	524,025	484,190
1995	974,237	23,970	548,195	590,087

그리고, 각종 수지 주입제나 강화목, 목재와 합성수지로 구성된 모든 복합재를 통상 WPC(wood · plastic composite, wood plastic combination, wood polymer composite)라 하며, 이러한 목재 · 플라스틱 복합재는 목재에 플라스틱의 성질을 부여하여 목재의 특색을 살리면서 결점을 개량하기 위한 복합재료이다.

한편, 최근에는 위와 같은 열경화성 수지를 사용하지 않고 쥘이나 섬유상의 열가소성 폴리머와 용융 블렌딩 공정으로 혼합시킨 열성형성 복합재가 활발히 연구 개발되고 있는데, 용융가공에 따른 다양한 형태의 소재를 성형할 수 있어 건축 내장재와 자동차 내장의 용도로 사용되고 있고, 부피는 크

고 가격이 싼 용도인 포장재, 그리고 운반용기 등으로 개발되고 있다.

용융 블렌딩 공정에서 목재는 충전재의 역할로서 목분(wood flour) 형태로 열가소성 수지와 혼합하고 있다. 최근에는 분말상 및 섬유상 목질에 의한 충전재와 보강재의 역할을 수행하게끔 하는 연구에 관심이 집중되고 있으며, 현재 상업적인 제품에 사용되는 혼합기로는 이축 압출기나 K-mixer와 같은 내부 혼합기를 이용하고 있다.

또한 용융혼련 공정은 높은 생산성을 가지며, 압출·사출과 같은 간단한 가공 기술로 판형 이외의 다양한 형상의 성형품을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

목재폐기물의 재활용이 가장 활발한 일본의 경우 이미 93년 EIN Engineering이 목분과 소량의 플라스틱을 용융 블렌딩 하여 「Super-Wood」라는 상품명의 소재를 개발하는데 성공한 후 현재 건축 폐자재, 가로수의 剪枝나무 및 제재공장에서 발생하는 나무쓰레기, 대패밥 등을 미분쇄한 후, 재생플라스틱(농업용 plastic film, bumper, PP band 등)과 고밀도로 용융 혼합한 후 특수한 성형법을 사용하며 목재·플라스틱 복합재 성형기술을 개발하는데 성공하였다.

우리 나라의 경우 98년 폐비닐과 톱밥을 이용해 목재 대용품을 제조할 수 있는 기술이 국내 처음으로 개발되었고(광주과학기술원 신소재공학과), 국내의 한 중소기업이 일본의 EIN Engineering이 가진 기술특허를 공유하고 있는 EIN Tech.로부터 원천기술을 이전 받아 복합재를 제조하는 데 성공하였으나 수입 목분의 사용에 따른 고비용과 낮은 생산성으로 인해 대량생산에 어려움을 안고 있다.

용융형 목질·플라스틱 복합재에 관한 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. 열가소성 수지에 목질 30~40%를 첨가한 복합재의 탄성률과 강도는 증가하지만 충격에너지, 신장률 그리고 최대 하중에서의 에너지 등이 감소하는 일

반적인 현상을 나타낸다고 보고되고 있다.

한편, 극성인 목재와 비극성인 플라스틱 사이의 접착력을 조장하기 위해 결합제를 첨가하거나 가교를 통해 결합력을 높여 주기도 한다. 여기에 주로 사용되는 결합제로 maleated polypropylene을 첨가하거나 섬유에 유화된 maleated polypropylene을 직접 처리함으로써 복합재의 기계적 물성을 다소 증가시킬 수 있으며, 더 높은 분자량의 maleated polypropylene은 복합재의 강도와 에너지 흡수, 그리고 노치를 가하지 않은(unnotched) 충격 거동에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다.

그 외에도 두 재료의 계면에서의 극성차이로 인한 상용성의 결합을 극복하기 위한 많은 연구가 보고되고 있다. 또한, 복합재의 기계적 물성에서 인장 강도는 증가하는 반면 충격 강도는 감소하게 되는데 이러한 문제점을 보완하기 위해 고강도 폴리프로필렌(high impact PP)을 사용함으로써 충격 강도를 개선시킨 연구 결과가 알려져 있다.

제 2 절 재료 및 방법

제 1 항 실험재료

1. 목질재료

일반적으로 FRP와 같은 복합재에 보강재로 투입되는 재료는 섬유 형태를 가지는 것이 높은 강도를 나타낼 수 있다. 목질계 재료는 목섬유를 함유하고 있으나 완전한 섬유 형태를 추출해 내기 위해서는 여러 공정을 거쳐야만 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 복합재는 저렴한 가격의 목재 대용품이므로 순수한 목섬유를 가지고 복합재를 제조할 수는 없다.

따라서 어떠한 2차 공정도 거치지 않은 목분 자체를 원료로 삼는다. 목분을 다시 분류하면 목재 재단시 발생하는 톱밥과 같은 30mesh 이하의 거친 목분과, 이를 다시 분쇄기로 재분쇄한 30~100mesh의 목분, 그리고 목재의 표면연마 공정시 발생하는 분진(dust)을 포집한 100mesh 이상의 미세 목분으로 나눌 수 있다.

현재 해외에서 시판되고 있는 외관이 뛰어난 목질·플라스틱 복합재를 위해서는 100 mesh 정도의 목분이 필요하나 이 정도의 분쇄를 위해서는 많은 비용이 들어 복합재의 제조단가를 천연목재 이하로 낮추기 어렵다는 문제를 안고 있는 실정이다. 본 연구에서는 위의 세 종류의 목분을 대상으로 실험하여 공정성과 물성을 평가하였다.

가. 잣나무 목분

본 연구에서 사용된 주재료는 국내산 잣나무의 톱밥을 분쇄기로 재분쇄한 것으로 임업연구원에서 제공하였다. 입자 크기에 따른 변화를 살펴보기 위해 이 목분을 체를 이용해 크기별로 선별하여 사용하였다.

나. 중밀도섬유판(MDF) 연삭 분말

폐자재의 활용을 검토하기 위해 중밀도섬유판 제조시 발생하는 연삭 분말을 입자크기별로 선별하여 사용하였다. 이 연삭 분말에는 접착제로 사용된 수지 등이 포함되어 있어 플라스틱 재료와의 혼련성에 영향을 줄 수 있다고 사료되었다.

다. 폐목분

가구 제조시 연삭작업 중 발생하는 폐목분을 수집하여 사용하였다. 수종은 주로 칠레산 소나무이며 그 외의 수종도 소량 포함되어 있다. 이 목분은 본 연구에 사용된 목분 중 가장 미세한 입도를 가지고 있어 미세 목분의 복합재 활용에 대해 조사할 수 있었다. 이 폐목분을 입자크기별로 다시 선별하여 실험에 사용하였다.

2. 플라스틱

일반적으로 사용되고 있는 플라스틱 복합재는 불포화폴리에스테르수지나 에폭시수지와 같은 열경화성(thermosetting) 수지에 탄소섬유나 유리섬유와 같은 보강재를 혼합한 재료를 말한다. 그러나 본 연구에서 다루는 목질·플라스틱 복합재는 일반 사출이나 압출성형에 적합한 용융형 재료이므로 열가소성(thermoplastic) 수지를 사용하여야 한다.

열가소성 수지로는 저밀도폴리에틸렌(LDPE), 고밀도폴리에틸렌(HDPE), 폴리프로필렌(PP), 폴리염화비닐(PVC) 및 폴리스티렌(PS) 등이 5대 범용 수지라 하여 다량 생산·소비되고 있다. 따라서 본 연구에서는 위의 수지들을 재료로 하여 목질과의 복합재를 제조하는 연구를 했다. 기초조사와 기존의 연구결과를 볼 때 위의 수지 중 폴리프로필렌이 가장 적합한 수지로 사료되며 폴리스티렌의 경우 가공 온도가 높아 열에 약한 목질과의 복합화에 어려움이

있어 실험에서 제외시켰다.

가. 폴리프로필렌(PP)

폴리프로필렌은 $-[-CH_2-CH(CH_3)-]_n-$ 의 구조식을 갖는 고분자로서 가격이 저렴하고 가공하기가 쉬워 생활용품의 성형에 널리 쓰이고 있으며, 필름으로 제조할 경우 매우 얇은 필름을 성형할 수 있어 콘덴서 소자를 만드는 공업적인 용도로도 사용이 되고 있다. 재용융 공정을 이용한 폐자재 재활용에도 큰 어려움이 없으며 소각시 유해가스의 배출도 적어 널리 쓰이고 있는 플라스틱 재료이다.

목질재료와의 복합화를 감안할 때, 화학구조 중 극성기가 전혀 없는 전형적인 소수성 재료이므로 친수성을 갖는 목질과의 혼합시 분산이 어렵고 계면에서의 결합력이 떨어진다는 문제점을 갖고 있지만 가공 온도가 비교적 낮아 열분해온도가 낮은 목질과의 혼련이 용이하고 목재를 대체할 수 있는 물성을 구현할 수 있다는 점에서 가장 적합한 수지로 생각된다. 현재 해외에서 생산되고 있는 목질·플라스틱 복합재와 국내의 한 중소기업이 기술 도입하여 시험제조 중인 복합재는 모두 폴리프로필렌을 사용하고 있으며 본 연구에서도 가장 많은 실험을 진행하였다.

본 실험에서는 (주)SK화학에서 생산하는 H900F(MI : 0.5 g/10min), H730F(MI : 3.5g/10min), H360F(MI : 12g/10min), H380Y(MI : 25g/10min) 등의 Homopolymer를 사용하여 폴리프로필렌의 흐름특성(용융지수, MI)에 따른 혼련성과 물성을 조사하였으며, 복합재의 충격 물성을 향상시키기 위해 Impact copolymer인 B901T(MI : 0.5g/10min)도 사용하였다.

한편 폐자재의 활용을 검토하기 위해 PP 성형공장에서 발생하는 scrap을 재용융시켜 제조한 재생 폴리프로필렌의 사용도 검토하여 보았다.

나. 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)

폴리에틸렌은 $[-CH_2-CH_2-]_n-$ 의 구조식을 갖는 고분자 재료로서 압출이나 사출 성형품으로도 사용되나 주로 포장용이나 농업용 등의 필름이나 코팅재료로 많이 활용되고 있다.

폴리에틸렌 제조시 특별한 촉매(Ziegler-Natta 촉매)를 사용하여 고분자 사슬에 측쇄가 발생하는 것을 억제하여 결정화도를 높인 수지를 고밀도 폴리에틸렌이라 하는데, 저밀도 폴리에틸렌에 비해 밀도가 높으며 강도가 커서 기계적 강인한 필름의 용도로 쓰이고 있다.

한편 폴리에틸렌도 극성기가 전혀 없어 친수성의 목질과의 결합력이 문제가 되지만 폴리프로필렌에 비해 가공온도가 낮고 흐름특성이 좋아 목질의 분산에 유리할 것으로 판단되는 수지이다.

본 연구에서는 한화중합화학에서 생산하는 용융흐름지수(MI)가 6.5g/10min이고, 용융점이 136°C인 7600 grade를 사용하였다.

다. 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)

폴리에틸렌 제조시 특수한 촉매를 사용하지 않고 고압에서 중합하면 측쇄가 많아 결정화도가 낮은 저밀도 폴리에틸렌이 생산된다. 결정화도가 낮아 밀도가 낮고 기계적 물성은 상대적으로 떨어지지만 높은 투명도를 얻을 수 있어 비닐하우스 농업용 필름과 종이의 코팅재료로 널리 사용되고 있다. 유연성과 절연성이 좋아 전선 피복용으로도 쓰이고 있다.

폴리프로필렌이나 고밀도 폴리에틸렌에 비해 가공온도가 낮아 목질과의 혼련 공정이 용이하다는 장점이 있으나 재질 자체의 기계적 물성이 낮아 고강도 복합재료의 활용은 어렵다고 생각되는 수지이다.

본 실험에서는 한화중합화학에서 생산하는 MI가 6.0g/10min이고, 용융점이 106°C인 303 grade를 사용하였다.

라. 폴리염화비닐(PVC)

폴리염화비닐은 $-\text{[CH}_2\text{-CHCl-]}_n-$ 의 구조식을 갖는 고분자재료로서 건축용 바닥재(비닐장판), 농업용 필름, 전선 피복용 및 압출, 사출제품 등 폭넓은 용도로 사용되고 있다. 그러나 화학적 특성상 가공시 열분해가 쉽게 일어나 PVC용 안정제를 반드시 사용하여야 하고, 물리적 특성상 가소제의 도움이 없이는 제품으로서의 사용이 불가능한 열악한 수지이다. 보통 가소제의 양이 수지 대비 100% 까지 많이 들어가 유연한 특성을 갖는 것을 연질 PVC라 하여 필름용으로 많이 쓰이고, 가소제를 적게 투입해 강도를 비교적 높은 것을 경질 PVC라 하여 파이프 등의 압출성형에 널리 사용하고 있다. 한편 화학구조상 염소가 포함되어 있어 소각시 다이옥신과 같은 치명적인 유해가스가 발생할 수 있어 환경문제에 있어 바람직한 재료가 못되며, 각종 안정제와 가소제 등 첨가제의 다량 투입으로 위생상의 문제도 무시할 수 없는 재료이다.

그러나 전기음성도가 비교적 큰 염소가 포함되어 있어 위의 수지들보다는 목질과의 친화력이 클 것으로 생각되며, 가소제의 투입량 조절로 기계적 물성을 폭넓게 조정할 수 있는 장점을 갖고 있다.

본 실험에서는 (주)한화의 일반 압출용인 grade P-1000의 제품을 사용하였다. 가소제로는 DOP(dioctyl phthalate)를 사용하였으며, 열안정제로는 DBL(dibasic lead stearate)을 사용하였다.

3. 기타재료

폴리프로필렌과 폴리에틸렌의 소수성으로 인해 친수성인 목질과의 계면 결합력이 매우 약하므로 결합제를 투입할 필요가 있다. 결합제로는 maleic anhydride modified polypropylene(MAPP)를 사용하였는데 친수성인 anhydride 와 소수성인 PP 성분을 함께 갖고 있어 플라스틱과 목질의 계면에

서 두 성분을 결합시키는 역할을 한다. 본 실험에서는 Eastman 사의 Epolene E-43 과 G-3003 wax를 분말화하여 사용하였다.

제 2 항 실험 방법

외국에서 개발된 목질·플라스틱 복합재의 제조법을 살펴보면, 고속회전 믹서에 목질과 플라스틱을 투입하여 발생하는 마찰발열에 의해 목질의 건조와 플라스틱의 용융 혼합을 동시에 달성시킨 후, 과상의 혼합물을 적당히 분쇄하여 단축 압출기에 투입하여 성형하는 방식을 사용하고 있으며, 국내의 한 중소기업이 이 기술을 도입하여 생산을 시도하고 있다.

이러한 방식은 기존의 일반적인 압출공정을 갖고 있는 업체로서는 새로운 설비를 도입해야 하며, 또한 사용되는 목분이 100mesh 이상으로 미세하므로 목분 자체의 생산비용이 높아 목재를 대체하는 용도로서의 경제성이 현저히 떨어지는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 설비와 비교적 거친 목분을 사용하여 복합재를 제조하는 데 중점을 두어 연구하였다. 즉, 가장 널리 쓰이고 있는 단축압출기를 혼련설비로 활용할 수 있는 기술을 개발하는 데에 본 실험의 목적을 둔 것이다.

1. 실험의 개요

Fig. 6-1은 본 연구에서 복합재를 제조하여 물성을 평가하는 순서도를 나타낸 것이며 Fig. 6-2는 실험 과정의 모식도이다. 건조된 목분과 플라스틱 펠렛을 단축압출기를 통해 혼련한 후 다시 절단하여 펠렛 형태로 만든다.

이렇게 제조된 복합재 펠렛을 다시 건조한 후 사출성형기를 이용하여 물성 시험을 위한 시편을 성형한다. 제조된 시편의 인장, 충격 및 굴곡 특성을 측

정하여 물성을 평가한다.

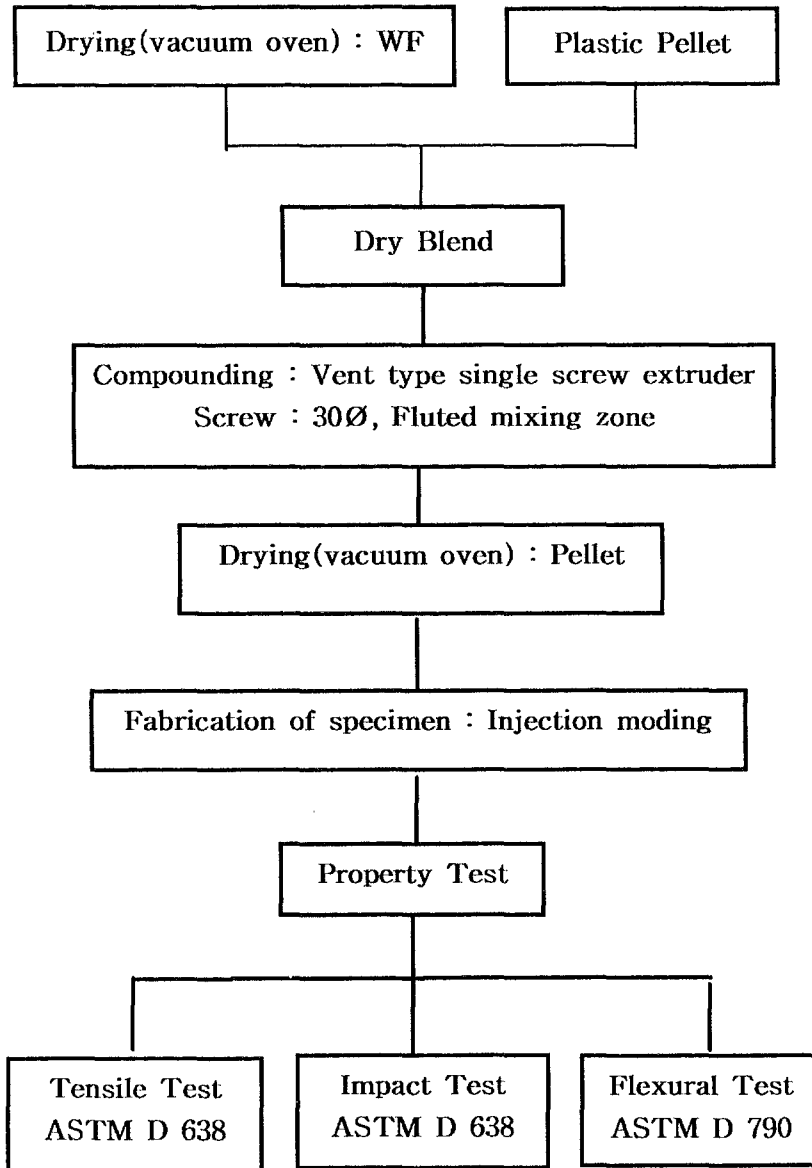


Fig. 6-1. Flow diagram of experiment.

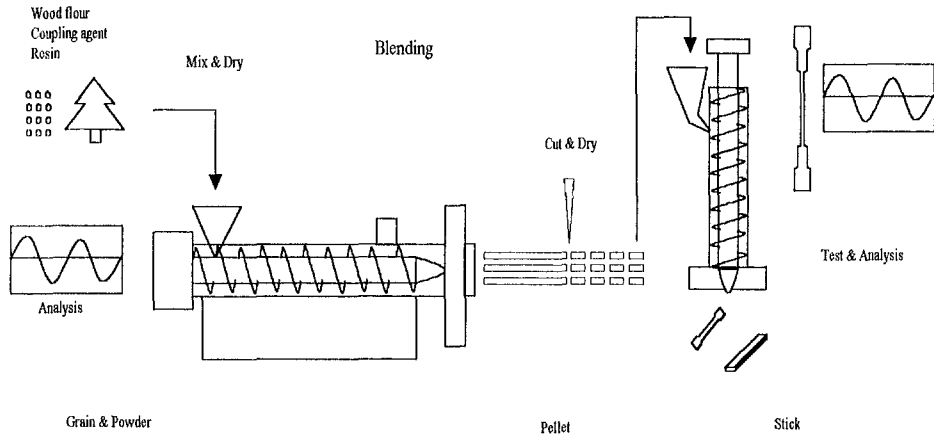


Fig. 6-2. Schematics of experiment.

2. 목분의 건조

플라스틱의 성형에 있어서 수분은 성형품의 물성에 나쁜 영향을 미친다. 특히 축합 중합으로 제조된 폴리에스테르나 나일론과 같은 고분자는 미량의 수분에 의해서도 가공 중 분해반응을 일으켜 분자량을 떨어뜨릴 수 있다. 또한 본 연구에 사용되는 폴리프로필렌이나 폴리에틸렌과 같이 수분의 영향을 크게 받지 않는 고분자라 하더라도 가공 중 발생하는 기포가 완전히 제거되지 않으면 성형품의 물성이 현저히 떨어지게 된다.

그 외에도 수분은 플라스틱 재료와 목질 재료의 산화반응에 관여하게 되어 물성 저하와 변색의 원인이 된다. 더욱이 친수성인 목질 재료는 그 특성상 많은 수분을 함유할 수 있으므로 혼련기에 투입하기 이전에 충분히 건조할 필요가 있다.

본 실험에서는 수분 측정기(moisture balance, SARTORIUS L610d)를 이용하여 목질의 수분을 측정하였는데, 진공 건조기에서 105°C에서 3시간 이상 건조시켜 함유율 3% 이하로 관리하여 혼련 공정에 투입하였다.

3. 건식혼합(dry blending)

건조된 목분과 플라스틱 재료를 stirrer를 사용하여 충분히 혼합하였다. 폴리염화비닐의 경우에는 수지 자체도 분말이므로 목분과의 혼합이 용이하지만 펠렛 상태인 폴리프로필렌이나 폴리에틸렌은 겉보기 비중의 차이가 매우 커서 균일한 혼합이 어렵다. 따라서 실제 상업적인 공정에서는 각 성분을 독립적으로 계량하여 투입할 수 있는 feeder를 활용하는 것이 바람직하다.

4. 혼련 압출

본 실험에 사용된 압출기는 $\phi 30 \times 1045$ 단축 압출기(single screw extruder)이다(Fig. 6-3). 이 압출기는 스크류(screw) 회전속도를 40rpm으로 하였을 때 40g/min 정도의 압출량을 보였다. 그리고 체류시간은 2~3분 정도였으며 복합재 제조시 2분 정도의 체류시간을 가졌다. 압출기는 1 개의 vent를 가지고 있어 용융 가공시 발생하는 휘발성 물질이 die를 통해 토출되기 전에 vent를 통해 배출되도록 하였으며 vent부 직후에 dulmage 형의 mixing 부가 있어 혼련 효과를 높일 수 있도록 되어있다. 압출부 3 곳과 die 1 곳에 barrel 온도 조절을 위한 열전대가 설치되어 있으며 screw rpm과 motor에 걸리는 부하를 측정하여 공정상황을 파악할 수 있다.

5. 사출성형에 의한 시편 제조

Fig. 6-4의 수직형 사출기를 이용하여 물성 측정용 시편을 제조하였다. 사출기의 1회 최대 사출량은 대략 200g 정도이며, 최대 사출압은 4800psi이다. 본 실험에서는 2000~2400psi의 압력을 사용하였다. barrel부 2 zone 과 nozzle 부 1곳의 온도를 조절할 수 있도록 controller가 설치되어 있다.

Fig. 6-5는 물성 측정용 시편을 성형하기 위한 금형의 도면이다

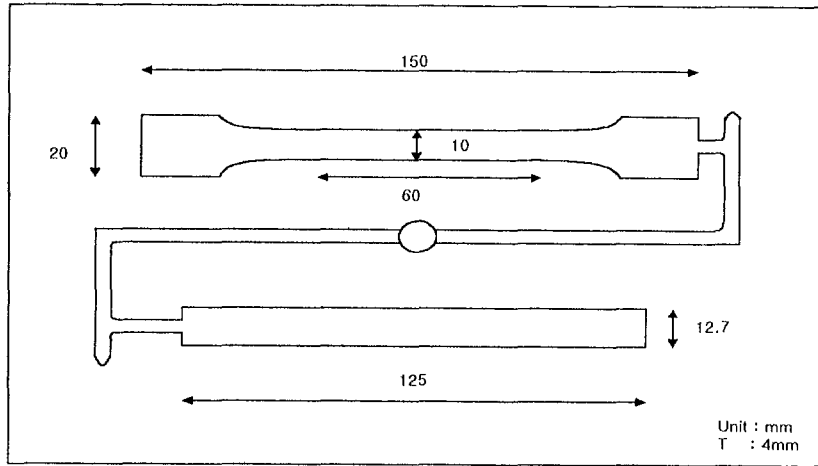


Fig. 6-5. Injection mold design.

6. 물성 측정

물성 측정용 시편은 ASTM 규정에 따라 사출성형으로 제작하였으며, 성형 후 72시간 정도 상온에서 방치한 후 물성을 측정하였다. 시편의 개수는 10개로 하여 계산은 최대·최소치를 제외한 나머지의 평균치를 데이터로 사용하였다.

인장강도(tensile strength)와 인장탄성률(tensile modulus), 인장변형률(tensile strain)은 ASTM D 638에 의해 인장시험기(Lloyd Instruments LR Series materials testing machine)를 이용하여 측정하였다. 인장속도는 50mm/min로 하였다. 충격강도(izod impact strength)는 ASTM D 256에 따라 노치(notch)를 주지 않은 시편에 대해서 측정하였다. 굴곡 탄성률(flexural modulus)과 굴곡강도(flexural strength)는 ASTM D 790에 따라 측정하였으며, 이때의 시험조건은 2mm/min로 하였고, 적용거리는 6cm로 하였다.

한편, 파단면에 대한 형태학적 조사와 분산성을 관찰하기 위해 1000배와 250배율의 전자주사현미경(SEM)을 사용하였다.

제 3 절 폴리프로필렌 복합재 (1)

제 1 항 서 언

용융혼련은 목질이나 펄프를 용융 플라스틱과 혼합하는 데 있어서 적은 경비와 높은 생산성 등의 장점을 가진 공정이다. 그리고 이러한 복합재는 압출이나 사출성형 등을 이용한 간단한 가공 기술로 쉽게 제품으로 만들 수 있다. 폴리프로필렌이나 폴리에틸렌은 높은 결정화도에 의해 목재 대응으로 할 수 있을 정도의 두께와 형상으로 성형할 때 수축이 문제가 되고 있으며 탄성률과 creep 특성도 떨어진다. 이러한 고분자 수지에 목질을 혼입한 복합재는 성형 후 수축율이 감소하며, 탄성 modulus가 증가하고 목분 함량이 증가할수록 creep resistance가 증가하는 것으로 보고되고 있어 목재 대응품으로의 용도가 기대되고 있다.

John A. Youngquist 와 George E. Myers 등은 플라스틱에 목질 30%~40%를 첨가함으로써 복합재의 탄성률과 강도는 크게 증가하지만 충격강도가 감소한다는 열가소성(thermoplastic) 복합재의 일반적인 현상을 보고했다. 충격강도는 플라스틱과 목질 계면의 낮은 결합강도와 불완전한 분산이나 목질 분해에 의해 복합재 내부에 발생하는 결함들에 큰 영향을 받으므로 적절한 첨가제나 공정의 최적화로 이를 개선해야 한다.

투입되는 목질의 형상에 대해서 살펴보면 섬유상의 목질은 보다 좋은 기계적 물성을 나타내지만 목분에 비해 가공의 어려움이 따르고, clay나 불순물 등이 포함된 경우는 분산을 어렵게 하거나 결합력을 떨어뜨린다는 보고가 있다. 그리고 친수성인 목재와 소수성인 플라스틱 사이의 相溶性(compatibility)을 높이기 위해 적당한 결합제를 사용하면 기계적 물성을 다소 증가시킬 수 있다고 보고되고 있다.

두 재료의 계면에서의 극성차이로 인한 상용성의 결함을 극복하기 위한 방법으로는, 첫 번째로 acetic anhydride, n-alkyl isocyanate계, styrene, maleic anhydride 그리고 silane계 등을 이용하여 목질을 개질하는 방법이 있고, 두 번째로는 앞에서 언급했던 MAPP와 같은 coupling agent를 계면활성제(interface-active additive)로 사용하는 것이다. 이 경우에는 polyesterimide polyol, titanate계, trichloro-s-triazine계, poly[methylene(poly phenyl isocyanate)], maleic anhydride, silane계 등이 사용된다. 마지막으로 matrix를 개질시키는 방법이 있는데 이 경우는 목질의 개질에 비해 보다 빠른 공정이며 비슷한 물성 내지 더 우수한 물성을 얻음에도 불구하고 아직까지 많은 주목을 받지 못하고 있다.

본 절에서는 폴리프로필렌을 사용한 복합재 제조를 위한 기초실험으로서 용융지수가 다른 두 가지 grade의 폴리프로필렌에 대해 압출횟수, 압출온도 등 최적 공정조건을 찾아보았다. 한편 두 가지 grade 중 하나는 impact copolymer를 사용하여 복합재의 충격강도에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 목질의 선처리가 미치는 영향에 대해 조사하여 선처리의 필요성 여부를 확인하였으며 두 가지 grade의 결합제를 시험하여 결합제의 선정과 투입량을 최적화 하였으며, 수분이 물성에 미치는 영향 등을 검토하였다.

제 2 항 실험재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용된 목질 재료는 임업연구원에서 제공한 국내산 잣나무 목분을 사용하였으며, 형태 및 성상은 일반적인 목재가공 중에 발생하는 톱밥으로 건조 및 기타 선처리를 하지 않은 상태의 목분이었다. 잣나무는 국내 조림수종 중 많은 양을 차지하는 수종이며, 가용성분이 많은 단점을 가졌다. 실험에

사용된 목분은 40~80 mesh를 선별하여 사용했다. 폴리프로필렌은 (주)유공에서 생산하는 용융지수(MI)가 0.5g/10min 와 3.5g/10min인 제품을 구입하여 사용하였으며, 몇 가지 특징을 Table 6-3에 나타냈다. 상용화제는 maleated PP인 Eastman Co.의 Epolene E-43과 G-3003 wax를 사용하였다(Table 6-4). 목분 전처리에 사용된 시약은 아세틸화 공정에 Junsei Chemical사의 무수 초산(acetic anhydride)을 촉매 없이 사용하였다.

Table 6-3. Polypropylene resin.

	Grade	Manufacturer	MI (g/10min.)
Homo-polymer	H730F	YUKONG	3.5
Impact copolymer	B901T	YUKONG	0.5

Table 6-4. Properties of coupling agents.

Grade	E-43	G-3003
Acid Number	45	8
Mn	3,900	41,500
Mw	9,100	103,500
Softening Point, °C	157	157
Viscosity, cP(mPa · s)	400 (190°C)	70,000 (190°C)

2. 실험 방법

가. 목분 전처리

본 실험의 목표는 목재 대용의 건축재료를 개발하는 것이므로 목질의 전처리 공정에 많은 비용이 들어가는 것은 바람직하지 않다. 따라서 주된 연구방향은 어떠한 처리도 하지 않은 목분 그 자체를 플라스틱과 혼련하는 공법을 개발하고자 하는 것이다.

그러나 플라스틱을 용융 혼련하기 위한 고온의 압출, 사출 공정 중 목질 내부에 포함된 저분자량의 가용성분이 분해되어 기포가 발생되거나 목섬유가

파괴되어 물성을 떨어뜨리고 변색을 일으킬 수 있다. 일반적으로 목질은 170℃부터 분해가 시작된다고 알려져 있다.

이것은 200℃가 넘는 높은 온도의 플라스틱 가공 공정에서 문제점으로 작용하는데, 기계적 물성에서 결함으로 작용하는 기포의 발생은 잔류 수분의 증발과 더불어 목분 내의 저분자량 가용성분이 분해되면서 발생하는 것이 상당량을 차지하리라 판단된다.

실험에 사용된 목분을 TGA(thermo-gravimetric analysis)로 분석해 본 결과 200~250℃를 지나면서 급격하게 분해되는 것을 알 수 있다(Fig. 6-6). 또한 압출 조건과 유사한 200℃의 등온 하에서는 2분이 경과되면 심하게 분해되는 것을 알 수 있다(Fig. 6-7). 이러한 분해현상을 저감시키기 위해서는 흐름특성이 좋아 비교적 낮은 온도에서도 성형이 가능한 플라스틱을 선정하거나 공정조건을 최대한 완화시킬 필요가 있다. 한편, 목질을 적당한 조건에서 전처리를 하여 가공온도에서 분해를 일으키는 성분을 미리 제거하는 방법을 생각해 볼 수 있는데 비용적인 문제가 따르므로 본 연구에서는 단지 비교를 위한 목적으로 전처리 실험을 실시하였다.

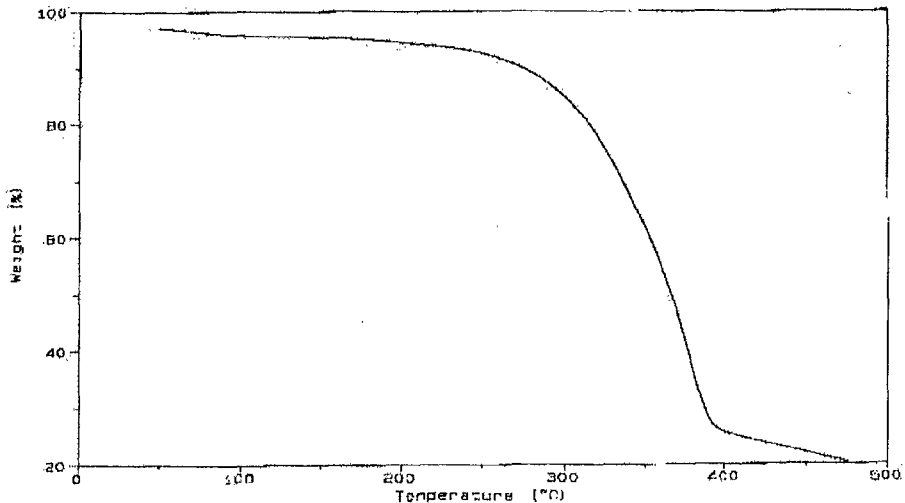


Fig. 6-6. TGA thermogram of WF in air atmosphere at a scan rate 20°C/min.

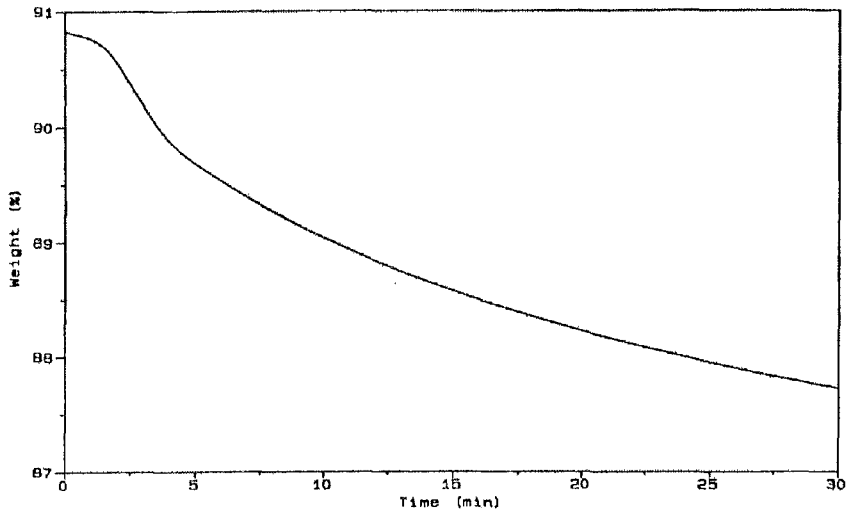


Fig. 6-7. TGA thermogram of WF in air atmosphere at 200°C (isothermal).

1) 온수처리

온수에 의해 추출되는 성분은 탄수화물, 탄닌, 당류 등이 추출된다. 목분을 증류수와 함께 반응기에서 환류시키며 3시간 동안 끓인 후 필터로 여과하고 온수로 세정하였다. 진공건조기에서 함수율 3%이하로 건조시킨 다음 혼합에 사용하였다. 건조 후 약 10%의 무게 감량을 확인할 수 있었다.

2) 알칼리처리

알칼리에 의한 추출에 의해 온수로 용출되는 물질 이외에 페놀성 수산기나 카르복실기 등의 산성 관능기를 갖는 물질, 예를 들면 폴리페놀류나 저분자 리그닌 및 수지산이나 유지(가수분해를 동반)등이 용출된다.

1% 가성소다용액 속에서 1시간 동안 끓인 후 감압 필터로 여과하고 열수, 10% 초산용액, 열수 순으로 순차 세정하였다. 진공건조기에서 함수율 3% 이하로 건조하여 혼합에 사용한다. 건조 후 약 30%의 무게 감량을 확인했다.

3) 아세틸화(acetylation)

목재는 수분에 대한 취약성으로 인해 용도에 제한을 받는데 무수초산에 의한 처리로 많은 치수 안정성이 증가하는 효과를 볼 수 있고, 목섬유 및 분말과 플레이크 등의 재료에 대한 치수안정성의 향상도 보고되고 있다. 또한 극성 그룹의 치환으로 인해 비극성인 고분자와의 결합력이 향상될 것으로 기대된다.

일반적으로 아세틸화 처리는 스테인리스스틸 용기에서 무수 초산으로 처리하는 것이 가장 많이 사용하는 방법이지만, 본 실험에서는 실험실에서 간단하게 할 수 있는 xylene/acetic anhydride(75:25wt%)용액에서 환류시키며 16 시간 동안 끓였다.

나. 용융 블렌딩

1) 시편 제조

목분의 함량에 따른 물성변화를 알아보기 위해 목분 투입량을 10wt%에서 50wt%까지 변화시켰으며, MAPP(maleic anhydride modified polypropylene)는 분말상으로 1wt%에서 15wt%까지 첨가하여 물성 변화와 계면에서의 결합 효과를 관찰하였다. 목분과 MAPP의 첨가는 두 종류의 PP에 대해 같은 조건으로 혼합하였다. 또한 각각의 처리방법에 따라 전처리한 목분을 20wt% 첨가하여 미처리 목분과 비교하였다.

용융블렌딩 공정에서 가장 문제가 되는 것은 목분의 겉보기 부피가 매우 커서 수지와 균일한 비율로의 연속투입이 어렵다는 점이다. 이를 개선하기 위해 마스터칩의 활용을 테스트하였다. 즉, 목분 50wt%를 포함한 복합재의 펠렛을 마스터칩으로 하여, 이 펠렛에 PP의 양을 조절하여 10wt%에서 40wt%까지의 복합재로 재압출하여 1회의 압출로 제조한 시편과 물성을 비교하였다.

Table 6-5. Designation of samples

Master Chip	Re-extrusion Chip
MC10	
MC20	
MC30	
MC40	
	RC10
	RC20
MC50	RC30
	RC40
	RC50
M1MC10	
M3MC10	
M5MC10	
M1MC20	
M3MC20	
M5MC20	
M1MC30	
M3MC30	
M5MC30	
M1MC40	
M3MC40	
M5MC40	
	M1RC50
	M1RC40
M1MC50	M1RC30
	M1RC20
	M1RC10
	M3RC50
	M3RC40
M3MC50	M3RC30
	M3RC20
	M3RC10
	M5RC50
	M5RC40
M5MC50	M5RC30
	M5RC20
	M5RC10

Mo : MAPP content(wt%)

MCoo : WF content of Master Chip (wt%)

RCoo : WF content of Re-extrusion Chip (wt%)

이렇게 재압출한 복합재는 압출기 체류시간이 길어진 효과를 갖기 때문에 분산성의 향상과 목질의 분해가 동시에 나타날 것으로 생각된다.

여러 가지 조건에 의하여 제조된 시편이 양이 많기 때문에 본 실험에서는 각각의 함량에 따라 기호화하여 명명했다. 서두에 'Mo'는 MAPP의 함량을 표시한 것이고, 중간에 'MCoo'는 1회 압출한 복합재의 목분 함량을 나타내며, 'RCoo'은 재압출한 복합재의 목분함량을 나타낸다. 각각의 함량에 따른 시편의 기호를 Table 6-5에 나타냈다.

2) 압출조건

압출에 사용된 온도조건은 용융지수에 따라 차이가 있는데, 용융지수가 낮은 B901T를 사용한 경우는 160~230℃에서 최적 압출조건을 찾았고 실험에서 "condition 1"로 표시하였다. 용융지수가 높은 H730F의 최적 압출조건은 140~200℃에서 찾을 수 있었다. 이때 온도조건은 "condition 2"이고, 각각의 조건에 따라 히터의 위치에 따른 온도 설정을 Table 6-6에 나타냈다.

재료의 투입은 목분의 겉보기 부피가 크기 때문에 재료의 혼합물에 대해 100g 단위의 최소량으로 나누어서 투입하였다. 압출속도는 45rpm이었으며, 이에 따른 체류시간은 2분이었다.

Table 6-6. Extrusion condition

Heater position	Condition 1(B901T)	Condition 2(H730F)
Barrel 1	160℃	140℃
Barrel 2	180℃	180℃
Barrel 3	200℃	200℃
Die	230℃	180℃

3) 사출조건

Table 6-7은 시편 사출조건이다. 온도는 압출과 마찬가지로 B901T가 "condition 1"로서 이때의 온도분포는 200~240℃였으며, H730F가 "condition 2"로 160~210℃였다. 그리고 사출압은 1000psi 와 1200psi로 주었다. 또한 보압은 사출압에서 약 3초간 가해주었다.

Table 6-7. Injection molding condition

	Position	Condition 1(B901T)	Condition 2(H730F)
Heater	Front	200℃	160℃
	Middle	220℃	180℃
	Nozzle	240℃	210℃
Injection pressure		1,000 psi	1,200 psi
Device pressure		1,200 psi	1,400 psi

4) 시험 방법

시편은 ASTM 규정에 따라 사출성형으로 제작되었으며, 성형 후 72시간 정도 상온에서 방치한 후 물성을 측정하였다.

인장강도(tensile strength)와 인장탄성률(tensile modulus), 인장변형률(tensile strain)은 ASTM D 638에 의해 인장시험기(Lloyd Instruments LR Series materials testing machine)를 이용하여 측정하였다. 인장속도는 50mm/min로 하였다. 충격강도(izod impact strength)는 ASTM D 256에 따라 노치(notch)를 주지 않은 시편에 대해서 측정하였다. 굴곡탄성률(flexural modulus)과 굴곡강도(flexural strength)는 ASTM D 790에 따라 측정하였으며, 이때의 굴곡속도는 1.5mm/min로 하였고, 적용거리는 5cm였다.

또한 파단면에 대한 형태학적 조사와 분산성을 관찰하기 위해 5000배율의 전자주사현미경(SEM)을 사용하였다.

제 3 항 목분 전처리의 효과

목분의 전처리는 압출 공정중 분해로 인해 복합재의 결합으로 작용하는 목분의 저분자량 가용성분인 리그닌, 수지산, 유지 등을 제거하여, 계면에서의 결합인 기포의 형성을 최대한 억제하고 이러한 가용성분의 분해에 의해 발생하는 변색의 영향을 최소화하기 위한 목적으로 이루어졌다.

또한 계면에서의 약한 결합력을 향상시키기 위해 결합제를 사용하지 않고 아세틸레이션을 통한 화학적인 개질로써 계면력을 향상시킬 수 있는 가능성을 조사했다. 아세틸화의 특징은 hydroxyl기가 감소하고 carbonyl기와 methyl기의 증가라고 할 수 있다.

FT-IR 분석에 의하면 아세틸화 처리의 중요한 특징으로서 다음의 세 가지 변화를 예로 들고 있다.

