R&D /기술혁신 F04

FRP/합성목재 대체친환경 복합소재 및 건설자재 제조기술개발 최종보고서

한국건설교통기술평가원

국토해양부

The development of the environment-friendly composite material for replacing FRP/synthetic wood and construction materials manufacturing technique

건설기술혁신사업 최종보고서

R&D /09기술혁신 F04

FRP/합성목재 대체 친환경 복합소재 및 건설자재 제조기술 개발 최종보고서

2013. 2. 28

주관연구기관/동국대학교 산학협력단
위탁연구기관/한국기계연구원 부설 재료연구소
참여기업/알파시스템창호(주), (주)준성이엔알

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관 귀하

이 보고서를 "FRP/합성목재 대체 친환경 복합소재 및 건설 자재 제조기술 개발에 관한 연구에 관한 연구"과제의 3차년도 보고서로 제출합니다.

2013 . 2. 28.

주관연구기관명 : 동국대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 임 중 연
연 구 원 : 이 호 용
" : 김 대 영
" : 고 봉 환
" : 유 명 열
" : 김 미 미
" : 대니쿠니아완
" : 김 상 훈
" : 황 국 문
" : 남 아 네 스
" : 페 스 마
" : 이 수 현
" : 왕 홍 비
" : 전 영 준

위탁연구기관명 : 한국기계연구원 부설 재료연구소
위탁연구책임자 : 김 병 선
연 구 원 : 이 진 우
" : 김 승 현
" : 하 종 록

참여기업명 : 알파시스템창호(주)
참여기업연구책임자 : 박 희 주
연 구 원 : 박 상 권
" : 김 동 현

참여기업명 : (주)준성이엔알
참여기업연구책임자 : 김 종 권
연 구 원 : 장 종 휘
" : 이 호 성
" : 강 지 연

보고서 요약서

과제고유번호	09CCTI-C053475-01-000000	해 당 단 계 연 구 기 간	2009.06.26 ~2012.10.25	단 계 구 분	1/3~3/3
연 구 사 업 명	중 사 업 명				
	세부사업명	건설 기술 혁신 사업			
연 구 과 제 명	대 과 제 명				
	세부과제명	FRP/합성목재 대체 친환경 복합소재 및 건설 자재 제조기술 개발			
연 구 책 임 자	임 중 연	해당단계 참 여 연구원수	총 : 25명 내부 : 4명 외부 : 21명	해당단계 연 구 비	정부 : 658,000천원 기업 : 187,000천원 계 : 845,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 25명 내부 : 4명 외부 : 21명	총연구비	정부 : 658,000천원 기업 : 187,000천원 계 : 845,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	동국대학교 산학협력단	참여기업명	알파시스템창호(주), (주)준성이엔알		
국제공동연구	상대국명 :	상대국연구기관명 :			
위 탁 연 구	연구기관명 :한국기계연구원 부설 재료연구소	연구책임자 : 김 병 선			

요약	보고서면수	98

본 연구는 목분과 열가소성수지를 사용하여 FRP/합성목재 대체 친환경 복합소재 및 건설자재 제조기술 개발을 위한 연구로서, 천연목재와 동일 이상의 질감과 물성을 확보하고자 목분의 표면개질을 통해 열가소성수지와의 계면결합력을 향상시키기 위해 물리·화학적 처리를 하였다. 이때 표면개질 장치를 설계 제작하며, 건설자재에 필수요건인 난연성을 확보하고자 인체에 무해한 소재를 사용하여 복합소재를 개발하고자 한다. 이에 3차년도 연구에서는 상온상압 플라즈마 장치에 연속성을 더해 상용화를 위한 설계도면 작성 및 실제 장치를 개발하고 목분을 처리하여 표면개질의 메커니즘을 규명한다. 또한 복합재 제작에 있어 공정변수 최적조건을 확립하여 생산성을 확보하며, 이렇게 제작된 시제품의 기계적물성, 난연성의 특성을 비교하여 환경마크 및 기술이전에 대한 평가를 진행하도록 한다. 이를 정리하면 다음과 같다.

○ 상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화

○ 최적 제조공정 확립

○ 시제품 제작 및 평가

색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	천연섬유 복합소재, 계면특성, 열가소성수지, 건설자재, 친환경재료
	영 어	Natural Fiber Composites, Interfacial Character, Thermoplastic Resin, Construction Materials Biocomposites

요 약 문

Ⅰ. 제 목

FRP/합성목재 대체 친환경 복합소재 및 건설자재 제조기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 전 세계적으로 재료에 대한 경량화와 고강도 특성을 원하면서 복합재료에 대한 요구 및 그 사용 범위가 증가하고 있다. 이러한 특성을 갖춘 복합재료를 가장 많이 이용하고 있는 산업은 우주항공, 비행기, 자동차 산업과 같은 곳이지만, 현재에는 경량화 및 고강도의 특성을 갖춘 복합재료 이외에도 천연 소재와 인공 소재를 복합하여 가급적 자원을 절약하고 재활용이 가능한 복합재료를 개발하고 활용하는 방향으로 개발이 이루어지고 있으며 이러한 것은 건물 내의 인테리어, 공원의 의자 및 테이블 등과 같은 곳에 사용되고 있다.

이러한 친환경 복합소재에 사용되는 천연 소재로 가장 관심을 받고 있는 것은 천연섬유로써 이에 폴리머를 혼합한 복합재료가 많은 관심을 끌고 있고, 그 사용영역도 확대되고 있는 추세이다. 그 이유는 친환경 복합재료에 사용된 천연섬유의 재활용 가능성, 경제성 그리고 주변에서 쉽게 구할 수 있다는 장점 때문이다. 상기와 같은 이유로 천연섬유를 사용한 복합재료의 시장도 매우 빠른 속도로 성장하고 있다. 이러한 시장의 확대와 친환경성 소재를 이용하여 친환경적 제조공법으로 제작된 복합소재는 기존의 합성목재 및 FRP를 대체하여 난연성 등을 확보한 건설자재로의 개발이 가능하리라고 본다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1차년도 연구목적을 달성하기 위하여 수행한 연구내용과 범위는 다음과 같다.

- ○ 천연섬유 기계적/물리적 특성 조사
- ○ 천연섬유 복합소재 시스템 설계 방안 연구
- ○ 천연섬유 전처리 연구
- ○ 계면 접착성 향상을 위한 천연섬유 개질 요소연구
- ○ 복합재료의 난연성 확보를 위한 연구
- ○ 연속 코팅 공정 설계

2차년도 연구목적을 달성하기 위하여 수행한 연구내용과 범위는 다음과 같다.

- ○ 상온상압 플라즈마 lab scale 제작
- ○ 고분자 종류별 계면 적합성 연구
- ○ 목분 특성에 따른 영향 연구
- ○ 목분 첨가에 의한 물리적 영향
- ○ 성형 장치 설계 및 제작

○ 시제품 성형 및 평가

3차년도 연구목적을 달성하기 위하여 수행한 연구내용과 범위는 다음과 같다.

○ 상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화
○ 최적제조공정 확립
○ 시제품 제작 및 평가

Ⅳ. 연구개발결과

1차년도 연구목적을 달성하여 수행한 결과는 다음과 같다.

○ 폴리머 매트릭스와 천연섬유 보강재의 호환성 향상
  - 폴리머 매트릭스 물성 효과
  - 커플링 에이전트를 통한 개선
  - 폴리머와 교차결합을 통한 개성
○ 폴리머 매트릭스와 천연섬유 보강재의 호환성을 높이기 위한 표면 처리 기술
  - 커플링 에이전트와 플라즈마 처리
○ 천연섬유와 난연제의 적합성 검토
○ 상온상압 플라즈마 중합 반응기 개발
  - 반응기의 요구사항 및 플라즈마 중합을 위한 개략도 설계

2차년도 연구목적을 달성하여 수행한 결과는 다음과 같다.

○ 상온상압 플라즈마 lab scale 제작
  - 목분 표면개질
  - 개질된 목분 제공
○ 고분자 종류별 계면 적합성 연구
  - 개질제간 특성 비교
  - 표면에너지 측정
○ 목분 특성에 따른 영향 연구
  - 목분의 입자크기, 함량 및 종류별 최적 특성 연구
  - 복합재의 밀도, 흡습량, 기계적 물성 평가
○ 목분 첨가에 의한 물리적 영향
  - 목분의 uniform distribution 연구
  - 프리폼용 제조기술 확보
○ 성형 장치 설계 및 제작
  - 금형 설계 및 제작
  - 최적 heating 장치 설계
○ 시제품 성형 및 평가

- 시제품 성형
- 시제품의 기계적 특성 평가
- 시제품의 난연성능 평가

3차년도 연구목적을 달성하기 위하여 수행한 연구내용과 범위는 다음과 같다.

○ 상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화
- 상용화를 위한 설계도면 개발
- 표면개질 메커니즘 규명

○ 최적제조공정 확립
- Twin Screw Extruder의 공정변수 최적조건 확립
- Injection Molding Machine의 제조공정 조건 확립
- 목분 함량별 복합재 제작
- 재료의 리싸이클 활용방안

○ 시제품 제작 및 평가
- 시제품 물성확보
- 난연성 확보
- 환경마크 및 기술이전

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

연구개발결과를 활용할 분야로는 다음과 같다.

○ 자동차 부품용 복합소재 개발
○ 폐자원을 활용한 각종 일회용 식기구 개발
○ 새로운 식물섬유를 이용한 복합소재 개발
○ 건축내장재용 복합재 제작

SUMMARY

Ⅰ. TITLE

The development of the environment-friendly composite material for replacing FRP/ synthetic wood and construction materials manufacturing technique.

Ⅱ. NECESSITY

Recently, Due to the desire worldwide of material with lightweight and high-strength properties, the requirements and application of composite is keeping to expand, Specially in the fields of aerospace, aircraft, automotive, however, besides these requirements the composites using the nature fiber and man-made fiber for saving the limited resource and recycling are developing and expected to applicate in construction interior, chairs and tables in park and so on.

For the clean composite materials, the composites using nature fiber to mix with polymer is the most concerned part and it is trend to expand the application, because of the recycling possibility, economical efficiency and convenience of nature fiber using in clean composite, additionally the market growth of nature fiber - polymer composite is very fast. For above reasons, it's feasible to research and develop composite with flame retardant property for construction materials using clean materials and manufacturing method to replace the synthetic wood and FRP.

Ⅲ. CONTENTS AND SCOPES

This report covers the first year study of 3-year span research plan. To accomplish the specific objectives of the first year study, the following work tasks are established and performed.

- ○ Natural fiber mechanical/physical characterization research
- ○ Natural fiber composite material system design
- ○ Natural fiber preprocessing research
- ○ Modifying surface of natural fiber for the interfacial adhesion improvement
- ○ Research for the obtaining incombustibility of composites
- ○ Continuous coating process design

In order to achieve the research objectives of the second year, the following content and scope are established and implemented.

- ○ Fabrication of lab scale atmospheric plasma polymerization reactor
- ○ Research of surface compatibility depends on polymer types

- ○ Research of influence depends on wood flour features
- ○ Research of physical effect based on wood flour addition
- ○ Design and fabrication of moulding device
- ○ Prototype moulding and evaluation

In order to achieve the research objectives of the 3rd-year, the following content and scope are established and implemented.

- ○ The optimization at room temperature and atmospheric pressure continuous device of plasma
- ○ Establish optimal manufacturing process
- ○ Fabrication and evaluation of prototype

Ⅳ. RESULTS

The finished results based on the 1st-year research objectives are as following

- ○ Compatibility of polymer matrices with natural fibers
  - Effects of polymer matrix properties
  - Improvement by coupling agent addition
  - Improvement by cross linking of polymer matrices
- ○ Surface treatments for making natural fiber more compatible to polymer matrices
  - coupling agent and plasma treatment
- ○ Examination the suitability of natural fibers and flame retardants
- ○ Development of plasma polymerization reactor at ambient temperature/atmospheric
  -Schematic design for the requirements of reactor and plasma polymerization

The implemented results based on the 2nd-year research objectives are as following

- ○ Fabrication of lab scale atmospheric plasma polymerization reactor
  - Surface modification of wood powder
  - Supply of modified wood powder
- ○ Research of surface compatibility depends on polymer types
  - Feature comparation of modification agents
  - Determination of surface energy
- ○ Research of influence depends on wood flour features
  - Research of wood powder uniform distribution
  - assurance of manufacturing technology for preform application
- ○ Design and fabrication of moulding device

- mold design and fabrication
- Design for optimal heating device

○ Prototype moulding and evaluation
- Prototype moulding
- Evaluation for mechanical properties of prototype

The implemented results based on the 3rd-year research objectives are as following

○ The optimization at room temperature and atmospheric pressure continuous device of plasma
- Development of design drawings for the commercialization
- Identify the surface-modification mechanism

○ Establish optimal manufacturing process
- Establish the optimum conditions of the Twin Screw Extruder's process variables
- Establish the conditions of the manufacturing process of Injection Molding Machine
-Produce the composites of the content of wood flour
-Plan of material recycling

○ Fabrication and evaluation of prototype
- Acquire the physical properties of the prototype
- Acquire the flamme resistance
- KOREA ECO-LABEL and technology transfer

Ⅴ. APPLICATION PLAN

To utilize the results of research and development areas are as following

○ Development for automotive parts of composite materials
○ Development for disposable utensils by use of waste resources
○ Development in the new plant fiber composite
○ Production of composites for building materials for interior

CONTENTS

Chapter 1 Background and Motivation ····· 1

Part 1 Background ····· 1
Part 2 Motivation ····· 2

Chapter 2 State of Technology Development ····· 4

Part 1 Domestic ····· 4
Part 2 Abroad ····· 7
Part 3 Patent ····· 10
Part 4 Government support policy ····· 13

Chapter 3 Content and Results ····· 16

Part 1 Summary of results ····· 16
Part 2 Process ····· 18
Part 3 Main content ····· 21

Chapter 4 Contribution of the objective performance ····· 82

Part 1 Objectives ····· 82
Part 2 Achievement ····· 85

Chapter 5 Application plan of Results ····· 87

Part 1 Application ····· 87
Part 2 Expectation and Ripple Effect ····· 88
Part 3 Subsequent study development ····· 89
Part 4 Company application ····· 91

Chapter 6 Reference ····· 93

목 차

제1장 연구배경의 필요성 ····· 1

제1절 연구개발 개요 ····· 1
제2절 연구개발 필요성 ····· 2

제2장 국내외 기술개발 현황 ····· 4

제1절 국내 기술 및 산업 동향 ····· 4
제2절 국외 기술 및 산업 동향 ····· 7
제3절 특허동향 ····· 10
제4절 정부지원정책 현황 ····· 13

제3장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 16

제1절 연구개발결과 요약 ····· 16
제2절 연구개발과정 ····· 18
제3절 연구개발 주요내용 ····· 21

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 82

제1절 연구개발 목표 ····· 82
제2절 연구목표의 달성도 ····· 85

제5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 87

제1절 연구결과의 활용방안 ····· 87
제2절 기대성과 및 파급효과 ····· 88
제3절 관련 후속연구개발의 전망 ····· 89
제4절 연구결과의 기업 활용방안 ····· 91

제6장 참고문헌 ····· 93

제1장 연구배경의 필요성

제1절 연구개발 개요

현재 전 세계적으로 재료에 대한 경량화와 고강도 특성을 원하면서 복합재료에 대한 요구 및 그 사용 범위가 증가하고 있다. 이러한 특성을 갖춘 복합재료를 가장 많이 이용하고 있는 산업은 우주항공, 비행기, 자동차 산업과 같은 곳이지만, 현재에는 경량화 및 고강도의 특성을 갖춘 복합재료 이외에도 천연 소재와 인공 소재를 복합하여 가급적 자원을 절약하고 재활용이 가능한 복합재료(이하 친환경 복합재료라 칭함)를 개발하고 활용하는 방향으로 개발이 이루어지고 있으며 이러한 것은 건물 내의 인테리어, 공원의 의자 및 테이블 등과 같은 곳에 사용되고 있다.

이러한 친환경 복합소재에 사용되는 천연섬유로 가장 관심을 받고 있는 것은 천연소재 중에서도 목분으로써 과거에는 90vol% 이상의 목분에 접착제를 넣고 제작한 MDF, PB, HDF 또는 합판 같은 것이 사용되었으나 접착제로부터 발생되는 환경호르몬 영향물질에 의해 그 시장이 크게 성장하지 못하고 있는 반면, 전세계적으로 목분과 폴리머를 혼합하여 제작하는 합성목재 (WPC:Wood Plastic Composite)와 같은 복합재료가 많은 관심을 끌고 있고, 그 사용영역도 확대되고 있는 추세이다. 그 이유는 친환경 복합재료에 사용된 목분의 재활용 가능성, 경제성 그리고 주변에서 쉽게 구할 수 있다는 장점 때문이다.

상기와 같은 이유로 목분을 사용한 복합재료의 시장도 매우 빠른 속도로 성장하고 있다. 특히 이러한 것 중에서 대표적인 합성목재 국내시장은 2006년 12억 원에 불과했으나 2008년도에는 200억 원, 2009년도에는 400억 원 규모로 매년 100% 이상 커지고 있는 추세이다. 또한 국가적으로나 개인적으로 환경에 대한 관심이 높아지면서 조경수요가 커지는 데다 정부가 중금속 유출 논란을 일으켰던 일부 방부목[1] 생산 업체에 대해 친환경 표면처리제 사용을 권고한 뒤, 대체재로 부각되고 있다. 내년의 추정 시장규모는 1,000억원에 달한다.(한국경제, 2008)

친환경 복합재료의 주요 시장은 북미와 유럽 그리고 일본이 있을 수 있는데, 압도적으로 큰 시장은 북미시장으로 2002년도에 이미 590,000톤으로 약 7억 달러의 시장규모이며 유럽은 약 95,000톤으로 약 1억 달러의 시장규모를 가졌으며, 2010년에는 북미에서 100만 톤 정도의 시장을 가질 것으로 예상된다(Morton, 2003). 일본 또한 2002년 30,000톤의 규모로 매년 2배 이상 시장규모가 커져오고 있으며 2010년 이후에는 최소 100,000톤 이상으로 예상되고, 중국은 1,000만 톤 이상의 시장규모를 가질 것으로 예상된다.(木口 實, 2005) 이는 자연적인 촉감을 선호하는 소비자의 필요성이 합쳐진 결과이다.

1) 방부목 : 나무가 썩지 않도록 특수한 약품을 이용하여 방부처리한 나무로 약품의 위해성 때문에 이에 대한 사용을 지양하고 친환경 표면처리제 사용을 권장하고 있다.

제2절 연구개발 필요성

국내에서 이용되는 모든 건축용 목재는 90% 이상이 수입되고 있고 국내 자체의 원목 생산으로 인한 벌목 문제점을 해결하기 위해서 목분을 사용한 친환경 복합재료 개발이 아주 중요하다. 수입 원목의 경우 1㎥당 350,000원이지만 1㎥당 24,000원 정도의 톱밥이나 목분을 사용하여 원목을 대체할 수 있는 목분 복합재료를 만들 경우 그 비용을 절감할 수 있게 된다. 국내의 연간 수입하는 목재량이 전 세계에서 6위의 수준이며 2005년에 22,856,000㎥이며, 2010년에는 24,045,000㎥로서 금액으로 환산하면 대략 7~8조 정도의 천문학적인 수입금액이 발생한다. 그 보다 더 심각한 것은 원목에 대한 수입의존도가 2005년도에는 69%였으나 2020년에는 74%로 예상되고, 2050년에는 83%로 그 비율이 점차 증가하고 있다는 데에 더 문제점이 있다.(산림청, http://www.forest.go.kr, 2008).

이것에 대한 대안으로 중밀도섬유판(MDF), 합성목재(WPC) 및 FRP를 들 수 있다. 중밀도섬유판(MDF: Middle Density Fiberboard)는 원재료인 목재를 해리하여 섬유상의 형태로 제조한 후 건조과정과 접착제를 사용하여 열압에 의해 판상의 재료를 만드는 것이다. 이러한 MDF는 섬유상으로 제조 하였기에 목재에서 나타나는 이방성을 제거하고 큰 판상의 제품을 만들 수 있다는 장점이 있으나 제조공정에서 보통 포름알데히드나 비소[2]를 방출하는 접착제를 많이 사용하여 유해가스 방출제품이란 문제점을 야기하고 있다. (메디컬투데이, 김범규, 2009)

합성목재(WPC)는 현재 목재섬유의 함유량이 30wt%이하의 섬유를 사용하기 때문에 목재라기 보다는 플라스틱에 가까운 제품군으로 친환경을 확보하기가 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 또한 섬유강화 플라스틱(FRP: Fiber Reinforced Plastic)은 플라스틱과 유리섬유를 복합시켜 생산한 제품으로서 가볍고 강한 내구성을 갖은 장점이 있으나 폐기시 내부의 유리섬유는 발암물질의 유발과 호흡에 의한 폐기능을 약화시키는 문제점이 야기되고 있다.

이에 본 연구에서는 상기와 같은 환경성의 문제가 없는 친환경 복합재료를 만들기 위해 천연섬유를 바탕으로 하는 복합재를 제작하고자 하며, 이때 천연섬유가 갖는 친수성으로 인해 발생되는 다음과 같은 문제점을 해결하고자 한다.

- 플라스틱 내에서 고른 분산되는 않아 압출이나 사출 성형 공정이 어려움
- 공정 시간의 증가로 인한 플라스틱의 변색 및 변질에 의한 성능 감소

또한 함량이 최소 50wt%가 고르게 함유된 복합재료를 만들 수 있는 공정 기술개발을 하여 모든 목재 대용으로 사용될 수 있는 친환경 복합재료를 만드는 것이다. 그 이유는 친환경 소재인 목분의 함량이 50wt%이상 일 경우 국제규정상 나무로 분류(http://www. ifnet.or.jp/ ~cmcinfo /topics/, 일본)되므로 목분 복합재료는 기존 목재

2) 비소 : 화학기호로 As이며, 피부암·폐암·림프종·백혈병 등의 각종 암과 태아의 선천성 기형을 일으키고 아주 적은 양으로도 인체에 치명적이기 때문에 과거에는 사약으로 사용되기도 했으며, 일본에서는 1997년부터 사용을 금지시켰고 상당수의 선진국에서도 2002년부터 사용을 금지시킨 대표적인 유해 물질이다. 또한 우리나라의 환경부는 2007년 10월 초에 비소가 포함되어 있는 'CCA 방부목'의 사용을 전면 금지시킨다는 고시를 했다.

시장까지 영역을 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 친환경 복합재료 개발에 있어 가장 중요한 목분과 플라스틱 사이의 결합력을 높이기 위해 목분에 상온상압 글로우 방전 기술을 적용하여 기능기(친수성을 소수성으로 변화시킨다)를 부여하고, 이를 통해 플라스틱 기질에서 목분의 분산도를 증가시키고자 한다. 이것은 목분과 플라스틱 계면 사이의 응집력을 높여, 제품의 기계적 성능을 높이고, 압출 및 사출 성형 시 공정의 어려움을 해결할수 있을것으로 예상된다.

또한 이 기술은 주위에서 흔하게 구할 수 있는 목분을 사용할 뿐만 아니라 접착을 위한 화학접착제를 사용하지 않기 때문에 환경 친화적이므로 폐수 처리 등의 문제가 전혀 없고, 폴리머의 종류에 따라 적절한 공정 전환이 매우 용이하고, 연속 공정이 가능하므로 한 라인에서 다양한 제품을 생산할 수 있는 고생산성을 가질 수 있을 것이다. 특히 친환경성을 중요시하는 선진국이나 건설업이 많아 목재 수용가 많은 개발도상국과 같은 나라 등에도 수출이 가능하므로 목분 복합재료 제조 공정 개발은 반드시 이루어져야 한다.

본 연구에 이용되는 최종적인 매트릭스는 폐플라스틱을 재활용한 리싸이클링 PP로 원재료의 원가 절감 및 재활용을 통한 친환경성을 높이고자 한다. 목분과 앞에 제시한 PP 등을 사용한 경우 인체에 유해함이 없으며, 외관상 친근감이 있고, 고급스러운 모양을 보일 수 있는 장점이 있다. 또한 모든 재료가 재활용 재료이므로 더욱 저렴한 비용으로 생산할 수 있다. 리싸이클링 PP와 친환경 소재인 목분의 재활용은 환경적, 경제적으로 아주 중요하므로, 이 두 재료를 일체화할 수 있는 결합기술과 제품으로 생산할 수 있는 실용화 기술 확립이 절대적으로 필요하다.

또한 난연성을 확보하여 건설자재로의 활용도를 높이고자 한다. 이것은 세계적 기술력을 가진 천연섬유 복합소재 기업들이 생산하는 복합재의 경우 난연성을 지닌 제품의 출시가 진행되지 않는 현재의 상황에서 난연 성능을 갖춘 천연섬유 복합소재를 개발하였을 경우 해당제품의 친환경성과 안정성 등의 경쟁력은 세계 유수 천연섬유 복합소재 기업들의 제품을 대체하고 국내의 산업발전에 기여할 충분한 경쟁력을 지니게 될 것이다.

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 국내 기술 및 산업 동향

WPC 자재는 현재 PVC, Aluminum 및 steel 제품이 주류를 이루고 있는 창호 및 건자재 시장에 제품자체가 가지고 있는 다양한 용도의 적용 가능성과 양호한 가공성 그리고 친환경성을 무기로 빠른 속도로 그 시장을 확대할 전망이다. 특히 지금까지 외부용의 자재로 잘 알려진 WPC의 Deck 자재 외에도 창호, 실내 가구재, 바닥재, 방음벽 등의 거의 모든 인테리어 분야의 용도에도 활발한 개발이 이루어지고 있다.

WPC는 목재 조직 내 가도관의 공극사이에 플라스틱 Polymer(고분자)를 강한 압력과 온도로 강제 함침처리하여, 기존 목재가 가지고 있는 장점은 그대로 유지하되 목재의 단점을 극복한 제품으로, WPC 처리를 통해 제품의 밀도, 치수 안정성, 물성 향상을 통한 제품 내구성이 증대됨은 물론, 주변 온도 및 수분 조건에 더욱 강한 제품 설계가 가능하다. 또한 WPC 처리시 목재내부로 균일한 색상 조정 및 주입이 가능하여, 압출가공 시의 기술에 의해 제품의 내후성을 고도의 수준으로 유지하는 것이 가능해졌다. 과거의 초보적인 WPC와 달리 최근의 WPC는 단순한 목분의 재사용을 위한 개념의 압출이 아닌 완전히 새로운 제품의 생산을 위한 공정으로 고품질의 Profile을 다양한 용도의 제품으로 건축자재로 활용하는 것으로 발전하였다. 최근의 국내 WPC 시장은 건축자재 생산을 선도하는 대기업을 중심으로 Deck 및 Siding 재의 시장이 급속히 형성되어 가고 있으며 연관 중소 기업에서도 독자적인 상품의 개발을 위해 발 빠르게 시장 진입을 준비하고 있는 상황이다.

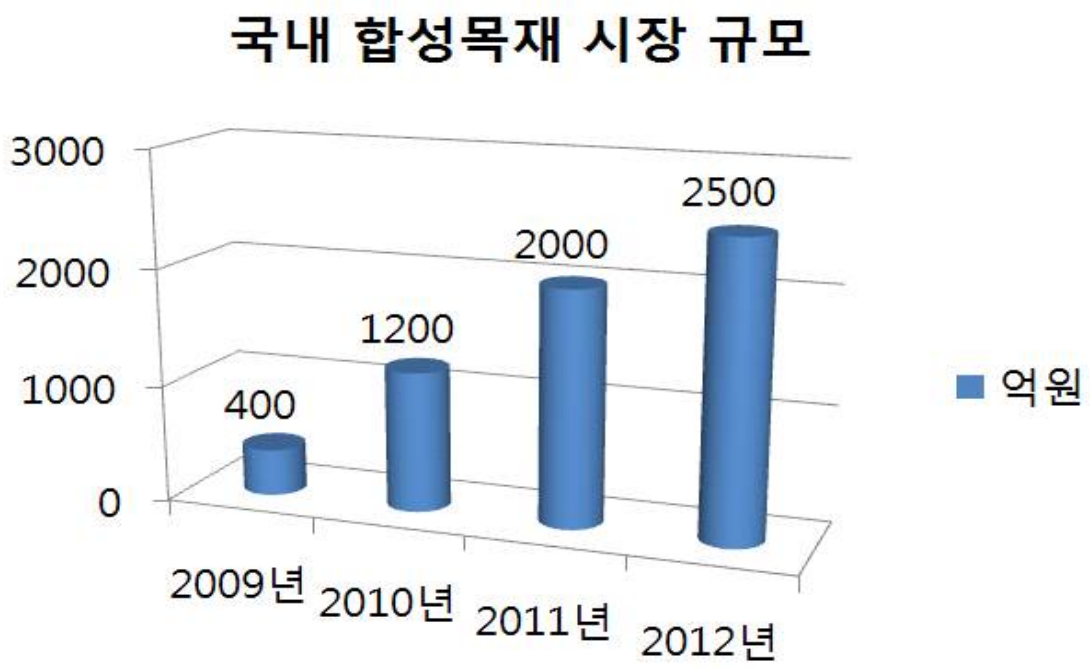
1. 국내 산업 기술 동향

국내 산업체	기술 동향	관련성 및 장점
케이피 앤우드(주)	- 약 65%~75%의 천연섬유(목분, 왕겨, 대나무, 사탕수수, 야자껍질 등)와 약 20%의 Polyolefin 계열의 PE, PP, PS, PVC, ABS 등, 그리고 Additive(첨가제 및 안료, 윤활제 등) - Auto Direct Feeding System(목분과 Polymer, 첨가제 등이 호퍼에 분리되어 들어가는 방식	- 원료의 다양화와 자원 재활용 - 호퍼에 의한 자동 투입공정
토탈팀버	목분 60%에 Polymer를 40% 첨가하며 생산한 제품은 흡수두께팽창률이 0.2%로 0.8%가 보통인 미국제품에 비해서 월등한 품질의 복합재 제작	안전된 치수안전성
웹스 (WAPS)	나누드(Nanood. Nano+Wood)는 '썩지 않는 나무'로 60% 이상의 목분과 40% 이하의 친환경 폴리올레핀을 나노기술로 합성	연소시 유독가스와 다이옥신이 억제되어 인체에 무해하고 재활용이 가능한 환경친화적인 장점
이우드 코리아	일본의 WPCC사에서 기술지원을 받아 폐플라스틱과 폐목재를 합성한 제품 생산	폐자원 이용기술
선진산업	목분용 압출기 개발	압출기의 시간과 온도 조절
LG 하우시스	특수 첨가제 및 Compounding 기술를 사용하여 변형이나 변식이 거의 없고 목분에 특수 코팅 처리	첨가제 의한 물성향상
삼성 우드	별도의 화학 방부처리가 필요 없고 천연나무 목분과 폴리에틸렌을 혼합시켜 제작	-포름알데히드 방산량 0.1이하로서 놀이시설 및 공원데크 사용 가능 -제품의 평균수명 20~30년
신도우드	합성수지와 50%이상의 목분을 사용하여 제조	-해충 서식 방지 -특수 표면가공을 통한 미끄럼 저항성
우드린	-목재 톱밥을 퇴적 발효시켜 송진 등을 제거하여 건조한 다음 50~400메쉬의 크기로 사용 -각종 합성수지를 사용하여 압출성형시 보조 공급기로 목무늬 마스터 뱃치를 투입하여 압출성형 제품에 목무늬를 낼 수 있음	-목재에 비해 외부 노출에 강하며 변형 갈라짐이 없음 -표면에 추가 작업 없이도 깨끗하게 유지

2. 국내 합성목재 시장 현황

국민소득의 증가와 더불어 공공시설물에 대한 국민들의 눈높이가 높아지면서 산책로, 해변로, 목조주택의 발코니 등 공원문화, 공공시설문화, 거리문화가 선진국 수준으로 발전해가고 있으며 회색문화를 탈피해 녹색문화에 대한 욕구가 강해지고 있다. 이에 발맞춰 방부목의 수요가 늘어나고 있는 와중에 방부목 대체재로 등장한 합성목재의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있다. 현재 합성목재의 제조업체만 해도 20여 개에 이르고 있으며 국내 시장 규모는 2009년도에는 400억 원 정도의 시장규모로 파악되었으나 2010년도에는 1200억 원에 도달하였고 2011년도에는 2000억 원에, 2012년도에는 2500원으로 추정되고 있다.

국내 합성목재의 사용량의 증가 및 합성목재 시장규모의 증대에 따라 원목 수입량은 점차 줄어들고 있다. 또한 중국에서의 WPC 수입으로 원목을 1차적으로 가공하는 제재업을 기본으로 국내목재 산업의 규모 역시 줄어들고 있다(4.4% 감소, 자료: 재경일보 2011.10.11) 이것은 WPC 시장 규모의 확대에 의한 결과로 분석되고 있다.



