

발간등록번호

11-1541000-001368-01

그린티म्버월 패널의 개발  
(Development of Green Timber Wall  
Panel)

그린  
티म्버월  
패널의  
개발

농림수산식품부

대림이앤씨(주)

농림수산식품부

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “그린팀버울 패널의 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2012년 04월 09일

주관연구기관명 : 대림이앤씨(주)

주관연구책임자 : 권 순 관

세부연구책임자 : 권 순 관

연 구 원 : 문 병 호

연 구 원 : 김 장 홍

협동연구기관명 : 충남대학교

협동연구책임자 : 장 상 식

연 구 원 : 김 윤 희

# 요 약 문

## I. 제 목: 그린팀버월 패널의 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 환경 및 인체 친화형 목조건축구조 개발
- 저탄소 녹색성장에 적합한 그린홈의 개발
- 그린팀버월 구조의 개발 및 패넬화
- 그린팀버아트월 구조의 개발 및 패넬화
- 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 성능 평가

## III. 연구개발 내용 및 범위

- 석고보드를 사용하지 않고 친환경자재인 목재벽널을 활용한 그린팀버월 구조의 개발 및 패넬화
- 그린팀버아트월 구조의 개발 및 패넬화
- 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 강도성능 평가
- 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 내화 및 차음성능 평가
- 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 단열성능 평가
- 그린팀버월 패널 접합부의 강도성능 평가

## IV. 연구개발결과

- 그린팀버월 및 그린팀버아트월 구조의 개발 및 패넬화
- 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 수평하중저항성능 및 수직하중저항성능 평가
- 그린팀버월 패널의 1시간 재하 내화고조 개발 및 평가
- 그린팀버월 패널의 2시간 비재하 내화구조 개발 및 평가
- 그린팀버아트월 패널의 1시간 재하 내화시험 실시
- 그린팀버월 패널의 차음성능 평가: 2등급
- 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 단열성능 평가 및 단열성능 예측 이론모델 개발
- 그린팀버월 패널들 사이의 길이이음 및 직각접합부의 수평전단성능 및 수직전단성능 평가
- 바닥구조와 그린팀버월 패널 사이의 직각접합부의 수평전단성능 및 수직전단성능 평가
- 바닥구조와 그린팀버월 패널 사이의 직각접합부의 못뽑기(인발)저항성능 평가

V. 연구성과 및 성과활용 계획

- 주관기관인 대림이앤씨(주)를 통한 실용화 및 사업화
- 향후 학술회의 논문 발표 및 학회지 논문 투고(4건 이상) 계획
- 협동기관인 충남대학교의 목조건축 관련 교과목의 교육 자료로 활용
- 목조건축산업 종사자들을 위한 세미나, 워크샵 등의 교육 및 홍보자료로 활용

## SUMMARY

(영문요약문)

Timber is the best environment- and human-friendly construction and finishing material in this world because it is natural products, stores carbons, emits various refreshing gases including terpene and phytoncide. Therefore, if we use more wood for construction, the house will be better for human health. This research was carried out to develop green timber wall panels which is using thick wood wall panels instead of gypsum boards because gypsum board is not good for human health.

38mmx140mm structural timber was manufactured to wall panels by moulding to make T&G along the long edges. These thick timber wall panels are installed on the stud framing instead of gypsum boards to make interior wall panels and to make exterior shear walls to gather with 11.1mm thick OSB sheathing on exterior surface of the framing. green timber art wall panels were developed by inserting art wall section at center of the wall panels which is composed of small section of timber making certain image or letters for the purpose of beauty.

Green timber wall and green timber art wall panels were tested under horizontal and vertical load to verify their resistance to vertical and horizontal loads applied to actual houses. They also tested under fire as load bearing and non-load bearing walls to develop 1 and 2 hour fire-resistance timber wall structures. They also were tested for acoustic properties and classified as No. 2 grade. Their insulation properties were tested to measure whole thermal insulation properties of the panels and to see the change of internal temperature of the panels. The results of the tests for insulation properties were used to develop theoretical models for insulation properties of wall panels.

To use green timber wall panels for actual construction, we need to make avrious kinds of connection between panels and with other structural parts. In this study, horizontal and vertical connections between wall panels were tested under horizontal and vertical shear forces. And the connections between floor structure and wall panels were also tested under horizontal and vertical shear forces, and uplift tension forces.

# CONTENTS

## (영 문 목 차)

Chapter 1 Introduction

Chapter 2 Current technology

2.1 Current technology in Korea

2.2 Current technology of other countries

Chapter 3 Results of researches

3.1 Main research: Developemnt and panelization of green timber and green timber art wall structures

3.1.1 The 1<sup>st</sup> year research: Development and panelization of green timber wall structures

3.1.1.1 Scope

3.1.1.2 Materials

3.1.1.3 Development of green timber wall structures

3.1.1.4 Panelization of green timber wall structures and production of panels for tests

3.1.1.5 Water-resistance performance of green timber wall panels

3.1.1.6 Measurement of deformation of green timber wall panels

3.1.1.7 Economic analysis for green timber wall panels products

3.1.2 The 2<sup>nd</sup> year research: Development and panelization of green timber art wall structures

3.1.2.1 Scope

3.1.2.2 Materials

3.1.2.3 Development of green timber wall panels using domestic timbers

3.1.2.4 Increasing effectiveness of assemblyign processes of green timber wall panels

3.1.2.5 Development of green timber art wall structures

3.1.2.6 Panelization of green timber art wall structures and production panels for of tests

3.1.2.7 Measurements of deformation of green timber art wall panels

3.1.2.8 Economic analysis for production of green timber art wall panels

3.1.3 The 3<sup>rd</sup> year research: Development of connections between green timber wall panels

3.1.3.1 Scope

3.1.3.2 Materials

3.1.3.3 Results and discussions

- (1) Development of 2 hours fire-resistant non-load-bearing green timber wall panels
- (2) Fire-resistance of green timber art wall panels
- (3) Acoustic properties of green timber art wall panels
- (4) Development of splice connections between green timber wall panels
- (5) Development of vertical connections between green timber wall panels
- (6) Development of vertical connections between floor structure and green timber wall panel
- (7) Development of green timber wall panel using domestic nut pine timbers

3.2 Cooperative research: Evaluation of the performance of green timber wall and green timber art wall structures

3.2.1 The 1<sup>st</sup> year research: Evaluation of the strength and insulation properties of green timber wall panels

3.2.1.1 Scope

3.2.1.2 Materials

3.2.1.3 Results and discussions

- (1) Tests for vertical load resistance
- (2) Tests for lateral load resistance
- (3) Tests for insulation properties
- (4) Improvements of green timber wall panels

3.2.2 The 2<sup>nd</sup> year research: Evaluation of the performance of green timber art wall structures

### 3.2.2.1 Scope

### 3.2.2.2 Materials

### 3.2.2.3 Methods

- (1) Tests for vertical load resistance
- (2) Tests for lateral load resistance
- (3) Tests for insulation properties
- (4) Tests for fire-resistance
- (5) Tests for acoustic properties
- (6) Measurements of formaldehyde emission
- (7) Measurements of thermal insulation coefficients

### 3.2.2.3 Resulta and discussions

- (1) Strength performance of green timber wall panels using domestic larch wood wall panels
- (2) Improvements of green timber wall and green timber art wall panels
- (3) Fire-resisatnce and acoustic properties of green timber wall panels
- (4) Strength properties of green timber art wall panels
- (5) Insulation properties of green timber art wall panels

## 3.2.3 The 3<sup>rd</sup> year research: Evaluation of performance of green timber wall connections

### 3.2.3.1 Scope

### 3.2.3.2 Materials

### 3.2.3.3 Methods

- (1) Tests for lateral force resistance of splice connections between green timber wall panels
- (2) Tests for lateral force resistance of vertical connections between green timber wall panels
- (3) Tests for vertical shear resistance of vertical connections between green timber wall panels
- (4) Tests for lateral force resistance of vertical connections between floor and green timber wall panels

- (5) Tests for vertical shear resistance of vertical connections between floor and green timber wall panels
- (6) Tests for nail withdrawal resistance of vertical connections between floor and green timber wall panels
- (7) Tests for lateral force resistance of green timber wall panels using domestic nut pine timbers
- (8) Improvements of theoretical models for insulation properties

#### 3.2.3.4 Results and discussions

- (1) Lateral force resistance of splice connections between green timber wall panels
- (2) Lateral force resistance of vertical connections between green timber wall panels
- (3) Vertical shear resistance of vertical connections between green timber wall panels
- (4) Lateral force resistance of vertical connections between floor and green timber wall panels
- (5) Vertical shear resistance of vertical connections between floor and green timber wall panels
- (6) Nail withdrawal resistance of vertical connections between floor and green timber wall panels
- (7) Lateral force resistance of green timber wall panels using domestic nut pine timbers
- (8) Improvements of theoretical models for insulation properties

Chapter 4 Achievement of research objectives and contribution for the related field

Chapter 5 Plans for utilizing research results

Chapter 6 Foreign scientific and technical information collected during research

Chapter 7 References

# 목 차

제 1장 연구개발과제의 개요

제 2장 국내외 기술개발 현황

제 1절 국내의 기술개발 현황

제 2절 국외의 기술개발 현황

제 3장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1절 세부과제: 그린팀버월 및 그린팀버아트월 구조의 개발 및 패넬화

1. 1차년도 연구과제: 그린팀버월 구조의 개발 및 패넬화

가. 개발 내용 및 범위

나. 시험재료

다. 그린팀버월 구조의 개발

라. 그린팀버월 구조의 패넬화 및 시험용 패넬의 생산

마. 그린팀버월 패넬의 강수저항 성능

바. 그린팀버월 패넬의 변형 측정

사. 그린팀버월 패넬 제품의 경제성 분석

2. 2차년도 연구과제: 그린팀버아트월 구조의 개발 및 패넬화

가. 개발 내용 및 범위

나. 시험재료

다. 국산재를 활용한 그린팀버월 패넬의 개발

라. 그린팀버월 패넬 조립공정의 효율화

마. 그린팀버아트월 구조의 개발

바. 그린팀버아트월 구조의 패넬화 및 시험편 생산

사. 그린팀버아트월 패넬의 변형 측정

아. 그린팀버아트월 패넬 생산의 경제성 분석

3. 3차년도 연구과제: 그린팀버월 패넬의 접합방법 개발

가. 개발 내용 및 범위

나. 시험재료

다. 연구내용 및 결과

- (1) 2시간 내화성능의 그린티이버월 패널 비내력벽 구조 개발
- (2) 그린티이버아트월 패널의 내화성능
- (3) 그린티이버아트월 패널의 차음성능
- (4) 그린티이버월 패널 사이의 길이이음 방법 개발
- (5) 그린티이버월 패널 사이의 직각접합 방법 개발
- (6) 그린티이버월 패널과 바닥구조 사이의 직각접합 방법 개발
- (7) 국산 잣나무를 이용한 그린티이버월 패널의 개발

제 2절 협동과제: 그린티이버월 및 그린티이버아트월 구조의 성능 평가

1. 1차년도 연구과제: 그린티이버월 패널의 강도 및 단열성능 평가

가. 개발 내용 및 범위

나. 시험재료

다. 연구내용 및 결과

- (1) 수직하중저항성능 시험
- (2) 수평하중저항성능 시험
- (3) 단열성능 시험
- (4) 그린티이버월 패널의 개선

2. 2차년도 연구과제: 그린티이버아트월 구조의 성능 평가

가. 개발 내용 및 범위

나. 시험재료

다. 시험방법

- (1) 수직하중저항성능 시험
- (2) 수평하중저항성능 시험
- (3) 단열성능 시험
- (4) 내화성능 시험
- (5) 차음성능 시험
- (6) 포름알데히드 방산량 측정
- (7) 단열계수 측정

라. 연구내용 및 결과

- (1) 국산 낙엽송 목재 벽널을 사용한 그린티이버월 패널의 강도 성능

- (2) 그린티이버월 및 그린티이버아트월 패널의 개선
- (3) 그린티이버월 패널의 내화성능 및 차음성능
- (4) 그린티이버아트월 패널의 강도 성능
- (5) 그린티이버아트월 패널의 단열 성능

### 3. 3차년도 연구과제: 그린티이버월 패널 접합부의 성능 평가

#### 가. 개발 내용 및 범위

#### 나. 시험재료

#### 다. 시험방법

- (1) 그린티이버월 패널 길이이음 접합부의 수평하중저항성능 시험
- (2) 그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능 시험
- (3) 그린티이버월 패널 직각접합부의 수직전단성능 시험
- (4) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능 시험
- (5) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 수직전단성능 시험
- (6) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 못뽑기(인발)저항성능 시험
- (7) 국산 잣나무를 사용한 그린티이버월 패널의 수평하중저항성능 시험
- (8) 단열성능 예측 이론모형의 개선

#### 라. 연구내용 및 결과

- (1) 그린티이버월 패널 길이이음 접합부의 수평하중저항성능
- (2) 그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능
- (3) 그린티이버월 패널 직각접합부의 수직전단성능
- (4) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능
- (5) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 수직전단성능
- (6) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 못뽑기(인발)저항성능
- (7) 국산 잣나무를 사용한 그린티이버월 패널의 수평하중저항성능
- (8) 단열성능 예측 이론모형의 개선

제 4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 5장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 7장 참고문헌

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

우리나라는 국내에서 소비되는 에너지의 대부분을 외국으로부터의 수입에 의존하는 에너지 수입국으로서 연간 에너지 수입비용이 1,000억 달러를 넘어서고 있다. 이러한 수입 에너지의 80% 이상이 화석연료인 원유 수입을 위한 비용으로서 에너지의 과다한 수입비용이 국가 경제의 발목을 잡고 있는 상황이라고 할 수 있다. 우리나라는 에너지 수입비용이 과다한 반면 국내에서 사용되는 에너지의 사용효율은 매우 낮아서 일본의 1/3 수준에 불과하며 OECD 국가 평균치에 비해서도 절반 정도의 에너지 사용효율을 나타내고 있다. 그만큼 사용되는 에너지의 양에 비하여 쓸데없이 유출되는 에너지의 양이 많다는 뜻이다.

현재 국내에서 사용되는 에너지의 약 35% 이상이 건축물의 냉난방 및 전기 등으로 소비되고 있는 실정으로서 건축물 관련 에너지의 절감이 시급히 요구되고 있는 과제라고 할 수 있다. 우리나라의 공동주택에서 냉난방을 위하여 소비되는 원유의 양은 연간  $17.5\ell/m^2$ 로서 공동주택이나 주거용 주택의 에너지 소비효율을 높여서 주거용 주택에서 쓸데없이 낭비되는 에너지의 상당 부분만 줄여도 국가 전체적으로 많은 비용을 절감할 수 있으며 국가 경제에도 그 만큼의 부담을 줄일 수가 있다. 특히 화석연료인 유류를 이용한 냉난방이 주를 이루는 우리나라로서는 주거용 주택의 연료 사용 증가는 곧바로 온실가스인 이산화탄소 발생량 증가로 이어져서 이산화탄소 다량 배출국으로서 국제적인 비난과 제재를 받을 수 있다. 특히 2013년 이후에는 우리나라도 이산화탄소 의무감축국으로 지정될 가능성이 매우 높은 실정이기 때문에 국내에서 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있는 대책들이 시급히 마련되어야 할 것이다.

최근 들어 전 세계적으로 그린 열풍이 불면서 세계 각국이 앞 다투어 그린기술의 개발에 나서고 있으며 건축 분야에서도 이러한 그린기술의 개발을 위하여 많은 나라들이 시간과 자원을 투자하고 있다. 우리나라도 좀 늦기는 하였지만 현 정부 들어서 저탄소 녹색성장의 기치를 내걸고 그린기술 개발에 좀 더 적극적으로 투자하고자 하는 의욕을 보이고 있으며 정부 차원에서도 저탄소 녹색성장과 신재생에너지의 활용을 우리나라의 미래 먹거리 산업으로 규정하고 적극 지원하고 있다. 건축분야에서도 향후 10년 동안 신규 주택 100만호 및 기존 주택 리모델링 100만호를 포함하여 약 200만호의 그린홈을 건축하겠다는 계획을 발표한 바 있다. 물론 아직까지 그린홈의 기술 수준이나 표준 등이 완전하게 정해지지 않았지만 시간이 갈수록 점차 그 윤곽이 명확하게 드러나고 있다. 목조건축산업에서도 이러한 정부의 정책과 전세계적인 그린기술 개발, 에너지 효율성 향상 등의 방향에 맞추기 위하여 그린목조건축기술의 개발이 필요한 시점이라고 할 수 있다.

대림이앤씨(주)에서는 목조건축분야에서도 그린기술의 개발이 필요하다는 판단 하에 충남대학교 목구조연구실(그린건축연구실)과 공동으로 그린팀버월 패널의 개발에 관한 연구과제를 수행하게 되었다. 목조주택이 가지고 있는 환경 및 인체 친화의 특성에 그린기술을 더한 그린팀버홈의 건축을 위해서는 그린팀버월 구조의 개발이 반드시 선행되어야 하는 과제이다. 기존의 목조주택용 벽 구조가 목재 스테드와 그 사이에 유리섬유 단열재를 사용하고 실내용 벽의 양 측면과 실외벽의 실내 쪽 벽면에는 석고보드를 부착하고 실외벽의 실외쪽 벽면에는 구조용 목질판재인 OSB를 부착한 구조인 것에 비하여 이번에 개발한 그린팀버월에서는 스테드 사이에 단열재를 설치하고 양 측면면의 석고보드 대신에 두꺼운 목재 벽널판을 설치한 구조를 지니고 있다.

석고보드는 싸고 내화 및 단열성능이 비교적 우수하다는 특성 때문에 건축 분야에서 매우 많은 양이 사용되고 있다. 그러나 석고보드는 사용 시 석고 자체에서 발생하는 다량의 미세먼지와 석고의 성분이 가지고 있는 인체 유해성 방사능물질인 라돈의 방출 우려 등으로 인하여 건강상의 유해 여부가 아직 불분명한 재료이다. 따라서 건강주택인 그린팀버홈에서는 가능하면 석고보드의 사용을 줄이고 자연재료인 목재의 사용량을 늘리기 위한 노력을 할 필요가 있다. 따라서 그린팀버월에서는 석고보드를 사용하지 않고 두꺼운 목재 벽널판을 사용하였으며 목재 자체가 가지고 있는 우수한 단열성능 및 내화성능을 이용하여 에너지 효율 및 내화성능과 차음성능이 우수한 그린팀버월을 개발하고 그 성능을 평가하였다.

그린팀버월에 장식 기능을 강화하여 주택 내에서 실내장식의 주된 포인트 역할을 할 수 있도록 구성된 벽체를 그린팀버아트월이라고 한다. 목조주택의 벽체 또는 고층 아파트 및 상가의 비내력벽 중에서 실내의 중심이 되는 포인트를 주고자 하는 위치에 그린팀버아트월을 설치함으로써 목조주택에서는 내력벽과 실내장식의 역할을 동시에 수행하며 콘크리트 건축물에서는 비내력 칸막이벽과 실내장식의 역할을 동시에 수행하도록 할 수 있다. 그린팀버월 및 그린팀버아트월을 모두 패널화하여 공장에서 생산함으로써 현장에서의 인건비 및 시공시간을 줄이고 시공의 정확도 및 안전성을 증가시키는 방법을 적용한다면 목조주택 시장 확대는 물론 지금 까지는 목재산업 시장과 전혀 상관없다고 인식되었던 고층아파트 및 상가, 사무실 등의 비내력 칸막이벽이라는 새로운 시장도 함께 개척하는 효과를 거둘 수 있을 것으로 생각한다.

이 연구과제의 1차년도에는 그린팀버월의 구조를 개발하고 이를 패널화하며 개발된 그린팀버월 패널의 수직 및 수평하중저항성능, 단열성능, 내화성능 등을 평가하여 그 개선방안을 강구하는 연구를 수행하였다. 2차년도에는 그린팀버아트월 구조를 개발하고 이를 패널화하며 개발된 그린팀버아트월 패널의 수직 및 수평하중저항성능, 단열성능, 내화성능 등을 평가하여 그 개선방안을 강구하는 연구를 수행하였다. 이 연구의 마지막 해인 3차년도에는 그린팀버월 패널의 벽-벽 수평접합부,

벽-벽 수직접합부 및 바다-벽 접합부를 개발하고 각각의 접합부에 대한 전단 및 모멘트저항성능을 평가하여 그 개선방안을 강구하는 연구를 수행하였다.

그린팀버월 패널은 개별적인 목조건축이나 목조건축 단지 뿐만 아니라 농어촌 뉴타운 주택, 은퇴자들을 위한 은퇴자 마을 조성 사업이나 농산촌의 새로운 주거지 개발 사업, 기존의 주거지 리모델링 사업 등에도 도입될 수 있으며 이를 통하여 농어촌 및 산촌의 주거단지에서의 에너지 사용량 감소 및 주택 내에 탄소 저장량 증가를 통하여 국가 전체적으로 탄소발생량 감소를 가져옴으로써 2013년 이후에 국제사회에서 우리나라가 지게 될 것으로 예상되는 탄소 감축의무를 효율적으로 감당하는데 도움이 될 수 있을 것이다. 그린팀버월 패널의 개발은 우리 정부의 저탄소 녹색성장 및 그린홈 건축 정책과도 일치하며 목조건축산업의 차별화 방향 및 미래 발전 방향을 제시하는 계기를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

우리나라의 전체적인 주택 공급률이 100%를 넘었기 때문에 과거와 같은 아파트 중심의 양적 주택공급 정책에서 이제는 벗어날 때가 되었다. 정부에서도 지금까지의 아파트를 중심으로 한 대규모 주택공급정책에서 벗어나서 단독주택의 공급 비중을 점차 확대하여 2020년경에는 아파트와 같은 공동주택과 단독주택의 공급 비율을 50:50으로 맞추겠다는 정책을 발표한 바 있다. 단독주택의 공급량이 늘어나면 당연히 주거환경과 인체친화 특성이 우수한 목조주택의 공급량도 증가 할 것으로 예상된다. 앞으로의 주택은 에너지 효율성과 환경보호, 인체친화 등의 측면에서 우수한 주거환경을 제공하는 방향으로 발전해 나아갈 것이라는 사실은 모두가 공감하고 있다. 목조주택산업이 우리나라에서 앞으로도 지속적으로 발전해 나아가기 위해서는 목조건축공법을 이러한 미래 주택의 발전 방향에 잘 맞추어서 연구개발을 추진하여야 할 것이다. 이 연구과제의 주된 내용인 그린팀버월은 미래의 주택 발전방향에 매우 근접한 공법으로서 목조건축산업이 앞으로 나아갈 방향을 제시하고 있다고 할 수 있을 것이다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 제 1절 국내의 기술개발 현황

우리나라에 경골목조건축공법이 소개된 것은 1980년대 말로써 1990년대의 도입 및 공법의 개선 시기를 지나서 2000년대에 본격적인 경골목조주택의 보급 시기를 맞고 있다. 이러한 과정을 거쳐서 그동안 경골목조주택의 패널화를 위한 노력을 기울인 업체들이 일부 있었으며 그러한 노력의 일환으로 이 연구과제의 주관기관인 대림이앤씨(주)에서 2006년도에 패널 공장을 설립하여 현재까지 운영하고 있다. 대림이앤씨(주) 이외에도 일부 기업들이 패널화를 시도하였으나 대부분 실패하였고 현재 1개업체가 추가로 패널화 공법을 도입하여 공장을 설립하기는 하였지만 본격적인 생산 및 판매는 하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 현재 우리나라의 경골목조건축산업은 대부분 현장에서 목수들이 목재를 가공하여 조립하는 현장건축 공법을 적용하고 있으며 대림이앤씨(주)가 유일하게 패널화 공장에서 패널을 생산하여 현장에서 조립하는 패널화 공법을 적용하고 있는 실정이다. 목조건축업체들은 경골목조의 골조 위에 실내쪽 측면에 석고보드를 설치하는 기존의 공법으로 건축을 실시하고 있으며 그린팁버월의 형태로 건축을 실시하는 업체는 전혀 없는 실정이다. 주관기관인 대림이앤씨(주)가 현재 그린팁버월 패널의 개발 연구를 실시하고 있으며 연구의 결과를 자사의 건축현장에 적용할 계획을 가지고 있다.

현재 국내에서 경골목조건축으로서 내화성능이 입증된 구조는 스티드 골조 위에 12.5mm 두께의 방화석고보드를 1~2매 덧붙인 구조가 1~2시간의 내화성능을 입증 받았으며 그 외에는 전혀 없는 실정이다. 대부분의 설계자, 시공자 및 주택 실수요자들은 방화석고보드 없이 목재만으로 내화구조를 만들 수 있다는 사실을 전혀 알지 못하고 있다. 이 연구에서 방화석고보드의 사용 없이 목재 벽널만을 설치하여 1시간의 내화성능을 나타내었고 방화석고보드와 복합적으로 사용하여 2시간의 내화성능을 나타내는 구조를 개발하였다. 이러한 내화구조는 지금까지 방화석고보드의 사용 없이는 경골목구조의 내화구조를 만들 수 없다는 인식을 완전히 뒤집은 것으로서 약 35mm 두께의 목재 벽널만을 사용하여 1시간의 내화구조를 만들 수 있고 방화석고보드와 두꺼운 목재벽널을 혼합 사용하면 2시간의 내화구조를 만들 수 있음을 입증하였다.

1시간의 내화성능을 가진 구조는 4층 이하의 건축물의 내력벽 및 비내력벽에 사용될 수 있으며 2시간의 내화성능을 가진 구조는 4층을 초과하는 고층건축물의 비내력벽에 사용될 수 있다. 따라서 그린팁버월 패널은 4층 이하의 목구조 건축물에서 내력벽 및 비내력벽으로 사용될 수 있으며 또한 층수에 상관없이 모든 콘크리트

또는 철골구조의 건축물에서 비내력벽으로 사용될 수 있는 구조라고 할 수 있다. 벽면에 방화석고보드 없이 목재 벽널만을 가지고 1시간 이상의 내화성을 나타낼 수 있는 구조는 전 세계적으로도 가장 첨단 성능을 나타내는 목구조라고 할 수 있을 것이다.

## 제 2절 국외의 기술개발 현황

이미 목재패널을 콘크리트나 철골구조의 비내력 칸막이벽으로 사용하는 끼움벽 시스템공법은 유럽에서 오래 전부터 개발되어 널리 사용되고 있다. 목구조 끼움벽 시스템은 20세기 중반에 스칸디나비아 반도에서 처음 개발되었으며 이후 유럽 전역으로 퍼져나가서 현재는 상당히 일반화된 공법으로 인정받고 있다. 목구조 끼움벽 시스템은 무게가 가볍고 단열성능이 우수하며 공장에서 생산하여 현장에 설치할 수 있다는 이점 때문에 유럽에서는 점차 시장이 확대되어 가고 있다. 이 끼움벽 시스템의 개념이 이 연구에서 계획하고 있는 그린팀버월의 비내력 칸막이 용도와 비슷하지만 벽체의 구성 자체는 전혀 다른 형태를 나타내고 있다.

2000년 이후에 스웨덴에서 그린주택 개념을 적용하여 패시브하우스가 처음으로 개발되었으며 이후에 북유럽을 중심으로 독일과 핀란드 등에서 시장이 확대되고 있다. 캐나다에서도 2000년대 이후에 목조주택의 단열성능을 향상시킨 슈퍼 e하우스가 개발되었으며 북미지역을 중심으로 시장을 확대하고 있다. 패시브 하우스나 슈퍼 e하우스 등은 기후변화협약이 발효되면서 주택의 에너지 효율성을 높여서 에너지 낭비를 막고 이산화탄소 발생량을 감축하고자 하는 노력의 일환으로 개발되었으며 그러한 측면에서 이 연구에서 지향하는 목표와 상통하는 측면이 있다. 그러나 목표는 비슷하지만 구조의 내용이나 구성은 전혀 다르며 이 연구의 결과를 활용하여 이들 주택과 경쟁할 수 있는 그린팀버홈 기술로 발전시켜 나아가고자 한다.

지금까지 목구조에서 내화구조는 두 가지 방법으로 만들 수 있는 것으로 알려져 있으며 대부분의 연구자들이 이들 두 가지 공법의 개발을 집중적으로 연구하고 있는 실정이다. 첫째는 목재 자체의 늦은 탄화속도를 이용하여 원하는 시간동안의 내화성을 나타내기 위하여 그 시간동안 목재가 탄화될 수 있는 깊이만큼 두께를 증가시킨 제품을 사용함으로써 목재의 외부는 탄화되더라도 내부의 탄화되지 않은 부분이 구조적 성능을 그대로 유지하도록 하는 방법이다. 이러한 공법은 주로 구조용 집성재 또는 큰 단면을 가지는 목재 부재를 사용하는 대단면 목조건축공법에 적용되고 있다. 우리나라에서도 이러한 공법을 공식적으로 인정하여 KS F 1611-3 (건축구조부재의 내화성능 표준 - 제3부 : 구조용 집성재 보 및 기둥)이 제정되어 시행되고 있다.

두 번째 내화목구조공법은 경골목조건축에 주로 이용되는 방법으로서 작은 단면의 부재들을 좁은 간격으로 배치하고 그 양면으로 방화석고보드로 감싸서 방화석고보드의 내화성능을 이용하여 내화구조를 만드는 방법이다. 이러한 내화구조공법은 우리나라에서도 이러한 공식적으로 인정하여 KS F 1611-1 (건축구조부재의 내화성능 표준 - 제1부 : 경골목구조 벽 및 바닥/천장)이 제정되어 시행되고 있다. 전 세계적으로도 위의 두 가지 공법 이외에는 내화목구조공법으로 개발되어 인정받은 공법이 없는 실정이다. 따라서 전 세계적으로도 방화석고보드를 사용하지 않고 목재 벽널만을 설치하여 넓은 벽면이 1시간 이상의 내화성능을 나타낼 수 있다는 사실은 이번 연구를 통하여 처음 개발되었다고 할 수 있다.

## 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1절 세부과제: 그린팀버월 및 그린팀버아트월 구조의 개발 및 패넬화

#### 1. 1차년도 연구과제: 그린팀버월 구조의 개발 및 패넬화

##### 가. 개발 내용 및 범위

목재를 주재료로 사용하여 강도성능, 단열성능, 내화성능 및 차음성능이 우수한 그린팀버월 구조를 개발하고 이를 공장에서 생산할 수 있는 패넬화 공법으로 전환하여 패넬화를 위한 상세도면을 작성한다.

##### 나. 시험재료

시험용 목재는 KS F 3020의 2등급 1종 구조재의 성능에 적합한 구조용 목재 중에서 현재 국내에서 가장 많이 유통되고 있는 38mmx89mm 및 38mmx140mm 목재를 사용하였다. 모든 목재 수종은 캐나다산 헴퍼(Hem-fir)로 하였으며 1종구조재 중에서 2등급 이상의 품질을 갖는 목재로 선택하였다. 외벽 덮개재료로는 KS F 3113의 1등급 구조용 합판에 적합한 성능을 갖는 구조용 판재로서 두께 11.1mm에 1,220mmx2,440mm 치수의 치수를 갖는 OSB를 사용하였다. 접합철물로는 KS F 4514의 보통못 중에서 구조용재 사이의 접합에는 CN60, 골조와 덮개재료 사이의 접합에는 CN30을 사용하였다. 중앙의 스티드 사이에는 시중에서 경골구조용으로 많이 사용되는 R-13(38mmx89mm 스티드) 및 R-19(38mmx140mm 스티드) 유리섬유 단열재(하니소에서 제조)를 사용하였으며 내단열 및 외단열용으로는 KS L 9102에 명시된 100kg/m<sup>3</sup> 이상의 밀도와 0.044W/(m·K) 이하의 단열성능을 나타내는 두께 25mm의 미네랄울(벽산 제조)을 사용하였다.

##### 다. 그린팀버월 구조의 개발

그린팀버월 구조는 내력벽 및 비내력벽에 모두 사용 가능하며 다음과 같은 조건에 적합하도록 개발하였다.

- ① 그린의 이미지에 맞도록 단열성능이 우수하여야 한다.

- ② 다층 다세대 공동주택에도 사용할 수 있도록 내화성능이 우수하여야 한다.
- ③ 세대 내 또는 세대 간벽으로서 차음성능이 우수하여야 한다.
- ④ 목조주택용 내력벽으로서 3층 건물의 1층에서 사용 가능하도록 수직하중저항 성능 및 수평하중저항성능이 우수하여야 한다.
- ⑤ 가능하면 탄소 저장능력이 우수하고 환경 및 인체 친화형 자재이며 재생산이 가능한 목재의 사용량이 많아야 한다.
- ⑥ 가능하면 석고보드의 사용은 줄여야 한다.
- ⑦ 외벽에는 OSB의 사용이 가능하지만 내벽에서는 실내공기질 향상을 위하여 반드시 목재만이 사용되어야 한다.
- ⑧ 공장에서 생산하여 현장에서 조립할 수 있는 공법이 적용되어야 한다.

그린팁버월 개발하기 위하여 다음의 3가지 기본적인 전제조건을 적용하였다.

- ① 가능하면 인체 및 환경에 유리한 재료인 목재의 사용량을 늘린다.
- ② 벽체 두께를 최소한으로 하되 내화성능 및 단열 성능을 향상 시킬 수 있도록 한다.
- ③ 외벽의 경우에는 외벽 마감재료를 다양하게 적용시킬 수 있는 구조로 패널화 한다.

그린팁버월에서는 실외쪽 벽면에 접착제가 사용되어 환경호르몬 등의 인체 유해 물질을 방출할 가능성이 있는 OSB 패널의 사용을 자제하고 실내쪽 벽면에는 분진과 자연방사선 방출 등의 우려가 있는 석고보드 마감을 적용하지 않도록 하였다. 실내에 노출되는 내벽은 모두 두께 35mm의 T&G 목재벽널판으로 마감함으로써 인체 및 자연에 좋은 실내 주거환경을 조성하도록 하였다. 목재벽널판은 두께가 두 겹고(35mm) 측면에 T&G 가공이 되어 서로 끼워 맞출 수가 있으며 각 스테드마다 못머리가 작은 길이 60mm의 마감용 못으로 고정함으로써 OSB 판재를 사용하지 않고도 충분한 전단성능을 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

그린팁버월 패널에 설치되는 단열층을 내단열층, 중단열층 및 외단열층의 3개 층으로 구분하고 내벽과 외벽에 사용되는 모든 그린팁버월 패널에는 기본적으로 스테드의 사이에 R-13(38mmx89mm 스테드) 또는 R-19(38mmx140mm 스테드) 유리섬유를 사용하여 중단열층을 설치하고 달성하고자 하는 단열성능 및 내화성능 목표치에 따라서 내단열층 및 외단열층을 설치할 수 있다. 내단열층 및 외단열층은 두께 25mm에 나비 35mm의 수평 버팀대를 500mm 간격으로 고정시키고 그 사이에 두께 25mm의 미네랄울을 설치하는 구조로 하였다. 내단열층이 설치되는 경우에는 내단열층의 바깥쪽으로 35mmx135mm의 T&G 목재벽널판을 설치하고 내단열층이 없는 경우에는 스테드의 실내쪽 벽면에 목재벽널판을 바로 설치한다. 내화 및 차

음성능 최대로 향상시키고자 하는 경우에는 내화석고보드도 함께 설치할 수 있으며 이 경우에는 목재벽널판 안쪽에 내화석고보드를 고정시키고 그 바깥쪽으로 목재벽널판을 설치한다.