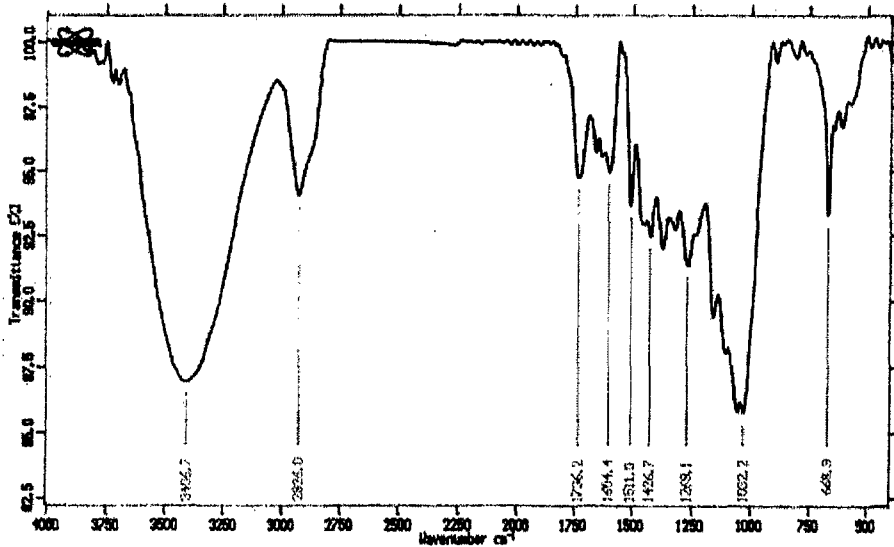


Fig. 6-8. IR spectra of untreated wood flour

그 첫째는 3200~3500 cm^{-1} 의 수산기 stretching의 감소이고, 둘째는 1735~1765 cm^{-1} 의 carbonyl stretching의 증가이며, 셋째는 1000~1245 cm^{-1} 의 C-O의 stretching의 증가이다. 그밖에 예로서 1370 cm^{-1} 의 methyl기의 stretch의 증가를 확인할 수 있다고 하였다. 본 실험에서는 Fig. 6-8과 6-9의 FT-IR 분석 결과로 언급한 특징들을 확인할 수 있었다.

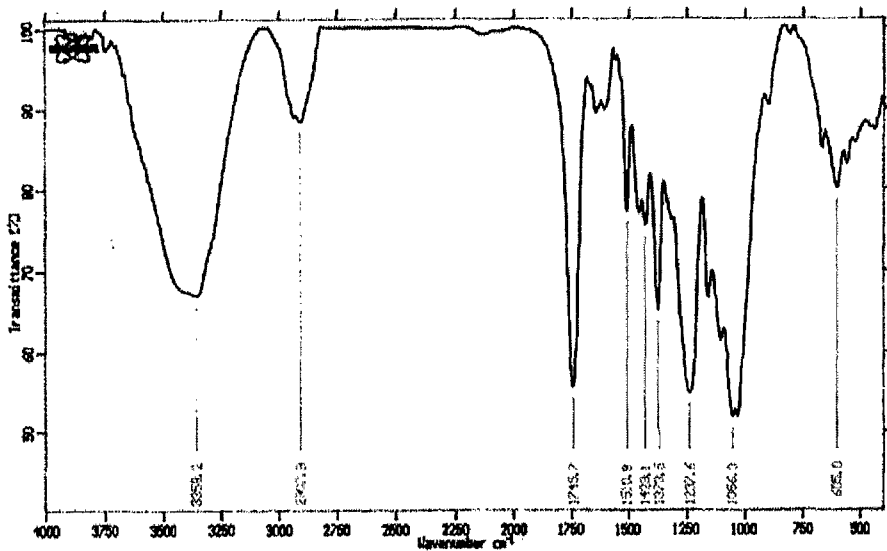


Fig. 6-9. IR spectra of acetylated wood flour

처리를 한 목분과 미처리 목분을 사용한 복합재의 기계적 물성을 비교한 결과, 인장강도는 열수처리한 경우가 가장 높은 값을 가지지만 열수에 의해 소량의 가용성분이 추출되었음에도 시편이 검게 변색되는 현상이 더욱 두드러지게 나타났다. 또한 가용성분의 추출이 가장 많은 알칼리 처리를 하는 경우 상당량의 가용성분 추출과 동시에 목섬유 자체의 파괴가 발생하고 저분자량물질의 윤택 작용이 줄어들어 가공시 분해현상이 더욱 증가되는 등의 영향

으로 인장강도가 크게 감소하였다(Fig. 6-10). 따라서 생산스케일의 처리비용까지 감안한다면 목질의 전처리는 필요치 않다는 결론을 얻을 수 있었다.

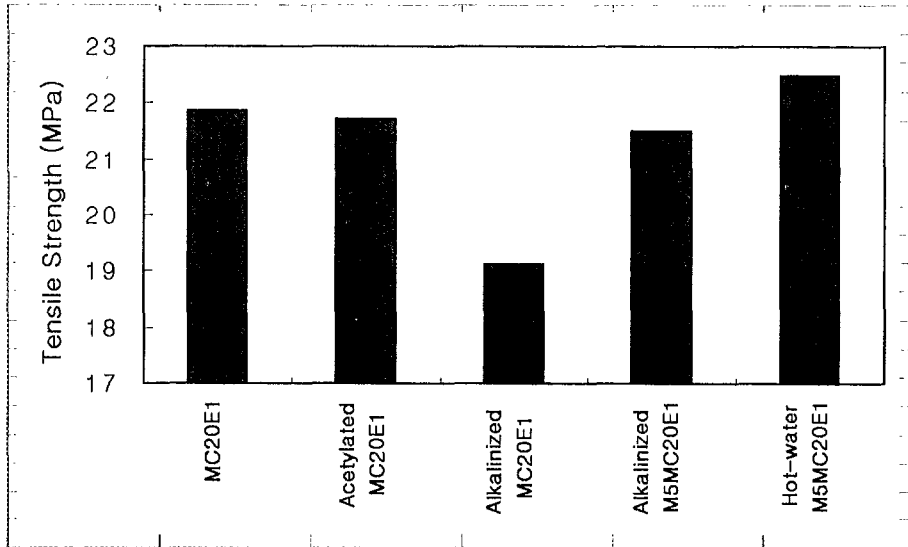


Fig. 6-10. Effect of pre-treatment of wood flour on tensile strength of WF-PP composites(B901T)

결합력을 향상시키기 위한 목분 개질의 한 방법으로 시행했던 아세틸화 처리는 예상과는 달리 물성 향상에 그다지 큰 영향을 주지 못했다. 그러나 계면 결합력의 향상을 위해서는 목분 개질을 통한 방법이 고려되어야 할 부분으로 사료된다. 향후 이 부분에 대한 연구는 계속 고려해야 할 부분이지만 상업화 등의 실용적인 면에서는 비용 문제 등의 이유로 인해 가치가 없을 것으로 판단된다. 그러나 가용성분을 추출함으로써 목분의 분해로 인해 발생하는 변색과 공극 등의 여러 가지 문제점을 개선시킬 수 있을 것으로 판단되며, 열수처리의 경우에서 볼 수 있듯이 인장강도가 증가하는 것으로 보아, 폭넓게 연구되어진다면 보다 향상된 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

제 4 항 복합제의 밀도

범용 PP의 비중은 0.9~0.91로 알려져 있고, 공극을 제외한 목질의 순비중은 1보다 크므로 복합제는 목분의 함량이 증가할수록 비중은 증가하였다.

결합제를 투입하지 않은 경우, 목분이 10wt% 포함된 복합제의 비중은 용융지수가 높은 수지인 H730F를 사용한 경우 0.911, 용융지수가 낮은 B901T를 사용했을 때는 0.901이었고, 40wt%의 목분이 첨가되었을 때는 H730F가 1.0003, B901T는 0.964로 측정되어 용융지수가 낮은 수지의 경우 비중이 작게 나타났다(Fig. 6-11).

용융지수가 낮은 B901T 수지를 사용한 경우 가공온도가 높으므로 목분의 분해가 H730F에 비해 더 심해짐으로써 이에 따른 공극의 증가가 비중이 낮아지는 원인으로 판단되었다.

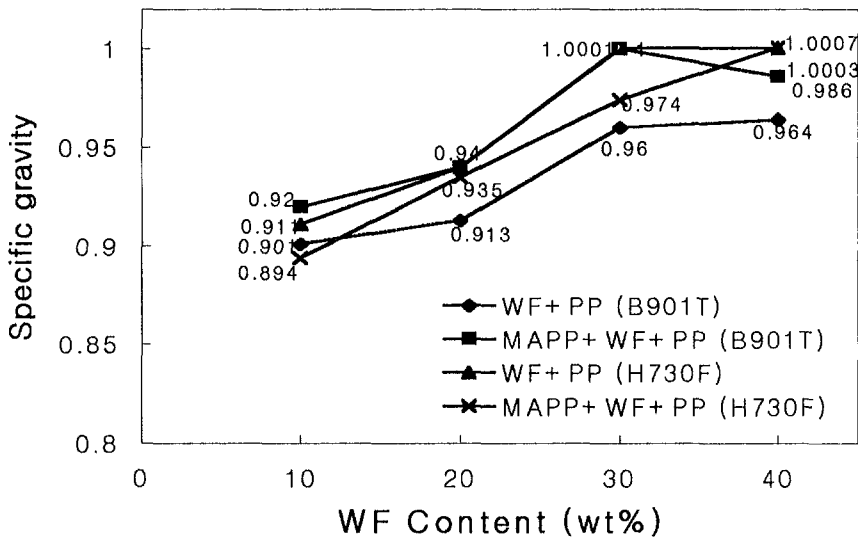


Fig. 6-11. Specific gravity of WF-PP composites.

한편 결합제가 첨가되었을 때에는 저분자량, 저점도의 MAPP가 윤활제의 역할을 함으로써 전단력에 의한 목질의 분해가 어느 정도 억제되고, 또한 계면에서의 결합력이 증가해 공극이 줄어들기 때문에 투입하지 않은 경우에 비해 비중이 증가했다. 이러한 결과에 따라 결합제를 투입할 경우 다른 기계적 물성도 향상될 것으로 예측할 수 있다.

제 5 항 기계적 물성

1. 용융지수가 높은 수지(H730F)

복합재의 基材가 H730F인 경우는 가공온도가 비교적 낮은 조건에서 혼합이 가능했으며, 가공온도가 낮아짐으로 인해 목분의 분해와 변색 현상을 현격하게 줄일 수 있었다. 그러나 Fig. 6-12와 6-13에서 볼 수 있듯이 결합제가 첨가되지 않은 경우 목분의 첨가량이 커질수록 인장탄성률은 증가하나 인장강도는 오히려 약간 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

이것은 목분이 첨가됨으로써 보강효과에 의해 탄성률이 증가하는 것으로 판단되지만, 목분과 PP 사이의 약한 결합력과 목질의 분해로 발생한 공극들의 영향으로 인장강도가 감소된 것으로 사료된다.

한편, 결합제가 첨가된 경우 탄성률이 크게 높아짐과 동시에 인장 강도 또한 목분 함량의 증가에 따라 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 시편 파단면의 SEM사진으로 확인할 수 있었는데, MAPP가 첨가되지 않은 파단면에서는 목섬유가 뿔뿔히 나간다는 매트릭스인 PP가 매끈하게 잘려진 것을 볼 수 있었다(Fig. 6-14).

그러나 MAPP가 첨가된 파단면에서는 찢겨 나간 흔적을 발견할 수 있는데 이러한 것은 MAPP가 첨가됨으로써 목분과 수지와의 계면결합력이 강해진 것에 의해 설명이 된다(Fig. 6-15).

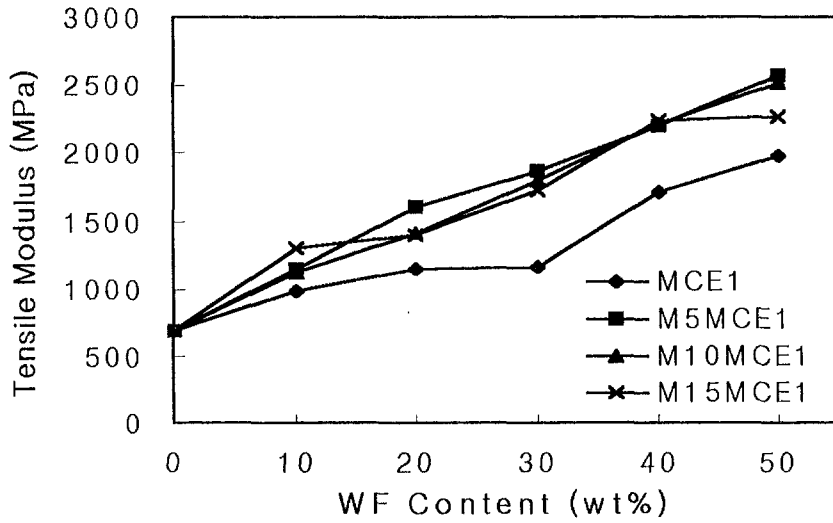


Fig. 6-12. Tensile modulus of WF-PP(H730F) composites as a function of WF concentration at different MAPP content.

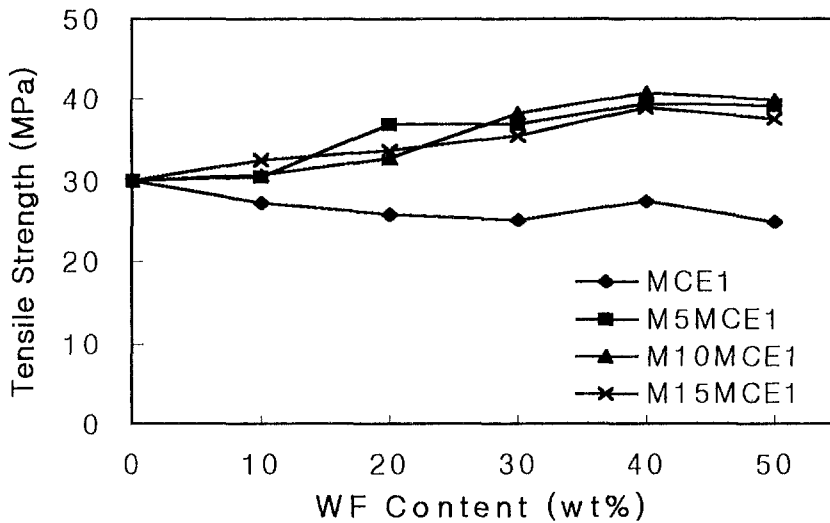


Fig. 6-13. Tensile strength of WF-PP(H730F) composites as a function of WF content at different MAPP content.

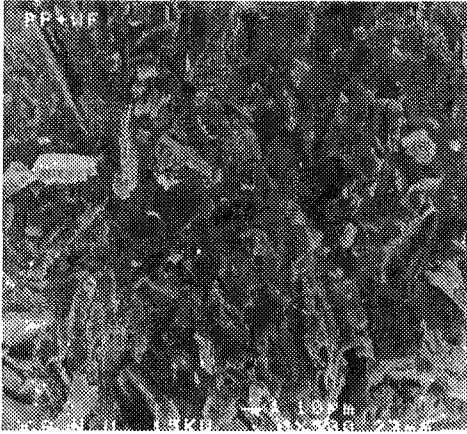


Fig. 6-14. SEM micrograph of fracture surface of WF-PP(30/70 wt%) composite. (B901T, SEM, ×500)

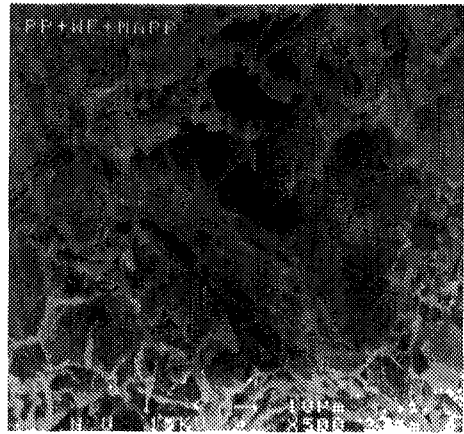


Fig. 6-15. SEM micrograph of fracture surface of WF-PP(30/70 wt%) composite with addition of 5% MAPP. (B901T, SEM, ×500)

한편 인장변형률을 살펴보면, 본질적으로 플라스틱에 충전재를 첨가하는 것은 원래의 성질에 강성(stiffness)을 증가시키기 위한 것이므로 목분이 첨가됨에 따라 인장변형률은 Fig.6-16과 같이 감소하게 된다.

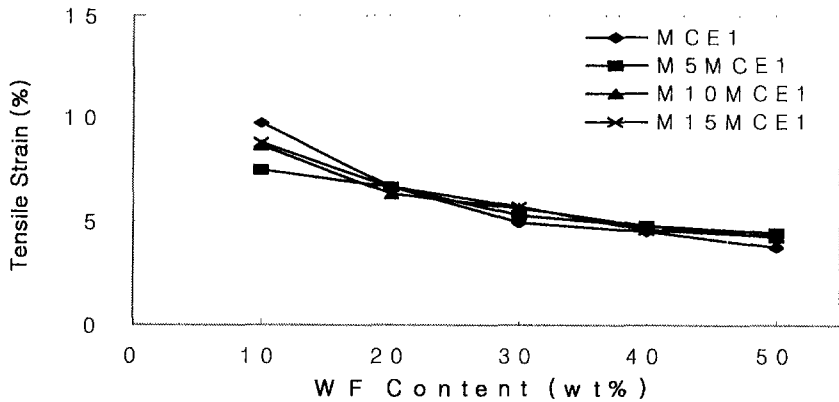


Fig. 6-16. Tensile strain of WF-PP.(H730F) composites as a function of WF concentration at different MAPP content.

Fig. 6-17~18과 같이 굴곡탄성률과 굴곡강도는 인장탄성률 및 인장강도와 유사한 경향을 보였다. 결합제인 MAPP를 15wt%까지 투입하여 보았으나 위의 물성변화에서 알 수 있듯이 5wt% 이상의 농도에서는 더 이상의 물성향상을 얻을 수 없으므로 결합제 투입량은 5wt% 이하로 설정하는 것이 바람직할 것이다.

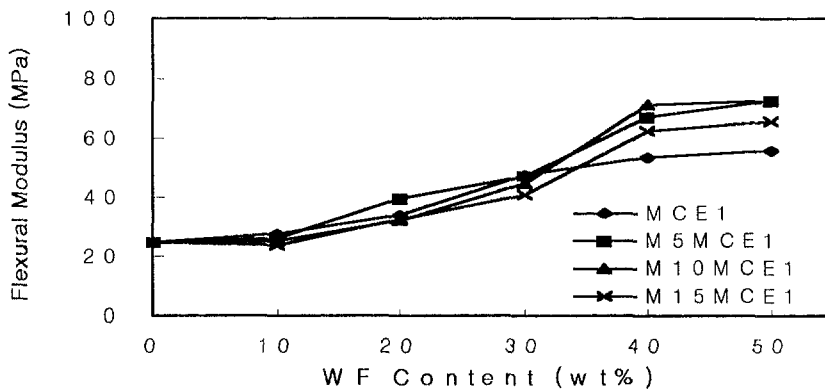


Fig. 6-17. Flexural modulus of WF-PP(H730F) composites as a function of WF content at different MAPP content.

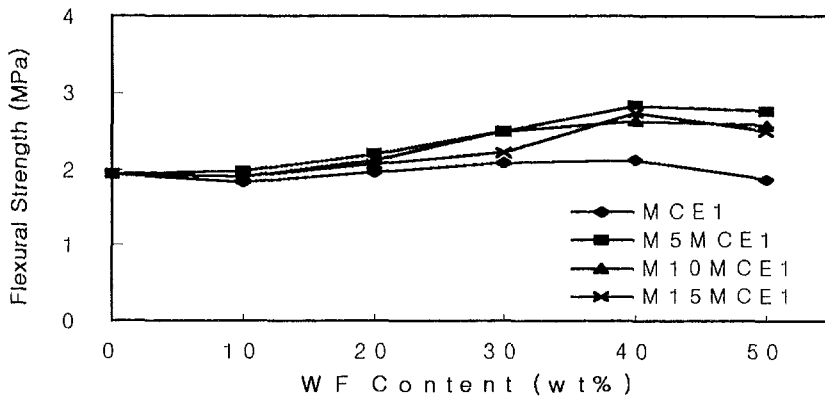


Fig. 6-18. Flexural strength of WF-PP(H730F) composites as a function of WF content at different MAPP content.

충격 강도는 Fig. 6-19에서 알 수 있듯이 결합제인 MAPP가 첨가된 경우 별다른 효과를 찾아볼 수 없었고, 목분함량이 증가함에 따라 전체적으로 감소하는 것을 확인하였다. 이것은 homo-PP로서 용융지수가 높은 수지인 H730F 자체의 충격강도가 약한 것도 하나의 원인이 되겠으나 앞에서 언급했듯이 기포의 형성 등 계면에서의 결합이 주된 영향으로 판단된다. 또한 목분이 아주 짧은 분말상이기 때문에 목분의 첨가로써 충격강도를 높이는 효과는 기대할 수 없을 것으로 생각된다.

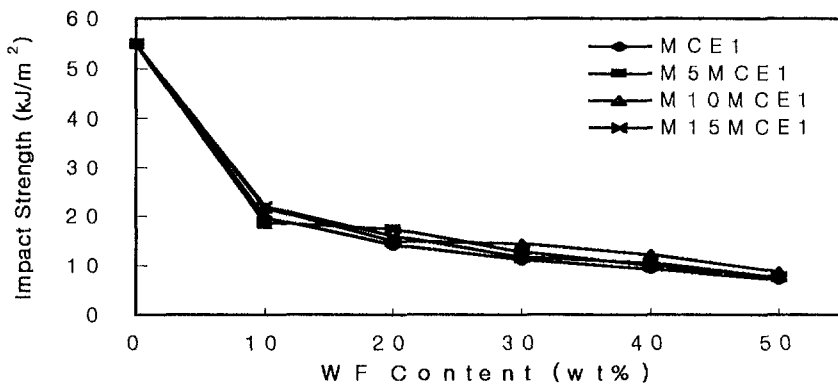


Fig. 6-19. Unnotched impact strength of WF-PP(H730F) composites as a function of WF content at different MAPP content.

2. 용융지수가 낮은 수지(B901T)

B901T수지는 H730F에 비해 상대적으로 가공온도가 높다. 높은 온도때문에 상당량의 목분이 분해되리라 생각되었고, 사출을 끝낸 시편에서도 변색 현상이 두드러지게 나타나는 것을 확인하였다. Fig. 6-20~25에 나타난 물성을 살펴보면 H730F와 마찬가지로 결합제가 첨가되지 않은 경우 목분의 양이 증가됨에 따라 인장탄성률은 증가하였고 인장강도는 감소하는 경향을 나타냈으며, 결합제인 MAPP가 5wt%까지 첨가될 경우에도 물성향상이 나타나지 않고 오히려 감소되는 경향마저 나타냈다. 이러한 현상은 높은 가공온도에

따른 목질의 분해가 주된 원인으로 생각되며, 따라서 열에 약한 목질과의 복합체를 제조하기 위해서는 가공온도가 낮은 수지를 선정해야 하는 제약이 따르게 됨을 알 수 있다. 충격강도 또한 결합제에 관계없이 목분 함량의 증가에 따라 감소하였으나 B901T 수지 자체가 PE가 첨가되어 충격강도를 향상시킨 PP이므로 호모 PP인 H730F 수지를 사용한 경우보다 약간 높은 값을 보였다.

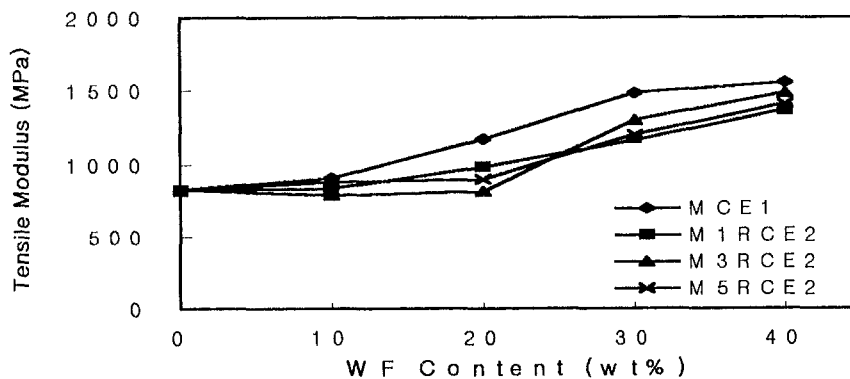


Fig. 6-20. Tensile modulus of WF-PP(B901T) composites as a function of WF content at different MAPP content.

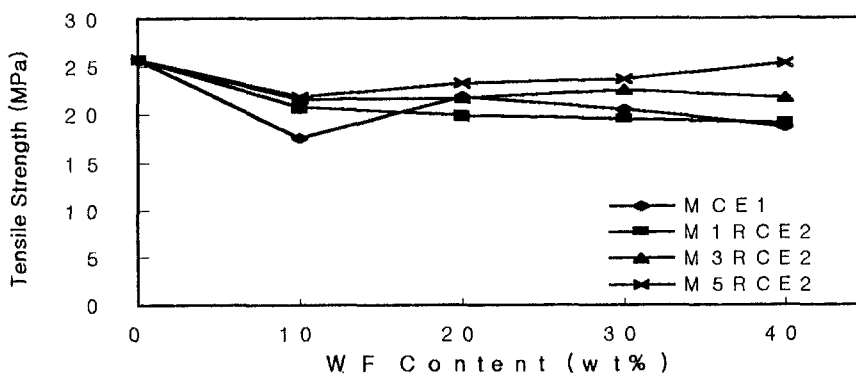


Fig. 6-21. Tensile strength of WF-PP(B901T) composites as a function of WF content at different MAPP content.

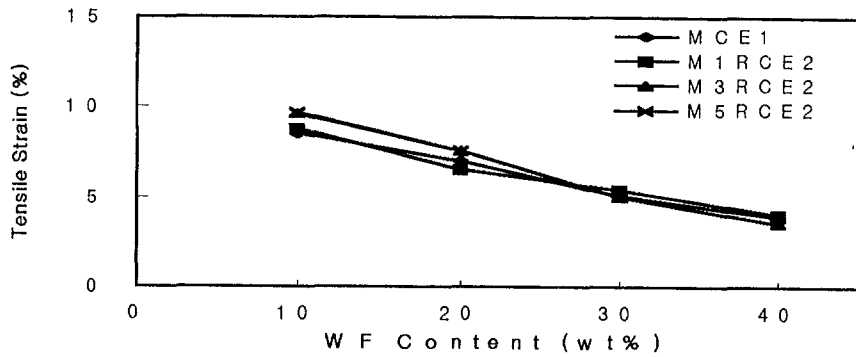


Fig. 6-22. Tensile strain of WF-PP(B901T) composites as a function of WF content at different MAPP content.

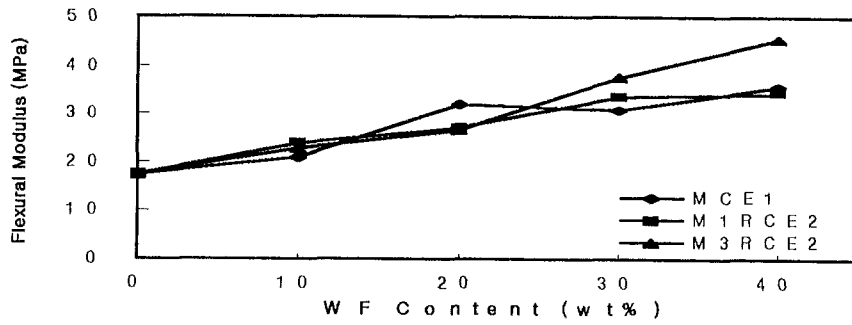


Fig. 6-23. Flexural modulus of WF-PP(B901T) composites as a function of WF content at different MAPP content.

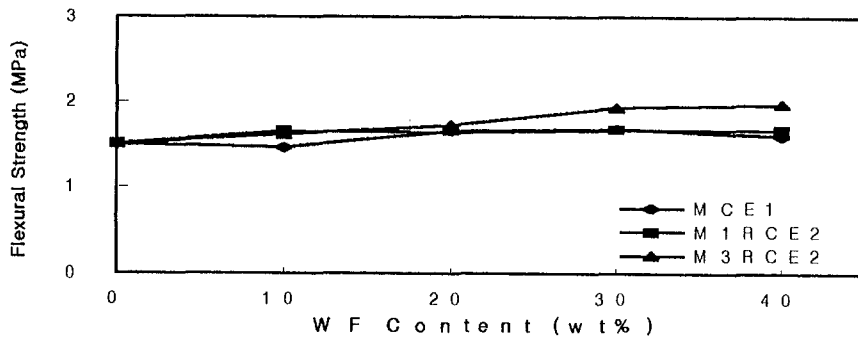


Fig.6-24. Flexural strength of WF-PP(B901T) composites as a function of WF content at different MAPP content.

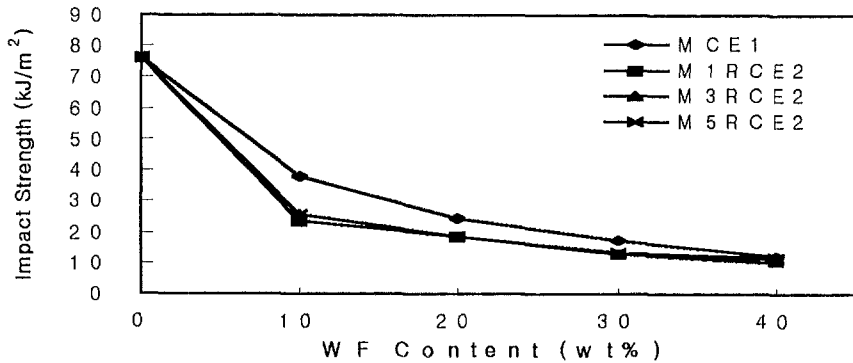


Fig. 6-25. Unnotched impact strength of WF-PP(B901T) composites as a function of WF content at different MAPP content.

제 6 항 재압출의 영향

분산성의 향상을 위해 재압출을 하였다. 1회 압출한 압출물에서는 미량의 수분과 저분자량의 가용성분의 기화로 인해 공극이 발생한다. 더불어 불충분한 분산의 결과로 덩어리 현상이 발생함으로써 물성 저하의 가장 큰 원인으로 작용하였다.

따라서 이러한 1회 압출물에 대해 재압출함으로써 분산성의 향상을 꾀할 수 있으리라 판단되었다. 그러나 재압출은 체류시간의 증가를 의미하기 때문에 재압출하였을 때 PP의 분자량이 저하되고, 목분의 분해가 더 심해지는 역효과도 고려해야 한다.

재압출한 경우와 1회 압출한 시편의 인장 물성을 비교해 보면, 인장탄성률에서 1회 압출한 것이 재압출한 것에 비해 다소 높은 값을 보였으며, 인장강도도 1회 압출한 것이 높은 값을 가지는 경향을 보였다(Fig. 6-26,27).

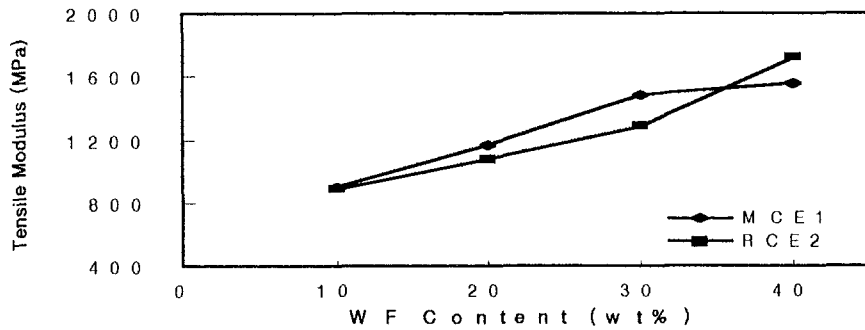


Fig. 6-26. Effect of re-extrusion on tensile modulus of WF-PP (B901T) composites.

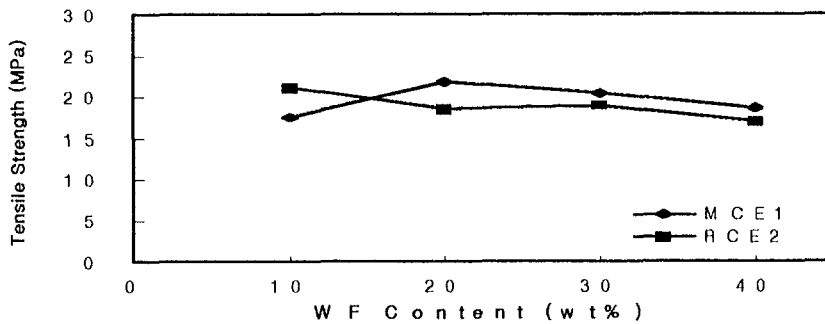


Fig. 6-27. Effect of re-extrusion on tensile strength of WF-PP (B901T) composites

재압출할 경우 체류시간의 증가로 인한 목분의 분해와 이에 따른 결합의 발생이 분산성 향상에 따른 효과보다 우월하게 작용하여 물성이 저하된다는 것은 충격강도에서 더욱 뚜렷하게 확인할 수 있었다(Fig. 6-28). 이것은 목질·플라스틱 복합재의 가장 큰 단점인 충격강도가 분산성보다는 공극의 발생에 의한 결합에 더 크게 의존한다는 것을 의미하며 또한 사용된 목질이 아주 짧은 단섬유이기 때문에 섬유보강효과를 기대한다는 것은 힘들었던 것으로 사료된다.

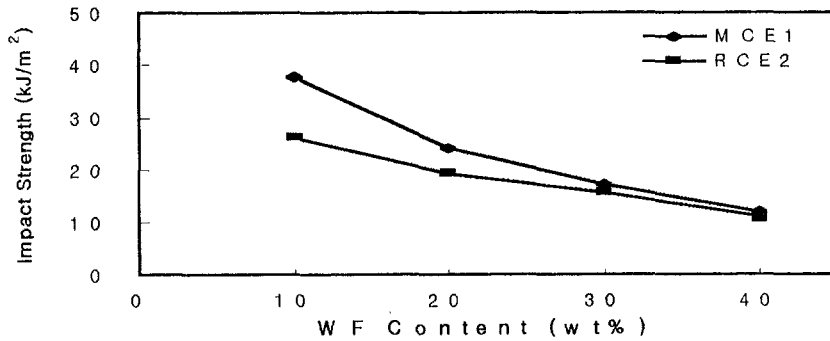


Fig. 6-28. Effect of re-extrusion on unnotched impact strength of WF-PP(B901T) composites.

결합제인 MAPP가 첨가된 경우의 변화를 살펴보기 위해 결합제가 첨가되지 않은 목분 50wt%의 마스터짚을 재압출하는 과정에서 MAPP를 5%투입하였다. 결합제가 첨가됨으로써 인장탄성률은 2차 압출한 경우 다소 감소하는 경향을 나타냈지만 3차 압출한 경우는 2차 압출한 경우에 비해 약간 높은 값을 가짐으로써 재압출이 분산성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다(Fig. 6-29).

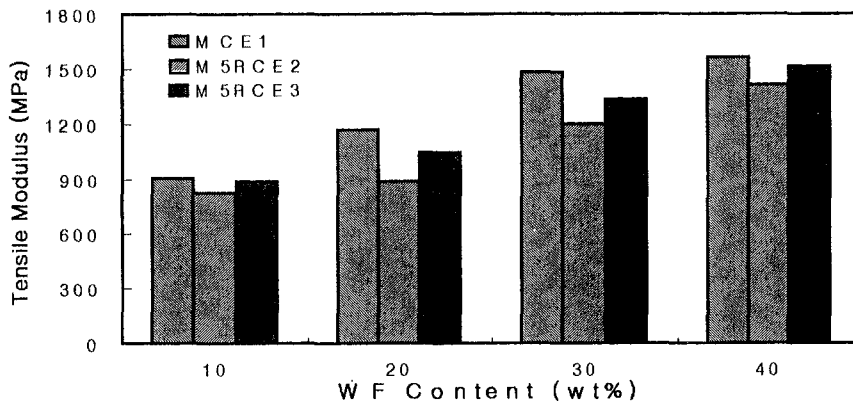


Fig. 6-29. Effect of re-extrusion on tensile modulus of WF-PP (B901T) composites with addition of MAPP.

또한 인장강도에서도 결합제가 첨가되었을 경우 재압출에 의해 대체로 향상된 값을 가지므로 결합제가 투입되면 재압출의 효과를 어느 정도 기대할 수 있다고 판단된다(Fig. 6-30).

결국 목질·플라스틱 압출물을 재압출 하는 것은 어느 정도의 분산성 향상은 얻을 수 있으나, 체류시간의 증가로 인해 발생하는 압출물의 분해가 더욱 증가함으로써 물성이 오히려 저하되는 것으로 판단되지만, 결합제가 첨가된 경우에는 더욱 분산성 향상 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

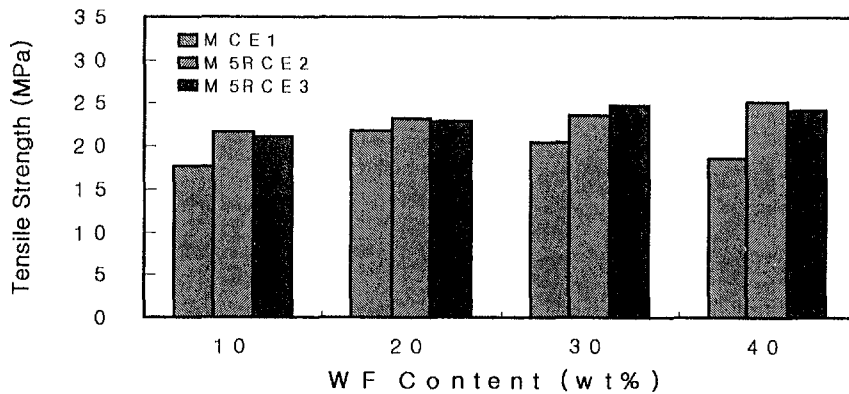


Fig. 6-30. Effect of re-extrusion on tensile strength of WF-PP (B901T) composites with addition of MAPP.

제 7 항 압출온도의 영향

일반적으로 목분은 170℃부터 분해가 시작된다고 알려져 있다. 이것은 200℃가 넘는 플라스틱의 가공온도에서 문제점으로 작용하는데, 기계적 물성에서 결합으로 작용하는 기포의 발생은 잔류 수분의 증발과 더불어 목분내의 저분자량 가용성분이 분해되면서 발생하는 것이 상당량을 차지하리라 판단된다. 이러한 가공온도에 따른 영향을 알아보기 위해서 압출온도 조건을 달리

하여 압출, 사출한 50wt% 목재·플라스틱 시편의 인장물성과 충격물성을 비교·평가하였다. 인장탄성률은 고온에서 압출할수록 높게 나타났으며, 인장 강도는 반대로 저온에서 압출할수록 높은 값을 가졌다(Fig. 6-31~32).

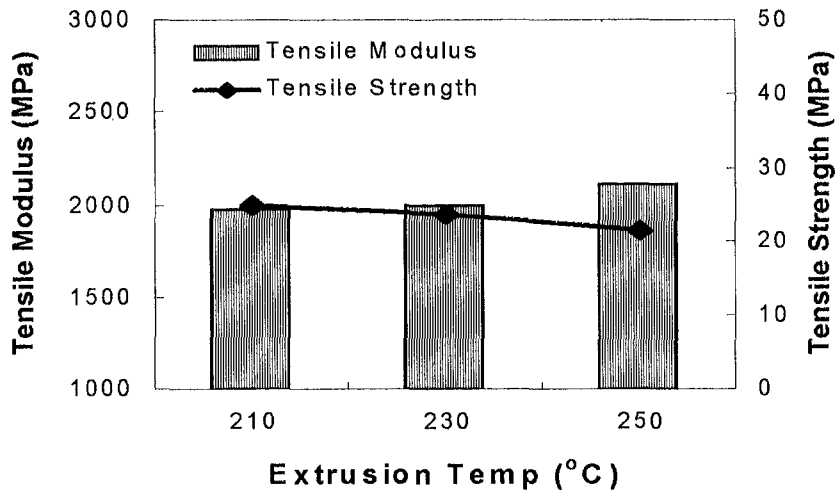


Fig. 6-31. Effect of extrusion temperature on tensile modulus and strength of WF-PP(H730F) composites.

반면에 충격강도는 Fig. 6-33과 같이 중간온도인 230°C에서 압출한 시편이 가장 높은 값을 가지는 것으로 나타났는데 이러한 결과는 가공온도가 올라감에 따라 점도가 낮아짐으로써 분산성이 향상되어 물성이 향상되는 효과와 목분 및 PP의 분해도 증가하여 기포를 발생시키는 등 물성저하 효과가 상충하기때문으로 사료된다. 이러한 결과들로서 재압출에서와 마찬가지로 분산력과 목분의 분해로 인해 발생하는 결합 사이의 상호관계를 유추할 수 있으며, 보다 나은 물성과 분산성을 얻기 위해서는 적절한 가공온도와 체류시간의 선택이 중요한 것으로 판단되었다.

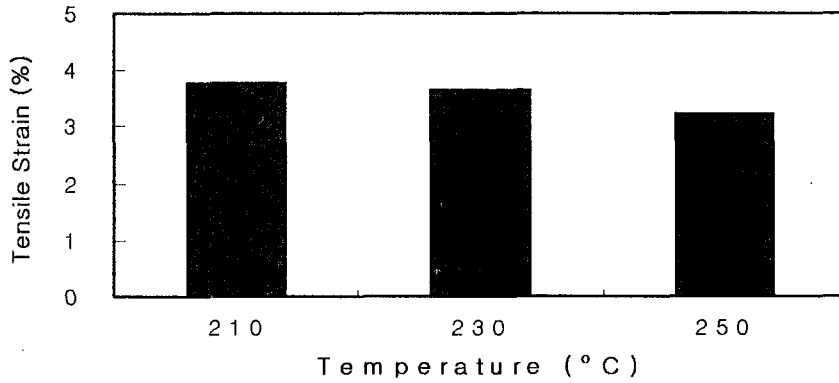


Fig. 6-32. Effect of extrusion temperature on tensile strain of WF-PP (H730F) composites.

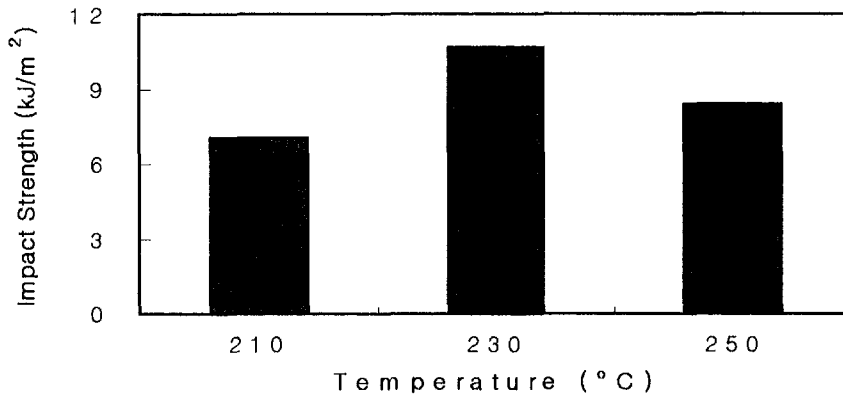


Fig. 6-33. Effect of extrusion temperature on unnotched impact strength of WF-PP(H730F) composites.

제 8 항 결합제 종류의 영향

저분자량 MAPP인 E-43 grade와 비교적 분자량이 높은 G3003 grade의 MAPP를 비교하였다. Fig. 6-34~39를 보면 목분 투입량이 30% 이상으로 많

을 때 인장강도율과 충격강도를 제외하면 전반적으로 분자량이 작은 E-43이 보다 우수한 물성을 나타내고 있다. 이는 저분자량의 E-43이 위에서 언급한 것과 같이 윤활제의 역할을 해서 가공중의 분해를 억제하는 효과가 더 크다는 것으로 설명될 수 있다.

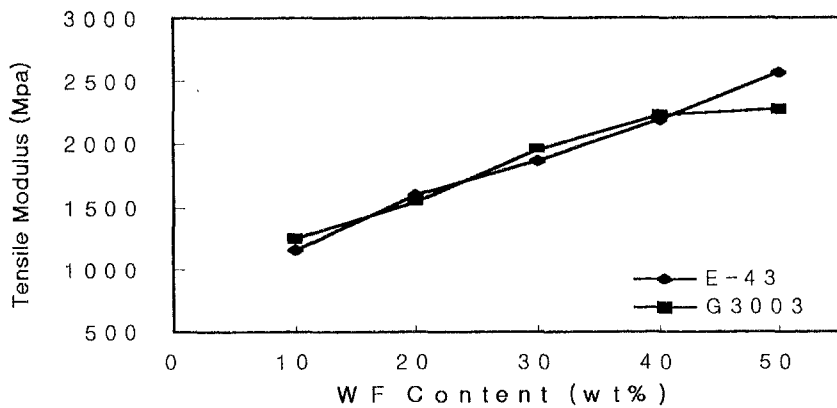


Fig. 6-34. Tensile modulus of WF-PP(H730F) composites as a function of two kinds of MAPP.