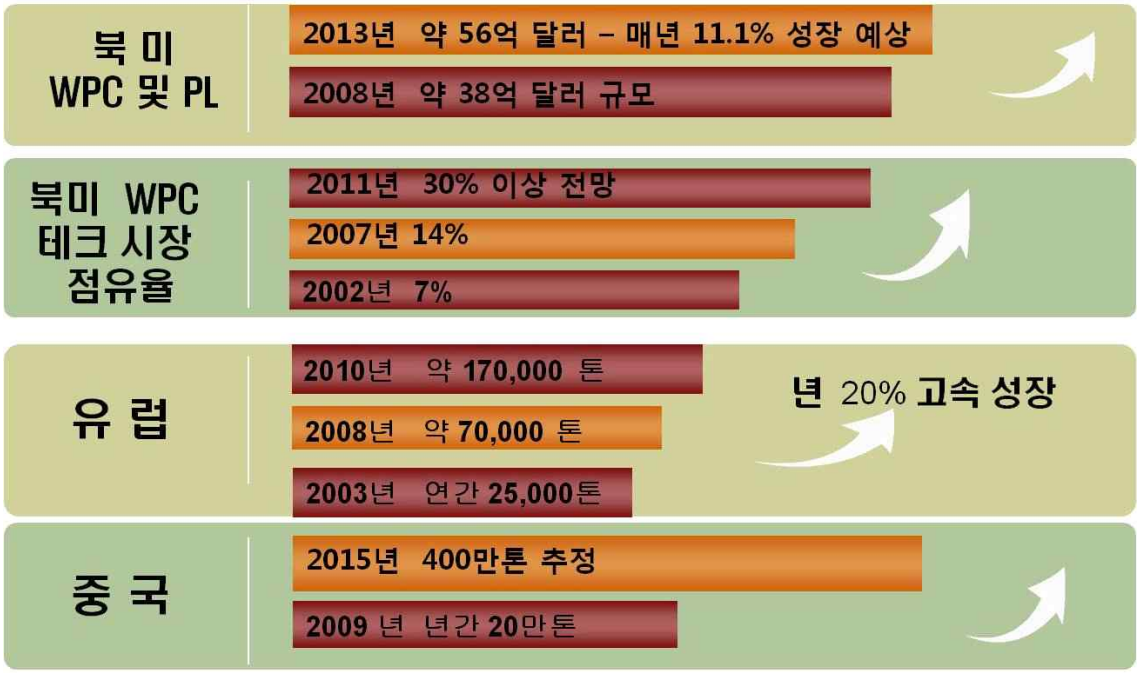
자료 : 산림청 대한 국정감사 2011년

	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년
수입량(톤)	5,093	7,192	7,062	6,385	4,590
수입금액($)	1,649,000	2,859,000	2,789,000	2,707,000	2,127,000
톤당단가($)	323.78	397.53	394.93	423.96	463.40

표 1 목재의 연도별 수입량

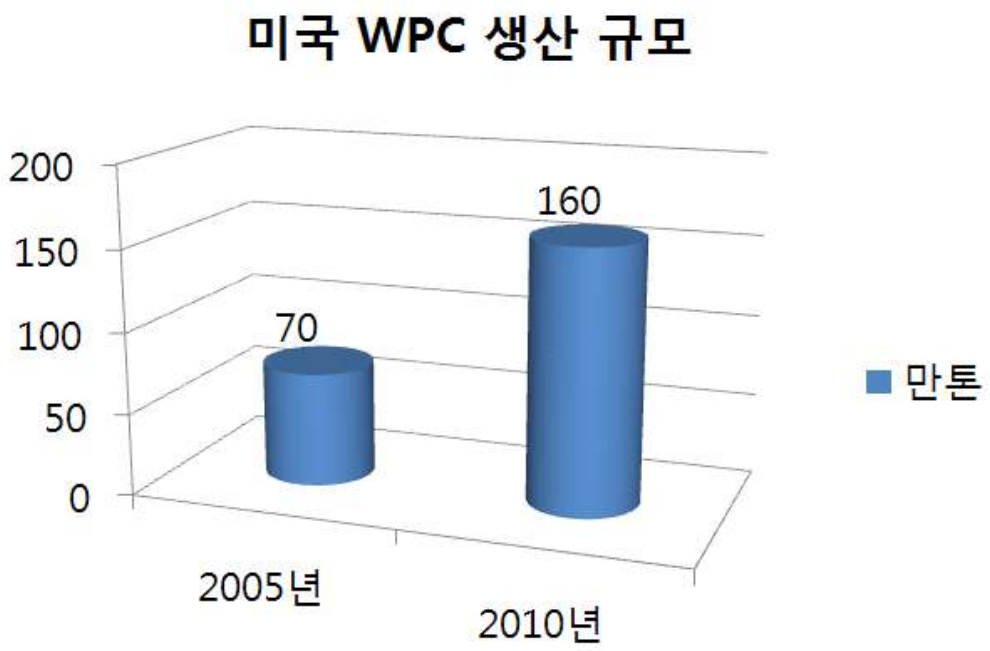
제2절 국외 기술 및 산업 동향

전 세계적으로 무분별한 목재자원의 사용으로 인해 목재자원이 급감하면서 목재와 비슷한 물성과 특성을 갖는 대체 재료의 개발에 대한 필요성이 대두되기 시작하여, 지난 20~30년간 고분자 재료를 사용하여 목재 대용품을 만들고자하는 연구가 활발히 진행되어 왔으며, 특히 목재의 특성과 고분자 재료의 장점을 잘 조화시킨 목재-고분자 복합재료(Wood-Polymer Composites: WPC)의 개발이 급속히 발전하고 있다.

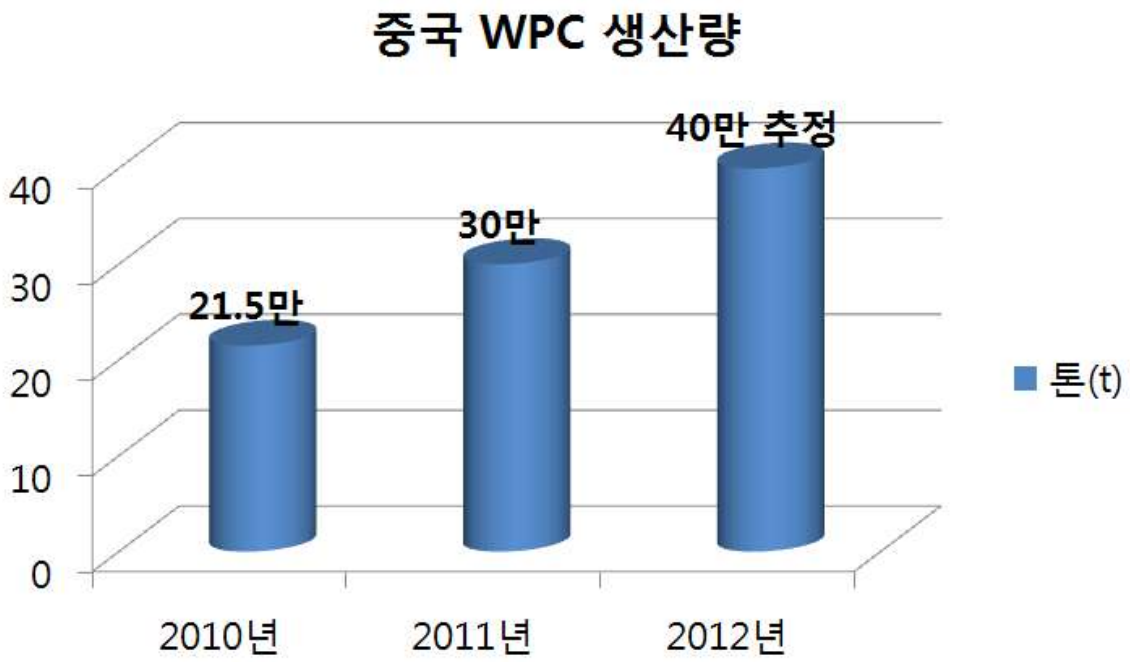


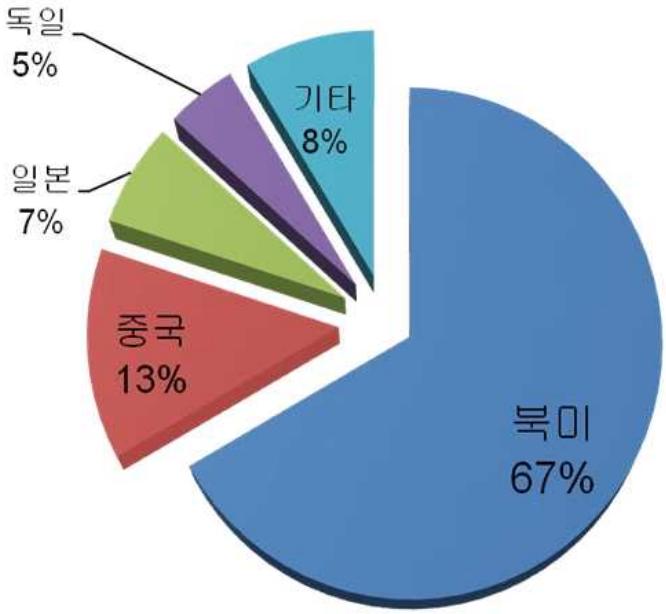
자료: 월간 플라스틱코이아 09년 10월호

이에 2009년 9월에는 WPC 생산량이 전세계적으로 1,500,000톤을 초과하였으며, 중국 플라스틱가공산업협회내 WPC 위원에 따르면, 미국에 이어 세계 두 번째의 지위에 오른 중국 WPC 산업의 2010년 생산량은 215,000톤을 기록했고 2011년에는 300,000톤의 생산량을 보였으며 2012년에는 400,000톤에 도달 할 것으로 추정된다. CPPAI의 추산에 따르면 중국의 WPC 제조 업계는 44억 파운드 생산에서 2006년 66억 파운드로 생산을 늘였으며 2012년에는 약 882억 파운드로 확대될 것이라는 기대치가 공식적으로 발표 되었다. 그리고 일본에서는 2009년에 100,000톤, 유럽의 플라스틱 관련 조합 회장단에 의하면 유럽의 WPC 시장은 70,000톤 생산을 기록한 독일을 포함, 2010년에 170,000톤 생산에 그쳤고 북미의 WPC 생산규모는 2005년의 70만 톤에서 2010년의 160만 톤으로 급증했다.



자료 : 제2회 목재 플라스틱 합성물(WPC)의회





자료 : 세계 합성목재 생산현황 (2010년 독일 WPC대회)

그리고 기존 미국과 유럽, 일본이 주를 이루었던 시장 상황에서 중국의 복합재 제조량이 폭발적으로 늘어나고 있으며 북미 지역의 조경 산업 분야에서 두드러진 변화를 보여주고 있다. Freedoni의 시장 조사(Wood-Plastic Composite& Plastic Lumber to 2013, 2009년)에 따르면, 2008년 미국의 WPC와 PL 시장은 38억 달러 규모였으며, 가장 높은 소비처는 데크용으로 38%에 해당하며, 몰딩 및 내외장재(28%), 펜스재(15%), 조경제품(11%)의 순으로 조사되었다. 또한 2013년까지 WPC와 PL 시장 규모는 약 56억 달러까지 성장할 것으로 보이며 WPC는 2013년까지 매년 11.1%로 성장하여 24억 달러 규모 및 데크와 펜스 시장 규모 또한 평균 이상의 성장을 보일 것으로 예상된다.(ITTO Report, 2009년) Lucintel 또한 Freedoni와 마찬가지로 2013년에는 유럽 건축 시장이 31만 달러에 이를 것으로 예측하고 있으며, 2008년에서 2013년 동안 복합재료 시장 규모가 급증할 것으로 예측하였다.(Lucintel, 2008-2013년 유럽 건축시장에서 복합재료의 활용종합연구보고서; 경향, 예측 및 기회분석, 2008)

구 분	해외 산업 동향 및 시장 규모	비고
미국	WPC 건축재료 시장은 2004년 약 5.5억 톤으로 평가되었고, 2009년에는 8.8억 톤에 이를 것으로 예측. 향후 수년 동안 수요는 연간 14% 증가될 것이고 2010년까지 290% 증가될 것으로 예측	ITTO Report, 2009년
유럽	유럽의 WPC 시장은 70,000톤 생산을 기록한 독일을 포함, 2008년 170,000톤으로 조사됨, 또한 38개국의 회원국을 중심으로 다자간 국제공동연구개발프로그램 중 FACTORY ECOPLAST 프로젝트를 통해 천연섬유 복합재료를 개발하고 있음	Freedoni의 시장 조사 2009년
중국	현재 중국에는 170여개의 WPC제조공장이 있으며, 연간 1억 7600만 달러(2009년 기준)의 제품을 생산판매하고 있음, 목재산업 전문가의 분석에 의하면 중국은 WPC 제조량이 매년 30~50%씩 증가될 것이며, 2020년에는 1000만 까지 생산 가능할 것으로 전망하고 있음	한국목재신문, 2010

제3절 특허동향

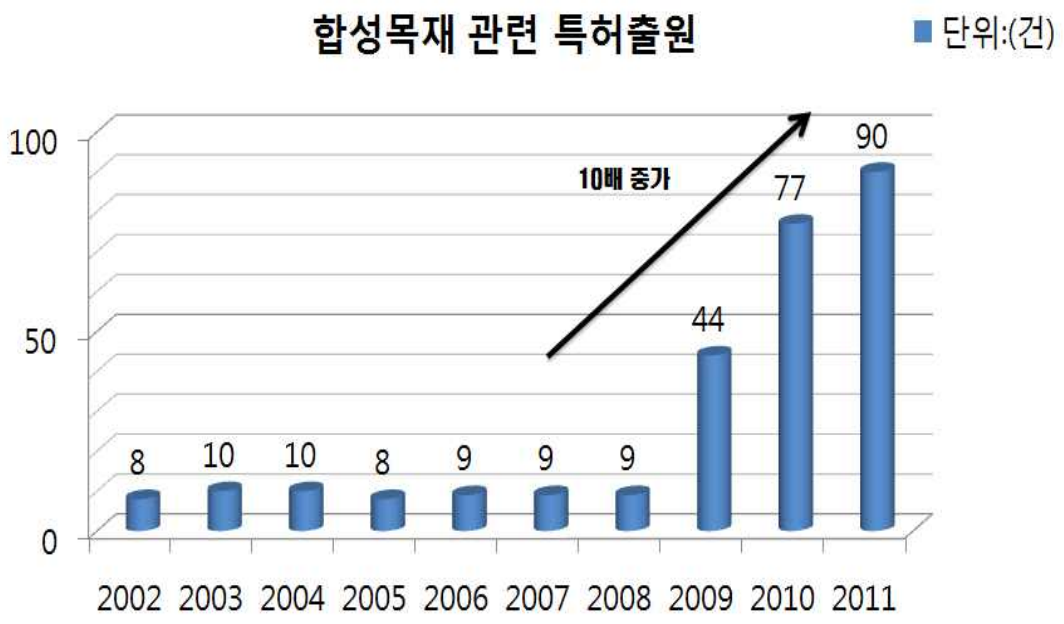
기존과 같은 방법으로 목분, 플라스틱, 복합소재, 천연섬유, 플라즈마 코팅 등의 키워드를 사용하여 특허 동향을 분석한 결과 작년도의 조사와 상이한 차이를 보이는 특허는 조사되지 않았다. 원목을 대신하는 합성목재를 제작하는 특허 및 단순하게 목분과 폐플라스틱을 재활용한 PP등을 혼합하는 방법과 이를 제조할 수 있는 방법으로 플라즈마 코팅에 의해 결합재를 사용하지 않은 방법은 미국 등의 선진국에만 국한되어 있는 것으로 조사되었다.

명칭	내용	비고	출원인
합성목재 조립패널 연결구 조체	조립식 건축물의 조립패널의 조립을 용이하게 함과 아울러, 합성목재로 이루어지는 조립패널의 연결부위를 파손 없이 견고하게 유지	구조 간단, 쉽게 설치할 수 있음	이종현
친환경 합성목재 혼합재 제조장치 및 방법	목분, 플라스틱 및 기타 첨가제를 투입하여 믹싱되도록 하는 배합장치, 상기 원료를 냉각시키는 상기 냉각 선별장치 및 냉각기에서 나오는 함성목재 혼합재를 분쇄하는 분쇄장치가 일체형으로 이루어지게 하는 방법	일체형으로 되어 제조 절차를 줄임	김종수
친환경 합성목재 조성물 및 그를 이용한 합성목재의 제조방법	목분, 수지, 결합제, 산화방지제, 광안정제, 자외선흡수제를 믹서한 후 크기에 따라 분류하여 압출기로 펫렛을 제조한 후 합성목재 제조 압출기로 압출, 냉각 절단하는 방법	유해물질이 발생되지 않음	현우공업 주식회사 오병국
합성목재 조경재 및 이를 이용한 조경시설물	길이방향으로 삽입홀이 형성된 합성목재 및 삽입홀의 모든 면과 맞닿도록 합성목재의 삽입홀에 삽입되는 철재를 포함하되 철재는 단면이 디귿자형, 옴형 또는 반원형인 절곡부가 연속적으로 형성됨으로써, 압력 및 자연적인 요인에 의하여 파손되거나 강도가 저하되는	조경재 구조 관련.	주식회사 본우드

	종래의 합성목재와 달리 강도가 우수하여 외부 압력에 강하고 자연적인 요인에 대하여 유연하게 대응하는 합성목재 조경재 및 이를 이용한 조경시설물에 관한 것		
강도가 우수한 합성목재 제품 및 그 제조방법	목분 및 합성수지를 포함하는 혼합물로부터 성형된 합성목재 본체; 및 상기 합성목재 본체에 형성된 섬유보강층을 포함하는 합성목재 제품 제조	섬유보강층 이용	주식회사 더우드
합성목재 표면 가공 방법 및 장치	합성목재의 표면에 양각 또는 음각으로 무늬를 형성시키는 방법으로 장치는 목자재를 이송하는 이송부, 성형하는 성형부로 구성 되였고 동력전달장치에 의해 회전하는 롤러 위에 무늬를 새기는 무늬형성요철이 설치되어 있다.	요철에 따라 복수개로 구성	김영출
난연성을 구비하는 친환경 합성목재 조성물로 이루어진 합성목재	목분 65~75중량%, 나노복합수지 10~30중량%, 탄산칼슘 2~4중량%, 산화방지제 0.01~5중량%, 자외선 안정제 0.01~3중량%, 마레익 엔하이드라이드 폴리프로필렌 1~3중량%, 윤활제 0.05~5중량%, 데카브로모디페닐옥사이드(DBDPO) 0.05~3중량%를 포함하되, 상기 나노복합수지는 폴리프로필렌수지 또는 폴리에틸렌수지 92~95중량%, 몬모릴로나이트 5~8중량%을 포함하는 친환경 합성목재 조성물을 압출성형하여 합성목재를 제작	난연성 향상	주식회사 영화산업
미끄럼 방지성능과 열 안정성이 우수한 합성목재	침상형 산화아연 단결정체와 중공형 제올라이트를 포함하여 제조함으로 하여 마찰력 제고와 열에 의한 변형을 방지	탈색, 표면 온도 상승 방지	주식회사 더우드

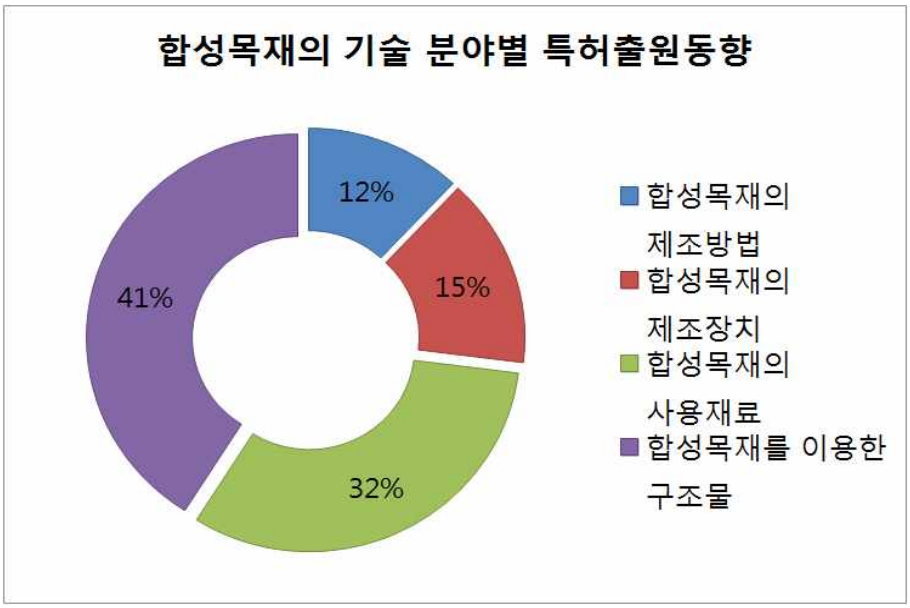
* 기타 목분 복합재료의 개발과 관련된 조항은 분석되지 않았으며, 복합재료를 활용하여 제작되는 제품과 관련된 특허만을 검색

또한 국내 최근 10년간 합성목재와 관련된 특허출원은 모두 274건으로 집계되었다. 특히 2002년부터 2008년까지는 평균 9건이었는데 2009년 44건, 2010년 77건, 2011년 90건으로 불어나 수년간 거의 10배로 급증세를 보였다.



자료 : 특허청

기술 분야별로는 (1)합성목재를 이용한 컨테이너 바닥구조, 보도블록, 데크, 난간기둥, 벤치 등의 제품에 관한 게 112건(41%). (2)기본재료인 목분과 플라스틱 조합과 왕겨, 석탄폐석, 황토, 패각의 첨가 등 구성재료에 관한게 88건(32%). (3)합성목재 제조장치에 특징이 있는 게 41건(15%). (4)합성목재 제조방법에 특징이 있는 게 33건(12%)을 차지하고 있다.



자료 : 특허청

제4절 정부지원정책 현황

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

농림수산부 산하의 산림청에서 임목 관련된 일을 진행하고 있으며, 주로 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률에 근거하여 목분을 이용한 복합소재를 개발하고자 한다.

특히 산림청 산하의 국립산림과학원에서는 2007년 10월에 중장기 기술 개발계획을 발표하였는데, 기술개발방향을 아래와 같이 수립하고 있었다.

- ○ 산림자원정보의 체계화, 산림생물자원의 체계적 보존, 수목 생리 및 기능 연구 등의 기초 연구를 통한 산림자원의 지속적 활용 기반 구축
- ○ 산림재해의 방지·복구 기술 및 산림의 건강도 증진 기술 개발을 통한 건강한 산림생태계 관리
- ○ 산림자원 관리, BT를 이용한 임목개량과 산림생물자원의 이용 촉진 및 고품질· 고부가 단기소득원 개발을 통한 산림자원 조성과 활용도 제고
- ○ BT, NT 등의 융합기술을 이용한 목재 자원의 신수요 창출 및 순환이용기술 개발을 통한 산림자원의 고부가 가치화
- ○ 산림 정책 개발, 산림분야 국제논의 대응방안 마련 및 산림휴양·문화·보건 연구를 통한 산림서비스 증진

이 중에서도 본 연구와 관련된 것은 “BT, NT 등의 융합기술을 이용한 목재 자원의 신수요 창출 및 순환이용기술 개발을 통한 산림자원의 고부가 가치화”산업과 관련이 깊다.

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황

정부에서는 현재까지 아래의 표와 같이 해외의 기술 수준 대비 국내 기술 수준을 50% 미만으로 파악하여 기능성 목질 신소재 개발에 대한 정부지원을 할 계획이 있으며, 이것에 대한 목표로는 아래와 같은 것을 구상하고 있는 수준으로써, 이에 대한 연구발주를 위해 국가예산을 책정하고 있는 상태이다. 현재 개발되어 나오고 있는 합성목재는 대체적으로 외국으로부터 기술 지원을 받은 회사에 의한 생산품이 주를 이루고 있으며, 이에 대한 연구가 본격적으로 이루어지지 않은 상태이다.

- ○ 목분, 수지와 여러 첨가물을 이용한 기능성 목질·플라스틱 복합재 개발
- ○ 고내구성의 구조용 목질·플라스틱 복합재 개발
- ○ 상온플라스마 처리기술을 이용하여 목질재료의 화학적 개질
- ○ 생분해성 재료를 이용한 바이오 표면재 개발

3. 종합 결론

보다 나은 천연섬유 복합소재의 제조를 위해서 필요한 요소 기술에 대해서 국내 기술과 선진국의 기술은 현재 현저한 차이를 보이고 있다. 위의 특허 동향에서 확인한 바와 같이, 이미 천연섬유 복합소재로 제조가 완료된 상태에서 완제품으로 제작하는 기술만이 나오고 있는 상태이며, 천연섬유 표면 개질을 위한 전처리나, 천연 섬유와 PP의 합성물인 펠렛이나 혼합 재료를 이용한 성형이 가능한 상태로서, 기초적인 기술확보 역시 부족하며, 선진국 대비 우수한 품질의 천연섬유 복합소재의 개발이 완벽하게 진행되고 있지 않은 실정임을 확인할 수 있었다.

요소기술	국내(%)	선진국(%)
천연섬유 제조 기술	20	100
섬유표면 처리 기술	50	100
프리폼 제조 기술	70	100
성형 모델링 기술	70	100
성형 모니터링 기술	50	100
금형설계 기술	80	100
구조 설계/해석 기술	80	100

이전 개발 계획서의 내용과 비교하여 보았을 때 현재의 국내 기술력은 크게 달라지지 않았으며, 국내 기술 수준을 통해 우리나라의 임업 사항을 살펴본다면 기존에 제시했던 SWOT 분석과 같이 친환경 복합소재에 대한 기술 개발은 선진국 수준의 발전과 환경 친화성 확보를 위해 반드시 요구되고 있다. 본 개발을 통해 제작된 제품이 건설산업에 응용될 경우 고부가가치 건설 자재 제작으로 재료시장의 구조개선 및 타산업(자동차 산업, 우주항공 등) 에도 파급이 예상되어 사업화 가능성이 매우 높다. 또한 친환경에 대한 세계적인 시장의 요구와 그에 따른 각국의 규제 또한 날로 높아져가고 있는 현재, 시장 규모 또한 급성장하고 있는 실정이기에 친환경 복합소재의 개발을 통해 얻을 수 있는 성과는 다양한 분야에서의 원재료 수입률 감소 및 외화 획득 등의 효과와 함께 해외 시장에서 대한민국의 위상을 높일 수 있는 좋은 기회가 될 것으로 사료된다.

더해서, 천연섬유 복합소재의 난연성 확보에 대한 연구는 국제적으로 난연성에 대한 요구가 늘어나고 있는 시점에 다양한 난연 제품들이 출시되고 있으나 각종 플라스틱에 첨가되는 난연제가 가지고 있는 인체에 유해하거나 환경오염에 대한 문제점이 대두되었기 때문이다. 위에서 기술 했듯이 현재 국제적으로 난연성에 대한 규제가 급격하게 강해지고 있으나, 국내의 규제는 미비한 상태로 현재 첨가되고 있는 난연제에 대한 위험도를 정확히 인식하고 난연성 확보를 위해 첨가되는 각종 난연제에 대한 기초연구가 요구된다. 본 개발에서는 현재 개발이 시급한 난연성 확보를 위한 연구를 포함하고 있으며, 세계적으로 천연섬유 함유량이 50wt% 이상이며 난연성을 확보한 천연섬유 복합

재료는 전무후무한 상태이므로 복합재료에서의 난연성 획득은 천연섬유 복합소재 세계 시장에서 선진국의 기술력으로 인해 높아진 시장 진입 장벽을 쉽게 넘을 수 있는 강점으로 작용할 것이다. 또한 플라즈마 처리기술을 활용하여 천연섬유 함유량을 증가시켜 다른 접착제를 사용하지 않으면서 고분자수지와의 계면결합력을 확보할수 있는 장치 및 공정도 개발을 통해 기술력 확보를 할수 있다.

그리고, 현재 국내의 항공용 특수 복합재료의 기술 수준이 상당한 점으로 미루어 볼 때, 천연섬유와 복합재료의 연구가 집중적으로 진행된다면 단기간 내에 선진국의 개발 수준에 다다를 수 있을 것이고, 나아가 선진국의 기술을 뛰어 넘을 수도 있을 것이라 예상된다. 이를 위해서는 현재 부족한 기술의 취약성을 인식하고 국내 천연섬유 복합소재 시장에서 중장기적인 계획을 수립하고 선진국 수준의 기술력 확보에 주력해야 함을 재차 확인할 필요가 있으며, 본 연구의 시급성을 재차 강조해야 한다고 판단된다. 따라서 정부 차원의 연구 유도가 필요할 것이다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구개발결과 요약

연 차	연구 내용	연구 결과
1차년도	천연섬유 전처리 연구	- 천연섬유 표면개질을 위한 전처리연구 - 천연섬유 본래의 물성유지
	천연섬유 표면개질 요소 연구	- 고분자와 천연섬유의 계면 결합력 향상 - 커플링 에이전트, 플라즈마 처리를 통한 표면개질
	복합재의 난연성 확보 연구	- 친환경 난연제 - 난연제의 함량이 높은 복합재를 위한 혼합 기술 개발
	상온상압 플라즈마 장치 설계	- 플라즈마 장치의 요구사항 - 플라즈마 장치 개략도 설계
2차년도	상온상압 플라즈마 lab scale 제작	- 목분 표면개질 - 개질된 목분 제공
	고분자 종류별 계면 적합성 연구	- 개질제간 특성 비교 - 표면에너지 측정
	목분 특성에 따른 영향 연구	- 목분의 입자크기, 함량 및 종류별 최적 특성 연구 - 복합재의 밀도, 흡습량, 기계적 물성 평가
	목분 첨가에 의한 물리적 영향	- 목분의 uniform distribution 연구 - 프리폼용 제조 기술 확보
	성형 장치 설계 및 제작	- 금형 설계 및 제작 - 최적 heating 장치 설계
	시제품 성형 및 평가	- 시제품 성형 - 시제품의 기계적 특성 평가 - 시제품의 난연성능 평가

연 차	연구 내용	연구 결과
3차년도	상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화	- 상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화 - 상온상압 플라즈마 장치를 이용한 목분의 표면개질 - 표면개질 메커니즘 규명
	최적 제조공정 확립	- Extruder의 공정변수 최적조건 확립 - 목분의 uniform distribution기술 확립 - Injection molding machine의 제조공정조건 확립 - 목분 함량별 최적특성 확립 - 재료의 리싸이클링 활용방안
	시제품 제작 및 평가	- 기계적 물성 확보 - 환경 내구성 확보 - 난연성 평가 + 환경마크 인증
	기술 이전/거래	- 개발품에 대한 기술 이전/거래에 관련된 활동