외단열층을 설치하는 경우에는 스테드의 바깥쪽에 두께 25mm에 나비 35mm의 수평 버팀대를 500mm 간격으로 고정시키고 그 사이에 두께 25mm의 미네랄울을 설치하였다. 외단열층 바깥쪽으로는 수분의 침투를 방지하기 위하여 방수막(house wrap)을 설치하고 그 바깥쪽으로 환기와 수분 배출을 위한 외벽 환기구를 설치하였다. 외벽 환기구를 두께 25mm에 나비 35mm의 방부처리된 수직 버팀대를 500mm 간격으로 설치하고 그 외부에 외벽마감재료를 부착하도록 하였다. 만약에 외단열층을 설치하지 않는 경우에는 스테드의 바깥쪽에 방수막을 설치하고 그 외부에 외벽 환기구용 수직 버팀대를 스테드와 같은 간격으로 고정시킨 후 외벽마감재료를 설치할 수 있다.

그린팀버월의 기본적인 요건을 만족할 수 있는 구성은 그림 A1-1과 같으며 중앙에 스테드를 1,220mm~2,440mm 간격으로 배치하고 그 사이에 R-13(38mmx89mm 스테드) 또는 R-19(38mmx140mm 스테드) 유리섬유단열재를 설치한다. 그 좌우측면에 두께 25mm 및 나비 35mm의 수평 버팀대를 500mm 간격으로 고정시키고 버팀대 사이에 두께 25mm의 미네랄울 단열재를 설치한다. 내벽의 경우에는 그림 A1-1에서 방수지를 생략할 수 있으며 벽체의 좌우측면에 두께 35mm의 T&G 목재벽널판으로 마감하여 대칭구조로 만든다. 내벽의 경우에는 요구되는 단열성과 내화 및 차음성능에 따라서 내단열층, 중단열층 및 외단열층의 적절한 조합을 만들 수 있으며 3가지 단열층을 모두 설치할 필요가 없는 경우에는 중단열층과 한쪽의 내단열층만을 설치할 수 있다.

그림 A1-1의 그린팀버월 패널이 외벽으로 사용되는 경우에는 외단열의 바깥쪽 벽면에 방수지(house wrap)를 설치하고 그 바깥쪽에 두께 25mm에 나비 35mm의 방부처리 수직 버팀대를 500mm 또는 스테드와 동일한 간격으로 고정하여 외벽 환기구를 설치한다. 외벽의 마감재료로는 두께 35mm의 T&G 방부처리 목재벽널판이 사용될 수도 있고 필요에 따라서 다양한 외벽마감재료가 설치될 수 있다. 외벽에서는 반드시 외벽환기구를 설치하여 외벽마감재료를 침투한 수분이 밑으로 흘러 내리거나 또는 이동하는 공기를 따라서 배출될 수 있도록 하여야 한다. 외벽에서는 전단성능 향상을 위하여 OSB 판재를 사용할 수 있으며 이 경우에는 그림 A1-1에서 스테드 바깥쪽으로 OSB 판재를 고정시키고 그 외부에 외단열층고 방수지를 설치하고 외벽 환기구를 수직방향으로 설치한 후 외벽마감재료를 제일 바깥쪽 외벽면에 부착시킨다.

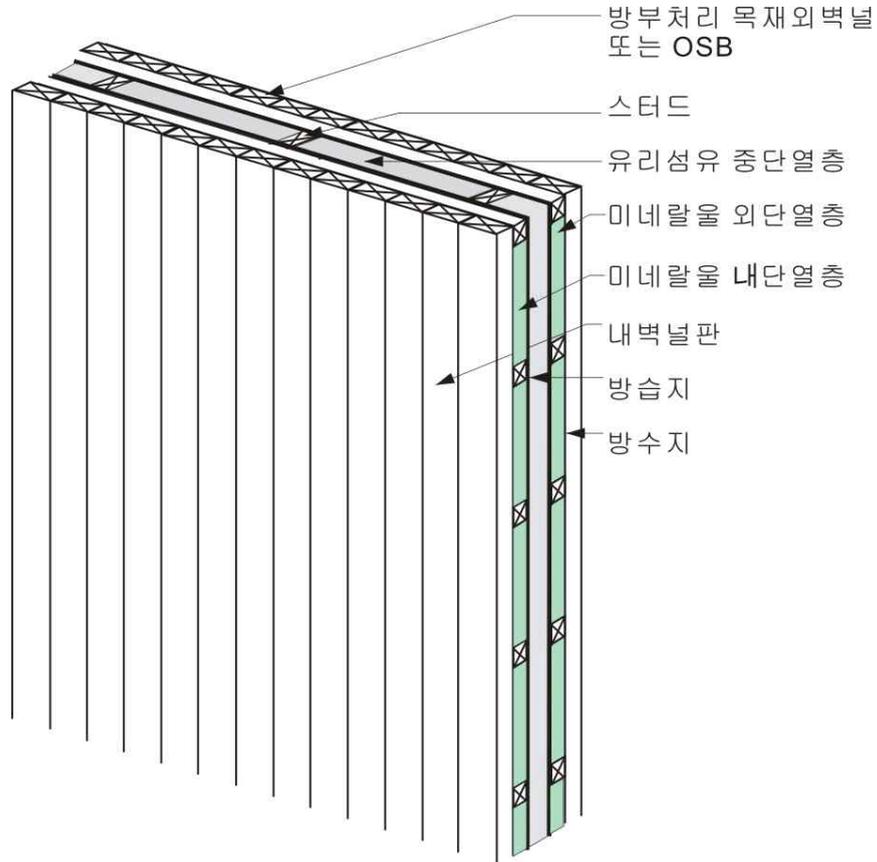


그림 A1-1 그린팀버월의 기본 개념도

내벽용 그린팀버월 패널의 구조는 표 A1-1과 같이 요약할 수 있으며 외벽용 그린팀버월 패널은 표 A1-2와 같이 요약할 수 있다.

표 A1-1 내벽용 그린타임버릴 패널

모델번호	G	B	A	N	4S	6S	4SS	4DS	N	A	B	G
IN-B-4-B	X	O	X	X	O	X	X	X	X	X	O	X
IN-B-6-B	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X	O	X
IN-G-4-G	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	O
IN-G-6-G	O	X	X	X	X	O	X	X	X	X	X	O
IN-GB-6-BG	O	O	X	X	X	O	X	X	X	X	O	O
IN-GB-6-NG	O	O	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O
IN-GB-6-AG	O	O	X	X	X	O	X	X	X	O	X	O
IN-GN-6-NG	O	X	X	O	X	O	X	X	O	X	X	O
IN-GA-6-AG	O	X	O	X	X	O	X	X	X	O	X	O
IN-GBN-6-NBG	O	O	X	O	X	O	X	X	O	X	O	O
IN-GBA-6-ABG	O	O	O	X	X	O	X	X	X	O	O	O
IN-GBN-6-ABG	O	O	X	O	X	O	X	X	X	O	O	O
IN-GBN-4S-NBG	O	O	X	O	X	X	O	X	O	X	O	O
IN-GBN-4S-ABG	O	O	X	O	X	X	O	X	X	O	O	O
IN-GBA-4S-ABG	O	O	O	X	X	X	O	X	X	O	O	O
IN-GBN-4D-NBG	O	O	X	O	X	X	X	O	O	X	O	O
IN-GBN-4D-ABG	O	O	X	O	X	X	X	O	X	O	O	O
IN-GBA-4D-ABG	O	O	O	X	X	X	X	O	X	O	O	O

※ 비교: 표 1에서 각각의 기호는 아래와 같은 뜻을 갖는다.

IN: 내벽

G: 두께 35mm의 T&G 목재벽널판

B: 두께 12.5mm의 일반 석고보드

A: 소음채널

N: 두께 25mm의 수평버팀대 사이에 25mm의 미네랄울이 설치된 내단열층

4S: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx89mm 스테드 사이에 R-13 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

6S: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx140mm 스테드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

4SS: 38mmx89mm 스테드를 서로 엇갈리게 이중으로 배치하고 스테드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 연속으로 설치한 중단열층

4DS: 38mmx89mm 스테드를 서로 같은 위치에 이중으로 배치하고 스테드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 연속으로 설치한 중단열층

표 A1-2 외벽용 그린타임버릴 패널

모델번호	G	B	N	4	6	S	F	H	X	W	P
EX-B-4-S	X	O	X	O	X	O	X	O	X	X	X
EX-B-6-S	X	O	X	X	O	O	X	O	X	X	X
EX-G-4-S	O	X	X	O	X	O	X	O	X	X	X
EX-G-4-P	O	X	X	O	X	X	X	O	X	X	O
EX-G-6-S	O	X	X	X	O	O	X	O	X	X	X
EX-G-6-P	O	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O
EX-GB-6-FX	O	O	X	X	O	X	O	O	O	X	X
EX-GN-6-FX	O	X	O	X	O	X	O	O	O	X	X
EX-GN-6-FXP	O	X	O	X	O	X	O	O	O	X	O
EX-GBN-6-FXW	O	O	O	X	O	X	O	O	O	O	X
EX-GBN-6-FXP	O	O	O	X	O	X	O	O	O	X	O

※ 비교: 표 2에서 각각의 기호는 아래와 같은 뜻을 갖는다.

EX: 외벽

G, B, N: 표 1의 비교와 동일

4: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx89mm 스티드 사이에 R-13 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

6: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx140mm 스티드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

S: 두께 11.1mm의 OSB

H: 방수지(house wrap)

X: 두께 25mm의 방부처리된 수평버팀대 사이에 25mm의 미네랄울이 설치된 외단열층

F: 두께 15mm의 방화석고보드, 단 F는 W로 대체될 수 있음

W: 두께 15mm의 방화방수석고보드

P: 두께 35mm의 T&G 방부처리 목재벽널판

표 A1-1에서 아래로 내려갈수록 패널의 단열성능, 내화성능 및 차음성능이 더 높아질 것으로 예상된다. 따라서 동일 세대 내의 실내벽이라면 표 A1-1의 위에 있는 패널만으로도 그 성능이 충분할 것이며 세대 사이의 경계벽이라면 표 A1-1의 아래쪽에 있는 패널들이 사용되어야 할 것이다.

표 A1-2의 외벽 패널들도 아래로 갈수록 단열성능, 내화성능 및 차음성능이 더 증가될 것으로 예상된다. 현재 경골목조건축공법에서는 대부분 표 A1-2의 윗 부분에 있는 구조가 적용되고 있지만 그린홈이나 패시브주택의 기준으로 보면 부족하며

이들 기준에 적합한 주택이 되기 위해서는 표 2의 아래쪽의 패널들이 적용되어야 할 것이다.

라. 그린팁버릴 구조의 패널화 및 시험용 패널의 생산

앞서 제안된 그린팁버릴구조는 실제 건축 시공에 적용하는 경우에 경제성, 정밀도, 안전성 등을 확보하기 위하여 패널화 공법을 적용할 필요가 있다. 이 연구에서는 그린팁버릴 구조를 패널화 공법에 적용하기 위하여 필요한 상세도면을 작성하고 공장에서 패널로 생산하기 위한 작업 매뉴얼을 작성하였다.

(1) 그린팁버릴 패널의 제작을 위한 상세도면 작성

그린팁버릴 외벽 패널 제작을 위한 상세도면은 그림 A1-2~그림 A1-9와 같다.

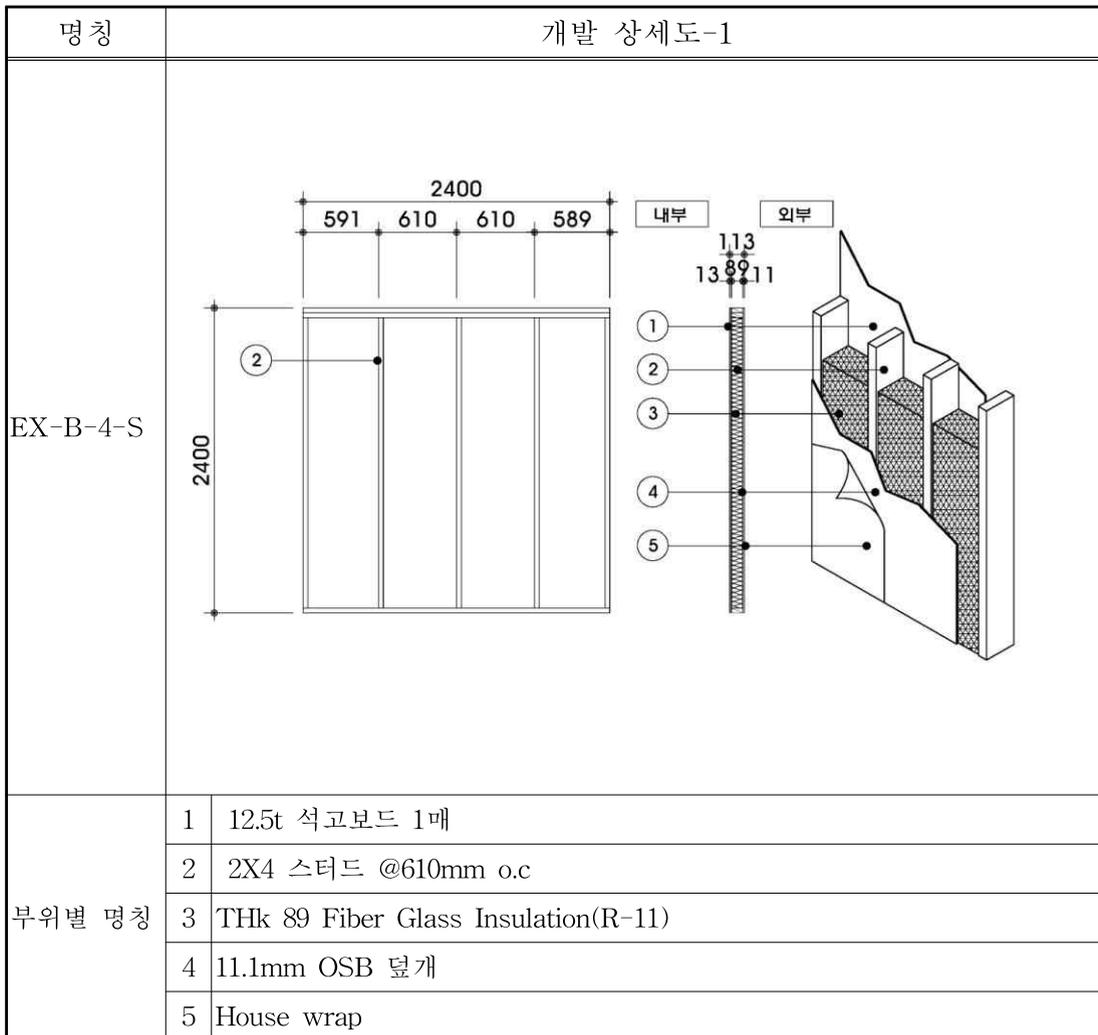


그림 A1-2. 그린팁버릴 외벽 패널 EX-B-4-S의 상세도면

명칭	개발 상세도-2	
EX-B-6-S		
부위별 명칭	1	12.5t 석고보드 1매
	2	2X6 스타드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-11)
	4	11.1mm OSB 덮개
	5	House wrap

그림 A1-3. 그린티म्버월 외벽 패널 EX-B-6-S의 상세도면

명칭	개발 상세도-3	
EX-G-4-S		
부위별 명칭	1	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	2	2X4 스테드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-11)
	4	11.1mm OSB 덮개
	5	House wrap

그림 A1-4. 그린티이버울 외벽 패널 EX-G-4-S의 상세도면

명칭	개발 상세도-4	
EX-G-4-P		
부위별 명칭	1	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	2	2X4 스타드 @610mm o.c
	3	Thk 89 Fiber Glass Insulation(R-11)
	4	House wrap
	5	Treated Wall Panel w/ T&G(수평 설치)

그림 A1-5. 그린티म्버월 외벽 패널 EX-G-4-P의 상세도면

명칭	개발 상세도-5	
EX-G-6-S		
부위별 명칭	1	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	2	2X6 스타드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-11)
	4	11.1mm OSB 덮개
	5	House wrap

그림 A1-6. 그린티म्버월 외벽 패널 EX-G-6-S의 상세도면

명칭	개발 상세도-6	
EX-G-6-P		
부위별 명칭	1	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	2	2X6 스타드 @610mm o.c
	3	Thk 89 Fiber Glass Insulation(R-19)
	4	House wrap
	5	Treated Wall Panel w/ T&G(수평 설치)

그림 A1-7. 그린티म्버월 외벽 패널 EX-G-6-P의 상세도면

명칭	개발 상세도-7	
EX-GN-6-BX		
부위별 명칭	1	2×6 wall panel T&G making(vertical)
	2	12.5t 방화석고보드
	3	2×2 sticker(Horizon)+25t mineral wool
	4	THk 140 Fiber Glass Insulation(R-11)
	5	2X6 스타드 @610mm o.c
	6	2×2 sticker(Horizon)+25t mineral wool
	7	15t 방화방수석고보드
	8	house wrap

그림 A1-8. 그린팀버윌 외벽 패널 EX-GN-6-BX의 상세도면

명칭	개발 상세도-8	
EX-GBN-6-BXB		
부위별 명칭	1	15t 방화방수석고보드
	2	2×2 sticker(vertical)+25t mineral wool+house wrap
	3	15t 방화방수석고보드
	4	2X6 스티드 @610mm o.c
	5	Thk 140 Fiber Glass Insulation(R-19)
	6	2×2 sticker(horizon) + mineral wool
	7	15t 방화석고보드
	8	2×6 wall panel T&G making(vertical)

그림 A1-9. 그린팀버월 외벽 패널 EX-GBN-6-BXB의 상세도면

그린팀버월 내벽 패널의 제작을 위한 상세도면은 그림 A1-10 ~ 그림 A1-15와 같다.

명칭	개발 상세도-1	
IN-B-4-B		
부위별 명칭	1	12.5t 석고보드 1매
	2	2X4 스타드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-11)
	4	12.5t 석고보드 1매

그림 A1-10. 그린팁버릴 내벽 패널 IN-B-4-B의 상세도면

명칭	개발 상세도-2	
IN-B-6-B		
부위별 명칭	1	12.5t 석고보드 1매
	2	2X6 스타드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-19)
	4	12.5t 석고보드 1매

그림 A1-11. 그린템버울 내벽 패널 IN-B-6-B의 상세도면

명칭	개발 상세도-3	
IN-G-4-G		
부위별 명칭	1	2×6 wall panel T&G making
	2	Thk 89 Fiber Glass Insulation(R-11)
	3	2X4 스테드 @610mm o.c
	4	2×6 wall panel T&G making

그림 A1-12. 그린탐버일 내벽 패널 IN-B-4-G의 상세도면

명칭	개발 상세도-4	
IN-GB-6-NG		
부위별 명칭	1	2×6 wall panel T&G making(Horizon)
	2	12.5t 방화석고보드
	3	2X6 스테드 @610mm o.c
	4	THk 140 Fiber Glass Insulation(R-19)
	5	2×2 sticker(Horizon)
	6	25t mineral wool
	7	2×6 wall panel T&G making(vertical)

그림 A1-13. 그린템버윌 내벽 패널 IN-GB-6-NG의 상세도면

명칭	개발 상세도-5	
IN-GB-6-A G		
부위별 명칭	1	2×6 wall panel T&G making(vertical)
	2	12.5t 방화석고보드
	3	2X6 스티드 @610mm o.c
	4	THk 140 Fiber Glass Insulation(R-19)
	5	2×2 sticker(Horizon)
	6	20t 내화단열재
	7	2×6 wall panel T&G making(vertical)

그림 A1-14. 그린템버윌 내벽 패널 IN-GB-6-AG의 상세도면

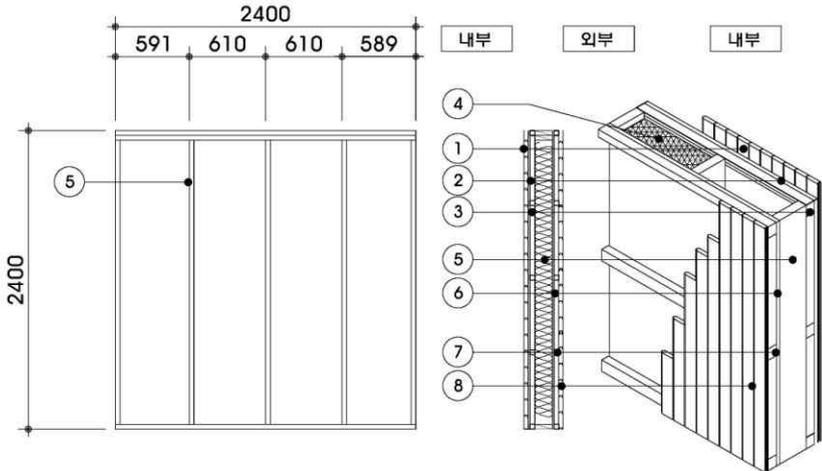
명칭	개발 상세도-6	
IN-GBN-6-NBG		
부위별 명칭	1	2×6 wall panel T&G making(vertical)
	2	12.5t 방화석고보드
	3	2×2 sticker(Horizon)+25t mineral wool
	4	THk 140 Fiber Glass Insulation(R-11)
	5	2X6 스티드 @610mm o.c
	6	12.5t 방화석고보드
	7	2×2 sticker(Horizon)+25t mineral wool
	8	2×6 wall panel T&G making(vertical)

그림 A1-15. 그린팀버월 내벽 패널 IN-GBN-6-NBG의 상세도면

(2) 그린팀버월 패널 제작을 위한 작업매뉴얼

그린팀버월 패널을 제작하기 위하여 다음과 같은 재료들이 준비되어야 한다.

- ① 구조용 목재: 2등급 이상의 구조용재로서 함수율 18% 이하로 건조된 것을 사용한다. 그린팀버월의 제작에는 38mmx89mm(내벽) 또는 38mmx140mm(외벽)의 부재를 사용한다. 내단열이나 외단열층을 설치하기 위한 버팀대는 25mmx 38mm 부재를 사용하며 내단열층에는 방부처리 되지 않은 부재 그리고 외단열층에는 SC 1등급 이상으로 가압 방부처리된 목재를 사용한다.
- ② 벽널판: 그린팀버월의 벽널판은 38mmx140mm 구조용재 2등급 이상으로서 함수율이 18% 이하인 부재의 측면에 T&G 가공을 한 것을 사용한다. 내벽용 벽널판은 방부처리를 하지 않은 목재를 사용하며 외벽용 벽널판은 T&G 가공 후 SC 3등급 이상으로 가압방부처리를 한 목재를 사용한다.
- ③ 단열재: 그린팀버월의 단열층은 내단열, 중단열 및 외단열의 3개 층으로 구분하고 이 중에서 중단열은 항상 설치하며 그 외에 필요에 따라서 외단열 또는 내단열을 추가한다. 중단열은 중간 스티드 부재 사이에 유리섬유를 설치하여 구성하며 내단열 및 외단열은 스티드의 내부 또는 외부에 25mmx38mm 부재로 수평방향의 버팀대를 500mm 간격으로 고정된 후 그 사이에 25mm 두께의 미네랄울을 설치하여 구성한다. 중단열에는 38mmx89mm 스티드의 경우에는 R-11 유리섬유 단열재를 사용하며 38mmx140mm 스티드의 경우에는 R-19 유리섬유 단열재를 사용한다. 유리섬유 단열재는 방습지로 둘러싸여 있는 제품을 사용하며 한쪽 면에만 방습지가 부착된 경우에는 방습지가 부착된 면을 실내쪽으로 위치시킨다. 만약에 방습지가 부착되지 않은 유리섬유를 사용할 경우에는 스티드의 실내쪽 면에 두꺼운 비닐을 설치하여 실내의 습한 공기가 벽체 내부로 침투해 들어가는 것을 방지하여야 한다.
- ④ 석고보드: 단독주택에 사용되는 그린팀버월에서 석고보드가 함께 사용되는 모델의 경우에는 12.5mm 두께의 일반석고보드를 사용하며 다층 다세대 주택용 그린팀버월 패널로서 특별히 내화성능을 향상시키고자 하는 목적을 가진 경우에는 15mm 두께의 방화석고보드를 사용한다. 외벽의 바깥쪽에 내화성능 향상을 목적으로 석고보드를 사용하는 경우에는 15mm 두께의 방화방수석고보드를 사용하여 수분의 침투에 대해서도 대비하여야 한다.
- ⑤ 못: 구조용재 사이의 접합에는 16d 나삿니 보통못(박스못의 경우에는 한 치수 더 큰 것 사용)을 사용하며 구조용재와 OSB 사이에는 8d 나삿니 보통못을 사용한다. 내벽용 목재벽널판은 못 머리가 작은 16d 마감못을 사용하여 고정시키며 외벽용 목재벽널판은 16d 방청 마감못을 사용하여 고정시킨다. 석고보드는 길이 50mm의 나사못으로 고정하며 유리섬유 단열재는 양 측면의 방습지 날개에 길이 10mm의 낫쇠핀(staple)으로 고정시킨다. 미네랄울은 방습지 날개가 없기 때문에 길이 25mm의 고정핀을 별도로 사용하여야 하며 밀부

분의 받침판에 양면 접착테이프를 붙힌 후 고정핀을 스테드에 접착시키고 핀 부분에 미네랄올이 박히도록 고정시킨다.

그린팀버월 패널 제작을 위하여 적용되는 못박기 일람표(nailing schedule)는 표 A1-3과 같다.

표 A1-3 그린팀버월 패널 제작을 위한 못박기 일람표(nailing schedule)

접합부	못박기방법	보통못	박스못	못 간격
<b>벽 골조</b>				
이중갈도리에서 윗갈도리	표면못박기	2-16d <sup>1)</sup>	2-16d <sup>1)</sup>	300mm
윗갈도리 이음부	표면못박기	4-16d	5-16d	접합부한쪽
스테드에서 스테드 (조립기둥 제작 시)	표면못박기	2-16d	2-16d	600mm
헤더에서 헤더 (조립보 제작 시)	표면못박기	1-16d	1-16d	측면을 따라서 400mm
윗갈도리 또는 밑갈도리에서 스테드	끝면못박기	2-16d	2-16d	스테드마다
밑갈도리에서 바닥장선 또는 보막이	표면못박기	2-16d <sup>1)2)</sup>	2-16d <sup>1)2)</sup>	300mm
<b>벽 덮개</b>				
실내용 목재 벽널판	표면못박기	1-16d 마감못	1-16d 마감못	각 스테드 마다
실외용 방부처리 목재 벽널판	표면못박기	1-16d 방청마 감못	1-16d 방청마 감못	각 스테드 마다
구조용 목질판재(합판, OSB)		8d	10d	측면 150mm 내부 300mm
석고보드		50mm 나사못	50mm 나사못	측면 150mm 내부 300mm
<b>단열재</b>				
유리섬유		100mm 꺾쇠핀		150mm
버팀대	표면못박기	1-12d	1-12d	스테드 마다
미네랄올		25mm 고정핀		스테드 마다

비고<sup>1)</sup> 벽의요건은벽덮개가측면을따라서150mm간격으로못박기되는경우에대한값이다.

만약에 더 높은 면전단성능을 얻기 위하여 벽덮개가 측면을 따라서 75mm 간격으로 못박기된다면 표의 못박기 기준값들은 2배가 되어야 한다.

비고<sup>2)</sup> 만약에 하나의 벽덮개용 판재가 접합되는 부재들 사이에 걸쳐서 사용되는 경우에는 1개의 16d 못이 300mm 간격으로 사용될 수 있다.

그린팀버월 패널의 제작 공정은 그림 A1-16과 같다.

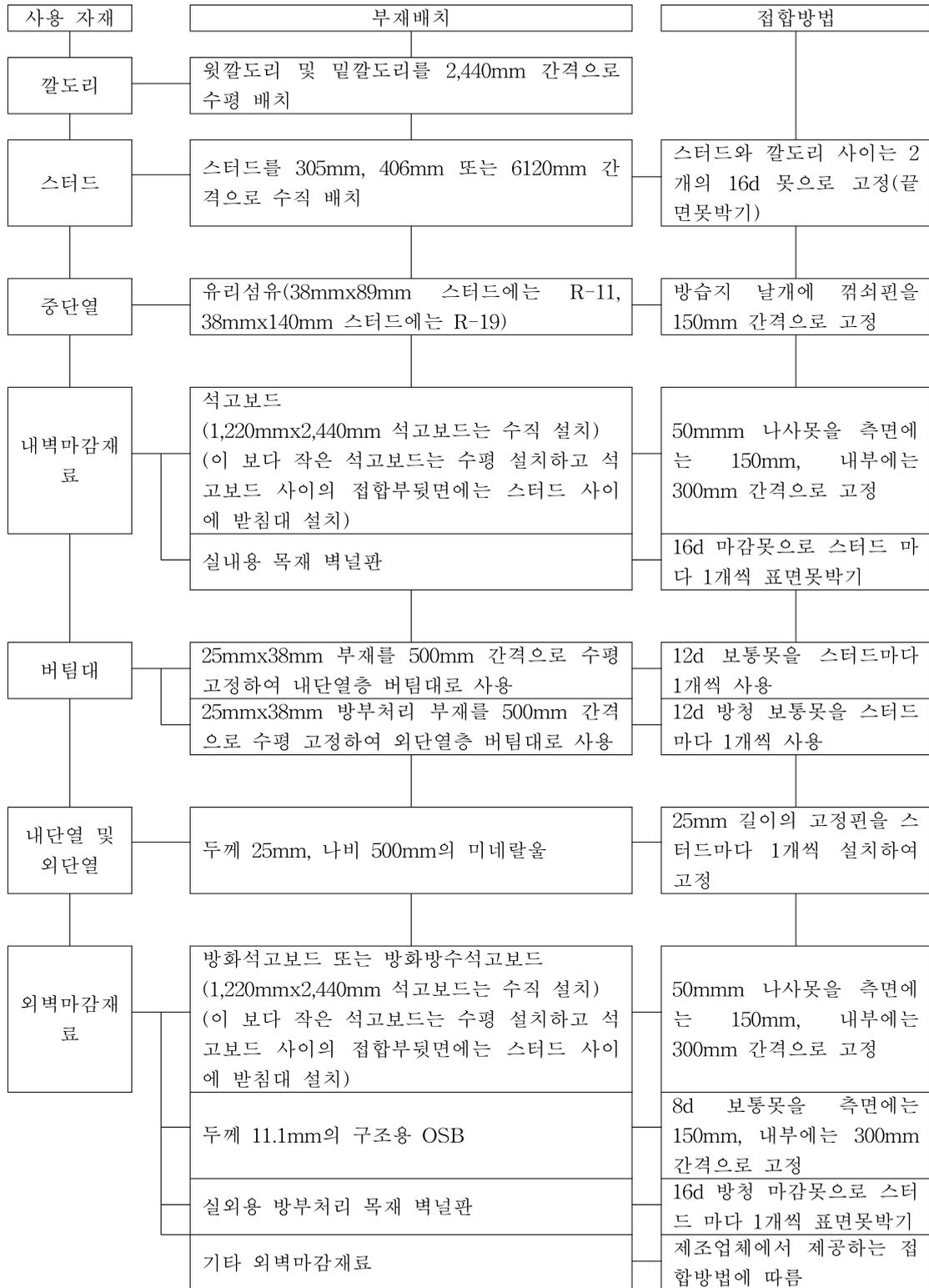


그림 A1-16. 그린팀버월 패널의 제작공정

마. 그린팁버월 패널의 강수저항 성능

아무리 좋은 구조라도 외벽으로 사용할 때에 강수로 인하여 외부로부터 수분이 침투하면 주택 구조체로서의 가치가 없다. 따라서 그린팁버월 구조의 경우에도 외벽 구조에 대하여 강수 저항성을 그림 A1-17과 같이 평가하였다. 그린팁버월 외벽 패널을 수직으로 설치하여 고정시키고 실외쪽 벽면에 그림 A1-17과 같이 샤워꼭지를 이용하여 물의 세기와 시간을 조절하면서 물을 뿌린 후 최종적으로 실외쪽 벽널판을 제거하고 수분의 침투여부를 눈으로 확인하였다.

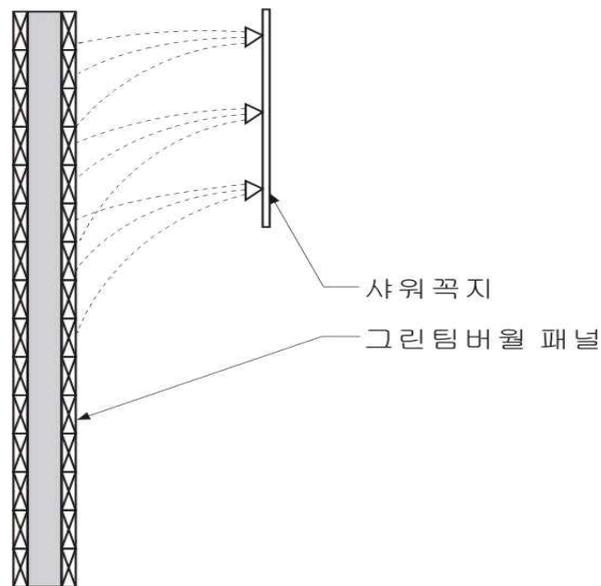


그림 A1-17. 그린팁버월 패널의 강수 저항성 시험방법

그린팁버월 패널의 강수시험에는 외벽용 패널들 중에서 EX-B-4-S(외부 최종 마감재료는 방수지(house wrap)), EX-G-4-P(외부 최종 마감재료는 T&G 목재 벽널판) 및 EX-G-4-P(외부 최종 마감재료는 방부처리 T&G 목재 벽널판)의 3가지를 사용하였다. 강수시험은 그림 A1-18에 보는 바와 같은 틀을 설치하고 시험틀에 시험용 벽체를 장착하여 시험을 실시하였으며 시험 중에 시험용 벽체가 인공강수에만 노출되고 외기 강수에 노출되지 않도록 하였다.

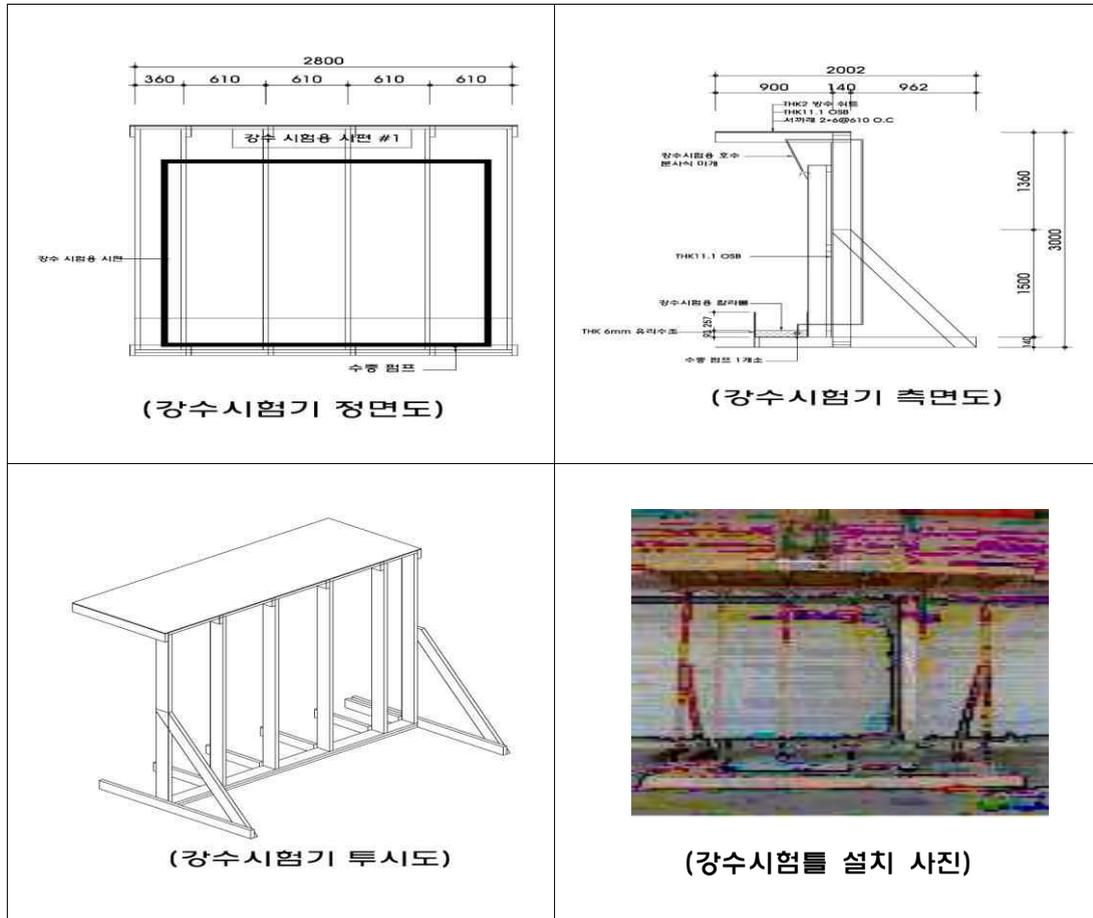


그림 A1-18. 강수시험틀 제작 및 시험편 설치방법

강수시험의 순서는 다음과 같다.