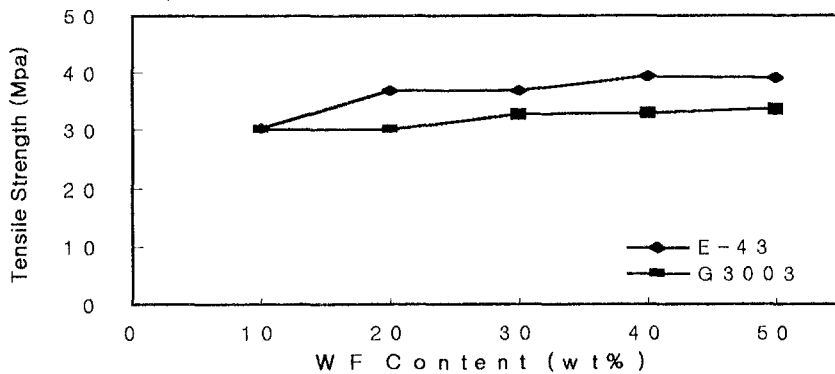


Fig. 6-35. Tensile strength of WF-PP(H730F) composites as a function of two kinds of MAPP.

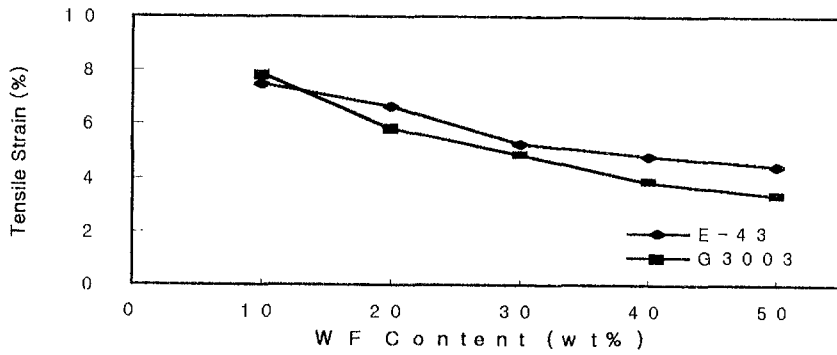


Fig. 6-36. Tensile strain of WF-PP(H730F) composites as a function of two kinds of MAPP.

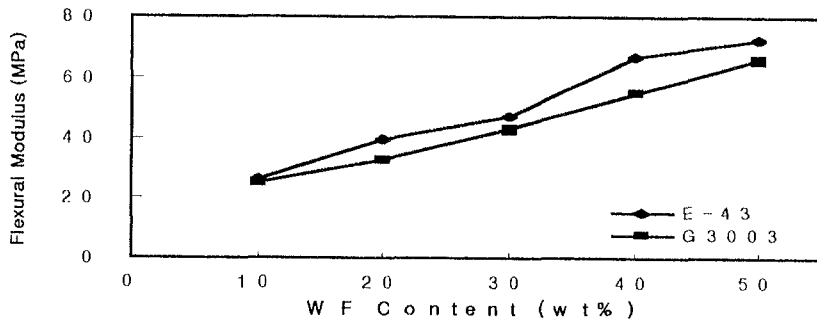


Fig. 6-37. Flexural modulus of WF-PP(H730F) composites as a function of two kinds of MAPP.

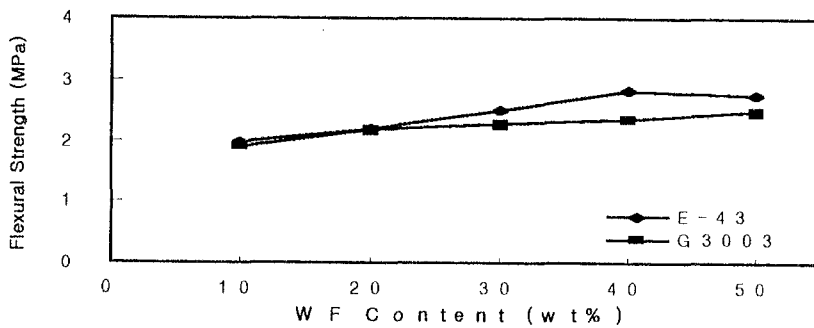


Fig. 6-38. Flexural strength of WF-PP(H730F) composites as a function of two kinds of MAPP.

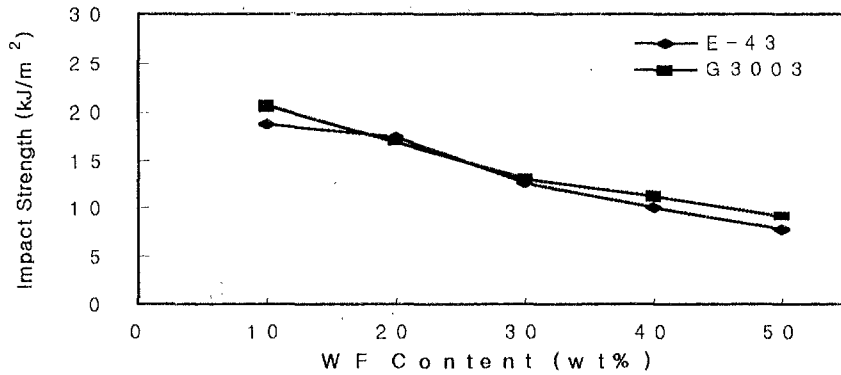


Fig.6-39. Unnotched impact strength of WF-PP(H730F) composites as a function of two kinds of MAPP.

제 9 항 수분의 영향

용융블렌딩으로 제조된 목재·플라스틱 복합재는 다른 목질 복합재에 비해서 본질적으로 수분에 대한 저항이 강하다. 각각의 시편을 작은 크기로 쪼갠 다음 물이 채워진 비이커 속에 침지시켜 둔 상태에서 시간별로 표면의 수분을 제거한 후 질량을 측정하여 흡수율을 계산하였다. 10wt%의 목분을 첨가한 시편의 경우 8일 후 약 4%의 흡수율을 보였으며, 50wt%의 복합재 시편은 약 12%의 흡수율을 보였다(Table 6-8).

Table 6-8. Water absorption of WF-PP(H730F) composites. (unit : %)

Sample	MC10	MC20	MC30	MC40	MC50
Hour					
1	1	1	2	2	2
3	2	2	3	3	4
25	3	3	4	4	5
48	3	4	7	5	7
120	3	6	9	8	10
192	4	7	12	10	12

결합제(MAPP)가 10% 첨가된 경우는 다소 낮은 흡수율을 가졌는데, 10wt%의 복합재 시편은 약 3%, 50wt%의 경우는 약 7%정도를 나타냈다(Table 6-9).

Table 6-9. Water absorption of WF-PP(H730F) composites added MAPP.
(unit : %)

Hour	Sample	M10MC10	M10MC20	M10MC30	M10MC40	M10MC50
1		1	2	1	2	2
3		2	2	2	3	3
25		2	2	2	3	3
48		2	3	3	4	4
120		2	4	4	6	5
192		3	5	5	9	7

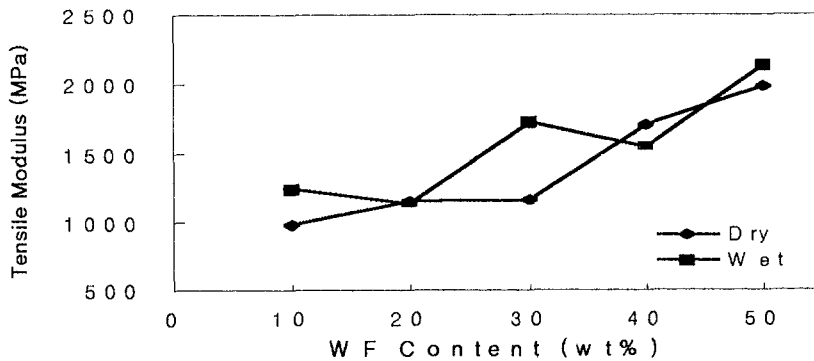


Fig. 6-40. Effect of water absorption on tensile modulus of dried and wetted WF-PP(H730F) composites; (Water content : MC10 : 0.6%, MC20 : 1.0%, MC30 : 1.5%, MC40 : 3.5%, MC50 : 4.7%)

흡수속도를 보면 초기에는 표면에 노출된 목분에 의해 급격한 수분흡수가 이루어지고 이후 내부에까지 수분이 흡수되기 위해서는 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

수분흡수에 따른 물성변화를 측정하기 위해 8일간 침지시킨 인장시편에 대

한 물성을 건조 시편과 비교·평가하였는데(Fig. 6-40~42), 건조 시편에 비해 젖은 시편의 물성이 오히려 약간 증가하는 현상이 나타났다. 이것은 수분이 복합재의 내부로 확산되면서 목분이 팽윤되고, 결과적으로 계면에서의 기계적인 결합력이 증가하기 때문으로 사료된다.

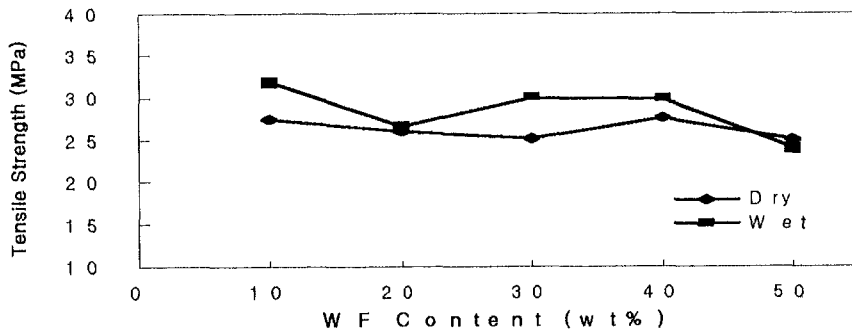


Fig. 6-41. Effect of water absorption on tensile strength of dried and wetted WF-PP(H730F) composites; (Water content : MC10 : 0.6%, MC20 : 1.0%, MC30 : 1.5%, MC40 : 3.5%, MC50 : 4.7%)

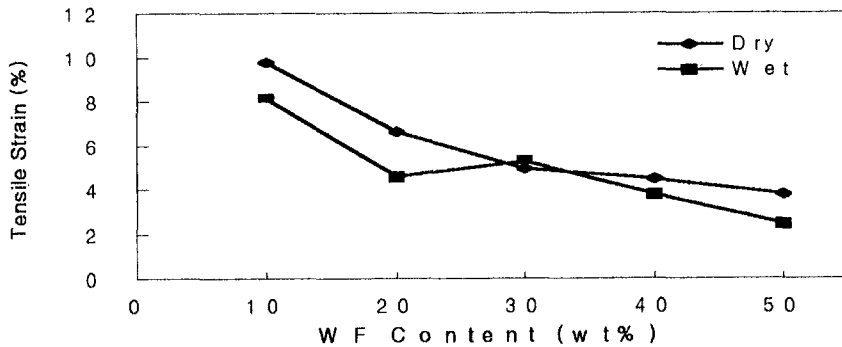


Fig. 6-42. Effect of water absorption on tensile strain of dried and wetted WF-PP(H730F) composites; (Water content: MC10 : 0.6%, MC20 : 1.0%, MC30 : 1.5%, MC40 : 3.5%, MC50 : 4.7%)

제 10 항 결 론

목분이 첨가되면 인장탄성률은 증가하지만, 인장강도와 충격강도는 감소하는 경향을 확인하였고, 결합제인 MAPP가 첨가됨으로써 인장강도를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다. 굴곡탄성률과 강도는 목분의 함량이 증가함으로써 서서히 증가하였다. 수분에 대한 흡수도는 물성에 영향을 주지 않음을 확인하였다. 이러한 결과들을 통해 몇 가지의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 가공온도가 높을 경우 목분의 분해로 인해 물성의 저하가 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 용융지수가 높은 PP를 사용함으로써 가공 온도를 낮출 수 있고, 목분의 분해도 감소시킬 수 있었다. 이것은 보다 향상된 물성과 분산성을 얻기 위해서는 우선 용융지수가 상당히 높아 용융거동이 용이한 수지를 선택해야 한다는 것을 의미한다.

2. 극성차이로 인해 결합력이 거의 없기 때문에 결합제의 사용은 필수적이라 할 수 있으며, 결합제를 사용함으로써 분산성의 향상과 분해의 감소 그리고 물성도 향상시킬 수 있었다.

3. 분산적인 면에서 볼 때 본 실험을 통해 단축압출기로도 충분한 분산성을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 재압출을 통해 분산성의 향상을 유도할 수 있었으며, 이때는 결합제가 첨가된 것이 보다 효율적이라는 것을 알 수 있었다.

4. 충격강도의 감소는 다른 물성의 저하와 마찬가지로 저분자량 가용성분의 기화로 인한 기포의 형성과 덩어리 현상에 기인한 것으로 생각되나, 본 실험

에 사용된 목분이 아주 짧은 단섬유 형태의 목질이기 때문에, 섬유보강효과와 완전한 공극의 억제는 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

5. 본 실험에서 가장 크게 비중을 두는 것은 국내에서 가장 흔한 수종중의 하나인 잣나무 목분을 어떠한 처리도 거치지 않고, 목분 그대로 복합재의 충전재로 사용했다는 것이다. 또한 50%까지 목분을 첨가하여 인장 및 굴곡성능의 향상을 얻을 수 있었다. 즉, 많은 양의 목분을 사용함으로써 열가소성수지는 基材의 역할보다는 접착제의 역할을 기대할 수 있음을 시사한다. 이러한 결과를 토대로 폐목질과 폐플라스틱의 재활용에 충분한 이용 가능성이 제공되었다.

제 4 절 폴리프로필렌 복합재 (2)

제 1 항 서 언

제 3 절에서 파악된 목질·플라스틱 복합재의 가공특성과 물성을 더욱 자세히 조사하기 위해 목분의 입자 크기에 따른 변화와 폴리프로필렌의 흐름특성, 즉 용융지수에 따른 변화를 자세히 살펴보았다.

해외에서, 그리고 그 기술을 도입하여 현재 국내에서 생산하고 있는 복합재는 100mesh 정도의 미세 목분을 사용하고 있다. 미세한 목분을 사용한 복합재는 우선 용융혼련 공정이 용이하고, 제조된 성형품에 목분의 형상이 드러나지 않아 표면을 연삭처리했을 경우 나무의 무늬를 잘 묘사할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

그러나 미세 목분을 제조하기 위한 비용을 무시할 수 없고, 목질 자체가 갖는 특성이 발휘되기 어려워 목질 복합재로서의 의미가 희석된다는 문제를 갖고 있다.

따라서 본 실험에서는 다양한 크기의 목분을 시험하여 목분의 크기에 따른 공정과 물성을 파악해 보고자 한다.

한편, 1차 실험을 통해 흐름특성이 좋은 수지를 사용하면 혼련공정의 온도를 낮출 수 있어 목질의 분해를 줄일 수 있으며 분산성도 향상된다는 사실을 확인하였는데, 본 절에서는 이에 대해 용융지수별로 서로 다른 4 종류의 폴리프로필렌을 선정하여 더욱 세밀한 실험을 실시하였다.

또한 본 연구의 목적인 폐자재 재활용을 검토하기 위해 중밀도섬유판(MDF)을 제조하는 과정에서 발생하는 폐목질과 폐플라스틱을 수거해 재용융시켜 제조된 재생폴리프로필렌을 투입하는 실험을 실시하였다.

제 2 항 실험재료 및 방법

1. 실험재료

가. 목분

1) 폐목분

실험용 목질원료로써 대구시 소재의 가구회사에서 발생하는 폐목분을 사용하였다. 이것은 가구 제조시 연삭작업으로 생기는 목분으로 수종은 칠레산 소나무가 주종이었다. 입자크기의 분포는 Fig. 6-43에서 보는 바와 같이 30mesh~200mesh가 대부분으로 100mesh 이상의 미세 목분이 다량 포함되어 있다. 이 폐목분을 30mesh, 50mesh, 100mesh, 140mesh 및 170mesh의 5종류로 선별하여 사용하였다.

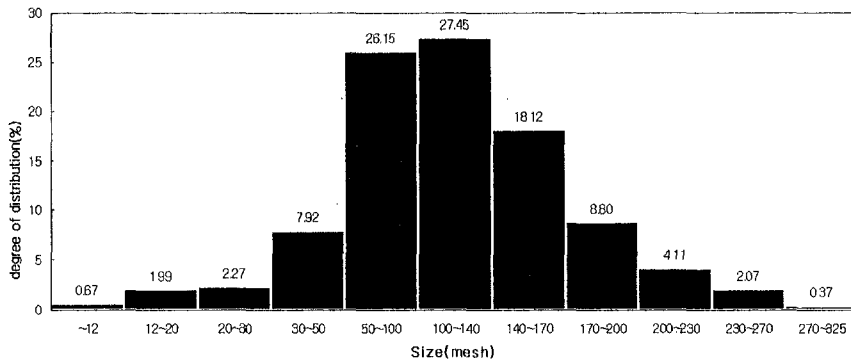


Fig. 6-43. Size distribution of wood flour.

2) 중밀도섬유판 연삭 분말

중밀도섬유판 제조시 발생하는 폐목재를 연삭공정을 통하여 제조한 목분을 사용하였다. 임업연구원에서 제공한 이 MDF 연삭 분말을 12~50mesh, 50~100mesh로 선별하여 사용하였다.

나. 폴리프로필렌

폴리프로필렌 수지는 (주)SK화학에서 생산하는 homo-PP로 용융지수 (melt index)별로 H900F(MI : 0.5g/10min), H730F(MI : 3.5g/10min), H360F(MI : 12g/10min), H380Y(MI : 25g/10min)의 4 종류를 사용하였다.

다. 결합제

결합제로는 maleic anhydride PP(MAPP)인 Eastman 사의 Epolene E-43 wax를 분말화하여 사용하였다.

2. 실험 방법

가. 복합재 제조

재료의 건조에 있어서도 보다 개선된 방법을 사용하였다. 먼저 목분을 건조시킨 후 수지와 결합제를 혼합하여 압출기에 투입하던 종전의 방식에서 목분을 일차 건조하고 이를 다시 수지 및 결합제와 혼합시킨 후 24시간 이상 건조함으로써 대기중의 수분의 영향을 최소화하였다.

목분의 함량은 50wt%를 기준으로 하여 40wt%와 60wt%를 비교하는 방법을 택하였으며 고유동성을 가지는 H380Y수지는 목분의 입자크기 및 함량별로 실험하였으며 그 외의 수지는 입자크기에 대한 영향을 비교하기 위하여 30mesh와 100mesh를 50wt%의 함량으로 실험하였다.

압·사출 공정에서의 온도조건은 고유동성수지인 경우 160~185℃에서 가공이 가능하였으며, 저유동성수지에서는 190~215℃의 범위에서 가공이 가능하였다. 또한 사출압과 금형압은 2100psi과 2400psi로 설정하였으며 사출압에서 약 5초간 보압을 가해주었다.

나. 물성 측정

각 사출시편은 상온에서 72시간 이상 방치한 후 물성평가에 사용하였다. 시편의 개수는 5개로 하여 계산은 최대·최소치를 제외한 나머지의 평균치를 데이터로 사용하였다. 인장시험과 굴곡시험은 재료만능시험기로 하였으며, 인장시험은 ASTM D 638에 따라 5mm/min, 굴곡시험은 ASTM D 790에 따라 2mm/min으로 하였으며, 충격시험은 ASTM D 256에 의하여 측정하였고 notch는 주지 않았다.

수분흡수에 따른 부피변화와 물성의 변화를 측정하기 위해 충격시편과 인장시편 각각 5개씩을 준비하여 증류수에 담가 두었다가 5일 간격으로 시편을 꺼내어 질량과 부피 변화를 측정하였다. 질량 측정시 증류수에서 꺼내는 즉시 깨끗한 천을 이용하여 표면의 수분을 닦아내어 mg단위로 측정하였다.

1개월간 증류수에 담가 둔 시편의 인장, 굴곡, 충격 시험을 하여 재료의 수분에 대한 물성의 변화를 확인하였다.

제 3 항 가공특성

본 실험에서 제조된 복합재를 다음과 같은 기호로 나타냈다(Table 6-10). 먼저 사용된 PP는 용융지수가 25g/10min로 가장 높은 유동성을 가진 H380Y grade는 AM으로 12g/10min인 H360F grade는 BM, 3.5g/10min인 H730F grade는 CM, 0.5g/10min인 H900F grade는 DM으로 약칭하고, 사용된 목분의 입도를 30M, 50M, 100M, 140M, 170M 등의 mesh로 표시하였으며, 이것은 해당 mesh의 체로 거른 것으로 그 수치 이상으로 더 작은 입자를 포함한다는 의미이다. 뒤에 붙어 있는 40C, 50C, 60C는 전체 복합재에 대한 목분의 무게함량을 나타낸다. 그리고 이 실험에 사용된 결합제는 MAPP이며 함량은 이전의 실험결과를 토대로 최적의 물성을 보이는 5wt%로 균일하게 실험하였다.

Table 6-10. Summary of Composites.

Polypropylene		Wood flour		Coding
Grade	Melt Index (g/10min)	Size (mesh)	wt%	Resin/Size/ Content
H380Y	25	30	40	AM30M40C
			50	AM30M50C
			60	AM30M60C
		50	50	AM50M50C
			40	AM100M40C
		100	50	AM100M50C
			60	AM100M60C
			50	AM140M50C
H360F	12	170	50	AM170M50C
		30	50	BM30M50C
		100	50	BM100M50C
H730F	3.5	30	50	CM30M50C
		100	50	CM100M50C
H900F	0.5	30	50	DM30M50C
		100	50	DM100M50C

고유동성 수지인 AM을 사용한 경우 가공온도조건에 있어서 다른 수지에 비해 최고 30℃ 이상 낮출 수 있었다. 먼저 압출공정에서의 온도조건을 보면 고유동성 수지인 AM 사용시 165~185℃ BM은 170~190℃, CM은 180~195℃, DM은 185~215℃ 정도로 큰 차이가 있었다. 사출공정의 온도조건에서는 압출공정시보다 5~10℃ 정도 저온에서 가공하였다(Table 6-11). 이러한 온도 차이로 인해 제조된 복합재의 외관상 색깔의 차이가 나는데, 고온에서 가공된 DM의 경우 목분의 분해로 인해 짙은 갈색이나 검은색을 띠었고, 저온에서 가공된 AM의 경우는 비교적 옅은 갈색으로 보통의 나무와 유사한 색을 보였다. 또한 AM의 경우 입자가 상대적으로 굵은 12mesh 정도의 톱밥을 이용해도 가공이 쉽게 되었다, 하지만 톱밥 알갱이가 눈에 띄게 많았고 물성도 좋지 않았다.

Table 6-11. Process Condition of WF-PP Composites

Extrusion Condition		Injection Condition			
Screw rpm	40~60	Feed Section	180℃		
Heater	Feed Section	180~190℃	Heater Middle Section	190℃	
	Compression Section	185~195℃	Nozzle	190℃	
	Metering Section	190~200℃	Pressure	Injection	2100psi
	Die	190~200℃		Clamping	400psi

제 4 항 기계적 성질

1. 인장물성

Table 6-12는 제조된 복합재의 기계적 성질을 요약한 것이다. 인장강도의 경우 대체적으로 순수한 폴리프로필렌에 비해 복합재가 높은 물성을 나타냈다. Fig. 6-44는 고유동성 수지(AM)를 사용하여 제조한 복합재의 목분의 함량에 따른 인장물성을 보여주고 있다, 입자가 큰 목분(30mesh)을 사용한 경우 목분의 함량에 따라 인장강도가 증가하다가 50wt% 이상에서 다시 감소하는 경향을 보이고 있지만 전체적으로 순수한 PP보다 높은 강도를 나타냈다. 전질의 실험에서 목분의 함량에 따라 인장강도가 대체로 감소하는 것이 일반적이었던 것과 비교할 수 있는데, 이는 높은 유동성의 수지를 사용한 효과로 생각된다. 즉, 수지의 유동성이 높을수록 목분의 분산이 용이해져 미분산 목분덩어리에 의한 결함이 방지되는 것이다. 한편 100mesh의 미세 목분을 사용한 경우 목분의 함량이 40wt%에서는 순수 수지보다 강도가 낮았으나 그 이상의 목분 함량에 대해서는 강도가 계속 증가하는 것을 볼 수가 있다. 40wt%에서 강도가 저하되는 것은 미세 목분이 거친 목분에 비해 서로 엉키어 덩어리가 생기는 경향이 더 크기 때문으로 생각된다. 그러나 목분의 함량

이 50wt% 이상인 경우 압출기내에서 목분 상호간의 직접 접촉에 의한 전단력의 증가로 분산이 오히려 용이해져 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 인장탄성률의 경우에는 목분의 입도와 관계없이 목분함량에 따라 단순히 증가하는 경향을 나타내어 목질의 보강효과를 확실히 보여주고 있다.

목분의 입도에 따른 효과를 살펴보면, 목분의 함량을 50wt%로 고정하였을 때, 30mesh 입자를 포함한 복합재가 가장 높은 물성을 나타냈으며, 50mesh에서 감소했다가 그 이상에서는 계속 인장강도가 증가하였다(Fig. 6-45). 30mesh의 아주 거친 입자의 경우 상대적으로 미분산된 덩어리가 발생할 확률이 낮은 것을 감안하면 충분한 혼련이 이루어진다는 가정 하에서 입자의 크기가 작을수록 강도가 높아진다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 6-12. Mechanical properties of WF-PP composites.

	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)	Impact Strength (KJ/m ²)
AM	30.78	1.09	53.75	1.89	29.51
AM30M40C	30.76	1.43	59.71	2.68	8.07
AM30M50C	36.15	1.70	62.84	3.23	14.60
AM30M60C	29.23	1.86	52.26	3.42	7.21
AM50M50C	29.17	1.66	51.26	3.07	8.03
AM100M40C	23.30	1.23	39.71	1.50	9.63
AM100M50C	30.40	1.80	59.71	3.50	9.28
AM100M60C	31.37	1.95	55.42	3.04	9.18
AM140M50C	31.50	1.61	58.74	3.18	6.14
AM170M50C	32.40	1.73	56.89	3.10	8.41
BM	30.66	0.89	39.64	1.29	45.92
BM30M50C	31.07	1.74	51.73	2.97	11.55
BM100M50C	28.65	1.46	55.66	2.41	8.32
CM	27.70	0.85	37.88	1.24	75.01
CM30M50C	26.40	1.39	48.52	2.49	7.47
CM100M50C	26.95	1.46	50.58	2.70	8.56
DM	28.49	0.77	40.40	1.50	72.16
DM30M50C	25.50	1.32	47.58	2.38	13.15
DM100M50C	22.47	1.28	44.02	2.50	8.57

Fig. 6-46은 수지의 유동성에 따른 물성을 나타낸 것으로 유동성이 높은 수지를 이용할수록 전반적으로 물성이 향상되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 사실은 Table 6-12에서 알 수 있는 바와 같이 수지 자체의 물성이 약간 높고, 낮은 가공온도 조건으로 인해 수지와 목분의 분해가 감소한 것에도 기 인하지만 수지의 유동성이 높을수록 목분의 분산효율이 우수하다는 것을 나 타내고 있다.

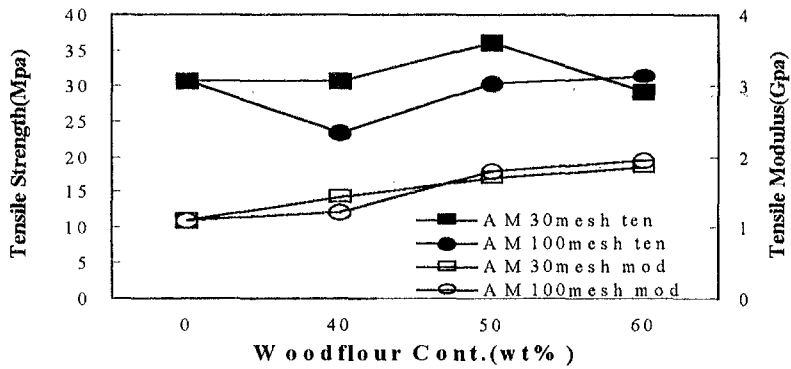


Fig. 6-44. Tensile strength and tensile modulus of WF-PP composites as a function of WF content.

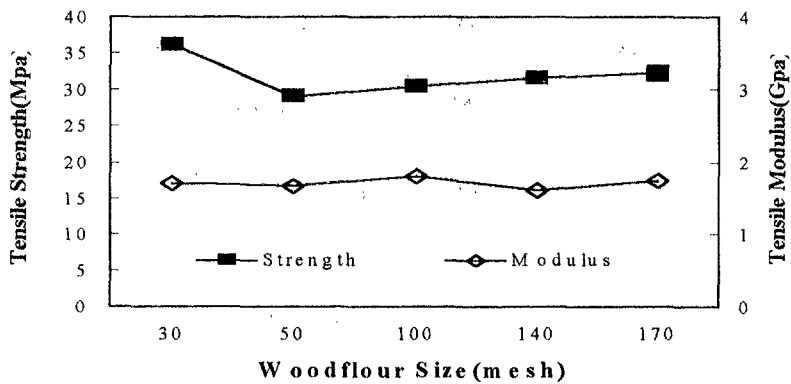


Fig. 6-45. Tensile strength and tensile modulus of WF-PP composites as a function of WF particle size.

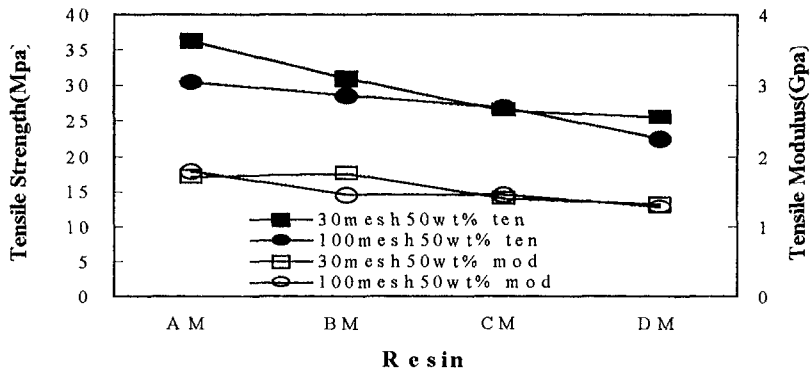


Fig. 6-46. Tensile strength and tensile modulus of WF-PP composites as a function of resins;(MI : AM:25, BM:12, CM:3.5, DM:0.5g/10min)

2. 굴곡물성

Fig. 6-47~49는 굴곡시험결과로서 인장시험결과와 유사하게 나타났다. 목분의 함량에 따라 굴곡물성은 확실하게 향상되었으나 목분 입도에 따른 변화는 거의 없었다.

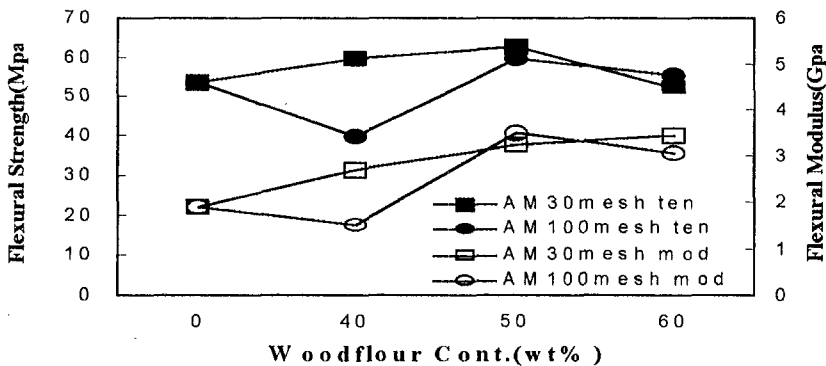


Fig. 6-47. Flexural strength and flexural modulus of WF-PP composites as a function of WF content.

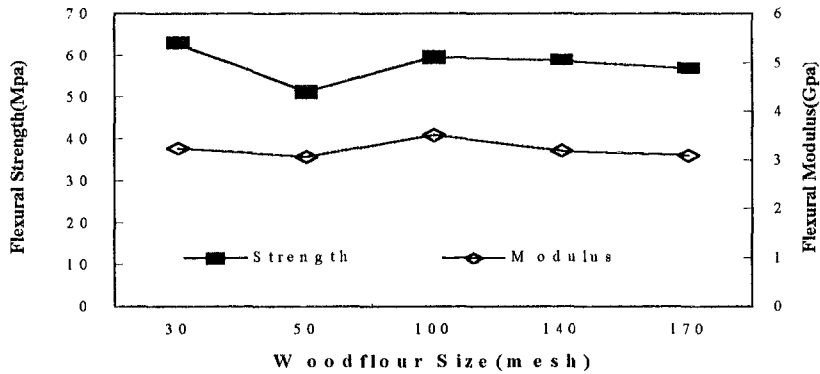


Fig. 6-48. Flexural strength and flexural modulus of WF-PP composites as a function of WF particle size.

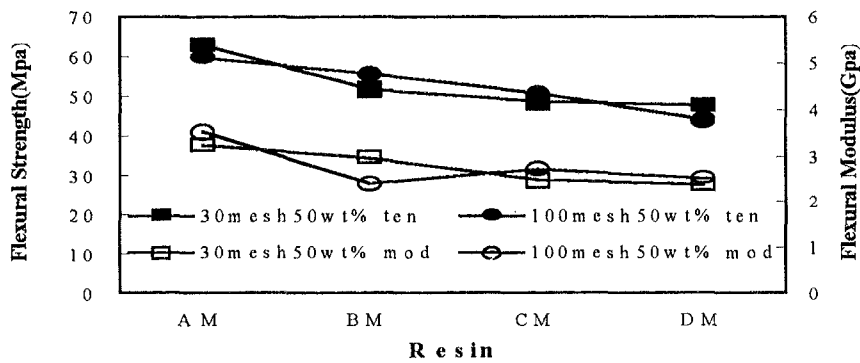


Fig. 6-49. Flexural strength and flexural modulus of WF-PP composites as a function of resins;(MI : AM:25, BM:12, CM:3.5, DM:0.5g/10min)

3. 충격물성

목분과 수지와와의 계면결합에 가장 민감한 영향을 받는 충격물성은 목분의 함량이 증가할수록 그 강도가 현저하게 떨어진다(Fig. 6-50). 이러한 물성저하는 Fig. 6-51에서 보는 바와 같이 목분의 입도가 작아질수록 더욱 커지고 있다. 입도가 작을수록 분산이 용이하여 수지와와의 결합이 강할 것으로 예상

되지만 목분이 덩어리를 형성하는 경향이 커서 강도가 낮게 나타난다고 사료된다. 따라서 목분 입도의 조절보다는 혼련공정의 개선에 의한 분산성 향상이 더욱 필요하다고 생각된다.

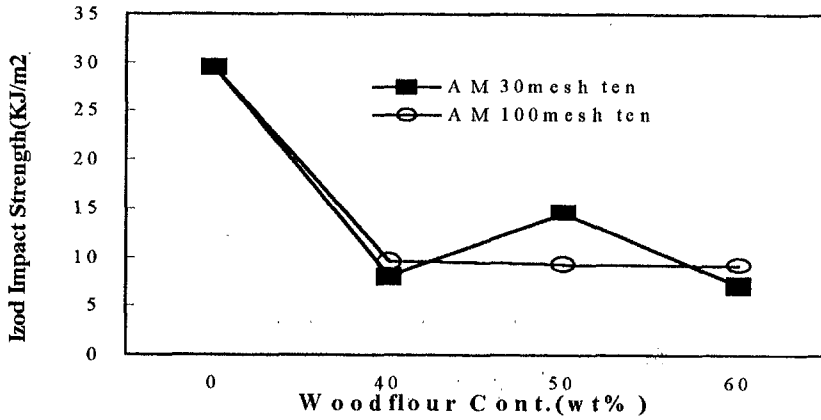


Fig. 6-50. Impact strength of WF-PP composites as a function of WF content.

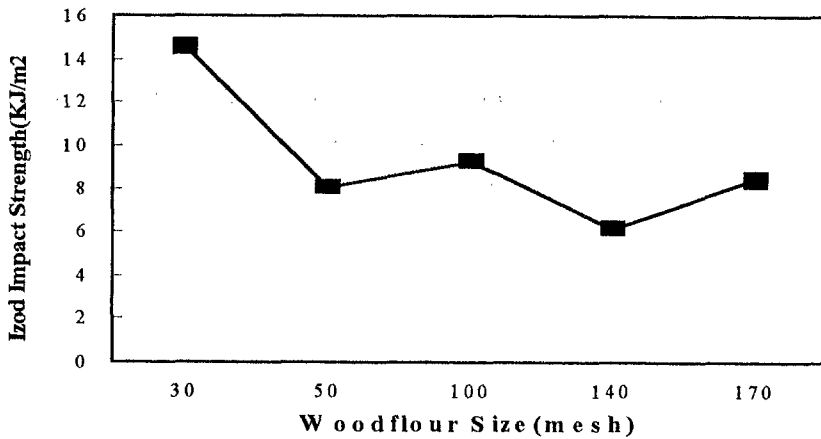


Fig. 6-51. Impact strength of WF-PP composites as a function of WF particle size.

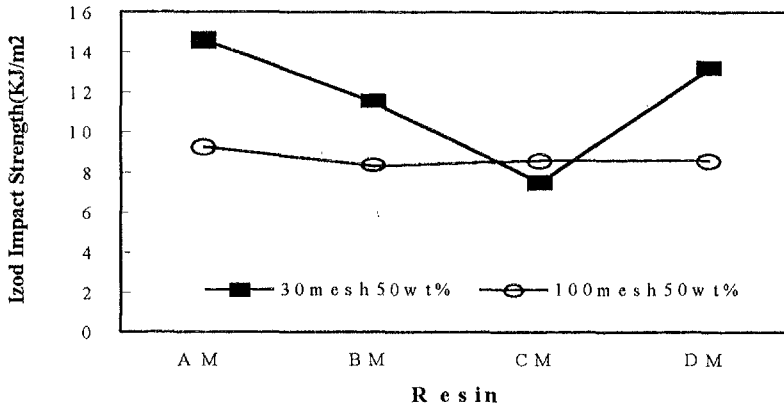


Fig. 6-52. Impact strength of WF-PP composites as a function of resins;(MI: AM:25, BM:12, CM:3.5, DM:0.5 g/10min)

제 5 항 수분의 영향

Table 6-13은 1개월 동안 물 속에 담가 수분을 흡수하게 한 시편의 기계적 성질을 종합한 것이다. Fig. 6-53~55는 복합재의 흡수율을 나타낸 것으로, 목분의 함량이 증가할수록 흡수율은 증가함을 알 수 있었으며, 고유동성의 수지를 사용한 경우 유동성이 낮은 수지를 사용한 경우보다 흡수율이 높게 나타났다.

수분흡수에 따른 물성변화를 살펴보면 인장물성과 굴곡물성은 수분을 흡수한 후 전반적으로 저하되었다(Fig. 6-56~70). PP수지는 거의 수분을 흡수하지 않으므로 수분의 대부분이 목분에 침투되어 있다고 생각되는데, 수분의 가소화 효과로 인해 목질의 인장 및 굴곡강도가 낮아지고 이에 따라 복합재의 물성이 저하되었다고 생각된다. 한편 충격강도의 경우 수분의 흡수에 따라 전반적으로 증가하였다(Fig. 6-60, 65, 70). 수분의 흡수는 목분을 팽윤시켜 목질과 수지사이의 결합을 감소시킴으로써 충격강도가 증가하는 것으로 생각된다. 이와 같은 현상은 목분의 입자크기가 작아질수록 더욱 뚜렷하게

나타났다.

Table 6-13. Mechanical properties of WF/PP composites after water absorption.

	Tensile Strength (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)	Impact Strength (KJ/m ²)
AM	30.78	1.09	53.75	1.89	29.51
AM30M40C	27.65	1.55	34.02	1.37	20.58
AM30M50C	18.25	1.10	48.20	2.15	14.66
AM30M60C	15.54	1.09	43.09	2.08	10.04
AM50M50C	23.27	1.45	41.40	2.00	14.54
AM100M40C	31.17	1.42	56.90	2.13	14.82
AM100M50C	28.29	1.67	50.15	2.10	12.63
AM100M60C	22.57	1.59	30.98	1.08	7.68
AM140M50C	24.90	1.55	43.76	2.01	15.08
AM170M50C	25.24	1.57	42.90	2.05	19.39
BM	30.66	0.89	39.64	1.29	45.92
BM30M50C	26.47	1.43	52.35	2.38	15.01
BM100M50C	23.89	1.36	45.60	2.14	10.65
CM	27.70	0.85	37.88	1.24	75.01
CM30M50C	23.91	1.35	44.84	2.08	13.41
CM100M50C	23.63	1.33	45.83	2.01	16.94
DM	28.49	0.77	40.40	1.50	72.16
DM30M50C	23.23	1.39	38.68	1.98	17.75
DM100M50C	21.70	1.35	40.90	1.83	16.13

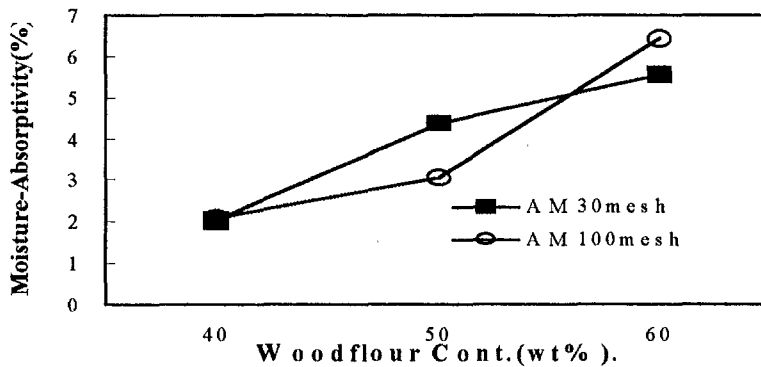


Fig. 6-53. Water absorption as a function of WF content.

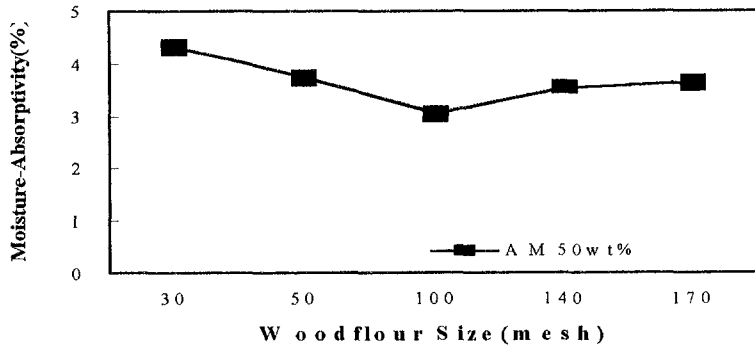


Fig. 6-54. Water absorption as a function of WF particle size.

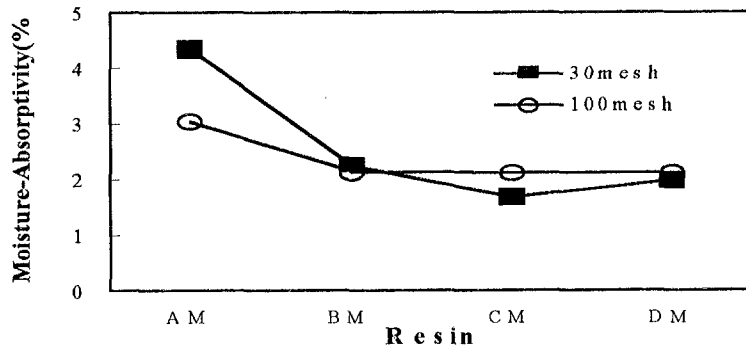


Fig. 6-55. Water absorption as a function of resins;(MI : AM:25, BM:12, CM:3.5, DM:0.5 g/10min)

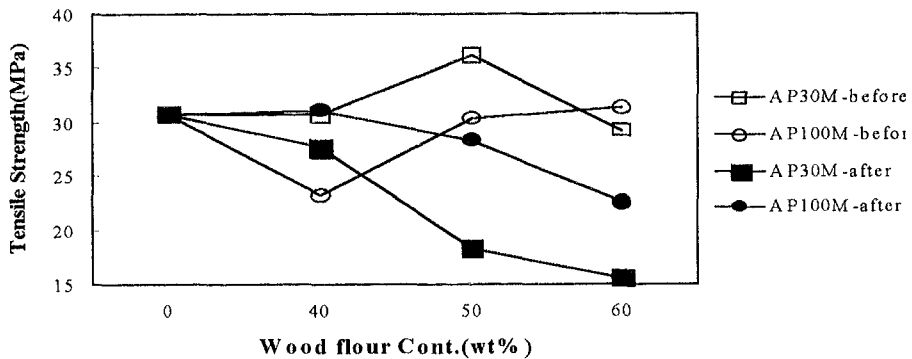


Fig.6-56. Tensile strength of PP-WF composites as a function of wood flour content(wt%) before and after water absorption.