제2절 연구개발과정

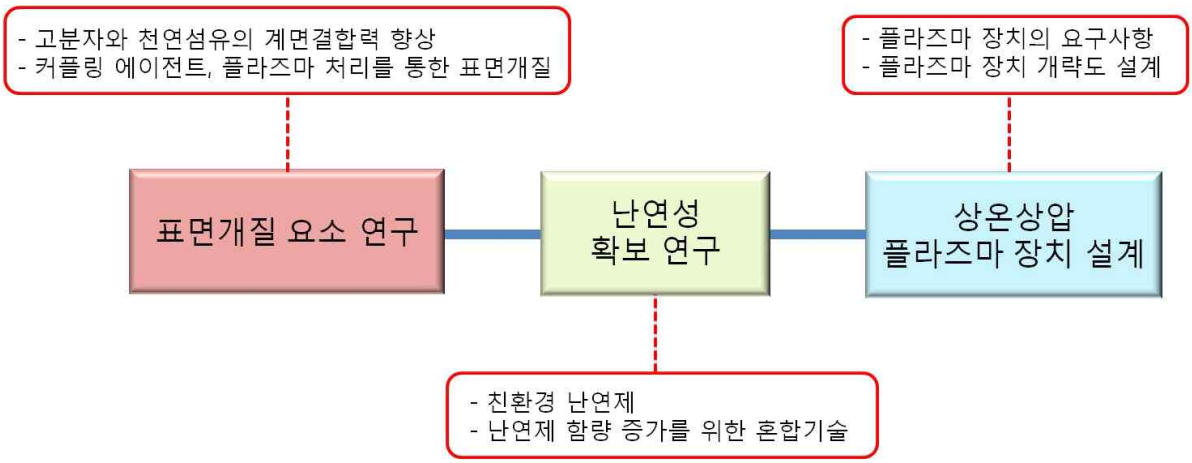


그림 1 1차년도 연구개발

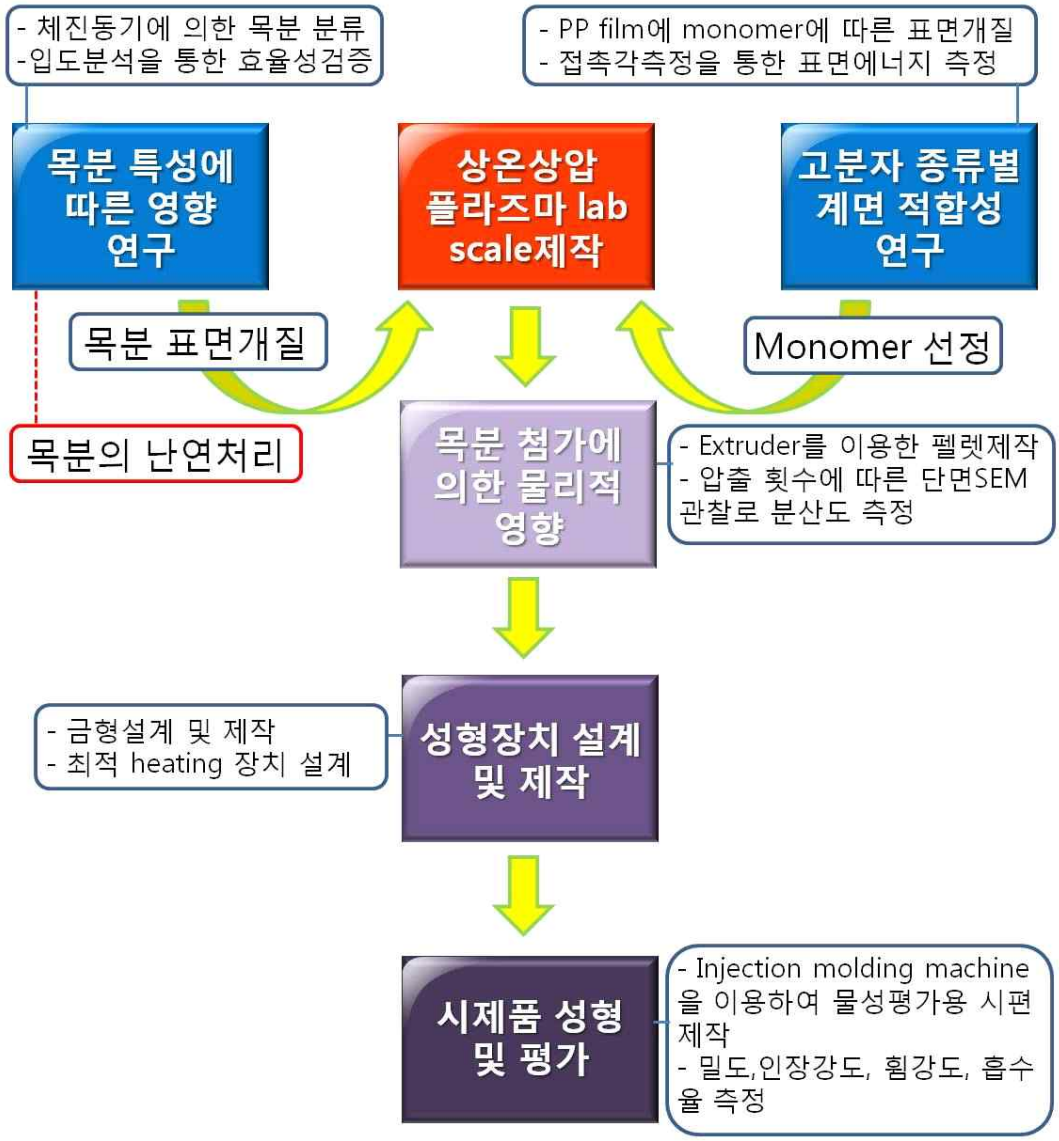


그림 2 2차년도 연구개발

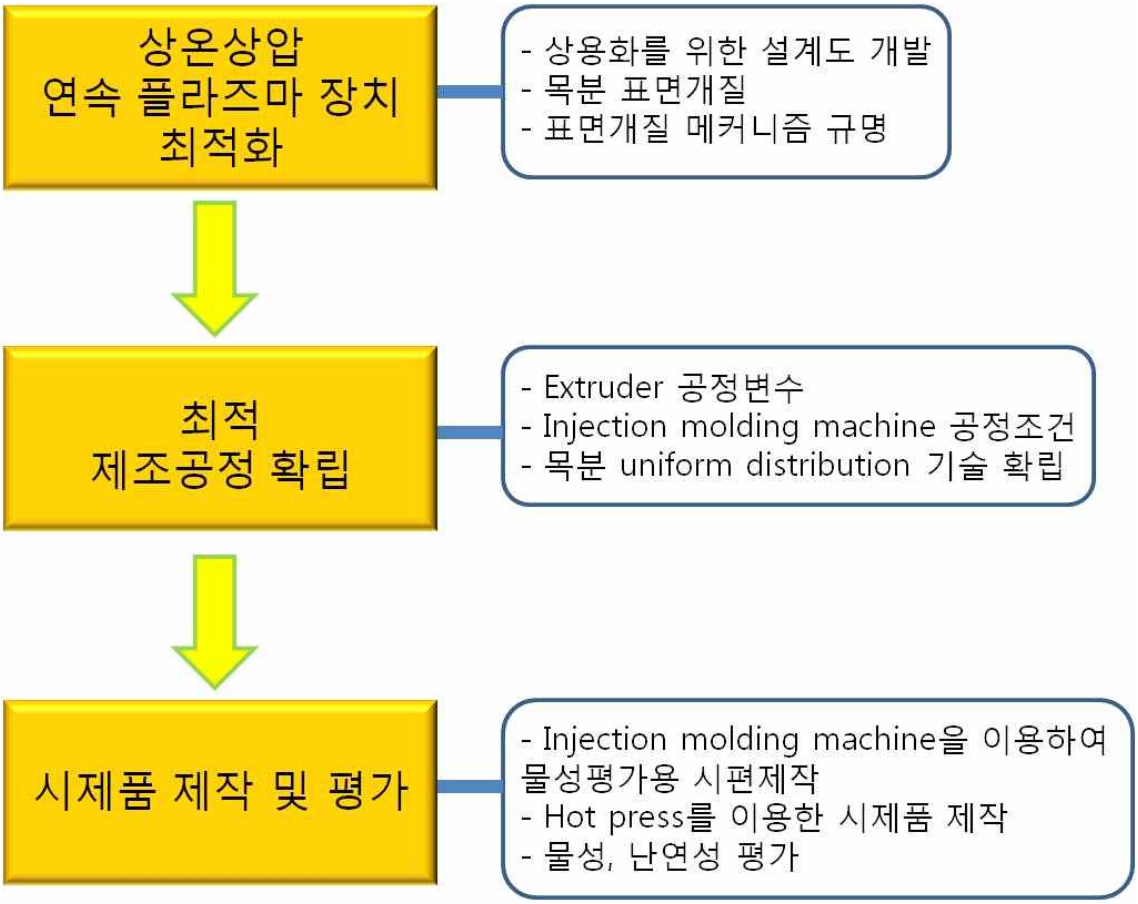


그림 3 3차년도 연구개발

제3절 연구개발 주요내용

상압의 플라즈마 코팅장치에 의한 표면개질의 성능을 건설산업에 적용하기 위해 반드시 필요한 상온상압 플라즈마 장치 개발이 2차년도의 목표였다면, 3차년도에는 상온상압 연속 플라즈마 장치에 사용되는 전극의 Voltage, Watts 그리고 전극 간격 및 헬륨가스 공급속도 등을 최적화하는 연구를 통해 시간당 생산량을 2차년도 대비 50% 이상으로 최적화시킴과 동시에 코팅 두께를 1nm급으로 개선하고자 한다. 이렇게 최적화된 상온상압 연속 플라즈마 장치를 통해 표면이 개질된 목분의 함유량이 50wt% 이상인 친환경 복합소재를 개발하기 위한 공정도 설계 및 연속공정을 확립하고자 한다. 공정도 설계에는 twin screw extruder와 injection molding machine, hot press의 최적조건이 포함되며, 이렇게 개발된 복합재의 물리적 성능 이외에도 환경 내구성 평가 및 난연성 확보를 통해 건설 자재로서 사용될 수 있도록 평가하고자 한다.

1. 상온상압 플라즈마 장치 최적화

가. 플라즈마 이론

물질의 상태는 고체, 액체, 기체로 구분할수 있는데 기체 상태의 물질에 에너지를 가해주면 원자나 분자에서 전자가 분리되어 전자와 이온들이 존재하는 플라즈마 상태가 된다. 기체 입자, 즉 기체분자나 원자에 에너지가 가해지면(일반적으로 가속된 전자의 충돌에 의한 에너지 전달, 그 외에도 열적, micro-wave에 의해서도 가능하다) 최외각 전자가 궤도를 이탈함으로써 자유전자가 되어 양전하를 띄게 되며 분자 혹은 원자와 음전하를 갖는 전자가 생성된다. 이러한 양전하의 이온과 전자들이 다수가 모여 전체적으로 전기적인 중성을 갖으며 이렇게 구성된 입자들의 상호작용에 의해서 독특한 빛을 방출하며 입자들의 활발한 운동 때문에 높은 반응성을 갖게 되는데, 이러한 상태를 흔히 이온화한 기체 또는 플라즈마라고 부른다. 물질의 제4상태인 플라즈마는 물리·화학적으로 특이한 성질을 가지고 있다. 첫째, 플라즈마는 고온이기 때문에 입자의 운동에너지가 매우 크다. 둘째, 전하를 갖는 입자들의 집단이기 때문에 전도성이 높아 금속처럼 전기를 잘 통한다. 셋째, 화학적으로 활성화시켜 반응성을 높일 수 있다. 예를 들면, 메탄가스와 수소가스를 혼합하여 방전하면서 벽 온도를 적정 온도로 맞추게 되면 벽면에서 다이아몬드 박막을 만들 수 있다. 또한 플라즈마는 빛을 발하기 때문에 광원으로도 이용할 수 있다. 예를 들어 밤거리를 수놓는 네온사인이나 나트륨·수은등은 플라즈마방전을 사용한 조명 기구들이다.

플라즈마를 이용한 표면개질은 재료 표면의 극성을 변화시킴으로써 친수성이나 소수성을 가지도록 한다. 전자를 어떻게 가속시키느냐 또는 플라즈마가 형성되는 상황의 전자밀도나 그 때의 온도에 의해서 다양한 플라즈마가 형성되는 그림 4는 밀도(전자밀도)와 온도에 따른 플라즈마 상태를 분류한 그림이다.

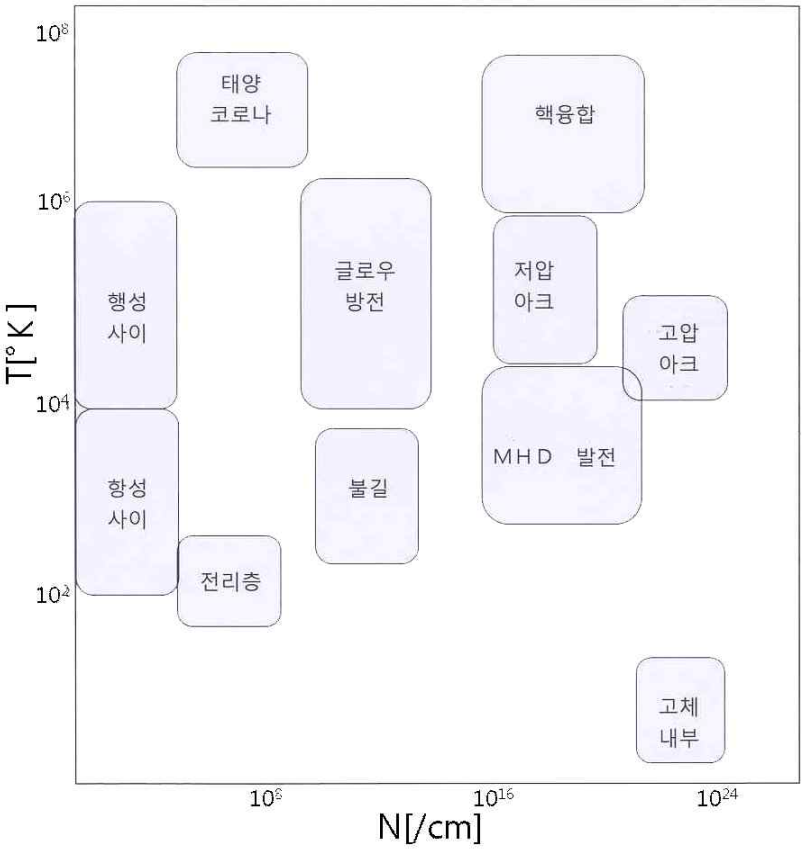


그림 4 플라즈마 상태 분류

또한 플라즈마는 우리 생활의 다양한 분야에서 응용되고 있고 그 중요성이 점점 높아져 가고 있다. 다음은 플라즈마 이용을 에너지 분야, 물질 및 재료 분야, 환경 및 우주 분야의 세 가지로 분류하여 나타낸 것이다.

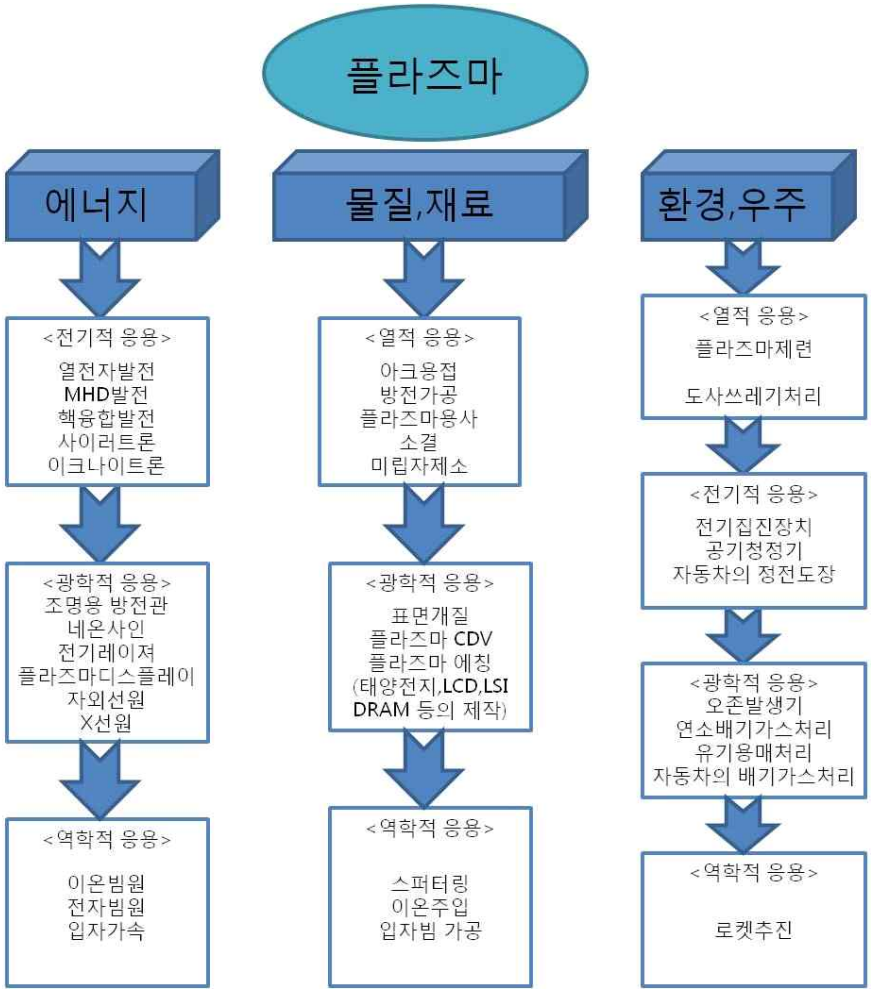


그림 5 플라즈마의 응용분야

나. 상온상압 플라즈마 코팅의 원리

플라즈마의 성질은 플라즈마 안에서 일어나는 전자와 기체 분자의 충돌로부터 구할 수 있다.

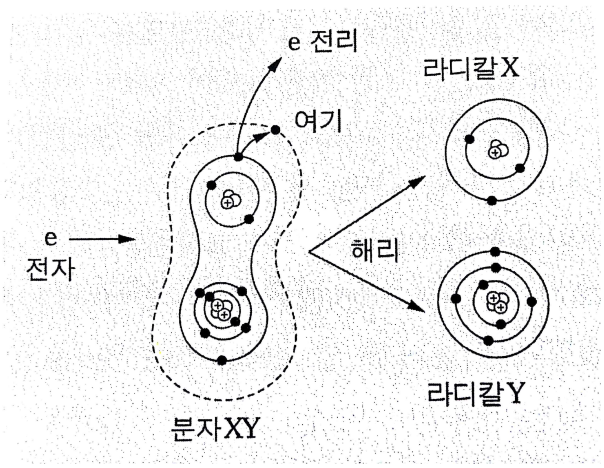


그림 6 플라즈마내 충돌

그림6과 같이 분자 XY에 전자 e가 충돌하는 경우, 충돌에너지가 작을 때에는 탄성

충돌이 일어나며 전자의 운동에너지는 거의 변하지 않는다. 그러나 충돌에너지가 커짐에 따라 비탄성 충돌을 하게 된다. 예를 들어, 분자 내의 핵 주위를 돌고 있는 궤도전자가 충돌할 때 에너지를 얻고, 그 결과 궤도전자는 에너지 준위가 큰 상부의 궤도를 돌게된다(여기 현상). 이와 같이 높은 에너지 상태의 분자를 여기 분자라 부르며 XY^*로 나타낸다. 일단 여기상태의 궤도에 오른 전자는 단시간 내에 낮은 에너지 준위의 궤도로 떨어지므로, 그 때 남은 에너지가 빛으로 방출된 것이다(발광 반응). 한편, 충돌하는 전자의 에너지가 전자의 구속 에너지보다 높게 되면 분자내의 전자 e가 밖으로 빠져나오게 되어 이온화가 일어난다(이온화(전리) 반응). 또한 분자 XY의 결합이 끊어져, X와 Y로 분리되는 경우도 있다(해리 반응). 결합에 관여하는 전자쌍을 : 로 표시하면, 해리는 X : Y→X· + ·Y로 쓸 수 있다. 이와 같이 X와 Y는 결합되지 않은 전자(부대전자, X와 Y의 옆에 기호 · 로 표기)를 갖고 있기 때문에 화학 반응을 일으키기 쉽다. 이를 화학 활성종 또는 라디칼(Radical)이라 부른다. 전하를 갖고 있지 않는 것을 강조할 때에는 중성 라디칼이라고도 하고, 이것이 이온화된 형태의 이온성 라디칼(X^+, Y^+)과 구별하는 경우도 있다. 이러한 플라즈마 내 충돌과정에서 이온화된 전자의 화학반응을 이용하여 실생활에 적용할수 있는 것이다.

또한 엄밀히 말하면 플라즈마는 집단행동으로 특정지어지는, 중성입자와 전하를 띈 입자들의 준중성(quasi-neutral) 기체로 정의될 수 있다. 플라즈마에서 입자들의 운동은 양전하와 음전하의 국부적인 밀도에 영향을 미치며, 이러한 전하 밀도는 원거리 쿨롱 전기력을 만들어 멀리 떨어져 있는 입자의 운동에 영향을 준다. 이런 식으로 서로 멀리 떨어져 있어도 플라즈마 내의 입자들은 서로가 영향을 받으며 집단적인 행동을 하게 된다.

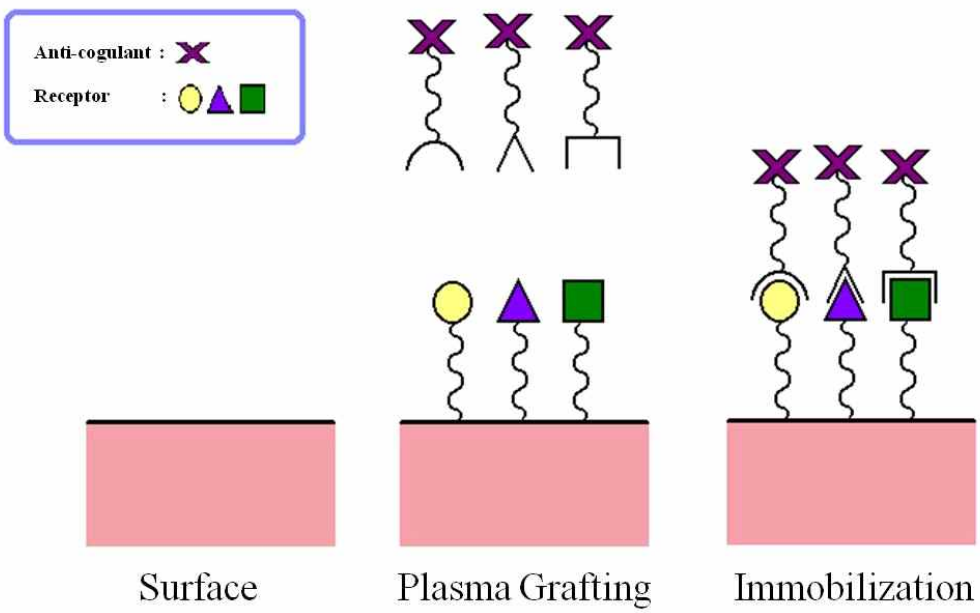


그림 7 플라즈마 표면처리 과정

플라즈마가 발생하게 되면 재료의 표면이 마이크로 사이즈의 전기적으로 표면이 개질된다. 표면개질이 생성된 후 챔버(chamber)내의 기체화된 모노머(monomer)들이 재료의 표면에 증착되면서 플라즈마에 의한 표면처리가 된다.

다. 상온상압 플라즈마 lab scale 제작

- 2차년도에 제작된 플라즈마 코팅장치는 건식공법으로 공정을 줄일수 있으며, 상온상압이라는 조건에서 저비용으로 표면을 개질하수 있다. 상온상압플라즈마 장치는 carrier gas인 헬륨이 bubbler의 monomer를 통과하면서 헬륨 및 monomer 혼합기체가 챔버 사이로 투입되어 플라즈마 분위기를 발생시키는 것으로 구상되었다.

- 파티클의 표면개질은 다음과 같은 과정을 통해 이루어 진다.

① 파티클을 건조한다
② 플라즈마가 발생하는 것을 확인후 파티클을 호퍼에 투입한다
③ screw가 작동하면서 파티클을 챔버로 밀어 넣는다
④ bubbler를 통해 주입된 carrier gas로 인해 파티클이 챔버내에서 위로 상승하면서 표면에 플라즈마 코팅이 된후 collector로 이동된다
⑤ 플라즈마 발생후 carrier gas인 헬륨은 filter를 통해 걸러진다

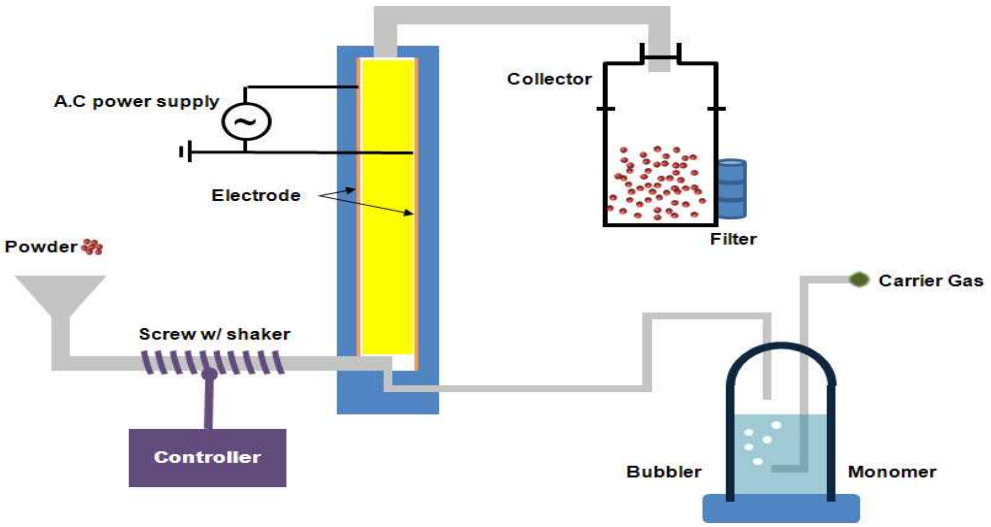


그림 8 상온상압 플라즈마 lab scale 장치 개략도

그림 9 상온상압 플라즈마 lab scale 장치 제작

- 그림 8은 전극을 설명하는 개략도로 Al_2O_3 판재의 두께는 1mm 이며 silver paste 대신 thin copper plate (0.1mm 이하)가 사용될 수도 있다. 그림 9에서 파란색 박스가 플라즈마 발생장치, 수직 원통은 분말의 투입구, 수평 원통은 표면개질된 분말이 모이는 collector, 왼쪽 전자 장비는 power supply, 오른쪽 전자장비는 screw 및 shaker control 등 이다.

라. 상온상압 플라즈마 발생 조건 연구

상온상압 플라즈마장치의 플라즈마 발생 조건을 찾기 위해 전압과 주파수를 조정하여 최적화 하였다. 발생 조건 연구에서는 세 종류의 전극을 사용하였으며, 실버페이스트의 폭이 10, 15, 20 mm인 세 가지의 전극을 사용하였다. 전극과 전극 사이의 간격은 10 mm로 고정하고 carrier gas는 헬륨을 이용하였으며 2ℓ/min 속도로 챔버에 10분간 흘려보낸후 실험을 진행하였다. 그리고 Voltage와 Frequency에 따라 플라즈마 발생을 확인하였다. 전극의 실버페이스트의 폭이10m 일 때 플라즈마 발생 조건은 10mm(3.4 kV, 5 kHz), 15mm(3.6kV, 5kHz), 20mm(3.0 kV, 6 kHz) 이였다.

플라즈마 발생 조건(전극 10mm)																			
Voltage(kV)	Frequency(kHz)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o
1.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o
1.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o
1.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o
2.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o
2.2	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.4	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.6	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.8	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.0	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.2	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.4	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.6	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

표 2 플라즈마 발생 조건 10mm (o: 발생 x: 미발생)

플라즈마 발생 조건(전극 15mm)																			
Voltage(kV)	Frequency(kHz)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o
1.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o
1.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o
2.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o
2.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o
2.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.6	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.8	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.0	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.2	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.4	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.6	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

표 3 플라즈마 발생 조건 15 mm (o: 발생 x: 미발생)

플라즈마 발생 조건(전극 20mm)																			
Voltage(kV)	Frequency(kHz)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
0.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o
1.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o
2.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o
2.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.4	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.6	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2.8	x	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.0	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.2	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.4	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3.6	x	x	x	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

표 4 플라즈마 발생 조건 20mm (o: 발생 x: 미발생)

마. 상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화

3차년도에서는 2차년도에 개발된 lab scale 장치를 보완하여 시간당 생산성 증가 및 파티클의 일정한 표면개질과 연속공정을 위해 장치 최적화를 목표로 한다.

lab scale의 설계에서는 carrier gas의 많은 소모량으로 인해 높은 비용이 발생하였다. 이에 플라즈마 방치에서 높은 비용을 차지하는 carrier gas의 재활용을 위해 collector의 상부에 connect 설계를 하여, 헬륨과 모노머로 혼합된 기체가 connect 를 통해 빠져나가게 되면 수중치환을 거쳐 기체를 정화하게 된다. 이 때 헬륨의 특성상 상방 치환법을 이용하게 되며 정화가 완료된 헬륨은 기체 압축기를 통하여 가속화 되어 다시 플라즈마 챔버 내로 투입되게 된다. 보완설계를 통하여 플라즈마 처리비용을 50%로 줄일 수 있었다.

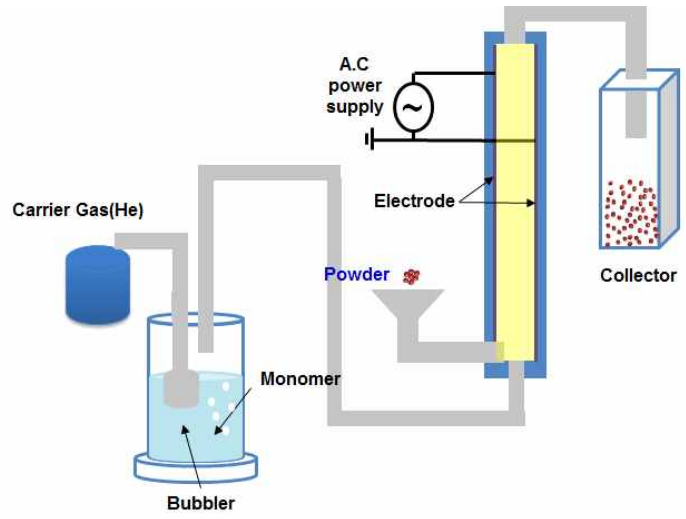


그림 10 2차년도 상온상압 플라즈마 lab scale 장치의 개략도

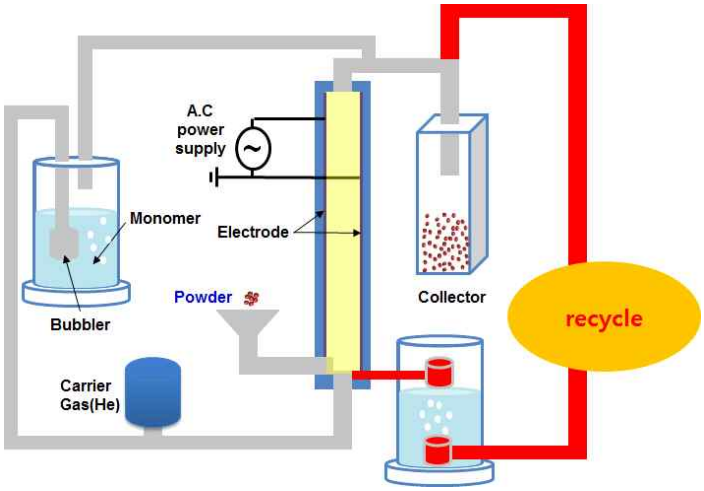


그림 11 보완된 상온상압 플라즈마 lab scale 장치 개략도

상온상압 플라즈마 장치에 사용되는 헬륨은 플라즈마 처리 비용의 약 89%를 차지할 만큼 높은 비중을 차지하고 있다. 당해연도에는 헬륨의 효율적 운용을 통하여 처리 비용을 줄일 수 있는 공정을 연구하였다.

종 류	수 량	금 액	비 고
헬 륨	1800ℓ	7,020,000	89%
전 극	2set	61,600	0.7%
전력(산업 갑, 고압 A)	126kW	729,540	9.3%
합계		7,811,140	
※전력의 비용은: 산업 갑으로 표기하였으며, 헬륨 99.999%의 가격이며, 전극의 사이즈 10mm이다. 비용은 lab scale 로 측정되었다.			

표 5 2차년도 상온상압 플라즈마 lab scale 장치 처리 비용(240시간)

2차년도의 상온상압 플라즈마처리 장치는 사용된 헬륨과 모노머는 collector을 통하여 빠져나간다. 3 차년도 에서는 플라즈마 처리 비용에서 많은 부분을 차지하고 있는 헬륨의 사용량을 최소하여 대량생산 체제에 대비하였다. 헬륨의 재사용을 위해 collector의 상부에 connect 설계를 하였다. 헬륨과 모노머로 혼합된 기체가 connect 를 통하여 빠져나가게 되면 수중치환을 통하여 기체를 정화하게 된다. 이 때 헬륨의 특성상 상방 치환법을 이용하게 된다. 정화가 완료된 헬륨가스는 기체 압축기를 통하여 가속화 되어 다시 플라즈마 챔버 내로 다시 투입되게 된다. 보완설계를 통하여 플라즈마 처리비용을 50%로 줄일 수 있었다.

종 류	수 량	금 액	비 고
헬 륨	900ℓ	3,010,000	79%
전 극	2set	61,600	1.8%
전력(산업 갑, 고압 A)	126kW	729,540	19.2%
합계		3,801,140	-
※전력의 비용은: 산업 갑으로 표기하였으며, 헬륨 99.999%의 가격이며, 전극의 사이즈 10mm이다. 비용은 lab scale 로 측정되었다.			

표 6 보완 설계된 상온상압 플라즈마 lab scale 장치 처리 비용(한달 간)

또한 기체화 모노머에 의해 전극의 표면에 스케일 발생으로 전극 표면의 세척 및 전극의 수명 단축 등의 문제점 및 생산성과 표면개질 증대를 위해 연속 플라즈마 장치를 설계 하였다. 그림 8은 2차년도 상온상압 플라즈마 lab scale 장치이고, 그림 14는 새로이 설계된 연속 플라즈마 장치의 개략도 이다. lab scale 단계에서는 재료의 투입에만 사용되던 screw를 플라즈마가 생성되는 챔버내에 이동시켜 재료의 투입과 동시에 플라즈마 발생이 이루어져 재료의 표면개질이 이루어지도록 하였다. 플라즈마 발생의 중요한 부분인 전극은 기존 plate 형태에서 screw의 중심과 screw가 있는 챔버의 외부를 코일 형태로 둘러싸는 형태로 보완하였다. 플라즈마 발생은 두 전극의 사이에서 이

루어지므로 외부 전극와 screw의 간격을 10mm로 조정하며 screw의 회전속도 및 간격 조정을 통해 재료의 표면개질을 보완할수 있다. 또한 챔버의 크기를 조정하거나 여러개의 챔버를 병렬구조로 연결하는 것으로 생산성을 확보할수 있을것으로 보인다.

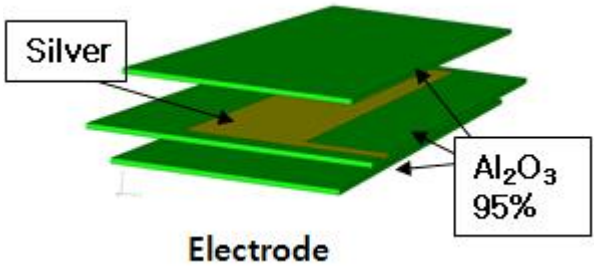


그림 12 Electrode 개략도

아래의 그림 12는 상온상압 플라즈마 장치의 전극이다. 전극의 중앙부에는 실버페이스트가 충진되어 있으며 이 주위를 Al_2O_3 가 둘러싸고 있다. 2차년도에서 개발된 상온상압 플라즈마 장치는 캐리어 가스가 버블러를 통과한 후 모노머와 함께 전극으로 바로 연결되는 구조로 설계 되었다. 이러한 구조는 전극내의 모노머와 같이 플라즈마 챔버 내로 들어가게 되어 전극의 표면에 스케일이 생성되어 플라즈마 발생 지연 및 플라즈마 미발생이 현상이 발생되며, 전극의 세척 주기단축 및 전극수명 단축이 발생한다. 3차년도에는 플라즈마 표면 처리 부분과 모노머 증착 부분을 나누어 보완 설계하였다.

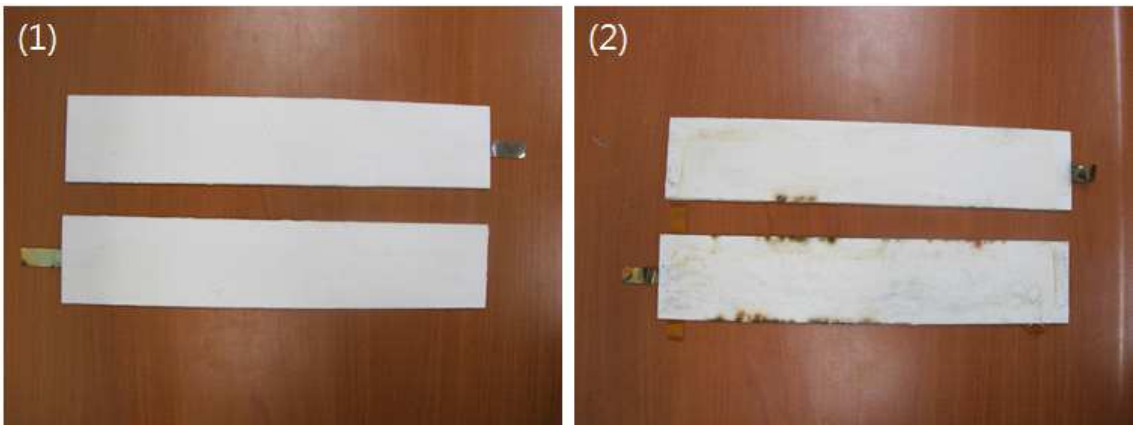


그림 13 전극 표면의 스케일 발생 (1) 사용 전 전극 (2) 사용 후(10시간) 전극

위의 그림 13과 같이 플라즈마 표면 처리가 후 전극의 표면에는 이물질들이 결합하여 스케일이 생성을 나타낸 것이다. 스케일이 생성되게 되면 플라즈마의 불완전 발생 또는 고열이 발생하여 재료가 타버리는 현상이 발생하게 된다. 3차년도에서는 스케일 발생을 억제 하기 위해 전극 내에는 헬륨만 투입되게 설계하였다. 이러한 방법은 전극의 수명이 연장 될 뿐만 아니라 세척으로 낭비 되는 시간도 줄일 수 있다.