- ① 시험편을 그림 A1-18의 강수시험틀에 수직으로 설치한 후 고정시키고 시험편의 하부에 유리수조를 설치한 후 누수상태를 육안으로 관찰할 수 있도록 파란색 수성색소를 첨가한 물을 수조에 가득 채운다.
- ② 인공강수를 공급하는 수류펌프를 설치한후 8시간 마다 수류펌프의 강수량을 최초 1회 800L/H, 2회 1,000L/H, 3회 1,200L/H, 4회 1,400L/H, 5회 1,500L/H, 6회 1,600L/H, 7회 1,700L/H, 8회 1,800L/H로 조절하여 인공강수를 공급하고 6시간마다 누수상태를 육안으로 확인한다.
- ③ 강수시험기의 강수량은 12시간마다 확인하며, 48시간 동안의 강수시험이 종료된 후 2시간 동안 시험편을 건조하고 외부마감재부터 제거해 가면서 각 재료의 부위별 누수를 면적으로 계산한다.

그린티म्버월 각 모델별 강수시험 결과 사진은 각각 그림 A1-19, A1-20 및 A1-21과 같다.

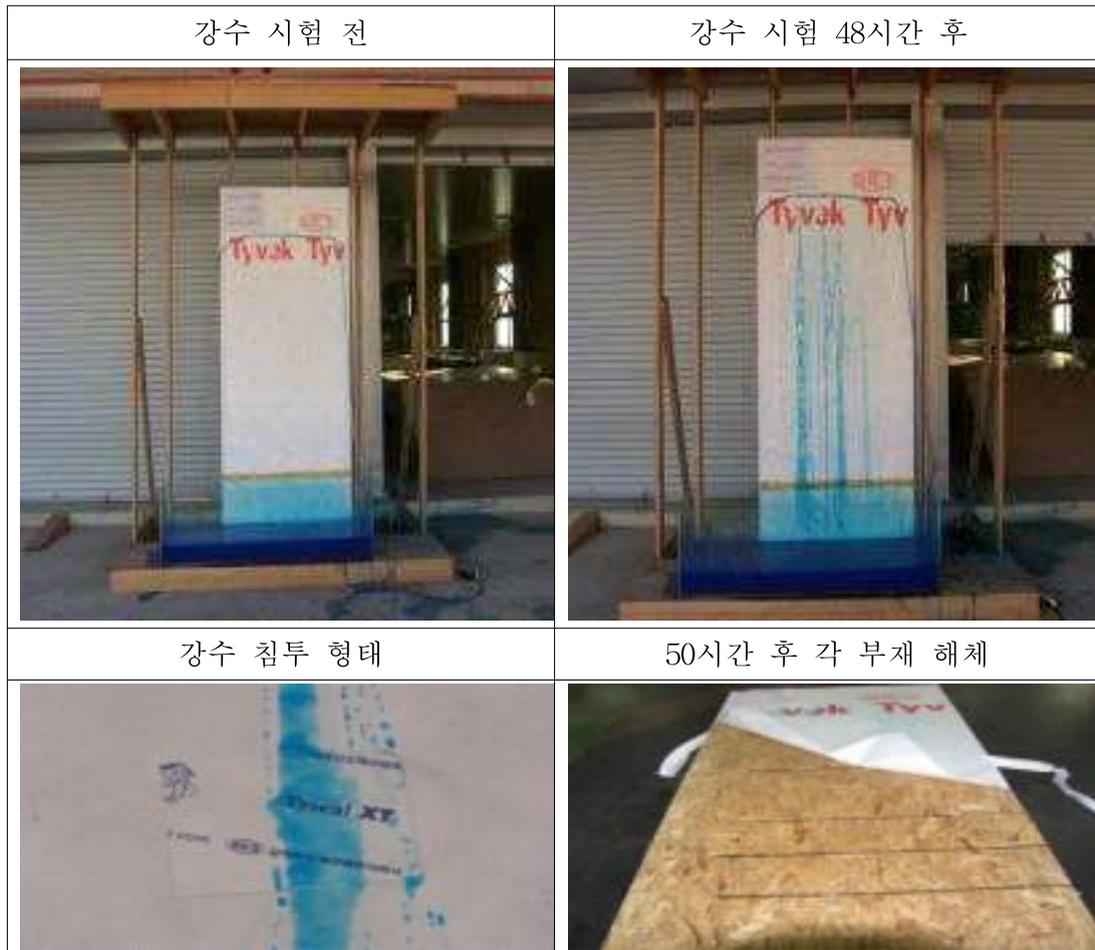


그림 A1-19. 그린티म्버월 패널 EX-B-4-S에 대한 강수시험 결과

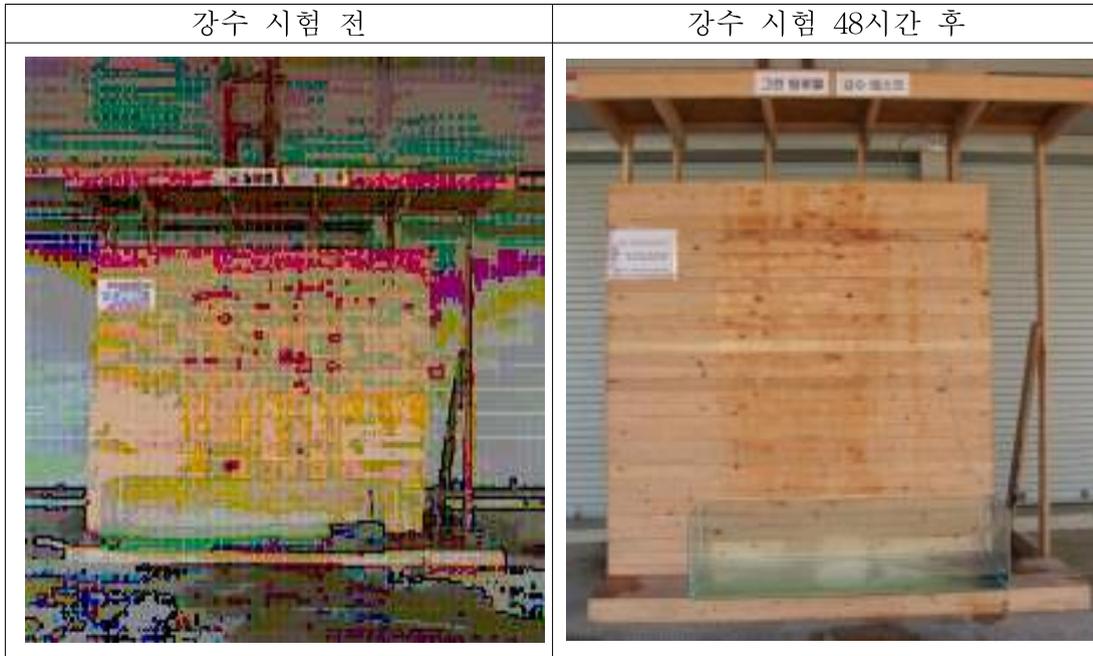


그림 A1-20. 그린팁버릴 패널 EX-G-4-G에 대한 강수시험 결과



그림 A1-21. 그린팁버릴 패널 EX-G-4-P에 대한 강수시험 결과

각각의 그린팁버릴 모델별 강수시험 후 누수면적 계산결과는 각각 그림 A1-22, A1-23 및 A1-24와 표 A1-4와 같다.

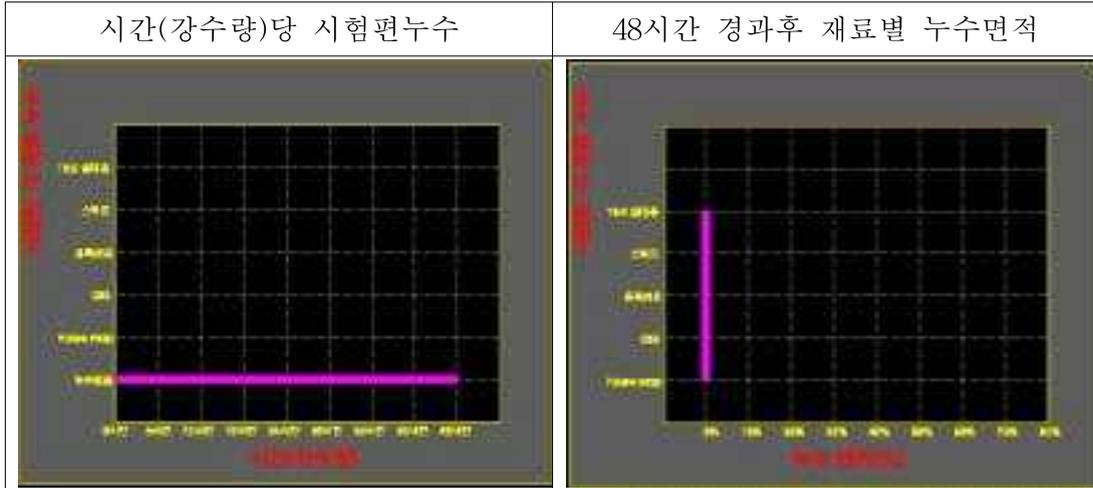


그림 A1-22. 그린팁버릴 패널 EX-B-4-S에 대한 강수시험 후 누수면적

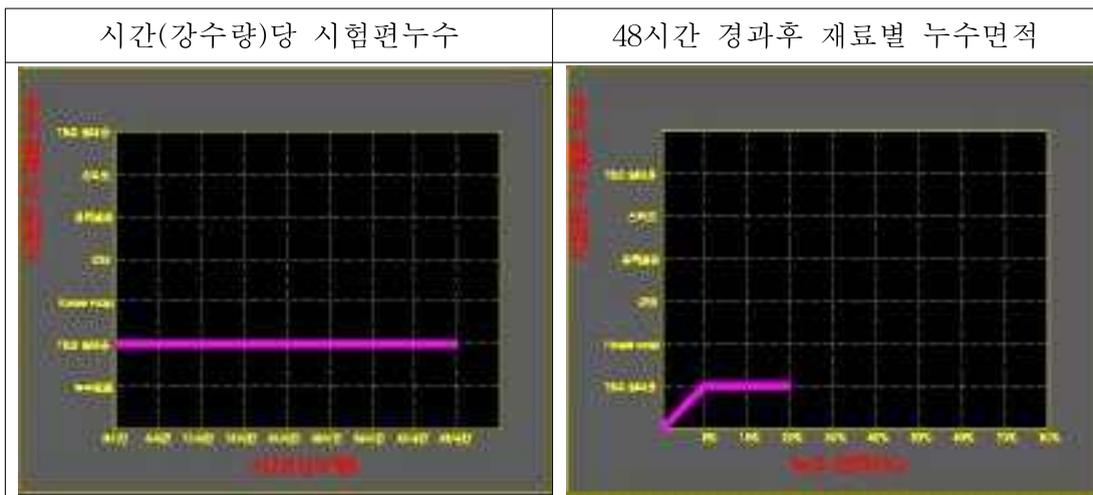


그림 A1-23. 그린팁버릴 패널 EX-G-4-G에 대한 강수시험 후 누수면적

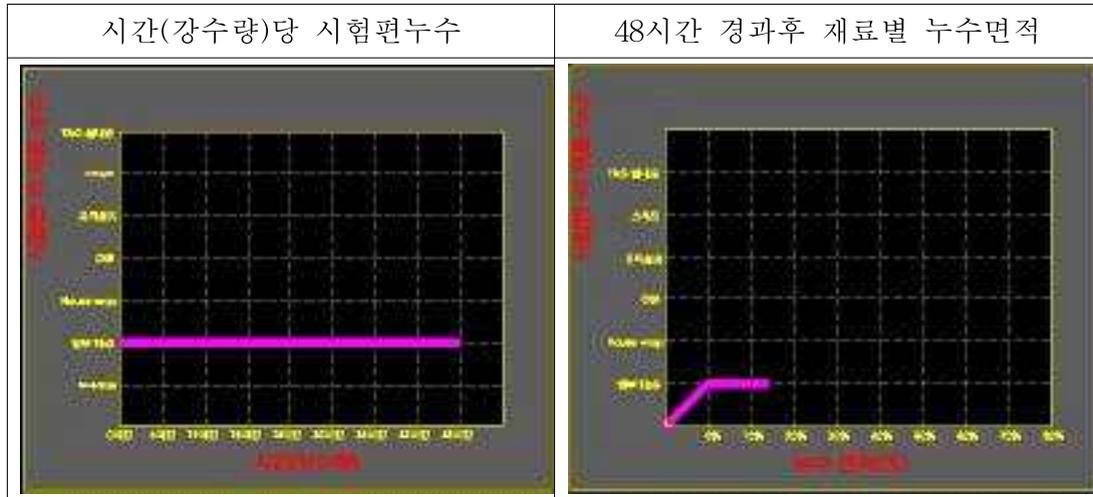
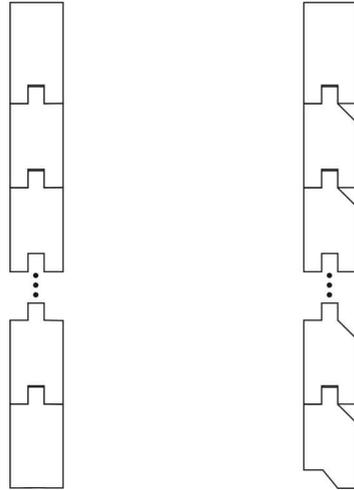


그림 A1-24. 그린팁버월 패널 EX-G-4-P에 대한 강수시험 후 누수면적

표 A1-4 그린팁버월 패널의 강수시험 후 누수면적

부위	EX-B-4-S	EX-G-4-P	EX-G-4-P'
	패널면적(5.76m <sup>2</sup> )	패널면적(5.76m <sup>2</sup> )	패널면적(2.88m <sup>2</sup> )
T&G실내용패널	-	1.09m <sup>2</sup> (18.9%)	-
방부T&G패널	-	-	0.34m <sup>2</sup> (11.8%)
Housewrap	침수량 없음	침수량 없음	침수량 없음
OSB	침수량 없음	침수량 없음	침수량 없음
유리섬유	침수량 없음	침수량 없음	침수량 없음
스터드	침수량 없음	침수량 없음	침수량 없음

그린팁버월 패널에 대한 강수시험 결과 외벽용 목재 벽널판을 설치한 경우에 목재널판과 널판 사이의 접합부를 T&G로 접합하였지만 접합부를 타고 물이 수평 이동하면서 내부로 침투하는 경향을 나타내었다. 이러한 시험결과를 바탕으로 목재 벽널판의 단면을 그림 A1-25에서 보는 바와 같이 수직가공에서 경사가공으로 개선하였으며 그 결과 누수량이 좀 줄기는 하였지만 여전히 누수현상을 나타내었다. 목재 외벽널은 가공된 홈을 타고 물이 수평 이동하다가 벽널의 끝부분에서 내부로 침투하기 때문에 벽널의 단면 모양과 함께 끝부분의 이음에 대한 보강도 필요할 것으로 생각된다.



a) 개선 전의 단면      b) 개선 후의 단면

그림 A1-25. 목재 벽널판의 단면 모양

외벽용 목재 벽널판을 고정하는 경우에 반드시 방청 마감못을 사용하여야 하며 못을 아래에서 위로 비스듬하게 박아야만 수분이 못을 타고 내부로 침투하는 것을 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 모든 그린티म्버월 패널 시험편에서 강수시험 시 최초 1회 ~ 3회의 인공강수까지는 육안으로 누수가 관찰되지 않았으나 T&G 목재 벽널판을 설치한 시험편에서는 4회(강수량 1,400L/H)부터 약간씩의 누수가 관찰되기 시작하였다. T&G 목재 벽널판을 설치할 때에 홈 가공된 부분을 타고 물이 수평 이동을 하게 되는데 만약에 목재 벽널판이 수평을 유지하지 못한다면 물이 경사진 방향으로 흘러서 가장 끝부분에 모이면서 그 부분을 통한 누수가 심한 것으로 관찰되었다. 따라서 실제로 목재 벽널판을 설치할 경우에는 벽널판의 수평 유지가 매우 중요할 것으로 생각된다.

강수시험에 사용된 모든 그린티म्버월 패널 시험편들에서 외부 마감재료 바로 앞에 방수지(house wrap)를 설치한 경우에는 방수지의 작용으로 그 내부로는 수분이 침투하지 못함을 확인하였다. 따라서 목재 벽널판을 시공하는 경우에도 그 내부에 방수지를 적절하게 시공함으로써 수분의 침투를 효과적으로 방지할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 바. 그린티म्버월 패널의 변형 측정

그린티म्버월 패널을 제작한 후 시간이 지남에 따라서 변형 여부를 측정하기 위하여 그린티म्버월 패널을 수직으로 세우고 한쪽면의 두 모서리를 고정한 후 나머지 두 모서리는 자유롭게 변형이 발생할 수 있도록 한 후 시간과 계절의 변화에 따른 변

형량을 측정하였다. 먼저 찌그러짐의 측정을 위하여 네 변의 길이와 양 대각선의 길이를 측정하고 시간에 따른 측정치의 변화를 관찰하였다. 뒤틀림의 측정을 위하여 패널의 자유단 중 상부 모서리에 고정점을 설치하고 벽체를 밀어서 고정점에 닿게 한 상태에서 자유단의 하부 모서리 부분에 설치된 다이알게이지로 변형량을 측정하였다.

변형 측정에 사용된 그린팁버월 패널은 다음과 같이 외벽 패널 3종류와 내벽 패널 5종류로 하였다.

- ① EX-B-4-S
- ② EX-G-4-P
- ③ EX-GBN-6-FXW
- ④ IN-B-4-B
- ⑤ IN-G-4-G
- ⑥ IN-GB-6-NG
- ⑦ IN-GB-6-AG
- ⑧ IN-GBN-6-NBG

시험편을 고정하기 위하여 그림 A1-26과 같은 고정철물을 제작하여 그림 A1-27 및 A1-28과 같이 바람과 외기의 영향을 받지 않는 실내에 고정틀 및 시험편을 고정하였다.



그림 A1-26. 변형 측정 시험에 사용된 시험편 고정철물 및 다이알게이지



그림 A1-27. 실내에 변형 측정용 시험편 고정철물의 설치



그림 A1-28. 고정틀에 시험편의 고정

그린티이버월 패널의 변형 측정을 위하여 자유단의 하부 모서리에 그림 29와 같이 다이알게이지를 설치하여 설치 후 최초 20일 동안은 매일 정해진 시간에 1회씩 변형량을 측정하였다. 그림 29에서 수평방향의 다이알게이지 측정값은 뒤틀림을 나타내고 수직방향의 다이알게이지 측정값은 찌그러짐을 나타낸다.



그림 A1-29. 그린티이버월 패널 시험편의 변형 측정을 위한 다이알게이지의 설치

각가의 그린티이버월 패널 모델별 변형 측정을 위한 시험편 설치 사진은 그림 A1-30과 같다.



그림 A1-30. 그린티머월 패널 시험편의 변형 측정

각각의 그린티머월 패널 시험편들의 찌그러짐 및 뒤틀림은 그림 A1-31 ~ 그림 A1-38 및 표 A1-5 ~ 표 A1-6과 같다.

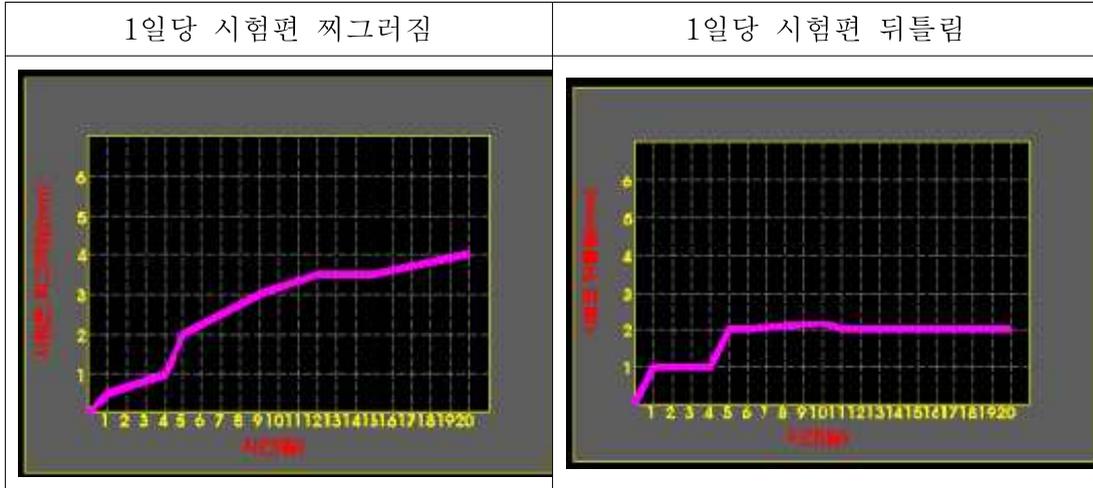


그림 A1-31. 그린티이버일 패널 EX-B-4-S의 찌그러짐 및 뒤틀림

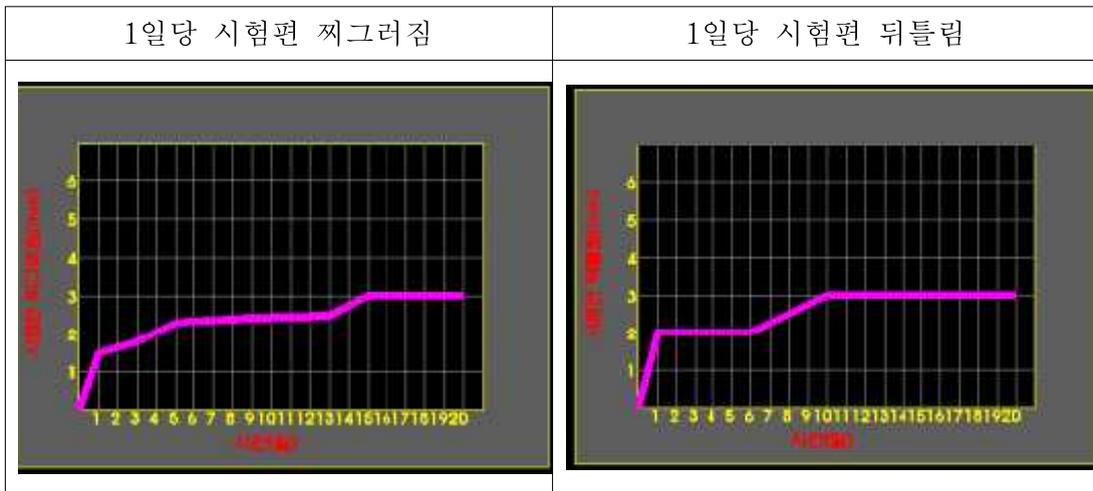


그림 A1-32. 그린티이버일 패널 EX-G-4-P의 찌그러짐 및 뒤틀림

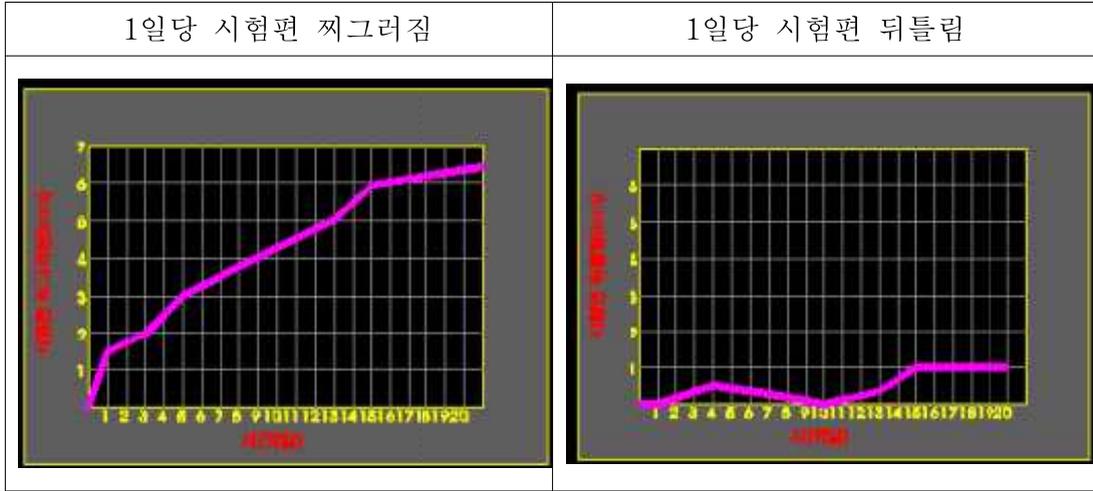


그림 A1-33. 그린탐버일 패널 EX-GBN-6-FXW의 찌그러짐 및 뒤틀림

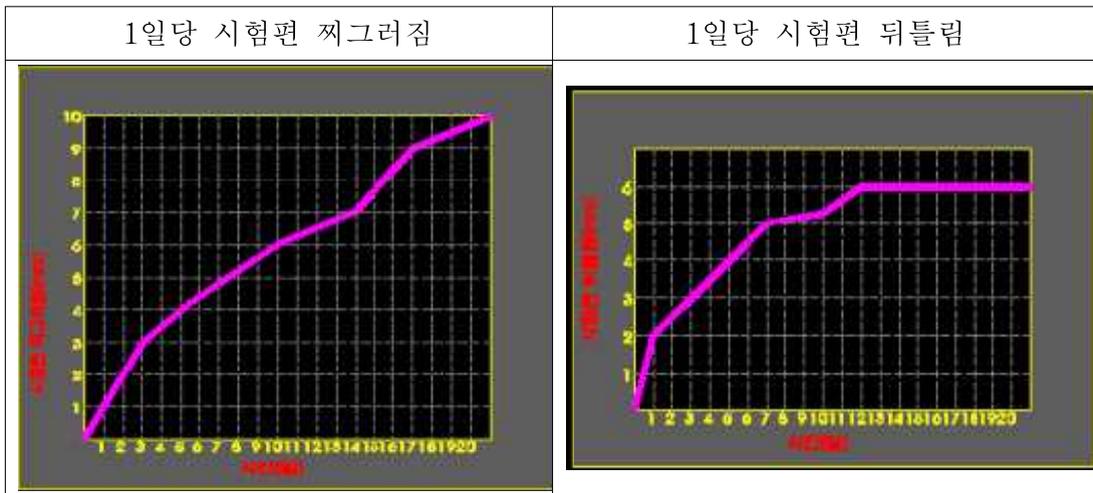


그림 A1-34. 그린탐버일 패널 IN-B-4-B의 찌그러짐 및 뒤틀림

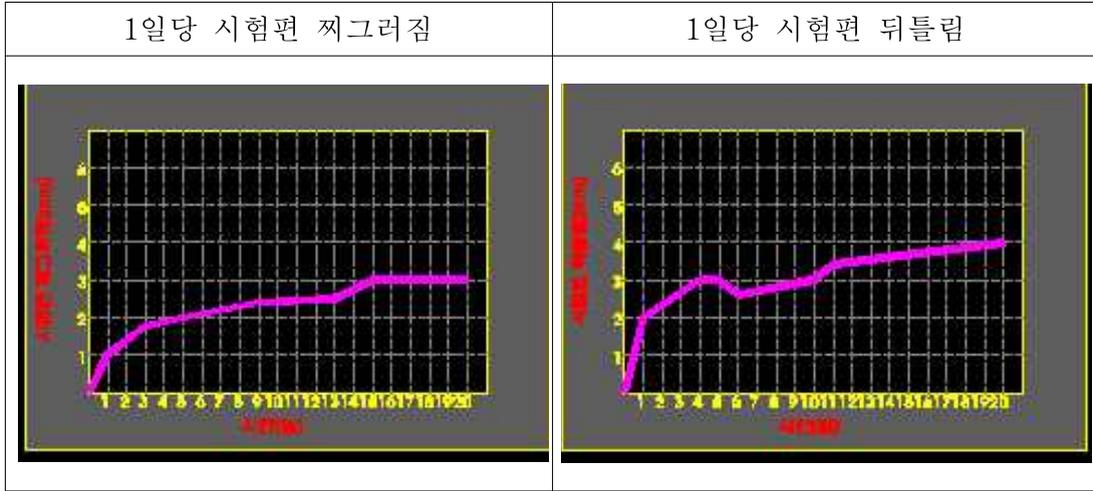


그림 A1-35. 그린팀버월 패널 IN-G-4-G의 찌그러짐 및 뒤틀림

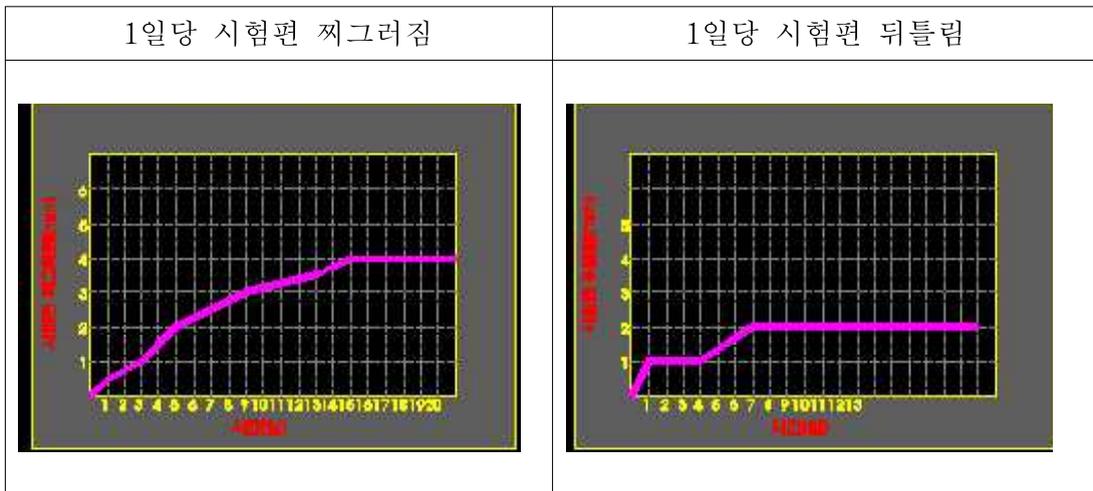


그림 A1-36. 그린팀버월 패널 IN-GB-6-NG의 찌그러짐 및 뒤틀림

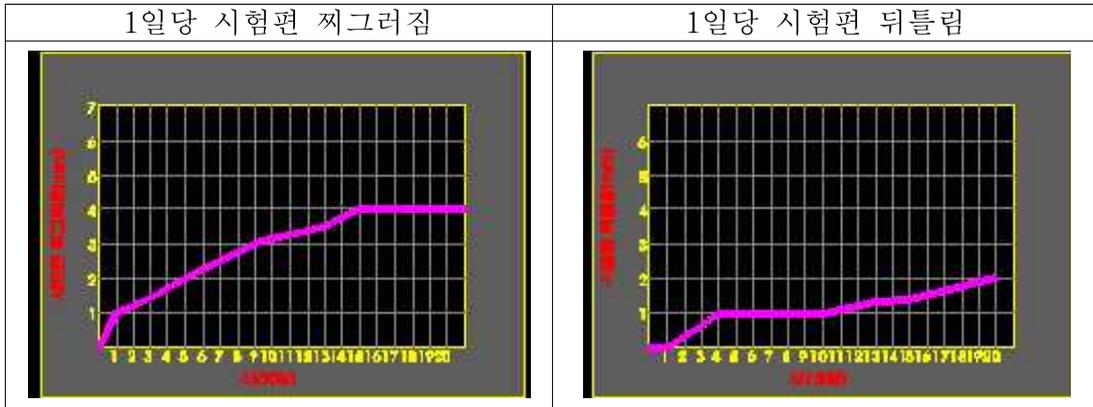


그림 A1-37. 그린탐버월 패널 IN-GB-6-AG의 찌그러짐 및 뒤틀림

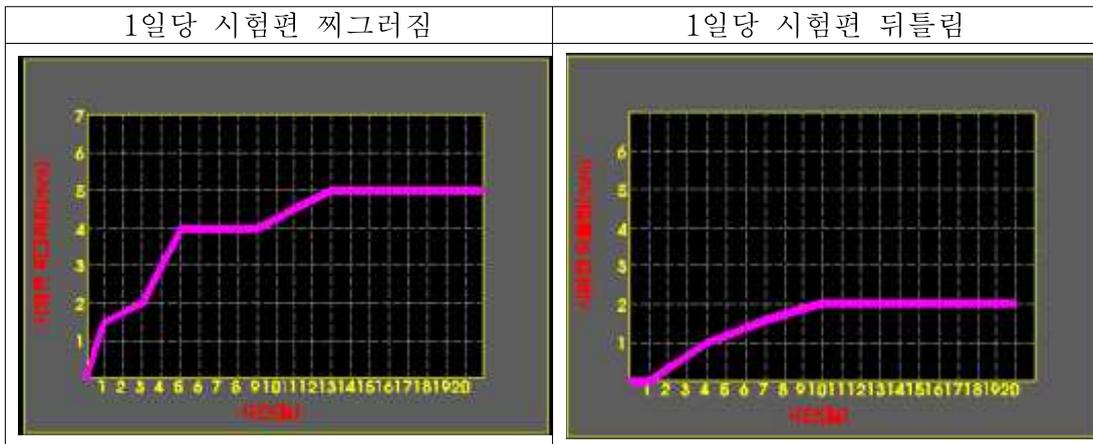


그림 A1-38. 그린탐버월 패널 IN-GBN-6-NBG의 찌그러짐 및 뒤틀림

표 A1-5 그린티म्버월 패널들의 찌그러짐

구분	경과 일수(일)에 따른 찌그러짐(mm)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
EX-B-4-S	0.5	0.6	0.7	1.0	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.2	3.3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0
EX-G-4-P	1.5	1.7	1.8	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.7	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
EX-GBN-6-FXW	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	3.2	3.5	3.7	4.0	4.1	4.5	4.8	5	5.5	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3
IN-B-4-B	1.0	2.0	3.0	3.5	4.0	4.3	4.9	5.2	5.7	6.0	6.3	6.5	6.7	7.0	7.5	8.1	9.0	9.3	9.5	9.8
IN-G-4-G	1.0	1.3	1.7	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.6	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
IN-GB-6-NG	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0	2.3	2.5	2.7	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.7	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
IN-GB-6-AG	1.0	1.2	1.5	1.7	2.0	2.3	2.5	2.8	3.0	3.1	3.2	3.3	3.5	3.6	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
IN-GBN-6-NBG	1.5	1.7	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.2	4.5	4.7	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

표 A1-6 그린티म्버월 패널들의 뒤틀림

구분	경과 일수(일)에 따른 뒤틀림(mm)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
EX-B-4-S	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
EX-G-4-P	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3	2.6	2.8	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
EX-GBN-6-FXW	0.0	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.0	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
IN-B-4-B	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.2	5.3	5.4	5.7	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
IN-G-4-G	2.0	2.4	2.7	3.0	3.0	2.5	2.7	2.8	2.9	3.0	3.5	3.5	3.5	3.6	3.7	3.7	2.8	3.8	3.9	4.0
IN-GB-6-NG	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
IN-GB-6-AG	0.0	0.3	0.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
IN-GBN-6-NBG	0.0	0.2	0.6	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

표 A1-5 및 A1-6에서 보면 목재 벽널판(모델 기호 중 G 또는 P)이 설치된 패널의 경우에는 패널 자체의 중량이 너무 무거워서 초기 찌그러짐 값이 너무 크게 나왔으나 이는 실제 건축 현장에서는 모든 벽체가 공중에 뜬 상태가 아닌 바닥에 밀착된 상태로 설치되므로 자체 중량에 따른 찌그러짐은 큰 문제가 되지 않을 것으

로 판단된다. 시용된 시험편 중에서 IN-B-4-B 패널의 경우에 가장 큰 뒤틀림 및 찌그러짐 변형을 나타내었으며 이 패널이 실제 건축물의 전단벽이나 내력벽으로 사용되는 경우에는 벽체의 뒤틀림이나 찌그러짐에 대한 조강대책이 필요할 것으로 생각된다.