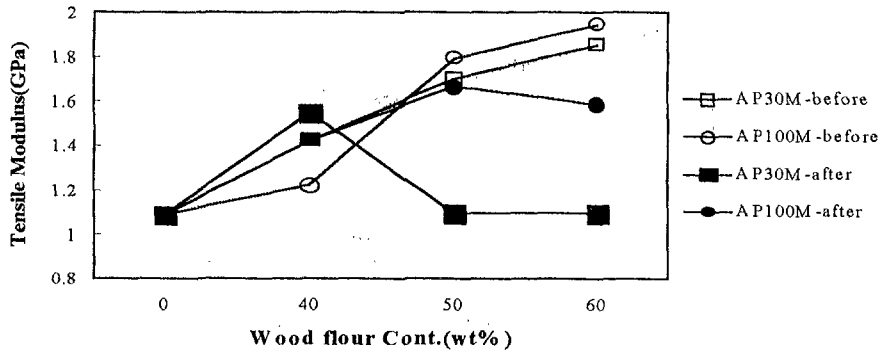


Fig.6-57. Tensile modulus of PP-WF composites as a function of wood flour content(wt%) before and after water absorption.

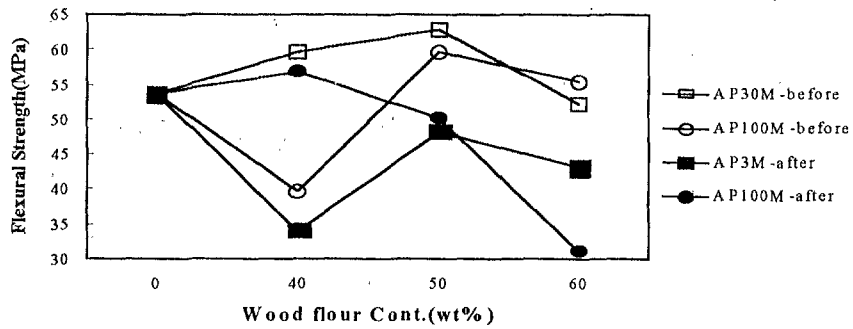


Fig. 6-58. Flexural strength of PP-WF composites as a function of wood flour content(wt%) before and after water absorption

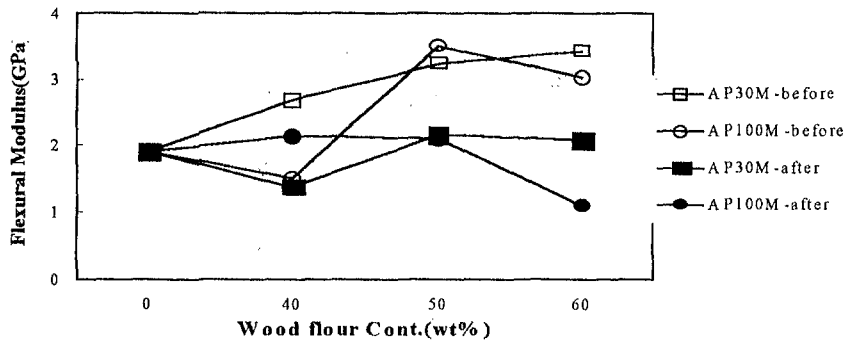


Fig. 6-59. Flexural modulus of PP-WF composites as a function of wood flour content(wt%) before and after water absorption.

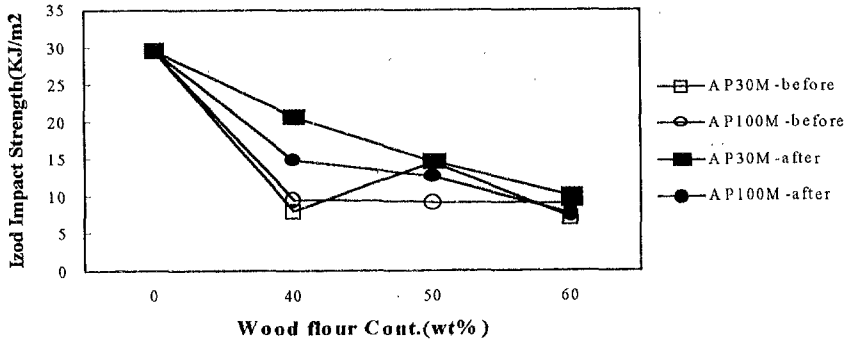


Fig. 6-60. Unnotched Izod impact strength of PP-WF composites, as a function of wood flour content(wt%) before and after water absorption.

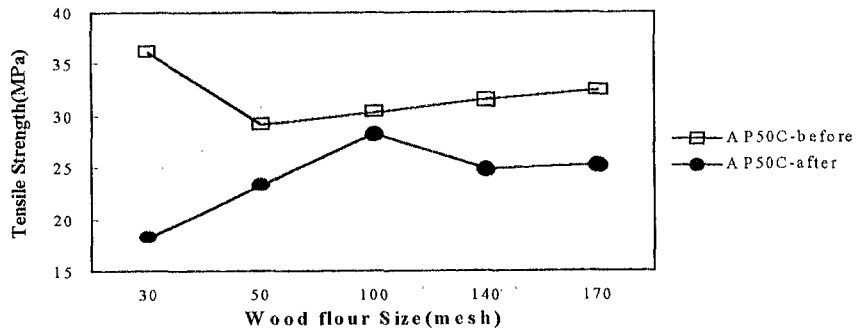


Fig. 6-61. Tensile strength of PP-WF composites as a function of wood flour size(mesh) before and after water absorption

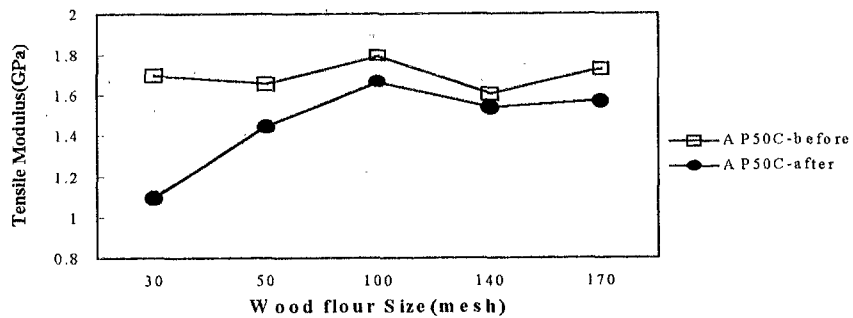


Fig. 6-62. Tensile modulus of PP-WF composites as a function of wood flour size(mesh) before and after water absorption.

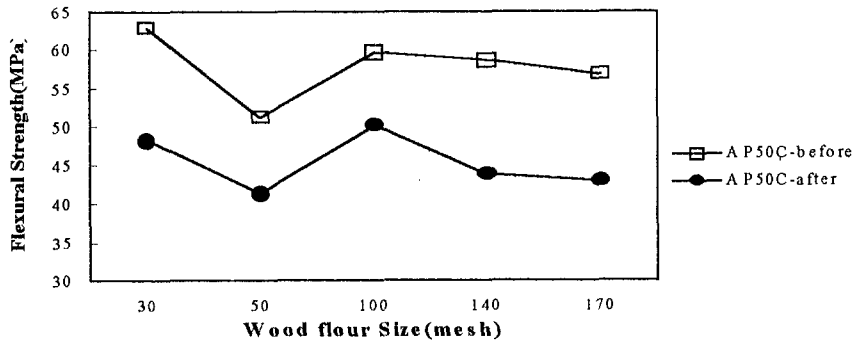


Fig. 6-63. Flexural strength of PP-WF composites as a function of wood flour size(mesh) before and after water absorption.

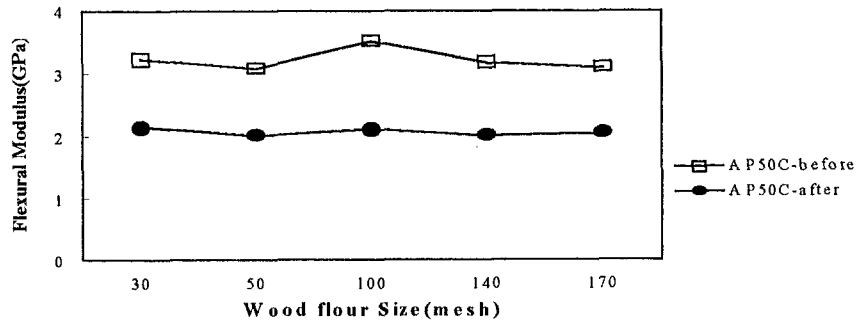


Fig. 6-64. Flexural modulus of PP-WF composites as a function of wood flour size(mesh) before and after water absorption.

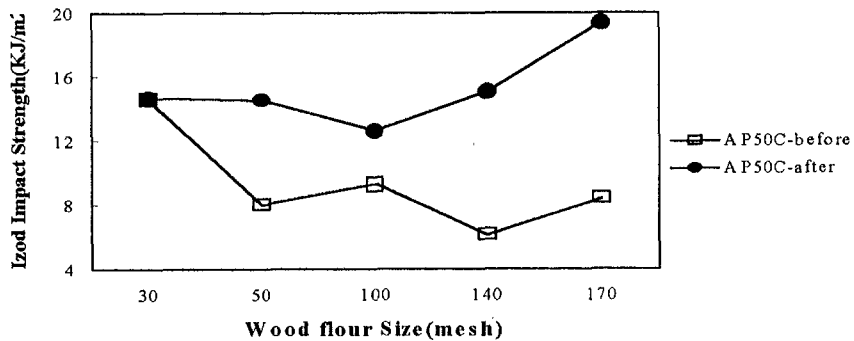


Fig. 6-65. Unnotched Izod impact strength of PP-WF composites as a function of wood flour size(mesh) before and after water absorption.

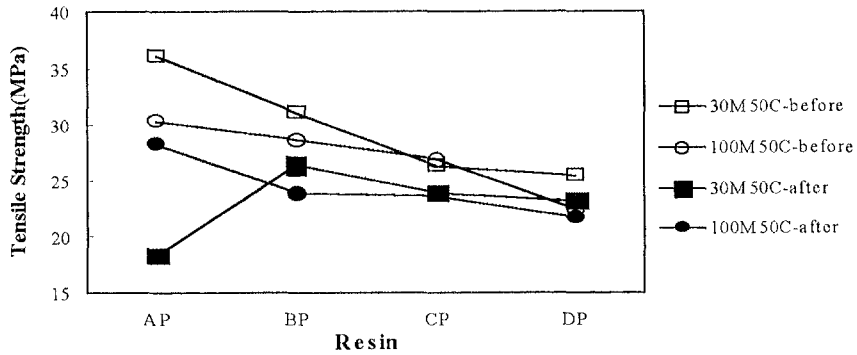


Fig. 6-66. Tensile strength of PP-WF composites as a function of melt index of PP before and after water absorption.

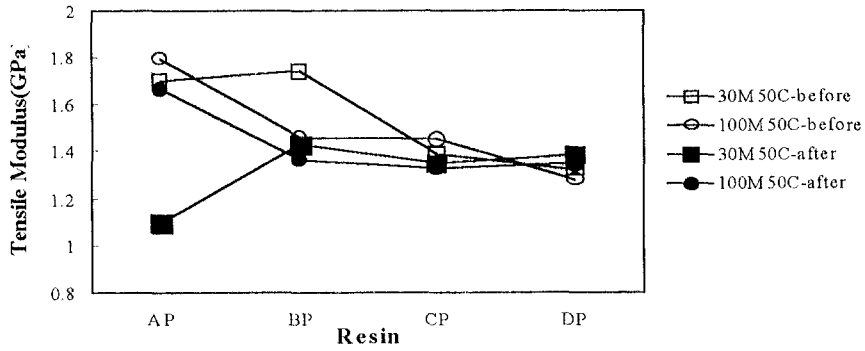


Fig. 6-67. Tensile modulus of PP-WF composites as a function of melt index of PP before and after water absorption.

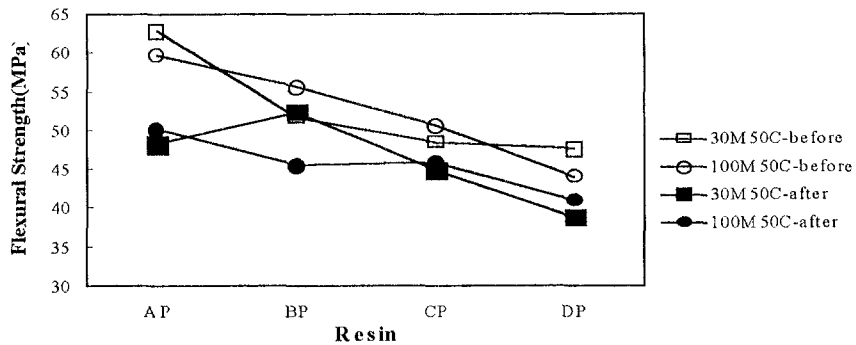


Fig. 6-68. Flexural strength of PP-WF composites as a function of melt index of PP before and after water absorption.

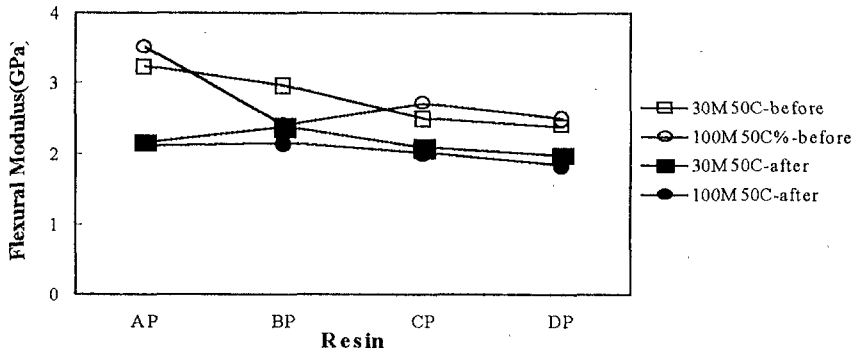


Fig. 6-69. Flexural modulus of PP-WF composites as a function of melt index of PP before and after water absorption.

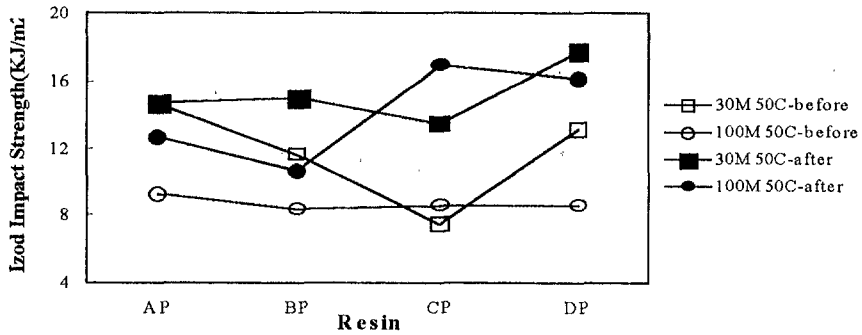


Fig. 6-70. Unnotched Izod impact strength of PP-WF composites as a function of melt index of PP before and after water absorption.

제 6 항 파단 특성

복합재를 수직방향과 수평방향으로 파단시킨 단면을 주사전자현미경(SEM)을 통하여 관찰하였다.

1. 폴리프로필렌의 용융지수의 영향

Fig.6-71은 수지의 용융지수가 복합재의 파단에 미치는 영향을 알아보기

위해 충격시험을 통하여 파괴된 단면을 주사전자현미경(SEM)을 통하여 촬영한 사진이다. 사진 (a)에서 볼 수 있듯이 고유동성 수지를 사용하였을 때 충전재(filler)인 목분이 수지(matrix)인 폴리프로필렌에 충분히 분포되어 있음을 알 수 있다.

과단의 전개가 골고루 분포되어 있는 목분들 사이에서 일어나 지그재그형태의 과단면을 볼 수 있다. 한편, 저유동성 수지를 사용한 복합재의 과단면을 관찰해 보면 목분이 골고루 분포되어 있지 않아서 복합재의 과단 전개에 큰 영향을 미치지 못했으며, 저유동성 수지의 고강성 특성에 기인하는 것으로 사료된다(사진 c).

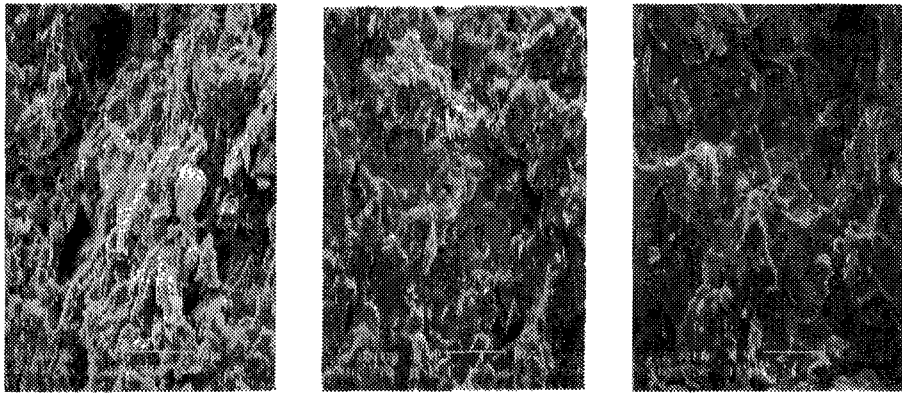
2. 목분 함량의 영향

Fig. 6-72는 목분의 함량이 복합재의 과단에 미치는 영향을 촬영한 사진이다. 목분의 함량이 적을 경우 과단면은 수지(matrix)의 과단과 가까운 형상을 하고 있다. 반면 목분의 함량이 증가할수록 목분의 영향으로 표면이 거칠어지고 목분이 뿔쳐져 나온 듯한 형상을 하고 있음을 알 수 있다.

3. 목분 입자크기의 영향

Fig. 6-73은 목분의 함량을 같게 하였을 때 복합재의 물성에 대한 목분 입도의 영향을 알아보기 위해 촬영한 사진이다. 이 과단면은 횡단면을 과단한 것이다. 사진에서 미세한 목분이 많을수록 과단면에 봉우리가 생기는 것을 확인할 수 있다. 그리고 굵은 입자를 포함하고 있는 복합재의 경우 공극이 눈에 띄게 많음을 확인할 수 있다.

결국 복합재의 과단은 수지(matrix)인 폴리프로필렌의 과단 특성에 많은 영향을 받으며 목분의 함량이 증가할수록 충전재로서의 목분의 영향을 받아 표면이 거칠어지며, 이러한 형상은 미세한 목분이 많을수록 뚜렷해졌다.

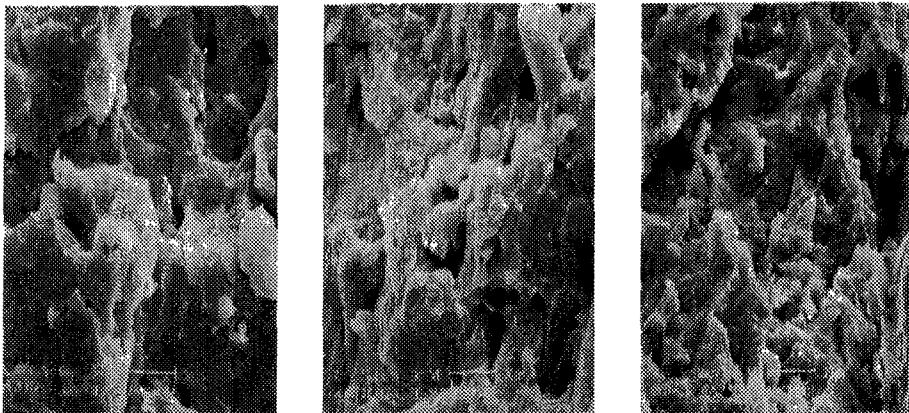


(a)

(b)

(c)

Fig. 6-71. SEM micrographs($\times 250$) of fracture surface of
(a): AM30M50C (b): CM30M50C (c): DM30M50C



(a)

(b)

(c)

Fig.6-72. SEM micrographs($\times 1000$) of fracture surface of
(a): AM100M40C, (b): AM100M50C, (c): AM100M60C

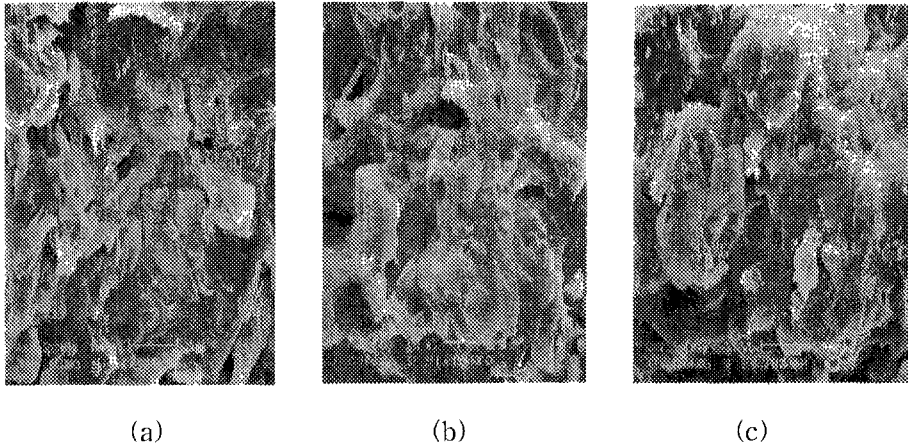


Fig. 6-73. SEM micrographs($\times 1000$) of cross section surface of
 (a) : AM30M50C, (b) : AM100M50C, (c) : AM140M50C

제 7 항 열적 특성

Fig. 6-74~77은 제조된 복합재를 20°C/min의 속도로 가열하여 분석한 TGA(thermo-gravimetric analysis) 열분석도이다. Fig. 6-74는 30mesh이상의 목분을 사용하였을 때, 그 함량에 따른 열적 특성의 차이를 나타내고 있다. 목분이 폴리프로필렌보다 먼저 분해가 시작되고 분해속도가 가파르게 진행되는 데 이러한 특성이 복합재에서도 나타났다. 목분의 함량이 많은 복합재일수록 그러한 경향은 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 6-75는 목분의 입자크기와 함량을 동일하게 적용할 때 사용한 폴리프로필렌의 용융지수에 따른 열적 특성의 차이를 나타내고 있다. 순수한 상태의 폴리프로필렌은 용융지수에 따른 열적 특성의 차이가 뚜렷하지 않지만 목분·플라스틱 복합재에 대해서는 그림에서 보는 것과 같이 뚜렷한 차이를 보였다. 고유동성의 폴리프로필렌을 사용하였을 때 목분의 열적 특성이 뚜렷하게 나타나 분해속도가 빠르게 나타났다. 이는 고유동성의 수지가 열을 목분

쪽으로 보다 빠르게 전달하여 목분의 분해가 빨리 일어난 것으로 사료된다.

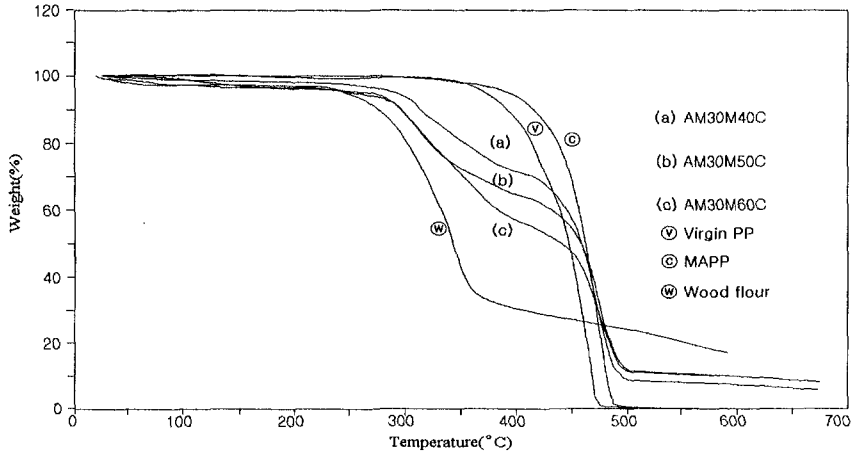


Fig. 6-74. TGA thermogram of WPC in atmosphere at a scan rate 20°C/min.

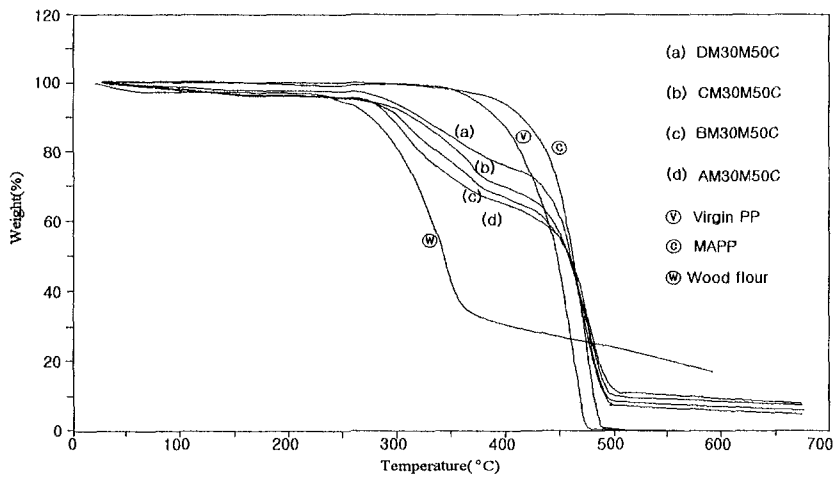


Fig. 6-75. TGA thermogram of WPC in atmosphere at a scan rate 20°C/min.

Fig. 6-76~77은 보다 미세한 목분을 사용한 복합재를 대상으로 열적 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 전반적인 경향은 비슷하나 각

복합재간의 특성 간격이 비교적 좁게 나타났다. 이 미세한 차이는 목분의 입자크기에 따른 분해속도의 영향이라 사료된다.

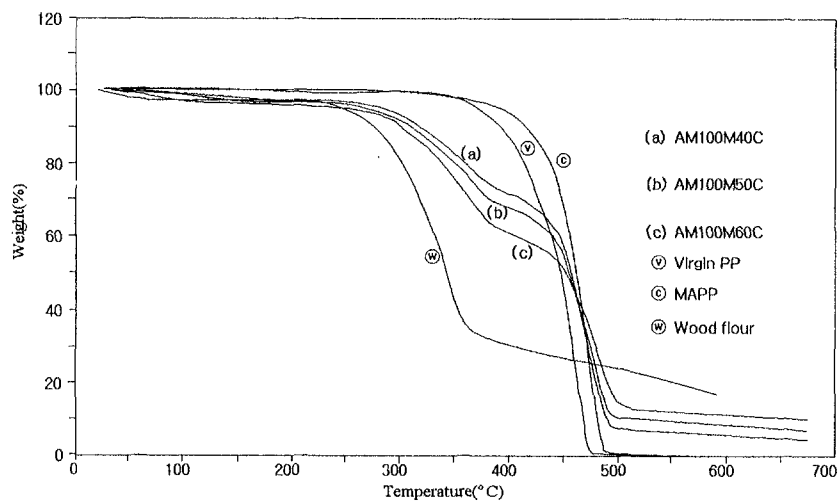


Fig. 6-76. TGA thermogram of WPC in atmosphere at a scan rate 20°C/min.

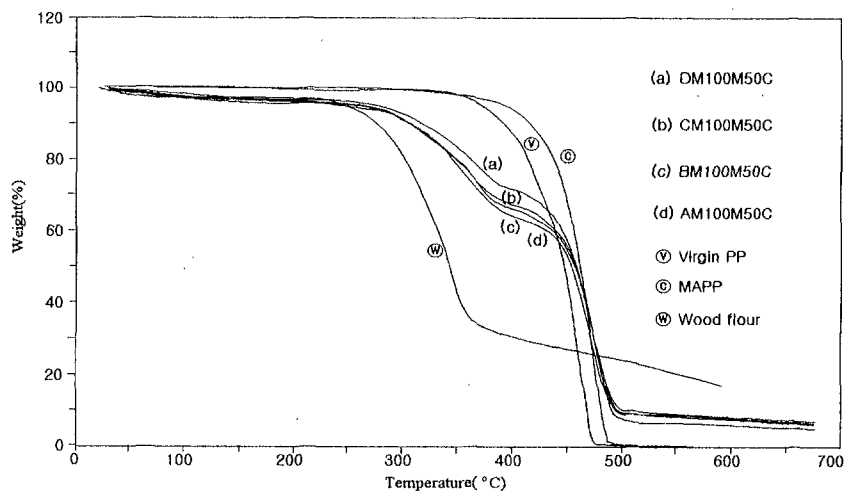


Fig. 6-77. TGA thermogram of WPC in atmosphere at a scan rate 20°C/min.

제 8 항 MDF 폐목분과 재생 폴리프로필렌을 사용한 복합재

1. 혼련 공정

중밀도섬유판(MDF)분말을 바로 가공하기에는 입자가 너무 크고 거칠어서 이를 12~50mesh, 50~100mesh 별로 분리하여 사용하였으며, 재생폴리프로필렌 사용시 기계적 물성 저하에 대해서 알아보기 위해 재생폴리프로필렌을 사용하여 virgin 폴리프로필렌을 사용한 경우와 비교하였다. 목분의 함량은 10wt%, 30wt%, 50wt%로 설정하였다. 그러나 50wt%를 첨가하였을 때 가공이 이루어지지 않는 것도 있었다. 공정조건은 Table 6-14에 요약되어 있는데, 압출성형시 온도조건을 160~200℃로 설정하였으며, 스크류 회전속도는 50~60rpm으로 설정하였다. 사출성형시 온도조건을 160~220℃로 조절하였으며 온도에 민감한 반응을 보였다. 사출압과 금형압을 각각 2100psi와 2400psi로 설정하였으며 사출압에서 약 5초 간 보압을 가해주었다.

Table 6-14. Process Condition of PP/MDF Composites

Extrusion Condition		Injection Condition	
Screw rpm	40~50	Feed Section	140℃
Heater	Feed Section	Middle Section	150℃
	Compression Section	Nozzle	160℃
	Metering Section	Injection	2100psi
	Die	Device	2400psi

2. 물성

MDF는 제조과정 상 폐놀수지 접착제를 필요로 하므로 그 분말이 순수한

목질로만 이루어져 있지 않다. 앞의 절까지의 실험결과에서 가장 문제가 되고 있는 것은 목질과 플라스틱과의 계면접착력 부족으로 인한 물성저하인데, MDF 분말속에 포함된 접착제의 효과를 파악하기 위한 실험이다.

또한 고분자수지로 일반PP와 재생PP를 사용하여 물성을 비교하여 재생수지의 사용가능성을 검토하여 보았다. 일반PP와 재생PP의 공정상의 차이는 없었으며 재생PP의 색이 약간 짙은 색을 띠었다.

MDF분말의 경우에도 앞절의 실험에서와 같이 목분함량이 증가할수록 인장탄성률은 증가하고 인장강도와 충격강도는 감소하는 것으로 나타났다 (Table 6-15, Fig. 6-78~80).

일반 잣나무 목분의 경우 결합제가 첨가되지 않으면 목분의 함량에 따라 인장강도가 감소하지만 결합제가 첨가됨으로써 인장강도가 증가하는 것을 알 수 있는데, MDF분말을 사용한 경우 오히려 인장강도의 감소 폭이 더욱 커지는 것으로 나타났다. 결과적으로 MDF분말에 함유된 접착제의 효과는 기대할 수 없다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 충격강도를 비교해 보면 MDF 분말을 사용한 경우 분말함량에 따른 충격강도의 감소 폭이 줄어든 것을 알 수 있는데 이것은 보다 장섬유로 이루어진 MDF분말의 형상에 기인하는 것으로 사료된다.

한편 재생수지의 경우를 살펴보면 전반적으로 물성이 떨어지나 이것은 수지자체의 물성이 낮음에 기인할 뿐 다른 물성저하 요인은 없는 것으로 나타났다. 따라서 적절한 재생수지를 선정한다면 복합재 제조상의 별다른 문제는 없을 것으로 사료된다.

Table 6-15. Properties of PP-MDF flour composites

MDF flour	Resin	mesh content	PP		재생PP	
			12~50	50~100	12~50	50~100
Tensile	Strength (MPa)	0	31.09	31.091	28.40	28.402
		10	25.39	26.705	23.46	24.048
		30	23.57	22.408	21.99	22.408
		50	-	18.041	-	17.35
		0	0.786	0.786	0.698	0.698
Modulus (GPa)	10	0.802	0.863	0.773	0.765	
	30	1.177	0.965	1.107	1.123	
	50	-	1.393	-	1.576	
	0	26.458	26.458	24.120	24.120	
	Flexural	Strength (MPa)	10	31.064	31.518	26.967
30			34.067	33.517	30.807	29.092
50			-	29.499	-	28.476
0			0.527	0.527	0.463	0.463
Modulus (GPa)			10	0.712	0.743	0.629
	30	1.104	1.089	1.093	0.959	
	50	-	1.601	-	1.678	
	Impact Strength (kJ/m ³)	0	43.469	43.469	45.734	45.734
		10	32.493	29.218	28.795	21.899
30		17.091	22.239	12.544	12.322	
50		-	11.298	-	8.260	
Density (g/cm ³)		0	0.905	0.905	0.906	0.906
	10	0.906	0.883	0.921	0.913	
	30	0.919	0.966	0.925	0.987	
	50	0.961	1.003	-	1.010	

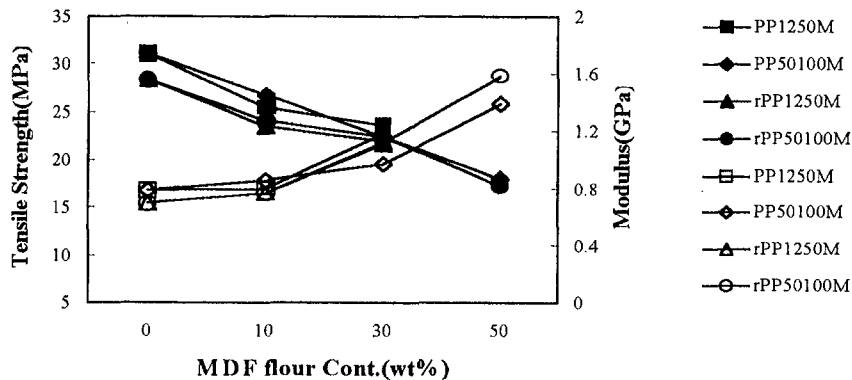


Fig. 6-78. Tensile strength and modulus of PP-MDF and rPP-MDF composites as a function of MDF flour content(wt%).(■: Strength □: Modulus).

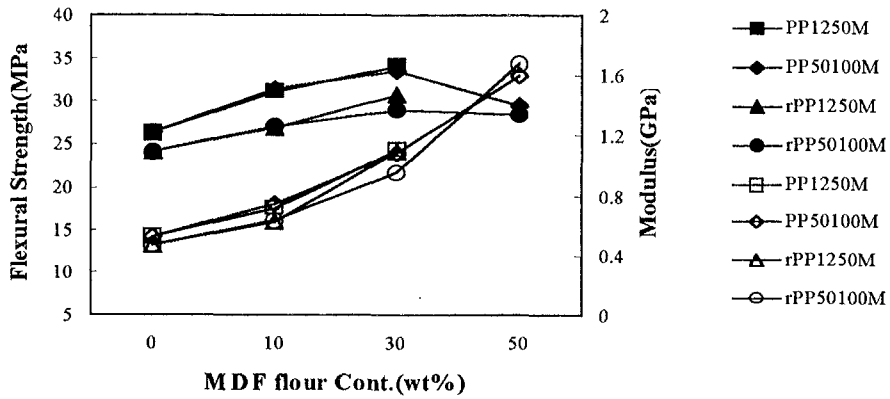


Fig. 6-79. Flexural strength and modulus of PP-MDF and rPP-MDF composites as a function of MDF flour content(wt%).(■: Strength □: Modulus)

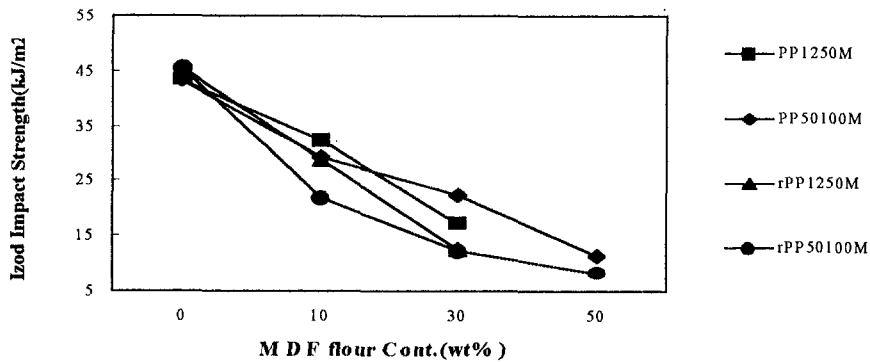


Fig. 6-80. Unnotched Izod impact strength of PP-MDF and rPP-MDF composites as a function of MDF flour Content(wt%).(■: Strength)

제 9 항 결 론

가공 공장에서 목재의 연삭시 발생하는 목분과 폴리프로필렌을 이용하여 복합재를 제조하였다. 결합제를 5wt%로 고정하여 폴리프로필렌의 용융지수와 목분의 입도 및 함량에 의한 물성의 변화에 대해 관찰하였다.

1. 고유동성의 수지를 사용하였을 때 저유동성의 수지에 비해 수지의 우수한 가공특성으로 인해 복합재의 가공이 용이하였다. 이는 수지의 가공성이 복합재의 가공성과 직결된다는 것을 의미한다. 또한 우수한 가공성으로 복합재 제조시 낮은 가공온도를 가능케 하므로 목분의 열분해를 방지할 수 있다. 목분의 함량이 증가할수록 인장물성과 굴곡물성은 증가하며 충격강도는 감소하였다. 이러한 경향은 고유동성 수지를 사용하였을 때 더 큰 폭으로 나타났다.

2. 한편 폐자재의 활용을 검토하기 위해 중밀도섬유판의 연삭분말과 재생 폴리프로필렌을 사용하여 복합재를 제조하였다. 폴리프로필렌을 재생 폴리프로필렌으로 대체하였을 때 소폭의 물성의 저하가 있었으나, 그 폭이 미미하여 목질·플라스틱 복합재가 수지의 재활용에 큰 효과가 있을 것으로 기대된다. 중밀도섬유판 제조시 첨가되는 열경화성수지의 결합제는 본 공정으로 가공하였을 때 접착효과를 나타내지 않았다.

제 5 절 폴리프로필렌以外 플라스틱과의 복합재

제 1 항 서 언

현재 국내외에서 개발되어 생산 중인 목질·플라스틱 복합재는 주로 폴리프로필렌을 이용한 재료이다. 이는 폴리프로필렌의 가공특성과 물성에 있어서 목질과 혼합했을 때 목재를 대응할 수 있는 가장 유리한 수지이기 때문이다. 그러나 본 실험의 목적이 폐자재의 재활용에 있기 때문에 폴리프로필렌 이외의 수지도 검토해야 할 것이다. 즉, 생활폐기물 중의 폐플라스틱을 수거하여 재활용하는 경우 수지 별로 분리하기가 어렵기 때문에 여러 종류의 수지가 혼합된 상태로 투입될 수밖에 없는 경우가 발생하기 때문이다. 또한 목재를 대응하는 용도 이외에도 목질·플라스틱을 활용할 수 있는 분야를 찾을 수 있으므로 복합재의 물성을 다양화 할 필요가 있다. 다시 말해서 목재와 유사한 경질재료로서가 아니라 유연한 물성을 요구하는 재료분야에 활용될 수도 있기 때문에 폴리프로필렌 이외의 다른 수지와와의 복합재를 개발할 필요가 있는 것이다. 본 실험에서는 가장 널리 쓰이고 있는 5대 범용 플라스틱 재료 중에서 가공온도가 비교적 높아 목질과 혼련 시키기 어려운 폴리스티렌을 제외한 나머지 수지, 즉 폴리염화비닐, 고밀도폴리에틸렌 및 저밀도폴리에틸렌을 사용하여 목질과의 복합재를 제조하여 물성을 평가하였다.

제 2 항 실험재료 및 방법

1. 실험재료

가. 폴리염화비닐(PVC)

한화중합화학의 일반 사출용인 grade P-1000의 제품을 사용하였다. 가

소재로는 DOP(dioctyl phthalate)를 사용하였으며, 열안정제로는 DBL (dibasic lead stearate)을 사용하였다.

나. 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)

한화중합화학에서 생산하는 용융지수(MI)가 6.5g/10min이고, 용융점이 136℃인 grade 7600를 사용하였다.

다. 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)

한화중합화학에서 생산하는 MI가 6.0g/10min이고, 용융점이 106℃인 grade 303을 사용하였다.

라. 목분

임업연구원에서 제공한 미세하게 분쇄된 국내산 잣나무 톱밥을 사용하였다.

2. 실험방법

폴리에틸렌을 사용한 복합재는 폴리프로필렌을 사용한 경우와 같은 방법으로 제조하였으나 폴리염화비닐 수지는 다른 수지와 달리 재료의 형상이 분말이며 가소제와 안정제와 같은 첨가제를 투입해야 하므로 혼련과정이 다소 다르다. 우선 분말상의 PVC를 기준으로 정해진 농도의 DBL과 DOP를 투입한 후 리본블렌더로 10분간, 블레이드형 블렌더로 5분간 완전히 섞어 PVC paste를 제조한 후 여기에 함수율 3% 이하로 건조시킨 목분을 투입하여 리본블렌더로 10분간 혼합하였다. 분말상의 PVC-WF 혼합물을 단축압출기를 이용하여 혼련 압출하였으며, 압출된 펠렛은 건조기에서 완전히 건조시킨 후 사출성형기를 이용하여 시편을 제조한 후 인장, 충격 및 굴곡물성을 측정하였다.

제 3 항 폴리염화비닐(PVC) 복합재

PVC는 재료의 특성상 가공온도와 열분해온도가 근접하여 안정제 없이는 가공이 불가능한 수지이다. 또한 가소제가 반드시 투입되는데 그 투입량에 따라 경질에서 연질제품까지 다양하게 제조할 수 있다. 본 실험에서는 안정제인 DBL의 투입량을 PVC에 대해 2phr(part per hundred)로 고정시키고 가소제인 DOP의 투입량을 PVC에 대해 5phr에서 50phr로 변화시켰다. 가소제의 투입량이 많아질수록 수지의 유동특성이 좋아져 목분과의 혼련과 압출이 용이해질 것으로 생각되지만 제품의 물성이 연질로 되어 건축재료로서의 요구물성에 부합하지 않게 된다. PVC는 제조공정상 분말상으로 공급되는 것이 일반적이므로 목분과의 혼합에 상당한 이점을 제공하고 있으며, 염소원자의 극성으로 인해 친수성인 목분과의 결합성도 좋으리라 예상된다.

1. 혼련 공정

Table 6-16은 PVC-WF 복합재의 압출혼련공정을 나타낸 것이다. 여기서 DOP의 농도는 PVC수지에 대해 phr로 투입된 것이며 목분의 함량은 복합재 전체에 대한 wt%로 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이 목분의 투입량이 많아질수록 가공이 어려워지고 이러한 현상은 DOP 농도가 낮을 경우 더욱 심하였다. 결과적으로 목분의 투입량은 60 wt%가 최대였고 DOP의 농도가 50 phr 일 경우에도 70 wt%의 목분 투입은 불가능하였다. 압출온도를 살펴 보면, DOP의 농도가 높고 목분의 함량이 낮은 경우를 제외하면 거의 모든 조건에서 실린더 2 부분의 온도가 설정치 보다 높게 나타났다.

이것은 온도 콘트롤이 되지 않았다는 것을 나타내는데 본 연구에 사용된 압출기에는 바렐 냉각이 설치되어 있지 않아 내부 마찰에 의한 발열이 클 경우 설정치보다 온도가 높아지게 되어있다. 결과적으로 목분의 함량이 많거나

DOP의 농도가 낮을 경우에 혼합물의 유동성이 떨어져 심한 내부 마찰발열을 일으키고 이에 따라 PVC 와 목분의 분해가 더욱 가속될 것으로 예상된다.

Table 6-16. Extrusion process of PVC/WF composite.