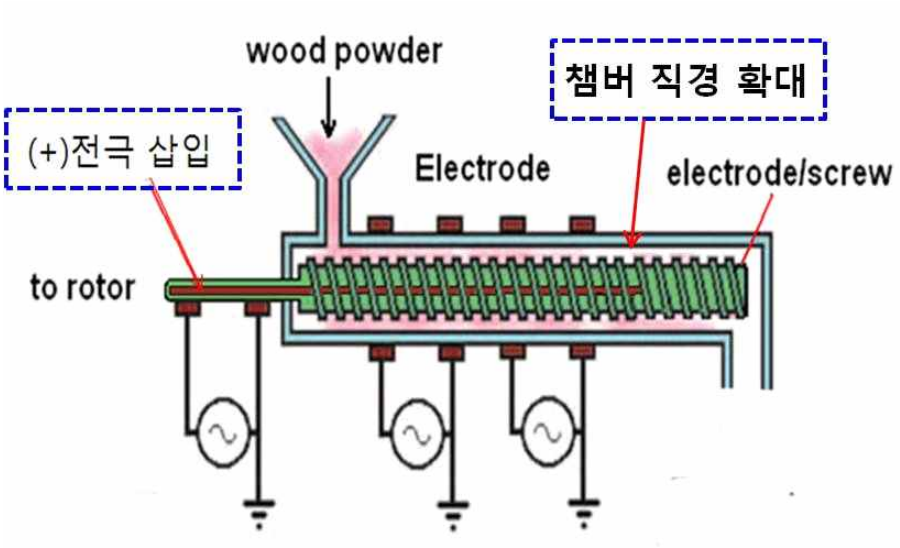


그림 14 상온상압 연속 플라즈마 장치 보완 개략도

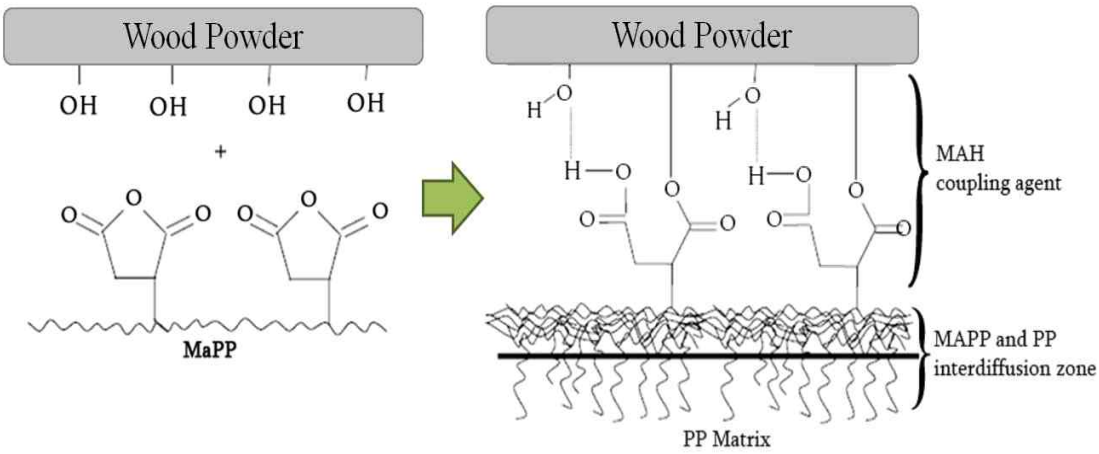
그림 15 상온상압 연속 플라즈마 장치 제작

2. 최적 제조공정 확립

가. 천연섬유 보강재와의 호환성을 높이는 폴리머 매트릭스 제작

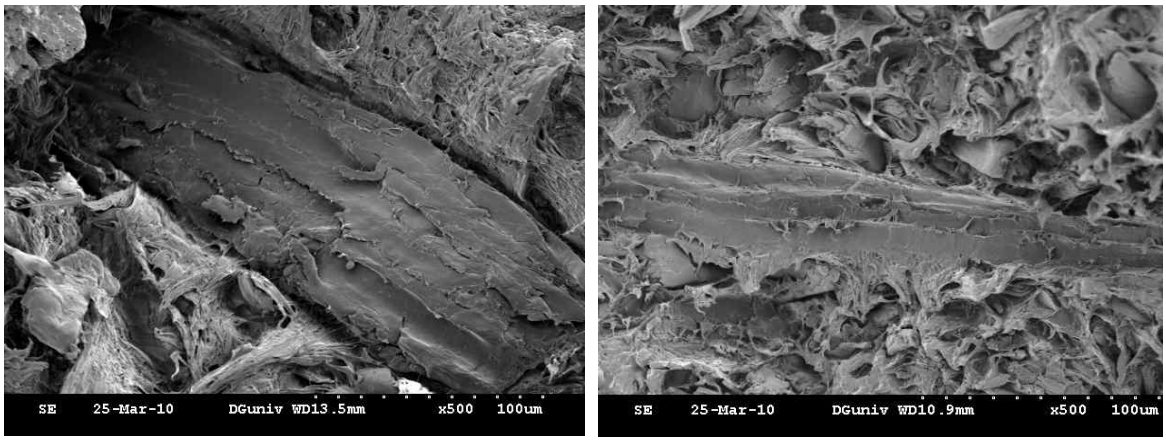
복합재의 기계적 물성은 매트릭스로 사용되는 폴리머의 분자량과 보강재와의 결합력의해 영향을 많이 받는다. 일반적으로 FRP 복합재에 사용되는 폴리머는 소수성을 띄며, 이러한 특성은 친수성의 천연섬유와는 극성을 띄게 되어 결합력을 저하시키는 요인이 될수 있다. 이에 폴리머 매트릭스와 보강재의 결합력을 향상시키기 위한 연구가 진행중이며, MaPO(Maleic Anhydride Polyolefin)은 유리섬유 보강재에 널리 사용되는 커플링제이며 최근 FRP 복합재에도 적용이 되고 있다. MaPO는 상용화된 제품으로 수급이 용이하며 경제적이다.

이에 1차년도 연구에서는 MaPO 커플링제를 사용하여 MAPP(Maleic Anhydride Polypropylene)로 처리한 wood powder와 PP(Polypropylene)를 사용하여 FRP 복합재를 제작하였다.



1차년도에서 사용된 천연섬유는 소나무의 wood powder를 사용했으며 메쉬 크기는 100㎛이하이다. 실험은 wood powder의 수분을 진공오븐을 통해 24시간 동안 건조시켜 수분 함량을 1%이하까지 제거하여 사용하였다. wood powder/PP 펠렛은 매트릭스와 보강재의 함유량을 각각 10, 30, 50wt%로 달리하여 제작하였다. 제작된 펠렛은 진공오븐을 통해 24시간 동안 건조과정을 거쳐 사출기에 투입되었다.

실험은 wood powder와 MAPP wood powder와 PP를 압출기로 혼합하여 펠렛을 제작한 후에 사출기를 이용하여 물성실험을 위한 시편을 제작하였다. 이때 함량을 달리하여 실험을 진행하였으며, wood powder의 분산을 위하여 압출기는 3회까지 진행하였다.



a) wood powder/PP - 10wt%　　b) wood powder/MAPP - 30wt%

그림 16 복합재 파단면의 SEM

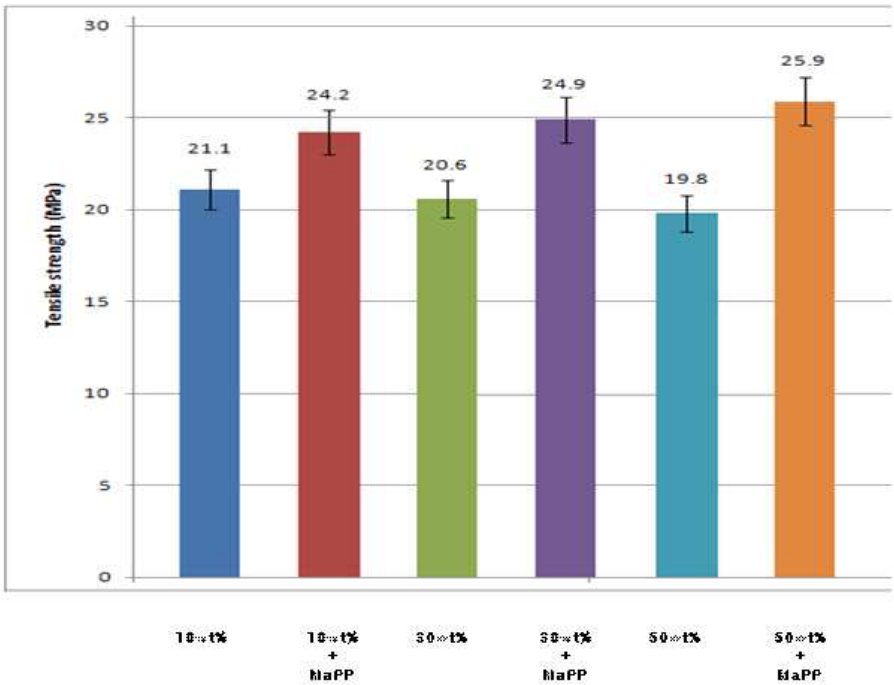


그림 17 목분 + MaPP와 목분 + PP 복합재의 인장시험 결과

실험 결과 그림 17의 그래프와 같이 PP와 MAPP의 인장시험 결과는 MAPP를 사용한 복합재의 경우에 약 22%의 강도 향상을 보였으며, 시편의 파단면 관찰에서도 PP의 경우는 그림 16의 (a)에서 보여지듯이 목분과 계면결합력이 낮아 목분과의 공극이 관찰된 반면에, MAPP의 경우는 목분과의 계면결합력이 향상되어 목분이 매트릭스에 묻혀 있는 것이 관찰되었다. 또한 목분의 함유량이 증가함에 따라 강도감소는 평균 3% 내외였다.

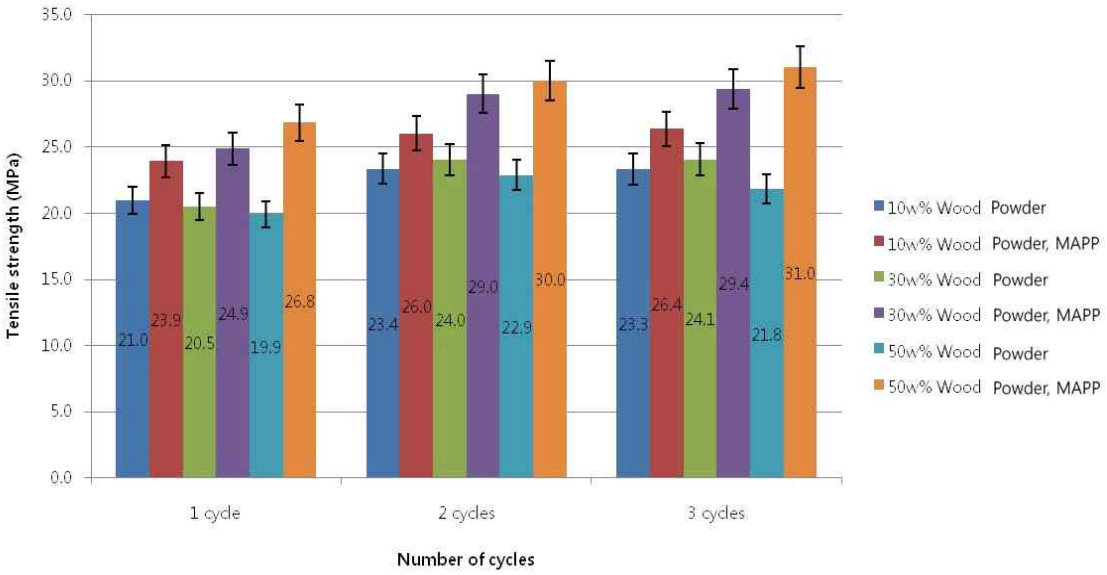


그림 18 압출기 사용 빈도에 따른 인장시험 결과

압출기의 사용 빈도에 따른 강도 감소는 관찰되지 않았으며, 오히려 사용 빈도에 따라 목분의 분산도가 향상되어 강도가 증가하는 것으로 사료된다. 이것은 압출기를 사용으로 인한 재료의 파쇄에 대해 강도 감소를 저지할수 있다는 전제하에 재활용이 가능하다고 할수 있다.

나. 천연섬유의 표면개질

천연섬유의 표면을 개질시키는 화학적 방법으로는 섬유표면을 NaOH로 처리하여 복합재를 제작하여 인장강도를 비교하였다. 각 실험은 NaOH의 농도를 달리하여 섬유를 침지법에 의해 진행하였다. 화학적 방법은 섬유표면의 헤미셀룰로오스와 리그닌을 제거하여 고분자 매트릭스와의 결합력을 향상시키는 것으로 관찰되었다.

그러나 NaOH를 비롯한 화학적 처리는 인체에 유해할 수 있는점이 대두되어 향후 실험에서 배제되었다.

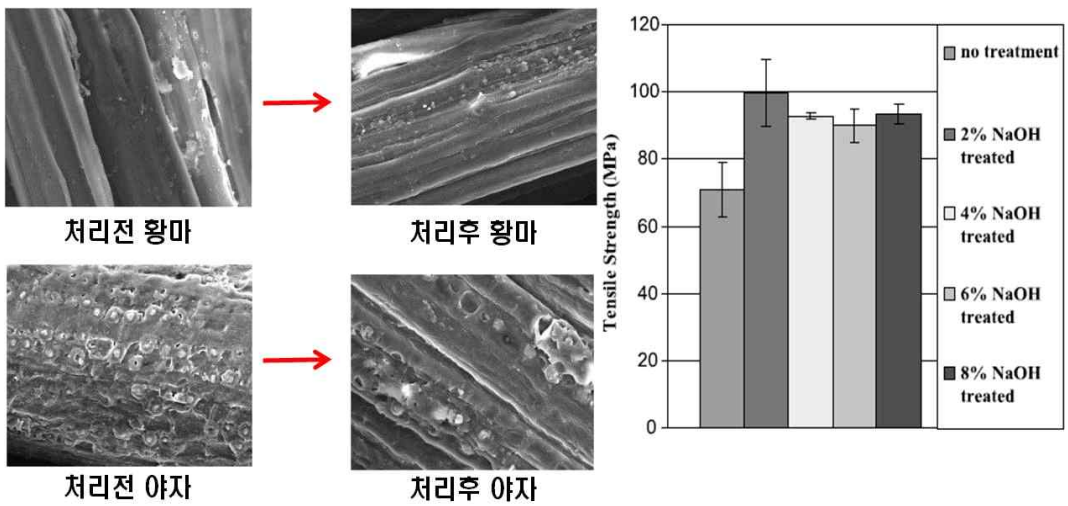


그림 19 천염섬유 표면의 화학적처리

그리고 매트릭스와의 결합력을 향상시키기 위해 강화재의 표면을 개질시키는 물리적 방법중의 하나인 플라즈마 처리를 wood powder에 하였다. 플라즈마는 모노머와의 중합반응을 통해 강화재의 표면을 거칠게 만들어 매트릭스와의 결합력을 향상시킨다.

초기 테스트는 wood powder를 증류수에 함침시켜 최소 습도로 표현하였다.

그림 20에서 관찰되듯이 wood powder가 플라즈마 처리에 의해 표면이 개질된 것을 확인할수 있었다.

wood powder의 표면처리에 대한 물성 테스트 및 결과는 2차년도에 계속하여 진행할 계획이다.

a) 무처리 b) 30분

그림 20 플라즈마 중합 반응된 목분의 변화

다. 고분자 종류별 계면 적합성 연구

- 플라즈마 코팅 처리에 적합한 monomer 선정을 위해 매트릭스로 사용되는 PP를 프레스로 열압시켜 일정한 두께를 갖는 film을 제작하였다. 이렇게 제작된 PP film의 표면에 각각의 monomer를 이용하여 표면을 개질시킨 후 접촉각 측정을 통해 표면에너지를 계산하였다.
- 사용된 monomer로는 Oxygen, Benzene, CH_4, Acrylic-acid, Hexafluoroethane, Trifluorotolune, Hexamethyl-disiloxane(HMDSO) 등 7가지였으며 이중 HMDSO는 수분과의 반응을 알아보기 위해 함량을 달리하여 추가 실험을 진행하였다.

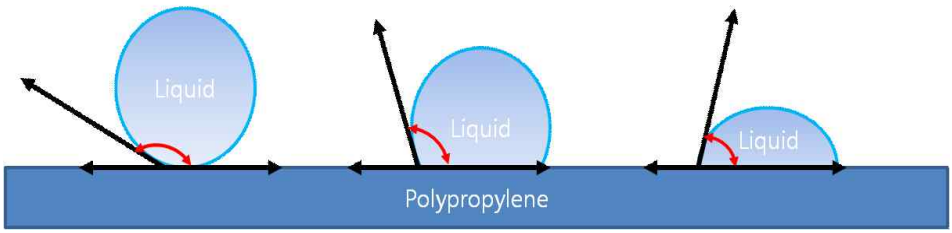


그림 21 접촉각 측정

고분자 표면에서 작용하는 분자간력은 크게 1차적(화학적)인력, 준화학적(수소결합)인력, 2차적(van der waals)인력 등 세 부류로 나눌 수 있다. 2차적 인력은 다시 Keesom

인력, Debye 인력, London 분산력 등으로 세분된다. Keesom 인력은 영구 쌍극자(dipole)를 갖는 분자간의 인력이며, 영구 쌍극자 모멘트를 갖는 분자는 항상 이웃 분자에 쌍극자를 유도하게 되는데 이러한 영구 쌍극자를 갖는 분자와 유도된 쌍극자를 갖는 이웃 분자간의 인력을 Debye 인력이라고 한다. London 분산력은 모든 분자에 존재하는 것으로 분자내 전자의 운동에 의해 생성된 일시적 쌍극자로부터 초래되는 힘이다.
고체 표면의 자유에너지는 액체와 달리 직접 측정할 수 없기 때문에 표면장력을 알고 있는 액체를 이용하여 간접적으로 산출하게 된다.

표면에너지는 극성구성요소와 분산구성요소의 합으로 표시할수 있다.

Young 식 : γsv = γsL + γLv cosΘ
Dupre 식 : Wa= γLv + γsv - γsL
Young - Dupre 식 : Wa= γL (1+ cosΘ)

$$r_{SL} = r_{SV} + r_{LV} - 2(r_S^d r_{LV}^d)^{1/2} - 2(r_S^p r_{LV}^p)^{1/2}$$

접촉각은 고체표면의 젖음성을 나타내는 척도이며, 낮은접촉각은 높은 젖음성(친수성)과 높은 표면에너지를 가지며, 높은접촉각은 낮은 젖음성(소수성)과 낮은 표면에너지를 갖는다.

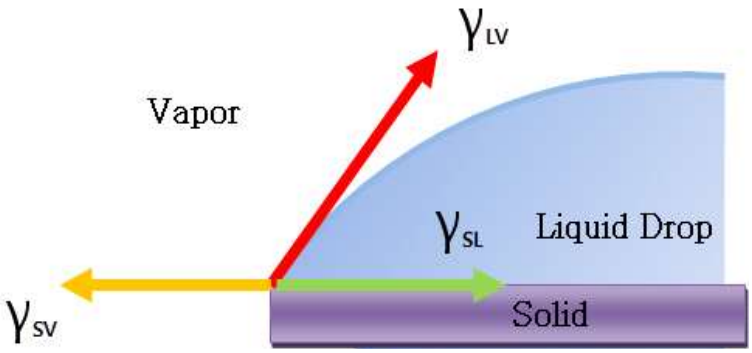


그림 22 표면에너지 분포

Monomer	Contact angle(°)		Surface Energy(dyne/cm)		
	Water	Glycerol	Total	Dispersion	Polar
Oxygen/PP	8	9	73.73	12.78	60.96
Benzene/PP	58.8	65	49.17	1.08	47.37
CH_4/PP	55.7	47.6	59.56	2.14	57.42
Acrylicacid/PP	35.7	47.7	71.94	1.72	70.22
Hexafluoroethane/PP	93	103	28.75	0.54	28.21
Trifluorotolune/PP	49	53.1	53.81	4.90	48.91
HMDSO/O_2(1:9)/PP	28	41	75.74	2.54	73.21
HMDSO/O_2(2:8)/PP	56.5	60	47.25	4.32	42.93
HMDSO/O_2(3:7)/PP	66	68.8	38.03	4.39	33.64
HMDSO/O_2(4:6)/PP	72	73	32.39	4.57	27.81
HMDSO/O_2(5:5)/PP	73.5	73.5	30.64	5.43	25.21
HMDSO/PP	105	76	74.77	71.68	3.09

표 7 각 모노머의 플라즈마 처리 후 표면에너지 측정

- 각각의 monomer를 사용하여 플라즈마 표면 코팅된 PP film의 표면 에너지를 구한 결과, HMDSO를 사용한 경우 가장 큰 접촉각 값을 보였으며 이는 소수성이 되므로 흡습이 잘 되지 않으며, 친수성의 극성을 갖는 목분의 표면을 소수성으로 표면 개질하여 PP와의 계면결합을 향상시키는데 효과적이다. 또한 수분과의 반응성을 알아보고자 추가로 진행된 실험에서는 HMDSO가 100% 일 때 Dispersion Force가 가장 높게 Polar Force가 가장 낮게 나타났다. 이것으로 약간의 산소가 유입되더라도 산소원자가 공기중의 수소원자와 반응하여 수분을 생성하게 되어 표면개질에 영향을 미치는 것으로 판명되었다. 이에 표면개질을 할 때에는 수분함유량을 1% 이내로 떨어뜨린 후 실험에 임해야 할것이며, 개질될 표면에 대한 접촉을 최소화 해야 할것으로 생각된다.

라. 목분 특성에 따른 영향 연구

플라즈마 코팅의 효과를 비교하기 위해 단일수종목분과 폐목분을 사이즈별로 구분하여 압출기를 사용하여 펠렛을 제작하였다. 연구에 사용된 단일수종목분은 스프러스로 가문비나무이다. 뒤틀림, 옹이, 수축 등의 결함에 있어 원목보다 가공 후 합판, 집성목 등에 사용이 많은 수종이다. 단일수종목분은 가격과 구매를 위한 용이성을 최우선을 하여 선택하여 실험에 사용하였다. 또한 폐목분은 폐목재칩 생산업체에서 파쇄된이다. 폐목재는 폐기물관리법 시행규칙에 따라 분류 및 재활용기준에 따라 다음과 같이 구분된다.

구 분	분류 기준
1등급	원목상태 그대로이거나 원목을 기계적으로 가공·처리한 상태의 것으로서 가공·처리과정에서 페인트·기름·방부제 등으로 오염되지 않은 폐목재
2등급	가공·처리·사용과정에서 접착제, 페인트, 기름, 콘크리트 등의 물질이 사용되었거나 이에 오염된 폐목재(할로겐족유기화합물이나 방부제로 처리·오염된 폐목재는 제외)
3등급	가공·처리·사용과정에서 할로겐족유기화합물이나 방부제가 사용되었거나 이에 오염된 폐목재와「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」시행규칙 제20조의3제2항의 고형연료제품의 품질·등급기준에 적합하지 않는 폐목재 칩 및 위의 1~2등급에 해당되지 않는 기타 폐목재

발생원	폐 목 재 종 류		등 급
임목 폐기물	벌목 등 산림작업 과정에서 발생하는 잔재물(뿌리, 가지, 줄기 등)		1등급
생활계 폐목재	임목폐목재 (5톤 미만 발생)	임목폐기물 중 하천, 호소로 떠내려 온 폐목재	1등급
		농업폐목재(방부목재 이외의 것)	1등급
		농업폐목재(방부처리 목재)	3등급
		전지목(가로수, 정원수 등)	1등급
	목재포장재	과일・야채 등	1등급
	폐가구류	순수목재	1등급
		파티클보드・합판류	2등급
		섬유판	2등급
		할로겐족유기화합물로 코팅된 가구	3등급
	실외 목재구조물	놀이터, 공원, 조경시설, 하천시설 등에 사용된 방부처리된 목재	3등급

이렇게 구분된 폐목재에서 본 연구에 사용된 폐목재는 2등급에 해당되며, 생활계폐목재에 속한다. 이중에서 주로 폐가구류에서 나온 폐목재을 파쇄하여 폐목분을 제작하였다. 또한 목분의 사이즈는 WPC 제작에 가장 많이 사용되는 40~120mesh를 20~40, 40~60, 60~80, 80~120, 120~200mesh로 세분화하였으며 체진동기를 이용하여 일정속도로 진동을 가하여 각 사이즈별로 분류된 sieve에 목분을 모아 펠렛 제작에 사용하였다.

H1, R1	H2, R2	H3, R3	H4, R4	H5, R5
20~40mesh	40~60mesh	60~80mesh	80~120mesh	120~200mesh
380~830μm	250~380μm	180~250μm	120~180μm	75~120μm

표 8 목분 사이즈별 분류

그림 23 체진동기

그림 24 분류된 목분

Diameter / Size (mesh)	<10%	<25%	<50%	<75%	<90%	평균 (mean)
120~200	7.35	20.48	36.72	49.40	60.59	35.19
80~120	29.84	66.96	130.53	177.57	215.90	125.77
60~80	29.06	83.12	144.70	223.20	245.40	150.05
40~60	165.43	308.83	530.50	606.23	637.03	435.50
20~40	-	-	-	-	-	-

표 9 목분의 입도분석

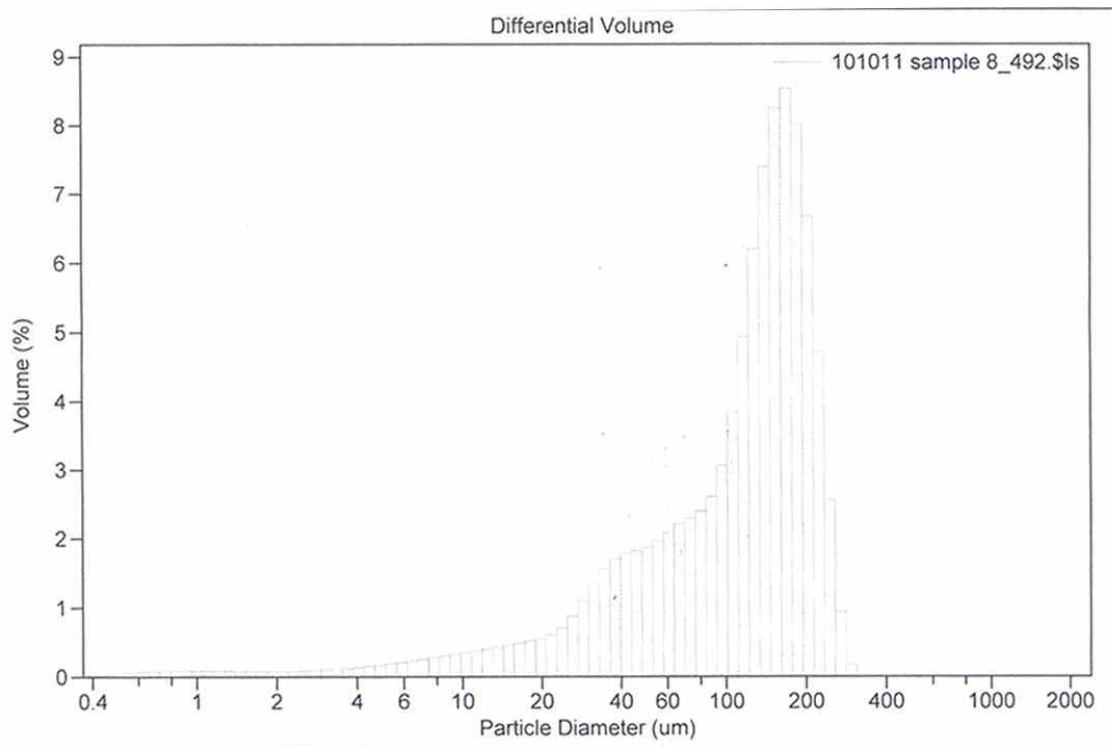


그림 25 입도분석 그래프 (80~120mesh)

- 분류된 목분의 입도분석 결과 파티클 입자가 커서 분석이 어려운 20~40mesh를 제외하고는 대체적으로 분류된 사이즈에 포함되는 경향을 보였다. 이것으로 체진동기를 이용한 목분의 분류는 합리적이었다고 생각된다.
- 단일목분은 화인우드에서 분양받은 스프러스 품종으로 4~6% 이하의 함수율을 가지고 있으며, 폐목분은 국립산림과학원에서 분양받은 5~7% 이하의 함수율을 갖는 폐목재칩을 미세분쇄기로 분쇄시킨 것을 사용하였다.

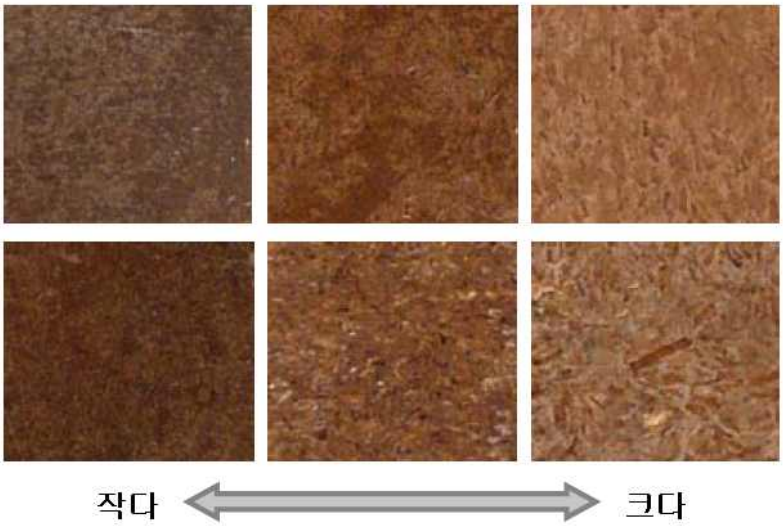


그림 26 복합재의 표면 관찰

- 육안에 의한 평가에서는 목분의 입자가 클수록 목재의 성질 재료의 외관에 가깝게

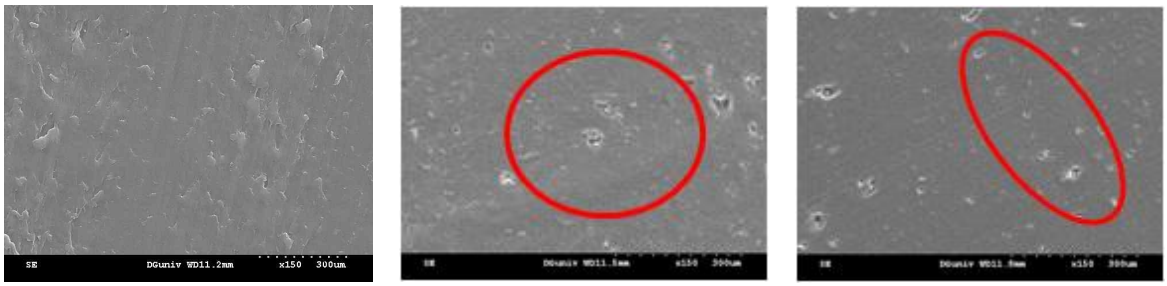
보였고, 작을수록 플라스틱 재료의 외관과 가깝게 관찰되었다. 이것은 목분 사이즈에 따른 조밀도에 의한 영향으로 보인다.

마. 목분의 uniform distribution 기술 확립

- 목분의 분산도를 확인하기 위해 압출기를 이용한 펠렛의 사출기를 통해 시편을 제작하여 단면을 절단하여 SEM 관찰을 하였다. 이때 목분의 함량은 10wt%로 하였으며, 압출 1회에서는 목분이 거의 보이지 않으나 압출 2회에서는 한쪽으로 치우친 모습을 관찰할수 있었다. 압출 3회에서는 부분적으로 고르게 분산된 모습을 관찰할수 있었다. 이것으로 압출기의 횟수 증가를 통한 목분의 분산도는 증가됨을 확인할수 있었다.

PP내 목분의 분산도 증가를 통해 시제품 제작을 위한 프리폼 제조기술을 확인할수 있었다. 각각의 펠렛 입자에 PP와 목분의 일정한 함유를 통해 프리폼의 기본적인 형태를 구상할수 있다.

복합재의 대량 생산 및 목분의 균일한 분산을 위해 펠렛 제작을 위해 extruder에 목분과 pp의 혼합물을 투입전에 homomixer를 이용하여 10분간 혼합하였다. 목분과 pp의 함량이 중량을 기준으로 하며, 이로인해 실제 부피의 비율은 목분에 비해 pp가 매우 작기 때문에 homomixer를 이용하여 목분의 손실을 줄이고 pp와의 고른 분산도를 기대할 수 있다.