패널 IN-G-4-G의 경우에는 찌그러짐은 크지 않았으나 천연 건조 상태의 목재 벽널판을 설치한 후 가공현장에서의 평형함수율과 설치현장에서의 평형함수율 차이로 인하여 건조되면서 뒤틀림이 많이 발생하였다. 목재 벽널판을 시공하는 경우에 벽널판 가공용 재료는 반드시 함수율 18% 이하로 인공 건조된 목재를 사용하고 가공이나 시공 중에 외기로부터 철저히 보호하는 등의 관리대책이 필요할 것으로 생각된다.

목재 벽널판이 부착된 패널인 IN-GBN-6-NBG나 EX-GBN-6-FXW 등의 경우에는 예상보다 패널의 무게가 무거워서 공장에서 이 패널을 제작하거나 현장에서 이를 설치하는 경우에 인력만으로는 감당하기 어려우며 지게차나 크레인 등의 중장비가 필요할 것으로 생각된다.

그린티ம்ப어월로 개발된 대부분의 패널들이 치수안정성이 우수한 OSB 대신에 이방성과 치수안정성이 낮은 목재 벽널판을 설치하였기 때문에 많은 변형이 발생할 것으로 예상하였으나 생각보다는 변형이 적게 발생하여 실제 건축현장에 적용하였을 때에 벽체의 변형으로 인한 하자 발생의 가능성은 매우 낮은 것으로 판단된다.

#### 사. 그린티ம்ப어월 패널 제품의 경제성 분석

그린티ம்ப어월을 생산하기 위하여 필요한 재료비, 인건비 및 공장의 제 비용을 분석하고 공장의 이윤을 더하여 그린티ம்ப어월 제품의 가격을 산정한 후 기존의 경골목조 벽 패널 및 현장건축 경골 목조 벽 구조의 비용과 비교 분석하였다. 고층 아파트용 비내력벽으로도 사용하기 위한 기초자료로서 비내력벽의 건축에 대하여 기존의 아파트 등에 사용되는 콘크리트 비내력벽의 비용과 경골구조 및 그린티ம்ப어월 패널에 대한 비용을 비교 분석하였다.

건축 시공 시 사용하는 공법에 따른 경제성의 비교분석을 위하여 사용된 표준도면은 그림 A1-39(1층 평면도) 및 A1-40(2층 평면도)과 같은 평면을 가진 2층 주택으로 정하였다.

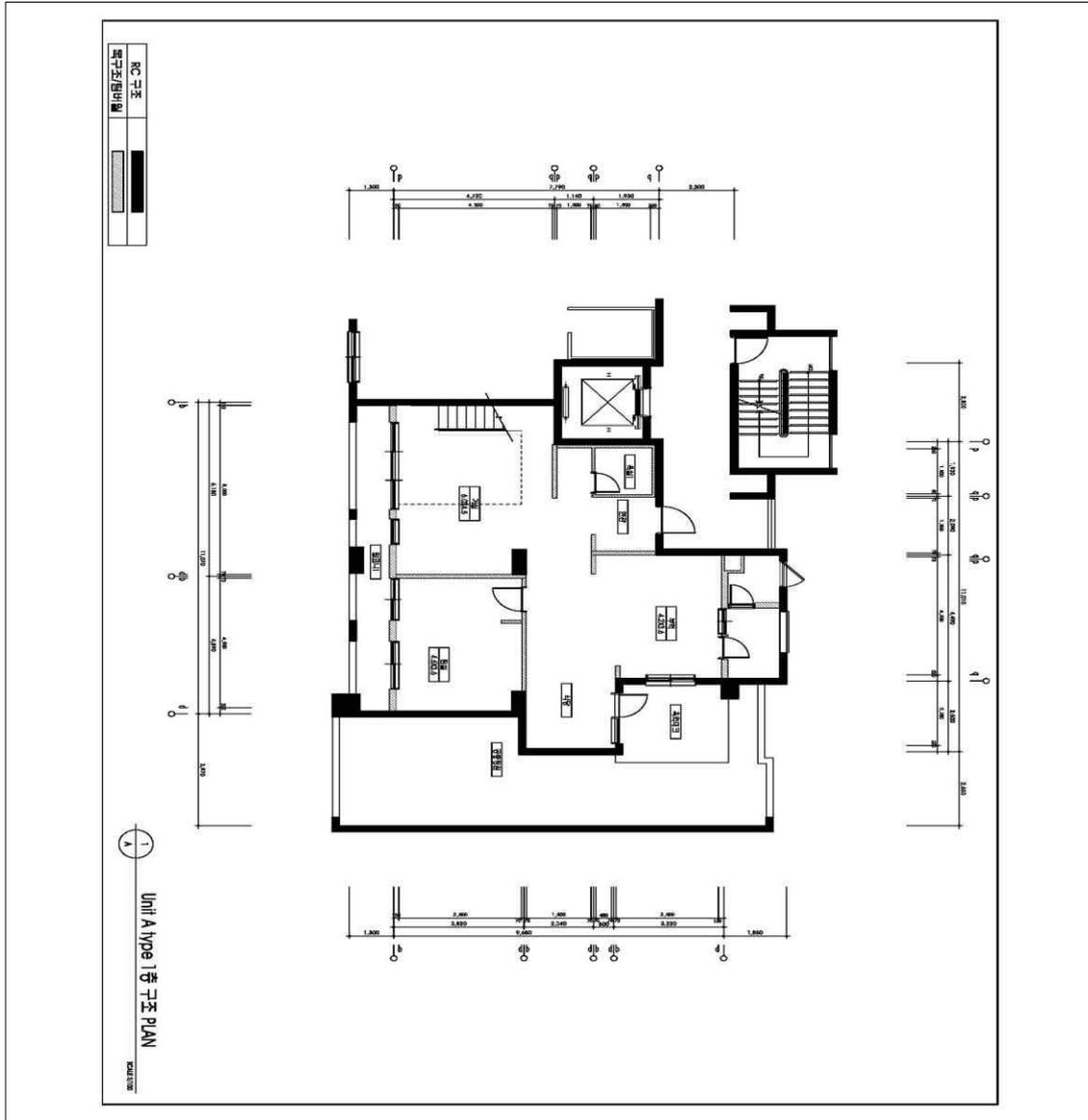


그림 A1-39. 경제성 분석을 위한 표준 도면의 1층 평면도

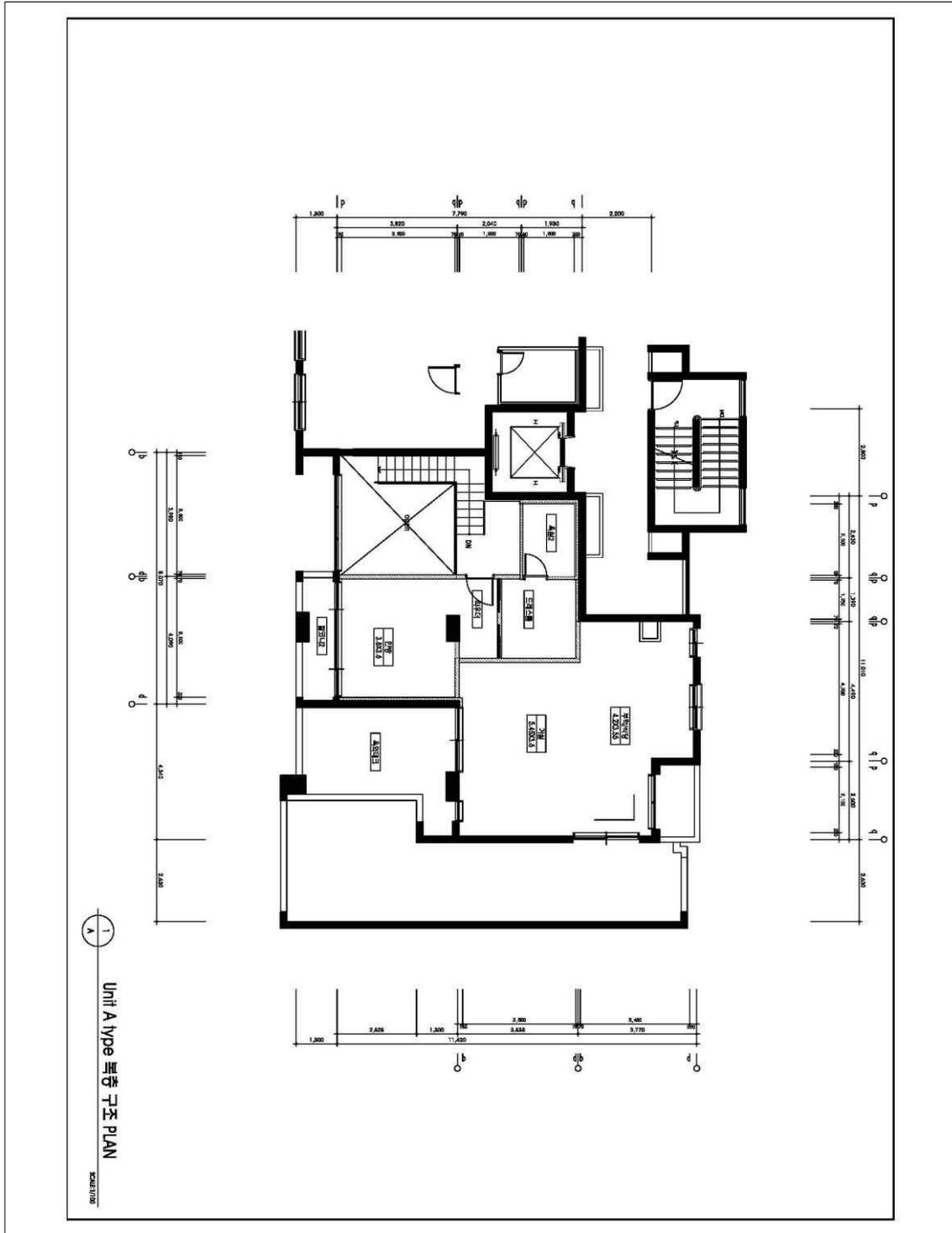


그림 A1-40. 경제성 분석을 위한 표준 도면의 2층 평면도

그림 A1-39 및 A1-40의 표준 도면에서 나타나는 비내력벽 부분은 그림 A1-41과 같다. 이 연구에서는 그림 A1-41의 비내력벽 부분에 대하여 철근콘크리트 구

조, 경골목구조 및 그린티이버월 패널로 시공할 경우의 비용을 상호 비교 분석함으로써 그린티이버월 패널의 경제성을 평가하였다.

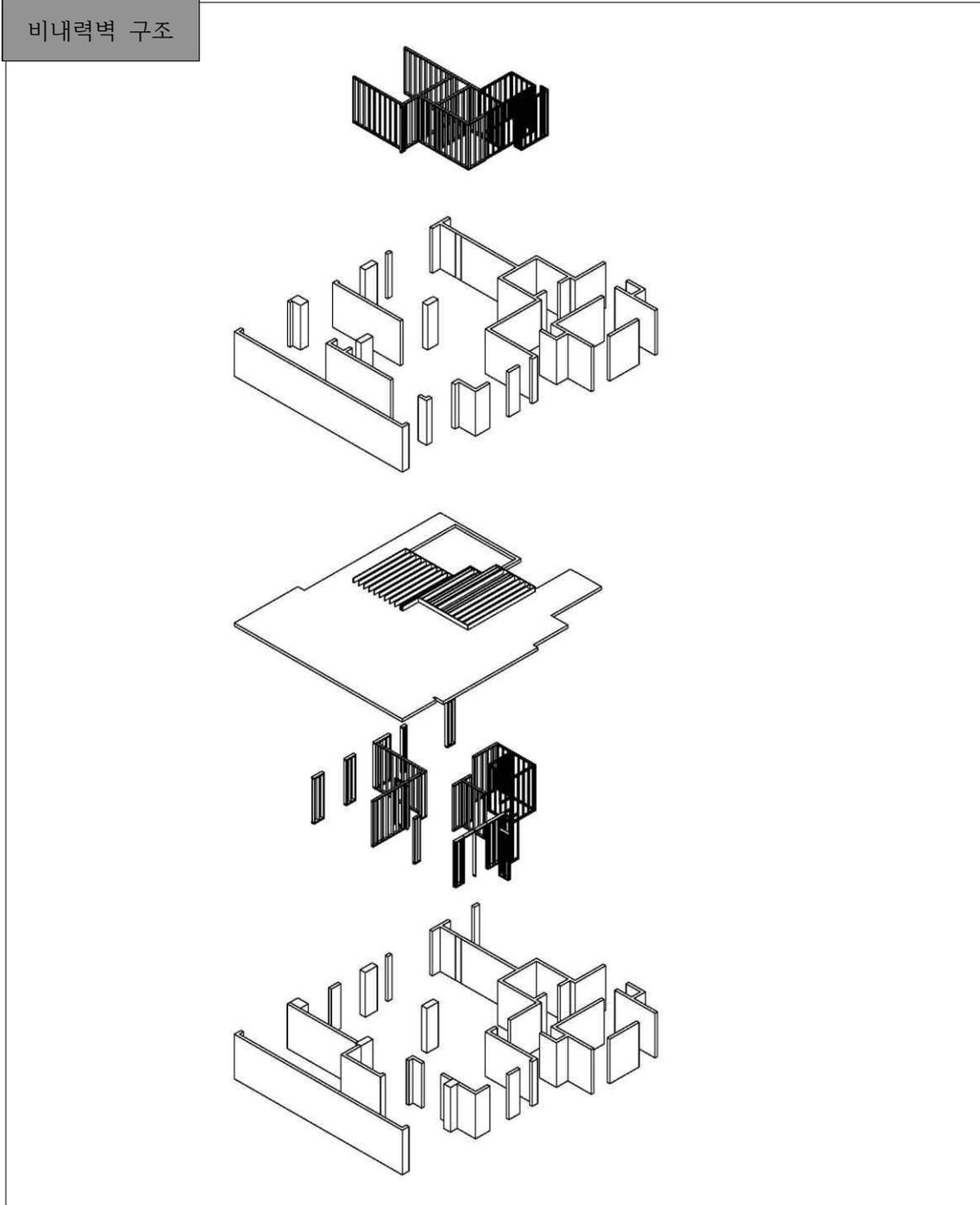


그림 A1-41. 표준 도면의 2층 및 1층에서의 내력벽-비내력벽 표시도

그림 A1-41의 비내력벽 부분에 대한 철근콘크리트구조, 경골목구조 및 그린티ंबर  
 월 구조 적용 시의 공정별 경비 비교내역서는 각각 그림 A1-42, A1-43 및 A1-44  
 와 같다.

품 명	규 격	단위	철근 콘크리트 내역								비 고	
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가		금 액
<b>01010103 2중 벽체공사</b>												
베이 콘(구조)	25-240-15	M3	7,616	59,513	453,251					59,513	453,251	
원프키펀타실(철근,25/20)	100M3이상,슬랩프15cm	M3	7,616	1,100	8,377	4,800	36,556	2,100	15,393	8,000	60,326	
양목공	면	M2	101.54	2,800	284,312	12,500	1,262,500			15,300	1,353,305	
거푸집집사재비		M2	101.54	850	86,305					850	86,305	
거푸집청리및 안출입		M2	101.54			800	81,232			800	81,232	
철근콘크리트용 모형(이형틀콘)	HD, SD35,40,하시형상차도	TON	0.975	774,000	754,650					774,000	754,650	
철근거름포집	모틀(미탈동)	TON	0.975	85,000	82,975	125,000	121,875			210,000	204,750	
철근 양층비		TON	0.975			38,000	37,050			38,000	37,050	
진동기손료(엔진식)		M3	7,616	231	1,755			25	158	257	1,987	
[ 소 계 ]				1,477,533		1,545,863		16,191		3,233,287		
<b>01010104 벽체역강공사</b>												
단열재+시공보도용인기	770mm-시공보도+12.5mm-시공보도	M3	192	8,500	1,622,000	6,000	1,140,000			14,500	2,774,000	
베탈수리(베탈재비(벽면))	25-40	M2	192	7,900	1,516,800	2,800	485,000			10,400	1,999,800	
벽지바름	실크	M2	192	3,000	576,000	1,500	285,000			4,500	864,000	
벽지재바름	실크	M2	192	1,800	345,600	1,400	2,185,800			13,200	2,534,400	
[ 소 계 ]				4,070,400		4,109,800				8,179,200		
[ 합 계 ]				11,252,684		10,090,415		71,959		21,414,911		

대한민국 회고의 목구조 전문회사 대한이앤씨(주)

품 명	규 격	단위	철근 콘크리트 내역								비 고	
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가		금 액
<b>01010101 철근콘크리트공사</b>												
<b>0101010101 1중 벽체공사</b>												
베이 콘(구조)	25-240-15	M3	6,977	59,513	415,222					59,513	415,222	
원프키펀타실(철근,25/20)	100M3이상,슬랩프15cm	M3	6,977	1,100	7,674	4,800	33,483	2,100	14,651	8,000	55,814	
양목공	면	M2	191.86	2,800	537,208	12,500	2,398,250			15,300	2,393,458	
거푸집집사재비		M2	191.86	850	163,081					850	163,081	
거푸집청리및 안출입		M2	191.86			800	153,488			800	153,488	
철근콘크리트용 모형(이형틀콘)	HD, SD35,40,하시형상차도	TON	0.893	774,000	691,182					774,000	691,182	
철근거름포집	모틀(미탈동)	TON	0.893	85,000	75,905	125,000	111,625			210,000	187,530	
철근 양층비		TON	0.893			38,000	33,934			38,000	33,934	
진동기손료(엔진식)		M3	6,977	231	1,611			25	181	257	1,796	
[ 소 계 ]				1,891,883		2,730,786		14,832		4,637,501		
<b>0101010102 2중 바닥 슬래브 공사</b>												
베이 콘(구조)	25-240-15	M3	19,241	59,513	1,145,083					59,513	1,145,083	
원프키펀타실(철근,25/20)	100M3이상,슬랩프15cm	M3	19,241	1,100	21,169	4,800	92,356	2,100	40,406	8,000	153,927	
양목공	올타르	M2	91.056	2,800	254,956	12,500	1,138,200			15,300	1,393,156	
거푸집집사재비		M2	91.056	850	77,397					850	77,397	
거푸집청리및 안출입		M2	91.056			800	72,844			800	72,844	
철근콘크리트용 모형(이형틀콘)	HD, SD35,40,하시형상차도	TON	2.463	774,000	1,906,362					774,000	1,906,362	
철근거름포집	모틀(미탈동)	TON	2.463	85,000	209,358	125,000	307,875			210,000	517,233	
철근 양층비		TON	2.463			38,000	93,594			38,000	93,594	
진동기손료(엔진식)		M3	19,241	231	4,444			25	500	257	4,944	
[ 소 계 ]				3,618,769		1,704,869		40,906		5,364,543		

대한민국 회고의 목구조 전문회사 대한이앤씨(주)

그림 A1-42. 철근콘크리트구조의 공정별 경비 내역서

철근 콘크리트 구조-목구조-그린팀버шил 비교내역서

품 명	규 격	단위	철근 콘크리트 내역								비 고	
			수량	재 료 비		노 무 비		강 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가		금 액
<b>01010102 목 공 사</b>												
<b>0101010201 1중 벽체공사</b>												
기초보트양자 설치-도금	1/2"×6", 양카포함,900 EA	EA	54	319	17,226	1,800	97,200					
일필러(Sil Sealer)	5 1/2" X 50'	EA	1,139	9,000	10,251	4,800	5,239					
외외 Plate	ACQ 방부목 '2 X 6 X 16'	EA	4.2	14,352	60,279							
Plate	HF 구조재(2 X 6 X 16')	EA	20	9,300	186,000							
Stud	HF 구조재(2 X 6 X 16')	EA	56	7,500	420,000							
Nail	못(간내립Screw) 90mm/2000pcs(아연)	BOX	0.7	34,000	23,800							
Nail stopper	NS-2	BOX	0.02	34,900	698							
특제 페널 당풍비		m2	45.16			2,800	126,448			2,800	126,448	
시공비		m2	45.16			14,500	654,820					
[ 소 계 ]					718,248		883,707					1,601,952
<b>0101010202 2중 벽체 슬래브 공사</b>												
벽체 창선(-Joist)	44mm×285mm	M	250	11,000	2,750,000						1,808,350	
벽체 창선(+Joist)	44mm×285mm	M	12	11,000	132,000						828,000	
합판류 벽체 절기(T&G OSB)	3/4" X 4' X 8'	EA	36	24,725	890,100						890,100	
Blue	29 oz	EA	9	4,600	41,400						41,400	
Nail	못(간내립Screw) 64mm/2000pcs(아연)	BOX	1	27,000	27,000						25,300	
Nail	못(간내립Screw) 90mm/2000pcs(아연)	BOX	0.2	34,000	17,000						9,660	
Hangar Nail	N10 GA	BOX	0.2	55,200	11,040						11,040	
단열재(인슐레이션)실치(2중 벽체)	소음방지용, 'R30-16', (241mm)	M2	94.32	6,000	565,920	5,500					11,040	
방음재널	1" X 12"	EA	90	11,040	993,600						993,600	
특제 벽체페널 당풍비		m2	94.32			1,500	141,480			1,500	141,480	
시공비		m2	94.32			25,500	2,405,160				2,711,930	
[ 소 계 ]					5,428,060		2,546,640					7,974,700

대한민국 최고의 목구조 전문회사

대림이앤씨(주)

철근 콘크리트 구조-목구조-그린팀버шил 비교내역서

품 명	규 격	단위	철근 콘크리트 내역								비 고	
			수량	재 료 비		노 무 비		강 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가		금 액
<b>01010102 목 공 사</b>												
<b>0101010201 1중 벽체공사</b>												
기초보트양자 설치-도금	1/2"×6", 양카포함,900 EA	EA	54	319	17,226	1,800	97,200					
일필러(Sil Sealer)	5 1/2" X 50'	EA	1,139	9,000	10,251	4,800	5,239					
외외 Plate	ACQ 방부목 '2 X 6 X 16'	EA	4.2	14,352	60,279							
Plate	HF 구조재(2 X 6 X 16')	EA	20	9,300	186,000							
Stud	HF 구조재(2 X 6 X 16')	EA	56	7,500	420,000							
Nail	못(간내립Screw) 90mm/2000pcs(아연)	BOX	0.7	34,000	23,800							
Nail stopper	NS-2	BOX	0.02	34,900	698							
특제 페널 당풍비		m2	45.16			2,800	126,448			2,800	126,448	
시공비		m2	45.16			14,500	654,820					
[ 소 계 ]					718,248		883,707					1,601,952
<b>0101010202 2중 벽체 슬래브 공사</b>												
벽체 창선(-Joist)	44mm×285mm	M	250	11,000	2,750,000						1,808,350	
벽체 창선(+Joist)	44mm×285mm	M	12	11,000	132,000						828,000	
합판류 벽체 절기(T&G OSB)	3/4" X 4' X 8'	EA	36	24,725	890,100						890,100	
Blue	29 oz	EA	9	4,600	41,400						41,400	
Nail	못(간내립Screw) 64mm/2000pcs(아연)	BOX	1	27,000	27,000						25,300	
Nail	못(간내립Screw) 90mm/2000pcs(아연)	BOX	0.2	34,000	17,000						9,660	
Hangar Nail	N10 GA	BOX	0.2	55,200	11,040						11,040	
단열재(인슐레이션)실치(2중 벽체)	소음방지용, 'R30-16', (241mm)	M2	94.32	6,000	565,920	5,500					11,040	
방음재널	1" X 12"	EA	90	11,040	993,600						993,600	
특제 벽체페널 당풍비		m2	94.32			1,500	141,480			1,500	141,480	
시공비		m2	94.32			25,500	2,405,160				2,711,930	
[ 소 계 ]					5,428,060		2,546,640					7,974,700

대한민국 최고의 목구조 전문회사

대림이앤씨(주)

그림 A1-43. 경골목구조의 공정별 경비 내역서

철근 콘크리트 구조-목구조-그린티ம்ப러빌 비교내역서

품 명	규 격	단위	철근 콘크리트 내역								비 고	
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가		금 액
01010103 그린티ம்ப러빌 구조(N-G-6-6 차단영 2x6 그린티머 내역계열)												
0101010201 1중 그린티ம்ப러빌벽계공사												
기초보트앵커 설치-도금	1/2" x 6", 양카포함, 20900 EA	EA	54	315	17,226	1,900	97,200					
N-G-6-G 체결비(포장포함)	목구조재 2 X 6 X 10(표준포설사이드)	m2	45.16	105,000	4,741,800	15,300	690,948	7,500	338,700			
그린티머 베널 양공비		m2	45.16			9,500	429,020			9,500	429,020	
시공비		m2	45.16			19,000	858,040					
[ 소 계 ]					4,759,026		2,075,208		338,700		7,172,934	
0101010202 2중 벽단 슬래브 공사												
벽단 창선(L-Job)	44mm x 285mm	M	250	11,000	2,750,000					1,808,352		
벽단 창선(L-Job)	44mm x 285mm	M	12	11,000	132,000					828,000		
합판류 벽단 깔기(T&G OSB)	3/4" X 4' X 8'	EA	36	24,725	890,100					890,100		
Glue	200 cc	EA	9	4,500	41,400					41,400		
Nail	못(간네일Screw) 64mm/2000pcs(아연)	BOX	1	27,000	27,000					25,300		
Nail	못(간네일Screw) 90mm/2000pcs(아연)	BOX	0.5	34,000	17,000					5,660		
Hangar Nail	N10 GA	BOX	0.2	55,200	11,040					11,040		
단물재(인슐레이션)설치(2중 벽단)	소음방지용, R30-16", (241mm)	M2	94.32	6,000	565,920	5,500				11,040		
방음재널	1" X 12"	EA	90	11,040	993,600					993,600		
육재 바닥널 양공비		m2	94.32			1,500	141,480			1,500	141,480	
시공비		m2	94.32			25,500	2,405,160			2,711,930		
[ 소 계 ]					5,428,060		2,546,640				7,974,700	
0101010203 2중 그린티ம்ப러빌 벽계공사												
N-G-6-G 체결비	목구조재 2 X 6 X 10(표준포설사이드)	m2	50.77	105,000	5,330,850	15,300	776,781	7,500	380,775			
육재 바닥널 양공비		m2	50.77			9,500	482,315			9,500	482,315	

대한민국 최고의 목구조 전문회사

대림이앤씨(주)

철근 콘크리트 구조-목구조-그린티ம்ப러빌 비교내역서

품 명	규 격	단위	철근 콘크리트 내역								비 고	
			수량	재 료 비		노 무 비		경 비		합 계		
				단 가	금 액	단 가	금 액	단 가	금 액	단 가		금 액
시공비		m2	50.77			19,000	964,630					
[ 소 계 ]					5,330,850		2,223,728		380,775		7,935,353	
[ 합 계 ]					15,517,936		6,845,574		335,700		23,092,980	

대한민국 최고의 목구조 전문회사

대림이앤씨(주)

그림 A1-44. 그린티ம்ப러빌구조의 공정별 경비 내역서

그림 A1-42, A1-43 및 A1-44의 구조별 경비 내역서는 50평형대의 복층형 공동주택을 표준 도면으로 하여 분석한 것이며 철근콘크리트의 경우에는 2009 건설표준품셈에 의하여 주공아파트의 신축공사를 기준으로 했으며, 경골목구조의 경우에는 2009년 평형당 400만원대 100세대 시공비를 기준으로 하였고, 그린팀버월의 경우에는 100동의 단독주택 생산량을 기준으로 경비를 산출하였다. 철근콘크리트 및 경골목구조 공동주택의 내부 마감재는 가장 저렴한 벽지마감으로 내역을 산출하였으며 철근콘크리트구조는 철근콘크리트 + 석고보드 구조로 가정하였고 경골목구조는 목재 스티드 + 석고보드 구조로 경비 내역을 산출하였다. 그린팀버월은 내부벽체인 IN-G-6-G 저단열 2x6 그린팀버월 패널을 기준으로 경비 내역을 산출하였다.

그림 A1-42, A1-43 및 A1-44의 공정별 경비 내역서를 요약하여 정리하면 표 A1-7과 같다. 구조별 경제성 분석은 단순히 경비만을 가지고 비교하기에는 무리가 있으며 종합적으로 마감 품질과 주거환경, 소비자의 만족도 등을 함께 고려하여야 할 것이다. 그러나 경비를 제외한 나머지 항목들은 주관적인 요소들이 강하기 때문에 이 연구에서는 우선적으로 각 구조별 공사 경비만을 비교하여 경제성을 분석하였다. 표 A1-7을 보면 표준 도면의 비내력벽 벽체의 시공 경비는 경골목구조가 가장 낮았으며 다음으로 철근콘크리트 구조와 그린팀버월의 순으로 나타났다. 가장 낮은 경비를 나타낸 경골모구조를 기준으로 하였을 경우에 철근콘크리트구조는 약 14% 정도의 경비가 더 소요될 것으로 예상되며 그린팀버월구조는 약 23%의 경비가 더 들어가는 것으로 분석되었다.

비록 그린팀버월이 가장 많은 경비가 소요되기는 하지만 환경 및 인체친화형 재료인 목재로 전체 벽체를 마감할 수 있으며 벽체 구조체 그대로 마감이 이루어지기 때문에 별도의 마감공사가 필요하지 않은 장점이 있다. 또한 건축재료들 중에서 인체에 좋지 않은 영향을 미치는 환경호르몬을 분비하는 접착제나 화학약품 등이 전혀 사용되지 않으며 분진이나 자연방사선 등을 다량 방출하는 시멘트나 석고 등의 재료가 표면에 노출되지 않음으로써 인체 건강에 가장 우수한 주거환경을 제공할 수 있고 벽 실내표면의 자연스러운 목재 무늬결로 인하여 가장 아름다운 시각효과를 얻을 수 있는 이점들이 있다.

그 외에도 그린팀버월은 다른 구조들에 비하여 매우 우수한 단열성능을 발휘하기 때문에 주택의 사용 중에 냉난방에 소요되는 에너지의 사용량이 감소함으로써 개인적으로는 에너지 비용의 감소와 더불어 지구 전체적으로는 탄소 발생량을 감소시키고 지구의 기상변화를 완화 또는 지연시킬 수 있는 이점을 얻을 수 있다. 또한 그린팀버월은 소비자들의 우수한 주거환경에 대한 욕구와 건강주택에 대한 욕구 그리고 아름다운 실내환경에 욕구를 동시에 만족시킬 수 있으며 그린팀버월을 패널화하여 공장에서 패널을 제조함으로써 기존의 현장 건축 개념에 제조건축업이라는 새로운 건축산업의 개념을 도입할 수 있는 이점이 있다.

표 A1-7 각 구조별 표준 도면의 비내력벽 시공경비 비교

비목	세목	구조	철근콘크리트	기존경골목구조	그린팀버월	비고
			금액	금액	금액	
1 층 벽 체	재료비		1,891,883	718,245	4,759,026	
	노무비		2,730,786	883,707	2,075,208	
	경 비		14,832	-	338,700	
	소 계		4,637,501	1,601,952	7,172,934	
슬 라 브	재료비		3,618,768	5,428,060	5,428,060	
	노무비		1,704,869	2,546,640	2,546,640	
	경 비		40,906	-	-	
	소 계		5,364,543	7,974,700	7,974,700	
2 층 벽 체	재료비		1,671,533	706,990	5,330,850	
	노무비		1,545,963	878,321	2,223,726	
	경 비		16,191	-	380,775	
	소 계		3,233,687	1,585,311	7,935,351	
마 감 공 사	재료비		4,070,400	3,513,600	-	
	노무비		4,108,800	4,108,800	-	
	경 비		-	-	-	
	소 계		8,179,200	7,622,400	0	
	합 계		21,414,931	18,784,363	23,082,985	

이론적으로 분석된 경비에 추가로 건축현장에서 경비가 더욱 상승되는 일반적인 원인 중에서 가장 큰 것은 바로 공기 지연이다 공기 지연에는 여러 가지 원인이 있겠지만 그린팀버월 패널을 사용함으로써 건축현장에서 발생할 수 있는 공기지연의 원인의 거의 대부분을 해소할 수 있는 이점도 있다. 그린팀버월을 패널화함으로써 현장에서의 목수인력이 거의 필요 없어질 것이며 그린팀버월 패널을 사용함으로써 상세 구조를 포함하는 건축 도면에 대한 필요가 없어짐으로써 건축공정의 단순화가 가능하며 그린팀버월 패널의 제작을 공장에서 기계화함으로써 빠른 시간 내에 더욱 정밀한 패널의 제작이 가능해진다. 철근콘크리트구조의 경우에 필요한 거푸집 조립 및 설치 공정이 사라짐으로써 공정이 단순화되고 인건비와 시간을 절약할 수 있으며 건축자재의 현장 운반, 보관, 가공, 폐잔재의 처리 등의 문제 발생을 사전에 방

지할 수 있으며 곤축공사 중 현장에서 발생할 수 있는 소음이나 분진 등으로 인한 민원의 발생도 사전에 예방할 수 있다. 그린팀버월 패널의 사용이 벽체 구조 제작 비용만을 놓고 본다면 약간의 경비 상승 요인이 있지만 그 외의 추가적인 사항들을 종합적으로 판단해 본다면 건축 경비와 안전성, 정밀도, 주거환경, 소비자들의 만족도 등의 모든 평가척도에서 그린팀버월구조가 결코 다른 구조에 뒤지지 않으며 오히려 더 높은 경쟁력을 가질 것으로 판단된다.