DOP (phr)	WF (wt%)	Extru- sion	Injec- tion	Extrusion temperature(°C)				Screw (rpm)	Load (Ampere)
				CY_1 130	CY_2 150	CY_3 160	Die 170		
5	30	○	○	132	175	156	167	54	9.5
	50	×	×	137	196	157	170	44	11
10	0	○	○	130	164	157	166	61	10
	10	○	○	131	168	156	168	65	10
	30	○	△	132	178	156	168	65	10
	50	○	×	131	173	154	168	37	9
20	0	○	○	135	158	156	165	62	8
	10	○	○	131	163	155	166	68	7
	30	○	○	131	176	155	167	66	8
	50	○	×	133	196	157	167	64	9
30	0	○	○	131	156	154	166	65	8
	10	○	○	132	155	153	165	65	8.5
	30	○	○	130	165	154	165	69	8
	50	○	○	134	194	157	170	69	8.5
50	60	△	×	154	192	158	170	40	15
	30	○	○	130	164	155	167	67	8
	50	○	○	133	175	157	170	66	8.5
	70	×	×	-	-	-	-	-	-

* Possibility : ○ available, △ Shut-down due to overload, × Impossible

2. 기계적 물성

Fig. 6-81~83은 목분의 함량에 따른 인장물성을 도시한 것이다. 목분이 전혀 첨가되지 않은 순수한 PVC에 비해 목분이 10 wt% 첨가된 경우 인장강도가 약간 감소함을 보였는데 이는 목분의 보강효과보다 목질과 PVC의 분해에 따른 결합의 발생이 물성에 더 큰 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다. 그러나 목분의 함량이 30 wt% 이상으로 높아지면서 인장강도가 다시 증가하게

되어 목분의 보강효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 보강효과는 Fig. 6-82의 인장탄성률 그래프에서 더욱 확실하게 나타나고 있는데, 목분의 함량에 따라 탄성률이 전체적으로 증가하고 있음을 보인다. 그러나 인장변형률의 경우에는 목분 함량이 증가함에 따라 급격히 감소하여 매우 脆性的으로 되는 것을 알 수 있다.

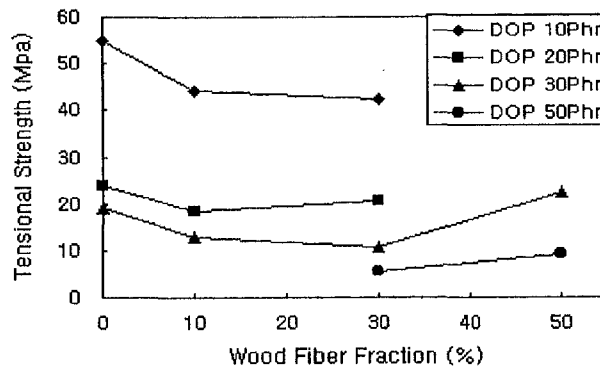


Fig. 6-81. Tensile strength of PVC-WF composite as a function of wood flour content.

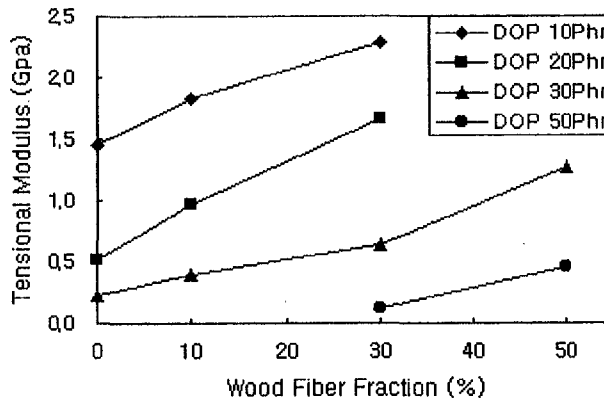


Fig. 6-82. Tensile modulus of PVC-WF composite as a function of wood flour content.

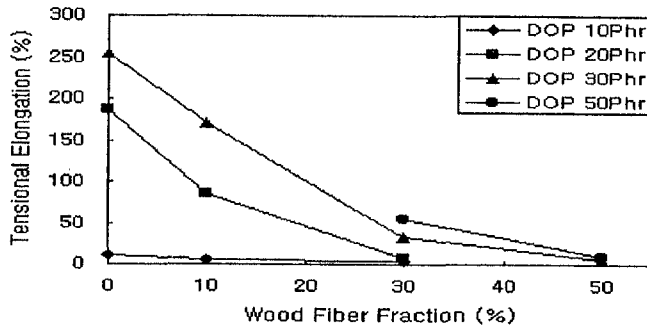


Fig. 6-83. Tensile elongation of PVC-WF composite as a function of wood flour content.

한편 DOP의 농도에 따른 물성변화를 살펴보면 Fig. 6-84~86과 같다. 가소제인 DOP가 물성에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 볼 수 있다. 이는 건축재료로 사용될 때 용도에 맞추어 연질부터 경질까지 쉽게 물성을 조절할 수 있음을 의미하며, 복합재의 활용범위를 더욱 넓힐 수 있을 것이다. 그러나 Fig. 6-86과 같이 목분의 함량이 50wt%로 높아지면 DOP의 농도에 관계없이 취성적인 물성이 개선되지 않음을 보이고 있어 이에 대한 보완이 필요하다고 사료된다.

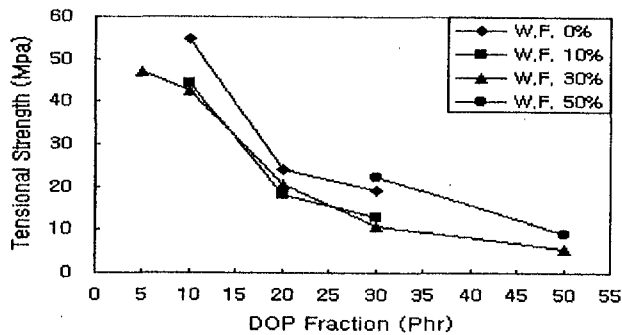


Fig. 6-84. Tensile strength of PVC-WF composite as a function of DOP concentration.

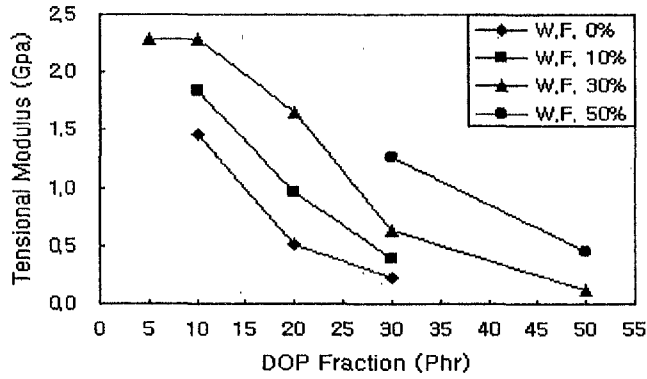


Fig. 6-85. Tensile modulus of PVC/WF composite as a function of DOP concentration.

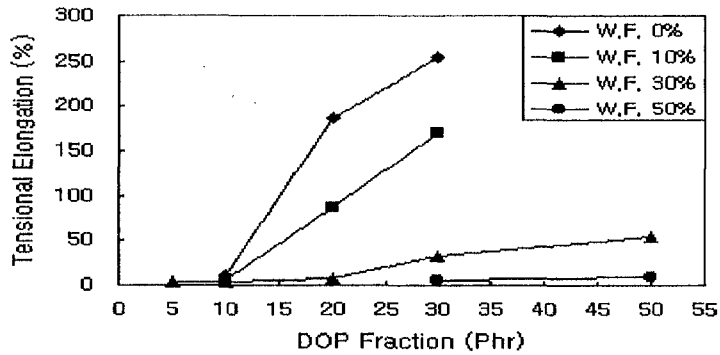


Fig. 6-86. Tensile elongation of PVC-WF composite as a function of DOP concentration.

PVC-WF 복합재의 충격물성을 살펴보면, PP와의 복합재와 마찬가지로 목분의 함량이 증가함에 따라 충격강도가 떨어짐을 보였다(Fig. 6-87). 이는 목분의 형태로 보아 충격응력을 흡수할 수 있을 정도로 목섬유의 길이가 길지 않을 뿐더러 오히려 충격응력의 집중현상을 발생시키기 때문으로 사료된다.

그러나 Fig. 6-88에 보는 바와 같이 DOP의 농도를 증가시킴으로써 충격강도를 향상시킬 수 있으므로, 특정 용도에 적합한 복합재를 생산하는데는 어려움이 없을 것으로 생각된다. 한편 DOP 농도를 증가시켜도 목분의 함량이 50wt% 이상으로 많아지면 인장물성에서와 같이 충격강도의 향상도 나타나지 않고 압출혼련 자체도 어려워지므로 50wt% 이상의 목분첨가는 무리일 것으로 생각되며 이를 위해서는 새로운 첨가제나 혼련방식을 도입해야만 할 것으로 사료되었다.

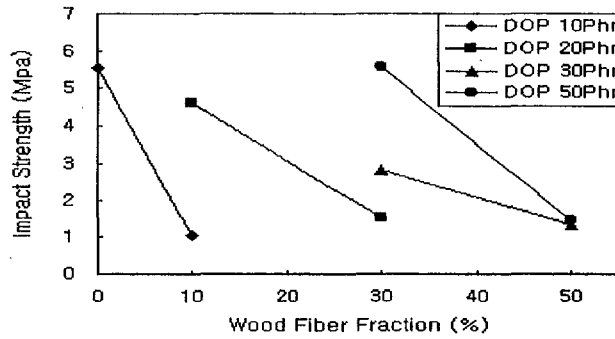


Fig. 6-87. Impact strength of PVC-WF composite as a function of wood flour content.

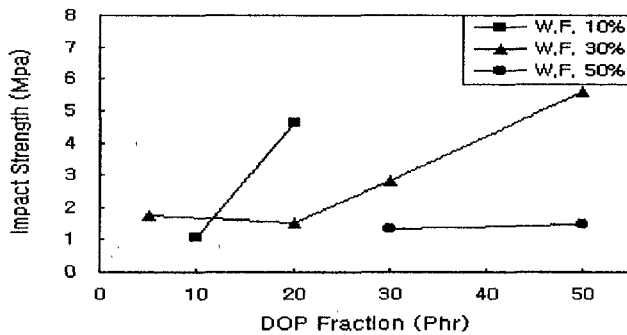


Fig. 6-88. Impact strength of PVC-WF composite as a function of DOP concentration.

Fig. 6-89~92는 복합재의 굴곡물성을 나타내고 있는데, 인장물성과 거의 같은 경향을 보이고 있다. 다만 굴곡강도의 경우 인장강도와 달리 목분의 함량에 따라 전체적으로 증가하는 것으로 보아 목분의 보강효과가 확연하게 나타남을 알 수 있다.

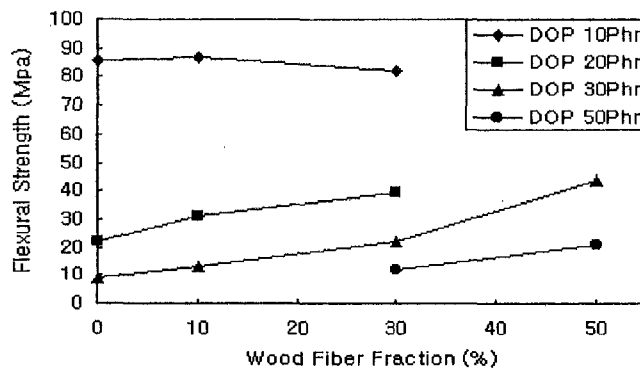


Fig. 6-89. Flexural strength of PVC-WF composite as a function of wood flour content.

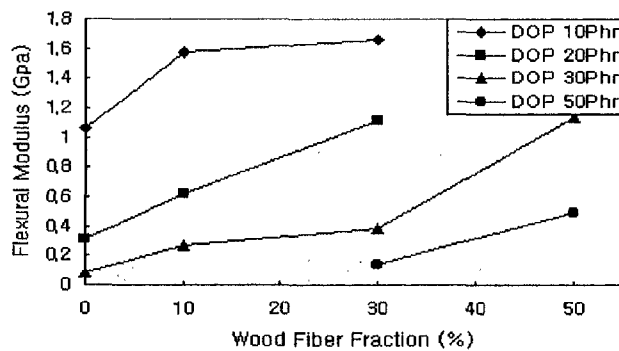


Fig. 6-90. Flexural modulus of PVC-WF composite as a function of wood flour content.

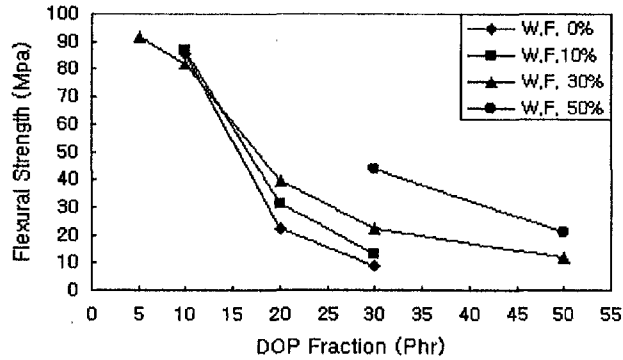


Fig. 6-91. Flexural strength of PVC-WF composite as a function of DOP concentration.

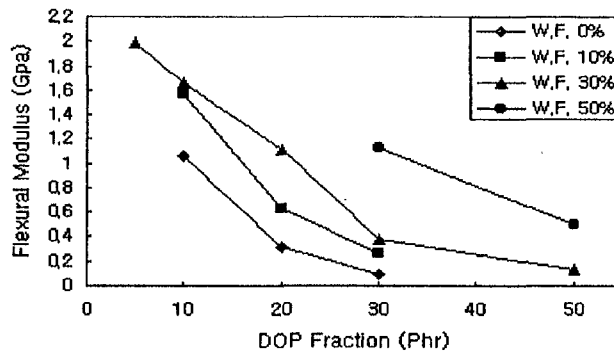


Fig. 6-92. Flexural modulus of PVC-WF composite as a function of DOP concentration.

제 4 항 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 복합제

목분의 입자크기와 함량, 그리고 결합제의 함량에 따른 물성변화를 알아보기 위해 목분은 40~60mesh와 80mesh 이상의 두 종류를 전체의 50wt%까지 혼입하였고, 결합제는 전체의 5wt%까지 첨가하였다.

1. 혼련 공정

압출공정의 온도조건은 145~180°C 범위에서 가공이 가능하였지만 목분 크기에 따른 가공온도의 변화를 최소로 하기 위해 설정온도를 150~160°C로 하였으며, 스크류 회전속도를 45~55rpm으로 하였다(Table 6-17). 목분함량 30wt%까지는 위의 공정조건에서 무난히 가공되었으나 목분함량 50wt.%에서는 조건을 바꾸어도 압출가공이 제대로 이루어지지 않았다. 사출성형시 온도 조건은 160~170°C로 설정하였으며 그 이상의 온도에서는 시편의 변색을 가져왔다. 또한 사출압과 금형압은 2100psi와 2400psi로 설정하였으며 사출압에서 약 5초간 보압을 가해주었다.

압출성형 과정에서 압출기의 압축구역에서 설정온도보다 높은 온도를 보이는 발열현상이 나타났는데 발열은 목분 크기가 큰 40~60mesh가 3~4°C, 보다 작은 80mesh에서는 2~3°C로 나타났다. 이 발열은 스크류의 속도와 온도, 목분의 크기가 달라짐에 따라 변화하였는데 이러한 차이가 최소가 되는 값에서 가공하였다. 사출성형에서는 HDPE의 결정화에 따른 시편의 수축현상이 발생함을 관측할 수 있었는데 목분의 함량이 증가할수록 수축률은 감소하고 이에 따라 성형성이 좋아졌다. 또한 시편 사출시 목분의 배향을 눈으로 확인할 수 있었으며 이런 현상은 입자가 클수록 두드러졌다.

Table 6-17. Process condition of HDPE/WF composites.

Extrusion Condition		Injection Condition		
Screw rpm	45~55	Feed Section	160°C	
Feed Section	150°C	Heater	Middle Section	170°C
Compression Section	160°C		Nozzle	170°C
Metering Section	160°C	Pressure	Injection	2100psi
Die	160°C		Device	2400psi

2. 기계적 물성

폴리프로필렌을 이용한 연구에서 목분의 함량이 늘어날수록 인장탄성률은 증가하지만, 인장강도는 크게 변하지 않고, 충격강도는 목분과 수지와 의 계면에서 발생하는 결함에 의해 오히려 감소하는 것으로 나타났는데 HDPE를 사용한 경우도 같은 결과를 보였다(Table 6-18, Fig. 6-93~97).

Table 6-18. Mechanical properties of HDPE/WF composites(dry state)

WF (mesh)	WF content (wt%)	MAPP (wt%)	Tensile			Impact strength	Flexural strength
			Strength MPa	Elongation %	Modulus GPa		
40	10	1	26.30	14.46	1.1074	28.975	30.9463
		3	28.01	12.06	1.1660	24.622	32.9109
		5	28.33	11.11	1.1710	25.446	31.8599
	20	1	26.30	8.93	1.2507	15.819	33.8702
		3	28.55	6.99	1.4783	15.600	38.7746
		5	27.79	7.29	1.3884	16.310	37.5704
	30	1	26.18	5.48	1.7623	10.305	37.3336
		3	28.30	5.23	1.5377	10.203	38.7246
		5	29.39	4.89	1.6886	10.631	40.3681
80	10	1	25.96	18.29	1.1770	30.809	30.2672
		3	27.20	16.37	1.1329*	31.520	31.5608
	20	5	27.87	8.57	1.2920	18.756	35.3127
		1	25.69	4.78	1.5162	13.878	35.9241
	30	3	23.89	4.94	1.3101	13.860	33.5645
		5	25.79	5.27	1.4322	12.302	35.3475

목분의 입도에 따른 물성을 살펴보면 입도가 큰 경우 인장강도와 굴곡강도가 높고 충격강도는 낮게 나타났다. 따라서 섬유질의 성질을 면 목분의 강화 효과는 입도가 클수록, 즉, 40mesh가 80mesh보다 커진다는 것을 확인할 수

있었지만, 목분과 수지사이의 계면결합으로 인한 충격강도의 저하는 목분입자가 클수록 오히려 더욱 크게 나타나고 있다.

한편 결합제(MAPP)를 사용할 경우 인장 및 굴곡물성은 현저하게 향상되나 충격강도는 거의 변화가 없었다. 결과적으로 충격강도의 저하를 막기 위해서는 결합제의 사용으로 계면결합력을 향상시키는 것만으로는 큰 효과를 볼 수 없고, 미세한 목분을 사용하여 수지와 목분사이에 발생하는 공극을 줄여야만 한다고 생각된다.

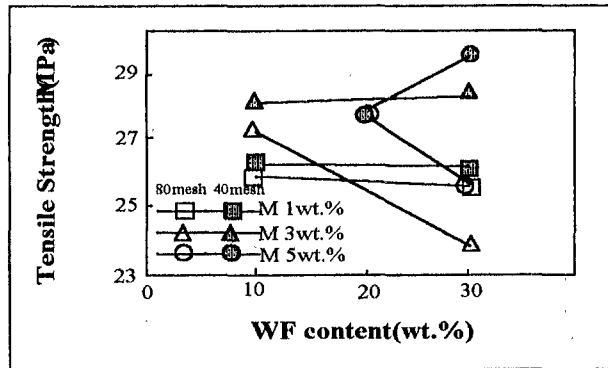


Fig. 6-93. Tensile strength of HDPE-WF composite as a function of wood flour content.

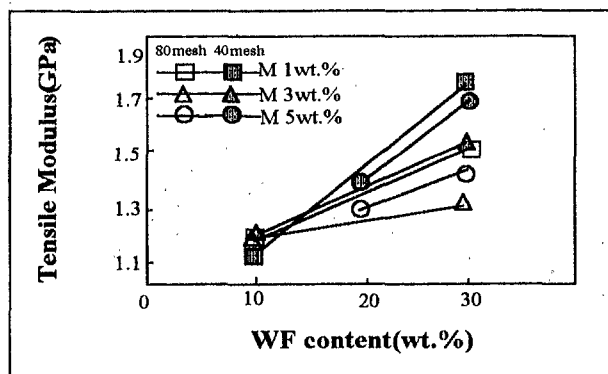


Fig. 6-94. Tensile modulus of HDPE-WF composite as a function of wood flour content.

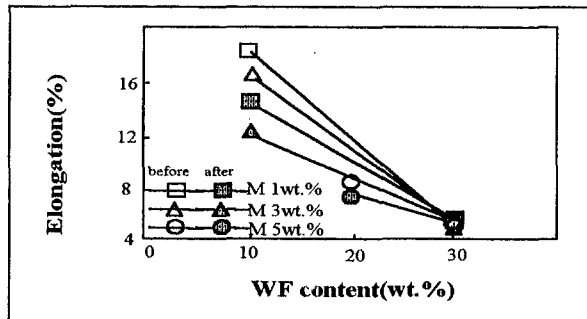


Fig. 6-95. Tensile elongation of HDPE-WF composite as a function of wood flour content.

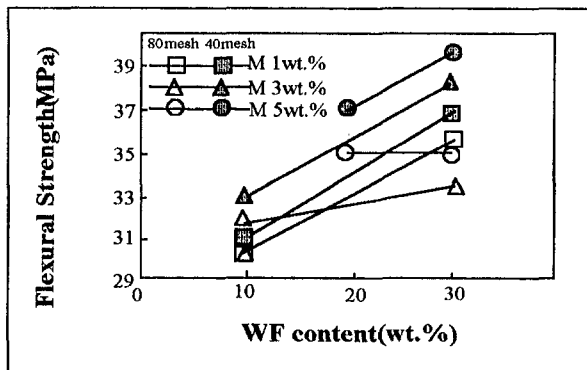


Fig. 6-96. Flexural strength of HDPE-WF composite as a function of wood flour content.

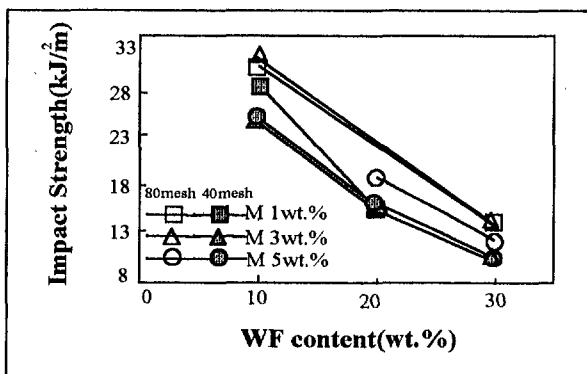


Fig. 6-97. Impact strength of HDPE-WF composite as a function of wood flour content.

3. 수분의 영향

목분이 친수성을 가지므로 목분의 함량이 증가할수록 흡습량이 증가하였으며, 목분의 입도가 클수록 흡수량이 더 많음을 알 수 있다(Table 6-19).

또한 수분흡수 후 전체적으로 인장강도 및 굴곡강도, 충격강도는 떨어졌다(Table 6-20). 결과적으로 수분의 흡수를 억제하고 그에 따른 물성의 변화를 줄이기 위해서는 목분의 입도가 작을수록 유리하다고 생각된다

Table 6-19. Water absorption and volumetric change of HDPE-WF composite.

WF (Size)	WF (Content)	MAPP (Content)	Initial weight	Weight change after 10 days	Weight change after 20 days	Weight change after 30 days	Weight change after 40 days	Volumetric change
mesh	wt%	wt%	g	%	%	%	%	%
	10	1	5.910	0.163	0.256	0.304	0.373	0.217
		3	5.934	0.155	0.244	0.368	0.367	0.084
		5	5.979	0.129	0.222	0.26	0.353	0.241
40	20	1	6.278	0.358	0.551	0.687	0.793	0.536
		3	6.361	0.381	0.586	0.689	0.807	0.687
		5	6.178	0.365	0.509	0.644	0.723	0.615
	30	1	6.463	0.794	1.157	1.443	1.639	1.307
		3	6.502	0.699	0.947	1.211	1.332	0.962
		5	6.481	0.662	0.897	1.133	1.262	0.943
80	10	1	6.004	0.176	0.226	0.328	0.344	0.239
		3	5.948	0.146	0.229	0.277	0.324	2.053
		5	6.210	0.365	0.526	0.633	0.735	0.787
	30	1	6.462	0.784	1.053	1.299	1.391	1.073
		3	6.478	0.692	0.903	1.114	1.285	0.994
		5	6.358	0.646	0.868	1.159	1.227	0.733

Table 6-20. Mechanical properties of HDPE-WF composites(wet state)

WF (mesh)	WF content (wt%)	MAPP (wt%)	Tensile			Impact strength	Flexural strength
			Strength MPa	Elongation %	Modulus GPa		
40	10	1	24.44	15.43	1.0621	23.859	2.6617
		3	25.87	15.1	1.2290	21.438	28.828
		5	25.91	12.77	1.0573	21.028	2.7441
	20	1	24.90	10.01	1.3171	13.649	2.8407
		3	27.17	8.13	1.3631	13.366	3.5378
		5	27.90	8.99	1.3323	13.298	30.539
	30	1	25.09	7.06	1.4041	9.334	2.9360
		3	26.84	6.42	1.4772	8.797	3.0629
		5	28.43	6.12	1.6693	10.142	3.5269
80	10	1	24.06	19.85	1.0610	27.390	2.5458
		3	25.12	15.35	1.0375	27.209	2.7094
	20	5	26.28	8.57	1.4499	14.497	32.087
		1	24.36	6.15	1.3958	11.136	3.3600
	30	3	22.50	5.01	1.2938	11.716	3.2441
		5	24.47	5.93	1.4933	11.172	3.2283

제 5 항 저밀도폴리에틸렌(LDPE) 복합재

가공성이 우수하다는 LDPE의 장점을 최대한 이용하기 위하여 결합제를 사용하지 않고 10, 30, 50wt%의 목분을 혼입한 복합재를 제조하였으며, 결합제의 효과를 살펴보기 위해 MAPP 5 wt%가 첨가된 50wt% 목분혼입 복합재를 제조하여 물성을 비교했다.

1. 혼련 공정

압출성형시 온도조건을 120~160℃로 설정하였으며, Screw rpm은 40~50rpm으로 설정하였다. 사출성형시 온도조건은 140~160℃로 하였으며 사출

압과 금형압을 각각 2100psi와 2400psi로 설정하였다. 그리고 사출압에서 약 5초간 보압을 가해주었다(Table 6-21).

Table 6-21. Process Condition of LDPE/WF Composites

Extrusion Condition		Injection Condition	
Screw rpm	40~50	Heater	Feed Section 140℃
Heater	Feed Section 120℃		Middle Section 150℃
	Compression Section 140℃		Nozzle 160℃
	Metering Section 160℃	Pressure	Injection 2100psi
	Die 160℃		Device 2400psi

2. 기계적 물성

PP와 HDPE의 경우와 같이 목분의 혼입량이 증가할수록 인장탄성률과 굴곡강도는 증가하지만 인장강도와 충격강도는 저하되고 있다(Table 6-22, Fig. 6-98~101). 그러나 MAPP를 첨가한 경우 모든 물성이 향상되는 것으로 보아 유동성이 우수하여 목분의 분산이 유리한 LDPE의 경우에도 목분과 수지와의 계면결합력을 향상시키기 위해 결합제가 반드시 필요하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결합제의 첨가효과는 목분과 수지의 결합력 향상으로 공극이 줄어들어 밀도가 증가하는 현상으로 확인될 수 있었다. 한편 목분의 입도에 따른 물성의 변화를 살펴보면 목분의 입도가 커질수록 인장강도는 증가하고 인장탄성률과 충격강도는 감소하는 것으로 나타났으며 MAPP를 5% 첨가한 경우 인장강도, 인장탄성률 및 굴곡강도가 향상되었다(Fig. 6-102~105). 결과적으로 결합제가 첨가되지 않으면 목분과 수지사이의 계면 缺陷에 의해 기계적 물성이 결정되어 목분자체의 물성이 복합재의 물성에 기여하는 정도가 줄어들다는 사실을 알 수 있었다.

Table 6-22, Mechanical properties of HDPE/WF composites(dry state)

Wood flour	Mesh	40~60	60~80	80~100	100~	
	WF.wt.%					
Flexural	0	0.051	0.051	0.051	0.051	
	Modulus (GPa)	10	0.100	0.094	0.090	0.090
		30	0.235	0.211	0.278	0.202
		50	0.469	0.432	0.433	0.333
		47.5 (MAPP 5%)	0.601	0.546	0.606	0.531
	Strength (MPa)	0	4.384	4.164	4.164	4.164
		10	6.803	6.545	6.608	6.523
		30	9.212	8.759	10.068	8.998
		50	9.636	9.415	9.892	9.494
		47.5 (MAPP 5%)	15.494	15.230	15.762	15.288
Tensile		0	9.43	9.43	9.43	9.43
	Strength (MPa)	10	8.46	8.33	8.06	7.80
		30	7.54	6.93	6.91	6.56
		50	6.86	6.01	5.97	5.67
		47.5 (MAPP 5%)	13.15	12.00	10.83	11.13
	Modulus (GPa)	0	0.066	0.066	0.066	0.066
		10	0.121	0.113	0.123	0.112
		30	0.302	0.260	0.325	0.250
		50	0.503	0.573	0.607	0.595
		47.5 (MAPP 5%)	0.681	0.659	0.796	1.131
30		13.503	15.551	13.750	16.965	
Impact Strength (kJ/cm ²)	50	5.346	5.648	5.586	5.112	
	47.5 (MAPP 5%)	7.364	7.923	8.573	8.039	
	Density (g/cm ³)	0	0.915	0.915	0.915	0.915
10		0.951	0.954	0.941	0.953	
30		1.031	1.011	1.031	1.024	
50		1.087	1.081	1.082	1.076	
47.5 (MAPP 5%)		1.099	1.104	1.092	1.097	

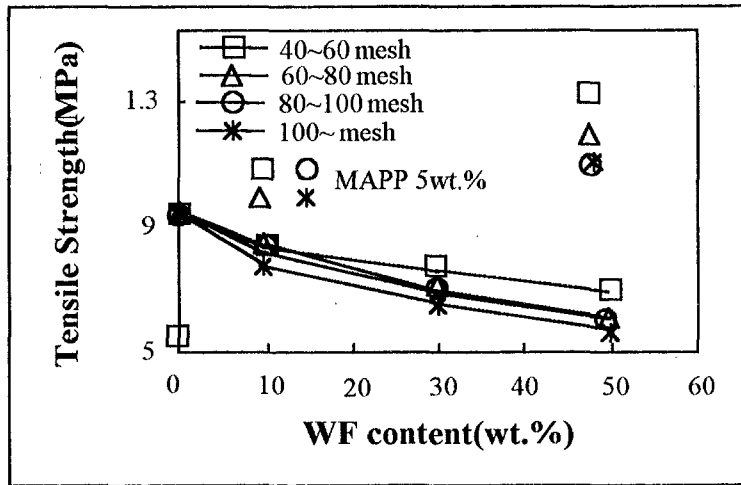


Fig. 6-98. Tensile strength of LDPE-WF composite as a function of wood flour content.

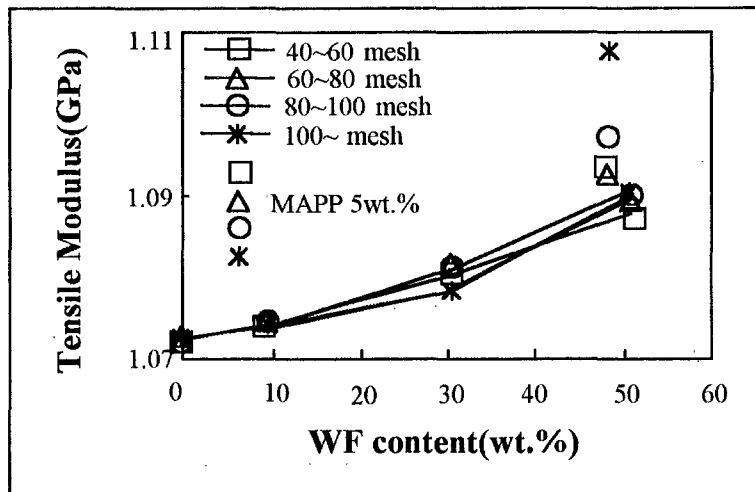


Fig. 6-99. Tensile modulus of LDPE-WF composite as a function of wood flour content.

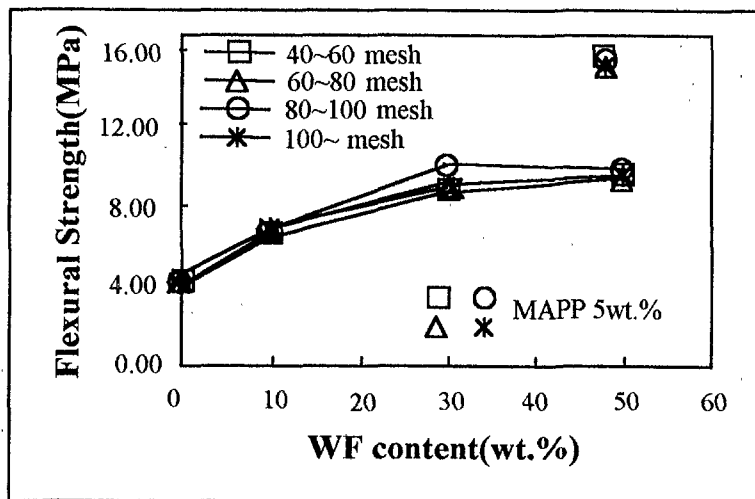


Fig. 6-100. Flexural modulus of LDPE-WF composite as a function of wood flour content.

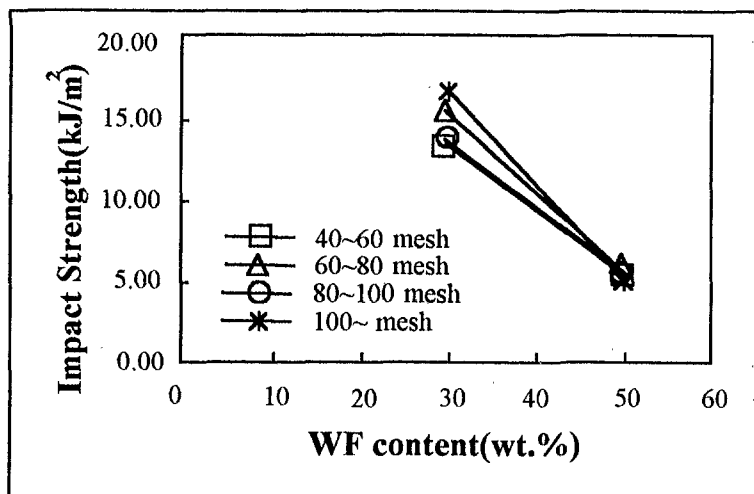


Fig. 6-101. Impact strength of LDPE-WF composite as a function of wood flour content.

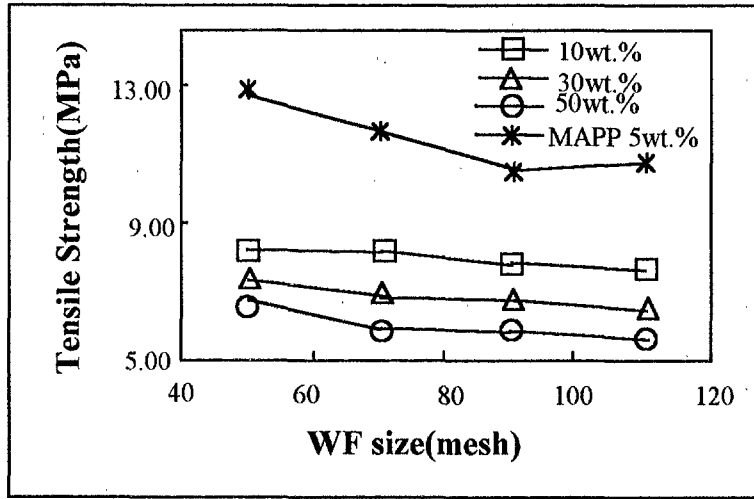


Fig. 6-102. Tensile strength of LDPE-WF composite as a function of wood flour particle size.

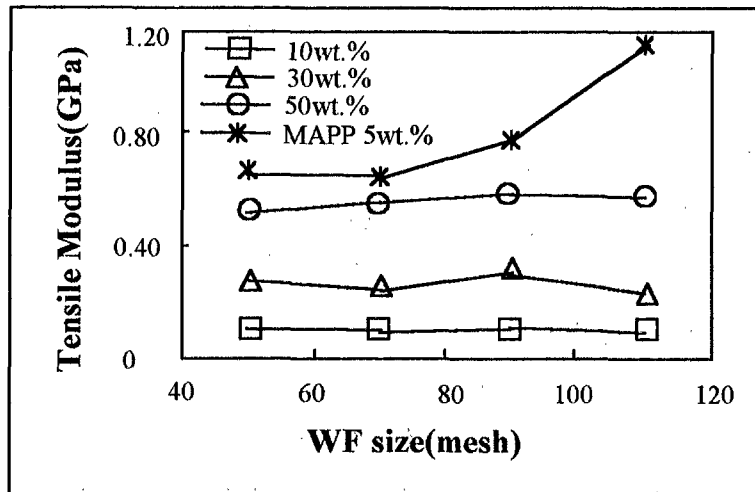


Fig. 6-103. Tensile modulus of LDPE-WF composite as a function of wood flour particle size.

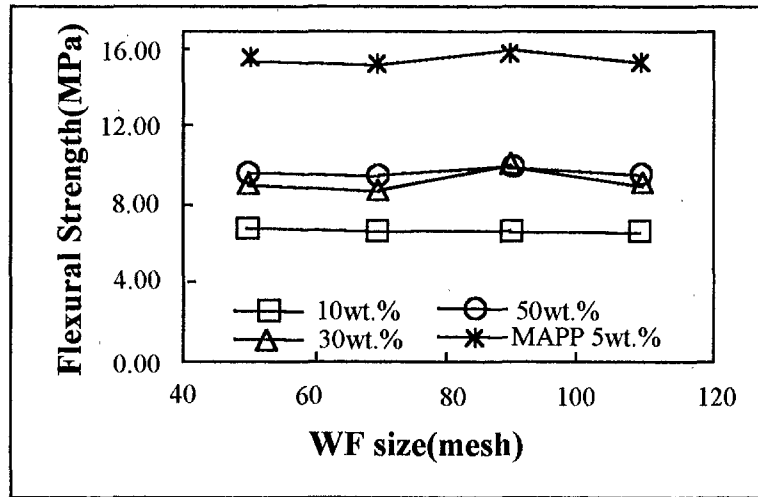


Fig. 6-104. Flexural strength of LDPE-WF composite as a function of wood flour particle size.

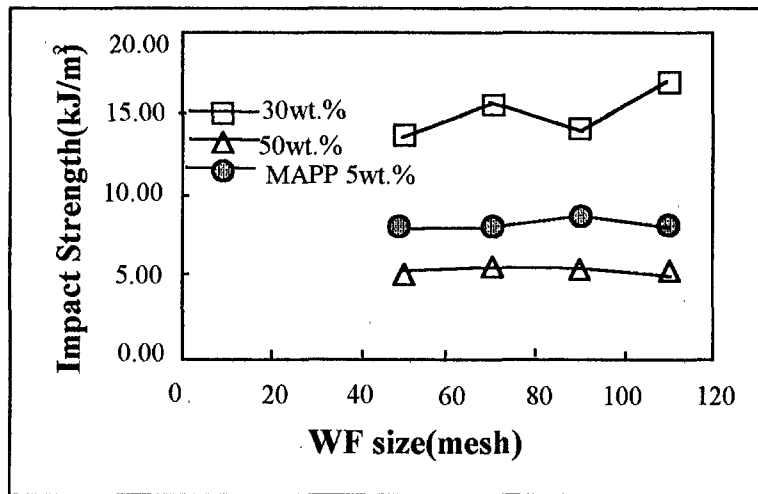


Fig. 6-105. Impact strength of LDPE-WF composite as a function of wood flour particle size.

제 6 항 결 론

폴리프로필렌 이외의 범용 플라스틱을 사용한 복합재를 제조하여 물성을 평가하였다.

1. 목분이 전혀 첨가되지 않은 순수한 PVC에 비해 목분이 10 wt% 첨가된 경우 인장강도가 약간 감소함을 보였는데 이는 목분의 보강효과보다 목질과 PVC의 분해에 따른 결합의 발생이 물성에 더 큰 영향을 미치기 때문으로 사료된다. 그러나 목분의 함량이 30 wt% 이상으로 높아지면서 인장강도가 다시 증가하게 되어 목분의 보강효과가 나타났다.

2. DOP의 농도에 따른 물성변화를 살펴보면 가소제인 DOP가 물성에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이는 건축재료로 사용될 때 용도에 맞추어 연질부터 경질까지 쉽게 물성을 조절할 수 있다는 장점을 가지며, 복합재의 활용범위를 더욱 넓힐 수 있음을 시사하여 주었다.

3. HDPE를 사용한 경우, 폴리프로필렌을 사용한 경우와 유사하게 목분의 함량이 늘어날수록 인장탄성률은 증가하지만, 인장강도는 크게 변하지 않고, 충격강도는 목분과 수지와의 계면에서 발생하는 결합에 의해 오히려 감소하는 것으로 나타났다.

4. LDPE를 사용한 경우, PP와 HDPE의 경우와 같이 목분 함량이 증가할수록 인장탄성률과 굴곡강도는 증가하지만 인장강도와 충격강도는 저하되었다. 그러나 MAPP를 첨가한 경우 모든 물성이 향상되는 것으로 보아 유동성이 우수하여 목분의 분산이 유리한 LDPE의 경우에도 목분과 수지와의 계면결합력을 향상시키기 위해 결합제가 반드시 필요하다는 사실을 알 수 있었다.

제 6 절 공장실연실험

제 1 항 서 언

목질·플라스틱 복합재의 가공은 복합재의 성형이 파티클보드와 같은 일반적인 목가공 재료와 같은 열경화성 가공과는 달리 용융과 냉각에 의한 성형으로 이루어지기 때문에 열가소성 플라스틱의 대표적인 가공방식인 압출성형과 사출성형이 적합하다고 사료된다.

그 외의 가공방식으로는 압축성형을 생각할 수 있는데 이 경우는 주로 열경화성 수지를 가공하는 데 사용되는 방식으로서 가공에 필요한 설비가 복잡하지 않고 대형 물체를 성형하는데 유리하다. 따라서 본 실험에서는 압출성형과 압축성형의 두 공정에 대해 공장실험을 실시하였다.

제 2 항 실험 재료

목질원료는 가구를 연삭할 때 발생하는 분말을 30mesh 체로 쳐서 굵은 입자만을 제거한 목분(이하 연삭목분이라 함)과, 임업연구원에서 제공한 30mesh 크기의 분쇄목분(이하 분쇄목분이라 함)을 사용하였다. 두 경우 모두 30mesh의 체로 친 것이나 연삭목분은 주로 80mesh 이상의 미세 입자로 이루어진 것<사진 6-5>이며, 분쇄목분은 주로 30mesh 정도의 거친 입자로 되어있으며 목재의 수피부분까지 포함되어 있어 짙은 색을 띠고 있다<사진 6-6>.

플라스틱으로는 연구에 사용된 폴리프로필렌 중 용융지수가 가장 큰 (주) SK화학 H380Y(MI= 25g/10min) grade를 사용하였다. 목분의 혼입량은 50wt%로 하였으며, MAPP는 2.5wt%첨가하였다. <사진 6-7~8>은 두 가지의 목분

을 이용하여 혼련 압출한 복합재 펠렛을 보여주는데 분쇄목분을 사용한 경우 목분입자가 거칠어 압출물의 표면이 매우 거칠며 펠렛화하는 과정에서도 절단면이 깨끗하지 못하고 부스러지는 현상이 많이 일어났다.

제 3 항 압출성형

건축자재로 목질·플라스틱 복합재를 사용하는 경우 판재나 각재 등 일정한 단면을 갖는 연속체의 형태로 사용하는 경우가 많으므로 압출성형공정을 이용하는 것이 가장 바람직하다. Fig. 6-106은 전형적인 플라스틱 압출 공정을 나타낸 것이다. hopper dryer에서 미리 건조된 원료수지는 압출기로 투입되어 용융된 후 일정한 유량으로 성형 die를 통해 토출된다. 고압의 압출기 내에서 대기압하의 외부로 토출된 압출물은 잔류탄성응력의 완화에 의해 약간의 팽창(die swell)이 일어나게 된다.