압출 1회 압출 2회 압출 3회

그림 27 압출 횟수에 따른 단면 관찰

바. Twin Screw Extruder의 공정변수 최적조건 확립

Twin Screw Extruder는 열과 압력을 이용해서 이종의 재료를 기계적으로 혼합하여 펠렛의 형태로 제작하는 과정에 이용되는 기계이다. 이때 사용하는 재료에 따라 온도 설정이 중요하며, 설정되는 온도는 재료의 melting point를 바탕으로 설정된다. Melting point는 Differential scanning calorimetry (DSC)를 통해 측정되었으며, 10°C/min의 속도로 20°C에서 200°C까지 설정된 온도에서 3번 측정된 결과의 평균값을 통해 정해졌다. 그 결과 pp의 melting point는 168°C로 측정되었다. 그리고 복합재 제작의 주재료인 목분은 C, H, O로 구성된 천연유기물인 관계로 연소가 가능한 재료이다. 그러나 pp의 melting point로 Twin Screw Extruder의 온도를 설정시 목분과 PP의 복합재가 Twin Screw Extruder에서 펠렛의 형태로 제작되는 다이부분을 막아 압출이 불가능하다. 이에 목분의 첨가량에 따른 screw와 컷팅기의 rpm을 조절을 통해 펠렛 제작의 최적화 조건을 설정하였다. 또한 제작되는 펠렛을 동일한 크기로 제작하기 위해서 컷팅기 부분

에 air compressor를 연결하여 다이를 통해 압출되어 나오는 복합재를 순간적으로 냉각시켜 실험을 진행하였다.

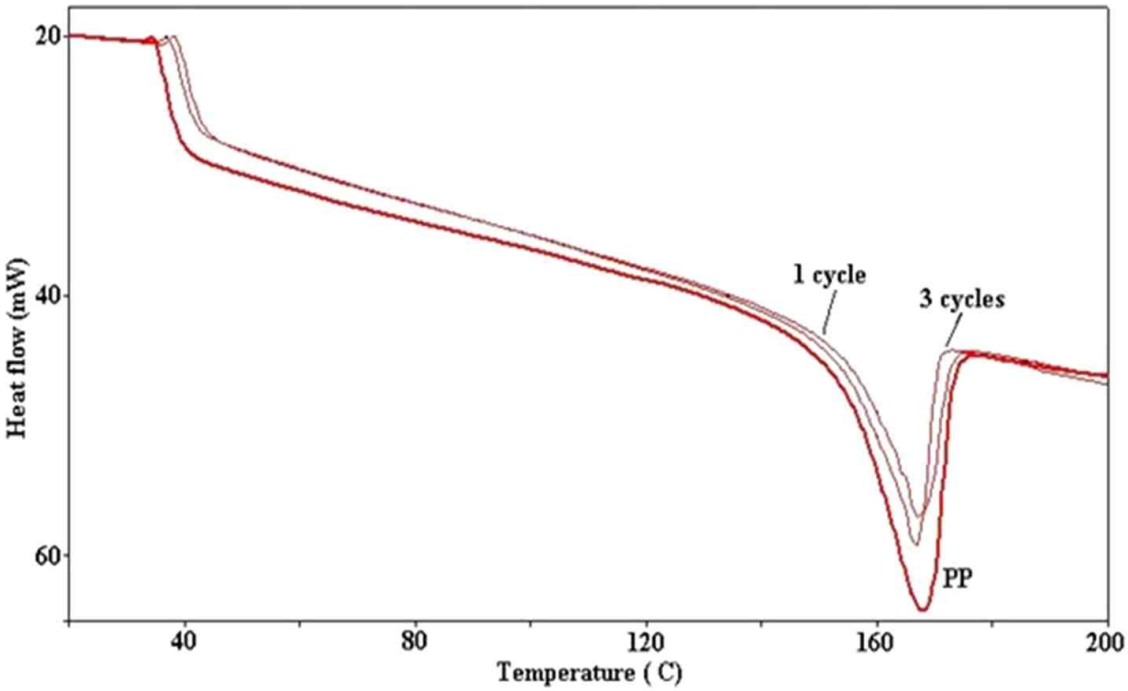


그림 28 PP의 DSC 그래프

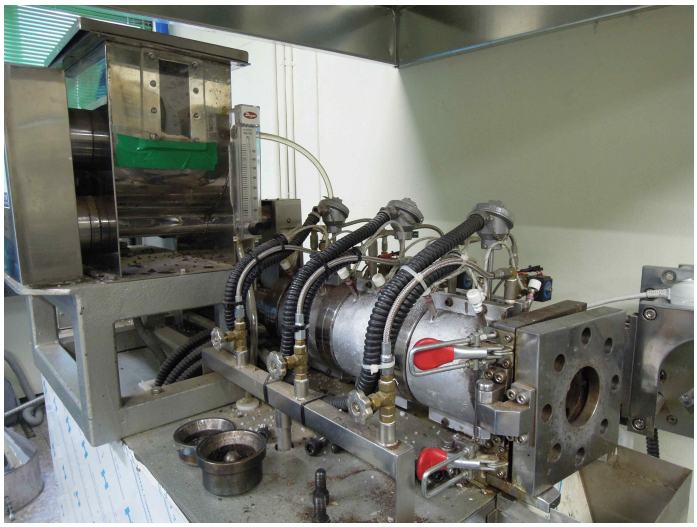


그림 29 Twin Screw Extruder

그림 30 Twin Screw Extruder 조작판넬

Twin Screw Extruder 설정					
히터 1	히터 2	메인(Screw) 회전속도	휘다 회전속도	컷팅기 회전속도	컷팅기와 다이 사이 간격
235℃	230℃	175~180rpm	140~150rpm	850~900rpm	8~10mm

사. Injection Molding Machine의 제조공정 조건 확립

Injection Molding Machine 제조 공정 수치를 설정할 때 제작하려는 재료의 특성에 따라 온도, 사출, 계량 등을 고려하여야 한다. 온도가 너무 높으면 재료가 탈수 있고 온도가 낮으면 재료가 냉각 되어 금형이 막혀 사출이 불가능하기 때문에 최적화된 설정 수치를 표로 나타내었다.

그림 31 Injection Molding Machine

그림 32 Injection Molding Machine 조작판넬

온도세팅(℃)	ENZ.	NOZZ.	1	2	3	4	5
설정온도	220.0	240.0	240.0	220.0	210.0	–	–
예열온도	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	–	–

온도상한(+)	온도하한(-)	유온설정	유온상한(+)	유온하한(-)
30.0	30.0	35.0	15.0	30.0

또한 제작하려는 시편의 질량과 크기에 의거하여 사출시 속도, 압력, 거리 및 시간을 아래 표와 같이 설정하였다.

사출세팅			
속도(%)	압력(bar)	거리(mm)	시간(s)
25	65	10.0	10.0

투입하는 재료의 량을 고려하여 계량 속도, 거리 및 시간 등을 설정한다. 계량전 냉각시간을 충분히 주어 제작한 시편이 변형되는 것을 방지하고 재료가 금형으로 투입되는 부분이 막히는 것을 방지 할 수 있었다.

계량세팅	1S	1C	2C	3C	4C	2S
계량속도(%)	50	40	40	40	40	45
배압(bar)	—	2	2	2	2	—
거리(mm)	—	15.0	30.0	40.0	50.0	55.0
계량시간	25.0s		계량전냉각시간		20.0s	

아. 목분 함량별 최적특성 확립

목분은 입자의 사이즈별로 5개로 분리 하였으며, 2차년도 물성평가 결과 플라즈마에 의한 표면개질의 효과가 가장 높은 사이즈를 선택하여 3차년도에서 연구를 진행하였다. 또한 목분의 함량에 따른 복합재를 제작하여 물성평가를 통해 결과를 비교하였다. 복합재는 DAP로 처리된 폐목분을 이용하여 제작하였다. 그 결과 목분의 사이즈에 따른 표면개질 효과는 R3과 H3이 가장 높게 나타났다. 사이즈에 따른 표면개질은 플라즈마가 발생되는 전극사이의 간격과 목분을 이동시키는 screw의 간격에 의해 차이가 발생한 것으로 판단된다. 10mm로 고정한 전극 간격을 통과하는 것은 사이즈가 작을수록 효과적이나 screw의 간격에 따라 진행되는 표면개질은 입자가 클수록 효과적이기 때문이다. 이에 추후 제작되는 복합재에 사용되는 목분의 입자는 60~80mesh로 결정되었다.

	R1	PR1	R2	PR2	R3	PR3	R4	PR4	R5	PR5
인장강도 (MPa)	18.302	19.23	18.38	20.05	18.464	21.238	18.57	20.9	17.028	18.696
증가율	5.07		9.09		15.02		12.54		9.8	
	H1	PH1	H2	PH2	H3	PH3	H4	PH4	H5	PH5
인장강도 (MPa)	21.684	22.460	21.219	22.671	21.47	23.362	23.707	24.855	24.321	25.803
증가율	3.58		6.84		8.81		4.65		6.09	

표 10 플라즈마 처리 유무에 따른 목분 사이즈별 인장강도 증가율

목분 함량에 따른 물성평가는 목분의 함량에 따라 시편을 제작하여 평균값을 구하여 비교하였다. 목분의 함량이 증가할수록 강도는 감소하는 경향을 보였다. 이는 pp의 함량이 증가함에 따라 강도가 좋아진 것으로 판단된다. 그러나 목재 대체재이며 목분의 함량이 50wt% 이상인 복합재를 제작하는 목표에 맞추어 목분의 함량은 55wt%로 고정하여 복합재를 제작하고자 한다.

	FR3-D(35)	FR3-D(45)	FR3-D(55)	FR3-D(65)	FR3-D(75)
인장강도 (MPa)	18.023	17.453	16.944	16.342	16.572
굴곡강도 (MPa)	35.890	35.012	33.832	32.555	31.923
충격강도 (kgf·㎝/㎠)	3.311	3.221	3.157	3.172	3.168

표 11 목분 함량별 물성

자. 재료의 리싸이클 활용방안

본 실험에 사용된 목분은 단일수종과 폐목분이었으며 pp는 homo pp를 사용하였다. 복합재를 제작하는 원재료인 목분을 폐목분을 사용하여 물성평가를 한 결과 단일수종과 비교시 물성은 낮은 값을 보였으나 플라즈마 처리를 통한 표면개질을 통해 단일수종을 이용한 복합재의 물성과 유사한 강도 향상을 기대 할수 있는 것으로 관찰되어 재료의 재활용이 가능하다는 것을 확인하였다. 그리고 실험에서 제작된 폐목분-pp 복합재를 파쇄하여 다시 복합재를 제작하여 물성실험을 진행하였다. 폐목분-pp 복합재를 다시 파쇄하여 펠렛으로 만든 후 제작된 복합재는 이론상 폐목분의 함량이 30wt%이므로 폐목분-pp 복합재 보다 높은 강도값을 보였다.

	단일수종-PP (H3-55)	폐목분-PP (R3-55)	(폐목분-PP)-PP (RR3-55)
인장강도 (MPa)	21.47	18.464	20.012
굴곡강도 (MPa)	41.08	35.98	37.78
충격강도 (kgf·㎝/㎠)	3.35	3.157	3.67

표 12 재료의 리싸이클링에 따른 복합재 물성

차. 프레스 성형 공정

난연시편은 hot press를 이용하여 압축성형으로 제작되었다. 금형을 예열과정동안 열판 사이에 놓은 뒤 200℃에서 펠렛을 금형에 투입하여 20분동안 25kgf/cm^{2}의 압력으로 압축성형을 통해 평판을 제작하였다.

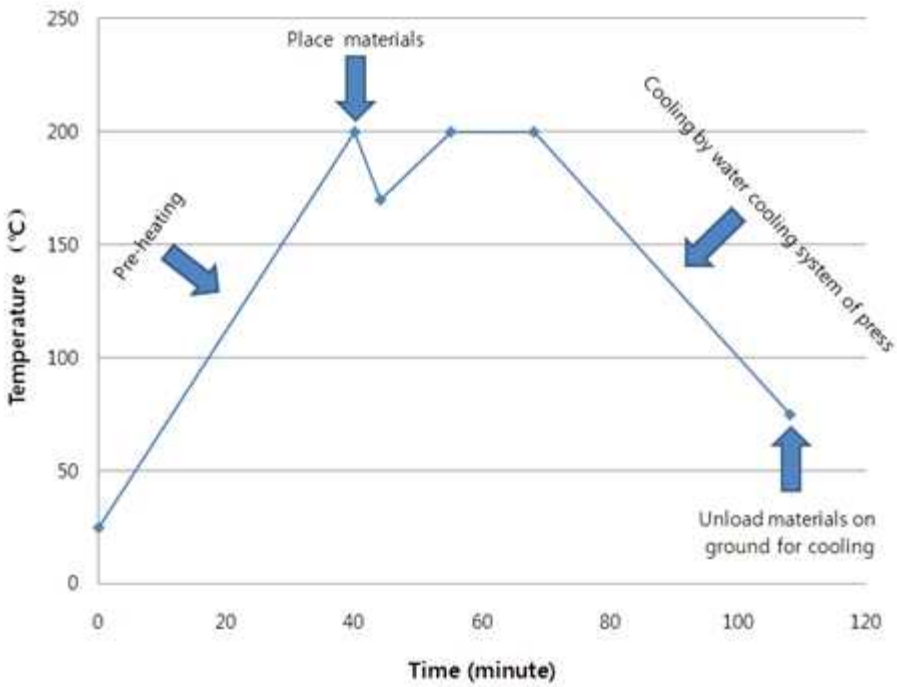


그림 33 프레스 성형공정

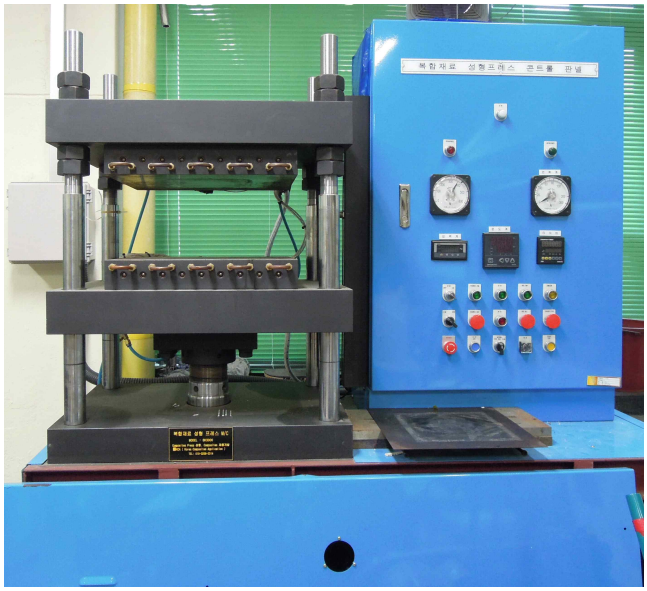


그림 34 프레스

그림 35 프레스 조작판넬

그림 36 판형 복합재 제작과정

카. 성형 장치 설계 및 제작

- 프레스를 이용한 압축성형 결과 그림 과 같이 펠렛이 고르게 퍼지지 못해 기공이 발생됨이 관찰되었다. 복합재에서 기공함량은 낮은 피로저항, 수분에 대한 낮은 저항, 높은 변형율, 강도특성의 분산들을 야기하는 중요한 요인이 된다. 이에 기공함량을 줄이고자 열압 프레스를 이용한 압축성형을 위해 시제품의 금형 도면을 그림 38과 같이 재설계하였다.
- 압출기를 통해 제작된 펠렛을 성형하는데 있어 복합재의 물성을 저하시키는 기공을 최소화하기 위해 금형에 열선을 설치하여 프레스와 금형, 이중으로 열을 공급해 펠렛이 유동할 수 있는 시간을 확보할 수 있는 금형을 제작하고자 하였다.

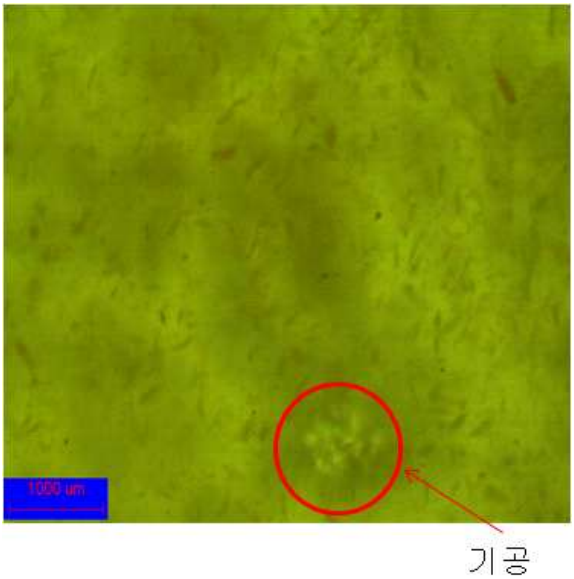


그림 37 복합재에 관찰된 기공

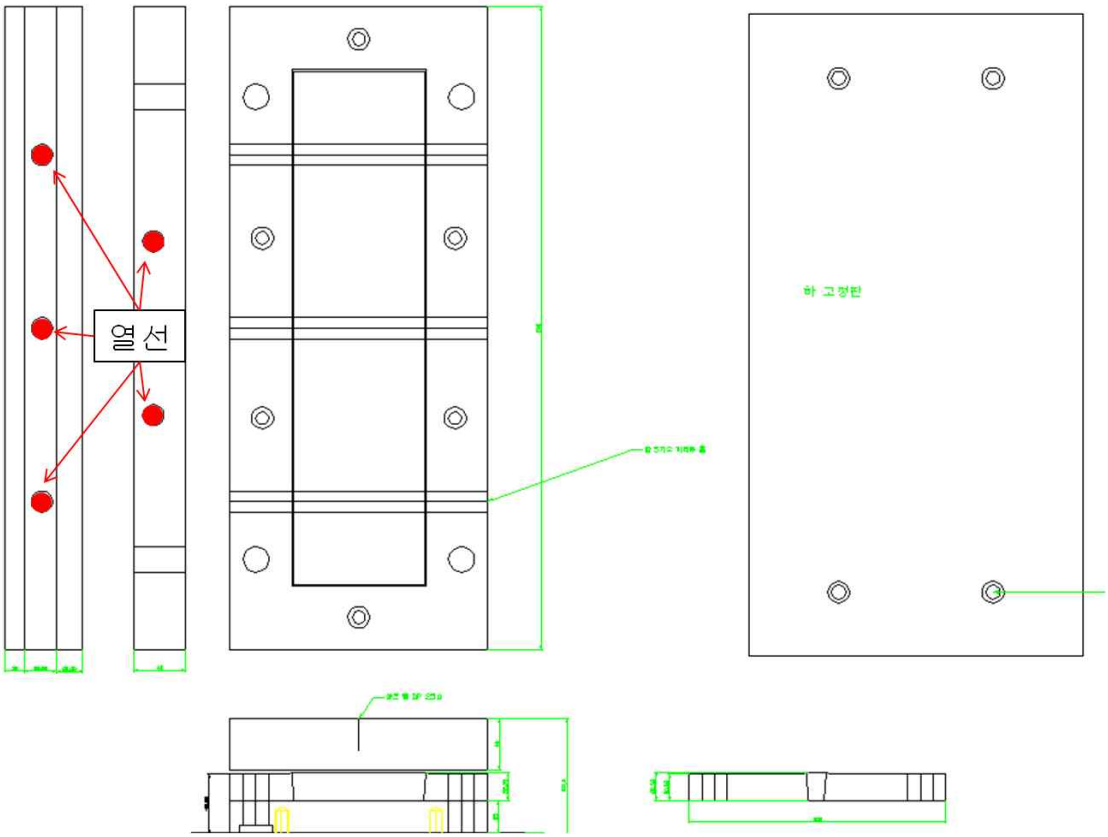


그림 38 열선이 삽입된 금형도면

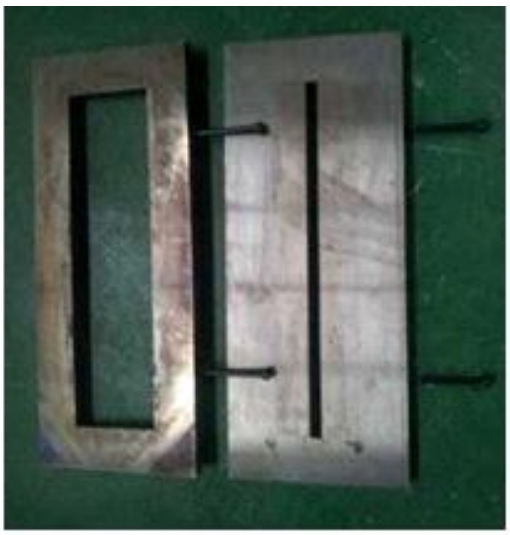


그림 39 제작금형

그림 40 최적의 heating 장치로 제작된 복합재

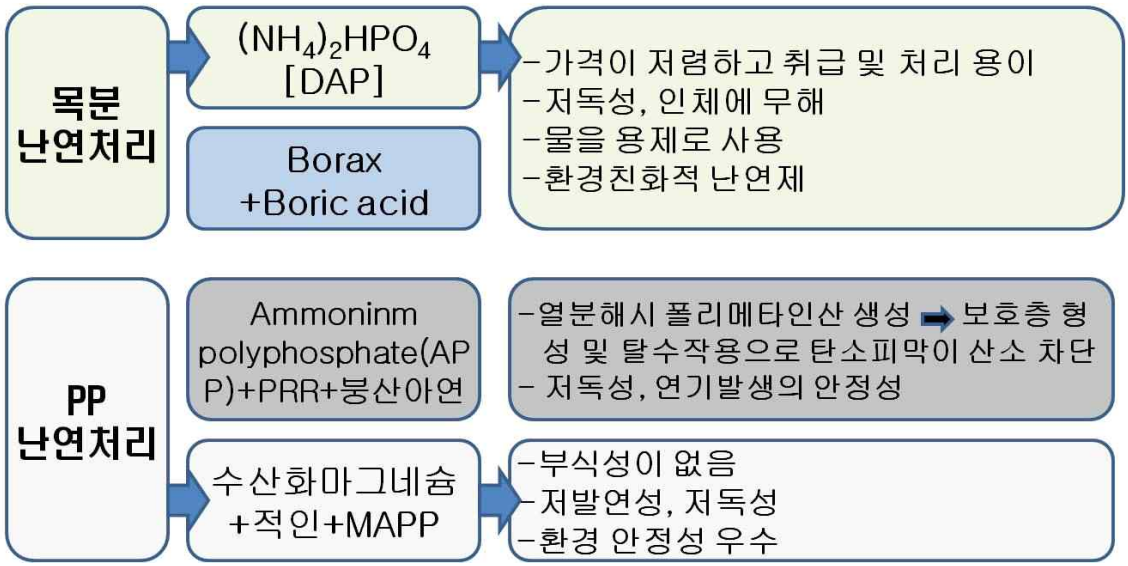
- 열선이 삽입된 최적의 heating 장치로 그림 40과 같은 복합재를 제작할 수 있었다.

3. 시제품 제작 및 평가

가. 시제품 난연성 확보

난연제는 크게 첨가형과 반응형으로 나누며 첨가형은 다시 유기난연제와 무기난연제로 구분된다. 반응형 난연제는 난연성분이 고분자에 화학적으로 결합되어 있어 내구성이 좋고 난연 효과도 뛰어나지만 copolymer로 중합하여 사용하기 때문에 비용이 비싸고 제조 시간이 많이 드는 단점이 있다. 무기계 첨가형 난연제는 가장 큰 시장을 차지하는데, 가격이 싸고 할로겐화 유기화합물과 상승작용을 일으키며 충전제로 사용할 수 있는 장점때문이다. 무기계 난연제는 수산화알루미늄, 안티몬계 및 수산화마그네슘 등이 쓰이고 유기계 난연제는 고분자와 compounding이 쉽다는 장점이 있으며, 인계, 브롬계, 염소계가 주로 사용된다.

첨가형 난연제는 열가소성 고분자에 첨가되어 고분자내에 물리적으로 분산이 되는데 이때 고분자와의 상용성, 물리적 구조 및 외부조건에 따라 고분자 표면으로 난연제가 전이 되는 현상이 특징이다. 그리고 난연 거동에 따라 고분자의 분해 및 발화과정에서 불연소성 기체를 방출하거나, 연소성 기체 및 산소를 차단하며 기체상의 반응에서 반응성이 높은 라디칼의 생성을 억제하는 할로겐계화합물과 탄화물 형성을 통해 분해반응을 억제하는 인계화합물과 연소과정에서 연소열을 줄이는 방법의 인계화합물 그리고 분해과정에서 산소 및 열 차단을 통해 물질의 물리적 형상을 유지시키는 방법의 인계화합물이 있다. 또한 물질의 비열이나 열전도도를 증가시킴으로써 가열과정에서 고분자의 온도상승을 막는 방법의 무기계수산화물이 사용되고 있다.



목분의 난연처리에 사용되는 난연제는 인화합물계, 질소화합물계, 붕소화합물계 등이 있으며, 본 연구에서는 인화합물계와 붕소화합물계 난연제를 사용하였다. 인화합물계와 붕소화합물계는 가격이 저렴하며 취급 및 처리가 쉽고 다른 난연제에 비해 저독성이며 환경적인 측면에서도 많은 장점들을 가지고 있다. 그리고 $(NH_4)_2HPO_4$와 붕산·붕산은 무기질로 수용성 난연제가 가지는 장점인 물을 용제로 사용함으로써 인체에 무해하고 유독가스가 거의 발생하지 않아 적정량을 물과 혼합하여 Dipping, Spray, Painting 등의 다양한 방법으로 사용할 수 있으며 물에 용해시켜 난연 효과를 시도하기 때문에 환경친화적인 면과 가격적인 면에서 다른 난연제에 비해 우수성을 가진 장점이 있다.

PP 적용 난연제로 Ammonium polyphosphate(APP)와 Pentaerythirite(PER), 그리고 붕산아연을 PP(100)에 대해 20 : 5 : 2.5로 혼합한 인계 난연제와 수산화마그네슘과 Polypropylene Grafted Maleic Anhydride(MAPP)와 적인이 60 : 10 : 15로 첨가한 무기계 난연제를 사용하였다. 인계 난연제는 저독성, 고성능을 만족하고 연기발생에 대한 안정성도 크고, 소각 및 재활용 시 문제점이 적어 할로겐계 난연제의 대체품으로 각광을 받고 있다. 그러나 다소 가격이 비싸고 인계 난연제로 변경 시 프로세스 비용이 많이 드는 점이 단점과 알레르기 유발 가능성도 제기되고 있다고 지적되어진다. 그러나 연소할 때 인화합물은 열분해에 의해 폴리메타인산을 생성하고 이것이 보호층을 형성하고 폴리메타인산이 생성될 때 탈수작용에 의해서 생성되는 탄소피막이 산소를 차단하여 연소를 막아 우수한 난연성을 나타내고 있다. 또한 첨가제인 적인은 독성이 없고 열적을 안정하나 물과 접촉할 경우 독성이 강하고 밀폐공간에서 폭발 위험이 있는 포스핀 가스를 방출한다고 보고 되고 있다.

또다른 PP의 난연제로 사용된 수산화마그네슘은 수산화알루미늄의 가격이 상승함에 따라 그 대안으로 사용된 것으로 수산화알루미늄보다 100℃ 정도 높은 약 330℃에서 분해하며, 이때 수증기를 방출해 흡열반응에 의해 연소를 저지한다. 고분자 성형 시 적용 온도 범위가 넓고, 부식성이 없으며, 저발연성, 저독성 및 환경안정성이 우수한 제품이다. 재활용이 가능하며 착색의 문제가 없어 할로겐계 대체 물질로 많은 개발이 이루어지고 있다. 그러나 사용양이 많고 추가적인 가격하락이 필요하다는 것이 단점으로 지

적된다. 그러나 적인 등과 함께 사용시 가열에 의해 탄화물을 형성하여 고분자의 단열성을 향성시킨다. 높은 난연효과와 적당한 가격, 사용의 편의성, 낮은 부식성과 유독가스 및 연기발생을 억제하는 특징을 가지고 있어 안정적인 수요가 예상됨으로 본 실험에 사용하게 되었다.

(1) 목분과 pp의 난연제 선정단계

a. 목분에 적용한 최적 난연제 I 선정 및 난연성평가

(가) 침지법으로 난연처리의 온도 및 시간에 따라서 최적 난연 조건 확정

(나) DAP 처리 목분 + 무처리 PP

(다) Boron compound 처리 목분 + 무처리 PP

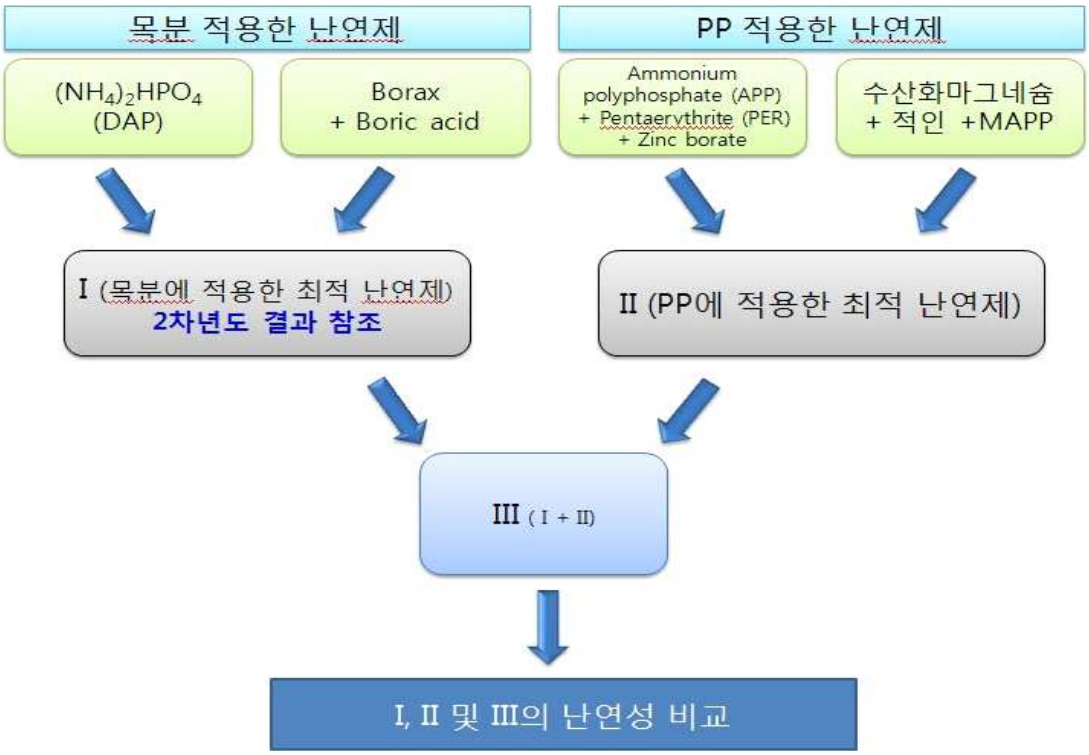
b. PP에 적용한 최적 난연제 II 선정 및 난연성평가

(가) 무처리 목분 + APP, PER, 붕산아연으로 처리 PP

(나) 무처리 목분 + 수산화마그네슘, 적인, MAPP 처리 PP

c. 난연 콤비네이션 III 결정 및 난연성 평가:

목분에 적용한 최적 난연제 I + PP에 적용한 최적 난연제 II



(2) 목분의 난연제 침투량

목분의 난연처리는 각 난연제를 녹인 포화용액을 만든 후 목분을 넣는 침지법에 의해 진행되며 최적의 침지 시간과 온도를 결정하기 위해 상온과 60℃에서 6, 12, 24시간마다 난연제의 침투량을 측정하였다.

그림 41 목분의 난연처리 과정

그림 42 상온에서 난연처리

그림 43 60℃에서 난연처리

m1 = 난연처리전 건조 목분 무게
m2 = 천 무게
m3 = 난연처리후 건조한 목분과 천의 무게
a = 난연처리전 목분 함수율
b = 난연처리후 목분 함수율
침투량 = [(m3-m2)(1-b)-m1(1-a)]/m1(1-a)

	6h			12h			24h		
m1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
m2	135.73	135.52	135.61	111.27	111.15	111.26	189.86	189.99	189.9
m3	241.66	241.56	241.53	220.26	220.14	220.23	299.74	299.87	299.99
a	0.015	0.018	0.016	0.015	0.014	0.018	0.015	0.017	0.016
b	0.006	0.009	0.008	0.008	0.007	0.009	0.012	0.015	0.014
침투량	0.0689	0.07	0.0678	0.0976	0.0956	0.0996	0.10214	0.10104	0.10324
	0.0689			0.0976			0.1021		

표 13 DAP의 침투량(24℃)

	6h			12h			24h		
m1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
m2	146.1	146	146.15	156.68	156.62	156.69	143.9	143.88	143.91
m3	255	254.88	255.18	266.98	266.89	267	254.1	254.06	254.12
a	0.015	0.014	0.016	0.015	0.014	0.016	0.015	0.014	0.016
b	0.007	0.006	0.009	0.01	0.009	0.011	0.007	0.006	0.008
침투량	0.0978	0.0976	0.098	0.1085	0.1083	0.1087	0.1109	0.1107	0.111
	0.0978			0.1085			0.1109		

표 14 DAP의 침투량(60℃)

	6h			12h			24h		
m1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
m2	102.65	102.63	102.67	108.02	108.01	108.01	124.77	124.76	124.76
m3	203.75	203.71	203.79	211.67	211.64	211.65	229.18	229.16	229.17
a	0.015	0.014	0.017	0.015	0.014	0.015	0.015	0.014	0.014
b	0.01	0.009	0.012	0.009	0.008	0.008	0.009	0.008	0.008
침투량	0.0161	0.0159	0.0163	0.0428	0.0426	0.043	0.0505	0.0503	0.0504
	0.0161			0.0428			0.0504		

표 15 Boron compound의 침투량(24℃)

	6h			12h			24h		
m1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
m2	101.73	101.72	101.74	95.08	95.04	95.11	92.14	92.11	92.18
m3	205.94	205.93	205.96	200.62	200.55	200.65	197.95	197.91	198.01
a	0.015	0.014	0.015	0.015	0.013	0.016	0.015	0.013	0.017
b	0.012	0.011	0.012	0.009	0.007	0.01	0.007	0.005	0.009
침투량	0.0452	0.045	0.0453	0.0618	0.0615	0.062	0.0666	0.0663	0.0669
	0.0452			0.0618			0.0666		

표 16 Boron compound의 침투량(60℃)

	DAP					
	24℃			60℃		
시간 (hr)	6	12	24	6	12	24
침투량(wt%)	6.89	9.76	10.21	9.87	10.85	11.09
변화율(wt%)	41.56	4.61		10.99	2.16	
	Boron compound					
	24℃			60℃		
시간 (hr)	6	12	24	6	12	24
침투량(wt%)	1.61	4.28	5.05	4.52	6.18	6.66
변화율(wt%)	165.4	18.09		36.57	7.87	

표 17 목분의 난연제 침투량

침투량은 같은 처리시간일때 24도보다 60도에서 높았다. 그리고 처리시간이 길어질수록 침투량도 증가했다. 그러나 처리시간에 따른 증가율을 차이점을 보였다. 두 난연제 모두, 6시간에서 12시간까지의 증가율이 12시간에서 24시간까지의 증가율보다 높았다. 난연제의 침투는 시간에 따라 증가하지만 시간대비 침투량의 증가율이 낮은 것으로 판단되었다. 이것으로 목분의 난연처리는 60도에서 12시간으로 처리하는것이 효율적인 것으로 조사되었다.