## 2. 2차년도 연구과제: 그린팀버아트월 구조의 개발 및 패넬화

### 가. 개발 내용 및 범위

그린팀버홈은 현 정부 건설정책의 가장 핵심적인 요소인 그린홈의 친환경성, 단열성, 에너지 효율성 등의 성능을 만족하면서 동시에 가장 인체친화적 재료인 목재를 주된 구조재료로 사용한 주택을 의미한다. 이러한 그린팀버홈의 핵심요소로 이 연구에서 개발 중인 그린팀버월을 들 수 있으며 그린팀버월은 그린홈의 친환경성, 단열성 및 에너지 효율성을 나타내는 그린과 두꺼운 목재 벽널을 의미하는 팀버(timber) 그리고 주택을 구성하는 가장 중요한 구조요소인 벽을 의미하는 월(wall)의 합성어로서 석고보드 또는 OSB 대신에 두꺼운 목재벽널을 덮개재료로 사용하여 우수한 구조성능을 나타냄과 동시에 우수한 환경 및 인체친화성을 나타내도록 개발된 목조건축용 벽체를 의미한다. 이러한 그린팀버월을 현장에서 제작하기 보다는 공장에서 패널의 형태로 제작하여 현장에서는 조립만 하도록 개발된 구조를 그린팀버월 패널이라고 한다.

목재를 주재료로 사용하여 강도성능, 단열성능, 내화성능 및 차음성능이 우수하고 내력이면서 동시에 벽의 마감장식 효과를 높인 그린팀버아트월 구조를 개발하고 이를 공장에서 생산할 수 있는 패넬화 공법으로 전환하여 패넬화를 위한 상세도면을 작성한다.

### 나. 시험재료

시험용 목재는 KS F 3020의 2등급 1종 구조재의 성능에 적합한 구조용 목재 중에서 현재 국내에서 가장 많이 유통되고 있는 38mmx89mm 및 38mmx140mm 목재를 사용하였다. 국산재를 그린팀버월 패널 제작용 재료로 개발하기 위하여 국산재 중에서 낙엽송을 사용하였으며 그 외에 국내에서 가장 많은 양이 사용되고 있는 캐나다산 헴퍼(Hem-fir) 및 SPF를 선정하였고 모든 목재는 1종구조재 중에서 2등급 이상의 품질을 갖는 목재로 선택하였다. 접합철물로는 KS F 4537의 보통못 중에서 구조용재 사이의 접합에는 CMN85(길이 83mm, 지름 3.76mm) 이상의 못을 사용하고 두꺼운 목배 벽널과 골조부재 사이의 접합에는 마감용 못인 FN85(길이

83mm, 지름 2.87mm) 이상의 못을 사용하였다. 중앙의 스테드 사이에는 시중에서 경골구조용으로 많이 사용되는 R-13(38mmx89mm 스테드) 및 R-19(38mmx140mm 스테드) 유리섬유단열재(하니소에서 제조)를 사용하였다. 두꺼운 목재 벽널은 일반 구조재용으로 생산되는 38mmx140mm 부재를 사용하여 양측면을 따라서 T&G(Tongue and Groove) 가공을 하였으며 최종 마감치수는 두께 35mm에 나비 125mm에 장부의 길이 및 홈의 깊이는 각각 10mm로 하였다.

#### 다. 국산재를 활용한 그린팀버월 패널의 개발

국산재를 그린팀버월 패널 제작을 위한 재료로 사용하기 위하여 여러 가지 국산 수종들 중에서 생산량, 구입의 용이성, 강도, 표면 품질, 색상, 무늬결 등의 여러 가지 특성들을 고려하여 그 동안 품질, 가공, 강도 등의 측면에서 많은 연구가 이루어져 왔고 시중에서 구입이 용이한 낙엽송을 선택하였다. 먼저 함수율 19% 이하로 건조된 낙엽송 38mmx140mm 규격재를 여주 목재유통센터에서 구입한 후 그림 A2-1에서 보는 바와 같이 대림이앤씨(주)에서 35mm 두께의 두꺼운 벽널로 형삭기를 이용하여 가공하였다.



그림 A2-1 국산 낙엽송 벽널의 형삭 가공

낙엽송은 건조로 인한 비틀림이 발생하는 경향이 있기 때문에 벽널 가공 후에도 비틀림이 심한 것은 사용이 불가능하므로 비틀림이나 웅이 등의 결점이 매우 큰 것은 사전에 선별하였다. 국산 낙엽송으로 가공한 두꺼운 목재 벽널을 사용하여 벽체의 수평하중 및 수직하중 저항 시험 그리고 내화시험 등을 수행하여 국산 낙엽송을 사용한 그린팀버월 패널의 성능을 평가하였다.

#### 라. 그린팀버월 패널 조립공정의 효율화

##### (1) 현재 그린팀버월 패널 제작 및 조립 공정

그린팀버월을 사용하여 목조건축물을 만들기 위해서는 건축 설계, 각각의 그린팀

버월 및 그린티이버아트월 설계, 각각의 벽체의 패널화 설계 등을 거친 후 재료의 준비, 두꺼운 목재 벽널의 가공, 그린티이버월 패널의 공장 제작, 그린티이버월 패널의 현장 운반 및 현장 설치 및 조립 등의 공정들이 순차적으로 이루어져야 한다. 먼저 건축물의 평면과 입면, 단면 등이 설계되면 설계도면에 바탕을 두고 각각의 벽체들을 그린티이버월 및 그린티이버아트월로 상세도면을 작성하고 각각의 벽체들을 공장에서 제작하고 현장으로 운반하여 조립할 수 있는 크기의 패널로 나누어서 상세도면을 작성한다.

그린티이버월 패널의 도면이 결정되면 구조재 등의 그린티이버월 패널 제작을 위하여 필요한 자재를 준비하고(그림 A2-2), 두꺼운 벽널을 가공하며(그림 A2-3), 구조재를 절단하고(그림 A2-4), 아트월이 있는 경우에는 아트월 부분 상부에 들어갈 헤더를 먼저 만든다(그림 A2-5).



그림 A2-2 구조재 등 필요한 자재의 준비



그림 A2-3. 두꺼운 목재 벽널의 준비



그림 A2-4. 구조재의 절단 및 가공



그림 A2-5. 헤더 제작

그린티म्버월 패널 제작을 위하여 먼저 그림 A2-6와 같이 적당한 길이로 절단 및 가공된 구조재들을 조립하여 벽체의 골조를 구성한다. 만들어진 벽체 골조에 필요한 단열재를 설치하고(그림 A2-7) 그 위에 두꺼운 목재 벽널을 설치한다(그림 A2-8). 아트월이 있는 경우에는 그림 A2-9과 같이 골조를 구성할 때에 개구부 상부에 헤더를 넣고 개구부 주변에 스테어드보다 나비가 50mm 더 큰 부재로 아트월 틀을 만든다. 아트월 틀 내부를 제외한 나머지 부분에 두꺼운 목재 벽널을 고정하고 그림 A2-10과 같이 아트월 틀 내부에 아트월 구성을 위하여 미리 준비한 목재들을 삽입한다. 아트월 내부에 목재 삽입이 완료된 후 아트월을 통하여 표현하고자 하는 이미지에 적합한 착색이나 도장 등의 공정을 추가할 수 있다.



그림 A2-6. 골조의 조립



그림 A2-7. 단열재의 설치



그림 A2-8. 두꺼운 목재 벽널의 설치



그림 A2-9. 헤더 및 아트월 틀의 설치



그림 A2-10. 아트월 구성 목재의 삽입

공장에서 그린티म्버월 및 그린티म्버아트월 패널이 만들어지면 패널들을 사용할 순서대로 적재하여 현장에 운반하고 그림 A2-11과 같이 현장에서도 패널이 사용될 순서대로 적재하여 보관한다. 현장에 적재 및 보관된 패널들은 그림 A2-12와 같이 크레인으로 들어서 필요한 부위에 설치하고 상호 집합함으로써 그림 A2-13 및 A2-14와 같이 건축물을 구성할 수 있다.



그림 A2-11. 공장에서 생산된 패널의 현장 운반 및 적재



그림 A2-12. 패널의 설치



그림 A2-13. 패널 사이의 접합 및 골조의 완성

(2) 현재의 그린티이버월 제작, 운반 및 조립 공정상의 예상되는 문제점

공장에서의 그린티이버월 제작은 크게 문제가 없으나 취급, 운반 및 현장 조립 과정에서 다음과 같은 문제들이 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

① 그린티이버월은 많은 양의 목재가 사용됨으로써 일반 경골목조 벽에 비하여 무

게가 매우 무겁기 때문에 취급상의 어려움이 있다: 그린팀버월은 높이 2.4m에 길이 2.4m 정도의 패널만 되어도 무게가 약 300kg이 넘기 때문에 일반 경골 목조 벽처럼 2-3명의 인력으로 들어서 움직이기가 불가능하다. 따라서 공장에서의 취급 및 현장에서의 취급에서도 중장비가 반드시 사용되어야 한다.

- ② 공장이나 현장에서 이동하거나 상차 및 하차 시에는 지게차를 이용할 수 있으나 현장에서 그린팀버월을 제 위치에 설치할 경우에는 패널을 수직으로 세워서 인양할 수 있는 크레인이 필요하며 이 경우에 크레인으로 들어서 이동할 수 있도록 크레인과 그린팀버월 패널 사이의 간단한 연결 방법이 필요하다: 그린팀버월 패널은 마감재까지 이미 설치된 상태이기 때문에 표면에 구멍을 뚫을 수도 없고 크레인의 끝에 달린 고리에 로프를 걸고 이 로프의 반대쪽을 그린팀버월 패널에 연결하여야 하며 이 때 패널의 무게를 견딜 수 있을 만큼 강하면서 간단하게 연결하고 연결을 해체할 수 있는 방법이 필요하다.
- ③ 그린팀버월 패널로 벽을 구성하기 위해서는 평행으로 만나는 패널들 사이의 접합방법이 필요하다: 그린팀버월 패널의 크기는 공장에서의 제작 환경, 취급, 보관, 운반, 현장에서의 취급과 보관 등을 고려할 때에 길이 2.4~3.6m의 범위에 해당하는 패널이 적합할 것으로 예상된다. 따라서 공장에서 제작된 패널들로 현장에서 건축물을 구성하기 위해서는 짧은 패널들 사이의 수평접합을 통하여 긴 벽체를 구성하여야 하기 때문에 평행하게 만나는 패널들 사이의 간단하면서도 견고한 접합방법이 필요하다.
- ④ 그린팀버월 패널은 평면으로 제작하여야 하므로 현장에서 직각으로 만나는 모서리 부분에서 패널과 패널 사이의 간단하면서도 견고한 접합방법이 필요하다: 건축물을 구성하기 위해서는 최소한 4개의 모서리가 필요하며 그린팀버월 패널의 현장 접합 시 직각으로 만나는 모서리 부분에서 패널과 패널 사이에 간단하면서도 견고한 고정 방법이 필요하다.
- ⑤ 그린팀버월 패널을 현장에서 조립할 때에 벽체 하부를 바닥에 고정할 수 있는 간단하면서도 견고한 방법이 필요하다: 그린팀버월 패널은 마감재까지 부착된 상태로 제작되기 때문에 마감재 위에 못을 박을 수가 없고 패널 하부를 바닥에 견고하게 고정할 수 있는 별도의 대책이 필요하다.
- ⑥ 아트월 부분의 구성 시에 많은 양의 길이가 짧은 목재들이 필요하고 이들 목재 사이의 접합방법이 필요하며 이와 같이 구성된 목재들의 치수와 아트월 부분으로 비워놓은 개구부의 치수 사이에 오차를 방지할 수 있는 대책이 필요하다: 아트월을 구성하는 짧은 목재들은 접착제를 사용하여 견고한 접착이 가능하며 접착제가 경화되기 전까지의 임시적인 고정방법과 접착제로 인한 유리포름알데히드 발생, 그리고 아트월 개구부를 미리 만들고 나중에 아트

월 구성 목재를 끼워 넣기 때문에 치수 오차의 발생 등의 문제가 생길 가능성이 높다.

- ⑦ 모든 그린팁버아트월 패널에서 아트월 개구부 상부에 헤더를 삽입하게 되는데 비내력벽의 경우에 대한 대책이 필요하다: 아트월의 헤더는 아트월 부분을 미리 채우지 않고 비워 놓은 상태에서 패널을 만들고 이를 현장에서 조립한 후 나중에 아트월 부분을 채울 때에 필요하며 공장에서 아트월 부분을 미리 채운 다음에 현장에 운반하거나 또는 비내력벽의 경우에는 아트월 개구부에 대한 헤더가 필요 없을 것으로 예상된다.

### (3) 예상되는 문제들에 대한 해결방안

#### ① 무거운 그린팁버월 패널 취급의 문제

일반적으로 그린팁버월 패널은 길이가 2.4m만 되어도 무게가 300kg이 넘기 때문에 1사람이 50kg을 들 수 있다고 가정하더라도 이 패널을 옮기기 위해서는 6사람이 필요하다. 따라서 공장이나 현장에서 이와 같이 무거운 패널을 사람의 힘으로 움직인다는 것은 여러 가지로 불합리하며 공장이나 현장에서 보관 및 운송을 위하여 이동할 경우에는 지게차를 이용하고 패널을 제 위치에 설치할 경우에는 크레인의 사용이 필요하다. 지게차를 사용하기 위해서는 반드시 패널의 적재 시에 지게차로 들어올리기 쉽도록 밑에 받침대가 필요하며 공장 보관, 운반 및 현장 적재 시에 패널이 사용될 순서를 고려하여 차례대로 적재되어야 한다.

#### ② 그린팁버월 패널과 크레인 사이의 연결방법

그린팁버월 패널은 매우 무겁고 마감재까지 이미 설치된 상태에서 제작되고 현장으로 운반되기 때문에 크레인으로 작업할 때에 매우 주의를 요한다. 마감재의 표면에 손상이 생기지 않도록 주의하여야 하며 크레인으로 인양할 때에 패널의 무게를 충분히 지지할 수 있을 정도로 견고한 인양방법이 필요하다. 한 가지 방법으로는 그림 A2-14에서 보는 바와 같이 공장에서 패널을 제작할 때에 패널 상부의 윗 깔도리 길이를 3등분할 수 있는 위치에 미리 구멍을 뚫고 현장에서는 이 구멍에 삽입하여 견고하게 부착될 수 있는 철물(위에 고리가 달리고 하부에는 구멍에 삽입된 후 옆으로 펼쳐져서 구멍에서 빠지지 않도록 고안된 철봉)과 크레인 사이에 로프를 연결하여 인양할 수 있다.



그림 A2-14. 패널의 인양 방법

이 보다 간단한 방법으로 그림 A2-15와 같이 공장에서 패널을 제작할 때에 패널 길이를 3등분하는 지점의 윗깔도리를 감싸서 상부에 고리를 만들 수 있도록 200kg 정도의 인장력을 갖는 끈을 미리 고정한 후 그 위에 두꺼운 목재 벽널을 설치하고 현장에서는 이 끈 고리에 로프를 연결하여 크레인으로 인양하고 현장 설치 후에는 이 끈을 잘라서 제거할 수 있다.

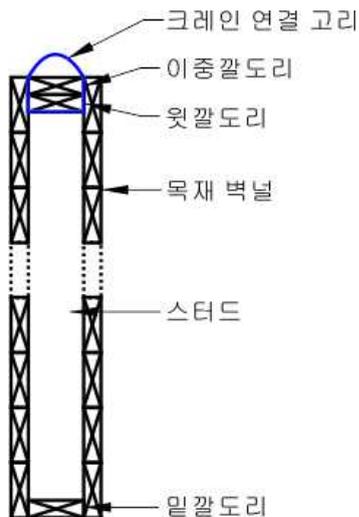


그림 A2-15. 끈을 이용한 크레인 연결 고리

### ③ 평행으로 만나는 패널들 사이의 접합방법

길이가 짧은 패널들을 현장에서 연결하여 긴 벽을 구성하기 위해서는 평행하게 배치된 패널과 패널 사이의 강하고 효율적이며 간단한 접합방법이 필요하다. 패널 사이의 평행 접합은 그림 A2-16과 같이 패널의 양끝에서 2~3 패널 건너 1개씩 스

터드 한 구간만큼 비워놓은 다음 현장에서 스퍼드 2구간의 길이에 해당하는 패널들을 미리 준비하였다가 패널 사이에 상호 못박기하여 접합한 후 이들을 빈 부분에 고정시키는 방법을 적용할 수 있다. 패널들 사이의 평행접합에서 각각의 접합부마다 2개의 12d 보통못으로 표면 못박기한다.

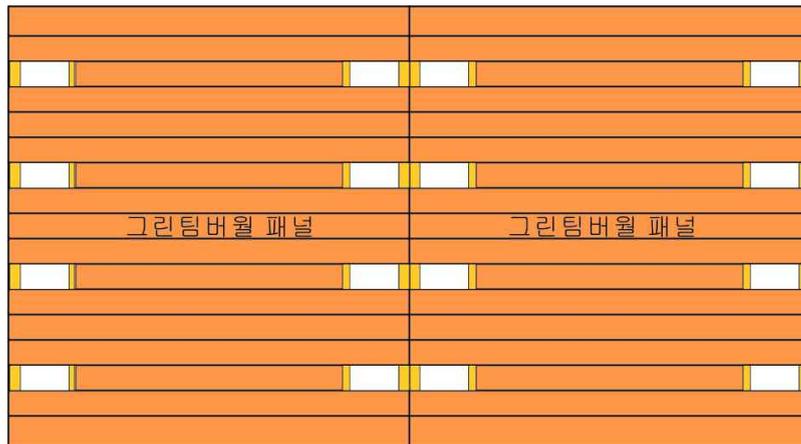


그림 A2-16. 평행한 패널 사이의 접합

패널들을 수평으로 연결할 때에 직각으로 절단하여 맞댄 이음을 하면 이음부에 틈이 생기거나 변형이 생겨서 약간이라도 벌어지면 별로 보기가 좋지 않기 때문에 수평 이음부는 45도 각도로 절단하여 경사이음을 하는 것이 바람직하다. 그림 A2-16에서 패널 사이의 평행 접합을 위하여 비워놓은 부분도 45도 각도로 경사 절단된 부재를 사용하여 경사이음으로 마무리한다.

#### ④ 모서리 부분에서 패널과 패널 사이의 접합방법

밀폐 건축물을 만들기 위해서는 최소한 4개의 모서리가 필요하며 건축물의 모양에 따라서 더 많은 수의 모서리가 생기게 된다. 이러한 모서리 부분은 직각으로 만나는 2개의 패널로 구성되며 수평하중의 저항 및 전달과정에서 모서리의 역할이 중요하기 때문에 모서리에서 패널과 패널 사이의 강하면서 효율적인 접합방법이 필요하다. 모서리에서의 접합에는 그림 A2-17에 주어진 바와 같은 접합방법이 적용될 수 있다.

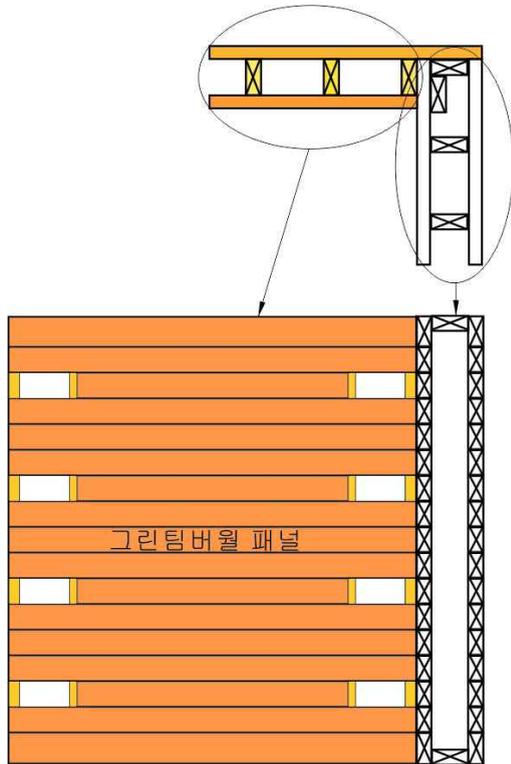


그림 A2-17. 모서리에서 만나는 패널들 사이의 집합방법

그림 A2-17과 같이 모서리에서 만나는 패널들 중에서 한쪽은 바깥쪽 덮개를 스테드 면보다 다른 패널의 두께 만큼 더 나오도록 설치하고 패널의 모서리쪽 끝에서 2~3 패널 건너 1개씩 스테드 한 구간만큼 비워놓는다. 또 다른 패널은 모서리 부분에 스테드를 “L”형으로 만들어서 보강하고 양면의 벽널(또는 덮개재료)은 스테드의 끝에 맞추어서 설치한다. 패널들을 직각으로 세우고 각각의 비워놓은 부분을 통해서 2개의 12d 보통못으로 표면 못박기하여 결합시키고 바깥쪽 덮개재료가 튀어나온 패널(그림 A2-17의 좌측 패널)에서 튀어나온 덮개재료와 다른 패널 사이에 2개의 12d 보통못을 300mm 간격으로 못박기하여 고정시킨다.

#### ⑤ 패널 하부와 바닥 사이의 집합 방법

각각의 벽 패널들은 토대 또는 바닥구조와 견고하게 집합되어야 수평하중을 효율적으로 저항 또는 전달할 수 있다. 따라서 그린틴버월 패널과 바닥 또는 토대와의 효율적이고도 간단한 집합방법이 필요하다. 이를 위하여 그림 A2-18에서 보는 바와 같이 공장에서 패널을 제작할 때에 패널의 제일 아래쪽 벽널은 설치하지 않고 비워 두며 패널의 바깥쪽 덮개재료는 밑갈도리보다 바닥 또는 토대의 높이만큼 더 튀어나오도록 설치한다. 현장에서 패널을 토대 또는 바닥구조 위에 세운 후 패널의 밑갈도리보다 아래로 튀어나온 바깥쪽 덮개재료 부분에서 토대 또는 바닥구조로 2개의 12d 보통못을 300mm 간격으로 표면못박기하고 안쪽 아래의 비워둔 부분을 통하여 패널의 밑갈도리를 토대 또는 바닥구조에 12d 보통못으로 경사지게 300mm

간격으로 못박기하여 고정시킨다. 아래쪽의 두꺼운 목재 벽널을 설치하지 않고 비워둔 부분은 못박기를 마친 후 설치한다.

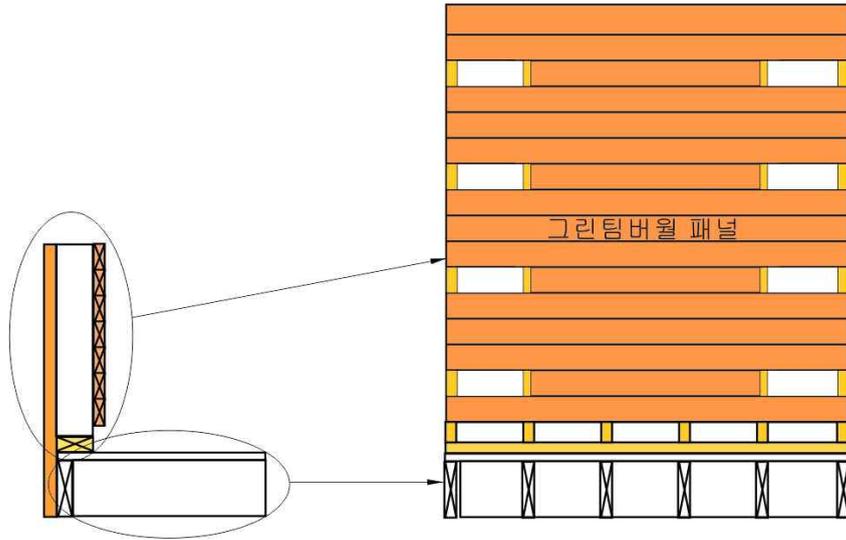


그림 A2-18. 패널 하부의 고정

#### ⑥ 아트월 부분의 구성

그린티ंबर아트월은 아트월 부분의 구성을 통하여 목재의 아름다움과 장식성을 더욱 빛나게 나타내는 특성을 지니고 있기 때문에 아트월 부분의 구성이 매우 중요하다. 아트월 부분은 짧은 목재들로 구성되기 때문에 전체를 다 구성하면 주어진 틀에 딱 끼기 때문에 잘 빠지지 않지만 채우는 과정에서 쉽게 이탈하거나 빠뜨어지는 경향을 나타낸다. 따라서 아트월 부분을 채우는 과정에서 짧은 목재들이 제 자리를 잘 지킬 수 있도록 작업하는 방법이 필요하다. 이를 위하여 아트월의 짧은 목재들을 고정할 수 있도록 접착제를 사용하고 접착제가 굳기 전에 그리고 작업을 진행할 동안에 임시로 고정시키기 위하여 짧은 목재 위에 꺾쇠못 타카나 공기압 못총으로 고정할 필요가 있다.

아트월 목재를 고정하기 위하여 목공용 접착제를 사용하면 시중에서 판매되는 대부분의 목공용 접착제는 포르말린을 경화제로 사용하기 때문에 접착제로부터 방출되는 유리포름알데히드가 실내 공기질을 악화시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 이 연구에서는 접착제로부터 방출되는 유리포름알데히드의 양을 줄이기 위하여 녹차 가루와 숯가루를 사용하였으며 접착제만 사용한 경우와 녹차 가루나 숯가루를 혼용한 경우의 유리포름알데히드 방산량에 대해서는 이후에 해당 항에서 시험결과

를 자세히 기술하고자 한다. 결과적으로 시중에서 판매되는 목공용 접착제(오공본드 205)만 사용한 경우에는 유리포름알데히드 방산량이 실내용으로 사용하기 어려운 E2급에 해당하였으나 녹차가루 또는 숯가루를 접착제에 첨가한 경우에는 유리포름알데히드 방산량이 실내용으로 충분한 슈퍼 E0급을 나타내었다.

아트월 부분의 개구부 치수와 목재를 채워 넣을 때의 치수 차이는 사전에 매우 정밀한 계산이 필요할 것으로 생각된다. 아트월 목재는 가로 및 세로 치수가 정확하여야 하고 이러한 목재들이 수평방향으로 배열되는 수를 고려하여 개구부의 수평 치수를 결정하고 아트월 목재들이 수직방향으로 배열되는 수를 고려하여 개구부의 수직 치수가 결정되어야 한다. 아트월 목재들의 가로 및 세로 치수가 모두 동일한 경우에는 치수 결정이 비교적 쉬우나 각각의 목재들이 서로 다른 치수를 갖는 경우에는 치수 결정이 더욱 어려워지는 경향을 나타낼 것이다. 따라서 가능하면 아트월 목재들은 동일한 치수를 갖도록 사용하거나 또는 치수가 서로 배수가 되도록 조정하는 것이 필요하다. 치수, 색상 및 모양이 각각 다른 아트월 목재들을 사용하는 경우에는 아트월을 제작하는 사람들이 아트월 목재들의 사용 순서를 명확하게 알고 있어야 한다.

#### ⑦ 그린티म्버아트월에서 아트월 부분 상부의 헤더

그린티म्버아트월 개구부 상부의 헤더는 내력벽용 아트월을 공장에서 제작할 때에 아트월 부분을 채우지 않고 현장에 설치한 다음 다른 건축 공정들이 진행되고 나중에 아트월 부분을 채우는 경우에 아트월 상부로부터 전다로디는 하중을 안전하게 하부로 전달하기 위하여 필요하다. 그러나 해당 그린티म्버아트월이 하중을 지지하지 않는 비내력벽이거나 또는 공장에서 아트월 부분을 미리 채워서 현장으로 운반하여 설치하는 경우와 같이 상부에서 전달되는 하중을 아트월 부분이 충분히 지지 또는 전달할 수 있는 경우에는 헤더의 설치가 필요하지 않다. 따라서 모든 아트월 개구부 위에 헤더를 설치할 것이 아니라 해당 아트월의 구조적 역할, 아트월 부분 제작 방법 등을 고려하여 헤더 삽입 여부를 결정하여야 한다.

#### 마. 그린티म्버아트월 구조의 개발

그린티म्버아트월 구조는 내력벽 및 비내력벽에 모두 사용가능하며 다음과 같은 조건에 적합하도록 개발하였다.

- ① 내력벽의 경우에 아트월 개구부의 상부에는 조립보 헤더를 설치하여 상부에서 작용하는 수직하중을 견딜 수 있도록 한다.
- ② 비내력벽의 경우에는 개구부 상부에 헤더 대신에 스티드와 같은 치수의 부재를 수평으로 설치한다.
- ③ 다층 다세대 공동주택에도 사용할 수 있도록 내화성능이 우수하여야 한다.

- ④ 세대 내 또는 세대 간벽으로서 차음성능이 우수하여야 한다.
- ⑤ 목조주택용 내력벽으로서 3층 건물의 1층에서 사용 가능하도록 수직하중저항 성능 및 수평하중저항성능이 우수하여야 한다.
- ⑥ 가능하면 탄소 저장능력이 우수하고 환경 및 인체 친화형 자재이며 재생산이 가능한 목재의 사용량이 많아야 한다.
- ⑦ 가능하면 석고보드 및 OSB의 사용을 줄여야 한다.
- ⑧ 아트월 부분에서는 목재의 아름다움을 표현할 수 있어야 한다.
- ⑨ 아트월 부분에서는 목재의 무늬 및 색상을 사용하여 그림, 이미지, 글씨 등을 표현하거나 장식품을 올려놓을 수 있는 선반 기능을 갖도록 하여야 한다.
- ⑩ 공장에서 생산하여 현장에서 조립할 수 있는 공법이 적용되어야 한다.

그린팀버아트월을 개발하기 위하여 다음의 3가지 기본적인 전제조건을 적용하였다.

- ① 가능하면 인체 및 환경에 유리한 재료인 목재의 사용량을 늘린다.
- ② 벽체 두께를 최소한으로 하되 내화성능 및 단열 성능을 향상 시킬 수 있도록 한다.
- ③ 외벽의 경우에는 아트월 부분을 한쪽(실내면)에만 설치하고 실내벽의 경우에는 아트월 부분이 양면을 관통하도록 한다.

그린팀버아트월 패널의 구조는 그림 A2-19에 주어진 바와 같이 기본적으로 1차년도에 개발된 그린팀버월 패널의 구조와 동일하지만 벽의 중앙부에 장식 기능을 더한 아트월 부분이 삽입된다는 점만 차이가 있다. 그린팀버월이나 그린팀버아트월에서는 가능하면 인체와 환경에 유해한 요소들을 제거하여 명실상부하게 인체 및 환경친화적인 목조건축이 가능하도록 하였다. 따라서 모든 벽에서 실내에 노출되는 측면에는 접착제로 인한 환경물질 방출의 위험이 있는 OSB 판재는 전혀 사용되지 않았으며 분진과 자연방사선의 방출 위험이 있는 석고보드는 2시간 내화구조의 경우에만 벽체 안쪽에 설치하고 그 바깥쪽 실내 노출면에는 두꺼운 목재 벽널을 설치하여 석고보드의 실내환경에 대한 영향을 최소화하도록 하였다. 2시간 내화구조의 경우에 목재 벽널만으로는 2시간의 내화성능을 나타낼 수 있도록 하면 벽의 두께와 재료의 낭비 측면에서 비효율적이기 때문에 내화석고보드와 목재 벽널을 복합하여 사용하는 것이 효율적일 것으로 생각된다.

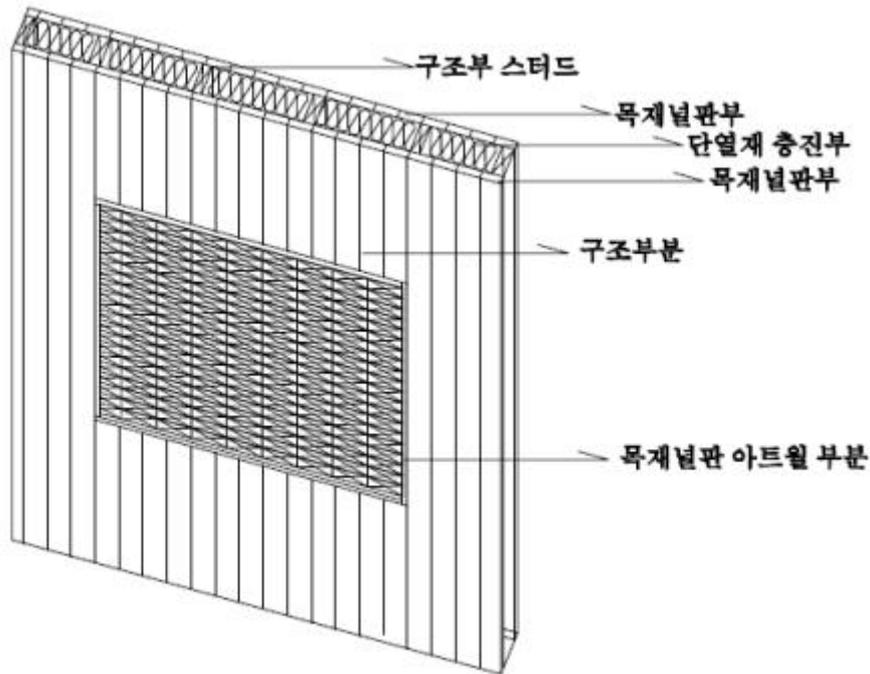


그림 A2-19. 그린티머아트월 패널의 모식도

그린티머아트월에서 아트월 부분은 단열재의 설치 없이 벽체의 두께에 해당하는 목재만으로 채워지기 때문에 단열재가 설치되는 부분에 비하여 단열성능이 감소할 것으로 예상된다. 따라서 아트월 부분은 세대 사이의 벽 보다는 동일 세대 내의 벽에 설치하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 아트월은 세대 내의 벽들 중에서 가장 포인트가 되는 벽을 선택하여 한 세대에 1개에서 2개 정도로 설치하는 용도이기 때문에 모든 벽이 아트월로 설치될 필요는 없으며 거실, 식당(주방), 거실과 주침실, 거실과 주방, 주방과 주 침실 등의 한정된 장소에만 아트월을 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 아트월을 벽의 한쪽 면에만 설치하는 경우에는 벽의 반대쪽 면에 내단열 또는 외단열의 방법으로 단열재를 설치하여 단열성능을 향상시킬 수 있다. 외단열 또는 내단열을 설치하는 경우에는 1차년도에 개발된 방법을 그대로 적용할 수 있다.

표 A2-1 및 A2-2는 1차년도에 개발된 내벽 및 외벽용 그린티머월 패널의 여러 가지 조합을 나타낸 것이다. 따라서 그린티머아트월도 내벽인지 외벽인지에 따라서 표 A2-1 및 표 A2-2의 조합을 그대로 사용하고 벽의 중앙부에 아트월 부분만 벽 전체 면적에 대한 비율에 따라서 그리고 아트월이 한쪽 면에만 설치되는지 또는 양면을 관통하여 설치되는지에 따라서 벽의 구조가 결정될 것이다.

표 A2-1. 내벽용 그린팀버월 패널

모델번호	G	B	A	N	4S	6S	4SS	4DS	N	A	B	G
IN-B-4-B	X	O	X	X	O	X	X	X	X	X	O	X
IN-B-6-B	X	O	X	X	X	O	X	X	X	X	O	X
IN-G-4-G	O	X	X	X	O	X	X	X	X	X	X	O
IN-G-6-G	O	X	X	X	X	O	X	X	X	X	X	O
IN-GB-6-BG	O	O	X	X	X	O	X	X	X	X	O	O
IN-GB-6-NG	O	O	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O
IN-GB-6-AG	O	O	X	X	X	O	X	X	X	O	X	O
IN-GN-6-NG	O	X	X	O	X	O	X	X	O	X	X	O
IN-GA-6-AG	O	X	O	X	X	O	X	X	X	O	X	O
IN-GBN-6-NBG	O	O	X	O	X	O	X	X	O	X	O	O
IN-GBA-6-ABG	O	O	O	X	X	O	X	X	X	O	O	O
IN-GBN-6-ABG	O	O	X	O	X	O	X	X	X	O	O	O
IN-GBN-4S-NBG	O	O	X	O	X	X	O	X	O	X	O	O
IN-GBN-4S-ABG	O	O	X	O	X	X	O	X	X	O	O	O
IN-GBA-4S-ABG	O	O	O	X	X	X	O	X	X	O	O	O
IN-GBN-4D-NBG	O	O	X	O	X	X	X	O	O	X	O	O
IN-GBN-4D-ABG	O	O	X	O	X	X	X	O	X	O	O	O
IN-GBA-4D-ABG	O	O	O	X	X	X	X	O	X	O	O	O

※ 비교: 표 A2-1에서 각각의 기호는 아래와 같은 뜻을 갖는다.