고온의 압출물은 즉시 냉각수조로 투입되어 냉각·고화된다. 냉각수조의 앞부분에는 die의 형상과 같게 설계된 sizing 장치가 설치되어 있다. sizing이란 압출물의 단면 형상을 일정하게 유지하면서 경면 가공된 장치의 평활한 금속면과의 마찰로 인해 압출물 표면을 매끄럽게 하여 광택이 나게 하는 것이다. 이 때 sizing 장치에 진공을 걸면 압출물 내부의 휘발성물질의 제거와 함께 금속과의 접촉을 강화시켜 보다 우수한 sizing 효과를 볼 수 있다. sizing 장치를 통과한 압출물은 계속해서 냉각수조를 통과하면서 완전히 냉각·고화된다. 고화된 압출물은 take-up roll에 물려 일정한 속도로 인취된 후 정해진 길이로 잘라지게 된다.

1. 실험

압출성형을 위한 공장실험은 경남 김해 소재의 강남산업에서 실시하였으

며 압출설비의 구조는 전술한 바와 같다. Table 6-23은 압출설비의 제원이며 die는 Fig. 6-107에 도식된 2 가지 형태를 사용하였다.

압출조건은 Table 6-24와 같으며 복합재 펠렛을 80℃에서 12시간 동안 hopper dryer을 이용해 건조시킨 후 압출기에 투입하였다.

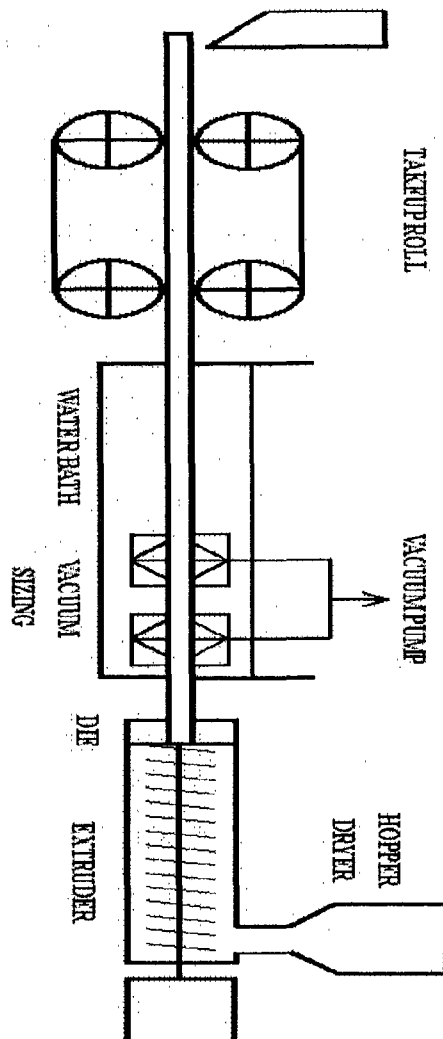


Fig. 6-106. Typical extrusion line

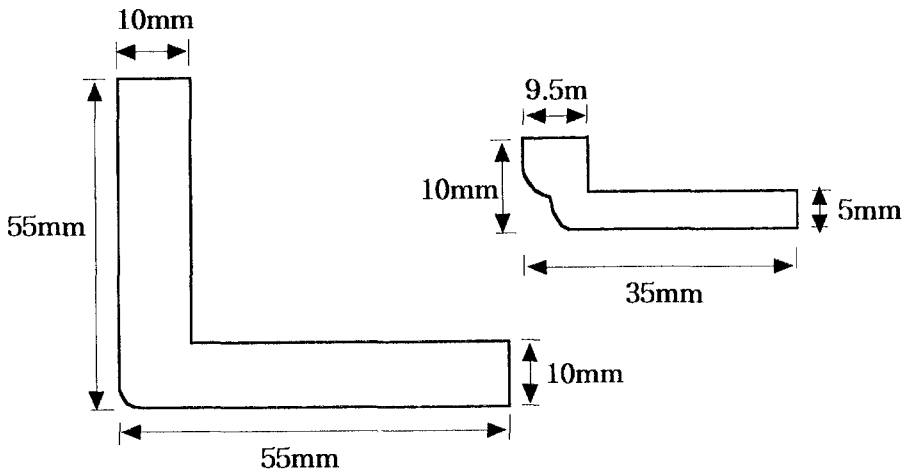


Fig. 6-107. Die design for field test.

Table 6-23. Specification of the extrusion line for field test.

Item	Spec.
Screw Diameter	70 mm
Screw L/D Ratio	28
Screw rpm Max.	50
Screw Mixing Zone	None
Temp. Control	6 zone
Barrel Cooling	Air
Die Length	105 mm
Sizing Block Length	300 mm

Table 6-24. Extrusion condition.

Heater position	Temperature (°C)
Barrel 1	160
Barrel 2	180
Barrel 3	180
Barrel 4	180
Barrel 5	200
Die	190
Screw rpm	35

2. 결과

compounding 공정의 압출다이 토출시 표면이 부풀어 일어나는 현상이 많이 있었다. 특히 임업연구원 제조 목분의 경우 그 정도가 매우 심했다. 이러

한 현상은 현장설비의 경우 sizing으로 개선할 수 있을 것으로 사료되었으나 현장설비에 있어서도 압출다이 토출후 표면이 심하게 일어나서 sizing block에 삽입하는 것조차 불가능하였다<사진 6-11>.

압출기 내부에서 고압으로 압축된 복합체가 대기압의 외부로 토출되면서 팽창함으로써 발생하는 이러한 현상은 일반 플라스틱의 경우에도 발생하는데 die swell 현상이라고 한다. die swell은 플라스틱 재료의 점탄성적인 특성으로 탄성회복의 효과로 나타나는 것이다.

그러나 목질-플라스틱 복합재의 경우 탄성회복으로 볼 수 없을 정도로 그 팽창률이 매우 크다. 이는 목질의 분해로 인한 가스의 발생으로 설명할 수 있는데, 결국 다이 토출 후 바로 sizing을 할 수 있도록 압출 다이를 설계할 필요가 있다. 즉 die와 sizing block를 일체형으로 하여 재료가 완전히 냉각되어 팽창을 하지 못하는 상태에서 대기압 하로 방출되어야 한다. 이러한 공정은 일본의 특허를 도입하여 생산하고 있는 방법과 유사하다.

3. 압출die 개선 실험

압출성형 공장실험 결과에서 나타난 압출다이 토출후 표면이 일어나는 현상을 억제하기 위해 die 와 sizing block이 일체형으로 설계된 die(Fig. 6-108)를 제작하여 실험하였다<사진 6-13>.

sizing die의 냉각수량, 압출부 및 die 온도, screw rpm 등의 조건 설정에 따라 압출물의 형상이 매우 민감하게 반응했지만 공정조건을 최적화한 결과 압출성형의 가능성을 충분히 확인할 수 있었다. sizing 효과가 충분하여 성형품의 표면에 광택이 나타났으며 부풀어오르는 현상이 현저하게 감소되었다.

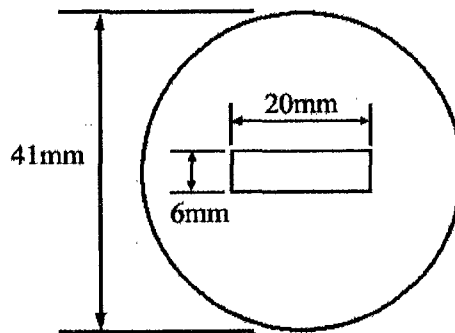
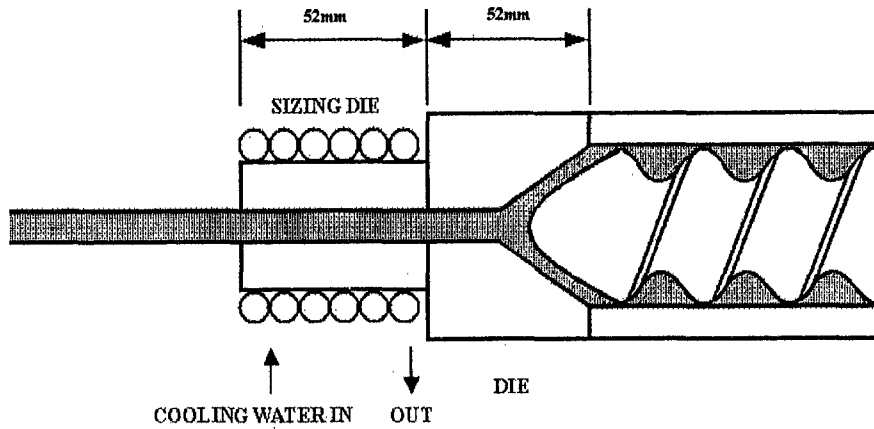


Fig. 6-108. Schematic of extrusion process with sizing die and cross section of the die.

Table 6-25는 sizing die를 사용할 경우의 최적 공정조건이며, <사진 6-13>은 연삭목분과 분쇄목분을 사용하여 성형한 압출물로서, 압출물이 진행하는 가이드를 입시로 만들어 사용함으로써 압출면이 똑바른 직선형태는 아니지만 표면에 광택이 있고 단면이 비교적 일정했으며 파단면을 관찰해도 공극이 전혀 없는 우수한 제품을 얻을 수 있었다.

Table 6-25. Process condition for extrusion with sizing die.

Heater position	Temperature(°C)
Barrel 1	160
Barrel 2	180
Barrel 3	190
Die	190
Screw rpm	10

Table 6-26은 굴곡물성과 충격강도를 측정된 것으로, 입자가 거칠고 큰 분쇄목분을 사용한 경우 오히려 높은 물성을 가지는 것으로 보아 목질 형상에 의한 보강효과를 확인할 수 있었다. 따라서 비록 제품의 표면에 목질이 확연히 드러나는 외관상 문제가 있더라도 거친 목분을 사용하여 제품을 성형할 수 있음을 확인 하였다.

Table 6-26. Mechanical properties of PP/WF composite extruded through sizing die.

Property	Milled flour	Sanded flour
Flexural modulus	3.52 GPa	3.04 GPa
Flexural strength	52.3 MPa	50.73 MPa
Impact strength	6.2 kJ/m ²	4.9 kJ/m ²

제 4 항 압축성형

플라스틱의 압축성형은 일반 사출성형과 달리 노즐을 통해 용융상태의 수지를 주입하는 것이 아니므로 대형물체를 성형하는데 유리하다. 그러나 금형에 투입된 고체수지를 완전히 용융시키는데 시간이 많이 소요되며 금형 자체가 가열되므로 다시 냉각하여 수지를 고화시켜야 한다는 문제점을 안고 있다. 그렇지만 목질 복합재의 용도상 매우 큰 제품의 성형이 필요하다는 관점

에서 압축성형 실험을 하였다.

1. 실험 재료

압축성형 실험에 사용된 복합재 펠렛은 앞항의 압출성형에 사용한 것과 동일하였다.

2. 공장실험

압축성형 공장실험은 경남 양산 소재의 도림산업(주)에서 실시하였으며 학생용 책상 상판 제조용 성형프레스를 사용하였다. 다음은 실험과정의 요약이다.

가. 1차 실험

- 원료 : 분쇄목분 사용 복합재 펠렛
- 투입량 : 5.3 kg
- 성형온도 : 금형(上) 197℃, 금형(下) 193℃
- 프레스 압력 : 170kgf/cm²
- 압제 시간 : 12분, 프레스 개시 5분 후 가스제거를 위해 프레스를 20초간 열어준 후 다시 가압하였다.
- 결과 : 프레스 시간이 짧아 성형품의 표면일부를 제외하고는 전체적으로 용융이 거의 되지 않았으며, 충분히 냉각·고화되지 않은 성형품을 탈형하는 과정에서 성형품의 변형이 심하게 일어났으며, 가스의 배출이 충분치 못해 탈형 후 팽창이 일어나 성형품의 내부가 박리되는 현상이 발생하였다.

나. 2차 실험

- 원료 : 연삭분말 사용 복합재 펠렛

- 투입량 : 4.5 kg
- 성형온도 : 금형(上) 150℃, 금형(下) 194℃
- 프레스 압력 : 170kgf/cm²
- 압체 시간 : 20분, 프레스 개시 10분 후 가스제거를 위해 프레스를 20초간 열어준 후 다시 가압하였다.
- 결과 : 금형(上) 온도설정이 너무 낮게되어 성형품의 밑면이 거의 용융되지 않았으며, 복합재의 투입량이 부족하여 성형품 중앙부의 packing이 완전히 이루어지지 않았다. 또한 프레스 시간의 부족으로 성형품 내부의 미용융과 박리현상이 발생하였다.

다. 3차 실험

- 원료 : 연삭분말 사용 복합재 펠렛
- 투입량 : 5.5kg
- 성형온도 : 금형(上) 165℃, 금형(下) 161℃
- 프레스 압력 : 170kgf/cm²
- 압체 시간 : 2시간, 프레스 개시 후 heater를 꺼서 자연냉각 시켰다.
- 결과 : 미용융 및 박리현상 발생

라. 4·5차 실험

- 원료 : 분쇄목분(4차), 연삭분말(5차) 사용 복합재 펠렛
- 투입량 : 5.5kg
- 성형온도 : 금형(上) 190℃, 금형(하) 190℃
- 프레스 압력 : 170kgf/cm²
- 압체 시간 : 12시간, 프레스 개시 10분 후 heater를 꺼서 자연냉각 시켰다.
- 결과 : 충분한 가열시간으로 인해 미용융 현상이 현저히 감소하였으

며, 상온까지 냉각을 시켜 완전 고화된 이후 탈형을 함으로써 가스 팽창에 의한 박리현상이 전혀 없었다.

마. 결과

<사진 6-14>는 압축공정으로 제조한 복합재 보드를 상판으로 사용하여 만든 학생용 책상이다. 특별한 표면처리를 하지 않아도 자연스러운 무늬가 나타났으며 일반목재에 비해 높은 경도를 보여 학생용 책상 재료로 적합할 것으로 생각된다. 한편, 두께 1cm 이상의 성형품을 압축 성형하는 경우 충분한 용융을 위한 가열시간이 1시간 이상이 필요하며 완전히 냉각·고화된 이후에 탈형해야 하므로 성형주기가 매우 길어져 가공공정의 경제성이 매우 낮다고 사료된다. 결국 이러한 압축성형 공정으로 목질·플라스틱 복합재를 생산하는 경우 성형품의 두께가 얇아야 하며 금형을 냉각할 수 있는 설비가 필요하며 성형주기를 단축하기 위해 다수의 금형을 사용하는 것이 필요하다고 생각된다.

3. 소형 제품의 압축성형

상기의 공장실험에서 제조한 두꺼운 책상 상판은 가열과 냉각에 많은 시간이 필요하므로 생산성이 매우 낮을 수밖에 없다. 또한 금형이 프레스설비에 고정되어 있어 특수한 냉각설비가 없으면 자연 냉각될 때까지 기다려야 하므로 생산성은 더욱 떨어진다. 이에 대한 공정 개선을 검토하기 위해 <사진 6-15>의 프레스와 금형을 이용해 현재 시각장애인 인도용 보도블럭 300×300mm의 크기에 평균두께 7mm 이하의 비교적 얇은 제품을 성형하여 보았다. 이 금형은 프레스에 고정되어 있는 것이 아니므로 프레스 성형이 끝난 후 바로 옆에 있는 상온의 프레스로 옮겨 일정 압력하에서 냉각이 이루어지게 하였다. 재료는 연삭분말을 혼련한 복합재 펠릿을 건조하여 사용하였다.

프레스 온도는 190℃가 가장 적합했으며 가열프레스 체류시간은 10분, 냉각 프레스 체류시간은 20분이 최적조건이었다. <사진 6-16>은 제조된 보도블럭이다.

제 5 항 결 론

1. 목질·플라스틱 복합재를 상업적으로 제조하는 가장 바람직한 공정은 압출성형이라고 할 수 있다. 주용도인 건축자재는 대부분이 일정한 단면을 가진 연속체 형태라는 것과 복합재가 열가소성 재료라는 면에서 압출공정이 가장 유리하다. 그러나 목질의 특성상, 압출기 내부의 고압상태에서 대기압의 외부로 토출되어 나올 때 팽창하여 부풀어오르는 현상을 억제하는 것이 어렵다. 일반 플라스틱에서도 die swell 현상이 보이기는 하나 목질 복합재의 경우 열분해 생성물의 완전 제거가 불가능하고 목재의 탄성력에 의해 die에서 팽창하는 것을 막을 수 없기 때문이다. 따라서 die와 sizing block이 하나로 결합된 sizing die를 사용할 수밖에 없는데 이 경우 die 내부에서 냉각과 그에 따른 고형화가 어느 정도 일어나야 한다.

die 내부에서의 고형화는 점도가 극히 높아짐을 의미하고 결국 토출압력이 급격히 증가하여 압출설비에 무리가 가게 된다. 이를 해결하기 위해서는 압출기의 회전속도를 낮추어 토출속도를 작게 해야 하는데 이는 곧 생산성저하를 의미하게 된다. 현재 일본의 기술을 도입하여 복합재를 제조하는 국내의 한 업체에서도 같은 방식의 압출법을 사용하고 있는데 생산성 문제가 있는 것으로 생각된다. 따라서 die 설계를 최적화하여 생산성을 높이는 것이 필요할 것으로 사료된다.

2. 플라스틱 성형의 다른 방식 중 하나인 압축성형을 시도해 본 결과 역시 생산성의 문제를 확인할 수 있었는데, 이는 압축성형 자체의 특징으로 생각

할 수 있다. 압축성형은 빠른 화학반응에 의해 고화되는 열경화성수지를 가공하는 데 적합한 공정으로 냉각에 의해 고화되는 열가소성수지를 가공하기 위해서는 빠른 냉각을 위한 설비가 보완되어야 할 것이다. 그러나 금형이 프레스에 고정되어 있지 않는 방식을 사용하면 가열프레스와 냉각프레스를 함께 사용할 수 있어 생산성 면에서 좋은 효과를 볼 것으로 사료된다.

제 7 절 공정 표준화

지금까지 연구되어진 결과로부터 목질·플라스틱 복합재를 생산하기 위한 재료 및 공정의 최적 조건은 다음과 같이 설정되었다.

제 1 항 재 료

1. 목질

복합재 생산을 위한 주재료로서 가장 중요한 부분이 목질인데, 혼련과정과 압출, 사출 등의 고분자 가공 특성상 비교적 입도가 작은 목분이 유리하다. 그러나 미세 입자의 경우 생산기술과 비용면에서 볼 때 본 연구에서 개발하고자 하는 복합재의 경제성 문제와 직결된다.

현재 국내에서 상품화 과정에 있는 일본 수입 기술에 의한 목질·플라스틱 복합재의 경우 100mesh 이상의 미세 입자를 독일 등으로부터 수입하여 제조함으로써 복합재의 가격경쟁력이 거의 없는 상태이다.

본 연구에서는 이러한 면을 고려하여 다양한 크기의 입자를 실험한 결과 30mesh 이상의 입도를 갖는 목질을 최적조건으로 설정하였다. 공장 실험에 사용된 목질은 가구공장에서 발생하는 연삭 분말로서 30mesh 이하의 거친 입자만 제거한 후 플라스틱과의 혼련 공정으로 투입되었다.

그러나 연삭분말은 대부분이 100mesh 이상의 미세 입자로 이루어져 있어 생산품의 외관이 뛰어나지만 목질원료의 수급에 문제가 있을 것으로 사료되므로 임업연구원에서 제조한 목분을 함께 실험하였다. 이 목질은 30mesh로 분쇄한 것으로 70mesh 이상의 미세 입자는 거의 없는 거친 상태의 목질이나 혼련 및 압출공정에는 전혀 문제가 없는 것으로 나타났다. 목질의 혼입량(함량)이 증가함에 따라 인장 및 굴곡 물성이 증가하지만 충격강도가 떨어지는

것으로 나타나는데, 목질의 재활용과 복합재의 물성을 고려하여 최적 배합비는 목질 혼입량 50%로 설정하고 용도에 따라 배합비를 조정하는 것이 가능하다.

2. 플라스틱

저밀도폴리에틸렌(LDPE), 고밀도폴리에틸렌(HDPE), 폴리프로필렌(PP), 폴리염화비닐(PVC) 등을 플라스틱 재료로 사용해 본 결과, 가공성, 물성 및 환경친화성 면에서 폴리프로필렌이 가장 적합한 소재로 판명되었다.

한편 목질은 겉보기 부피가 크고 플라스틱과의 상용성이 떨어지며 가공시 용융점도를 크게 높이므로 50% 정도의 투입량은 가공성을 현저히 저하시킨다. 따라서 플라스틱 재료로는 유동성, 즉 용융지수가 큰 수지를 사용하는 것이 바람직하므로 복합재의 물성을 고려하여 용융지수가 20g/10min 이상인 폴리프로필렌을 사용하는 것을 표준으로 하였다.

3. 상용화제

일반적으로 소수성인 플라스틱과 친수성인 목질은 상용성이 없어 복합재의 분산성과 계면접착력이 매우 낮기 때문에 상용화제를 사용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 maleic anhydride로 치환된 저분자량 폴리프로필렌(maleic anhydride modified polypropylene, MAPP)을 사용하였으며, MAPP 투입에 따른 물성 향상과 경제성 저하를 감안하여 폴리프로필렌 대비 5wt%, 전체 복합재 대비 2.5wt%를 투입하는 것을 표준으로 하였다.

제 2 장 공 정

1. 목질 건조

목질은 그 특성상 수분을 많이 함유하는데, 수분을 함유한 목질이 고온의 혼련공정에 투입되는 경우 수분증발 및 수분의 영향에 따른 플라스틱의 산화 반응 등에 의해 기포가 발생하게 되어 성형품의 형상과 품질에 치명적인 영향을 미치게 되므로 공정투입 전에 완전히 건조시키는 것이 필요하다.

일반적인 건조기에서 건조실험을 한 결과 60℃에서 24시간 이상 건조시켜 수분함량을 0.1wt% 이하로 관리하는 것이 필요하다. 한편 건조효율을 증가시키기 위해 건조온도를 60℃ 이상으로 높이면 목질의 변색이 나타나므로 생산 규모의 공정에서는 제습건조 방식이 효과적일 것으로 사료된다.

2. 압출혼련

연구단계에서는 스크류 직경 30mm의 소형 단축압출기를 사용하여 폴리프로필렌과 목질을 혼련하였는데, 혼련시 발생하는 가스를 배출하기 위해 vent 부가 있고, 혼련효과를 높이기 위해 dulmadge형의 혼련부가 설치된 스크류를 사용하는 것이 가장 우수한 가공성을 나타냈다.

압출기의 온도설정은 feed부로부터 160, 185, 190℃, 그리고 die 온도는 185℃로 하며 회전은 50rpm으로 하는 것을 최적조건으로 설정하였다.

3. 압출성형

압출 혼련된 복합재 펠렛을 사용하여 일정한 단면을 갖는 연속체를 성형할 수 있다. 이 경우 압출기는 vent부가 없는 일반적인 압출 성형기가 적합하며, 압출 die는 水 냉각이 가능한 sizing block과 일체화되어 있어 대기 중으로 토출되기 전에 냉각·고화될 수 있도록 해야 한다.

그러나 이와 같은 sizing die 방식은 압출기에 걸리는 압력이 높아 높은 생산성을 기대하기 어렵다. 따라서 압출물을 일정량 reservoir에 모은 후 강한 압력을 이용해 금형으로 사출해 줄 수 있는 압사출 공법이 유용한 방법으로

기대되었다.

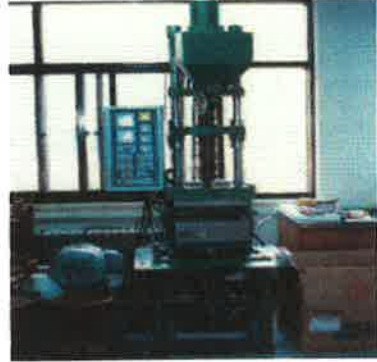
4. 압축성형

일반적으로 열경화성 수지의 성형에 사용되는 압축성형 공법은 부피가 큰 물체를 성형하는데 유리하므로 건축재로 사용하기 위한 목질·플라스틱 성형에 활용될 필요가 있다

그러나 열가소성 복합재는 가열·용융시켜 성형한 후 냉각·고화시켜야 하는데 이를 위해서는 금형이 고정되어 있는 일반적인 프레스보다는 가열 프레스와 냉각 프레스가 분리되어 있는 설비를 사용하는 것이 바람직하다. 두께 10mm이하의 제품을 성형하는 경우 가열 프레스 시간은 10분, 냉각 프레스 시간은 20분으로 충분하며, WF-PP 복합재 성형의 경우 프레스 온도는 190℃가 최적 조건이었다.



<사진 6-3> 단축(單軸)압출기



<사진 6-4> 사출성형기



<사진 6-5> 연삭 목분



<사진 6-6> 분쇄 목분



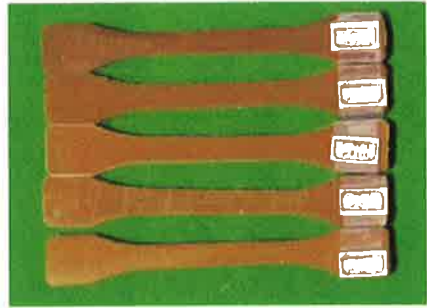
<사진 6-7> 연삭 목분을 이용한
목분 · PP복합펠렛



<사진 6-8> 분쇄 목분을 이용한
목분 · PP복합 펠렛



<사진 6-9> 사출 성형된 목분·PP복합재
(左 연삭 목분, 右 분쇄 목분)



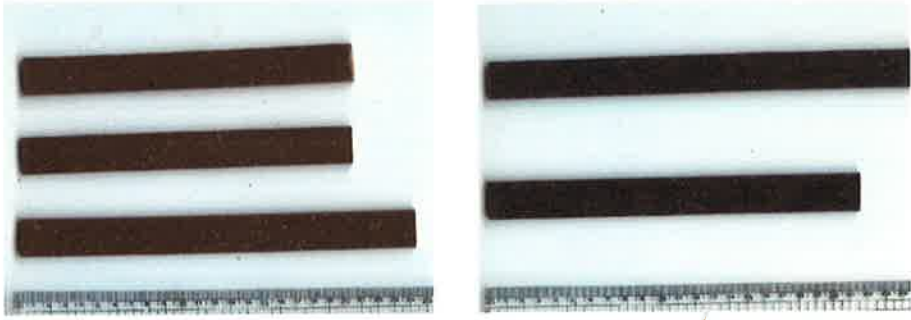
<사진 6-10> 사출성형된 폐목분
· PP 복합재



<사진 6-11> 공장실연시험에서의 압출공정



<사진 6-12> Sizing die에 의한 압출공정



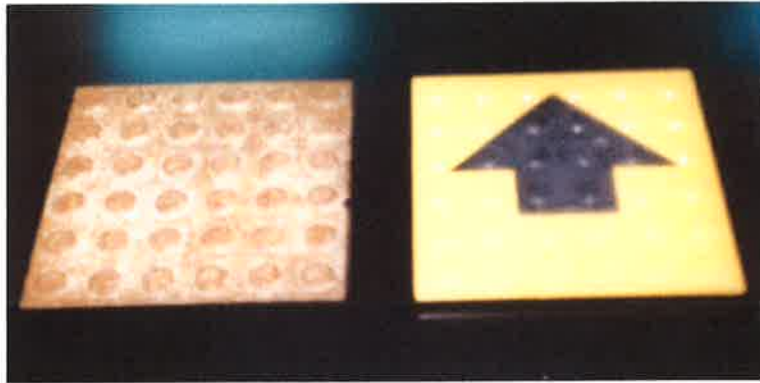
<사진 6-13> Sizing die로부터 압출된 목분·PP 복합재
(左: 연삭목분 사용, 右: 분쇄목분 사용)



<사진 6-14> 목분·PP복합 펠렛으로 제작된 학생용 책상·의자



<사진 6-15> 시각장애인 인도용 보드를 제조하기 위한 프레스 및 금형



<사진 6-16> 제조된 시각 장애인 인도용 보도블럭

참 고 문 헌

- B. English, J. A. Youngquist and A. M. Krzysik. 1995. Lignocellulosic Composites. In Cellulosic Polymers, Blends and Composites(Richard D. Gilbert). :115~130
- John A. Youngquist, Geoge E. Myers. 1994. Composite from recycled wood and plastics. Project Summary. : 10~17
- Stephen M. Shaler. 1993. Mechanics of the interface in discontinuous wood fiber composites. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Forest Product society US : 9~14
- Paul C.Kolosick, George E. Myers and James A. Loutsky. 1993. Bonding mechanisms between polypropylene and wood : coupling agent and crystallinity effect. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Foreste Product society US : 15~19
- P. Gatenholm, J. Felix, C. Klason and J. Kubat. 1993. Methods for improvement of properties of cellulose-polymer composite. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Forest Product society US : 20~24
- Norman G. Gaylord, Munmaya K. Mishra. 1983. Nondegradative of maleic anhydride and molten polypropylene in the presence of peroxides. *J. Polymer Science : Polymer Letters Edition*. 21 : 23~30
- D. Maldas and B. V. Kokta. 1988. Improvement of the mechanical properties of sawdust wood fibre-polystyrene composites by chemical treatment. *Polymer*. 29 : 1255~1265
- Chittoor K. Mohankrishnan, Ramani Narayan. 1993. Reactive extrusion processing of polypropylene-lignocellulosic blend materials. In

- Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Forest Product society US : 57~62
- D. Maldas and B. V. Kokta. 1990. Influence of phthalic anhydride as a coupling agent on the mechanical behavior of wood fiber-polystyrene composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 41 : 185~194
- M. M. Sain and B. V. Kokta. 1994. Polyolefin-Wood Filler Composite. I. Performance of m-phenylene Bismaleimide-Modified Wood Fiber in Polypropylene Composite. *J. Appl. Polym. Sci.* 54 : 1545-1559
- Scott A. Igi and Tim A. Osswald. 1993. A study of the thermoformability of wood fiber-filled polyolefin composites. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Forest Product society US : 33~38
- Jerson X. Rietveld and Mark J. Simon. 1993. The influence of absorber moisture on the processability and properties of a wood fiber-filled polypropylene. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Forest Product society US : 39~46
- Byung-Dae Park and John J. Balatinecz. 1996. Effects of Impact Modification on the Mechanical Properties of Wood-Fiber Thermoplastic Composites with High Impact Polypropylene(HIPP). *J. Thermoplastic Composite Materials.* 9 :
- Roger M. Rowell. 1986. A Simplified procedure for the acetylation of hardwood and softwood flakes for flakeboard production. *J. wood chemistry and technology.* 6(3) : 427~448
- Roger M. Rowell. 1990. Acetyl balance for the acetylation of wood particles by a simplified procedure. *Holzforshung.* 44(4) : 263~269

- S. N. Maiti, M. R. Hassan. 1989. Melt rheological properties of polypropylene-wood flour composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 37 : 2019~2032
- G. E. Myers, I. S. Chahyadi, Carlos Gonzalez and C. A. Coberly. 1993. Wood flour and polypropylene or high-density polyethylene composites. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Forest Product society US : 49~56
- P. Gatenholm and J. Felix, 1993. Methods for improvement of properties of cellulose-polymer composites. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott). The Forest Product society US : 20~24
- C. Albano, M. N. Ichazo, J. González, K. Molina and L. espejo. 1999. Effect of the Filler Size and Composition on the Properties of Injection Molded PP and PP/HDPE-Wood Flour Composites. Proceedings of the ANTEC '99 : 3849-3851.
- Setsuko Takase and Nobuo Shiraishi. 1989. Studies on Composites from Wood and Polypropylenes. *J. of Applied Polymer Sci.* 37 : 645-659.
- Yeh Wang and Jiang-Shen Huang. 1996. Single Screw Extrusion compounding of Particulate Filled Thermoplastics : State of Dispersion and Its Influence on Impact Properties. *J. of Applied Polymer Sci.* 60 : 1779-1791.
- Phil Woo Lee, Heon Park. 1988. Effect of Combining Wood Particles and Plastic(Polypropylene) Screen on the Physical and mechanical properties of Board. *Wood Sci. & Tech.* 16(1) : 21-44.

- D. J. Olsen. 1991. Effectiveness of Maleated Polypropylenes as Coupling Agents for Wood Flour/Polypropylene composites. Proceedings of the ANTEC '91 : 1886-1891.
- John Z. Lu and Harold S. McNabb Jr.. 1998. A Review of Coupling Agents and Treatments in Wood Fiber/Polymer Composites. Proceedings of the Fifth International Conference on Composites Engineering.
- M. J. Zaini, M. Y. A. Fuad, Z. Ismail, M.S. Mansor and J. Mustafah. 1996. The Effect of Filler Content and Size on the Mechanical Properties of Polypropylene/Oil Palm Wood Flour Composites. *Polymer International* **40** : 51-55.
- B. English, J. A. Youngquist, and A. M. Krzysik. 1995. Cellulosic Polymers, Blends and Composites(Richard d. gilbert, editors).
- G. E. Myers, I. S. Chahyadi, Carlos Gonzalez and C. A. Coberly. 1993. Wood flour and polypropylene or high-density polyethylene composites. In Wood fiber/Polymer composites(Michael P. Wolcott, editor). The Forest Product society US : 49-56
- Rodger M. Rowell. 1996. *J. Wood Chem. Techno.* **6**(3) : 427.
- Nabil Mustafa. 1993. Plastics waste management : disposal, recycling, and reuse. Marcel Dekker, Inc.
- D. H. Morton-Jones. 1989. Polymer Processing. Chapman and Hall Ltd. NY : 55-125.
- Roger P. Brown. 1988. Handbook of Plastic Test Methods. Longman Scientific & Technical. NY : 107-161.
- Donald V. Rosato, David P. Dimattia, Dominick V. Rosato. 1991. Designing

- with Plastics and Composites : a HandBook. Van Nostrand Reinhold. NY : 303-402.
- Terry L. Richardson. 1989. Industrial Plastics : Theory and Application SE. Delmar Publishers Inc. NY : 275-300.
- J-M. Piau, J-F. Agassant. 1996. Rheology for Polymer Melt Processing. Elsevier. Amsterdam : 1-415.
- 김한태. 1996. 환경연감. 환경정보센터 : 591~594.
- 박상범, 홍병화. 1996. 목재개량학. 영우출판사 : 330~349
- 박태석, 김정안, 김광용. 1995. “폐플라스틱 재활용 기술 : 소재로서의 재활용”. Polymer Science and Technology 6(1) : 8~15.
- 신동소. 1994. 임산화학. 향문사. : 476~481
- 산림청. 1996. “임업통계연보” : 413
- 신용수. 1997. 아세틸화 목섬유와 열가소성 섬유로 제조한 복합재의 치수안정성. : 1~5
- 임업연구원. 1996. “목질계 생활폐기물을 이용한 건축자재 개발”. : 2~10
- 환경부. 1997. “환경백서” : 76~80

제 7 장 목질 폐자원 재활용 블럭 개발

제 1 절 서 설

대형공장에서 다량으로 발생하는 목질폐재는 기존의 목질보드 원료로 사용이 용이하지만, 지역적으로 산재되어 있는 중소 목재가공공장에서 발생하는 폐재는 수종, 성상이 다양하며, 수집비용의 부담으로 거의 활용되지 못하고 있어 재활용 방안이 요구되어 왔다.

먼저 우리나라의 목공예 제조업으로부터 물푸레나무, 사방오리나무, 오리나무 등 활엽수재 부산물이 다량 발생하고 있으나, 고비중재로 파티클보드나 섬유판 제조용으로 적합치 않고 적절한 용도를 찾지 못하고 있는 형편이다. 또한, 제재공장에서 발생하는 침엽수폐잔재, 그리고 제지공장에서 발생하는 제지슬리지도 재활용 가치가 충분한 목질자원이 될 수 있다.

따라서 본 연구는 중소 목재공장에서 발생한 폐잔재를 최소 비용으로 재활용하여 기존의 歩·車道용 시멘트블럭 및 건축 내·외장재를 대체할 수 있는 새로운 제조공정 기술과 목질 블럭 및 경량후판보드를 개발하는 데 목표를 두었다. 또한, 개발된 보드의 물리·기계적 성질을 평가하고, 약제처리 블럭의 내수성시험, 옥외폭로시험 등을 실시하였으며, 현장적용성 평가를 위한 열화시험 및 촉진내후성 시험 등에 의해 내구성을 평가하고, 신용도를 개발하고자 하였다.

제 2 절 목질폐자원을 재활용한 복합블럭 제조

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 폐목질 원료

목재가공공장에서 발생하는 활엽수 폐재, 침엽수 폐재, 수피, 그리고 제지공장에서 발생하는 제지슬러지를 수집하여 선별, 건조하였다. 목질원료는 5mesh(직경 5mm)체에서 대부분이 걸러지는 정도의 크기였으며, 천연건조에 의해 함수율을 약 11%로 조정하였다.

나. 접착제

본 실험에서는 목질복합블럭 제조를 위해서 수용성 페놀수지접착제를 구입하여 사용하였다. 접착제의 불휘발분은 41%였다.

2. 목질블럭 성형장치 및 적정 열압스케줄 개발

목질폐자원의 특성상 성형된 매트가 매우 두꺼워 용적밀도가 낮아지므로, 厚板보드를 제조하기 위해서는 특별한 성형장치의 개발이 필요하며, 기존의 시멘트 벽돌과 歩·車道用 블럭과 같은 형상의 목질블럭을 제조하기 위해서는 특별한 형태의 성형장치가 요구되므로, 이와 같은 실험실용 성형장치를 설계·제작하였다.

목질폐재의 유형별로 厚板보드 및 목질블럭의 제조에 적합한 열압스케줄을 구명하였다.

3. 목질폐재를 이용한 보드 및 블럭 제조와 물리·기계적 성능평가

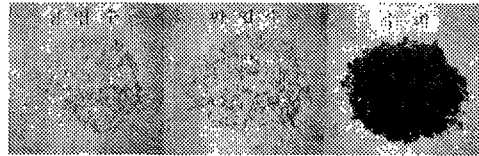
원료 종류(3종), 두께(15mm, 32mm), 밀도(0.6, 0.7, 0.8g/cm³), 접착제 침가량(5, 10, 15, 20%), 그리고 내수제 침가량(1%, 3%) 등을 제조변수로 하여 목질보드 및 블럭을 제조하였다.

실험제조한 목질보드 및 블럭의 물리적 및 기계적 성질과 밀도경사를 측정하였으며, 아울러 국내에서 제조된 파티클보드 중에서 가장 두꺼운 35mm 파티클보드를 구입하여, 본 연구에서 제조한 목질블럭과 성능을 비교하였다.

제 2 항 연구결과

1. 목질원료의 수집 및 유형분석

수집한 목질폐재의 종류 및 특성은 <표 7-1> 및 <사진 7-1>과 같다. 목재가공산업에서는 필연적으로 막대한 양의 폐잔재가 발생하는 바, 본 연구에서는 목공업품 제조시에 발생하는 활엽수폐잔재, 제재공장에서 발생하는 침엽수폐잔재, 그리고 제지공장에서 발생하는 제지슬러지를 수집 및 구입하여 천연 건조 및 선별을 실시하였다. 표에서 보는 바와 같이 침엽수 폐잔재를 제외하고는 색상이 어두우며, 더욱이 옥외용으로 적용하기 위해서 이들을 원료에 펄스지 접착제를 사용한다면 착색처리 기술개발이 병행되어야 할 것으로 사료되었다.



<사진 7-1> 침·활엽수 목질원료 형태

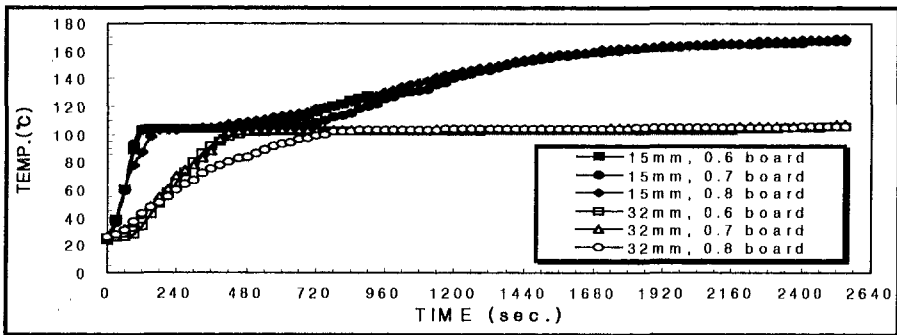
<표 7-1> 목질 가공폐재의 종류 및 특성

목질 폐재	수 종	형 상	색 상	수집 및 구입장소
침 엽 수	라디에타소나무	세이빙	밝은 황색	남원 임협제재소
활 엽 수	물푸레나무, 오리나무	툽밥, 세이빙	약간 어두운 갈색	남원 목공업단지
수 피	라디에타소나무, 국산소나무	파티클	어두운 갈색	한솔포렐 익산공장
제지슬러지	침엽수 펄프	섬유상슬러지	어두운 회색	한솔제지 익산공장

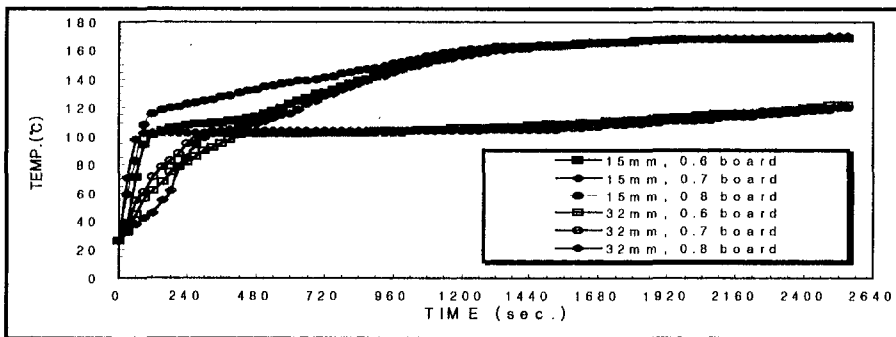
2. 목질폐자원 유형별 열압스케줄 개발

기존의 평판 가열식 열압시스템 내에서는 20mm 이하 보드를 제조하는데는 별다른 어려움이 없으나 본 연구에서 개발하고자 하는 것과 같이 두께가 30mm 이상 두꺼워질 경우에는 두께방향으로 밀도경사(density profile)가 심해지고 박리강도가 약할 뿐만 아니라 중심층까지 충분히 열전달이 되지 않아 스프링 백(spring back)과 같은 현상이 발생하거나 심할 경우에는 내부박리(internal delamination)현상이 발생하게 된다.

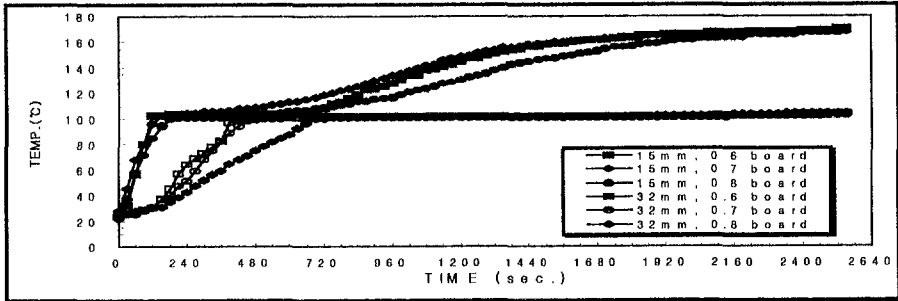
따라서 본 연구에서는 열판온도를 180℃로 하여 성형된 매트 of 중심층에 열전쌍을 설치하여 시간의 경과에 따른 중심층 온도변화를 측정하였다. 침엽수, 활엽수, 그리고 침엽수와 활엽수를 50對 50으로 혼합한 두께 15mm와 32mm 보드에서 시간과 온도와의 관계는 <그림 7-1~3>과 같았다.



<그림 7-1> 열압된 침엽수 매트에서 시간과 온도의 관계



<그림 7-2> 열압된 활엽수 매트에서 시간과 온도의 관계



<그림 7-3> 열압된 침엽수 대 활엽수(50:50) 매트에서 시간과 온도의 관계

그림에서 보는 바와 같이 두께 15mm 보드에 있어서는 침엽수, 활엽수, 침엽수 對 활엽수(50 : 50)에 관계없이 약 2분 정도에서 100°C 이상까지 온도가 상승하고, 곧이어 온도상승이 이어져 42분 30초 부근에서는 170°C까지 상승하였다. 그러나 32mm보드에서는 8분에 이르러서야 100°C까지 상승하였으며 이후로도 42분 30초까지도 110°C 이상으로 온도가 상승되지 않았다.