(3) 난연성 평가 - KS F 2271에 따른 난연성 시험

KS F 2271는 건축물의 내장에 사용하는 재료 및 구조의 화재 초기에서의 난연성 시험방법에 대하여 규정한 것으로 난연성의 급별에 따라 기재시험, 표면시험, 부가시험 및 가스 유해성 시험을 한다. 난연성 평가는 한국철도기술연구원의 공동장비활용을 이용해서 진행되었으며 난연성의 구분은 다음 표와 같다.

난연성의 급별	시험 방법	비고
난연 1급	기재시험 및 표면시험	불연재료
난연 2급	표면시험, 부가시험 및 가스 유해성시험	준불연재료
난연 3급	표면시험 및 가스유해성시험	난연재료

표 18 난연 등급표

(4) 목분과 pp의 난연처리 결과

a. 콘칼로리미터 (Cone Calorimeter)법

콘칼로리미터 시험은 현재 실제 화재 조건을 가장 잘 묘사한 시험방법으로서 일정량의 공기를 공급하면서 재료의 연소성을 정확하게 평가할 수 있는 동적방법(dynamic method)이다. 시험방법은 ISO 5660-1에 따라 열방출율(HRR), 총방출열량(THR) 등을 측정한다.

그림 44 콘칼로리미터 시험 과정

콘칼로리미터법에 의한 난연성 평가는 난연재료의 경우, 가열 개시 후 5분간 총방출열량 ≤ 8MJ/m^2, 최대열방출율(10초 이상 연속) ≤ 200KW/m^2과 5분간 가열후 시험체를 관통하는 균열, 구멍 및 용융(복합자재의 경우 심재가 전부 용융, 소멸되는 것을 포함) 등이 없어야 한다는 기준이 있다. 총방출열량의 경우 기준조건인 5분에 8MJ/m^2을 초과하는 값을 보였으나 무처리 복합재와 비교하여 난연처리된 복합재에서 낮은 총방출열량이 측정되었다. 그리고 최대열방출율은 무처리 복합재가 기준을 넘는것에 비해 10초 이상 200KW/m^2 이하로 측정되었다. 또한 이러한 결과로 목분의 난연제는 DAP로 결정되었고, pp의 난연제는 수산화마그네슘으로 각각 결정되어 최종 시제품은 2가지 난연제를 사용한 복합재를 제작하였다.

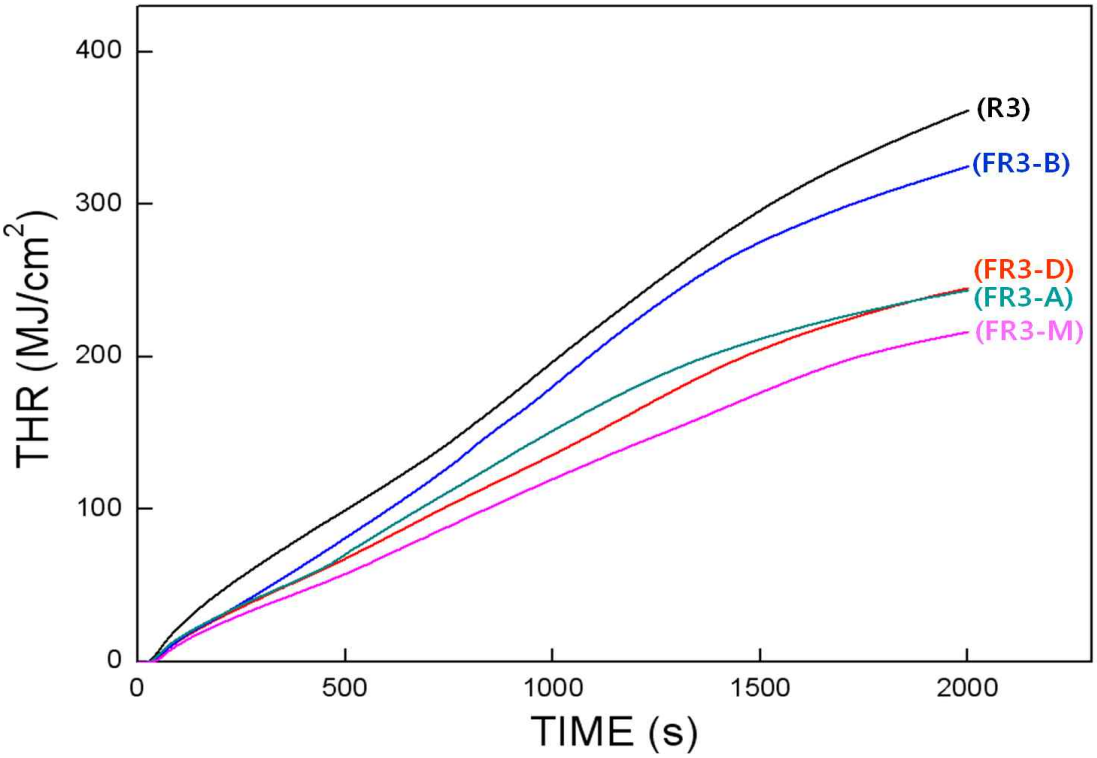


그림 45 복합재의 총방출열량

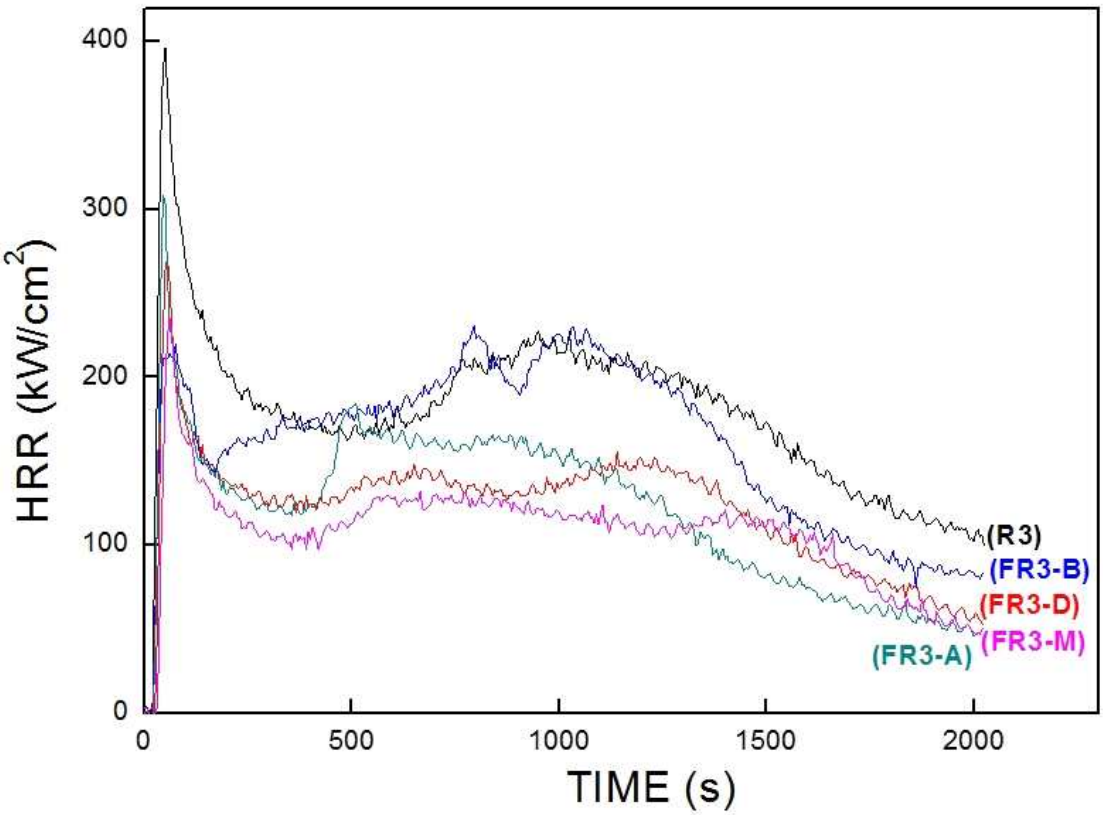


그림 46 복합재의 최대열방출율

목분과 pp에 각각 선정된 난연제를 이용하여 제작된 복합재의 총방출열량 및 최대 열방출율의 결과는 다음과 같이 측정되었다.

	R3	FR3-A	FR3-B	FR3-D	FR3-M	FR3-D-M
THR(MJ/m^2) ≤ 8MJ/m^2	65.25	43.59	46.75	42.58	36.54	30.77
HRR(kW/m^2) ≤ 200KW/m^2	x	o	o	o	o	o

b. 한계산소지수(LOI) 측정법

LOI는 고분자 재료의 연소성 및 난연성을 평가하는 지수로서 재료가 연소를 지속하는데 필요한 최저의 산소의 양을 말한다. 일반적으로 LOI는 고분자 물질의 난연성을 평가하는데 반드시 측정하는 기준으로 이용된다. 일반적으로 고분자 재료의 LOI가 21%이상의 값을 가질 경우 그 재료는 난연성을 갖는다고 제시하고 있으며 LOI가 클수록 고분자 재료의 난연성은 우수하다. 산소지수 (oxygen index, OI)는 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$LOI\ [\%] = \frac{[O_2]}{[N_2]+[O_2]} \times 100$$

그림 47 LOI 측정과정

한계산소지수 측정법에 의한 결과 목분과 pp에 사용된 난연제는 모두 난연성 범주에 속하는 것으로 분석되었다.

	불꽃안	불꽃밖	LOI
가연성	o	o	20↓
난연성	o	힘들게 꺼지는 것	20-25
내연성	o	꺼지는 것	25↑
불연성	x	x	

표 19 LOI에 따른 연소의 성질

1) FR3-A / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	21.0	21.2	21.4	21.6	21.6	21.4	21.6	21.4	21.2
Burning period (s)	<180	<180	<180		>180	<180	>180	>180	<180
Length burnt (mm)	<50	<50	<50		>50	<50	>50	>50	<50
Response	O	O	O		x	O	x	x	O
k value from ISO 4589-2 Table 4 : 1.25									
					Hence C_f = 21.2 k = 1.25				

· $OI = C_f + k \times d = 21.2 + (1.25 \times 0.2) = 21.45$

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\Sigma(ci - OI)^2}{n-1}\right]^{1/2} = \left[\frac{0.1150}{5}\right]^{1/2} = 0.151\,66$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.101\,11 < d < 0.227\,49 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 10 ㎜ × 120 ㎜ × 4.5 ㎜ / Weight : 5.6 g	OI	21.4

2) FR3-B / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	23.0	22.8	22.6		22.6	22.8	22.6	22.4	22.6
Burning period (s)	>180	>180			<180	>180	>180	<180	<180
Length burnt (mm)	>50	>50			<50	>50	>50	<50	<50
Response	×	×			O	×	×	O	O
k value from ISO 4589-2 Table 4 : 0.14									
					Hence C_f = 22.6 k = 0.14				

· OI = $C_f + k \times d$ = 22.6 + (0.14 × 0.2) = 22.63

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\Sigma(ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1135}{5} \right]^{1/2} = 0.150\,67$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.100\,45 < d < 0.226\,00 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 10 ㎜ × 120 ㎜ × 4.5 ㎜ / Weight : 6.2 g	OI	22.6

3) FR3-D / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	27.0	27.2	27.4		27.4	27.2	27.4	27.2	27.4
Burning period (s)	<180	<180			>180	<180	>180	<180	<180
Length burnt (mm)	<50	<50			>50	<50	>50	<50	<50
Response	O	O			×	O	×	O	O
k value from ISO 4589-2 Table 4 : 0.04									
					Hence C_f = 27.4 k = 0.04				

· OI = $C_f + k \times d$ = 27.4 + (0.04 × 0.2) = 27.41

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum(ci - OI)^2}{n-1}\right]^{1/2} = \left[\frac{0.1300}{5}\right]^{1/2} = 0.161\,24$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.107\,49 < d < 0.241\,85 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 10 ㎜ × 120 ㎜ × 4.5 ㎜ / Weight : 5.5 g	OI	27.4

4) FR3-M / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	26.0	26.2			26.2	26.0	26.2	26.4	26.2
Burning period (s)	<180				>180	<180	<180	>180	>180
Length burnt (mm)	<50				>50	<50	<50	>50	>50
Response	O				×	O	O	×	×
k value from ISO 4589-2 Table 4 : -0.17									
					Hence C_f = 26.2 k = -0.17				

· $OI = C_f + k \times d = 26.2 + (-0.17 \times 0.2) = 26.17$

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\sum(c_i - OI)^2}{n-1}\right]^{1/2} = \left[\frac{0.1133}{5}\right]^{1/2} = 0.150\,56$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.100\,37 < d < 0.225\,83 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 10 ㎜ × 120 ㎜ × 4.2 ㎜ / Weight : 5.4 g	**OI**	**26.2**

5) R3 / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	20.0	19.8			19.8	20.0	20.2	20.0	19.8
Burning period (s)	>180				<180	<180	>180	>180	<180
Length burnt (mm)	>50				<50	<50	>50	>50	<50
Response	×				O	O	×	×	O
k value from ISO 4589-2 Table 4 : 0.83									
					Hence C_f = 19.8 k = 0.83				

· OI = $C_f + k \times d$ = 19.8 + (0.83 × 0.2) = 19.97

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\Sigma(ci - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1133}{5}\right]^{1/2} = 0.150\,56$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.100\,37 < d < 0.225\,83 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 10 ㎜ × 120 ㎜ × 4.2 ㎜ / Weight : 5.1 g	OI	20.0

6) FR3-D-M / 산소지수

시험결과 (Test Result)

· N_T series measurements

N_L series measurements (8.6.1 and 8.6.2)					(8.6.3)				C_f
Oxygen Concentration (%)	29.6	29.8	30.0		29.8	30.0	29.8	29.6	29.8
Burning period (s)	<180	<180			>180	<180	>180	<180	<180
Length burnt (mm)	<50	<50			>50	<50	>50	<50	<50
Response	O	O			×	O	×	O	O
k value from ISO 4589-2 Table 4 : 0.15									
					Hence C_f = 29.8 k = 0.15				

· OI = C_f + k × d = 29.8 + (0.15 × 0.2) = 29.83

· Verification of step size d% oxygen concentration

$$\sigma = \left[\frac{\Sigma(a_i - OI)^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{0.1300}{5}\right]^{1/2} = 0.161\,24$$

$$\frac{2\sigma}{3} < d < \frac{3\sigma}{2} = 0.107\,49 < d < 0.241\,85 \Rightarrow \text{OI is valid}$$

· Specimen Size : 10 ㎜ × 120 ㎜ × 4.5 ㎜ / Weight : 5.5 g	OI	29.8

또한 목분과 pp에 각각 선정된 난연제를 이용하여 제작된 복합재의 한계산소지수의 결과는 다음과 같이 측정되었다.

	R3	FR3-A	FR3-B	FR3-D	FR3-M	FR3-D-M
LOI(%)	20	21.4	22.6	27.4	26.2	29.8

나. 시제품 환경내구성 확보

(1) 환경마크

환경표지제도는 동일 용도의 제품 중 생산 및 소비자과정에서 오염을 상대적으로 적게 일으키거나 자원을 절약할 수 있는 제품에 환경표지를 표시하여 제품에 대한 정확한 환경정보를 소비자에게 제공하고, 기업으로 하여금 소비자의 선호에 부응하여 환경제품을 개발, 생산하도록 유도하는 제도이다. 1979년 독일에서 처음 시행된 이 제도는 현재 유럽연합(EU), 북유럽, 캐나다, 미국, 일본 등 현재 40여개 국가에서 성공적으로 시행되고 있으며, 우리나라는 1992년 4월부터 시행하고 있으며 기업과 소비자가 환경친화적인 제품을 생산, 소비할 수 있도록 소비자에게는 정확한 제품의 환경정보를 제공하여 환경보전활동에 참여토록 하고, 기업에게는 소비자의 친환경적 구매욕구에 부응하는 환경친화적인 제품과 기술을 개발하도록 유도하여 지속 가능한 생산과 소비생활을 이루고자 하는 시행중이다.

환경마크 인증을 위해서는 제품생산이 기본이 되어야 하며 인증신청서 접수시 제품생산이 이루어 지는 신청업체에 현장심사를 통해 제품의 재료가 되는 시료채취가 이루어 지며 시험분석과 인증기준 적합여부를 통해 인증결과가 통보된다. 이에 3차년도 연구결과를 바탕으로 환경내구성 확보를 위해 환경마크 인증을 목표로 참여기업과 협의중에 있다.

분야	비고	중분류	소분류
1. 사무용기기·가구 및 사무용품	문구류,사무용기기류,사무용 가구류 등	3개	21개
2. 주택·건설용 자재·재료 및 설비	전기자재류,수도·배관 자재류,설비류 등	4개	42개
3. 개인용품 및 가정용품	세재류,섬유·가죽류,기타 잡화류 등	3개	18개
4. 가정용 기기,가구	전기 기기류,전자 기기류,가구류 등	3개	13개
5. 교통,여가,문화 관련 제품	자동차 관련 제품류,여가·문화 관련 제품류	2개	12개
6. 산업용 제품,장비	원료·자재류,조립 제품·장비류 등	2개	14개
7. 복합 용도 및 기타	에너지 및 대체 에너지 사용 제품류,플라스틱·고무·목재 제품류,금속·무기재료·요업 제품류 등	4개	24개
8.서비스	숙박시설 운영업 등	2개	2개

표 20 환경마크 인증범위

다. 시제품 물성 확보

본 연구의 핵심은 폐목분의 표면개질을 통해 난연성을 갖는 건축내장재의 제작에 있다. 이러한 목표를 기준으로 난연제의 침투량과 난연성 평가를 통해 목분과 pp의 난연제를 각각 선정하고, 플라즈마 처리를 통해 난연처리된 목분의 표면을 개질하여 펠렛을 제작하여 기계적 물성 평가를 위한 시편을 사출하여 제작하였다.

기계적 물성을 평가하기 위해 사출기를 사용하여 시편을 제작하였다. 사출기는 우진세렉스의 모델명 NE55으로 사출압은 65bar, 온도는 펠렛제작시와 마찬가지로 185~195℃ 내로 유지하였다. 단, 펠렛의 투입구와 재료가 금형과 만나는 노즐 초입의 온도는 200~210℃로 설정하여 노즐의 막힘이 없이 사출을 진행시켰다. 한번의 사출을 통해 그림 48의 금형을 통해 그림 49과 같은 시편을 얻을 수 있었다.

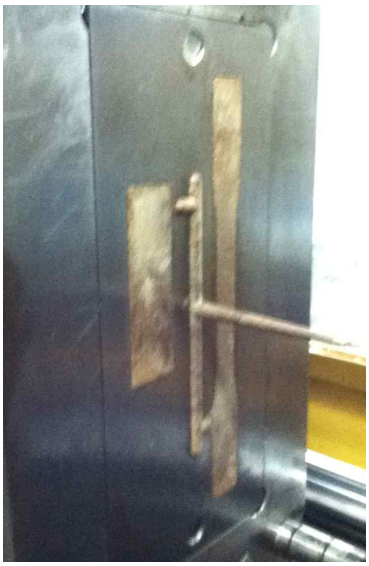


그림 48 사출금형

그림 49 사출시편

- 밀도측정 : 압축성형으로 제작된 복합재의 밀도 측정 결과 PP 100%에 비해 밀도가 평균 19% 정도 높게 나타났다. 이것은 목분이 복합재의 55wt%를 차지하고 있어 밀도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

	부피(㎤)	질량(g)	밀도(g/㎤)
PP	6.45	5.56	0.86
H1	6.51	6.62	1.02
H2	6.51	6.60	1.01
H3	6.44	6.72	1.04
H4	6.43	6.63	1.03
H5	6.42	6.68	1.04
PH1	6.52	6.54	1.00
PH2	6.52	6.55	1.01
PH3	6.41	6.66	1.04
PH4	6.58	6.69	1.02
PH5	6.56	6.81	1.04
R1	6.54	6.82	1.04
R2	6.52	6.80	1.04
R3	6.55	6.82	1.04
R4	6.53	6.79	1.04
R5	6.50	6.77	1.04
PR1	6.56	6.65	1.01
PR2	6.58	6.66	1.01
PR3	6.61	6.68	1.01
PR4	6.55	6.64	1.01
PR5	6.51	6.91	1.06

표 21 복합재의 밀도

- 인장강도 : 인장강도시험은 그림 18과 같이 ASTM D 638 방법에 의해 인장강도와 인장탄성계수를 측정하였다. 각 조건당 5회 반복하여 평균값을 구하였으며, 이때의 하중은 10톤이었으며, 인장속도는 5mm/min으로 하였다.

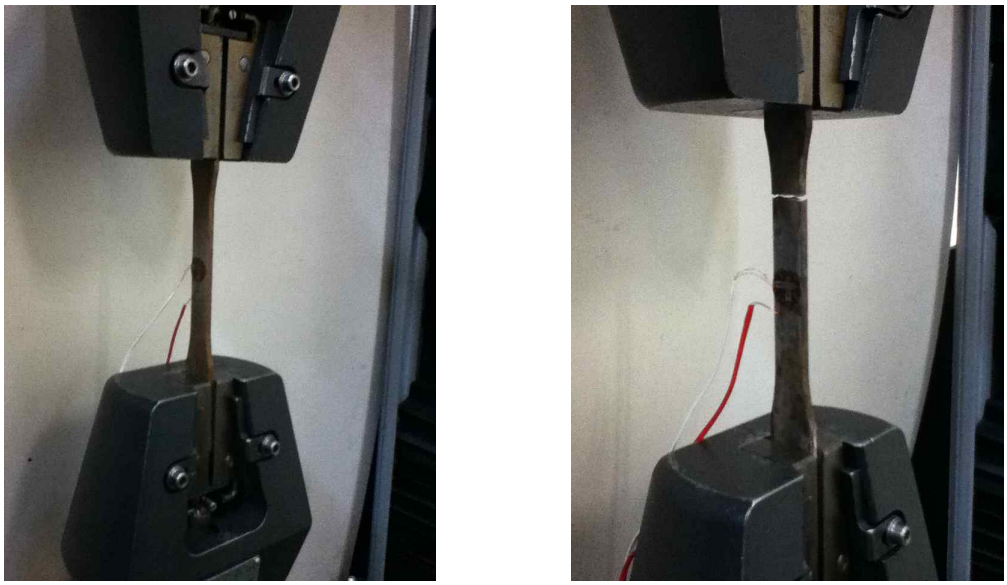


그림 50 인장강도시험

그림 51 인장시편

- 목분의 플라즈마 표면개질에 따른 인장강도는 그림 52에서 보이듯이 측정되었다. 표면개질된 목분을 사용한 복합재의 인장강도가 플라즈마 처리를 하지 않은 목분을 사용한 복합재의 인장강도보다 높은 경향을 보인 것으로 보아 플라즈마를 이용한 표면처리는 목분의 종류에 상관없이 효과적임을 입증할수 있었다. 단일목분에 비해 폐목분의 인장강도가 낮은 이유는 폐목분에 함유되어 있는 수지 등의 이물질에 의한 계면결합력 약화 때문으로 판단된다. 후에 연구에는 폐목분의 이물질에 대한 처리방법에 대해 논의되어야 할 것이다.
- 또한 목분 입자의 사이즈에 대한 플라즈마 표면개질은 단일목분일때는 입자가 작을수록 인장강도가 높게 나왔으나, 폐목분일때는 중간사이즈에서 가장 높은 인장강도를 보였다. 이것은 목분의 입자가 작아질수록 목분의 표면에너지가 증가하여 PP와의 계면결합력이 증가하였기 때문으로 판단된다. 그리고 표면개질된 폐목분의 인장강도와 무처리 단일목분의 인장강도가 비슷한 값을 보이는 결과도 측정된 것으로 보아, 표면개질의 정도에 따라 폐목분의 단일목분 물성을 측정될수 있다고 판단된다. 이러한 결과를 얻기 위해서는 플라즈마 장치를 통해 목분의 표면개질을 연속적이며, 일정하게 유지하는 방

법이 개발되어야 할 것이다. 표면개질의 개발이 이루어진다면, WPC 생산을 위해 수종별로 분류를 하여 목분을 생산하는 현재의 시스템에서 다수의 폐목재를 수집하여 일괄 파쇄를 통해 목분을 생산하여도 표면개질을 통해 단일목분의 인장강도를 확보할수 있으므로 재료의 공급 시스템에 대한 공정비용 저감 및 폐자원 재활용을 통해 원가 절감을 이룰수 있다.

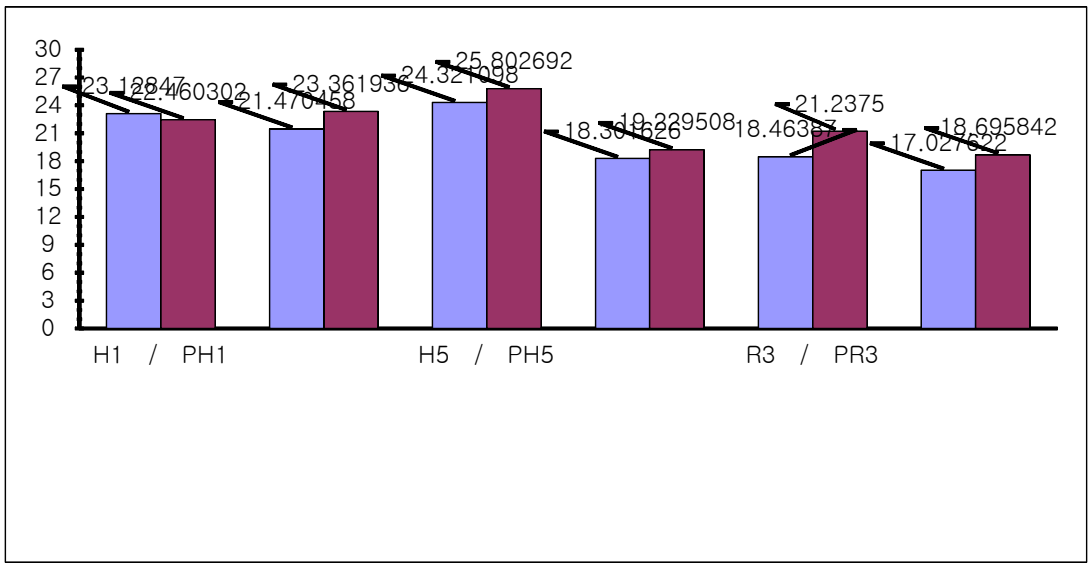


그림 52 각 조건별 인장강도 (MPa)

- 인장탄성계수는 그림 55과 같이 측정되었다. 인장강도와 같이 표면개질된 목분의 인장탄성계수가 높은 값을 보였다. 플라즈마 처리에 의해 표면이 개질된 결과이다.

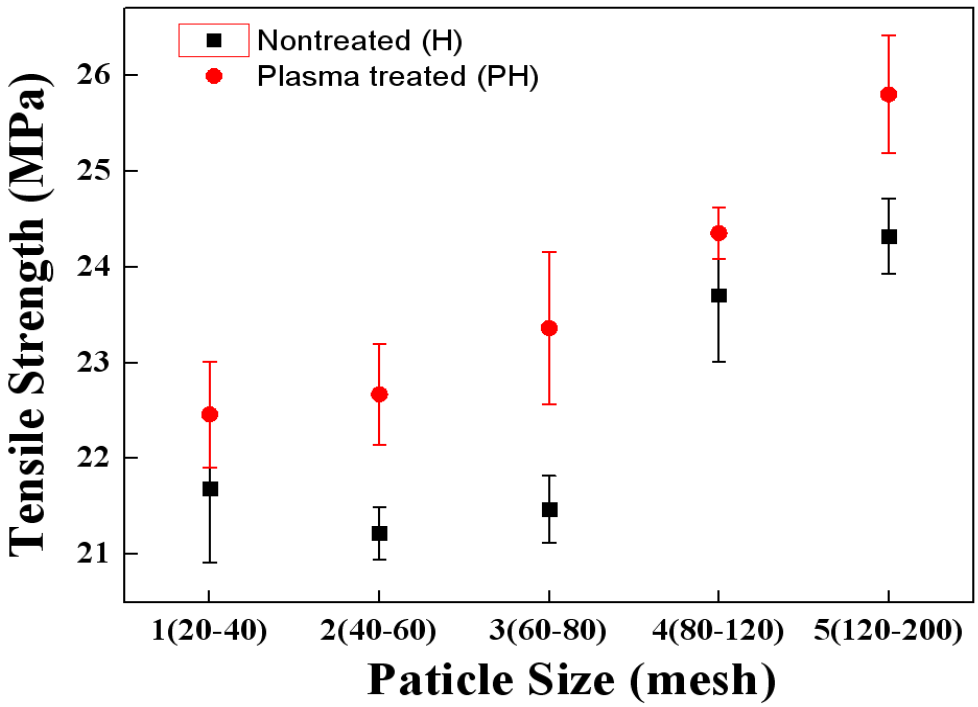


그림53 입자사이즈별 인장강도

목분의 파티클 사이즈에 따른 플라즈마 처리의 영향을 확인하기 위하여 분류된 목분을 이용하여 플라즈마 처리 후 복합재를 제작하여 인장시험을 진행하였다. 플라즈마 처리된 목분의 복합재는 무처리 목분 복합재보다 인장강도가 증가함을 보였다. 그러나 파티클 사이즈가 가장 작은 120~200mesh 목분을 이용하여 제작한 복합재는 약 6% 증가로 60~80mesh의 목분을 이용하여 제작한 복합재의 인장강도 증가율인 8.8%보다 낮았다. 일반적으로 파티클의 입자가 작아질수록 표면적은 커지면서 개질될 부분 또한 넓어지게 된다. 그러나 상온상압 플라즈마 처리의 경우 60~80mesh에서 가장 효과적이었다. 하지만 인장강도의 절대적 수치를 비교할때는 가장 작은 파티클의 인장강도가 가장 높았다.

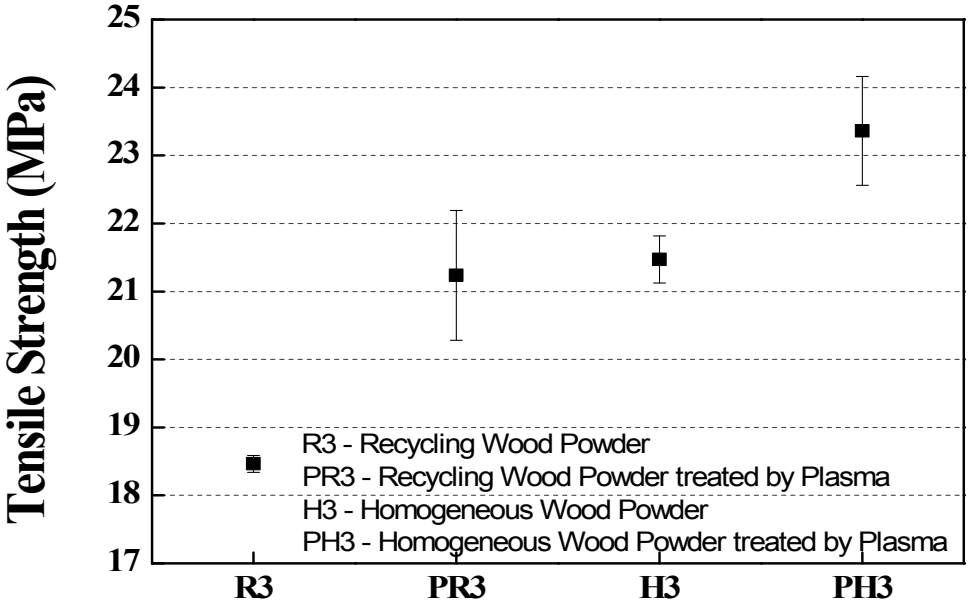


그림 54 표면개질에 따른 인장강도

표면처리 효과가 가장 좋았던 폐목분과 단일수종목분의 인장강도를 비교했을때, 단일수종목분을 이용한 복합재(H3)의 경우 21.5MPa로 폐목분을 이용한 복합재(R3)의 18.5MPa보다 16.2% 높은 값을 보였다. 폐목분으로 제작한 복합재의 인장강도가 단일수종목분으로 제작한 복합재의 인장강도보다 낮은 이유는 폐목분에 있는 이물질 때문이다. 이러한 이물질은 폐목분의 원료가 되는 생활폐목재 및 건설폐목재의 표면오버레이, 코팅, 접착체 등이며 폐목재의 재활용에 문제점으로 대두되고 있다. 또한 폐목분 활용범위를 넓히기 위해서는 강도 향상이 필수조건이며, 이러한 강도 향상을 위해 폐목분의 표면개질이 필요한 것으로 판단된다. 그리고 상압 플라즈마 장치를 이용하여 표면개질된 폐목분(PR3) 인장강도 역시 21.2MPa로 무처리 폐목분의 인장강도와 비교하여 14.6% 증가되는 것이 관찰되었다. 그리고 플라즈마 처리된 단일수종목분 역시 인장강도가 향상됨을 알수 있었으며 이로써 상압 플라즈마 장치는 목분의 표면개질에 효과적임을 확인할 수 있었다.