IN: 내벽

G: 두께 35mm의 T&G 목재벽널판

B: 두께 12.5mm의 일반 석고보드

A: 소음채널

N: 두께 25mm의 수평버팀대 사이에 25mm의 미네랄울이 설치된 내단열층

4S: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx89mm 스티드 사이에 R-13 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

6S: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx140mm 스티드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

4SS: 38mmx89mm 스티드를 서로 엇갈리게 이중으로 배치하고 스티드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 연속으로 설치한 중단열층

4DS: 38mmx89mm 스티드를 서로 같은 위치에 이중으로 배치하고 스티드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 연속으로 설치한 중단열층

표 A2-2. 외벽용 그린팀버월 패널

모델번호	G	B	N	4	6	S	F	H	X	W	P
EX-B-4-S	X	O	X	O	X	O	X	O	X	X	X
EX-B-6-S	X	O	X	X	O	O	X	O	X	X	X
EX-G-4-S	O	X	X	O	X	O	X	O	X	X	X
EX-G-4-P	O	X	X	O	X	X	X	O	X	X	O
EX-G-6-S	O	X	X	X	O	O	X	O	X	X	X
EX-G-6-P	O	X	X	X	O	X	X	O	X	X	O
EX-GB-6-FX	O	O	X	X	O	X	O	O	O	X	X
EX-GN-6-FX	O	X	O	X	O	X	O	O	O	X	X
EX-GN-6-FXP	O	X	O	X	O	X	O	O	O	X	O
EX-GBN-6-FXW	O	O	O	X	O	X	O	O	O	O	X
EX-GBN-6-FXP	O	O	O	X	O	X	O	O	O	X	O

※ 비교: 표 A2-2에서 각각의 기호는 아래와 같은 뜻을 갖는다.

EX: 외벽

G, B, N: 표 1의 비교와 동일

4: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx89mm 스티드 사이에 R-13 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

6: 610mm 이하의 간격으로 배치된 38mmx140mm 스티드 사이에 R-19 유리섬유단열재를 설치한 중단열층

S: 두께 11.1mm의 OSB

H: 방수지(house wrap)

X: 두께 25mm의 방부처리된 수평버팀대 사이에 25mm의 미네랄울이 설치된 외단열층

F: 두께 15mm의 방화석고보드, 단 F는 W로 대체될 수 있음

W: 두께 15mm의 방화방수석고보드

P: 두께 35mm의 T&G 방부처리 목재벽널판

그린팀버아트월의 중앙 아트월 부분은 실내에 장식 효과를 주기 위한 부분이므로 눈에 잘 보일 수 있도록 벽의 하단으로부터 500mm 이상의 높이에 설치한다. 벽의 상단에는 내력벽의 경우에 상부 하중을 지지할 수 있는 2x8 조립보 헤더가 들어가야 하며 헤더 위에 상부의 하중을 효과적으로 전달할 수 있는 반스티드가 들어갈 수 있도록 450mm 이상의 공간을 둔다. 벽의 좌우측 모서리로부터도 250mm 이상 떨어져 있어야 벽의 장식효과를 최대로 살리고 가시성도 향상될 수 있기 때문에 아트월 부분에 대한 상하 및 좌우측 여백을 이와 같은 기준으로 설정하였다. 전체 벽 면적에 대한 아트월 부분의 면적비에 따라서 상하좌우의 여백을 적당한 비율로 확대 및 축소하면서 그 크기를 조절할 수 있다.

명칭	개발 상세도-1	
CON-HF-4-2S		
부위별 명칭	1	HAM-FIR 목재널판(수평)
	2	HAM-FIR 2X4 스택드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)
	4	HAM-FIR 목재널판(수직)

그림 A2-20. L-GH-4AW02-4-GV 패널(면적비 40%, 양면 관통, 아트월 비움, 벽널 수직 및 수평 설치) 패널 설계도

명칭	개발 상세도-2	
CON-HF-4-2S(H)	<p>구조도</p> <p>정면도</p> <p>수평단면도</p> <p>수직단면도</p> <p>HEADER</p> <p>수종 : LARCH PLANK</p>	
부위별 명칭	1	LARCH 목재널판(수평)
	2	HAM-FIR 2X4 스티드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)
	4	LARCH 목재널판(수평)

그림 A2-21. L-GH-4AW02-4-GH 패널(낙엽송, 면적비 40%, 양면 관통, 아트월 비움, 벽널 수평 설치) 패널 설계도

명칭	개발 상세도-3	
con-HF-4-1H	<p>The drawing includes several views: <ul style="list-style-type: none"> <li><b>구조도 (Structural View):</b> Shows a window frame with a '2x8 box header' at the top and '오픈비율 : 40%' (Open ratio: 40%) in the center. Dimensions include a total height of 2,400mm and a total width of 2,362mm.</li> <li><b>정면도 (Front View):</b> Shows the window's appearance with vertical planks on the sides.</li> <li><b>수평단면도 (Horizontal Section):</b> Shows the panel's thickness of 176mm, with a central insulation layer of 1,896mm.</li> <li><b>수직단면도 (Vertical Section):</b> Shows the vertical assembly: PLANK(vertical), 2x4 HAM-FIR STUD, R-13 glass wool, and PLANK(horizontal).</li> <li><b>HEADER:</b> Shows a cross-section of the header with 2x4, 2x8, and 2x6 planks, and OSB sheathing.</li> <li><b>ham-fir PLANK:</b> Shows a detailed view of the plank with dimensions like 137mm height and 115mm width.</li> </ul> </p>	
부위별 명칭	1	HAM-FIR 목재널판(수직)
	2	HAM-FIR 2X4 스테드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)
	4	HAM-FIR 목재널판(수평)

그림 A2-22. H-GH-4AW01-4-GV 패널(면적비 40%, 단면, 아트월 비움, 벽널 수평 및 수직 설치) 패널 설계도

명칭	개발 상세도-4	
AV-HF-4-AH	<p>The drawing includes several views: <ul style="list-style-type: none"> <li><b>구조도 (Structural View):</b> Shows a 2x8 box header with a 40% open ratio. Dimensions include a total height of 2,400mm and a width of 2,362mm.</li> <li><b>정면도 (Front View):</b> Shows the panel with horizontal slats.</li> <li><b>배면도 (Back View):</b> Shows the panel with vertical slats.</li> <li><b>수평단면도 (Horizontal Section):</b> Shows a 2,400mm wide panel with 150mm wide slats and 252mm end caps.</li> <li><b>수직단면도 (Vertical Section):</b> Shows a cross-section with 89mm thick insulation, 2x4 HAM-FIR studs, and vertical planks.</li> <li><b>HEADER:</b> Shows a cross-section of the header with 2x4 and 2x6 studs, OSB sheathing, and a 2x8 header.</li> </ul> </p> <p><b>GENERAL NOTES:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 아트월 부분 집합시 목공용 집착제 사용(양생 24시간)</li> <li>2. 구조일반사항 KSF9002의 시공 표준으로 시공</li> <li>3. PLANK 제작시 수중 확인</li> </ol>	
부위별 명칭	1	Wall Panel T&G(수평 설치)
	2	HAM-FIR 2X4 스티드 @610mm o.c
	3	Thk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)
	4	Wall Panel T&G(수직 설치)
	5	아트월부분 제작 및 디테일 시공

그림 A2-23. H-GH-4AW12-4-GV 패널(면적비 40%, 양면 관통, 아트월 채움, 벽널 수평 및 수직 설치) 패널 설계도

명칭	개발 상세도-5										
AV-HF-4-H	<p>The drawing includes the following views and details:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>정면도 (Front View):</b> Shows a rectangular panel with a central opening. Dimensions include a total height of 2,400mm and a total width of 2,400mm. The opening is labeled '오픈비율 : 40%'.</li> <li><b>구조도 (Structure Diagram):</b> Shows the internal framing with a '2x8 box header' at the top. Dimensions include a height of 2,286mm and a width of 2,382mm.</li> <li><b>수평단면도 (Horizontal Section):</b> Shows the panel's width with a total of 2,400mm and a central section of 1,896mm.</li> <li><b>배면도 (Back View):</b> Shows the reverse side of the panel with horizontal slats.</li> <li><b>수직단면도 (Vertical Section):</b> Shows the wall assembly layers: PLANK (horizontality), 2x4 HAM-FIR STUD, R-11 glass wool, and PLANK (horizontality). Dimensions include a total thickness of 89mm.</li> <li><b>HAM-FIR (PLANK) Details:</b> Shows a cross-section of the wood plank with dimensions: 137mm height, 125mm width, 115mm thickness, and 35mm depth.</li> <li><b>OSB 및 단열재 충전 (HEADER) Details:</b> Shows the header assembly with dimensions: 2x4 규격재 (30mm), 2x8 규격재 (45mm), OSB 및 단열재 충전 (30mm), and 2x6 규격재 (30mm).</li> </ul> <p><b>GENERAL NOTES:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>아트월 부분 접합시 목공용 접착제 사용(양생 24시간)</li> <li>구조일반사항 KSP9002의 시공 표준으로 시공</li> <li>PLANK 제작시 수종 확인</li> </ol>										
부위별 명칭	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>Wall Panel w/ T&amp;G(수평 설치)</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>HAM-FIR 2X4 스테드 @610mm o.c</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Wall Panel w/ T&amp;G(수평 설치)</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>단면 아트월부분 시공</td> </tr> </table>	1	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)	2	HAM-FIR 2X4 스테드 @610mm o.c	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)	4	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)	5	단면 아트월부분 시공
1	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)										
2	HAM-FIR 2X4 스테드 @610mm o.c										
3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)										
4	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)										
5	단면 아트월부분 시공										

그림 A2-24. H-GH-4AW11-4-GH(면적비 40%, 단면, 아트월 채움, 벽넬 수평 설치)

패널 설계도

명칭	개발 상세도-6	
AV-HF-4-H	<p>구조도</p> <p>수평단면도</p> <p>수직단면도</p> <p>정면도</p> <p>배면도</p> <p>GENERAL NOTES:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>아트월 부분 접합시 목공용 접착제 사용(양생 24시간)</li> <li>구조일반사항 KSF9002의 시공 표준으로 시공</li> <li>PLANK 제작시 수종 확인</li> </ol>	
부위별 명칭	1	Wall Panel w/ T&G(수직 설치)
	2	HAM-FIR 2X4 스테드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)
	4	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	5	단면(40%) 아트월부분 시공

그림 A2-25. H-GH-4AW11-4-GV(면적비 40%, 단면, 아트월 채움, 벽널 수평 및 수직 설치) 패널 설계도

명칭	개발 상세도-7	
AV-HF-3-H	<p>정면도</p> <p>구조도</p> <p>수평단면도</p> <p>수직단면도</p> <p>배면도</p> <p>OSB 및 단열재 부착</p> <p>2x4 규격재</p> <p>2x8 규격재</p> <p>2x6 규격재</p> <p>(PLANK)</p> <p>(HEADER)</p> <p>PLANK(Vertical)</p> <p>2x4 HAM-FIR STUD</p> <p>R-13 glass wool</p> <p>PLANK(Horizontality)</p> <p>ham-fir</p> <p>137</p> <p>125</p> <p>115</p> <p>36</p> <p>6</p> <p>12</p> <p>14</p> <p>30</p> <p>45</p> <p>10</p> <p>30</p> <p>19</p> <p>11.3</p> <p>11.3</p> <p>GENERAL NOTES:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 아트월 부분 접합시 목공용 접착제 사용(양생 24시간)</li> <li>2. 구조일반사항 KSF9002의 시공 표준으로 시공</li> <li>3. PLANK 제작시 수중 확인</li> </ol>	
부위별 명칭	1	Wall Panel w/ T&G(수직 설치)
	2	HAM-FIR 2X4 스티드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)
	4	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	5	단면(30%) 아트월부분 시공

그림 A2-26. H-GH-3AW11-4-GV(면적비 30%, 단면, 아트월 채움, 벽널 수평 및 수직 설치) 패널 설계도

명칭	개발 상세도-8	
AH-HF-2-H	<p>정면도</p> <p>배면도</p> <p>구조도</p> <p>수평단면도</p> <p>수직단면도</p> <p>GENERAL NOTES:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 아트월 부분 접합시 목공용 접착제 사용(양생 24시간)</li> <li>2. 구조일반사항 KSP9002의 시공 표준으로 시공</li> <li>3. PLANK 제작시 수종 확인</li> </ol>	
부위별 명칭	1	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	2	HAM-FIR 2X4 스티드 @610mm o.c
	3	THk 89 Fiber Glass Insulation(R-13)
	4	Wall Panel w/ T&G(수평 설치)
	5	단면(20%) 아트월부분 시공

그림 A2-27. H-GH-2AW11-4-GV(면적비 20%, 단면, 아트월 채움, 벽널 수평 설치)

패널 설계도

2,400mmx2,400mm 크기의 벽에서 하단 여백을 600mm, 상단 여백을 450mm로 보고 좌우 여백을 각각 300mm로 보았을 때에 전체 벽 면적에 대한 아트월 부분의 면적비는 42.2%로서 이 연구에서는 아트월 부분의 최대 면적비를 40%로 설정하였다. 아트월 부분의 가로 및 세로 치수는 면적비에 따라서 상하좌우 여백을 적절하게 확대 또는 축소하여 설정하도록 하였으며 연구의 목적을 위하여 전체 벽 면적에 대한 아트월 부분의 면적비를 그림 A2-20에서 그림 A2-27까지 주어진 바와 같이 20%, 30% 및 40%로 설정하였다.

그린티머아트월은 먼저 헤더를 포함하여 벽체의 골조를 구성하고 아트월 부분의 상하좌우 틀을 설치한다. 그리고 아트월 부분을 제외한 나머지 부분을 1차년도 그린티머월 설치 방법과 동일하게 설치한다. 아트월 부분은 공장에서 만들거나 또는 부품들을 현장으로 운반하여 현장에서 설치할 수 있다. 아트월 부분의 목재들은 벽체의 두께와 동일하거나 또는 입체감을 주기 위하여 그 길이를 증가 또는 축소시킬 수 있으며 전체적으로 동일한 길이로 할 수도 있고 서로 길이를 다르게 하여 입체감을 나타낼 수도 있다. 또한 아트월에 사용되는 목재들은 수종에 따라서 그리고 단면에 따라서 다른 효과를 나타내 수 있으며 아트월로 표현하고자 하는 이미지에 따라서 적절한 수종, 색상, 무늬 및 단면 등을 선택하여 아트월 부분을 구성할 수 있다. 아트월 부분을 장식하는 목재들은 접착제를 적절하게 사용하여 서로 견고하게 접착이 되도록 하고 접착 과정에서 상하 좌우의 목재들과 견고하게 결합되어 있도록 임시로 공기압 못총 또는 타카를 사용한다.

#### 바. 그린티머아트월 구조의 패넬화 및 시험편 생산

그린티머아트월 구조를 실제 건축 시공에 적용하는 경우에 경제성, 정밀도, 안전성 등을 확보하기 위하여 패넬화 공법을 적용할 필요가 있다. 이 연구에서는 그린티머아트월 구조를 패넬화 공법에 적용하기 위하여 필요한 상세도면을 작성하고 공장에서 패넬로 생산하기 위한 작업 매뉴얼을 작성하였다.

##### (1) 그린티머아트월 패넬 생산을 위한 상세도면 작성

그린티머아트월 패넬 생산을 위한 상세도면은 전체 벽면적에 대한 아트월 부분의 면적비 20%, 30% 및 40%에 대하여 각각 그림 A2-20에서 그림 A2-27까지와 같다. 아트월을 제외한 부분의 도면은 아트월 부분의 상부 하중을 양 측면으로 전달하기 위한 헤더를 제외하고는 1차년도의 그린티머월과 동일하다. 아트월 부분은 설계자, 소비자 또는 시공자가 표현하고자 하는 이미지나 글자에 따라서 설계가 달라질 수 있다.

##### (2) 그린티머아트월 패넬 제작을 위한 작업 매뉴얼

그린티머아트월 패넬을 제작하기 위하여 다음과 같은 재료들이 준비되어야 한다.

- ① 구조용 목재: 2등급 이상의 구조용재로서 함수율 19% 이하로 건조된 것을 사용한다. 그린티ம்ப러아트월의 제작에는 38mmx89mm(내벽) 또는 38mmx140mm(외벽)의 부재를 사용한다. 내단열이나 외단열층을 설치하기 위한 버팀대는 25mmx 38mm 부재를 사용하며 내단열층에는 방부처리 되지 않은 부재 그리고 외단열층에는 SC 1등급 이상으로 가압 방부처리된 목재를 사용한다.
- ② 두꺼운 벽널: 그린티ம்ப러아트월의 벽널은 38mmx140mm 구조용재 2등급 이상으로 함수율이 19% 이하이며 웅이 구멍(죽은 웅이)이 없는 부재를 선택하여 측면에 T&G 가공을 하여 사용한다. 내벽용 벽널판은 방부처리를 하지 않은 목재를 사용하며 외벽용 벽널판은 T&G 가공 후 SC 3등급 이상으로 가압방부처리를 한 목재를 사용한다.
- ③ 단열재: 그린티ம்ப러월의 단열층은 내단열, 중단열 및 외단열의 3개 층으로 구분하고 이 중에서 중단열은 항상 설치하며 그 외에 필요에 따라서 외단열 또는 내단열을 추가한다. 중단열은 중간의 스티드 부재 사이에 유리섬유를 설치하여 구성하며 내단열 및 외단열은 스티드의 내부 또는 외부에 25mmx38mm 부재로 수평방향의 버팀대를 500mm 간격으로 고정한 후 그 사이에 25mm 두께의 미네랄울을 설치하여 구성한다. 중단열에는 38mmx89mm 스티드의 경우에는 R-13 유리섬유 단열재를 사용하며 38mmx140mm 스티드의 경우에는 R-19 유리섬유 단열재를 사용한다. 유리섬유 단열재는 방습지로 둘러싸여 있는 제품을 사용하는 경우에는 방습지가 부착된 면을 실내쪽으로 위치시킨다. 유리섬유 단열재를 설치한 후 스티드의 실내쪽 면에 두꺼운 비닐을 설치하여 실내의 습한 공기가 벽체 내부로 침투해 들어가는 것을 방지하여야 한다.
- ④ 석고보드: 다층 다세대 주택용 그린티ம்ப러월 패널로서 특별히 내화성능을 향상시키고자 하는 목적을 가진 경우에는 15mm 두께의 방화석고보드를 사용한다. 2시간의 내화성능을 달성하고자 하는 경우에는 12.5mm 방화석고보드 2매를 설치한다. 외벽의 바깥쪽에 내화성능 향상을 목적으로 석고보드를 사용하는 경우에는 15mm 두께의 방화방수석고보드를 사용하여 수분의 침투에 대해서도 대비하여야 한다. 1시간의 내화성능을 달성하고자 하는 경우에는 내력벽과 비내력벽에 상관없이 방화석고보드를 사용하지 않고 두께 35mm의 두꺼운 목재 벽널만으로도 충분히 1시간의 내화성능을 나타낼 수 있다.
- ⑤ 파스너: 구조용재 사이의 접합에는 12d 나사나 보통못(박스못의 경우에는 한치수 더 큰 것)을 사용하며 내벽용 목재벽널판은 못 머리가 작은 12d 마감못을 사용하여 고정시키며 외벽용 목재벽널판은 12d 방청 마감못을 사용하여 고정시킨다. 석고보드는 길이 50mm의 나사못으로 고정하며 유리섬유 단열재는 양 측면의 방습지 날개에 길이 10mm의 꺾쇠핀(staple)으로 고정시킨다.

미네랄울은 방습지 날개가 없기 때문에 길이 25mm의 고정핀을 별도로 사용하여야 하며 밑부분의 받침판에 양면 접착테이프를 붙힌 후 고정핀을 스티드에 접착시키고 핀 부분에 미네랄울이 박히도록 고정시킨다. 실내면에 두꺼운 비닐을 설치하는 경우에는 길이 10mm의 꺾쇠핀(staple)을 스티드에 300mm 간격으로 박아서 고정시키고 비닐과 비닐 사이의 이음 부분은 비닐 테이프로 전체 길이에 걸쳐서 접착시킨다.

그린티머아트월 패널 제작을 위하여 적용되는 못박기 일람표(nailing schedule)는 표 A2-3와 같다.

그린티머아트월 패널의 제작 공정은 그림 A2-28과 같다. 그림 A2-28의 전반적인 제작 공정은 1차년도 그린티머월 패널과 동일하며 다만 아트월 부분을 만들기 위한 개구부의 헤더와 틀 설치 아트월 구성 목재의 설치 등의 공정이 추가되었다. 제작되는 그린티머아트월이 비내력벽이거나 내력벽이라도 공장에서 아트월 부분을 사전에 모두 채워서 제작하는 경우에는 아트월 개구부 상부에 헤더가 필요 없으며 이 때에는 스티드와 같은 치수의 목재를 수평으로 설치하여 헤더를 대신한다. 아트월 개구부의 틀을 그대로 마감용으로 사용하는 경우에는 아트월의 튀어나온 부분과 동일한 정도의 치수를 갖는 부재로 틀을 제작하며 그렇지 않고 나중에 별도로 아트월 장식용 틀을 추가로 부착하는 경우에는 스티드와 같은 치수의 부재로 아트월 개구부 틀을 구성한다.

그림 A2-28에서 석고보드는 2시간의 내화성능이 요구되는 부위에 그린티머월 또는 그린티머아트월 패널을 사용하는 경우에 필요한 공정으로서 내화성능이 필요 없거나 또는 1시간의 내화성능이 필요한 용도에서는 석고보드의 설치 없이 35mm 두께의 목재 벽널 설치만으로도 충분하다. 아트월 부분 구성 목재의 삽입은 공장에서 시행되는 경우도 있고 경우에 따라서는 현장에서 건축이 어느 정도 완료된 후에 시행하는 경우도 있다. 또한 단열재는 공장에서 설치하여 패널을 완성하는 경우도 있으나 이 경우에 현장에서 패널이 물에 젖으면 단열재의 단열성능이 저하되고 물의 무게 때문에 단열재가 아래로 처질 가능성이 있기 때문에 비나 물에 노출되지 않도록 주의 하여야 한다. 공장에서 단열재를 설치하지 않는 경우에는 패널의 실내쪽 면은 마감하지 않고 비워둔 상태로 패널을 제작하고 현장에서 골조를 완성하고 지붕 마감, 외장 마감 및 문과 창호 등의 설치를 마친 후 단열재를 넣고 실내 마감재를 설치하여야 한다.

표 A2-3 그린티म्버아트월 패널 제작을 위한 못박기 일람표(nailing schedule)

접합부	못박기방법	보통못	박스못	못 간격
벽 골조				
이중갈도리에서 윗갈도리	표면못박기	2-12d <sup>1)</sup>	2-16d <sup>1)</sup>	300mm
윗갈도리 이음부	표면못박기	4-12d	5-16d	접합부한쪽
스터드에서 스테드 (조립기둥 제작 시)	표면못박기	2-12d	2-16d	400mm
헤더에서 헤더 (조립보 제작 시)	표면못박기	1-12d	1-16d	측면을 따라서 300mm
스터드에서 헤더	끝면못박기	4-12d	4-16d	적당한 간격
스터드에서 하인방	끝면못박기	2-12d	2-16d	
아트월 창틀과 창틀 사이	끝면못박기	2-12d	2-16d	
윗갈도리 또는 밑갈도리에서 스테드	끝면못박기	2-12d	2-16d	스터드마다
밑갈도리에서 바닥장선 또는 보막이	표면못박기	2-12d <sup>1)2)</sup>	2-16d <sup>1)2)</sup>	300mm
벽 덮개				
실내용 목재 벽널판	표면못박기	1-16d 마감못	1-16d 마감못	각 스테드 마 다
실외용 방부처리 목재 벽널판	표면못박기	1-16d 방청마감 못	1-16d 방청마감 못	각 스테드 마 다
구조용 목질판재(합판, OSB)		8d	10d	측면 150mm 내부 300mm
석고보드		50mm 나사못	50mm 나사못	측면 150mm 내부 300mm
단열재				
유리섬유		10mm 꺾쇠핀		150mm
버팀대	표면못박기	1-12d	1-12d	스터드 마다
미네랄울		25mm 고정핀		스터드 마다
아트월 구성 부재 사이		접착제와 타카핀		부재 마다

**비고<sup>1)</sup>** 벽의 요건은 벽덮개가 측면을 따라서 150mm 간격으로 못박기되는 경우에 대한 값이다. 만약에 더 높은 면전단성능을 얻기 위하여 벽덮개가 측면을 따라서 75mm 간격으로 못박기 된다면 표의 못박기 기준값들은 2배가 되어야 한다.

**비고<sup>2)</sup>** 만약에 하나의 벽덮개용 판재가 벽과 바닥 사이에 걸쳐서 사용되는 경우에는 1개의 16d 못이 300mm 간격으로 사용될 수 있다.

사용 자재	부재배치	집합방법
칼도리	윗칼도리 및 밑칼도리를 2,440mm 간격으로 수평 배치	
스터드	스터드를 305mm, 406mm 또는 610mm 간격으로 수직 배치	스터드와 칼도리 사이는 2개의 12d 못으로 고정(끝면 못박기)
헤더	2x8 또는 2x10을 이중으로 집합하여 헤더를 만들고 헤더 양옆의 스투드에 접합	4개의 12d 못으로 끝면못박기
하인방	스터드와 같은 부재를 아트월 아래에 수평으로 배치	2개의 12d 못으로 끝면못박기
중단열	유리섬유(38mmx89mm 스투드에는 R-13, 38mmx140mm 스투드에는 R-19)	방습지 날개에 꺾쇠핀을 150mm 간격으로 고정
내벽마 감재료	석고보드 (석고보드는 수직 또는 수평으로 설치하고 석고보드 사이의 접합부 뒷면에는 스투드 사이에 받침대 설치)	50mm 나사못을 측면에는 150mm, 내부에는 300mm 간격으로 고정
	실내용 목재 벽널판	16d 마감못으로 스투드 마다 1개씩 표면못박기
버팀대	25mmx38mm 부재를 500mm 간격으로 수평 고정하여 내단열층 버팀대로 사용	12d 보통못을 스투드마다 1개씩 사용
	25mmx38mm 방부처리 부재를 500mm 간격으로 수평 고정하여 외단열층 버팀대로 사용	12d 방청 보통못을 스투드마다 1개씩 사용
내단열 및 외단열	두께 25mm, 나비 500mm의 미네랄울	25mm 길이의 고정핀을 스투드마다 1개씩 설치하여 고정
외벽마 감재료	방화석고보드 또는 방화방수석고보드 (1,220mmx2,440mm 석고보드는 수직 설치) (이 보다 작은 석고보드는 수평 설치하고 석고보드 사이의 접합부 뒷면에는 스투드 사이에 받침대 설치)	50mm 나사못을 측면에는 150mm, 내부에는 300mm 간격으로 고정
	두께 11.1mm의 구조용 OSB	8d 보통못을 측면에는 150mm, 내부에는 300mm 간격으로 고정
	실외용 방부처리 목재 벽널판	16d 방청 마감못으로 스투드 마다 1개씩 표면못박기
	기타 외벽마감재료	제조업체에서 제공하는 집합방법에 따름
아트월	아트월 구성 목재	접착제 및 타카핀으로 고정

그림 A2-28. 그림팀버아트월 패널의 제작공정

(3) 그린팀버아트월 패널 시험편의 생산

앞의 그림 A2-20에서 A2-27까지와 같이 개발된 그린팀버아트월 패널에 대하여 변형 측정과 수평하중 및 수직하중 저항시험을 위하여 그림 A2-28의 제작 공정에 따라서 표 A2-4와 같이 시험편을 제작하였다.

표 A2-4 이 연구에서 사용된 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널 시험편

구분	모델번호	수종	GV	GH	A W	F	4	FG	4S	F	A W	GH	GV	비고
그린 팀버월	H-GH-4-GH	헴퍼	X	O	X	X	O	O	X	X	X	O	X	내화, 내력 1시간
	S-GH-4S-GH	SPF	X	O	X	X	X	O	O	X	X	O	X	내화, 내력 1시간
	L-GH-4-GH	낙엽 송	X	O	X	X	O	O	X	X	X	O	X	내화, 내력 1시간
	S-GH-4-GH	SPF	X	O	X	X	O	O	X	X	X	O	X	내화, 비내력 1시간
	H-GH-G-4-G-GH	헴퍼	X	O	X	O	O	O	X	O	X	O	X	내화, 비내력 2시간
	S-GV-G-4-G-GV	SPF	O	X	X	O	O	O	X	O	X	X	O	내화, 비내력 2시간
	H-GH-4-GH	헴퍼	X	O	X	X	O	O	X	X	X	O	X	단열/차음, 방습지
	H-GH-4-GH	헴퍼	X	O	X	X	O	O	X	X	X	O	X	단열/차음, 비닐
L-GH-4-GV	낙엽 송	X	O	X	X	O	O	X	X	X	X	O	강도(수평 및 수직) 벽체 변형	
그린 팀버 아트월	H-AW-GH	헴퍼	X	X	O	X	X	O	X	X	X	O	X	단열/차음
	H-AW-AW	헴퍼	X	X	O	X	X	O	X	X	O	X	X	단열/차음
	H-GH-2AW1-4-GH	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	X	O	X	강도(수평 및 수직)
	H-GH-2AW1-4-GV	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	X	X	O	벽체 변형
	H-GH-3AW1-4-GV	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	X	X	O	강도(수평 및 수직)
	L-GH-4AW01-4-GH	낙엽 송	X	O	O	X	O	X	X	X	X	O	X	강도(수평 및 수직)
	H-GH-4AW01-4-GV	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	X	X	O	강도(수평 및 수직) 벽체 변형
	H-GH-4AW1-4-GV	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	X	X	O	강도(수평 및 수직)
	H-GH-4AW1-4-GH	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	X	O	X	강도(수평 및 수직)
	H-GH-4AW12-4-GV	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	O	X	O	강도(수평 및 수직) 벽체 변형
	L-GH-4AW12-4-GV	낙엽 송	X	O	O	X	O	X	X	X	O	X	O	강도(수평 및 수직)
	H-GH-4AW02-4-GV	헴퍼	X	O	O	X	O	X	X	X	O	X	O	강도(수평 및 수직)
	L-GH-4AW02-4-GV	낙엽 송	X	O	O	X	O	X	X	X	O	X	O	벽체 변형
L-GH-4AW02-4-GH	낙엽 송	X	O	O	X	O	X	X	X	O	O	X	벽체 변형	

※ 비고: 표 A2-4에서 각각의 기호는 아래와 같은 뜻을 갖는다.

H: 헴퍼, S: SPF, L: 낙엽송

G: 두께 35mm의 T&G 목재벽널판, H: 수평 설치, V: 수직 설치

AW: 아트월

앞의 숫자는 아트월의 면적비: 2-20%, 3-30%, 4-40%

뒤의 숫자 중에서 첫 번째 숫자는 아트월 부분이 빈 경우(0)와 채운 경우(1)

뒤의 숫자 중에서 두 번째 숫자는 아트월이 한 면에만 있는 경우(1)와 양면을 관통한 경우(2)

표 A2-4에서 그린티이버월 패널 시험편들중 위의 6가지는 내화시험을 위하여 사용되었으며 시험편의 치수는 3mx3m로 하였다. 내화시험편들 중에서 4가지는 1시간 내화시험용 그리고 2가지는 2시간 내화시험용으로 사용하였고 1시간 내화시험 중에서 3가지는 재하 내화시험 그리고 1시간 내화시험 중 1가지와 2시간 내화시험은 모두 비재하 내화시험으로 진행하였다. 단열 및 차음 성능 시험을 위한 시험편 치수는 0.9m x0.9m로 하였으며 아트월 시험편은 아트월 부분만 시험편으로 제작하였다. 단열시험 중에서 방습지로 표시한 것은 벽의 앞면(실내면)과 뒷면(실외면)에 모두 방습지(House wrap, Tyvek)를 부착한 것이며 비닐로 표시한 것은 실내면에는 두꺼운 비닐을 치고 실외면에는 방습지를 부착한 것이다. 실내면에도 방습지나 비닐을 부착한 시험편은 실내 환경으로부터 벽의 구조체 내부로 침투하는 수분의 차단 가능성을 평가하기 위한 것이다.

#### 사. 그린티이버아트월 패널의 변형 측정

그린티이버아트월 패널을 제작한 후 시간이 지남에 따라서 변형 여부를 측정하기 위하여 그린티이버아트월 패널을 수직으로 세우고 세 모서리를 고정된 후 나머지 한 모서리는 자유롭게 변형이 발생할 수 있도록 한 후 시간과 계절의 변화에 따른 변형량을 측정하였다. 먼저 찌그러짐의 측정을 위하여 네 변의 길이와 양 대각선의 길이를 측정하고 시간에 따른 측정치의 변화를 관찰하였다.

다음과 같은 6종류의 그린티이버아트월 패널이 변형 측정에 사용되었다.

- ① L-GH-4AW02-4-GV 패널
- ② L-GH-4AW02-4-GH 패널
- ③ H-GH-4AW01-4-GV 패널
- ④ H-GH-4AW12-4-GV 패널
- ⑤ H-GH-2AW11-4-GV 패널
- ⑥ L-GH-4-GV 패널

시험편을 고정하기 위하여 그림 A2-29와 같은 틀을 제작하고 틀이 움직이지 않도록 하기 위하여 틀의 한면은 콘크리트 벽면에 고정시키고, 반대쪽 측면에 가새를 설치하여 바닥에 고정시키고 밀면은 콘크리트 바닥에 고정하였다. 변형 측정용 시험편은 그림 A2-30과 같이 실제 목조주택이 지어지는 과정과 동일하게 못으로 상부의 두 모서리와 하부 좌측 모서리를 고정시켰다. 벽체의 변형 측정은 목조 벽체들이 실내에서 사용된다는 점을 고려하여 외기의 영향을 받지 않는 실내에서 그림 A2-31과 같이 시험편 설치틀을 준비하여 시험을 실시하였다.

1차년도 벽체 변형 측정은 콘크리트 벽체에 고정철물과 고정볼트를 사용하여 벽체를 고정시키는 방법을 적용하였지만 실제 그린티버월 및 그린티버아트월의 현장 설치가 1층 바닥을 제외한 벽면, 천정면, 2층 바닥면 등 모든 부분이 못접합으로 이루어진다. 따라서 2차년도 시험에서는 벽체의 변형을 보다 현장과 근접한 상황에서 측정하기 위하여 시험편 고정틀 제작 후 상부 및 좌측 등 세 군데의 지점을 못으로 고정하였다.



그림 A2-29. 변형 측정 시험에 사용된 시험편 고정틀



그림 A2-30. 시험편의 세 모서리를 못접합으로 고정



그림 A2-31. 시험편 고정틀에 변형 측정용 벽체 시험편 설치 모습

그린티이버아트월 패널의 변형 측정을 위하여 자유단의 하부 모서리에 그림 A2-32와 같이 다이알게이지를 설치하여 설치 후 최초 20일 동안은 매일 정해진 시간에 1회씩 변형량을 측정하였다. 그림 A2-32에서 수평방향의 다이알게이지 측정값은 뒤틀림(벽면에 수직인 움직임)을 나타내고 수직방향의 다이알게이지 측정값은 수직변위(벽면 내에서의 움직임)를 나타낸다.