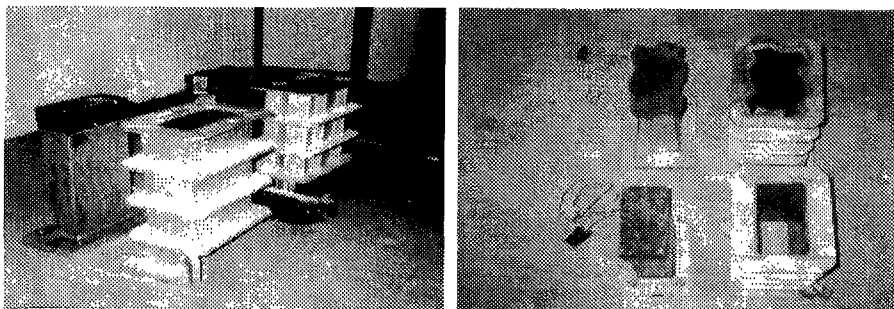
이상의 결과로 부터 열압시간은 원재료의 수종이나 매트함수율 보다는 보드의 두께에 따라 좌우됨을 알 수 있고, 15mm 보드의 경우에는 수증기의 배출이 완료되어 온도가 재상승하는 약 8분이 경과하면 열압이 완료단계에 도달하였다. 32mm 보드에 있어서는 온도상승이 매우 완만하였으나 8분이 지나 일정한 온도를 유지하다가 약 16분 40초 부근에서 약간의 온도상승이 이어지고 있다. 따라서 32mm 보드의 경우에는 16분 40초가 경과하였을 경우에 열압의 완료단계에 도달함을 알 수 있었다.

3. 블럭제조용 성형장치 개발

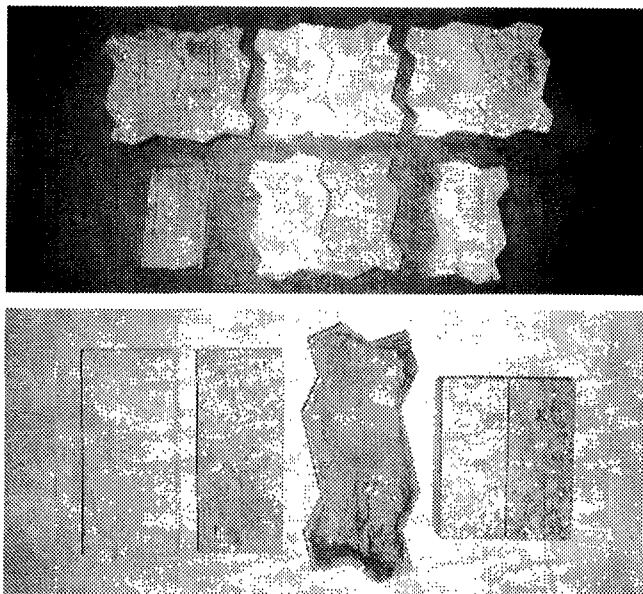
본 실험에서는 일정한 형상을 한 목질블럭을 제조하기 위하여 성형장치를 개발하였다. 목질 폐자원에 수지나 내수제 등 첨가제를 도포한 후 성형할 때, 특히, 두께 30mm 이상의 보드를 제조하고자 할 경우에는 성형된 매트의 높이가 매우 높을 뿐더러 기존의 열압방식으로 열압할 경우, 이와같이 높은 매트는 측면으로 무너져 내리거나 밀리는 경향이 나타나게 되므로 이를 방지할 수 있도록 성형장치 내에 직접 열압할 수 있는 장치를 개발하였다.

<사진 7-2>는 본 과제에서 개발한 성형장치의 모습이다. 사진에서의 성형

장치는 압·수의 형태로 이루어져 있으며, 상·하부에는 열을 가할 수 있도록 열선을 배치하여 온도조절이 가능하도록 하였다. 본 실험에서는 KS F 4419 『보차도용 콘크리트 인터로킹 블럭』에서 제시한 I형과 U형 블럭을 제조할 수 있는 2 종류의 성형장치를 제작하였으며, <사진 7-3>은 본 실험에서 제조한 목질 보드 및 블럭의 모습이다.



<사진 7-2> 목질블럭 성형장치(I형 및 U형)



<사진 7-3> 제조한 목질 보드 및 I형과 U형 목질블럭

4. 목질폐자원 재활용 보드 및 블럭의 물리·기계적 성질

본 실험에서 제조한 목질보드 및 블럭의 종류와 측정된 물리·기계적 성질은 <표 7-2, 그림 7-4~7>과 같았다.

표와 그림에서 보는 바와 같이 제조한 보드 및 블럭은 비중이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 보드간에는 침엽수 폐잔재로 제조한 보드가 가장 높은 휨파괴계수(휨강도)를 나타냈으며, 그 다음이 침엽수와 활엽수를 50 : 50으로 혼합한 보드, 그리고 활엽수로만 제조한 보드에서 가장 낮은 휨파괴계수를 나타냈다.

이는 본 실험에서 사용한 침엽수, 활엽수의 원료 수종의 차이로서 침엽수는 소나무와 낙엽송이 혼합된 폐재로 물푸레나무나 오리나무로 구성된 활엽수 폐재보다 비중이 낮아 침엽수폐재는 활엽수폐재보다 용적밀도(bulk density, g/cm³)가 낮은 반면 압축률(compression ratio)이 높는데 기인한 것으로 사료되었다.

한편, 보드 두께별로는 두께 15mm 보드가 32mm 보드보다 높은 휨파괴계수를 나타냈다. 이는 15mm 보드의 경우 성형된 매트내에 온도와 압력이 중심층까지 전달이 되는 반면, 32mm 보드의 경우에는 충분한 열압이 이루어지지 않은 데 그 원인이 있다고 사료된다.

그러나 본 실험에서 개발한 성형장치를 이용하여 활엽수 폐잔재로 제조한 두께 50mm 블럭도 휨파괴계수와 두께팽창율이 침엽수 폐잔재로 제조한 두께 15mm 보드 이상으로 높은 물리·기계적 성질을 나타냈으며, <그림 7-8~11>에서 보는 바와 같이 시판용 파티클보드나 본 실험에서 제조한 32mm 보드와는 달리 두께방향으로 매우 균일한 밀도경사를 가진 목질블럭의 제조가 가능하였다. 즉, 市販 파티클보드는 최저밀도(Dmin)/평균밀도(Davg)가 66%였으며, 개발된 목질블럭은 최저밀도(Dmin)/평균밀도(Davg)가 93%였다.

이는 성형장치 내에서 열압을 가해줌으로써 성형된 매트가 정해진 치수로 정확하게 상·하부와 측면에서 동시에 열압을 받아 목표비중에 도달할 수 있었던 데 그 근본 원인이 있다고 사료된다.

이상과 같은 연구성과를 종합해 볼 때 목질폐잔재를 재활용한 두께 30mm 이상의 후판보드 및 목질블럭을 제조함에 있어 원재료는 침엽수 폐잔재가 보

다 우수한 물성을 나타냈으며, 침엽수 폐잔재인 경우에는 접착제 첨가량은 10%이상, 그리고 활엽수 폐잔재인 경우에는 15%이상 첨가하였을 경우, 그리고 열압시간은 30초/mm 이상을 적용하였을 경우에 기존의 보드보다 우수한 품질의 보드 및 블럭 제조가 가능할 것으로 판단되었다.

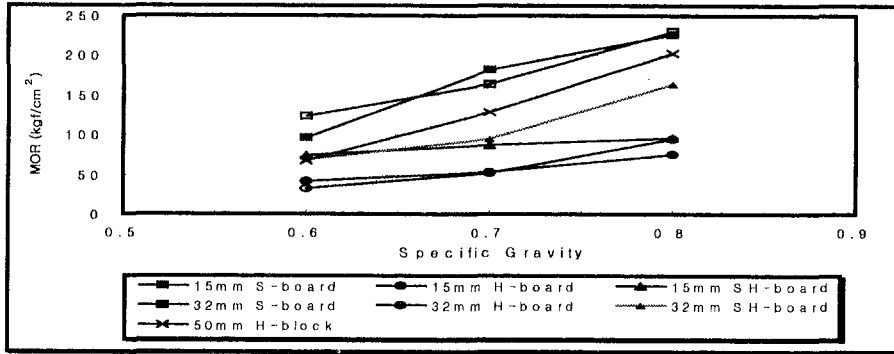
<표 7-2> 목질보드 및 블럭의 물리적 및 기계적 성질

두께	보드타입*	기건 비중	전건 비중	함수율 (%)	수분 흡수율 (%)	두께 팽창율 (%)	휨과괴 계수 (kgf/cm ²)	박리 강도 (kgf/cm ²)
	S-0.6	0.54	0.56	8.4	137.3	20.1	96.21	4.91
	S-0.7	0.65	0.66	7.4	92.8	25.0	182.26	5.06
	S-0.8	0.71	0.72	7.0	71.9	25.2	226.81	8.83
	H-0.6	0.61	0.63	7.1	77.8	16.7	41.66	5.32
	H-0.7	0.64	0.65	7.4	84.4	20.7	53.71	7.76
	H-0.8	0.71	0.73	7.6	76.4	20.7	75.38	11.32
	SH-0.6	0.55	0.57	6.6	86.7	20.3	74.45	3.33
	SH-0.7	0.59	0.60	6.6	78.8	20.1	86.97	5.84
	SH-0.8	0.60	0.62	6.2	83.2	24.4	96.54	6.63
	S-0.6-a	0.53	0.57	11.6	117.6	22.0	84.00	1.20
	S-0.6-b	0.51	0.55	12.7	108.9	24.5	94.17	1.76
	S-0.7-a	0.62	0.65	11.6	118.9	33.9	98.59	2.57
	S-0.7-b	0.61	0.66	11.5	77.4	24.5	172.77	4.67
15mm	보드 S-0.8-a	0.75	0.79	11.1	82.0	34.2	189.04	3.76
	S-0.8-b	0.78	0.80	10.4	52.0	29.9	202.01	6.39
	H-0.6-a	0.51	0.54	11.5	107.4	20.5	25.90	1.82
	H-0.6-b	0.58	0.61	11.6	70.2	13.7	45.15	5.62
	H-0.7-a	0.66	0.68	11.3	93.8	20.7	41.47	3.85
	H-0.7-b	0.65	0.70	12.2	81.8	14.7	41.85	5.78
	H-0.8-a	0.73	0.77	12.1	49.8	15.9	91.51	4.65
	H-0.8-b	0.71	0.74	15.9	40.0	15.3	68.90	9.71
	SH-0.6-a	0.63	0.66	13.7	101.4	29.5	26.11	3.39
	SH-0.6-b	0.56	0.59	13.6	101.0	28.9	63.11	4.41
	SH-0.7-a	0.61	0.65	13.6	70.9	25.2	66.31	3.83
	SH-0.7-b	0.63	0.67	13.9	62.7	25.4	64.46	3.87
	SH-0.8-a	0.68	0.71	14.0	68.0	23.0	82.56	4.06
	SH-0.8-b	0.74	0.76	13.4	38.5	22.9	85.72	4.42

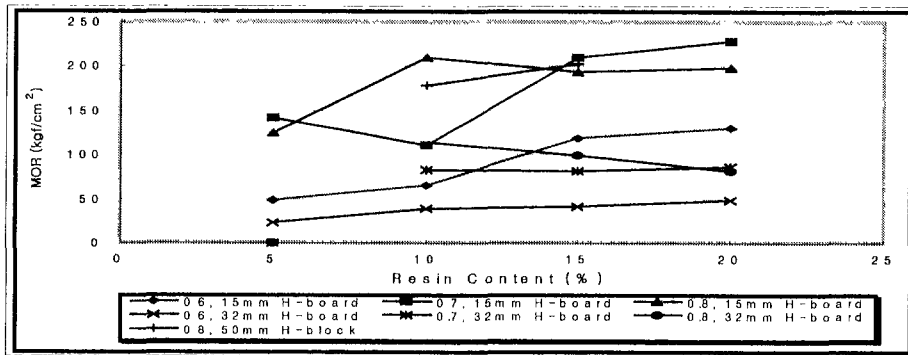
두께	보드타입	기건 비중	진건 비중	합수율 (%)	수 분 흡수율 (%)	두께 팽창율 (%)	휨과괴 계수 (kgf/cm ²)	박리 강도 (kgf/cm ²)	
	S-0.6	0.52	0.53	8.7	91.8	18.2	123.20	3.52	
	S-0.7	0.64	0.66	8.7	80.8	24.2	163.75	5.40	
	S-0.8	0.71	0.74	9.0	54.3	14.1	230.01	6.64	
	H-0.6	0.50	0.52	8.5	95.9	13.4	32.73	5.48	
	H-0.7	0.66	0.67	8.9	92.0	14.1	52.32	4.52	
	H-0.8	0.72	0.74	8.1	68.8	14.2	95.54	4.15	
	SH-0.6	0.57	0.58	8.1	111.0	16.4	69.29	4.63	
	SH-0.7	0.65	0.67	7.7	91.7	20.8	95.11	3.16	
	SH-0.8	0.68	0.69	7.9	77.3	14.9	164.01	3.23	
	S-0.6-a	0.49	0.51	12.6	103.7	14.3	112.52	3.17	
	S-0.6-b	0.54	0.56	11.0	98.3	17.6	94.71	2.15	
	S-0.7-a	0.59	0.61	13.3	80.5	24.2	153.68	3.57	
	S-0.7-b	0.60	0.63	10.8	91.1	33.6	94.25	3.94	
32mm	보드	S-0.8-a	0.63	0.64	10.8	73.7	21.4	138.32	3.65
		S-0.8-b	0.65	0.69	11.0	78.1	14.7	141.01	3.77
		H-0.6-a	0.48	0.50	12.6	98.4	12.4	50.90	1.47
		H-0.6-b	0.53	0.55	12.6	138.3	19.6	50.60	1.61
		H-0.7-a	0.67	0.69	12.1	98.1	16.3	30.76	1.45
		H-0.7-b	0.65	0.70	12.5	66.3	16.5	54.25	2.05
		H-0.8-a	0.66	0.69	12.0	78.9	16.6	59.64	1.43
		H-0.8-b	0.73	0.75	12.5	83.6	22.8	58.98	2.39
		SH-0.6-a	0.50	0.52	13.0	93.9	20.4	56.63	1.92
		SH-0.6-b	0.53	0.54	13.0	113.3	34.9	51.36	1.95
		SH-0.7-a	0.63	0.66	12.8	84.6	19.0	60.56	2.66
		SH-0.7-b	0.60	0.63	13.3	89.2	23.8	61.87	2.62
		SH-0.8-a	0.65	0.67	12.2	85.9	23.5	77.76	2.30
		SH-0.8-b	0.68	0.70	13.8	76.4	22.4	79.69	2.57
		H-0.6	0.65	-	9.75	32.28	9.25	68.34	3.71
50mm	블럭 ^{*2}	H-0.7	0.73	-	12.05	25.90	8.24	128.84	5.00
		H-0.8	0.86	-	13.35	13.35	2.83	203.02	4.87
		H-0.9	0.91	-	12.95	14.69	4.67	185.51	6.23
35mm	시판용 파티클보드	0.62	-	8.25	40.58	11.96	131.40	3.45	

* ^{*1} S: 침엽수 폐잔재, H: 활엽수 폐잔재, SH: 침엽수:활엽수 폐잔재(50:50)
0.6, 0.7, 0.8 : 목표밀도(g/cm³)
a, b : water seal 3%, 5%
합지율(Resin content) : 10%

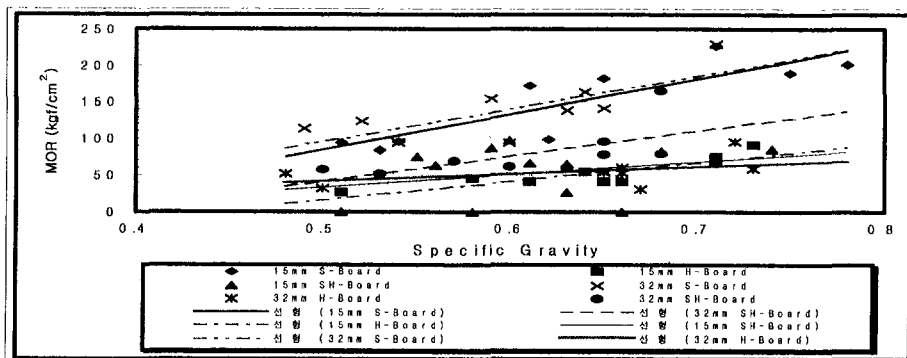
* ^{*2} Water seal : 1%, 합지율 15%



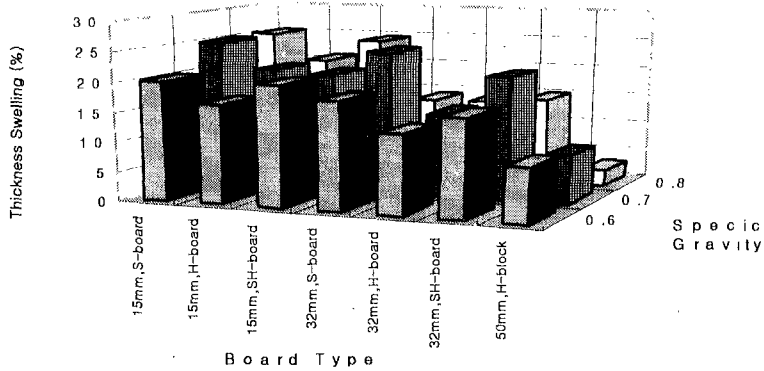
<그림 7-4> 원료 종류별 비중과 휨파괴계수의 관계
 * S: 침엽수, H: 활엽수, SH: 침엽수:활엽수(50:50)



<그림 7-5> 활엽수폐잔재 보드의 접착제 첨가량과 휨파괴계수의 관계
 * H: 활엽수

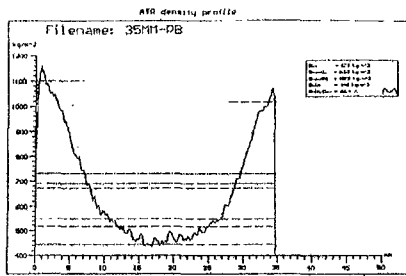


<그림 7-6> 보드제조 원료 종류별 비중과 휨파괴계수와의 관계
 * S: 침엽수, H: 활엽수, SH: 침엽수:활엽수(50:50)

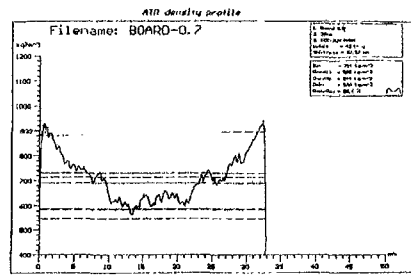


<그림 7-7> 보드종류별 비중과 두께팽창률과의 관계

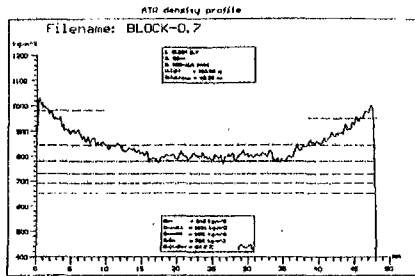
* S: 침엽수, H: 활엽수, SH: 침엽수:활엽수(50:50)



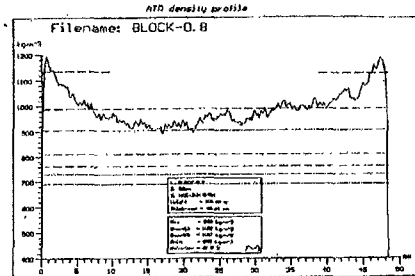
<그림 7-8> 시판용 35mm 파티클 보드의 밀도경사



<그림 7-9> 활엽수 폐잔재로 제조한 두께 32mm 보드의 밀도 경사 (비중 0.7)



<그림 7-10> 활엽수 폐잔재로 제조한 두께 50mm 블럭의 밀도 경사 (비중 0.7).



<그림 7-11> 활엽수 폐잔재로 제조한 두께 50mm 블럭의 밀도 경사 (비중 0.8).

제 3 항 결 론

(1) KS F 4419에서 규정하고 있는 인터로킹 블럭(I형, U형)을 제조하기 위한 목질블럭 제조용 성형압착장치를 설계·제작하였으며, 이 장치에 의해 물리·기계적 성질이 우수하며, 두께방향 밀도경사가 완화된 균질한 목질 블럭의 제조 가능성을 확인하였다.

(2) 각종의 폐목질에 대하여 페놀수지 접착제를 5~20% 수준으로 첨가하여, 두께 32, 50mm의 블럭을 제조하였을 때, 침엽수 폐재 사용시 우수한 물성을 나타냈으며, 접착제 첨가량은 침엽수 폐재는 10% 이상, 활엽수 폐재는 15% 이상이 적합하였고, 30초/mm 이상의 열압시간에서 기존의 보드보다 우수한 품질의 厚板 보드 및 블럭 제조가 가능할 것으로 판단되었다.

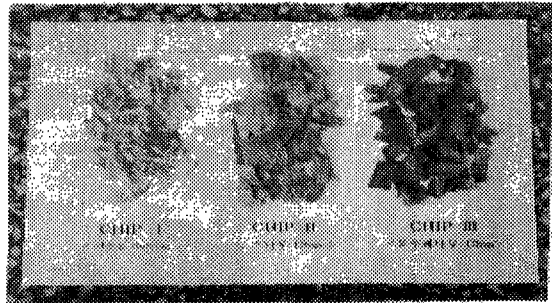
제 3 절 목질폐자원 재활용 블럭의 물성 개선

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험재료

가. 목질원료

목질블럭 및 저밀도·후판 목질보드를 제조하기 위한 목질원료로서 <사진 7-4>에 서와 같이 3종류의 칩을 사용하였다.



<사진 7-4> 목질블럭 및 보드제조용 목질원료의 종류

chip I 은 낙엽송 플레너 세이빙(planer shaving)이고, chip II는 칩퍼블 이용하여 가공한

소나무 플레이크(flake) 그리고 chip III은 木器공장에서 발생한 물푸레나무 세이빙이었다. 각 원료는 천연건조하여 사용하였으며, 보드제조시 칩의 함유율은 각각 14.4%, 15.0%, 14.2%였다. 건조된 칩은 선별기를 사용하여 5mesh의 체에 걸리는 것을 선별, 사용하였다.

나. 접착제

블럭 및 보드제조에는 수용성 페놀수지 접착제를 사용하였다. 접착제 첨가량은 블럭 및 보드제조에 있어서 목질 전건중량에 대하여 15%를 첨가하였다.

2. 실험방법

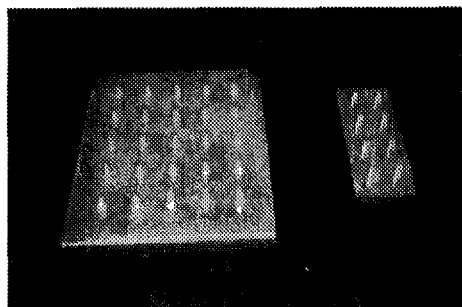
가. 열압스케줄 선정

목질 블럭 및 보드 제조시 사용한 열압스케줄은 온도 160, 170℃, 열압 시간 15, 20, 25분, 그리고 압력은 50-40-30(kgf/cm²)인 다단압력을 적용하였다. 그 결과 두께 32mm 경우에는 온도 170℃에서 열압시간은 20분 이상이 소요되었으며, 50mm인 경우에는 최소 25분 이상이 소요되었다. 압력은 보드의 밀도가 0.7g/cm³ 이상인 경우에는 50kgf/cm²의 초기압력으로 목표두께에 도달할 수 없으며, 70kgf/cm²이상의 압력이 필요하다. 따라서 본 실험에서는 두께 32mm인 경우 온도 170℃, 열압시간 20분, 압력 50-40-30kgf/cm²의 스케줄을 적용하였으며, 두께 50mm인 경우에는 온도 170℃, 열압시간 25분, 압력 70-50-40-30kgf/cm²의 스케줄을 적용하여 보드를 제조하였다.

나. 블럭 및 보드 제조방법

저밀도 후판보드 제조기술의 개발과 아울러 목질블럭의 내수성 및 내후성 향상을 부여하기 위하여, 기존의 열압방식인 평판가열식(type A), 앞의 제2절에서 개발된 성형장치를 이용한 열압방식(type B)이 있다. 본 실험에서 적용한 방법은 <사진 7-5>에서 보는 바와 같은 카울(caul)을 사용하여 보드내 인위적인 공극을 배치하는 열압방식(type C) 그리고 성형장치내 「type C」에서 사용한 카울을 설치하여 열압하는 방식(D type)을 적용하여 보드를 제조하였다. 또한 「type C」로 제조한 보드의 양표면에 단판을 오버레이하여 제조한 방식(type E)을 적용한 보드를 제조하였다.

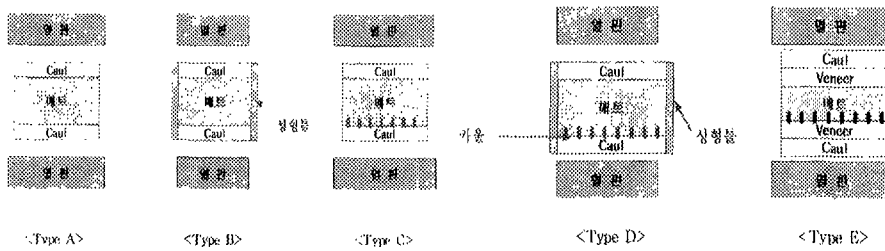
한편 목질블럭은 열압방식 중 성형장치를 이용한 열압방식(type B)과 성형장치내 「type C」에서 사용한 카울



<사진 7-5> 목질블럭 및 보드내 공극 배치를 위한 요철카울

을 설치하여 열압하는 방식(type D)을 적용하여 제조하였다.

<그림 7-12>는 목질보드 제조에 적용한 기존의 열압방식과 본 실험에서 새로이 개발한 열압방식을 보여주고 있다. 목질블럭은 두께 50mm, 목질보드는 두께 32mm로 제조하였다. 본 실험에서는 「type B」의 보드제조를 위한 성형장치로서 제 2절에서 개발된 「I 형 블럭」 제조용 성형장치(가로 20cm×세로 10cm)보다 큰 보드제조용 성형장치(가로 30cm×세로 30cm)를 제작하였으며, 「type C」 블럭 및 보드제조를 위한 카울을 제작하였다<사진 7-5>. 이와 같이 제조한 블럭 및 보드는 상온의 실험실내에서 2주 이상 조습처리한 후 품질시험을 실시하였다.



<그림 7-12> 블럭 및 보드제조를 위한 기존의 열압방식(Type A) 및 새로운 열압방식(Type B, C, D, E)

다. 내수성 및 내후성 부여를 위한 처리

목질블럭의 내수성 및 내후성을 평가하고, 내수성 및 내후성의 개선을 위하여 낙엽송 세이빙으로 제조한 두께 50mm 목질블럭(control block)에 우레탄 수지 표면처리(urethan Block), 우레탄수지처리후 불소수지처리(U+F block), 목재보존제(wood Protector) 처리후 불소수지 표면처리(P+F block), 목재보존 및 착색제(xyladecor) 처리후 불소수지처리(X+F block) 등을 하여 블럭을 제조하였으며, 본 실험에서 개발한 블럭과의 비교를 위하여 시판용 파티클보드를 구입하여 내수성시험 및 육외폭로시험을 실시하였다.

라. 성능시험

(1) 블럭의 내수성 및 기계적 성능시험

목질칩의 종류별로 제조한 목질블럭의 치수안정성 및 기계적 성질을 평가하였다. 시험항목은 블럭의 밀도, 흡수율, 흡수두께팽창율, 휨파괴계수, 박리강도, 그리고 밀도경사를 측정하였으며, 歩車道用 콘크리트 인터로킹 블럭 (KS F 4419) 시험규정에 의거하여 블럭의 흡수율과 습윤시 휨강도를 측정하였다. 또한 건습반복시험에 의한 블럭의 내수성시험을 실시하였다. 건습반복시험은 먼저 상온의 물속에서 6시간동안 침지시킨 후 60℃에서 17시간 건조, 그리고 실온에서 1시간 방치한 후 중량, 두께, 그리고 용적을 측정하는 것을 1사이클로 하여 15회 반복측정하여 처리간 비교를 하였다.

(2) 목질블럭의 내후성시험(옥외폭로시험)

KS M 5000의 규정에 의거하여 시험대를 제작, 건물옥상에 설치하고 변색 및 표면할렬 유무를 관찰하였다.

(3) 보드의 물리·기계적 성능시험

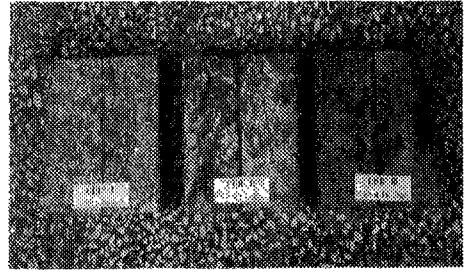
열압방식을 달리하여 제조한 보드의 물리·기계적 성질을 KS F 3104에 의하여 측정하였으며, 열압방식에 따른 보드의 밀도경사를 측정, 비교분석하였다.

제 3 항 연구결과

1. 목질블럭의 물리·기계적 성질

목질블럭이 기존의 보드블럭이나 벽돌을 대체할 수 있는 성능을 갖기 위해서는 제조방식뿐만아니라 목질원료의 수종, 원료 칩의 형상, 크기 등이 크게 영향을 미치기 때문에, 본 실험에서는 쉽게 구할 수 있으면서 비교적 형

상이 얇고 넓은 칩을 이용하여 블럭을 제조하였다<사진 7-4>. 그리고 열압방식은 제 2절에서 개발한 성형장치틀을 사용하였을 때 기존의 보드보다 월등히 향상된 물리적 및 기계적 성질을 얻을 수 있었으므로 본 실험에서도 제 2절에서와 동일한 열압방식



<사진 7-6> 각종 원료를 이용하여 제조한 목질블럭

(type B)과 아울러 본 실험에서 새로 개발한 열압방식(type D)을 적용하여 두께 50mm 블럭을 제조하였다. 제조한 블럭은 불소수지를 1회 스프레이한 후 품질시험을 실시하였다. <사진 7-6>은 각종 목질원료로 제조한 시험용 블럭이다.

목질원료의 종류를 달리하여 제조한 블럭의 물리·기계적 성질은 <표 7-3>과 같다. 특히 블럭성형장치내에 요철카울을 설치하여 블럭을 성형하면 성능이 매우 향상된 블럭의 제조가 가능하였다.

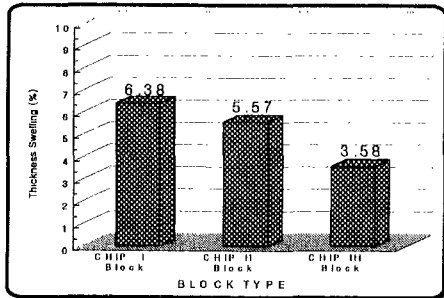
원료 칩의 종류에 따른 블럭의 치수안정성은 <그림 7-13~14>와 같다. 두께팽창률은 물푸레나무 칩으로 제조한 블럭(chip III block)에서 가장 작은 3.6%를 나타냈으며, 낙엽송 세이빙으로 제조한 블럭(chip I block)은 가장 높은 6.4%를 나타냈다. 그리고 수분흡수량도 낙엽송 세이빙으로 만든 블럭에서 20.3%로 가장 높게 나타났으며, 물푸레나무 칩으로 만든 블럭이 가장 낮은 10.5%를 나타냈다. 이와 같은 차이는 원료 칩의 밀도가 높은 물푸레나무와 비교적 밀도가 낮은 낙엽송의 밀도차에 기인하는 것으로 판단된다. 매트 성형시 낙엽송 세이빙은 가장 낮은 용적밀도와 가장 높은 압축률을 나타냈다. 그 결과 물푸레나무로 만든 블럭의 밀도($0.9\text{g}/\text{cm}^3$)가 높음에도 불구하고 낙엽송으로 만든 블럭의 두께팽창률이 더욱 높게 나타난 것으로 여겨진다. 그러나 시판 보드의 두께팽창률이 대체로 10% 이상, 그리고 흡수율이 30~

40%인 점을 감안한다면 본 실험에서 개발한 열압방법으로 목질블럭이나 보드를 제조하였을 때, 수분에 대한 치수안정성을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 기대되었다.

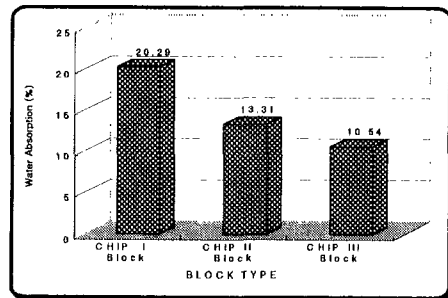
<표 7-3> 목질블럭의 물리·기계적 성질

블럭유형	비중	함수율 (%)	흡수율 (%)	두께팽창률 (%)	박리강도 (kgf/cm ²)	휨과괴계수 (kgf/cm ²) ¹	
						기진	습윤
CHIP I Block	0.73	11.45	20.29	6.38	12.45	65.02±8.50	56.59±16.10
CHIP II Block	0.88	14.08	13.31	5.57	15.90	79.73±5.16	59.90±16.10
CHIP III Block	0.90	12.41	10.54	3.58	8.40	78.84±8.28	60.69±14.1

* I: 낙엽송 세이빙, CHIP II: 소나무 플레이크, CHIP III: 물푸레나무 세이빙



<그림 7-13> 원료 칩의 종류에 따른 목질블럭의 두께팽창률

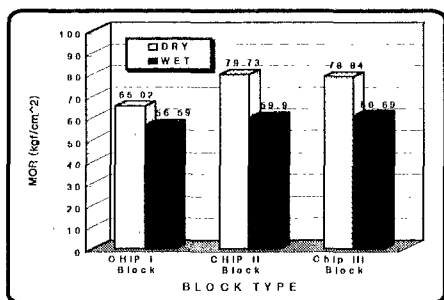


<그림 7-14> 원료 칩의 종류에 따른 목질블럭의 흡수율

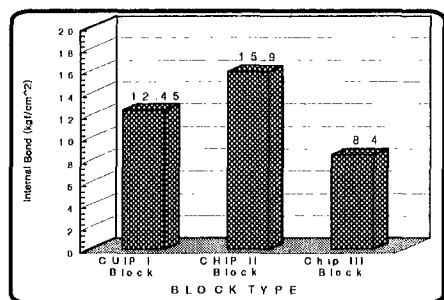
<그림 7-15>는 원료의 종류에 따른 목질블럭의 상태 휨강도와 습윤 휨강도를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 세 종류의 블럭 중 소나무 플레이크로 제조한 블럭이 가장 큰 값을 나타냈으며, 낙엽송 세이빙으로 제조한 블럭이 가장 낮은 값을 나타냈다. 휨강도는 블럭의 두께가 두꺼운 관계로 지간거리를 두께의 3배로 하였는데, 이는 KS F 4419에서 블럭의 휨강도는 두께의 2배 이상으로 한다는 규정에 근거한 것이다. 또한 이 규정에는 보도

블럭의 습윤시의 휨강도로서 보도용의 경우 50kgf/cm² 이상, 차도용의 경우 60 kgf/cm² 이상을 규정하고 있다. 본 실험에서 제조한 블럭의 습윤시 휨강도는 소나무 플레이크로 제조한 블럭과 물푸레나무 세이빙으로 제조한 블럭의 경우에는 각각 평균 59.9kgf/cm²와 60.7kgf/cm²를 나타냈으며, 낙엽송 세이빙으로 제조한 블럭의 경우에는 60kgf/cm²에 못미치는 평균 56.6kgf/cm²를 나타냈다. 이상과 같은 결과로 볼 때 본 실험에서 제조한 블럭이 휨강도면에서 보도용으로 충분히 적용될 수 있을 것으로 판단되었다.

<그림 7-16>은 KS F 4419의 규정에는 명시되어 있지 않으나 목질보드의 경우 중요시되는 품질특성의 하나인 박리강도를 측정된 결과이다. 목질블럭의 박리강도는 기존의 목질보드와는 달리 매우 높은 강도치를 나타내고 있다. 소나무 플레이크로 제조한 블럭의 박리강도가 가장 높은 평균 15.9kgf/cm²를 나타냈으며, 다음이 낙엽송 세이빙 블럭으로서 평균 12.5kgf/cm², 그리고 물푸레나무 세이빙 블럭은 평균 8.4kgf/cm²를 나타냈다. 낙엽송 세이빙 블럭과 소나무 플레이크 블럭이 물푸레나무 세이빙 블럭보다 높은 값을 나타낸 것은 원료목재의 밀도차이에 기인한 용적밀도와 열압시 압축률의 차이에 기인한 것으로 판단되었다.



<그림 7-15> 원료 칩의 종류에 따른 목질블럭의 상태와 습윤시의 휨파괴계수



<그림 7-16> 원료 칩의 종류에 따른 목질블럭의 박리강도

2. 목질블럭의 내수성 개선

목질블럭의 내수성 개선을 위하여 몇 종의 수지를 표면 분무처리하여 내수성 개선효과를 분석하였다. 처리수지의 종류 및 처리량 그리고 처리방법은 <표 7-4>와 같다.

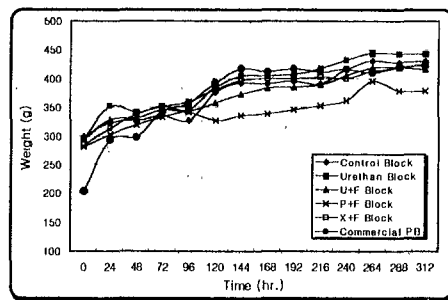
<표 7-4> 블럭의 내수성 개선을 위한 처리수지 및 처리량, 처리방법

목질블럭 명칭	처리수지	처리량 (g)	처리방법
Control Block	-	0	
Urethan Block	Urethan resin(U)	1.92±0.34	Urethan spray 1회
U + F Block	Urethan resin(U)	6.17±0.85	Urethan spray 1회
	Fluoro resin (F)		Fluoro spray 1회
Wood			
P + F Block	Protector(P)	10.47±2.46	Protector spray 1회
	Fluoro resin (F)		Fluoro spray 1회
X + F Block	Xyladecor (X)	9.78±1.79	Xyladecor spray 1회
	Fluoro resin (F)		Fluoro spray 1회
Commercial PB	-	0	무처리

* 처리방법 : 처음에 각 Block에 대하여 표면연마(# 220)를 실시함.

건습조작 반복에 따른 처리별 블럭의 중량변화는 <표 7-5> 및 <그림 7-17>에서 보는 바와 같이, 무처리인 경우 24시간이 경과하였을 때 중량이 19.52%, urethan처리블럭은 18.9%, U+F처리블럭은 11.3%, P+F처리블럭은 7.5%, X+F 처리블럭은 9.9%, 그리고 시판 파티클보드의 경우에는 43.7%의 중량증가를 각각 나타냈다.

그리고 15일이 경과한 후 중량의 변



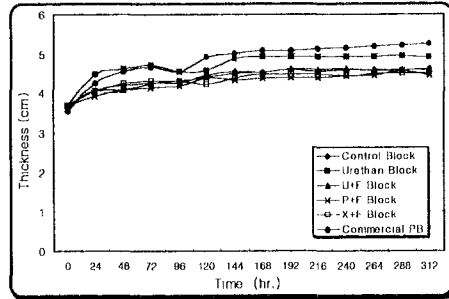
<그림 7-17> 건·습조작 반복에 따른 목질블럭의 중량변화

화는 부처리 불력이 44.1%, urethan 처리불력이 49.9%, U+F처리불력이 41.7%, P+F처리불력이 34.6%, X+F처리불력이 49.8%였으며, 시판용 파티클보드는 107.57%로서 매우 높은 증량증가를 나타냈다.

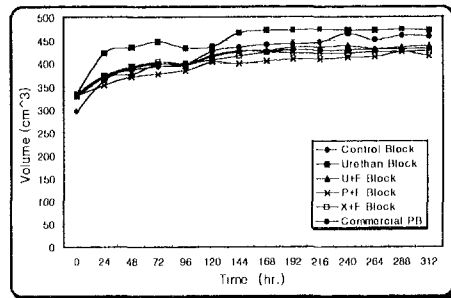
또한 두께변화에 있어서는 1회 내후조작후 부처리가 10.3%, urethan처리불력이 21.3%, U+F처리불력이 9.4%, P+F처리불력이 5.4%, X+F처리불력이 9.7%, 그리고 시판 파티클보드는 20.6%의 두께증가를 나타냈다. 그리고 15회 건습조작이 진행된 후에는 부처리에서 25.2%, urethan처리불력이 32.3%, U+F처리불력이 24.3%, P+F처리불력이 20.5%, X+F처리불력

이 22.2%, 그리고 시판용 파티클보드의 경우에는 47.9%의 두께증가를 각각 나타냈다. <그림 7-18>는 건습조작에 따른 용적의 변화를 나타낸 것으로 15회 반복이 진행된 후 부처리에서 31.63%, urethan처리불력 41.1%, U+F처리불력 32.8%, P+F처리불력 25.5%, X+F처리불력 27.7%, 그리고 시판 파티클보드는 54.9%의 용적증가를 나타냈다.

위 결과로부터, 성형장치내에서 열압하여 목질불력을 제조함으로써 두께가 50mm로 두꺼움에도 불구하고 두께 35mm의 시판 파티클보드 보다 월등히 내수성을 향상시킬 수 있음이 확인되었다.