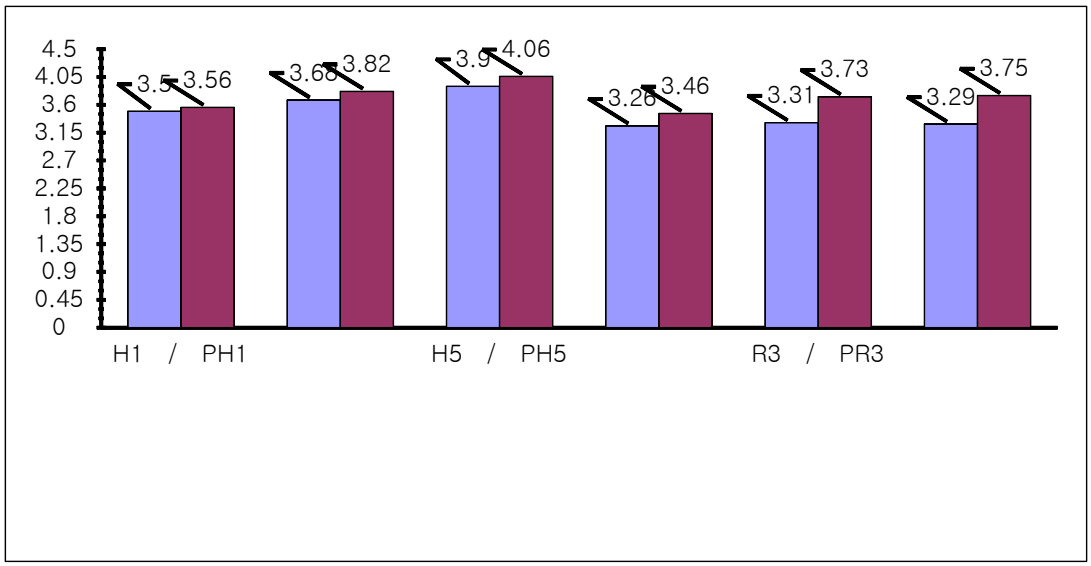


그림 55 플라즈마와 목분 사이즈별 인장탄성계수 (GPa)

- 굴곡강도 시험 : 휨강도 측정은 그림 과 같이 ASTM D 790 방법에 따라 굴곡강도와 굴곡탄성계수를 측정하였다. 각 조건당 5회 반복하여 평균값을 구하였으며, 이때의 하중은 10톤이었으며, 속도는 5mm/min으로 하였다.

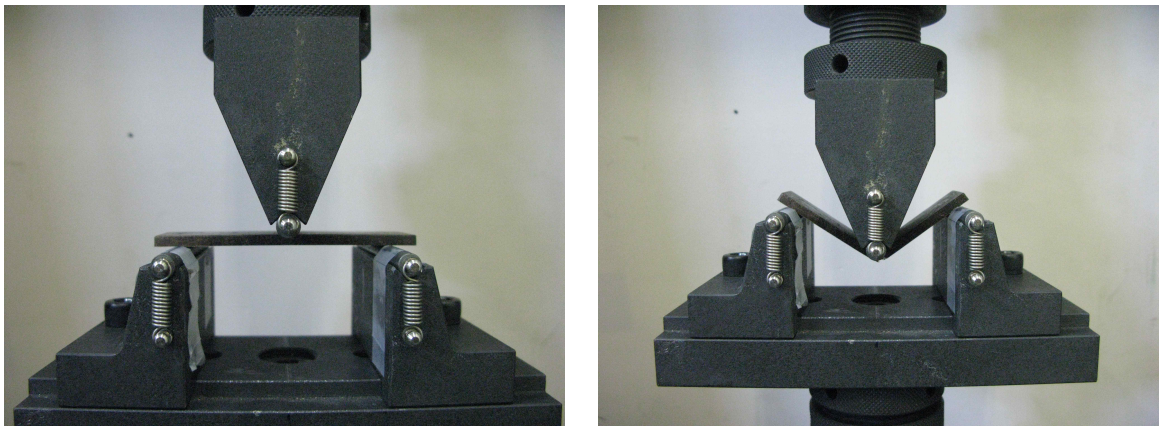


그림 56 굴곡강도시험

- 다음의 식으로 굴곡탄성계수는 계산되었다.

$$\text{굴곡탄성계수}(\text{N/㎟}) = \frac{\Delta PL^3}{4\Delta ybt^3}$$

ΔP : 비례한도 하중(N)

Δy : ΔP일 때의 스팬 중앙의 변형(㎜)

L : 스팬(㎜)

b : 시험편의 폭(㎜)

t : 시험편의 두께(㎜)

- 목분의 플라즈마 표면개질에 따른 굴곡강도는 그림 57에서 보이듯이 측정되었다. 표면개질된 목분을 사용한 복합재의 굴곡강도가 플라즈마 처리를 하지 않은 목분을 사용한 복합재의 굴곡강도보다 약간 높은 경향을 보인 것으로 보아 플라즈마를 이용한 표면처리는 목분의 종류에 상관없이 효과적임을 입증할수 있었다. 단일목분에 비해 폐목분의 굴곡강도가 낮은 이유는 폐목분에 함유되어 있는 수지 등의 이물질에 의한 계면결합력 약화 때문으로 판단된다. 후에 연구에는 폐목분의 이물질에 대한 처리방법에 대해 논의되어야 할 것이다.

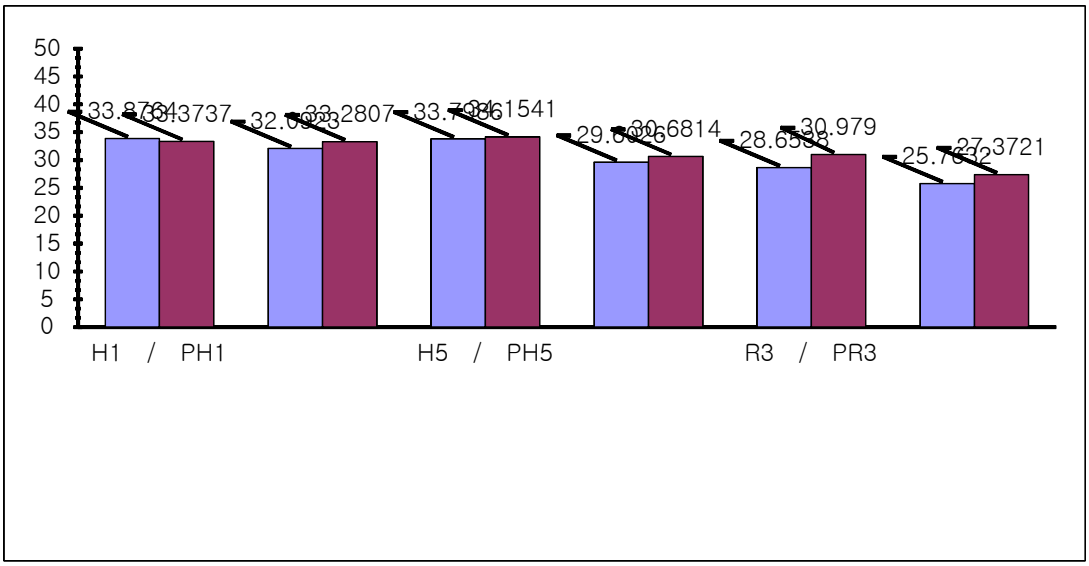


그림 57 각 조건별 굴곡강도 (MPa)

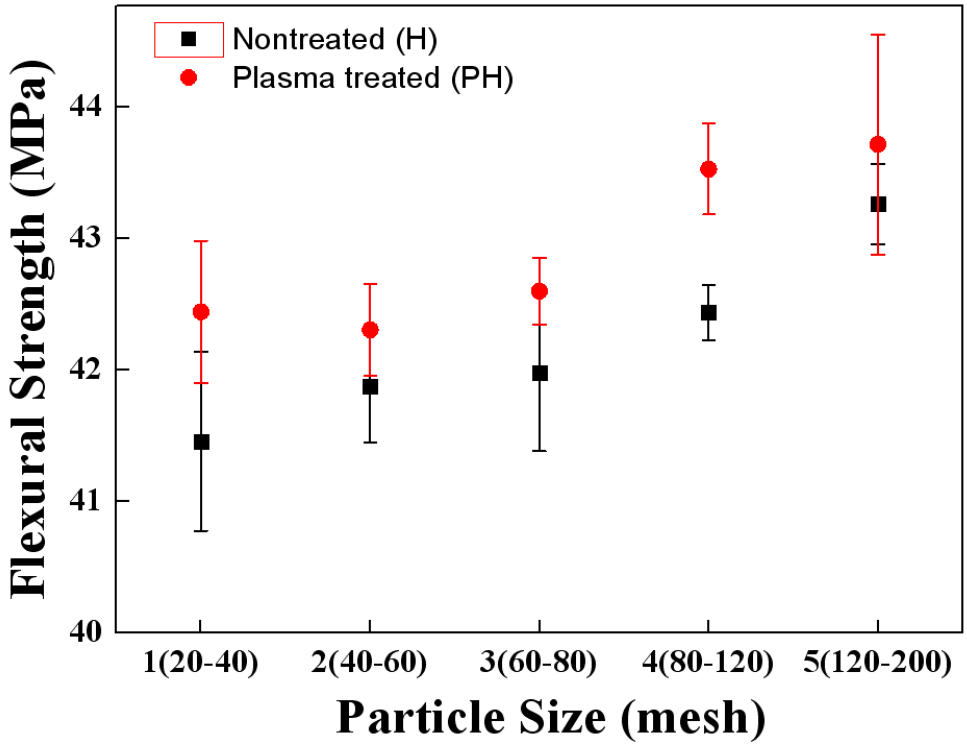


그림 58 입자사이즈별 굴곡강도

플라즈마 처리된 목분의 복합재는 무처리 목분 복합재보다 굴곡강도가 증가함을 보였다. 그러나 파티클 사이즈가 가장 작은 120~200mesh 목분을 이용하여 제작한 복합재는 약 1% 증가로 60~80mesh의 목분을 이용하여 제작한 복합재의 굴곡강도 증가율인 3.7%보다 낮았다. 인장강도와 마찬가지로 60~80mesh에서 가장 효과적이었다.

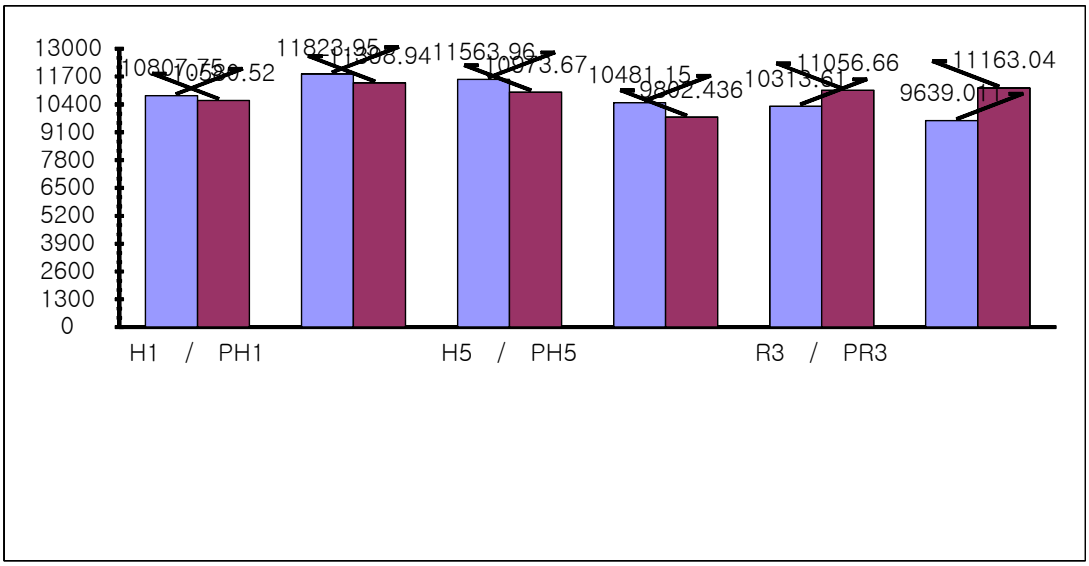


그림 59 각 조건별 굴곡탄성계수 (N/㎟)

- 수분흡수율 : 수분흡수율 시험은 80℃에서 24시간 동안 건조시킨 시편을 상온의 물속에 다른 시간 조건에 따라 유지시켰으며, 주어진 시간마다 꺼내어 표면의 흐르는 수분을 제거하여 시편의 무게와 두께를 측정한 후 다시 물속에 보관하였다. 수분 흡수도 측정은 각 시편 당 5회 반복실험을 하였고 다음과 같은 식을 이용하여 얻어졌다.

$$\text{수분흡수도} \quad WA(\%) = (We - Wo)\,Wo \times 100$$

We = 침지 후 시편의 무게(g)
Wo = 침지 전 시편의 무게(g)

	H1	PH1	R1	PR1
1일	1.5	0.1	1.8	0.12
3일	2.4	0.8	2.6	1.08
5일	3.4	1.5	3.4	2.1
7일	4.5	1.8	5.7	2.8
9일	5.8	2.3	6.3	3
11일	6.1	3	7.1	3.5
13일	6.8	3.4	7.5	3.6
15일	6.9	3.5	8	3.69

표 22 목분사이즈별 수분흡수율

	H2	PH2	R2	PR2
1일	1.2	0.1	1.6	0.11
3일	1.8	0.7	2.1	1.05
5일	2.8	1.5	3.5	1.95
7일	3.8	1.5	3.8	2
9일	4.1	2	4.1	2.88
11일	4.5	2.9	4.6	3
13일	5.8	3.1	5.0	3.4
15일	6.4	3.3	5.7	3.51

표 23 목분사이즈별 수분흡수율

	H3	PH3	R3	PR3
1일	1	0.08	1.4	0.08
3일	1.5	0.2	1.8	0.23
5일	2	0.5	3.1	0.58
7일	3	0.65	3.7	0.7
9일	3.2	0.74	3.9	0.86
11일	3.8	0.88	4.1	0.98
13일	4.1	0.95	4.9	1.03
15일	4.5	1.01	5.1	1.19

표 24 목분사이즈별 수분흡수율

	H4	PH4	R4	PR4
1일	1.1	0.07	1.4	0.07
3일	1.4	0.18	1.86	0.21
5일	1.8	0.45	3	0.55
7일	2.5	0.6	3.65	0.68
9일	3.4	0.71	3.9	0.8
11일	3.5	0.8	4.1	0.91
13일	4	0.88	4.6	1.1
15일	4.3	0.95	4.8	1.01

표 25 목분사이즈별 수분흡수율

	H5	PH5	R5	PR5
1일	0.9	0.07	1.32	0.08
3일	1.3	0.15	1.62	0.31
5일	1.9	0.4	2.7	0.6
7일	2.3	0.54	3	0.67
9일	3.2	0.61	3.2	0.81
11일	3.4	0.79	3.8	0.9
13일	3.8	0.85	3.8	1.3
15일	4.1	0.9	3.9	1.15

표 26 목분사이즈별 수분흡수율

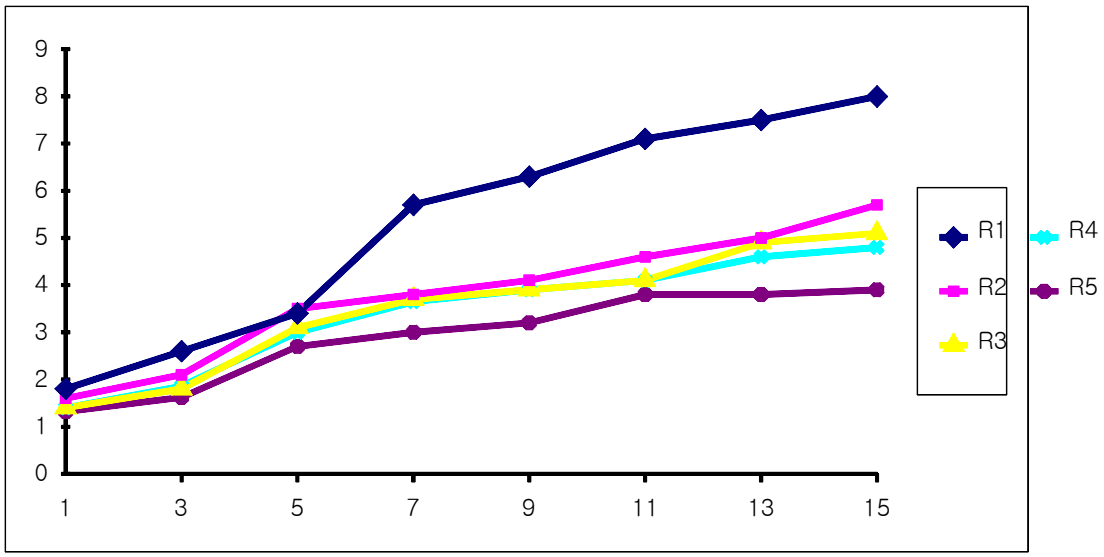


그림 60 목분 사이즈별 수분흡수율

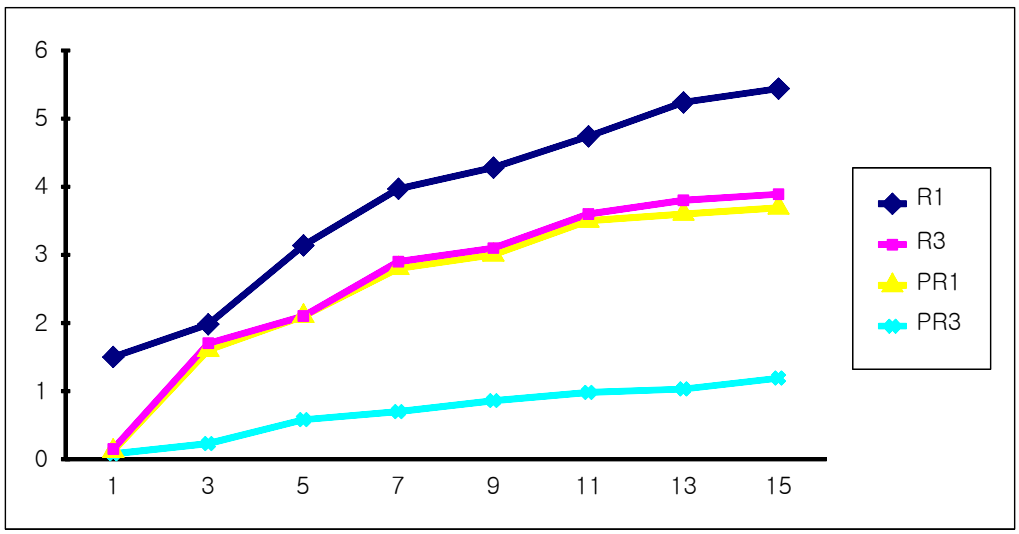


그림 61 플라즈마 표면개질에 따른 수분흡수율

- 수분흡수율은 목분의 사이즈가 작아질수록 낮은 경향을 나타냈으며, 플라즈마처리로 표면개질된 경우 무처리 목분보다 수분흡수율이 적은 것 관찰할 수 있었다. 이것은 표면개질된 목분과 PP의 계면결합력이 증가하여 분산이 잘되어 치수안정성을 높였기 때문이라고 판단된다. 건축 내장재로서 치수안정성은 매우 중요하며 수분에 의한 변화가 적다면 강도 문제만 해결된다면 외장재로서의 활용도도 기대할수 있을 것이다. 그러나 단일수종목분과 폐목분으로 분류되는 목분의 종류에 따른 수분흡수율은 차이점이 없었다.

- 충격강도 시험 : 충격강도 측정은 그림 과 같이 ASTM D 256 방법에 따라 충격강도를 측정하였다. 각 조건당 5회 반복하여 평균값을 구하였다.

그림 62 목분 종류별 충격강도

충격강도는 목분의 입자가 작아질수록 낮아지는 경향을 보였다. 또한 플라즈마처리에 의해 표면개질된 경우 무처리 목분보다 높은 충격강도를 보였다.

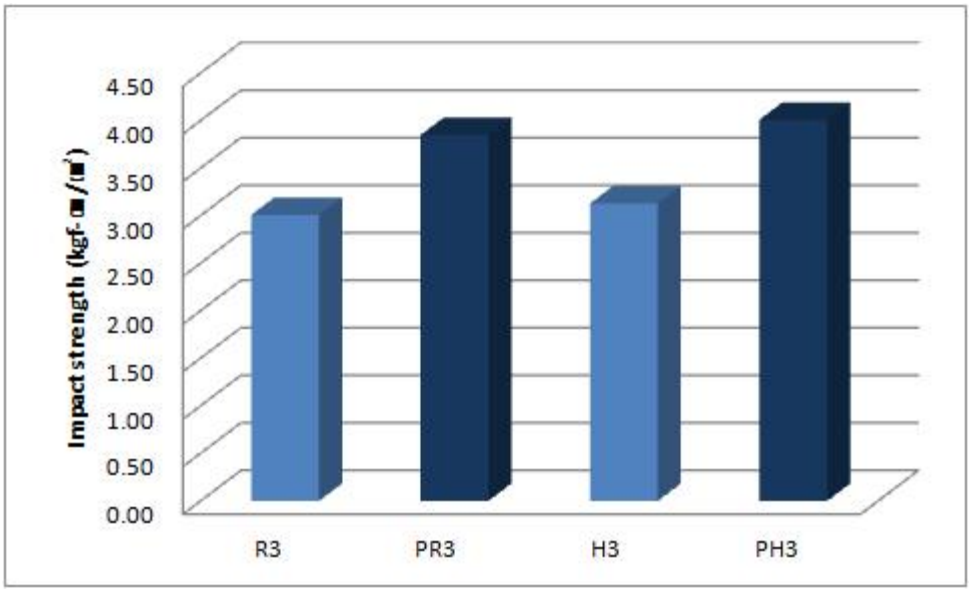


그림 63 표면개질에 따른 충격강도

- 현재 WPC를 각 용도별에 대한 상세한 기준은 명시되어 있지 않으나, 향후 활용도를 높이기 위한 기초 데이터를 구축하기 위해, 습윤시 휨강도 및 내후성 평가는 파티클보드의 평가에 사용되는 KS F3104에 의해 다음표와 같은 조선으로 추후 진행하기로 하였다.

시험 항목	시험편의 치수 mm	1매의 판에서 채취한 시험편의 개수
밀 도	100×100	1
함 수 율	밀도를 측정한 시험편	1
휨 강도	나비 50×길이[스팬([10])+50]	세로 방향 1, 가로 방향 1
습윤시 휨 강도	나비 50×길이[스팬([10])+50]	세로 방향 1, 가로 방향 1
흡수 두께 팽창률	50×50	1
박리 강도	50×50	1
나사못 유지력	50×100	평면 1, 측면 1
포름알데히드 방산량	50×150	단면을 포함한 시험편의 전 표면적이 1 800 cm^2에 있는 매수(단 매수는 반올림한 것.)를 사용한다.
평면 인장 강도	50×50	1
내충격성	300×300	1
내 산 성	100×100	1
내알칼리성	100×100	1
내오염성	100×100	1
내변퇴색성	150×150	1([11])
내긁힘성	50×50	1
단 열 성	900×900	1
난 연 성	220×220	1

(1) 난연제 종류에 따른 물성 비교

목분의 난연제인 DAP와 붕계 혼합물을 이용하여 제작된 복합재는 각각 FR3-D와 FR3-B로 표기하였으며, pp의 난연제인 APP와 수산화마그네슘을 이용하여 제작된 복합재는 각각 FR3-A와 FR3-M으로 표기하였다. 그리고 무처리 폐목분과 비교한 결과 난연처리되 목분을 사용한 복합재의 기계적 물성은 약간 감소하는 경향을 보였다.

	인장강도 (MPa)	인장모듈러스 (MPa)	굴곡강도 (MPa)	굴곡모듈러스 (MPa)	충격강도 (kgf·㎝/㎠)
R3	18.46	4.41	35.98	3808.83	3.01
FR3-A	17.51	4.19	34.36	3259.40	3.13
FR3-B	17.67	5.42	36.05	4680.11	3.01
FR3-D	16.94	4.76	33.83	3863.43	3.16
FR3-M	20.04	5.40	38.22	4813.57	3.26
FR3-D-M	18.98	5.02	36.36	4016.58	3.15

표 27 난연처리된 목분의 물성

(2) 플라즈마 처리에 의한 표면개질에 따른 물성 비교

플라즈마 처리에 의한 표면개질 효과를 비교하기 위해 폐목분, 단일수종에 각각 플라즈마 처리와 난연처리를 거쳐 복합재를 제작하였다. 또한 난연처리된 목분의 표면개질을 통해 기계적 물성의 향상을 예상한 결과 강도 증가를 관찰할수 있었다. 이것으로 플라즈마 처리는 난연처리된 목분의 표면개질에도 효과적임을 입증할수 있었다.

	인장강도(MPa)	굴곡강도(MPa)	충격강도 (kgf·㎝/㎠)
R3(55)	18.464	35.976	3.01
PR3(55)	21.238	39.449	3.85
H3(55)	21.47	41.078	3.13
PH3(55)	23.362	42.599	4.01
FR3-D(55)	16.944	33.832	3.16
FR3-A(55)	17.517	34.359	3.18
FR3-D-M(55)	18.98	36.36	3.15
PFR3-D-M(55)	21.56	38.92	3.56

표 28 난연처리-플라즈마처리된 복합재의 물성

본 연구에서 제작한 친환경 복합재료와 기존 건설자재와의 비교는 현재 가장 유사한 제품인 목재 플라스틱 복합재 바닥판의 시험규격(KS F3230)의 기준치를 비교하는 것으로 대신하였다. KS F3230은 옥외용 바닥판으로 규정되어 있어 본 연구에서 제작한 플라즈마 처리한 목분을 사용한 친환경 복합재료와는 성격이 다르나 기준이 되는 굴곡 최대하중과 수분흡수율, 충격강도 모두 만족하는 값을 보였다. 또한 무처리 폐목분과 단일수종은 굴곡 최대하중에서 기준에 미치지 못했으나, 플라즈마 처리후 굴곡 최대하중 값이 증가하는것을 확인하였으며, 단일수종의 경우 기준을 만족시켰다. 이것은 KS F3230의 경우 옥외용 바닥판이기 때문에 인장강도보다 굴곡강도를 중요시하기 때문이다. 그리고 플라즈마 처리에 의해 소수성으로 표면개질된 목분의 수분흡수율은 기준에 비해 효과적임을 확인하였다.

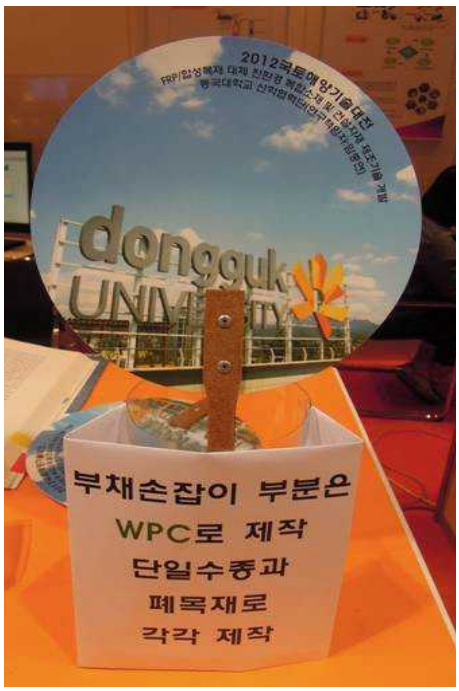
시험항목		품질기준		적용항목
비중		0.8～1.5		7.1
굴곡 최대 하중(N)		H, H-T	3 000 이상	7.2
		S, S-T	3 400 이상	
굴곡 크리프 변형(%)		H, H-T	0.20 이하	7.3
		S, S-T	0.25 이하	
충격저항성	실온조건	이상이 없을 것		7.4
	저온조건	이상이 없을 것		
충격강도(kJ/m^2)		3.0 이상		7.5
뒤틀림성(%)		2.0 이하		7.6
나사못 유지력(N)		H, H-T	400 이상	7.7
		S, S-T	780 이상	
미끄럼 저항성(C.S.R)		0.40 이상		7.8
수분 흡수율	중량변화(%)	8.0 이하		7.9
동결융해	최대 굴곡 하중변화율(%)	초기 90 이상		7.10
길이선열팽창계수(1/℃)		S-T, H-T	3.0×10^{-5} 이하	7.11
		S, H	6.0×10^{-5} 이하	
내후성	충격강도 변화율(%)	초기 80 이상		7.12
유해물질 용출량(mg/L)	비소(As)	0.1 이하		7.13
	카드뮴(Cd)	0.1 이하		
	크롬(Cr)	0.1 이하		
	납(Pb)	0.1 이하		
	수은(Hg)	0.005 이하		
폼알데하이드 방산량(mg/L)		1.5 이하		7.14
난연성	탄화길이(cm)	20 cm 이하		7.15
	나머지 불꽃(초)	10초 이하		

	합성목재 대체 친환경 복합소재				목재 플라스틱 복합재 바닥판
	R3	PR3	H3	PH3	
굴곡 최대하중 (N)	2971.9	3386.8	3370.2	3535.8	3400 이상
충격강도 (kJ/㎡)	3.01	3.85	3.13	4.01	3.0 이상
수분흡수율 - 중량변화(%)	17.7	1.1	12.6	1.0	8.0이하

4. 연구개발 홍보

가. 2012 국토해양기술대전

- 행사명칭 : 2012 국토해양기술대전
- 일시 : 2012. 6. 7.~ 2012. 6. 9.
- 장소 : 서울 코엑스
- 기술 홍보용 부채 제작 : 손잡이 부분을 단일수종과 폐목재로 제작한 복합재사용



제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 연구개발 목표

1. 연구목표 및 내용

연구목표		연구내용
1차년도	천연섬유 특성 조사	- 천연섬유 시장과 활용도 파악 - 다양한 천연섬유의 접근성 확보
	복합재료 시스템 설계 방안	- 천연섬유 전처리 연구 - 천연섬유 표면 개질 연구 - 고분자 물성 평가 - 금형 설계 및 제작 - 복합재 성형공정 개발
	천연섬유 전처리 연구	- 천연섬유 표면 개질을 위한 전처리 연구 - 천연섬유 본래의 물성을 유지 - 다양한 천연섬유에의 적용
	천연섬유 개질 요소 연구	- 고분자와 천연섬유의 계면 결합력 향상 - 커플링 에이전트를 통한 표면 개질 - 플라즈마 처리를 통한 표면 개질
	복합재의 난연성 확보 연구	- 친환경 난연제 - 난연제 함량이 높은 복합재료를 위한 혼합기술 개발
	상온상압 플라즈마 코팅기 설계	- 플라즈마 장치의 요구사항 - 플라즈마 장치 개략도 설계
2차년도	목분 복합소재 계면 특성 향상 기술 확보	- 목분 표면 개질 - 고분자 종류별 계면 적합성 연구 - 표면에너지 측정 - 상온상압 플라즈마 Lab Scale 장치 제작
	목분의 첨가에 의한 물리적 영향 연구	- 목분의 uniform distribution 연구 - 목분 특성에 따른 영향 연구
	목분 복합재의 성형 조건 파악	- 금형 설계 및 제작 - 최적 heating 장치 설계 및 제작 - 목분 30~50%의 시제품 성형 및 기계적 특성 평가 - 목분의 난연 처리 및 성능 평가 - 프리폼용 제조 기술 확보
3차년도	상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화	- 연속 플라즈마 장치 설계도면 개발 - 상용화 장치를 이용한 목분 표면개질 - 플라즈마 표면개질 메커니즘 규명
	최적 제조공정 확립	- Twin screw extruder 공정변수 조건 확립 - Injection molding machine 제조공정 조건 확립 - 목분 사이즈별, 함량별 물성평가
	시제품 제작 및 평가	- 시제품 기계적 물성 분석 - 난연성 평가 분석 - 환경마크 인증

2. 성과목표 및 성과지표

가. 성과양적목표

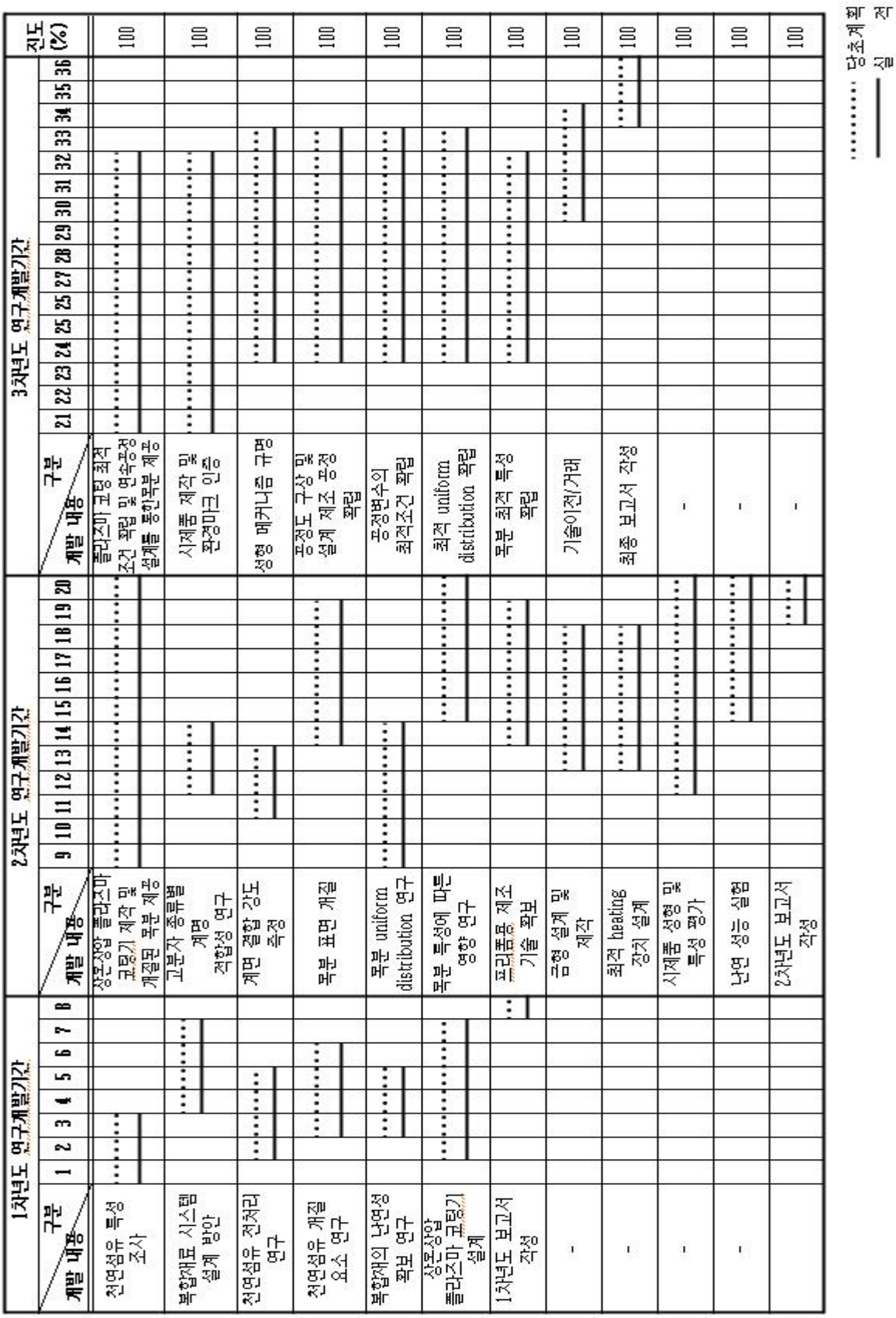
목표	목표건수	달성건수	가중치
학술회의 발표논문	5	5	0.15
학술지 게재논문	6	6	0.15
기술이전 / 거래	1	1	0.1
시제품 출시 건수	1	1	0.1
환경마크획득	1	0	0.1
연구장비구축실적	2	2	0.2
특허출원 / 등록	1	1	0.1
연구개발홍보(국제부품소재산업전참가)	1	1	0.1