그림 A2-32. 그린티이버아트월 패널의 변형 측정을 위한 다이알게이지 설치

각각의 그린티이버아트월 패널의 모델별 변형 측정을 위한 시험편 설치 사진은 그림 A2-33 및 A2-34와 같다.

① L-GH-4AW02-4-GV 패널



② L-GH-4AW02-4-GH 패널



③ H-GH-4AW01-4-GV 패널



그림 A2-33. 그린팁버아트월 패널 시험편의 변형 측정



그림 A2-34. 그린팁버아트월 및 낙엽송 그린팁버월 패널 시험편의 변형 측정

각각의 그린팁버아트월 패널 시험편들의 수직 변위 및 뒤틀림 측정 결과는 그림 A2-35 ~ A2-40과 같다.

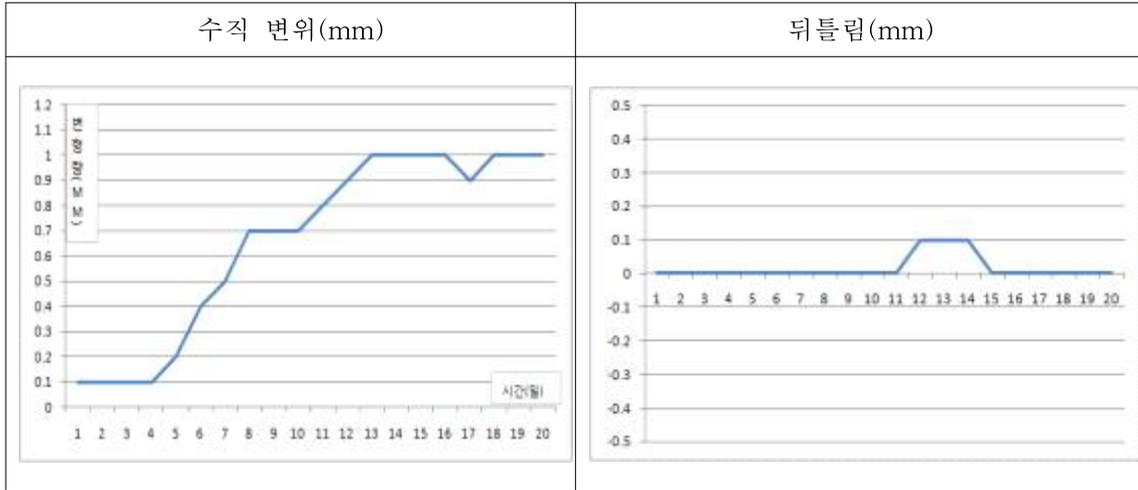


그림 A2-35. 그린팁버아트월 패널 L-GH-4AW02-4-GV의 수직 변위 및 뒤틀림

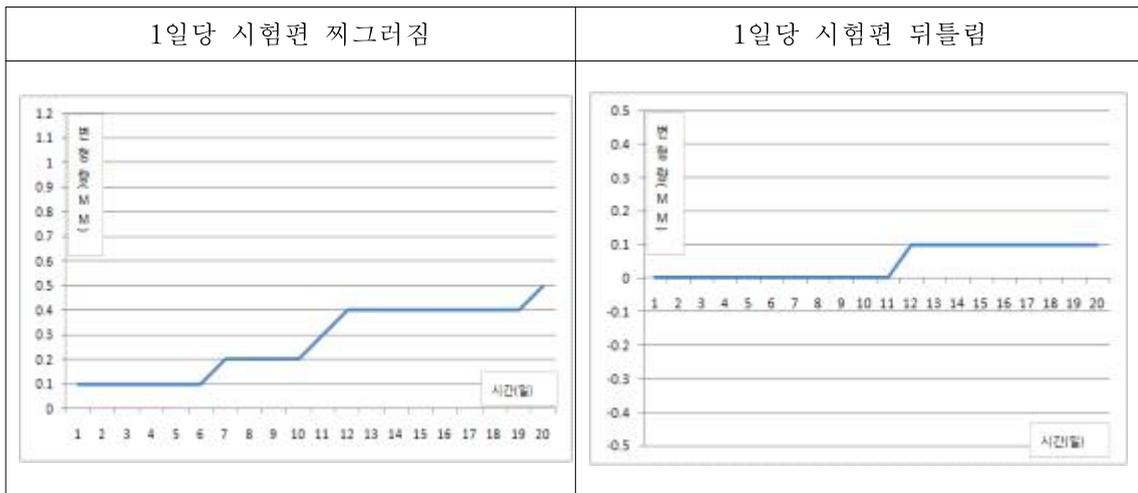


그림 A2-36. 그린팁버아트월 패널 L-GH-4AW02-4-GH의 수직 변위 및 뒤틀림

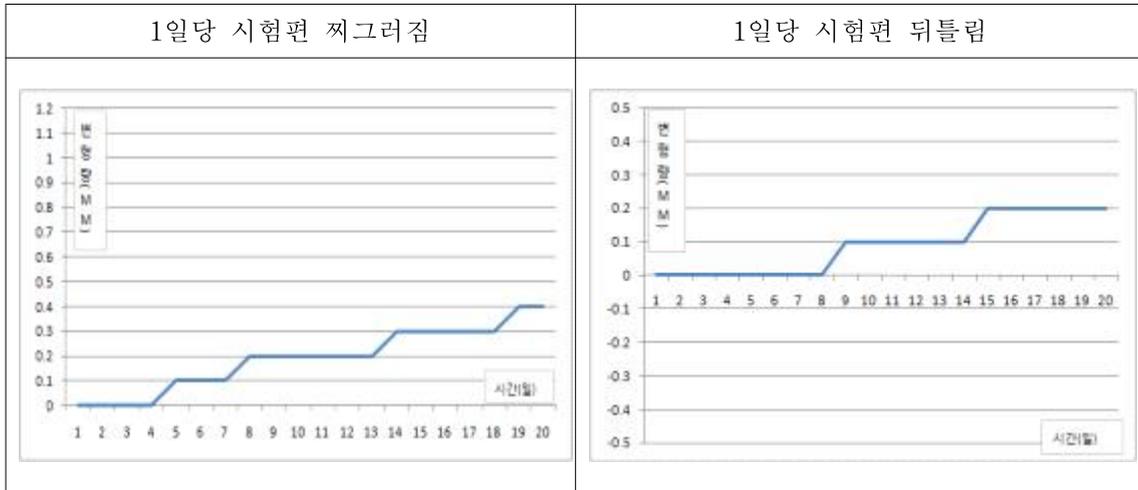


그림 A2-37. 그린티이버아트월 패널 H-GH-4AW01-4-GV의 수직 변위 및 뒤틀림

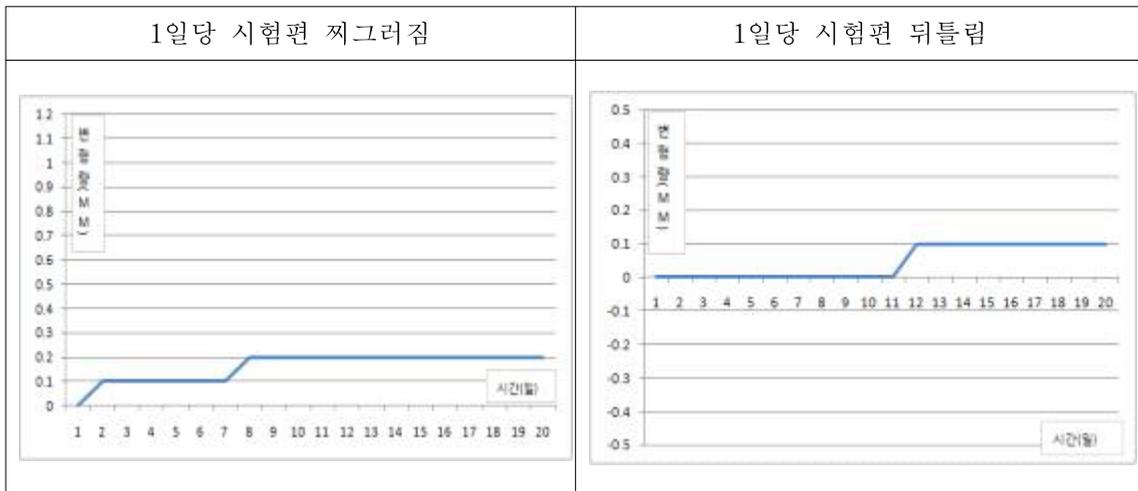


그림 A2-38. 그린티이버아트월 패널 H-GH-4AW12-4-GV의 수직 변위 및 뒤틀림

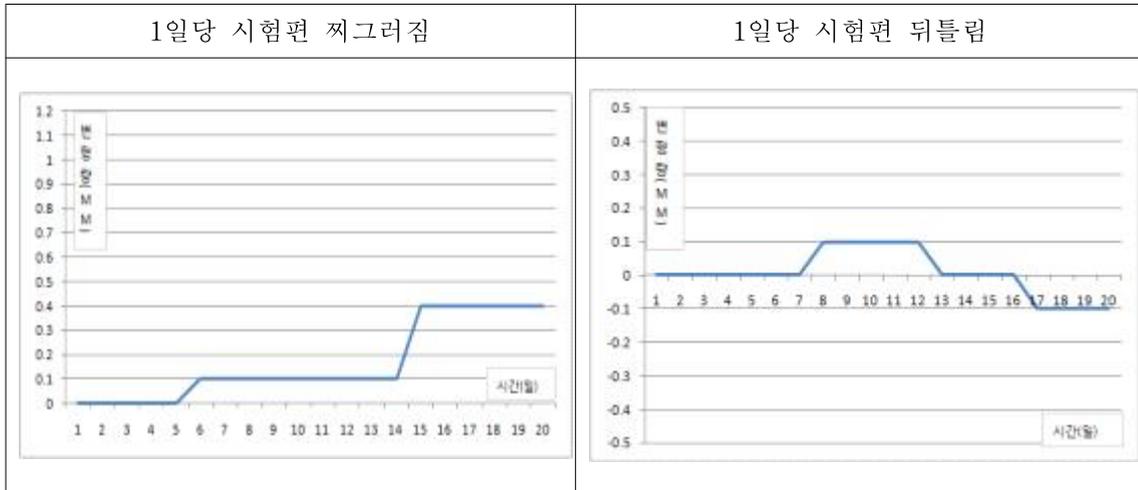


그림 A2-39. 그린팀버아트월 패널 H-GH-2AW11-4-GV의 수직 변위 및 뒤틀림

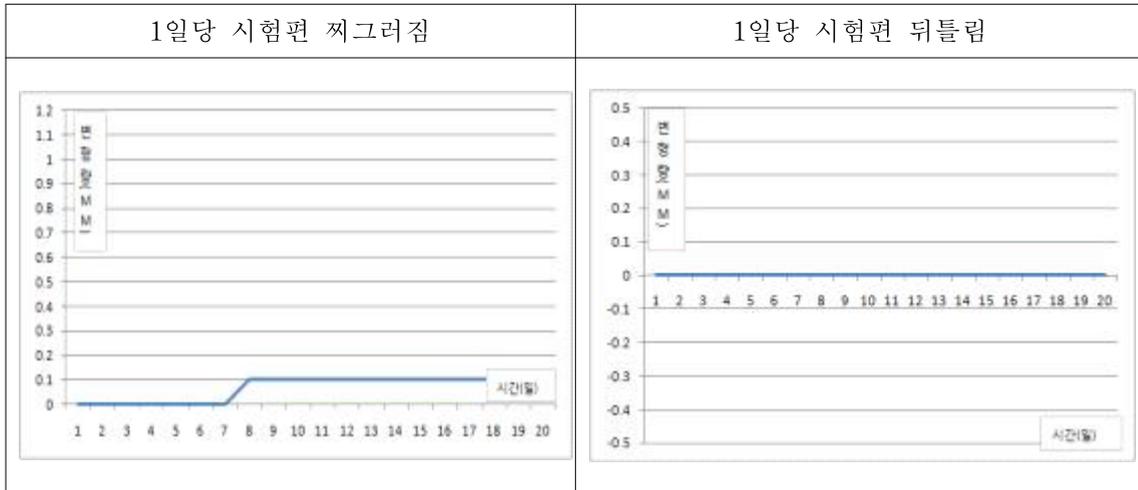


그림 A2-40. 그린팀버아트월 패널 L-GH-4-GV의 수직 변위 및 뒤틀림

그림 A2-35~A2-40의 벽체 변형 측정 결과를 표로 표시하면 표 A2-5 및 A2-6과 같다.

표 A2-5 그린티머아트월 패널 시험편들의 수직변위 측정 결과

구 분	경과 일수(일)에 따른 찌그러짐(mm)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
L-GH-4AW02-4-GV	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	1	1	1	1	0.9	1	1	1
L-GH-4AW02-4-GH	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
H-GH-4AW01-4-GV	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
H-GH-4AW12-4-GV	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
H-GH-2AW11-4-GV	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
L-GH-4-GV	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

표 A2-6 그린티머아트월 패널들의 뒤틀림 측정 결과

구 분	경과 일수(일)에 따른 뒤틀림(mm)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
L-GH-4AW02-4-GV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
L-GH-4AW02-4-GH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
H-GH-4AW01-4-GV	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
H-GH-4AW12-4-GV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
H-GH-2AW11-4-GV	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
L-GH-4-GV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

표 A2-5에서 보면 그린티머아트월 패널의 수직 변위는 1mm 이하로서 벽체의 전체 치수 2,400mm에 비하면 무시할 수 있는 작은 양임을 알 수 있다. 그린티머아트월 패널의 뒤틀림도 표 A2-6를 보면 -0.1~0.2mm의 작은 양으로서 그린티머아트월 패널들은 수직 변위와 뒤틀림 등의 벽체 변형이 매우 작게 발생함을 알 수 있다.

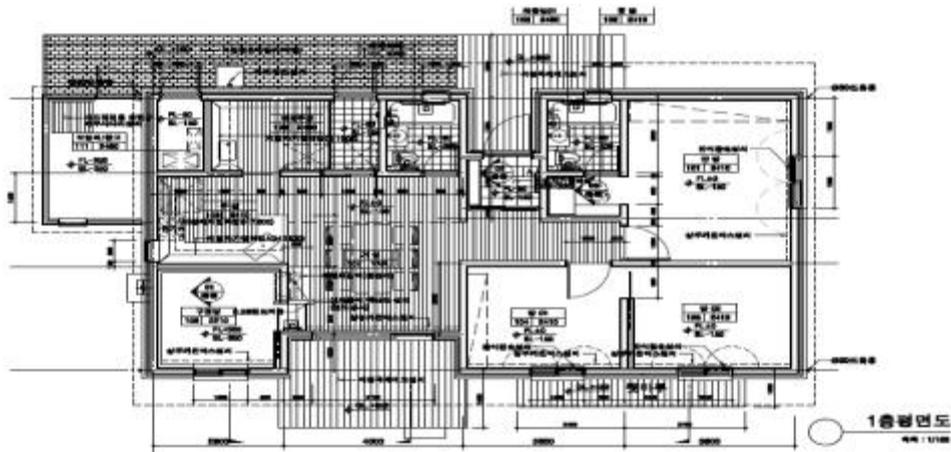
#### 아. 그린티머아트월 패널 생산의 경제성 분석

그린티머아트월 제작 및 설치의 경제성 분석을 위하여 30평형대의 건축 설계도면을 작성하고 RC(reinforced concrete)조 및 경량목조 건축공법에 따른 공사비와 이

들 구조에서 일부 벽체에 그린티버아트월 패널을 적용한 경우에 건축공법에 따른 총공사비를 책정하여 이들을 비교하였다. 그린티버아트월의 공사비는 공장에서 제작하는 패널의 재료비, 노무비, 경비 등의 합계 금액에 현장 설치비용을 포함하여 산정하였다.

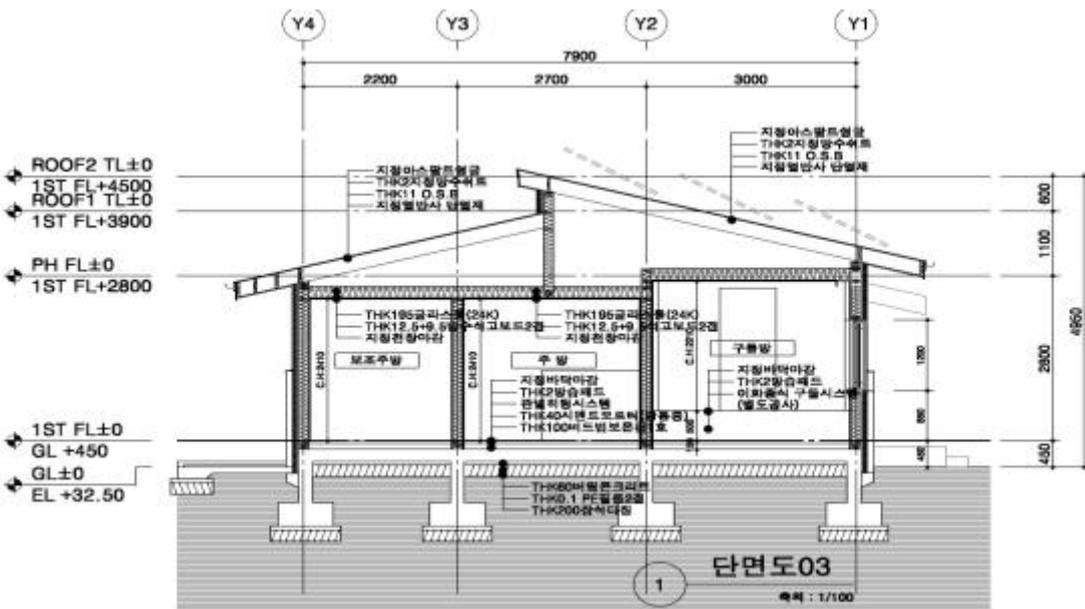
공법에 따른 경제성의 비교 분석을 위하여 그림 A2-41과 같은 경골목구조 설계도면을 작성하였으며 동일한 구조를 철근콘크리트 구조로 재작성한 설계도면은 그림 A2-42와 같다. 그림 A2-41 및 A2-42의 설계도면에서 그린티버아트월 패널을 넣는 부분은 그림 A2-43과 같다. 그린티버아트월은 주택의 중심이 되는 벽체 중의 1~2곳을 선정하여 실내장식의 포인트를 주기 위한 목적으로 사용되는 것이므로 그림 A2-41 및 A2-42에서 각각 거실을 중심으로 하는 2곳의 벽체를 그린티버아트월로 지정하였다.

그림 A2-43에서 아트월로 표시된 2곳의 벽체에 대하여 철근콘크리트구조, 일반 경골목구조 및 그린티버아트월 패널로 시공하는 경우에 소요되는 노무비, 재료비 및 경비를 비교하였다. 그림 A2-43에서 아트월로 표시된 두 군데의 벽체들에 대하여 철근콘크리트구조는 철근콘크리트 골조에 내단열(버팀대+스티로폼)을 설치하고 내단열층의 실내면에 12.5mm 두께의 일반 석고보드 1층을 설치하고 벽지로 마감하는 경우에 대한 비용을 산출하였다. 동일한 두 군데의 벽체들에 대하여 경골목구조는 610mm 간격으로 배치된 2x6 스티드 사이에 R19 유리섬유 단열재를 설치하고 그 내부에 두께 12.5mm의 일반 석고보드를 설치한 후 벽지로 마감하는 경우에 대한 비용을 산출하였다. 그린티버아트월 패널 공법은 동일한 두 군데의 벽체들에 대하여 610mm 간격으로 배치된 2x6 스티드 사이에 R19 유리섬유 단열재를 설치하고 외벽에는 단면의 아트월을 설치하며 내벽에는 양면의 아트월을 설치하는 것으로 가정하고 경비를 산출하였다.



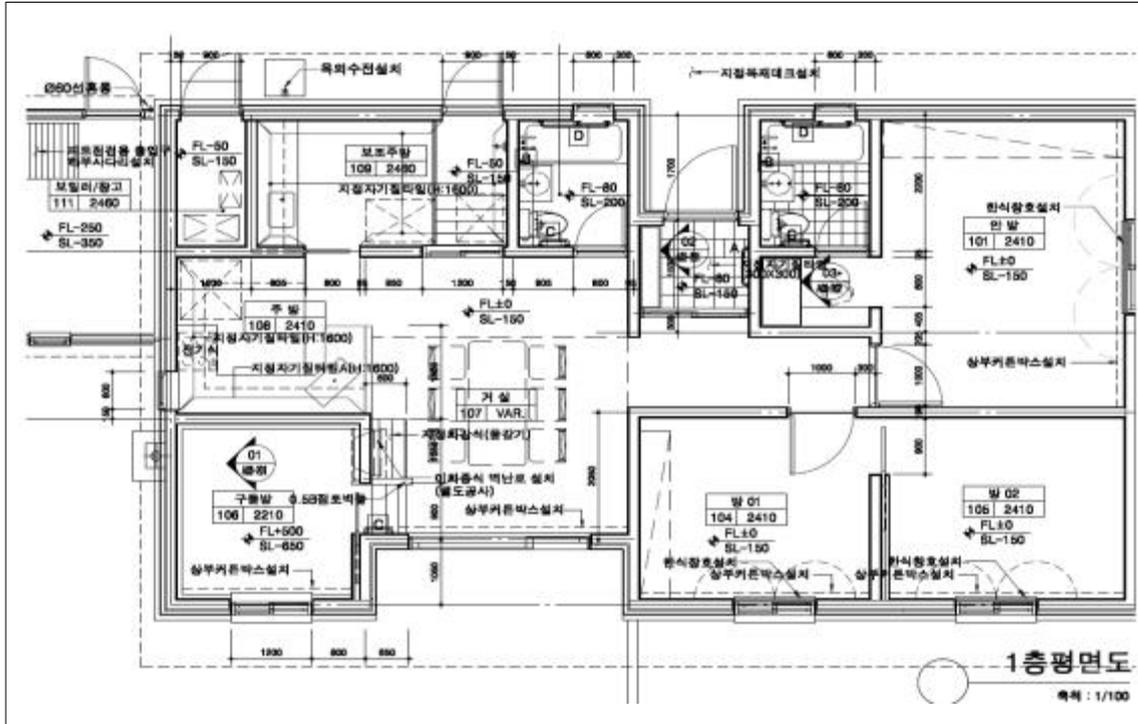
층별	방번호	실명	비	면적																
1층	101	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	102	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	103	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	104	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	105	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	106	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	107	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	108	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	109	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
1층	110	사무실	THK 4	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0

구조 평면도

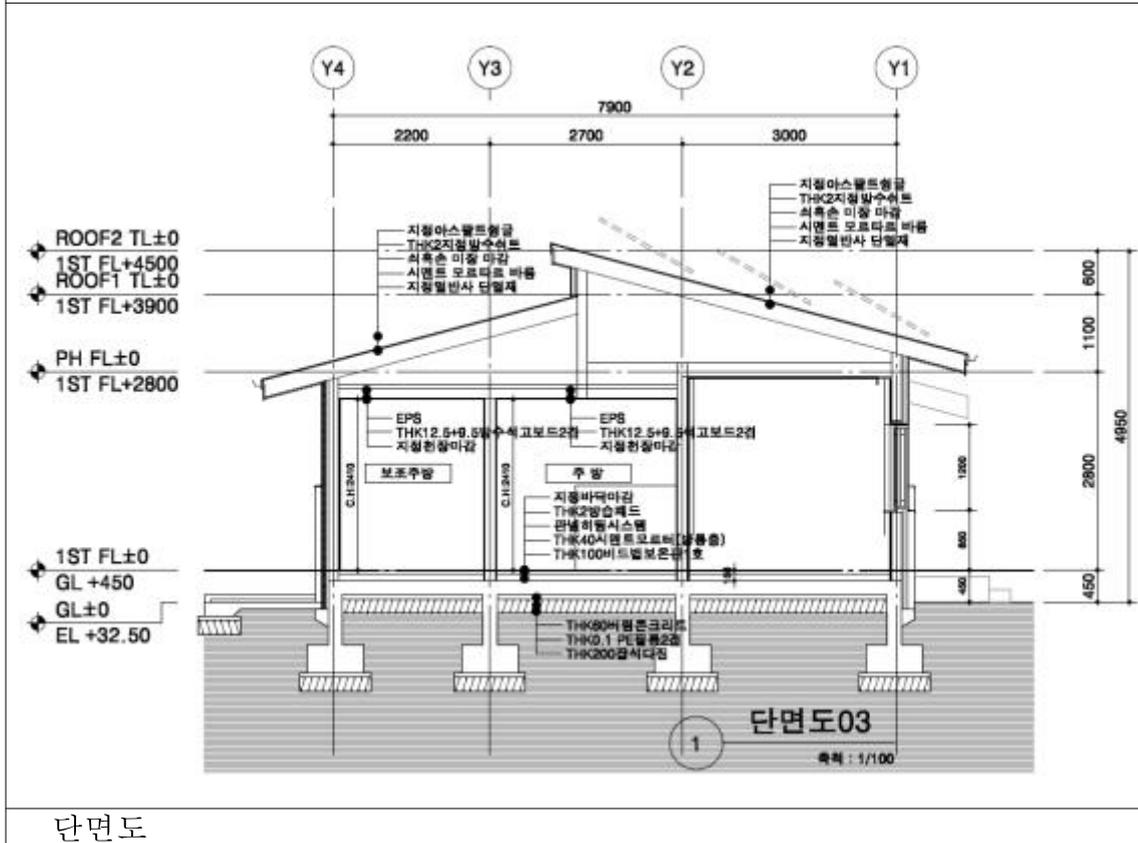


단면도

그림 A2-41. 30평형대 경골목구조 설계도면

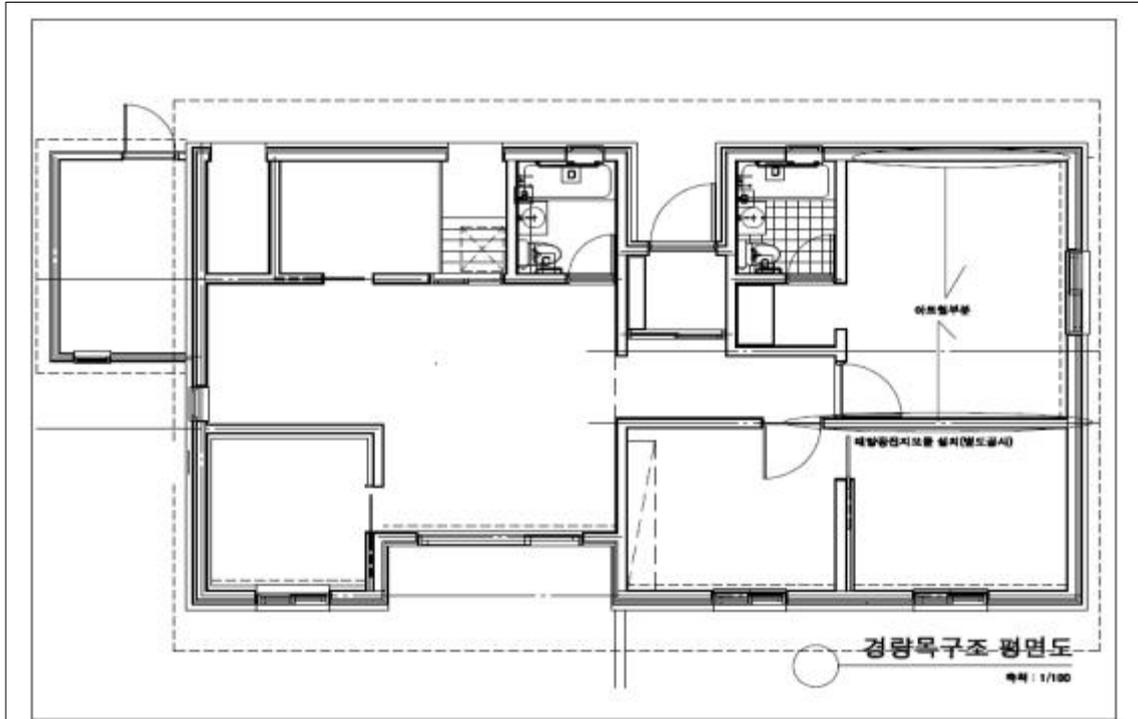


구조 평면도

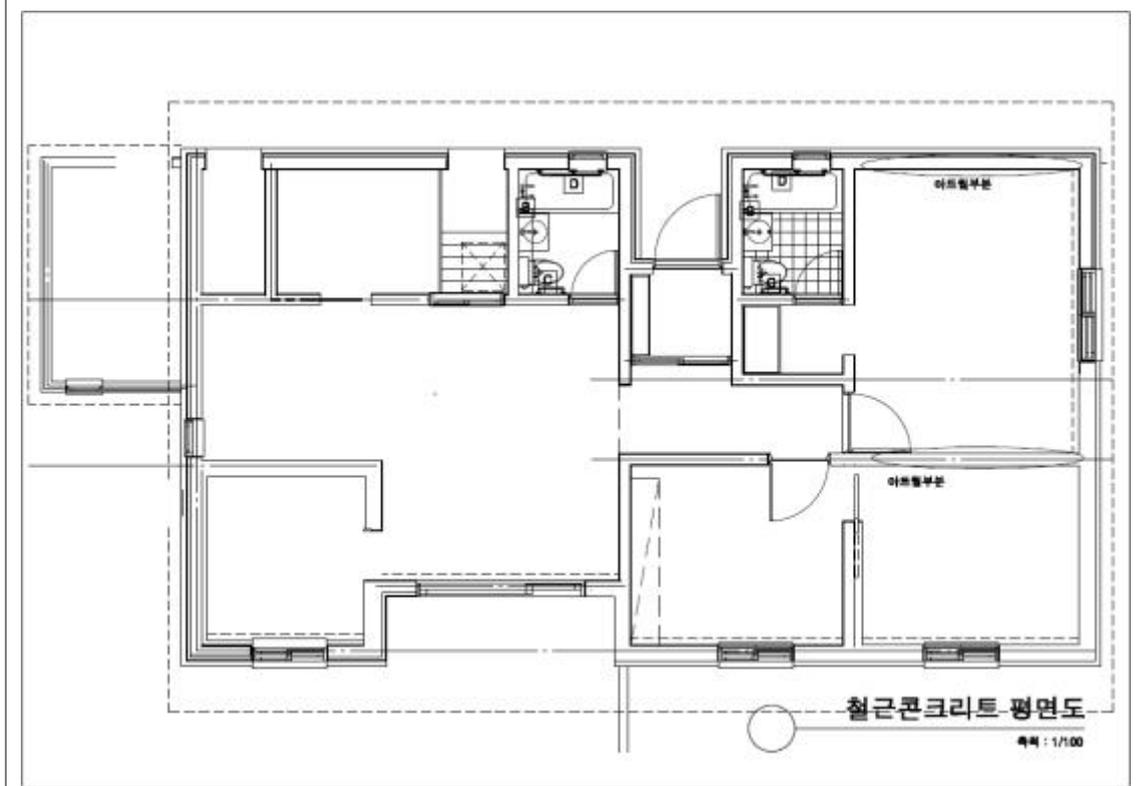


단면도

그림 A2-42. 30평형대 철근콘크리트 설계도면



경량목구조



철근콘크리트

그림 A2-43. 각 구조의 설계도면에서 그린티이버아트월 추가 위치

그림 A2-43에서 아트월로 표시된 두 군데의 벽체에 대하여 철근콘크리트구조, 일반 경골목구조 및 그린팀버아트월 패널로 시공하는 경우에 대하여 산출된 노무비, 재료비 및 경비는 각각 그림 A2-44, A2-45 및 A2-46과 같다.