<그림 7-18> 건·습조작 반복에 따른 목질불력의 두께변화



<그림 7-19> 건·습조작 반복에 따른 목질불력의 용적변화

<표 7-5> 목질블럭의 건습조작 반복에 따른 중량, 두께, 용적 변화

구분 및 시험편	처리시간(hr)							
	0	24	48	72	96	120	144	
중량 (g)	Control Block	299.46 (15.09)	322.81 (18.34)	325.81 (9.81)	335.17 (20.48)	326.81 (19.92)	375.85 (29.73)	392.75 (29.35)
	Urethan Block	295.31 (10.74)	351.04 (9.03)	341.22 (36.24)	351.02 (21.56)	345.43 (22.10)	385.18 (39.50)	403.39 (45.01)
	U + F Block	294.20 (12.66)	327.44 (26.98)	330.08 (29.37)	346.38 (13.80)	342.25 (15.52)	357.38 (38.51)	372.90 (41.19)
	P + F Block	281.11 (21.41)	302.09 (8.30)	319.16 (13.17)	332.83 (23.49)	340.60 (25.45)	326.83 (18.45)	334.90 (18.61)
	X + F Block	283.97 (25.33)	312.21 (21.34)	337.42 (16.45)	351.09 (24.92)	359.55 (26.57)	380.09 (19.0)	396.19 (17.89)
	Commercial PB	204.11 (1.55)	293.51 (14.82)	297.99 (2.47)	343.24 (6.69)	356.02 (1.15)	392.20 (5.53)	418.30 (2.26)
두께 (cm)	Control Block	3.69 (0.04)	4.07 (0.08)	4.20 (0.13)	4.27 (0.19)	4.26 (0.26)	4.46 (0.18)	4.56 (0.11)
	Urethan Block	3.71 (0.12)	4.50 (0.40)	4.61 (0.46)	4.71 (0.43)	4.55 (0.51)	4.58 (0.54)	4.89 (0.43)
	U + F Block	3.70 (0.13)	4.05 (0.60)	4.10 (0.66)	4.24 (0.66)	4.31 (0.53)	4.43 (0.52)	4.52 (0.61)
	P + F Block	3.71 (0.10)	3.91 (0.29)	4.08 (0.44)	4.13 (0.37)	4.19 (0.23)	4.41 (0.38)	4.33 (0.29)
	X + F Block	3.70 (0.11)	4.06 (0.21)	4.24 (0.17)	4.32 (0.19)	4.32 (0.20)	4.33 (0.20)	4.41 (0.15)
	Commercial PB	3.55 (0.01)	4.28 (0.02)	4.55 (0.01)	4.66 (0.01)	4.55 (0.31)	4.90 (0.02)	5.02 (0.01)
용적 (cm ³)	Control Block	329.53 (4.86)	372.59 (13.65)	386.21 (17.84)	394.17 (26.58)	396.91 (35.93)	417.96 (25.29)	427.12 (18.51)
	Urethan Block	335.15 (9.42)	422.83 (45.18)	435.03 (54.19)	448.92 (51.25)	432.91 (55.70)	436.81 (59.49)	467.03 (48.89)
	U + F Block	330.09 (11.02)	372.82 (65.96)	378.33 (72.53)	397.26 (70.09)	398.22 (60.61)	415.42 (58.30)	426.44 (66.51)
	P + F Block	331.62 (6.35)	352.98 (27.27)	371.83 (40.84)	378.39 (36.50)	385.45 (24.26)	404.49 (27.36)	400.22 (28.15)
	X + F Block	335.34 (8.14)	374.72 (22.66)	392.94 (18.26)	403.49 (20.54)	399.45 (9.08)	407.94 (19.61)	416.36 (12.97)
	Commercial PB	296.55 (1.11)	364.60 (2.85)	390.57 (0.50)	400.88 (1.11)	397.42 (24.54)	427.20 (3.33)	435.58 (0.46)

구분 및 시험편	처리시간(hr)							
	168	192	216	240	264	288	312	
중량 (g)	Control Block	390.99 (25.86)	394.4 (24.57)	391.29 (27.99)	415.80 (16.40)	431.25 (13.37)	428.10 (22.09)	431.50 (26.98)
	Urethan Block	403.39 (46.86)	407.47 (45.63)	417.50 (37.21)	432.97 (37.48)	444.76 (38.54)	442.85 (48.19)	442.96 (53.51)
	U + F Block	383.15 (40.35)	384.75 (39.47)	389.18 (36.61)	405.22 (28.89)	419.40 (31.88)	419.31 (45.69)	416.76 (52.76)
	P + F Block	337.63 (13.41)	344.95 (14.02)	352.50 (12.48)	362.69 (18.31)	395.40 (25.03)	378.53 (18.78)	378.28 (16.09)
	X + F Block	400.16 (18.35)	399.65 (17.21)	402.56 (17.37)	398.88 (19.86)	412.62 (22.26)	419.08 (24.39)	425.26 (29.39)
	Commercial PB	412.28 (8.58)	416.92 (7.15)	412.17 (7.71)	326.43 (4.40)	310.83 (0.24)	401.28 (4.61)	423.55 (0.38)
두께 (cm)	Control Block	4.54 (0.14)	4.59 (0.10)	4.56 (0.11)	4.59 (0.11)	4.60 (0.12)	4.59 (0.11)	4.62 (0.13)
	Urethan Block	4.93 (0.40)	4.92 (0.43)	4.93 (0.45)	4.92 (0.43)	4.93 (0.44)	4.94 (0.41)	4.91 (0.43)
	U + F Block	4.53 (0.58)	4.61 (0.54)	4.59 (0.53)	4.62 (0.55)	4.57 (0.53)	4.59 (0.51)	4.60 (0.54)
	P + F Block	4.38 (0.24)	4.41 (0.23)	4.41 (0.23)	4.44 (0.23)	4.46 (0.21)	4.58 (0.20)	4.47 (0.19)
	X + F Block	4.50 (0.25)	4.48 (0.19)	4.48 (0.16)	4.45 (0.18)	4.51 (0.22)	4.51 (0.24)	4.52 (0.23)
	Commercial PB	5.07 (0.01)	5.09 (0.02)	5.12 (0.04)	5.15 (0.03)	5.18 (0.02)	5.22 (0.02)	5.25 (0.01)
용적 (cm ³)	Control Block	426.20 (19.05)	430.52 (16.02)	428.19 (17.06)	430.33 (17.85)	431.02 (17.72)	430.71 (18.72)	433.73 (19.97)
	Urethan Block	472.81 (47.31)	472.67 (50.92)	473.48 (51.87)	473.03 (51.30)	471.51 (50.4)	474.43 (49.29)	472.98 (50.19)
	U + F Block	427.40 (63.58)	436.02 (59.75)	434.81 (58.36)	439.66 (62.52)	431.99 (58.31)	435.26 (57.11)	438.40 (58.21)
	P + F Block	405.56 (23.92)	408.39 (22.33)	409.46 (22.18)	412.86 (21.43)	415.37 (20.75)	426.45 (11.97)	416.04 (17.29)
	X + F Block	424.29 (24.15)	422.65 (19.56)	422.77 (17.73)	422.54 (18.87)	426.18 (23.31)	426.24 (23.61)	428.24 (22.09)
	Commercial PB	440.15 (0.18)	442.17 (0.96)	445.45 (2.74)	463.93 (10.26)	452.61 (0.28)	461.47 (1.31)	459.27 (0.35)

* U : 우레탄수지, F : 불소수지, P : Wood Protector, X : Xyladecor, PB : 파티클보드,
* ()내 수치는 표준편차임.

3. 목질블럭의 내후성 평가

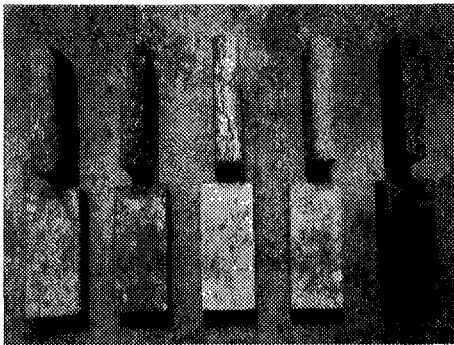
목질블럭의 내후성을 평가하기 위하여 <표 7-4>의 樹脂를 내수성시험과 동일하게 처리한 다음, 옥외폭로시험을 하였다. 옥외폭로시험은 본 실험에서 개발하고자 하는 목질 보도블럭이나 기타 옥외용으로의 적용 가능성을 검토하기 위한 것이었으며 KS M 5000(도료의 옥외폭로시험)에 의하였다.

<사진 7-7>은 건물의 옥상에 제작하여 설치한 옥외폭로시험용 설치대에 처리별 목질블럭을 설치하여 시험하는 모습이다.



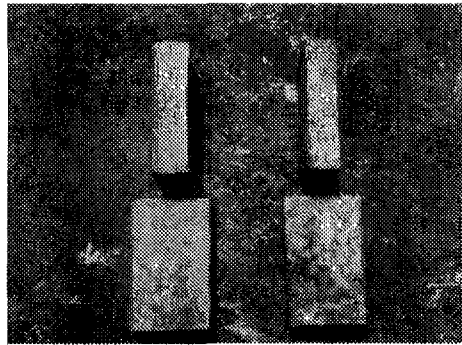
<사진 7-7> 목질블럭의 처리별 옥외폭로시험

<사진 7-8>은 2개월이 경과한 후 처리별 목질블럭의 표면과 측면의 모습으로서, U+F처리블럭과 X+F처리블럭에서는 변색이나 할렬을 발견할 수 없었으나, 기타처리 블럭에서는 변색, 할렬 등이 관찰되었다.



<사진 7-8> 2개월 경과후 처리별 목질블럭의 상태(좌측그림)

* 좌측으로부터 무처리(CHIP I block), 무처리(CHIP III block), Urethan block, U+F block, X+F block)



<사진 7-9> 2개월 경과후 Urethan block(좌)와 U+F block(우)(우측 그림)

<사진 7-9>는 <사진 7-8>의 블럭중에서 urethan처리블럭과 U+F처리블럭을 보여주는 것으로 좌측의 urethan처리블럭은 두께변화 및 측면에서의 할렬이 관찰되었으며, U+F처리블럭에서는 아무런 변화가 나타나지 않은 모습이다.

4. 열압방식에 따른 목질보드의 성능

저밀도·후판 목질보드 제조를 위하여 「2. 실험방법」의 「나. 블럭 및 보드 제조방법」항에서 언급한 열압방식(type A~E)을 적용하는 실험을 실시하였으며, 열압방식에 따른 보드의 물리·기계적 성질은 <표 7-6, 그림 7-20~21>과 같다.

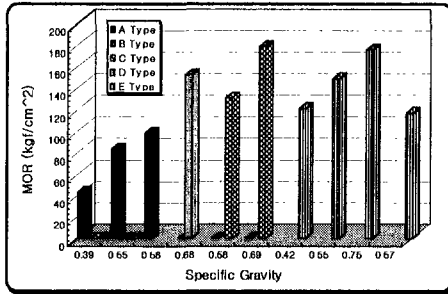
전체적으로 평판가열식 열압방식으로 제조한 type A보드가 가장 낮은 휨과괴계수와 박리강도를 나타냈다. 밀도 0.55g/cm³인 type A 보드는 휨과괴계수가 83.38kgf/cm²였으며, 밀도 0.58g/cm³인 type C 보드는 130.71kgf/cm²를 나타냈고, 밀도 0.55g/cm³인 type D 보드는 148.47kgf/cm²를 나타냈다. 그리고, 밀도 0.55g/cm³인 type E 보드는 117.06kgf/cm²를 나타냄으로써, 近似한 밀도인 경우에 type D 보드가 가장 높은 휨과괴계수를 나타냈다. 또한 밀도를 0.4g/cm³까지 낮추었을 때에도 type A 보드는 43.2kgf/cm²였으나, type D 보드는 121.02kgf/cm²를 나타냄으로써, type A 보다 약 130% 정도 휨과괴계수를 향상시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다.

박리강도도 휨과괴계수와 유사한 경향을 보이고 있는 바, 동일한 밀도에서 type D의 열압방식을 적용한 경우 가장 높은 박리강도를 나타냈다. type D로 제조한 보드의 경우, 밀도 0.42g/cm³에서 박리강도 4.67kgf/cm², 밀도 0.55g/cm³에서는 6.61kgf/cm², 그리고 밀도 0.75g/cm³인 경우에는 12.27kgf/cm²의 높은 박리강도를 나타냈다.

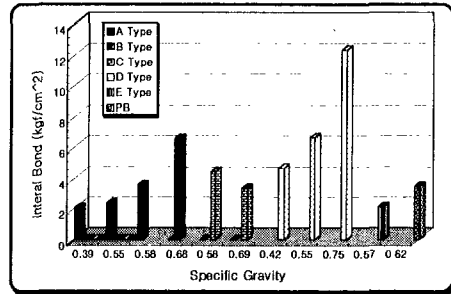
<표 7-6> 열압방법에 따른 목질보드의 물리·기계적 성질

열압 방법	두께 (mm)	비중	함수율(%)	휨파괴계수 ³ (kgf/cm ²)	박리강도 (kgf/cm ²)
Type A	32	0.39±0.04	14.10±0.07	43.20±7.81	2.03±0.66
	32	0.55±0.07	12.80±0.33	83.38±20.44	2.33±0.82
	32	0.58±0.10	11.29±1.58	98.22±37.72	3.58±1.24
Type B	32	0.68±0.02	11.74±0.29	152.13±8.95	6.58±0.43
Type C	32	0.58±0.03	12.03±0.02	130.71±17.37	4.41±1.45
	32	0.69±0.06	11.45±0.10	178.31±28.91	3.34±0.29
Type D	32	0.42±0.01	9.07±0.23	121.02±32.89	4.67±1.56
	32	0.55±0.03	14.50±0.02	148.47±23.71	6.61±2.64
	32	0.75±0.04	9.37±0.39	175.13±19.26	12.27±2.72
Type E	32	0.57±0.03	14.27±0.26	117.06±14.01	2.10±0.32
Commercial PB	35	0.62±0.01	8.25±1.21	131.40±5.18	3.45±0.15

* Type A : 평판가열식, Type B : 성형장치내 열압방식, Type C : 요철카울판설치후 열압, Type D : 성형장치+요철카울판 설치후 열압, Type E : Type C 보드에 두께 1mm 아피통 단판 오버레이



<그림 7-20> 열압방식과 밀도에 따른 목질보드의 휨파괴계수



<그림 7-21> 열압방식과 밀도에 따른 목질보드의 박리강도

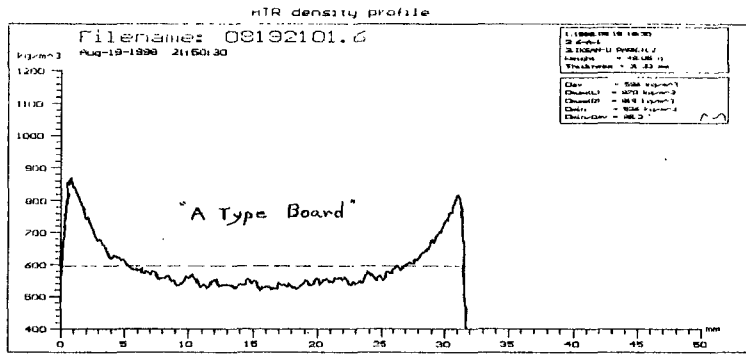
<그림 7-22~25>는 본 실험에서 적용한 열압방식에 따라 제조한 목질보드의 밀도경사를 측정하여 나타낸 것이다. <그림 7-22>는 type A 보드로서 기존의 열압방식을 적용하여 제조한 보드(밀도 0.6g/cm³)의 전형적인 밀도경사이다. 이 경우에 평균밀도에 대한 최저밀도의 비율(Dmin/Davg)은 88.3%였으며, 최대밀도와 최저밀도의 차이는 344kg/m³였다. <그림 7-23>은 type C의 열압방식에 의하여 제조된 보드의 밀도경사를 보여주고 있다. 이에 의하면 두께 8.8mm 이

상에서는 평균밀도(점선부분) 이하를 나타냈으나, 이는 요철카울의 설치에 의해 내부의 요철부분에 해당하는 공극을 형성함으로써 이와 같은 밀도경사를 나타내게 되었다고 판단되며, 요철부에 의하여 밀도가 낮아진 만큼 반대쪽에는 밀도가 더욱 높게 형성됨을 알 수 있었다.

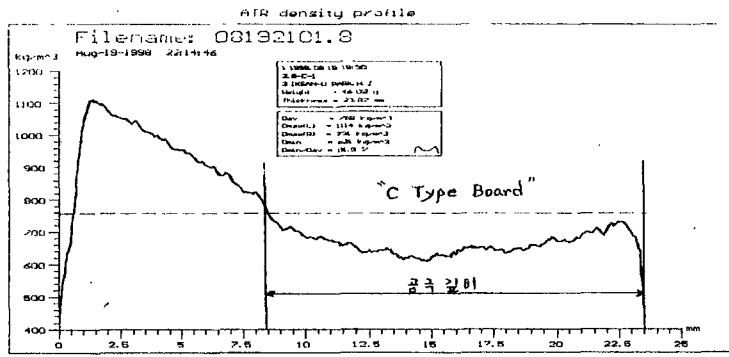
<그림 7-24>는 type D의 열압방식을 적용한 보드의 밀도경사로서 평균밀도에 대한 최저밀도의 비가 100.2%를 나타냈다. 이 방식으로 제조된 보드는 요철카울을 설치하였음에도 전체적으로 밀도경사가 심하게 나타나지 않았는데, type C의 열압방식은 열압시 상·하부에서 가해지는 압력과 요철카울에서 가해지는 압력에 의하여 매트가 심하게 좌우로 밀리게 되어 심한 밀도차이를 가져오게 되었으나, type D 방식은 성형장치에 의하여 四面이 차단되어 상·하면 및 측면에서 동시에 압력이 가해짐으로써 보다 균일하고 우수한 품질의 보드를 제조할 수 있었던 데 기인한 것으로 판단된다.

<그림 7-25>는 type E 방식에 의하여 제조된 보드로서 이는 type C 보드의 품질개선 가능성을 판단하기 위하여 제조한 것이다. 이 보드는 두께 24mm의 type C 보드의 양표면에 두께 1mm인 아피통 단판을 접착하여 제조하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 요철카울을 사용함으로써 카울에 의하여 발생한 공극으로 인하여 그림의 右側部位(두께 9mm 이상)가 평균밀도 이하를 나타냈다. 그러나 단판접착에 의하여 표층부의 밀도를 어느 정도 높일 수 있는 것으로 나타났으며, 이와 같이 단판을 접착시킴으로서, 저밀도보드에서 공극이 있는 면에 휨하중에 의한 인장응력이 작용할 경우, 인장에 의한 파괴를 보강해줄 수 있으므로 강도적 성능 개선에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

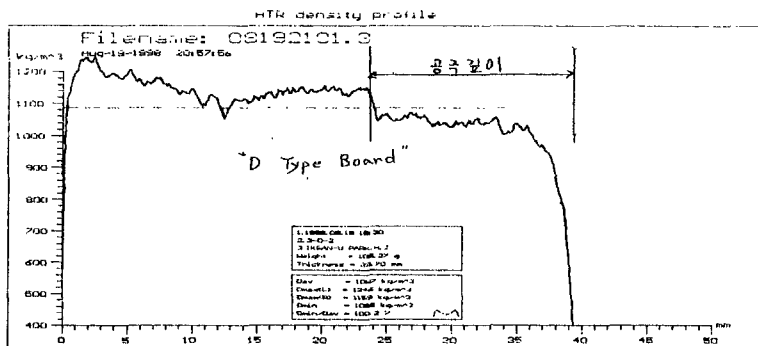
이상과 같은 결과로 본 연구에서 개발한 열압방식(type C, D, E)을 적용할 경우, 기존의 보드와는 달리 향상된 성능을 가진 저밀도·후판(30mm 이상)보드를 제조할 수 있을 것으로 기대되며, 또한 후판보드의 단점인 밀도경사 차이에 의한 박리강도 저하의 문제도 상당히 개선할 수 있을 것으로 전망된다.



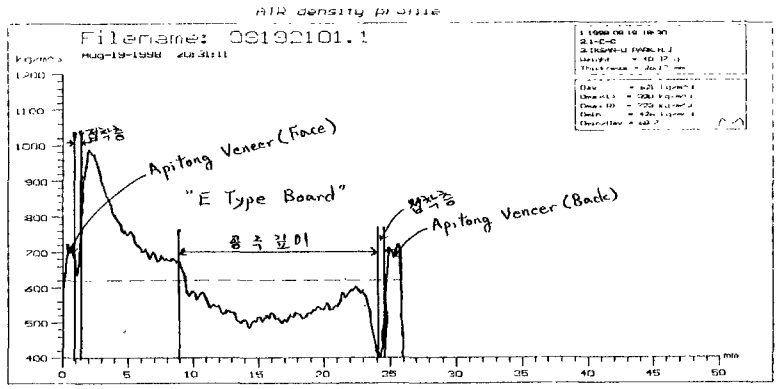
<그림 7-22> 보드의 밀도경사(Type A 방식 적용)



<그림 7-23> 보드의 밀도경사(Type C 방식 적용)



<그림 7-24> 보드의 밀도경사(Type D 방식 적용)



<그림 7-25> 보드의 밀도검사(Type E 방식 적용)

제 3 항 결 론

(1) 기존의 열압방식과 다른 새로운 4종류의 열압방식을 적용하여 물리·기계적 성능이 월등히 향상된 厚板 보드를 제조할 수 있었으며, 보드내 밀도경사가 현저히 완화된 고성능의 경량·후판보드를 개발하였다.

(2) 본 연구에서 개발된 폐목질 재활용 블록을 KS F 4419의 「步·車道用 인터로킹 블록시험」 및 내수성 시험 결과, 충분한 물성을 나타냈다. 또한 xyladecor·fluoro resin 등의 표면처리에 의해 야외사용시의 劣化 방지효과를 구명하였다.

(3) 본 연구에서 개발된 목질블록 제조방법은 특허(번호 0277290)를 획득하였다.

제 4 절 폐목질 재활용 블럭의 내구성능 평가 및 신용도 개발

제 1 항 재료 및 방법

1. 실험방법

가. 목질보드 및 블럭의 생물학적 열화 및 자외선 열화 방지기술 개발

(1) 생물학적 열화시험 : 목질블럭의 생물학적 열화시험은 KS F 2213(목재의 내후성 시험방법)의 방법에 의해 실시하였으며, 공시균은 갈색부후균(*Tyromyces palustris*)과 백색부후균(*Coriolus vericolor*)의 2종류를 사용하였다.

(2) 촉진내후성시험 : KS M 5982(도료의 촉진내후성 시험방법)에 의하여 국립기술표준원의 Q-Panel사의 Q-UV accelerated weathering tester를 사용하였으며, 시험조건은 60℃에서 4시간 동안 자외선(UV)에 노출시킨 후, 다시 40℃에서 응축노출시키면서 300시간 내후처리를 하였다.

(3) 내마모성시험 : KS M 5333(용착식 도로 표지용 도료의 내마모성 시험방법)에 의해 테버형 마모시험기를 사용하여 실시하였으며, 이 때 시험하중은 500g으로 하였다.

(4) 옥외폭로시험 : 제 3절의 시험에 이어서 KS M 5000(도료의 옥외폭로 시험) 방법에 의해 계속 열화진행정도를 관찰하였다.

(5) 표면경도 : KS M 6518(가황고무 물리시험방법)에 의하여 shore A방식으로 블럭 표면의 연필경도를 측정하였다.

나. 목질블럭 제조 및 적용성 시험

본 실험에서는 큰 치수(5×30×30cm)의 판상의 블럭을 제조하기 위한

열압방법 및 열압스케줄을 개발하고자 하였다. 열압방식은 전년도와 동일하게 성형틀내에서 열압하는 방식을 적용하였으며, 제조된 블록의 물리·기계적 성질을 측정하였다. 기계적 성질의 측정은 KS F 4004(시멘트 벽돌)과 KS F 4419(보차도용 콘크리트 인터로킹 블록)의 시험규정에 의하여 측정하였다. 제조한 블록은 옥외에 처리별로 설치하고, 실제 적용성 검토를 위하여 기존의 보도블록 시공방법과 동일하게 시공하여 적용성을 조사하였다.

다. 저밀도·후판보드의 흡음소재 개발

본 실험에서는 일반 내장재 및 가구용 부재로 사용하기 위한 저밀도·후판보드를 개발하였다. 이들 보드를 흡음용 내장재로의 적용가능성을 검토하기 위하여 보드의 흡음성을 측정하였으며, 또한 보드의 표면에 공명기를 형성시켜 흡음성 개선효과를 검토하였다. 그 시험방법 및 장치는 다음과 같다.

(1) 공시제품

목질 폐잔재를 이용하여 제조한 밀도 0.4g/cm^3 , 두께 50mm 보드에 대하여 <사진 7-10>과 같은 원형시험편을 제작하여 흡음을 측정시험을 하였다.

(2) 시험방법

管内에 정재파비를 측정하여 垂直入射吸音率을 구하는 KS F 2814(관내법에 의한 건축재료의 수직입사흡음을 측정방법)에 의하여, <그림 7-26>과 같은 장치를 이용·시험하였으며, 다음 식에 의해 흡음율(a)을 계산하였다.

$$a = 1 - (B/A)^2$$

$$a = 1 - r^2$$

(여기에서 $r : B/A$ A, B : 음압)

또한 정재파비(standing wave ratio, n)은 아래와 같이 최소음압과 최대

음압의 비로 구한다.

$$n = P_{\max}/P_{\min}$$

$$n = (A+B)/(A-B), B/A = (n-1)/(n+1)$$

따라서, $a = 1 - ((n-1)/(n+1))^2$,

$$a = 4n/(n^2+2n+1) \text{이며,}$$

공명이 일어나는 주파수는

$$f_0 = c/2\pi (G/V)^{0.5}, G = s/le$$

$$le = l + \delta$$

(여기에서 c : sound velocity, G : conductivity of neck)

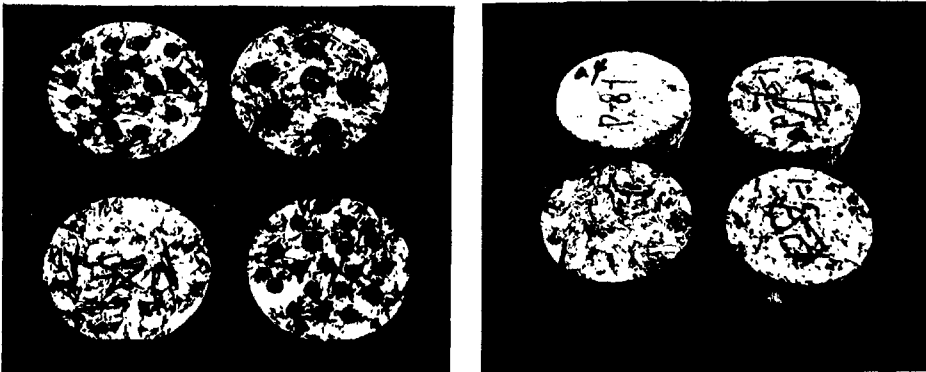
V : volume of cavity, s : surface area of neck

le : effective neck length, l : neck length

δ : end correction $\approx 0.8d$, d : diameter of neck

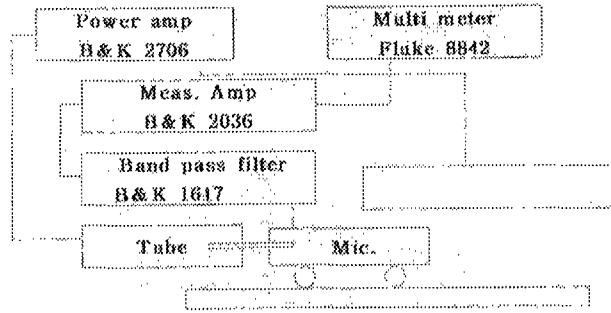
이 된다. 그러므로

$$f_0 = c/2\pi (s/V(1 + \delta))^{0.5}$$



<사진 7-10> 단일공명기를 형성한 흡음성 측정용 저밀도 목질보드 시험편

* 좌: 표면(음 입사면), 우: 벽체부착면



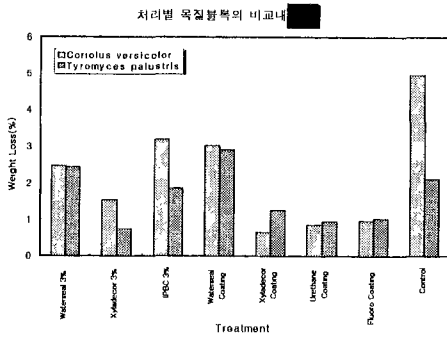
<그림 7-26> 관내법에 의한 흡음을 측정장치

제 2 항 연구결과

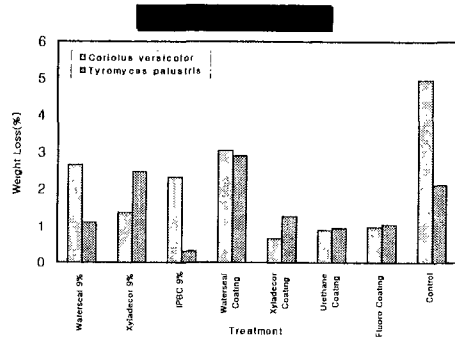
1. 목질보드 및 블럭의 생물학적 열화 및 자외선 열화 방지

<그림 7-27~28>은 갈색부후균과 백색부후균으로 부후처리한 목질블럭 (밀도 0.8g/cm³)의 내후성 시험결과이다. 여기에서 보는 바와 같이 폐놀수지접착제를 사용하여 제조한 목질블럭의 중량감소율은 무처리재의 경우 백색부후균에서 약 5%, 갈색부후균에서 약 2% 정도의 중량감소율을 보였다. xyladecor, urethane, fluoro resin 등으로 표면처리를 한 경우의 중량감소율은 전체적으로 약 1% 정도로서 무처리재에 비하여 부후성을 개선시킬 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 보드제조시 보존성 및 내수성 부여를 위하여 water seal, xyladecor, IPBC를 3%, 6% 및 9% 첨가하여 제조한 블럭의 중량감소율을 조사한 결과, 무처리재에 비하여 백색부후균에 대해서는 어느 정도 부후성을 개선시킬 수 있는 것으로 나타났으나, 갈색부후균에 대해서는 그 처리효과가 미미하였다. 또한 water seal 처리재에서는 블럭제조시 첨가한 것과 표면처리한 것간의 차이를 알 수 없었다. 이상과 같은 결과로 볼 때, 목질블

력 제조시 보존제를 처리하는 것보다는 블럭제조 후 표면에 처리하는 것이 마모성 향상, 내수성 및 내부후성 부여를 위해서 바람직하다고 판단되었다. 보통 소재의 경우 부후균에 의한 중량감소율이 약 10% 정도인 것에 비하여 무처리재의 경우에 5% 이하로 나타난 것은 목질블럭 제조시 페놀수지접착제를 사용한 것에 그 원인이 있다고 판단된다.



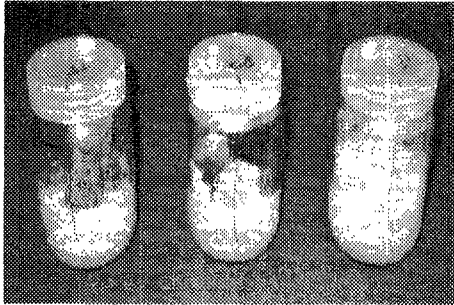
<그림 7-27> 부후처리 목질블럭의 중량감소율(1)



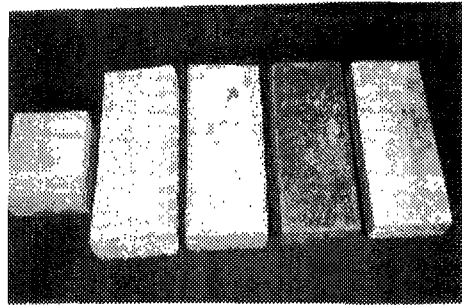
<그림 7-28> 부후처리 목질블럭의 중량감소율(2)

<사진 7-11>은 목질블럭에서 채취한 시험편에 백색부후균과 갈색부후균을 접종한 후 약 2개월이 경과한 후 부후가 심하게 진행 중인 것과 초기 상태를 유지하고 있는 시험편을 보여주고 있다.

<사진 7-12>는 제 3절의 시험에 이어서 16개월이 경과된 목질블럭의 옥의 폭로시험편이다. 여기에서 보는 바와 같이 처리방법별 열화 정도가 심하게 차이를 보이고 있는 바, 무처리 블럭과 우레탄수지처리 블럭은 두께팽윤 및 도막의 박리현상이 두드러지게 나타나고 있다. 그러나 xyladecor처리 블럭과 fluoro resin처리 블럭은 양호한 상태를 유지하였다. 이와 같은 결과는 <표 7-7>에서와 같이 블럭처리용 수지의 축진내후성 시험결과에서도 확인할 수 있었다. fluoro resin처리는 300시간 경과 후에도 처음의 상태를 유지하였으나, 우레탄수지처리에서는 심하게 황변이 진행됨을 확인하였다.



<사진 7-11> 부후처리에 의한 목질
블럭의 부후진행 상태



<사진 7-12> 옥외폭로에 의한 목질블럭
의 열화상태(16개월 경과 후)

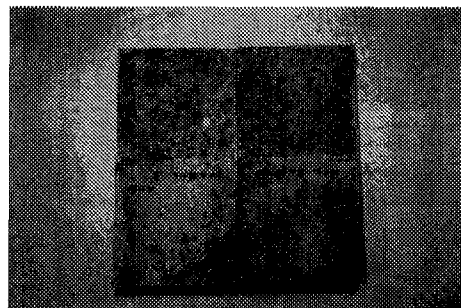
* 좌로부터 시판 보드, 부처리·Urethane resin·
Xyladcor 및 Fluoro resin 처리

<표 7-7> 耐朽처리수지 종류별 성능시험 결과

시험항목	Urethane + Fluoro resin	Urethane resin	Fluoro resin
축진내후성	약간 변색 (황변)	심한 변색 (황변)	약간 변색 (황변)
내마모성	-67mg	-95mg	-90mg
연필경도	7H이상	7H이상	7H이상
밀착성	100	100	100

2. 판상블럭 제조 및 적용성 시험

<사진 7-13>은 보드블럭으로 사
용하기 위해 넓은 판상블럭을 제조한
것이다. 제 3절에서는 한국산업규격
(KS)에 규정된 I형 및 O형 블럭을 제
조하였으나, 본 실험에서는 두께 5cm
×가로 30cm×세로 30cm의 넓은 판상
블럭을 제조하기 위한 열압스캐줄을



<사진 7-13> 판상형 목질블럭

개발하여 물성시험용 블럭을 제조하였다. I형 및 O형 블럭의 제조를 위한 열압스케줄과 판상블럭의 제조를 위한 열압스케줄은 <표 7-8>과 같다.

<표 7-8> 목질블럭의 종류별 적정 열압스케줄

번 수	I형·O형 블럭(5×20×10cm)	판상블럭(5×30×30cm)
목표밀도	0.80g/cm ³	0.85g/cm ³
열압압력	50-40-30kgf/cm ²	50-40-30kgf/cm ²
열압시간	9-8-3분(20분)	15-5-5분(25분)
열압온도	180℃	180℃

제 3절에서의 열압스케줄을 적용할 경우에는 블럭의 밀도가 증가하고 크기가 커짐에 따라 두께방향으로의 내부박리현상이 심하게 발생하였으며, 블럭 중심부의 잔류응력 및 잔류 수증기에 의하여 스프링백 현상이 심하게 일어나 고품질의 블럭을 제조할 수 없는 것으로 나타났다. 그러나 열압시간을 25분으로 연장함으로써 이와같은 현상을 제거할 수 있었다. <표 7-9>는 본 실험에서 제조한 목질블럭의 물리·기계적 성질이다.

<표 7-9> 목질블럭의 물리·기계적 성질

시험항목	목표밀도 (g/cm ³)	전건밀도 (g/cm ³)	함수율 (%)	휨강도 ¹ (kgf/cm ²)	압축강도 ² (kgf/cm ²)
목질블럭	0.80	0.814	11.23	131.7	176.0

* 1) KS F 4004(시멘트 벽돌)의 시험방법에 의함.

2) KS F 4419(보차도용 콘크리트 인터로킹 블럭)의 시험방법에 의함.

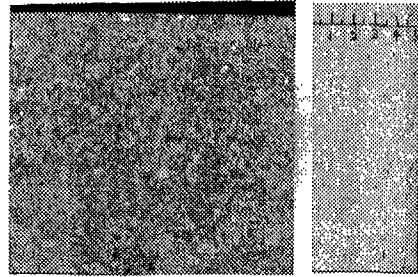
3) 목질블럭의 수지침가율 : 15%

<표 7-9>에서의 압축강도는 하중을 가한 후 1차 파괴(slip)가 발생하는 점에서의 하중으로부터 산출된 값이다. 이들 블럭의 휨강도는 통상의 시멘트나 콘크리트 블럭의 휨강도(약 50kgf/cm²)의 2배 이상을 나타내는 수치이며, 압축

강도는 일반 블럭의 강도와 동등한 수치를 나타내고 있어 강도적인 면에서는 기존의 시멘트나 콘크리트 블럭을 충분히 대체할 수 있는 것으로 나타났다.

<사진 7-14>는 본 실험에서 제조한 두께 50mm인 목질블럭의 표면과 측면의 사진이다. 사진에서 보는 바와 같이

목질블럭은 압축성형기내에서 제조함으로써 판상형 블럭에서도 두께방향으로 밀도 분포가 균일한 보드를 제조할 수 있음을 확인할 수 있었다. 아울러 이와 같은 후판보드의 밀도경사 개선과 박리강도 향상을 위하여 매트성형시 중층에 두께 1mm,



<사진 7-14> 목질블럭의 표면(좌)과 측면 2mm 단판을 삽입하여 열압을 하였으나, 이렇게 제조한 보드는 단판과 칩사이에 충분한 접착이 이루어지지 않아 단판과 칩사이의 접착층에서 박리현상이 발생함을 확인하였다. 따라서 이와 같은 방법은 실제 적용에 있어서 추가적인 공정도입이 필요하며, 그 효과 또한 미미하므로 실용적으로 문제가 있는 것으로 판단되었다.

3. 저밀도·후판보드의 흡음재 개발

본 실험에서는 제조된 저밀도(0.4g/cm³, 0.5g/cm³) 후판보드의 용도개발의 일환으로 건축내장용 흡음판으로서의 적용성을 검토하였다. 내장재의 흡음은 흡이 가지고 있는 에너지를 소실 또는 감소시키는 과정으로, 많은 공극을 가지고 있는 흡음재의 마찰에 의한 흡음, 벽면에 공기층을 두고 얇은 판을 설치하는 판진동에 의한 흡음, 그리고 단일공명기를 이용한 흡음기구 등을 이용하고 있다.

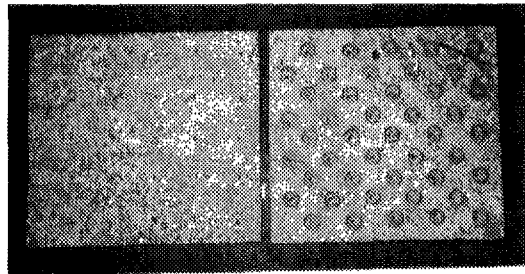
다공질형 흡음재는 두께에 따라 차이는 있으나 넓은 주파수 대역에서 흡음

효과가 우수한 반면, 그 자체만으로는 마무리가 적합하지 않으며, 판진동에 의한 흡음재는 저주파수 영역에서의 흡음율은 증가하나 흡음효과가 비교적 낮은 편이며, 단일공명기에 의한 흡음재는 좁은 주파수 대역에서 높은 흡음효과를 나타낸다.

유리솜이나 압면은 흡음효과 외에도 단열성이 좋은 장점 때문에 현재까지 건축물에 많이 이용되고 있으나, 공기중에 노출되어 사용될 경우 분진에 의해 인체에 유해한 영향을 끼칠 수 있다. 또한 재료자체의 강도가 약하기 때문에 흡음재료를 넣어들 일정형태의 틀이 필요하게 된다. 따라서 흡음성과 단열성을 적절히 가지면서 인체에 유해하지 않은 대체소재의 개발이 필요하며, 이에 본 실험에서 개발한 저밀도·후판 보드를 이용하면 유리할 것이다. 만약 우수한 강도를 가지고 있는 보드에 흡음성을 부여할 수 있다면 기존의 흡음재료와는 다른 새로운 개념의 흡음설계가 가능할 것이라 판단되며, 국산 목질 폐자원의 효율적인 이용에도 기여하게 될 것으로 기대된다.

본 실험에서는 천공가공에 의해 보드표면에 공명기를 형성하여 흡음성을 개선하는 시도를 하였다<사진

7-15>. 즉 재료의 양표면에 직경 차이가 있는 구멍을 뚫고 작은 구멍 쪽에 음을 입사시키면 반대편의 큰 구멍과 밀착된 벽면 내에 공간이 형성되어 공명기로 작용하여 특정한 주파수 영역에서 음에너지의 손실을 커



<사진 7-15> 본 실험에서 개발한 흡음용 저밀도·후판보드(左: 표면, 右: 벽면)

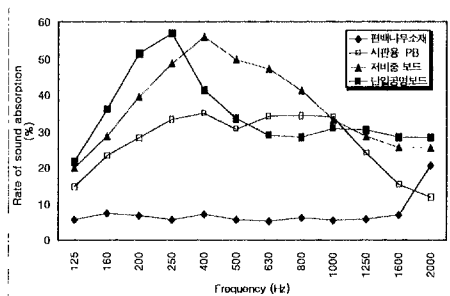
지게 함으로써 공명기 주변 공기의 공진에 의해 음에너지를 흡수시키고자 하였다. 공진현상이 발생하는 주파수 영역은 공명기의 크기, 목의 길이와 표면적으로 조절할 수 있을 것으로 생각된다.

<그림 7-29~30>은 본 실험에서 제조한 보드에 <사진 7-10>과 같이 무처리보드 및 3 종류의 단일공명기를 조성한 보드의 흡음율을 측정된 결과이다.

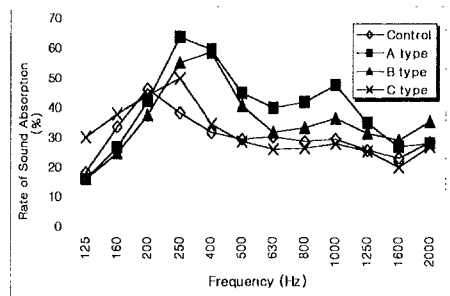
<그림 7-29>에서 보는 바와 같이, 목재의 경우에는 전 주파수 영역에 걸쳐 약 5% 내외의 음향반사 특성을 보여주고 있는 반면, 목질보드는 전체적으로 흡음율이 상당히 높은 수치를 나타냈다. 또한 공명기를 조성하지 않은 시판용 파티클보드의 경우에는 1.5kHz를 초과하는 고주파 영역에서의 흡음율이 20% 이하로서 낮은 수치를 보이는 반면에 본 실험에서 개발한 저밀도·후판보드와 공명기를 조성한 보드에서는 30% 정도의 양호한 흡음율을 나타내고 있다.

<그림 7-30>은 <사진 7-10>의 무처리보드(左下), A type(左上), B type(右下), 및 C type(右上) 등의 보드에 대하여 흡음율을 측정된 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이, 저밀도·후판 목질보드는 공명기 유무에 따라 주파수 영역별로 다양한 흡음특성을 나타내고 있다. 특히 A type과 B type의 보드는 200~400Hz 범위에서 50% 이상의 높은 흡음율을 나타냈다.

이상의 결과를 통하여 본 연구에서 개발한 저밀도·후판 목질보드는 기존의 흡음재료에 비하여 자체 강도적 특성이 우수함과 아울러 공명기의 조성 방법에 따라 고유의 주파수 영역에 맞는 흡음재료로 적용이 가능할 것으로 사료된다.



<그림 7-29> 저밀도·후판보드와 타목질 소재의 흡음율 비교



<그림 7-30> 공명기 조성 저밀도·후판보드의 흡음율

제 3 항 결 론

(1) 목질블럭의 내부후처리방법으로서 xyladecor, urethane, fluoro resin 등을 사용한 목질블럭의 중량감소율은 약 1% 정도로서 耐久性이 현저히 개선되었다. 또한 야외폭로시험에서 xyladecor 및 fluoro resin처리 블럭은 16개월 경과 후에도 양호한 상태를 유지하여 야외용 블럭으로 사용이 가능할 것으로 판단되었다.

(2) 적정한 열압스케줄(압력 50-40-30kgf/cm², 15-5-5분)을 적용하여 제조한 판상블럭(5×30×30cm)은 후팽창 및 내부박리현상이 일어나지 않았으며, 내부의 밀도분포가 균일하였다. 기존의 시멘트블럭에 비하여 휨강도는 2배 이상이며, 압축강도는 유사한 수준이었다.

(3) 본 연구에서의 실험결과를 토대로 건축용 흡음재료로 적합한 경량·후판보드를 개발하였다. 흡음성 개선방법은 보드 표면 및 내부에 Ⅲ형의 공명기를 형성하는 것으로써, 보드 밀도는 0.4~0.5g/cm³이었다. 이와 같은 보드의 흡음성능은 1.5kHz를 초과하는 고주파영역에서 흡음율이 30% 정도로 양호하였으며, 공명기 형성방법에 따라 200~400Hz의 주파수 범위에서 50% 이상의 높은 흡음율을 발휘하였다.

참 고 문 헌

- ASTM E 1050-98. Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, two microphones and a digital frequency analysis system.
- Environmental Protection Agency. 1990. Characterization of municipal solid waste in the United States: 1990 Update. Report EPA/530-SW-90-042
- Sungsoo Jung, Cheolho Whang, Yongtae Kim and Jaegap Seo. 1999. The acoustic characteristics of a ceramic having a rectangular capillary tube. *Ungyong Mulli*. 12(1): 32-38
- Watanabe, T., T. Matsumoto, N. Kinoshita and H. Hayashi. 1967. Acoustical study of woods and wood products. *J. Japan wood res. soc.* 13(5): 177-182
- 北海道林産試験場. 1997. 木質系多機能床材料及び床構造の開発成果報告書
- 小林純 外 4人. 1996. 木質ブロックの製造と品質に関する研究(第1報)- 製造條件が木質ブロックの性能に及ぼす影響. *木材工業* 51(8) : 352-357
- 김병삼 외 5인. 1997. *소음진동학*: 261-279
- 김정석. 1992. *음향학 개론*, 한미: 74-94
- 산업자원부기술표준원. 2000. *도로방음벽 표준화 연구*
- 이동흡. 1996. 목질환경의 생물학적 평가. *임업연구원 연구자료* 118: 189-201
- 이필우, 윤형운, 김대준, 손정일. 1993. 슬러지-파티클보드의 제조 가능성 및 구성비율에 관한 기초연구. *목재공학* 21(2): 57-66
- 장상식. 1995. 바닥건축재료의 충격하중에 대한 반응. *목재공학* 23(2): 83-87
- 홍병화. 1989. 목재단면의 흡음계수와 음향임피던스. *목재공학* 17(2): 26-33

홍병화, 1996. 정상파 장치에 의한 라왕합판의 흡음과 음향 임피던스. 한국가
구학회지, 7(1·2): 21-27

KS F 4419. 한국표준협회. 보차도용 콘크리트 인터로킹 블럭

KS M 5000. 한국표준협회. 도료의 옥외폭로시험

KS M 5333. 한국표준협회. 용착식 도로 표지용 도료의 내마모성 시험방법

KS F 4004. 한국표준협회. 시멘트 벽돌

KS F 2814. 한국표준협회. 1996. 관내법에 의한 건축재료의 수직입사 흡음률
측정방법