나. 성과질적목표

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	달성치	가중치
상온상압플라즈마 lab scale 제작	lab scale 장치제작을 위한 설계도면 개발	상세설계도면 작성여부 및 최적설계 확인	90%	95%	0.1
상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화	상용화를 위한 설계도면 개발	상세설계도면 작성여부 및 최적설계 확인	90%	100%	0.1
상온상압플라즈마 장치를 이용한 목분의 표면 개질	상용화장치를 이용한 목분 플라즈마 처리	표면개질된 목분으로 제작된 복합재와 무처리 목분으로 제작된 복합재 제작	40건	40건	0.05
표면개질 메커니즘 규명	메커니즘 공정도 구상	공정도 작성여부 및 최적설계 확인	1건	1건	0.1
표면개질을 위한 monomer 선정	monomer 조건 및 종류를 이용한 PP film의 플라즈마 처리 실시	접촉각 측정을 통한 표면에너지 계산으로 표면개질 확인 및 monomer 선정	5건	7건	0.05
복합재 제작에 미치는 목분의 특성 연구	체진동기를 활용한 목분의 분류	입도분석을 통한 체진동기의 활용도 평가	90%	90%	0.05
	목분 함량별 물성평가비교	복합재 제작을 통한 물성비교	90%	90%	0.05
복합재 물성에 영향을 미치는 목분의 uniform distribution 기술 확보	extruder를 이용한 펠렛제작	복합재 단면 관찰을 통한 분산도 확인	90%	93%	0.05
Extruder의 공정변수 최적조건 확립	목분입자에 따른 screw 사이즈, 회전속도, 온도 조건	조건별 펠렛 제작	90%	90%	0.05
Injection molding machine의 제조공정조건 확립	Injection의 screw 회전속도, 사출압, 보압, 온도 조건	시편 사출을 통한 복합재 제작	90%	90%	0.05
재료의 리싸이클 활용방안	폐목분 및 폐PP사용	Homo-PP를 사용한 복합재와 비교분석	90%	90%	0.05
시제품 제작을 위한 압축성형용 금형 제작	복합재 제작을 위해 설계된 금형의 제작도면 제작	설계 제작된 금형을 이용한 복합재 제작	1건	1건	0.06
시제품 물성 확보	복합재의 밀도, 인장강도, 휨강도, 수분흡수율	ASTM 시험방법을 통한 밀도, 인장강도, 휨강도, 수분흡수율 측정	90%	90%	0.06
시제품 환경내구성 확보	환경마크 인증	환경마크 인증	1건	0건	0.06
시제품 난연성 확보	복합재의 난연 2등급 확보	Cone Calorimeter법 및 KS F2271법을 이용한 측정	90%	90%	0.06
비용절감효과	생산 및 공정비용 절감효과	생산 및 공정비용 절감액	90%	90%	0.06

제2절 연구목표의 달성도

1. 연구개발수행 진도율



2. 연구개발 목표의 달성도

목 표		달성도 (%)	내 용
1차년도	천연섬유 전처리 연구	100	- 천연섬유 표면개질을 위한 전처리연구 - 천연섬유 본래의 물성유지
	천연섬유 표면개질 요소 연구	100	- 고분자와 천연섬유의 계면 결합력 향상 - 커플링 에이전트, 플라즈마 처리를 통한 표면개질
	복합재의 난연성 확보 연구	100	- 친환경 난연제 - 난연제의 함량이 높은 복합재를 위한 혼합 기술 개발
	상온상압 플라즈마 장치 설계	100	- 플라즈마 장치의 요구사항 - 플라즈마 장치 개략도 설계
2차년도	상온상압 플라즈마 lab scale 제작	100	- 목분 개질 - 개질된 목분 제공
	고분자 종류별 계면 적합성 연구	100	- 개질제간 특성 비교 - 표면에너지 측정
	목분 특성에 따른 영향 연구	100	- 목분의 입자크기, 함량 및 종류별 최적 특성 연구 - 복합재의 밀도, 흡습량, 기계적 물성 평가
	목분 첨가에 의한 물리적 영향	100	- 목분의 uniform distribution 연구 - 프리폼용 제조 기술 확보
	성형 장치 설계 및 제작	100	- 금형 설계 및 제작 - 최적 heating 장치 설계
	시제품 성형 및 평가	100	- 시제품 성형 - 시제품의 기계적 특성 평가 - 시제품의 난연성능 평가
3차년도	상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화	100	- 상온상압 연속 플라즈마 장치 최적화 - 상온상압 플라즈마 장치를 이용한 목분의 표면개질 - 표면개질 메커니즘 규명
	최적 제조공정 확립	100	- Extruder의 공정변수 최적조건 확립 - Injection molding machine의 제조공정조건 확립 - 목분 함량별 최적특성 확립 - 재료의 리싸이클링 활용방안
	시제품 제작 및 평가	90	- 기계적 물성 확보 - 환경 내구성 확보 - 난연성 평가 + 환경마크 인증

제5장 연구개발결과의 활용계획

제1절 연구결과의 활용방안

1. 최적 플라즈마 코팅 기법의 개발을 통한 친환경 복합소재의 활용방안

최적 플라즈마 코팅 기법의 개발을 위해 파티클, 즉 목분의 입자크기, 함량, 종류의 특성에 따라 밀도, 흡습량에 대한 연구가 진행될 것이다. 이러한 연구로 목분과 열가소성수지 간의 최적 접착력 및 분산성 등의 결과로 성형 기법을 개발하여 그에 맞는 금형 제작을 통해 다양한 제품의 제작이 가능할 것이다. 이것은 힘을 특별하게 받지 않으면서 친환경성을 부여할 수 있는 자동차의 암레스트와 같은 자동차 내장재 및 선박 내의 내장재 등 각종 내장재와 MDF로 명명되는 나무를 활용한 일반 가구등에 활용 될 수 있다.

또한, 최적의 플라즈마 코팅 기법에 대한 기초기술의 축적을 통해 2차적으로 활용 가능한 것은 열가소성 수지를 생분해성 수지로 대체할 경우, 천연섬유와 생분해성 수지의 결합으로서 궁극적인 친환경성 복합소재의 개발도 가능할 것으로 예상된다.

2. 난연성이 첨가된 천연섬유 복합소재의 개발

현재 세계적으로 천연섬유 복합소재를 개발·시판하고 있는 기업들의 중점 목표는 천연섬유의 함유율을 높여 친환경성을 부가하는 방향인 것으로 나타났으며 일본과 같은 경우에는 50wt% 이상의 천연섬유 함유율을 갖는 제품을 시판하고 있다. 그러나 이러한 제품에서 항상 언급되지 않는 것이 난연성에 대한 부분으로 일부 특허에서 이러한 제품 개발의 필요성에 대해서는 언급이 되어 있으나 상품화가 일부 되어 있는 상태로 그 개발이 초기 상태인 것으로 조사되었다. 이에 난연성능이 부여된 천연섬유 복합소재 개발은 기존의 세계 천연섬유 복합소재 시장에서 우리나라 제품이 우위에 점할 수 있는 좋은 인자로서 강력한 경쟁력을 갖출 수 있을 것이다.

3. 프리폼용 제조 기술의 활용방안

창호재 시장은 다양한 소재와 모양과 양식을 가지는 몇 개의 주요 형태로 구분된다. 즉 알루미늄, WPC, 강철, 목재 등의 다양한 소재가 창틀로 쓰이고 있다. WPC 창호 시장은 아직 작지만 과거의 초보적인 WPC와 달리 최근의 WPC는 단순한 목분의 재사용을 위한 개념의 압출이 아닌 완전히 새로운 제품의 생산을 위한 공정으로 고품질의 프로파일을 다양한 용도의 제품을 통해 건축자재 활용을 위해 발전하고 있다. 또한 최근의 국내 WPC 시장은 건축자재 생산을 선도하는 대기업을 중심으로 데크 및 사이딩재의 시장이 급속히 형성되어 가고 있으며 연관 중소기업에서도 독자적인 상품의 개발을 위해 발 빠르게 시장 진입을 준비하고 있는 상황이다. 향후 얼마만큼 목재 느낌의 창에 근접하는가에 대한 것이 중요 관건이 될 것으로 판단된다.

특히 현재 창호시장은 급부상하고 있는 PVC소재의 중저가 시스템창호와 기존 시스

템창호를 이끌어 온 내부 목재와 외부 알루미늄으로 이루어진 알우드(AL+WOOD)복합창의 고가 시스템창호로 시장이 나뉘고 있다. 시스템창호에 대한 소비자 인식이 변하고 있고, 건축물의 고층화 및 고급화가 날로 심화되면서 일반창호보다는 시스템창호에 대한 수요가 확대될 것은 분명하며, 실제 업계에서도 이에 대한 시장진출에 박차를 가하고 있다. 또한 플라즈마 처리로 표면개질된 목분을 활용한 WPC창은 치수안정성 및 매트릭스인 PP와의 계면결합력을 증가시켜 강도를 향상시킴과 동시에 폐목분 및 리싸이클 PP를 사용하여 가격 및 친환경적인 면에서 다른제품에 비해 유리하다고 판단된다. 그리고 WPC가 각광을 받게 됨에 따라 창호 프로파일 소재로 일대 변혁을 일으킬 것으로 예상하고 있다.

제2절 기대성과 및 파급효과

1. 기술적 측면

천연섬유 함유율을 50wt% 이상으로 높여서 사실상 천연섬유의 성질에 가까운 질감과 생분해성을 갖게 되고 기존의 FRP/합성목재에 사용된 이종 재료의 계면 결합력을 높이기 위해 사용하였던 bonding agent의 유해성을 포함하고 있지 않기 때문에 인체에 안전한 제품을 생산할 수 있게 된다. 또한, 일반적으로 쉽게 얻을 수 있는 목분과 같은 천연섬유를 사용하여 산림훼손의 최소화, 퇴비나 기타 저급용도로 사용되던 목분의 재활용 등을 확보까지 친환경적 제품을 생산하게 된다.

그 결과, 제품에 있는 친환경성을 중요시하고 이에 대한 규제도 강화하는 세계 기준에 맞추어 세계적인 복합재료 기업들과 비교시 동일이상의 품질을 가지면서 가격이 저렴한 경쟁력이 있는 제품을 생산, 판매하여 국가 산업으로 발돋움 할 수 있는 기술력을 얻을 수 있을 것이다.

2. 경제·산업적 측면

환경 보호 및 자원재활용은 우리나라에서만 주장하고 있는 것이 아니라 세계적인 추세이다. 이에 친환경과 안전성을 겸비한 본 연구의 결과물(친환경성 복합소재)은 기존의 FRP/합성목재 시장과 더 나아가 원목 시장을 대체할 수 있는 가능성을 가지고 있다. 또한 천연섬유 복합소재 시장은 2005년 이후 매년 54% 이상으로 성장률을 보이고 있으며 이것은 세계적인 시장 특히 중국과 같은 신흥시장에까지 품질경쟁과 가격경쟁에서 우위를 점할 수 있는 제품 개발이 가능하다면 매출증가에 의한 국내 천연섬유 복합소재 산업의 발전에 따라 고용 창출 증대를 가져오게 될 것이다.

제3절 관련 후속연구개발의 전망

1. 자동차 부품용 복합소재

자동차 부품 중 플라스틱은 과거 30~40년간 다양하게 사용되고 있으며, 일본의 소형 • 보통 승용차의 원래죠 중 플라스틱의 구성비가 2.7wt%에서 최근에는 9wt%까지 증가된 사실에서도 보여지고 있다. 플라스틱의 사용 비율이 크게 증가한 이유는 디자인의 우수한 자유도, 2차 가공성, 충격 에너지 흡수성, 내부식성, 내마모성, 경량성, 높은 비강도, 리사이클링 등의 이유를 들 수 있다.

환경 친화면에서 우수한 능력을 보여주는 플라스틱-복합소재는 일본 환경청에서 발표한 자료로 확인할 수 있다. 「일본 이산화탄소 배출량의 부분별 내역」에 의하면 운수부문(자동차, 선박 등)의 이산화탄소 배출량은 19.9%를 차지하고 있으며, 이 가운데 자동차 주행 동안의 배출량은 85%를 점유 하고 있어, 자동차의 경량화가 대단히 중요하다. 그리하여, 메탈 계열의 소재보다 높은 비강도를 갖는 플라스틱과 복합소재를 활용한 경량화를 위해 플라스틱과 복합소재의 사용률이 높아지고 있으며, 특히 친환경적이며 인체에 무해한 식물 유래 플라스틱 내장부품의 개발이 이루어지고 있는 상태이다.

본 천연섬유-복합소재의 개발을 통해 목분 및 기타 부분의 친환경 소재를 활용한 복합소재의 개발 가능 영역을 확대 시키고, 단순히 폐자원으로만 여겨졌던 목분을 활용, 개발한 제품을 인간과 항상 밀접하게 접촉하고 사용되는 자동차 및 비행기의 각종 내장제에 적용시킴으로써 본 개발의 사업성을 확대시킬 수 있을 것이다.

2. 폐자원을 활용한 각종 일회용 식기구

매년 일본에서는 수백 만개의 나무 젓가락들이 버려지고 있으며, 이에 따른 환경 피해 및 목질 자원의 소비가 굉장히 극심한 상태이다. 이에 따라 일본의 한 회사에서는 매일 폐기물 소각로에서 사라지는 6850만 개(274톤)의 나무 젓가락과 매년 매립 장소를 찾아 고심하는 pet 병 250미터톤을 활용하여 친환경 목분 복합소재의 나무젓가락을 개발 중이라고 한다. 매일 버려지던 일회용 나무 젓가락을 복합소재 젓가락으로 대체할 경우 매일 300여톤의 나무 젓가락이 버려지는 일을 막을 수 있으며, 이로 인해 손실되는 목자제의 소비도 막을 수 있을 것이다. 그리고 복합소재 나무 젓가락은 1000번 이상 재활용이 가능하여 매우 친환경적이고 인체에도 무해한 제품이 될 것이라고 한다.

이러한 예로 볼때, 단순히 나무 젓가락 만이 아니라, 현재 국내외에 다양하게 사용되고 있는 각종 일회용 식기구들에 대해 기존에 폐자원으로만 여겨졌던 자원들을 재활용한 복합소재로 개발 및 대체한다면, 그 동안 매립이나 소각으로 발생했던 이산화탄소 발생량을 획기적으로 감소시킬 수 있으며, 인체에 무해하고, 미학적으로도 우수하며, 질감도 뛰어난 제품의 각종 식기구를 이용할 수 있을 것이다.

3. 새로운 식물섬유를 이용한 복합소재 개발

영국 벨파스트의 퀸스 대학에서는 바나나 식물을 이용하여 복합소재 제품을 만드는 새로운 기술을 연구 중이다. 그들은 유럽에서 소비되는 바나나의 거의 20%가 커나리 섬에서 생산되고 있으며, 커너리 섬에서만 매년 1000만톤의 바나나가 생산되고 있으며, 생산과정 중에 발생하는 바나나 식물의 폐기물은 연간 25,000톤이라고 밝혔다.

여기에서 볼 수 있듯이 바나나는 엄청난 양의 폐기물을 발생시키고 있으며, 이 바나나 식물을 복합소재에 활용할 수 있다면 이는 엄청난 양의 새로운 자원이 되는 것이다. 퀸스 대학의 프로젝트 진행자들은 바나나 식물을 활용하여 물탱크, 원추형 교통 표지판, 등의 제품을 개발 가능하다고 밝히고 있으며, 이 분야의 개발이 완료된다면 궁극적으로 단순 폐기물로 처리되는 바나나 식물의 잉여물질을 재판매하게 되어 커너리 섬의 경작 주민들에게 재정적인 혜택을 줄 수 있을 것이고, 그 지역의 고용을 창출 할 수 있을 것이라고 기대하고 있다.

국내에서도 매년 다양한 곡식이 제배되고 있으며, 벼나 각종 곡류의 폐기물은 엄청난 양을 발생시키고 있다. 그렇다면 자연섬유-복합재료 개발 기술을 확장시켜 기존에 폐기물로만 여겨졌던 각종 곡류의 폐기자원들을 복합소재로 전환시켜 폐기물을 줄이고 환경을 보전하며, 보다 친환경적이고 인체에 무해한 자원을 개발 할 수 있을 것이라 기대되고, 또 커너리 섬의 경작 주민들 처럼, 재정적인 혜택 및 지역의 고용창출을 도와 새로운 산업 체계가 발생하고 국가 경제에도 좋은 영향을 미칠 것이라 기대할 수 있다.

4. 복합재료로 만든 주택

브라질에서는 정부의 승인을 통해 복합재료로 만들어진 주택을 FEICON BATIMAT 2010에 전시할 예정이라고 한다. 주택의 재료는 주로 유리섬유 보강 폴리에스터와 폴리스티렌 및 폴리우레탄으로 만들어졌다.

그들은 이러한 복합재료 주택을 제작함으로써 전통적으로 문이나 각종 주택의 재료로 사용되었던 나무나 합판을 대체하게 되고 대리석이나 세라믹 타일을 합성 대리석과 섬유보강 복합재료로 대체하여 기존의 제품들 보다 더 편리하고 오랫동안 쓸 수 있는 제품을 만들었다고 밝혔다.

위의 예처럼, 복합재료를 활용하여 기존의 제품을 대체하는 효과가 발생하여 목자제의 소비율을 낮추고 기존의 제품 보다 더욱 편리하고 오랜 시간 사용 가능한 제품을 만들어 낼 수 있다. 그러나 유리섬유의 경우 제작이 잘못 되었을 경우 인체에 유해한 환경을 조성할 가능성이 있다고 판단할 수 있으며, 본 개발의 목표인 천연섬유-복합재료의 개발이 반드시 필요하게 될 것이다. 유리섬유 복합재료와 같은 강도의 천연섬유 - 복합재료의 개발이 가능하게 된다면, 주택의 각종 주 재료를 대체할 수 있을 것이며, 더불어 환경 친화적이고 인체에 무해하며, 질감 등의 미학적으로 우수한 복합재료를 통해 보다 우수한 주택의 제작이 가능해 질 것이다.

나아가 단순히 내외장자로만 개발 및 활용 되고 있는 천연섬유-복합재료의 활용 영역을 확대시키고 환경과 인간에 초점이 맞춰지고 있는 미래 산업에 크게 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

제4절 연구결과의 기업 활용방안

1. 참여기업의 현황분석

(주)준성이엔알은 2005년에 창립한 회사로 창립과 동시에 벤처기업인증을 획득하였으며, 2006년에 기업부설연구소 및 생산공장을 설립함으로써 대외적으로 신재생에너지 제품에 대한 생산능력을 인정받고 있는 회사이다. 현재 회사의 업종은 신재생에너지용 PCS, 자동화 설비 및 창틀 내장형 PCS의 개발, 생산, 시공 회사로써 연매출액이 대략 10억 정도로서 대표이사를 포함하여 7명의 기술직이 연구개발팀, 총무팀, 생산팀, 시공 및 사후관리팀으로 나뉘어서 근무하고 있다.

2. 참여기업 연계방안 및 추진전략

본 연구를 통해 개발되는 친환경 복합소재는 기존의 FRP/합성목재를 대신하는 것을 뛰어넘어 천연목재와 유사한 품질을 확보하기 위한 것으로 현재 개발되고 있는 다양한 복합개념의 창호는 에너지 효율을 위한 단열, 차음 등 다양한 원인에 의해 그 수요가 급격히 증가하고 있다. 그러나 이러한 복합개념의 창호에 사용되는 것은 고가의 천연목재로서 100% 수입에 의존하고 있는 실정으로 이를 대체한다면 경제적인 복합개념의 창호를 생산할 수 있을 것으로 예상되며, 이에 참여기업은 주관기관과의 기술이전을 협의중에 있으며, 참여기업은 기술이전을 통해 대량생산을 위한 생산라인 시스템을 구상하여 우선적으로 환경마크 획득을 위한 시제품(평판)을 생산할 계획이다.

기술실시계약 추진계획서

사업명	FRP/합성목재 대체 친환경 복합소재 및 건설자재 제조기술 개발		
총괄과제명	FRP/합성목재 대체 친환경 복합소재 및 건설자재 제조기술 개발		
주관연구기관명	동국대학교 산학협력단	주관연구책임자	임 중 연
총 연구기간	2009. 10 .26 ~ 2012. 10. 25	참여기업명	(주)준성이엔알
총 연구개발비 (단위: 천원)	정부출연금	기업부담금	
	658,000,000	187,000,000	

실시계약 대상과제명 (세부과제명)				
세부과제 총 연구개발비 (단위: 천원)	정부출연금		기업부담금	
연구개발결과물 소유기관명	동국대학교 산학협력단		세부과제 연구책임자	
세부과제 총 연구기간			참여기업명	
실시기업(안)	기업명	(주)준성이엔알	기업유형	대기업 ( ) 중견기업 ( ) 중소기업 (●)
	사업자등록번호	409-81-88177		
	주소	광주광역시 북구 오치동 937-5		
	전화번호	062-419-0046		
기술실시계약명(안)	친환경 복합소재 및 건설자재 제조기술 실시 계약			
기술실시계약 예정일	2013. 01. 25	실시기간(안)	2013.02.01 ~ 2018.01.31	
기술실시계약형태(안)	통상실시(●) 전용실시( ) 기타( )			
기술료징수방법(안)	고정기술료(●), 경상기술료( ), 혼합기술료( )			
예상 기술료(천원)	1,200			

기술료 계획 (단위: 원)	구분	징수계획			
		징수예정 연/월/일	금액	징수예정 연/월/일	금액
	1 차	2013.04.24	12,000,000	3 차	
	2 차			4 차	
	계				

실시예정기술	※ 관련 특허, 실용신안, 소프트웨어, 노하우 판권 등(증빙자료 별첨)
주요 계약조건	

국토해양기술 연구개발사업 관리지침 제51조에 의거 위와 같이 기술실시계약의 체결을 추진하고자 함을 보고합니다.

붙임 : 1. 기술료 산정근거 1부
2. 기술실시계약서(안) 1부

2013년 1월 23일

동국대학교 산학협력단 (직인)

제6장 참고문헌

- 강인애, “국내산 수종의 목질원료를 이용한 WPC의 물성 구명에 관한 연구”, 2010
- 강인애, 이선영, 도금현, 전상신, 윤승락, “목분 폴리프로필렌 복합재의 기계적 특성 목재수종, 충진제, 입자크기, 및 상용화제의 영향”, 목재공학 제 38권 제4호 통권163호, 2010
- 강인애, 이선영, 도금현 전상진, 윤승락, “목분-플리프로필렌 복합재의 수분흡수율: 목재수종, 충진제 입자크기 및 상용화제의 영향”, 목재공학 제 38권 제4호통권163호, 2010
- 구엔 민 하이, “플라즈마와 NaOH표면처리가 자연섬유/pp 복합재료에 미치는 영향”, 목재공학, Vol.27, No.3, 2008
- 김영수, 양승룡, 문영식, 실내건축 재료학, 2007
- 김종서, 난연성 목재-고분자 복합재료의 특성연구, 2005
  김희수, “농산 부산물 분말-지방족 폴리에스테르 열가소성 플라스틱 바이오복합재의 물성 및 생분해성”, 2004
- 메디컬투데이, 김범규, 2009
- 산림청, 제5차 산림계획, 남부지방산림청, 2008.10.08
- 신경섭, “폴리에틸렌을 결합재로 사용한 wood plastic composites(WPC) 製造 및 特性에 關한 硏究″, 2008
- 송기범, 건설재료 시험법, 2009
- 송영호, 하등명, 정국삼, “LOI와 Char Yield측정에 의한 고분자 재료의 난연특성 평가”, 한국화재소방학회 춘계학술논문발표회, 2005
- 양한승, “왕겨분말로 강화충전한 열가소성 고분자 바이오복합재의 물성에 미지는 영향”, 2003
- 이선영, ″목재-플라스틱 복합재(WPC)의 최근 동향″, 산림 통권486호, 2006
- 이선영, 친환경합성목재의 어플리케이션 연구, 2008
- 친환경으로 무장한 첨단 건축자재 WPC, 월간 플라스틱코리아 12월호-국내뉴스, 2007
- 하종학, 김병선, 황변선, 강병윤, “플라즈마 표면 코팅된 목분 복합재료의 영향 영구”, 한국복합재료학회 2005년도 추계학술발표대회 논문집, 2005
- 한국경제, 2008
- 허근태, 고분자 소재를 이용한 가공기술의 오늘과 내일, 2005
- WPC의 현황 및 전망, 한국목재신문, 2008

- A. A. Klyosov, ″Wood-Plasitc composites″, Wiley-Interscience, A John wiley&sons, inc., publication, 2007
- A. Ashori, ″Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries″, Bioresource technology, Volume 99 issue 11, July 2008
- A. Jacob, ″WPC industry focuses on performance and cost″, Reinforced plastics, Volume 50, issue 5, May 2006

- A, Ashori, et. al, "Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials, "Waste management 2009 Vol. 29 No. 4 pp.1291-1295, September, 2008
- A. Ashori, "Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries, Bioresource Technology, Volume 99, issue 11, July 2008
- A. Bhatnagar, M. Sain, "Structural Evolution of Renewable Nano-Fibres", 8th international "Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-33, May 23-25, 2005
- A. Frendel, "Degradation tests- A new test procedure to examine polymers and antixidants with HAAKE MiniLab", Thermo electron corporation, pp.1-2, Oct. 2004
- A. K. Bledzki, et. al, "Effect of Defined Waxes and coupling Agents on Moisture Behavior of Injection Molded Woodfiber-Reinforced PP Composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-30, May 23-25, 2005
- A. McDonald, et. al, "The Effect of Wood Surface Modification & Particle Size on Wood Plastic Composite Performance", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-24, May 23-25, 2005
- A. Wechsler, et. al, "Some of the properties of wood plastic composites", Proceedings of the 51st international convention of society of wood science and technology, November 10-12, 2008

- C. Clemons, "Wood-Plastic composites in the United States-The interfacing of Two Industries", Forest products journal, Vol. 52, No. 6, June 2002
- C. A. Correa, et. al, "DMTA analysis of interface adhesion in wood-plastic Composites", 8th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-18, May 24, 2005
- C. Neagu, et. al, "Stiffness contribution of wood fibers to composite materials", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-28, May 23-25, 2005.
- D. Bhattacharyya, et. al, "Thermoforming woodfiber-polypropylene composite sheets", Composites Science and Technology 63, pp.353-365, 2003
- D. J. Gardner, "Wood plastic composites technology trends", Proceedings of the 51st international convention of society of wood science and technology, Novemer 10-12, 2008
- D. P. Harper, M. P. Wolcott, "Chemical Imaging of Wood-Polypropylene Composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-28, May 2005
- D. S. Bajwa, D. Bruce, "Improvements in weathering characteristics of wood-plastic composites", 8th International Conference on Woodfiber-Plastic

Composites, pp.1-22, May 24, 2005
- G. E. William, M. Wolcott, "A method for studying the wood-plastic interaction part 1: Mechanical Interlocking", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-25, May 2005
- G. Oberdorfer, M. Golser, "Wood-plastic Composites Analysis of environmental impact on highly-filled wood plastic composites by laboratory simulation and Full-scale testing", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-32, May 23-25, 2005
- G. Pritchard, B. Hackwell, The Market for Wood Plastic Composites in Europe, Proc. 2nd Wood Fiber Polymer Composites Symposium, paper 2, 2005
- H. O. Semeralul, "Advancing the technology development for better quality wood plastic composites: processability study", March 2009
- H. P. S. A. Khalil, et, al, "Recycled polypropylene(PP) - wood saw dust(WSD) composites: The effect of acetylation on Mechanical and water absorption properties", 목재공학, Vol.34, No.2, 2006
- H. Korte, I. H. Hansmann, "WPC made with different processes a comparative investigation", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-18, May 2005
- I. Kvien, et. al, "Investigation of the structure of cellulose whiskers and its nanocomposites by TEM, SEM, AFM and X-ray diffraction", 8th International Conference on WPC, pp.1-33, May, 2005
- Jin KUk Kim, "Recent advances in the processing of wood-plastic composites", 1st Edition, 2011
- J. Markarian, "Wood-plastic composites: current trends in materials and processing", Plastics, Additives and Compounding, Volume 7, Issue 5, Setember-October 2005
- J. Norton, J. Quarmley, L.Rossi : Current and Emerging applications for Natural and Woodfiber-Plastic Composites, Proc. 7th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.3-14, 2003
- J. Antonio, et. al, "Comparison of agar (MEA and PDA) and soil block tests for assessing decay of wood plastic composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-41, May 23-25, 2005
- J. Fabiyi, et. al, "Chemical Changes That Occur During the Weathering of Wood Plastic Composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-23, May 23, 2005
- J. Nelson, "Polymer Wood Composite Processing Aid Package: Controlled Architecture Materials (CAM) Technology", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-38, May 23-25, 2005
- Jim Rogers, et. al, "Interfacial shear strength in wood-plastic composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-71, May 23-25,

2005
- K. Jayaraman. et. al, "Mechanical performance of woodfibre-waste plastic composite materials", Conservation and recycling, Volume 41, issue 4, July 2004
- L. Danyadi, et. al, "Wood flour filled PP composites: Compatibilization and adhesion", Composites science and technology, Volume 67, issue 13, October 2007
- L. Shiroma, et, al. "Wood-plastic composite", Proceedings of the 51st international convention of society of wood science and technology, November 10-12, 2008
- L. M. Matuana, "Effect of Impact Modification on the Foamability of Wood Fiber-Plastic Composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-24, May 23-25, 2005
- M. Gmatowski, "Water Absorption by Wood-Plastic Composites in Exterior Exposure", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-27, May 23-25, 2005
- M. Maric, C. W. Macosko, "Improving polymer blend dispersions in Mini-Mixers", Polymer engineering and Science, Vol. 41 No. 1, pp.118-130, January 2001
- M. N. Ichazo, et, al. "Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties", Composite structures 54, 2001
- M. P. Wolcott, et. al, "Opportunities and Challenges for WPC's in Emerging Product Areas", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-42, May 23-25, 2005
- "Modeling the Mechanical Properties of Natural Fiber-Reinforced Biopolymers", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-24, May 23-25, 2005
- O. Noel, R. Clark, "Recent Advances in the Use of Talc in wood-Plastic Composites", 8th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-39, May 24, 2005
- P. Lakes, et al, "Effect of Manufacturing Variables on Mold Susceptibility of Wood-Plastic Composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-41, May 23-25, 2005
- P. Nygard, "Extrusion-based wood fibre - PP composites: Wood powder and pelletized wood fibres - a comparative study, Composites science and technology, Volume 68, isses 15-16, December 2008
- R. Joffe, et. al, "Cellulose-Based fibers and Their Polymer Composites: Characterization and Prediction of Properties", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-30, May 23-25, 2005
- Sun Young Lee, "Mechanical and thermal properties of polypropylene/ Wax/ MAPP composites reforced with high loading of wood flour", 한국유화학회지, Vol.24, No.4, 2007
- Sun Young Lee, "Color change and tensile properties of wood flour reinforced

polypropylene composites: Influence of photostabilizers", 한국유화학회지, Vol.26, No.2,, 2009
- Shui YuLu, et, al, "Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers", Progress in polymer science. 27 1661-1712, 2002
- T. Peijs, F. Vilaseca, "Cellulose-Based Nanocomposites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-44, May 23-25, 2005
- T. Rials, et. al, "NIR Assessment of Wood-Polyolefin Extruded Composites", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-23, May 23-25, 2005
- U. Buehlmann, et. al, "Influence of Woodfiber-Plastic Material Composition on Machining and Abrasion Performance", 8th international Conference on Woodfiber-Plastic Composites, pp.1-46, May 23, 2005

- 岡本 忠, 木材とプラスチックとの複合開發の現況 - 木質材料の壓出成形, 木材學會誌, 49, pp.401~407, 2003
- 木口 實, 木材・プラスチック複合材(WPC)の現況, 第2回 木材・プラスチック複合材 國際シンポジウム（ボルドー）から、Vol. 31-5, pp.192~198, 2005

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 건설기술혁신사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.