【참고사항】 2019년 10월 15일 기준 시공비 내역서

구분	종류	단위	수량	재료비		노무비		경비		합계		비고
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
1.1.1.1.1.1	철근콘크리트벽	m <sup>2</sup>	17.3	2,410	41,693	2,242	38,764	0	0	4,282	45,957	
1.1.1.1.1.2	일반 경골목구조	m <sup>2</sup>	16.0	390	6,240	688	11,008	0	0	1,618	12,626	
1.1.1.1.1.3	그린팀버아트월	m <sup>2</sup>	7.3	8,084	59,003	2,673	19,531	0	0	8,187	67,184	
1.1.1.1.1.4	CONCRETE	m <sup>3</sup>	16.3	18,831	306,945	8,624	141,678	0	0	22,264	350,887	
1.1.1.1.1.5	타공	개	187.0	19,280	3,605,360	2,242	419,174	0	0	19,282	3,824,534	
1.1.1.1.1.6	철근콘크리트벽(타공)	m <sup>2</sup>	6.0	60,100	360,600	22,021	132,126	0	0	12,181	482,726	
1.1.1.1.1.7	일반 경골목구조(타공)	m <sup>2</sup>	6.2	31,842	197,420	32,082	198,860	0	0	113,808	311,268	
1.1.1.1.1.8	그린팀버아트월(타공)	m <sup>2</sup>	1.1	7,400	8,140	1,474	1,622	0	0	8,074	9,762	
1.1.1.1.1.9	철근콘크리트벽(타공)	m <sup>2</sup>	2.4	6,910	16,584	4,408	10,579	0	0	9,418	26,063	
1.1.1.1.1.10	타공	개	6.0	6,010	36,060	2,434	14,604	0	0	8,444	44,664	
1.1.1.1.1.11	타공	개	6.0	21,320	127,920	0	0	0	0	28,708	156,628	
1.1.1.1.1.12	타공	개	1.0	360	360	0	0	0	0	360	720	
1.1.1.1.1.13	타공	개	2.7	12,000	32,400	0	0	0	0	12,000	44,400	
1.1.1.1.1.14	PLASTIC GUN NAILS	개	4.3	31,000	133,300	0	0	0	0	31,000	164,300	
1.1.1.1.1.15	PLASTIC GUN NAILS	개	6.3	26,000	163,800	0	0	0	0	26,000	190,000	
1.1.1.1.1.16	타공	개	2.0	40,000	80,000	0	0	0	0	40,000	120,000	
1.1.1.1.1.17	타공	개	17.8	37,800	670,860	0	0	0	0	67,800	738,660	
1.1.1.1.1.18	타공	개	17.8	32,180	572,804	0	0	0	0	32,180	604,984	
1.1.1.1.1.19	WOOD SCREW	개	8.0	88,000	704,000	0	0	0	0	88,000	704,000	
1.1.1.1.1.20	타공	개	1.0	18,400	18,400	0	0	0	0	18,400	18,400	
합계					4,889,844		1,772,550				6,662,394	

계산단위: 원(소수점 둘째자리까지 반올림)

그림 A2-44. 철근콘크리트구조의 공정별 경비 내역서

[출처] 포클랜드주택구조기술사사무소, 그린티버 아트리움 설계서 내역서

종 목	단 위	단위	수량	단 가		단 가		단 가		단 가		비고
				원가	공액	원가	공액	원가	공액	원가	공액	
외장벽 콘크리트												
기초 콘크리트 (12'x10')@200	EA	37.7	2,410	90,778	2,282	84,826	0	0	4,882	176,801		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M	44.0	980	41,800	988	56,104	0	0	1,618	78,904		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M	98.0	3,084	272,272	2,879	162,438	0	0	6,187	644,898		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	196.2	19,421	1,162,841	9,624	811,444	0	0	23,049	1,984,288		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M	12.8	8,260	104,168	2,842	29,208	0	0	10,291	133,467		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	2.6	49,180	126,098	23,031	60,387	0	0	92,181	216,486		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	EA	4.0	81,842	326,168	82,982	109,240	0	0	113,604	464,418		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M	20.3	7,400	148,918	1,874	80,201	0	0	6,674	140,817		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	19.2	6,210	118,832	6,426	288,620	0	0	9,618	792,238		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	93.0	6,210	466,101	3,436	812,096	0	0	8,444	787,148		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	EA	2.0	21,800	42,840	12,918	24,772	0	0	39,738	87,412		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	1.0	380	380	0	0	0	0	380	380		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	5.7	12,000	6,800	0	0	0	0	12,000	6,800		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	4.0	91,000	124,000	0	0	0	0	91,000	124,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	3.0	28,000	76,000	0	0	0	0	28,000	76,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	2.0	40,000	81,000	0	0	0	0	40,000	81,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	1.8	37,000	66,600	0	0	0	0	37,000	66,600		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	1.0	48,000	48,000	0	0	0	0	48,000	48,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	3.0	83,000	198,000	0	0	0	0	83,000	198,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	1.0	19,600	19,600	0	0	0	0	19,600	19,600		
[합 계]				6,107,798	2,087,862	0	0	0	6,107,798	2,087,862		

세한사항: 비고의 목자(목)를 포함하여(목)를 포함하여(목)

그림 A2-45. 경골목구조의 공정별 경비 내역서

[출처] 그린티버아트리움 설계서 내역서

종 목	단 위	단위	수량	단 가		단 가		단 가		단 가		비고
				원가	공액	원가	공액	원가	공액	원가	공액	
외장벽 콘크리트												
기초 콘크리트 (12'x10')@200	EA	37.7	2,410	90,778	2,282	84,826	0	0	4,882	176,801		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M	44.0	980	41,800	988	56,104	0	0	1,618	78,904		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M	108.0	3,084	318,618	2,879	212,087	0	0	6,187	628,998		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	114.0	19,421	2,112,834	9,624	1,089,798	0	0	23,049	2,199,278		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M	12.8	12,840	164,918	2,842	29,208	0	0	14,291	184,918		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	20.3	7,400	148,918	1,874	92,201	0	0	6,674	140,817		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	17.8	17,888	256,888	33,820	369,842	0	0	91,188	288,288		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	M2	17.4	21,810	278,314	33,820	384,842	0	0	88,210	388,844		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	EA	2.0	21,800	42,840	12,918	24,772	0	0	39,738	87,412		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	5.7	12,000	6,800	0	0	0	0	12,000	6,800		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	4.0	91,000	124,000	0	0	0	0	91,000	124,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	3.0	28,000	76,000	0	0	0	0	28,000	76,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	2.0	40,000	81,000	0	0	0	0	40,000	81,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	1.8	37,000	66,600	0	0	0	0	37,000	66,600		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	1.0	48,000	48,000	0	0	0	0	48,000	48,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	3.0	83,000	198,000	0	0	0	0	83,000	198,000		
외장벽 콘크리트 (12'x10')@200	SDX	1.0	19,600	19,600	0	0	0	0	19,600	19,600		
[합 계]				6,192,291	2,079,794	0	0	0	6,192,291	2,079,794		

세한사항: 비고의 목자(목)를 포함하여(목)를 포함하여(목)

그림 A2-46. 그린티버아트리움 패널 구조의 공정별 경비 내역서

그림 A2-44, A2-45 및 A2-46에 수록된 각각의 구조에 대한 공정별 경비 내역서는 30평형대 주택의 거실을 중심으로 한 두 군데 벽체에 대한 시공경비를 분석한 것이다. 철근콘크리트구조의 경우에는 2010년 건설공사 표준 일위대가표에 의하여 철근콘크리트 주택 신축공사를 기준으로 하였으며, 경골목구조의 경우에는 2010년

에 대림이앤씨(주)에서 1평 당 380만원의 비용으로 직접 시공하고 있는 10세대 단지에 대한 경비 내역서를 기준으로 하였다. 그린팀버아트월 패널 공법의 경우에는 경골목구조와 동일하게 10세대의 단지를 시공한다는 가정 하에서 10세대에 해당하는 생산량을 기준으로 경비를 산출하였다.

그림 A2-44, A2-45 및 A2-46에 수록된 각각의 구조에 대한 공정별 경비 내역서를 요약하면 표 A2-7과 같다.

표 A2-7 각각의 구조에 대한 공정별 경비 내역서 요약

비목	구조 세목	RC	경골목구조	그린팀버아트월
		금액	금액	금액
구조체 공사비	재료비	5,399,654	3,807,799	4,192,208
	노무비	1,772,800	2,067,652	2,673,794
	경비	-	-	-
	합계	7,172,454	5,875,451	6,866,002

표 A2-7에서 보면 공사경비는 경골목구조가 가장 낮았으며 다음으로 그린팀버아트월 그리고 철근콘크리트구조가 가장 높은 것으로 나타났다. 가장 낮은 공사비를 나타낸 경골목구조를 기준으로 하였을 경우에 그린팀버아트월은 약 16.8% 정도의 비용이 더 소요될 것으로 예상되며 철근콘크리트구조는 약 22%의 비용이 더 들어가는 것으로 분석되었다. 그린팀버아트월 패널은 경골목구조에 비해서는 약 16.8%의 비용이 더 소요되지만 철근콘크리트구조에 비해서는 약 4.3%의 비용 절감이 가능할 것으로 예상되었다.

### 3. 3차년도 연구과제: 그린팀버아트월 패널의 접합방법 개발

#### 가. 개발 내용 및 범위

그린팀버아트월 패널을 실제 목조건축에 적용하기 위해서는 패널들만 가지고는 주택을 만들 수 없으며 패널들 사이의 접합이 필수적으로 이루어져야 한다. 따라서 이 연구의 3차 년도에는 1차 년도부터 2차 년도에 걸쳐서 개발되었던 그린팀버아트월 및 그린팀버아트월 패널들을 목조건축물의 시공에 사용할 수 있도록 하기 위하여 패널

들 사이의 접합방법을 개발하고자 하였다. 패널들 사이의 접합에는 동일 벽면에서 패널들을 길이방향으로 접합하여 길이를 길게 연장하는 벽-벽 수평접합이 있으며 수직으로 만나는 벽끼리의 벽-벽 수직접합이 있고 직각으로 만나는 바다과 벽 사이의 바닥-벽 수직접합의 세 가지 종류가 있다. 이 연구에서는 이들 세 가지 접합부의 접합방법을 개발하고 각각의 접합방법에 대한 상세도면을 개발하고자 한다.

#### 나. 시험재료

시험용 목재는 KS F 3020의 2등급 1종 구조재의 성능에 적합한 구조용 목재 중에서 현재 국내에서 가장 많이 유통되고 있는 38mmx89mm 및 38mmx140mm 2등급 SPF 구조용재를 사용하였다. 국산재 중에서 낙엽송을 제외하고 추가로 1수종을 그린티버월 패널 제작용 재료로 개발하기 위하여 국산재 중에서 잣나무를 사용하였으며 잣나무의 등급은 KS F 3020의 잣나무류 2등급의 품질기준에 적합한 것을 선정하였다. 접합철물로는 KS F 4537의 보통못 중에서 구조용재 사이의 접합에는 CMN90(길이 89mm, 지름 4.11mm) 이상의 못을 사용하고 두꺼운 목재 벽널과 골조 부재 사이의 접합에는 마감용 못인 FN85(길이 83mm, 지름 2.87mm) 이상의 못을 사용하였다. 중앙의 스티드 사이에는 시중에서 경골구조용으로 많이 사용되는 R-13(38mmx89mm 스티드) 및 R-19(38mmx140mm 스티드) 유리섬유단열재(하니스에서 제조)를 사용하였다. 두꺼운 목재 벽널은 일반 구조재용으로 생산되는 38mmx140mm 부재를 사용하여 양측면을 따라서 T&G(Tongue and Groove) 가공을 하였으며 최종 마감치수는 두께 35mm에 나비 125mm에 장부의 길이 및 홈의 깊이는 각각 10mm로 하였다.

패널과 패널의 접합을 위해서는 CMN90(길이 89mm, 지름 4.11mm) 보통못 및 길이 90mm(나사산이 없는 못대 길이 25mm) 및 125mm(나사산이 없는 못대 길이 35mm)의 래그나사못(lag screw)를 사용하였다.

#### 다. 연구내용 및 결과

##### (1) 2시간 내화성능의 그린티버월 패널 비내력벽 구조의 개발

2차년도에 실시하였던 그린티버월 패널에 대한 2시간 비내력벽 내화시험의 결과로부터 비내력벽으로서 2시간의 내화성능을 나타내기 위해서는 15mm 두께의 방화석고보드에 35mm 두께의 목재 벽널만 가지고는 약 5~10분 정도의 내화성능이 부족하며 약간의 내화성능을 향상시킬 수 있는 보강방안이 필요하다는 사실을 알게 되었다. 방화석고보드와의 병행 사용을 통하여 15mm 두께의 방화석고보드가 1시간의 내화성능을 나타내고 목재 벽널이 1시간의 내화성능을 나타냄으로써 2시간의 내화성능을 충분히 나타낼 수 있을 것으로 예상하였으나 2차년도의 내화시험 결과로부터 15mm 두께의 방화석고보드가 1시간의 내화성능을 나타내기에 좀 무리가 있는 것으로 판단되었다. 방화석고보드는 넓은 면에서는 충분한 내화성능을 나타

내지만 석고보드의 수축이 발생하면서 이음부가 벌어지고 이 벌어진 틈으로 화염이 침투하면서 내화성능을 약화시키는 요인이 된다는 사실을 관찰하였다.

이상과 같은 관찰 결과를 토대로 그린팁버월 패널 비내력벽의 내화성능을 향상시킬 수 있는 가능성이 있는 방법을 검토하였으며 그 결과 다음과 같은 방법들이 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

- ① 석고보드 이음부의 벌어짐이 내화성능을 약화시키는 요인이 되므로 석고보드 이음부의 벌어짐을 지연시키기 위하여 석고보드 측면에서 나사못의 간격을 좀 더 좁게 설치하는 방법과 이음부의 조인트처리를 좀 더 철저하게 하는 방법 등을 적용하면 약간의 도움은 될 것으로 생각되지만 이 방법을 적용하였을 경우에 시험결과의 성공 여부는 불확실할 것으로 판단된다.
- ② 벽체의 한 면에는 15mm 두께의 방화석고보드 1매를 설치하고 다른 한 면에는 12.5mm 두께의 방화석고보드 2매를 설치하는 방법이 고려될 수 있다. 이와 같이 함으로써 방화석고보드 층의 전체적인 두께도 25mm로 증가되고 이음부를 서로 엇갈리게 배치하여 이음부가 빨리 벌어지는 것을 방지하여 내화성능 향상에 많은 도움이 될 것으로 생각된다.
- ③ 두께 15mm의 방화석고보드 대신에 두께 19mm의 방화석고보드를 사용하는 방법을 고려할 수 있으며 방화석고보드의 무게가 조금 무거워지기는 하지만 벽체의 양면에 각각 1장의 방화석고보드만으로 내화성능을 향상시킬 수 있기 때문에 재료의 취급이나 설치 측면에서 유리할 것으로 판단된다.
- ④ 벽널의 두께를 증가시킨다면 근본적으로 내화성능을 향상시킬 수 있는 방법이 되겠지만 외국에서 수입된 두께 38mm의 구조재를 가지고 T&G 가공을 하여 사용하는 경우에는 35mm 이상의 두께를 확보하기는 어려울 것으로 예상된다. 그러나 국산재의 경우에는 국내에서 제재 및 가공이 되기 때문에 두께 조절이 용이할 것으로 생각되며 이 경우에는 55mm 두께로 제재하여 건조 후 대패가공 없이 바로 형삭 가공을 실시하여 45mm 두께의 목재 벽널을 제조한다면 충분한 내화성능을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.
- ⑤ 스테드를 38mmx140mm 부재로 사용하고 스테드 사이에 R19 또는 그 이상의 두꺼운 단열재를 사용한다면 내화성능을 약간 향상시킬 수 있을 것으로 생각되지만 이 방법을 적용하는 경우에도 시험결과의 성공 여부는 불확실할 것으로 판단된다.
- ⑥ 스테드 사이에 설치하는 중단열층에 추가하여 벽체의 바깥쪽으로 내단열층을 설치하고 암면을 단열재로 사용한다면 암면의 우수한 단열성능 및 내화성능으로 인하여 그린팁버월의 단열성능과 내화성능 향상에 도움이 되겠지만 내단열

층을 추가로 설치하여야 하는 문제가 뒤따르게 될 것이다.

이상과 같은 6가지 가능성을 염두에 두고 그린티म्버월 패널 비내력벽의 2시간 내화성능을 달성할 수 있는 방안을 찾았으며 이들 모두를 시험하기에는 시험에 소요되는 비용과 시간이 과다하기 때문에 1가지 방안만을 선택하여 실제 시험을 실시하기로 하였다. 여러 가지 방안 중에서 일단 국내에서 쉽게 구할 수 있고 취급 및 관리가 용이하며 현장에서 시공에 필요한 경비가 최소화되어야 한다는 점을 고려하였으며 그 결과로 세 번째 방안인 두께 19mm의 방화석고보드를 설치하는 방법을 시험하기로 하였다. 두께 15mm의 방화석고보드 대신에 두께 19mm의 방화석고보드가 설치된다는 점을 제외하고는 2차년도에 비내력벽 2시간 내화시험과 동일한 방법으로 시험을 진행하였다.

목재벽널로는 SPF 2x6 2등급 구조용재를 사용하였으며 두께 19mm의 방화석고보드를 먼저 설치하고 그 위에 목재 벽널을 설치하였고 SPF-19mm 방화석고보드 그린티म्버월 패널(S-GH-19B-4-19B-GH)의 제작도면은 그림 A3-1과 같다. SPF-19mm 방화석고보드 그린티म्버월 패널(S-GH-19B-4-19B-GH)의 2시간 비재하 내화시험 결과는 그림 A3-2 및 표 A3-1과 같다. 그림 A3-2 및 표 A3-1에서 보면 시험체의 비가열면 온도는 120분의 시험시간 동안 초기온도보다 평균온도는 29도, 최고온도는 35도 정도 상승하는데 그쳐서 기준값(비가열면의 평균온도는 초기온도보다 140도를 초과하여 상승하지 않아야 하며 최고온도는 초기온도보다 180도를 초과하여 상승하지 않을 것)보다 매우 낮게 유지되었음을 알 수 있다. 시험 시간 중 시험체의 육안 관찰 결과도 120분의 시험 시간 동안 많은 연기가 발생하기는 하였지만 비가열면의 목재 벽널에 틈이 생기거나 벌어지지 않았으며 화염이 관통하지도 않았다.

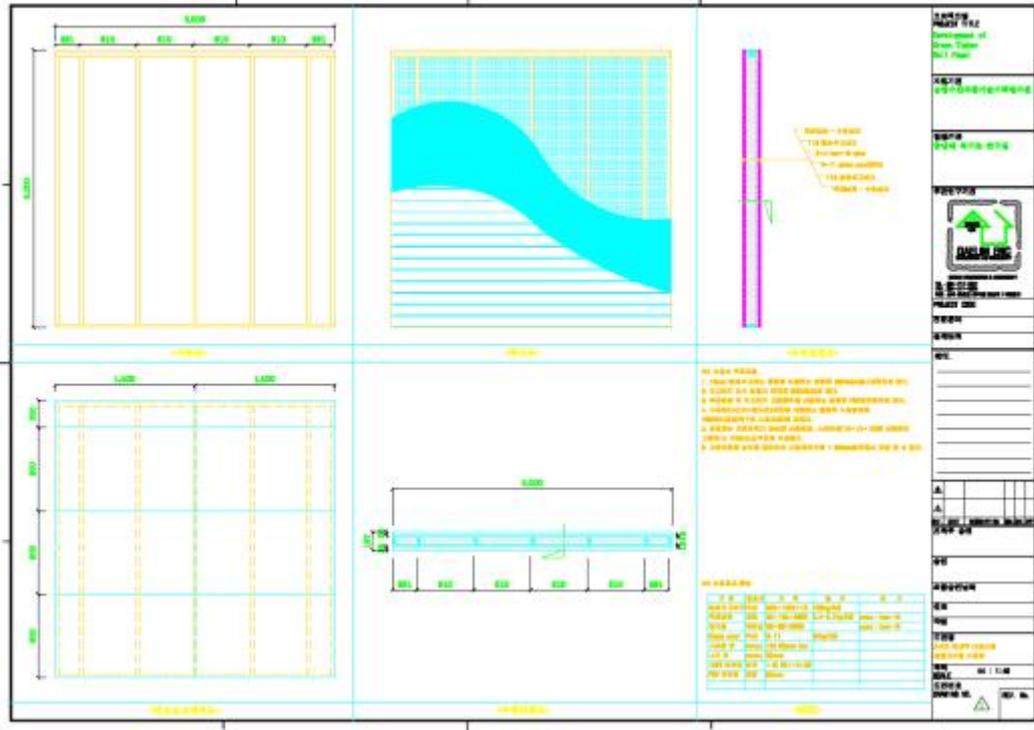


그림 A3-1 SPF-19mm 방화석고보드 그린팀버울 패널(S-GH-19B-4-19B-GH)의 제작도면

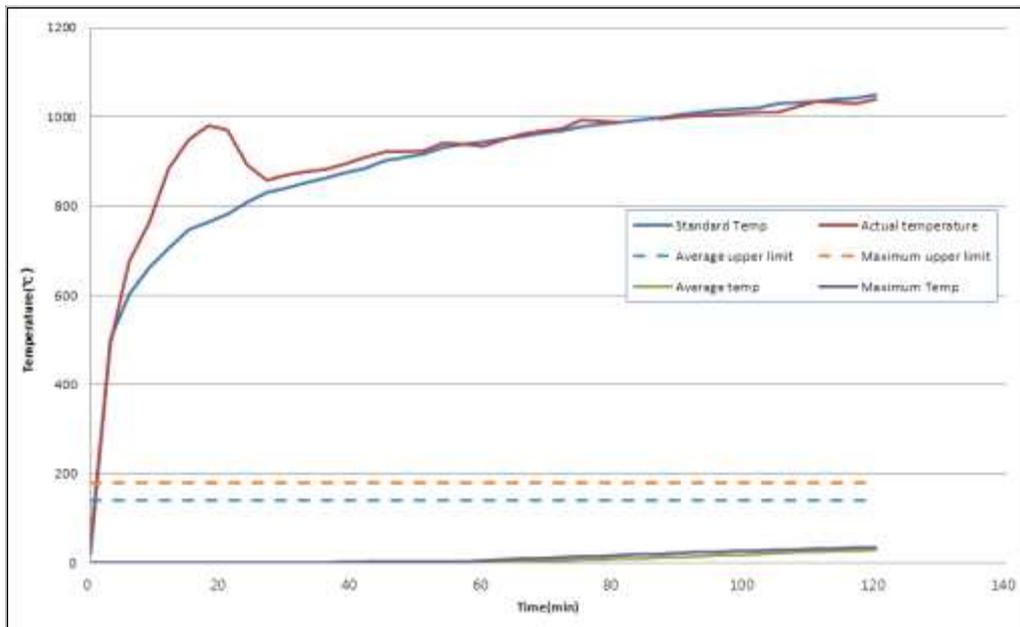


그림 A3-2 SPF-19mm 방화석고보드 그린팀버울 패널(S-GH-19B-4-19B-GH)의 2시간 비재하내화시험 결과

표 A3-1 SPF-19mm 방화석고보드 그린팁버월 패널(S-GH-19B-4-19B-GH)의  
비내력벽 2시간 내화시험 결과

시험 항목	성능기준		측정결과	성능	
내화시험	차염성	균열 또는 관통 되지 않을 것		관통되지 않음	120분
		면 패드에 착화되지 않을 것		착화 되지 않음	
		화염발생 없을 것 (10 초 이상)		발생되지 않음	
	차열성	초기평균온도	-	5 °C	
		비 가열면 평균온도	145°C	29 °C	
		비 가열면 최고온도	185°C	35 °C	
		이동전열대	-	-	

그림 A3-3 및 A3-4는 시험 시간 전 및 120분간의 내화시험 후의 시험체의 사진으로서 120분 동안의 내화시험 후에도 시험체의 겉모습은 시험 전과 크게 달라지지 않았고 비가열면의 벌어짐이나 뒤틀림 또는 화염의 관통 등의 현상은 전혀 나타나지 않아서 2시간의 내화 성능을 충분히 나타낼 수 있다는 사실을 알 수 있다.



그림 A3-3 시험 시작 전의 시험체



그림 A3-4 120분 동안 가열 후의 시험체

그림 A3-5, A3-6, A3-7 및 A3-8은 각각 가열 후 30분, 60분, 80분 및 100분이 경과한 시점에서 가열로 내부에 위치한 가열면의 모습이다. 시험체의 가열면에도 목재 벽널이 설치되어 있기 때문에 가열을 시작하자마자 목재가 연소되면서 그림 A3-5에서 보는 바와 같이 내부에 많은 화염과 함께 많은 연기가 발생하였다. 이와 같은 가열면의 목재 벽널 연소는 거의 50분 정도 진행되었으며 이후에는 가열면의 목재 벽널이 모두 연소되고 방화석고보드가 드러나면서 그림 A3-6과 같이 화염이나 연기가 거의 발생하지 않았다.



그림 A3-5 가열 후 30분 경과

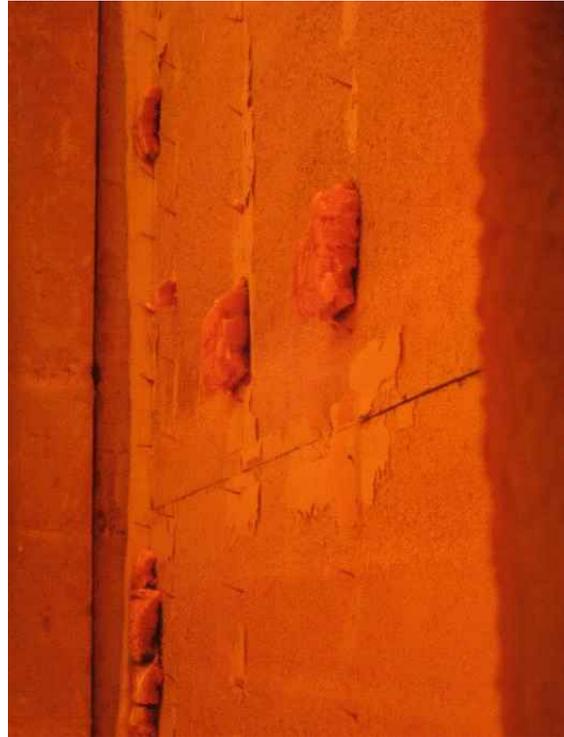


그림 A3-6 가열 후 60분 경과

가열 후 약 80분 정도가 경과하면서 그림 A3-7에서 보는 바와 같이 가열면의 방화석고보드가 수축되고 그 이음부의 틈이 벌어지면서 내부로 열기가 침투하고 그로 인하여 내부의 목재 스티드가 열분해를 일으키면서 가스가 발생되고 방화석고보드 이음부의 틈새로 새어나오는 가스에 화염이 발생하였다. 가열면 방화석고보드의 틈이 점점 더 크게 벌어지다가 떨어져 나가면서 그림 A3-8에서 보는 것처럼 화염이 점차 크게 발생하였으며 방화석고보드가 떨어져 나간 부분에서 내부의 스티드가 탄화되는 것을 관찰할 수 있었다(그림 A3-8).

그림 A3-9는 120분 동안 가열이 끝난 후 시험체의 가열면의 모습으로서 가열면의 목재 벽널과 방화석고보드는 완전히 사라지고 내부의 스티드도 거의 탄화되어 일부만 남아있는 모습을 볼 수 있다. 그림 A3-10은 시험체를 해체한 후 비가열면 목재벽널의 내부 측면 모습으로서 목재벽널의 표면만 약간 탄화되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 SPF-19mm 방화석고보드 그린팁버월 패널(S-GH-19B-4-19B-GH)은 120분 동안 가열 후에도 화염의 영향이 비가열면의 목재벽널까지 거의 미치지 않았다는 사실을 알 수 있고 이러한 구조의 비내력벽은 2시간의 내화성능을 나타낼 수 있음을 알 수 있다.



그림 A3-7 가열 후 80분 경과



그림 A3-8 가열 후 100분 경과



그림 A3-9 120분 가열 후 시험체 가열면



그림 A3-10 120분 가열 후 비가열면 목재 벽널의 안쪽

## (2) 그린팁버아트월 패널의 내화성능

2차년도에 개발된 그린팁버아트월 패널에 대하여 내력벽으로서의 내화성능 시험을 실시하였다. 내력벽으로서 1시간의 내화성능을 나타내기 위해서는 화재 하에서도 안전하게 1시간 동안 주어진 하중을 지지할 수 있어야 한다. 따라서 내력벽으

로서의 내화시험은 재하 내화시험을 실시하며 재하량은 2차년도에 계산된 것과 동일하게 30,605N(약 3톤)으로 설정하였다. 목재벽널로는 SPF 2x6 2등급 구조용재를 사용하였으며 SPF 양면 그린티이버아트월 패널(S-GH-4AW12-4-GH)의 제작도면은 그림 A3-11과 같다. 그림 A3-1의 시험체는 시험체 중앙에 아트월이 벽면적의 40%에 해당하는 면적으로 양 측면을 관통하도록 설치하였고 양 측면에는 두께 35mm의 목재벽널을 수평으로 설치하였다.

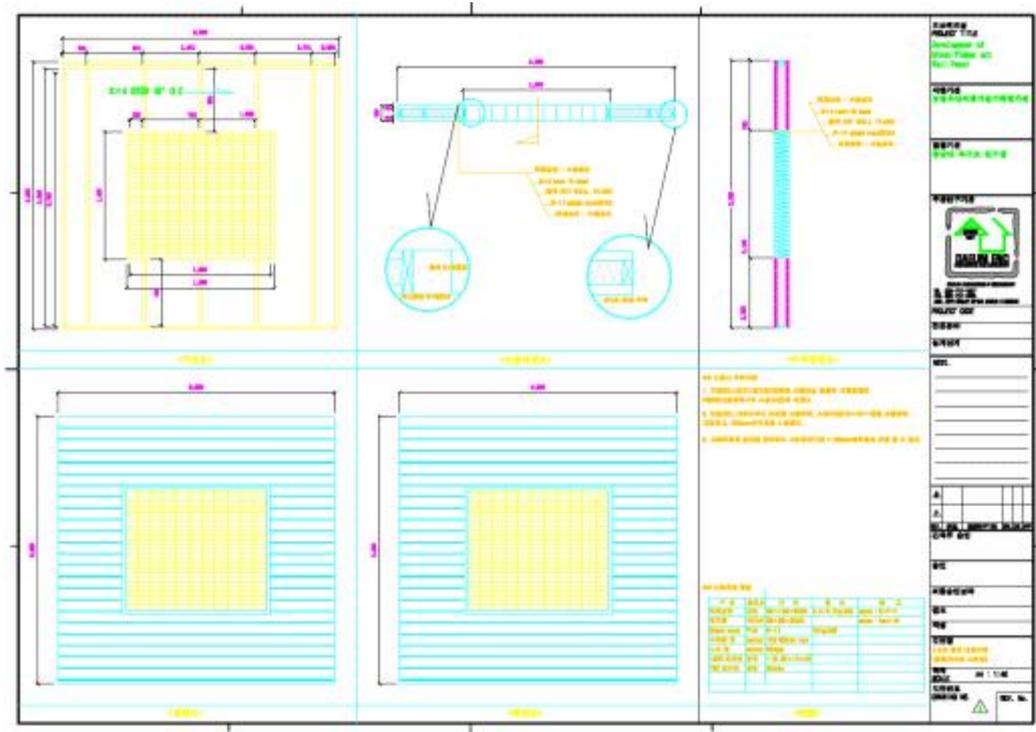


그림 A3-11 SPF 양면 그린티이버아트월 패널(S-GH-4AW12-4-GH) 시험체의 제작도면

SPF 양면 그린티이버아트월 패널(S-GH-4AW12-4-GH)의 재하 내화시험 결과는 그림 A3-12 및 표 A3-2와 같다. 그림 A3-12 및 표 A3-2에서 보면 가열 후 약 18분 만에 시험체의 비가열면으로 화염이 관통하였으며 이로 인하여 화염 관통부위 부근에 붙어있던 온도센서의 온도가 급격하게 상승하여 25분 정도에 비가열면 최고 온도가 상한값(초기온도 + 180℃)을 초과하였다. 시험이 모두 종료된 45분까지도 비가열면의 평균온도는 상한값보다 낮았으나 가열 후 18분 만에 화염이 관통함으로 인하여 시험은 실패하였다. 아트월 부분에서는 목재가 벽체를 관통하는 방향으로 배열되는데 아무리 정교하게 아트월 부분을 제작하더라도 약간의 틈이 생기게 되며 이 틈을 따라서 화염이 이동하여 빠른 시간 내에 화염이 관통하는 결과가 나타난

것으로 생각된다.

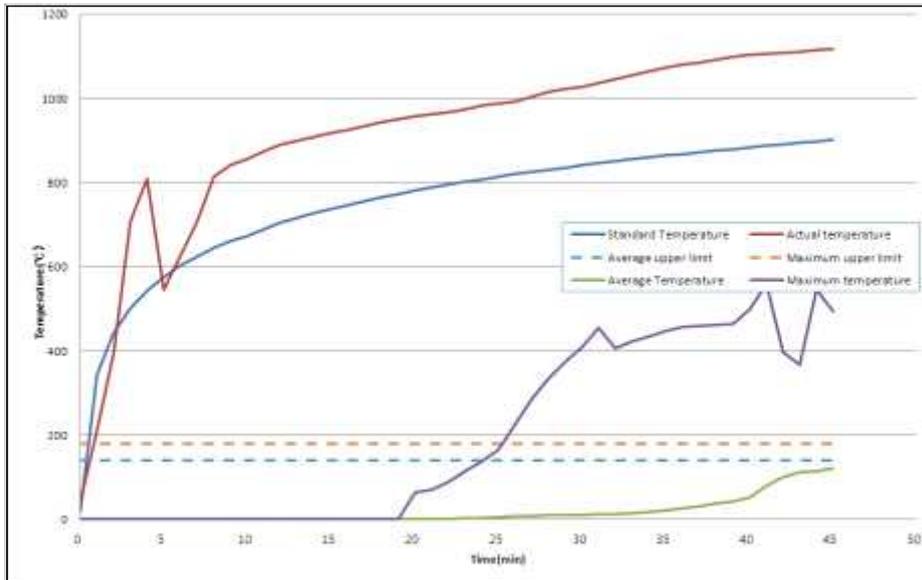


그림 A3-12 SPF 양면 그린티머아트월 패널(S-GH-4AW12-4-GH)의 재하 내화 시험 결과

표 A3-2 SPF 양면 그린티머아트월 패널(S-GH-4AW12-4-GH)의 재하 내화시험 결과

시험 항목	성능기준		측정결과		성능
내화시험	차염성	균열 또는 관통 되지 않을 것		관통되지 않음	18분
		면 패드에 착화되지 않을 것		착화되지 않음	
		화염발생 없을 것 (10 초 이상)		화염 발생	
	차열성	초기평균온도	-	20℃	-
비 가열면 평균온도		145℃	226℃	25분	
비 가열면 최고온도		185℃	226℃	25분	
이동전열대		-	121℃	45분	

그림 A3-13은 SPF 양면 그린티머아트월 패널(S-GH-4AW12-4-GH)의 재하 내화 시험 직전의 모습이며 그림 A3-14는 가열시험 시작 직후의 모습을 나타낸다. 그림 A3-14에서 양면 아트월 패널에 열을 가하자마자 비가열면의 아트월 부분을 통해서

많은 양의 연기가 배출되는 것을 볼 수 있다. 이 사실로 미루어 아트월 부분에 작은 구멍들이 많이 뚫려있음을 알 수 있고 이러한 구멍들을 통해서 외부의 산소가 공급되고 이 부분으로 화염이 빠른 속도로 번짐으로써 쉽게 화염 관통이 나타난 것으로 생각된다.



그림 A3-13 시험 시작 전의 양면 아트월 시험편      그림 A3-14 시험 시작 직후의 모습

그림 A3-15 및 A3-16은 각각 가열 시험 시작 후 20분 및 30분이 경과한 시점에서 시험편의 모습을 보여주고 있다. 이미 가열 후 18분 정도 화염이 패널을 관통하였으며 20분 정도 경과하였을 때에는 제법 큰 화염이 비가열면에서 보였으며 30분 정도 경과하였을 때에는 비가열면에서도 화염이 크게 번지는 것을 관찰할 수 있다.



그림 A3-15 시험 시작 후 20분 경과      그림 A3-16 시험 시작 후 30분 경과

그림 A3-17은 가열 시험 시작 후 45분이 경과한 시점에서 시험편의 모습을 보여주고 있으며 그림 A3-18은 45분 동안의 가열 시험 종료 후 시험체의 가열면의 모습을 나타낸다. 그림 A3-17에서 보면 가열 후 45분 정도가 경과한 시점에서는 시험체의 여러 곳에서 화염이 관통하여 불길의 벽 전체로 심하게 번지는 것을 알 수 있다.

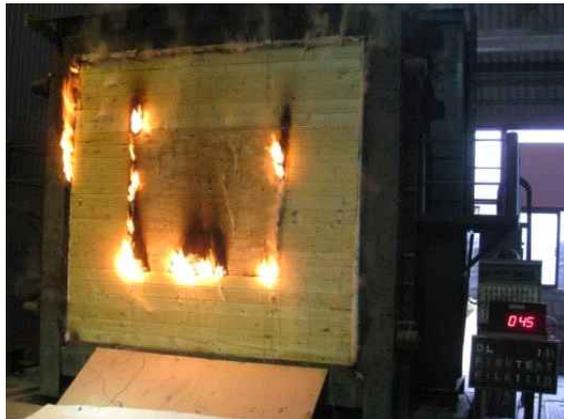


그림 A3-17 시험 시작 후 45분 경과      그림 A3-18 시험 종료 직후 가열면의 모습

그림 A3-19 및 A3-20은 각각 가열 시험 종료 후 시험체를 해체한 후의 아트월 부분의 목재와 비가열면에 설치되었던 목재벽널의 모습을 보여주고 있다. 비록 부분적으로 화염이 관통하기는 하였지만 그림 A3-19를 보면 화염이 관통하지 않은 부분에서는 아트월의 전체 두께 160mm 중에서 약 60mm 정도가 탄화되었지만 나머지 100mm 정도는 건전한 상태를 유지한다는 것을 알 수 있다. 그림 A3-20에서 보면 비록 아트월 부분에서 화염 관통이 나타났지만 비가열면의 목재벽널은 가열면 쪽만 탄화되고 나머지 절반 이상이 아직 건전한 상태로 남아있음을 알 수 있다.



그림 A3-19 아트월 부분의 탄화

그림 A3-20 목재 벽널의 탄화

위에서 시험한 SPF 양면 그린팁버아트월 패널(S-GH-4AW12-4-GH)은 아트월 부분이 벽체의 양측면을 관통하는 형태로서 화염이 이러한 관통부분을 따라서 빠르게 번져서 시험이 실패하는 결과를 나타내었다. 아트월을 한쪽면에만 설치하고 반대면은 목재벽널로 막혀있는 구조는 이보다 내화성능이 우수할 것으로 예상되어 SPF를 목재벽널로 사용하고 아트월을 한쪽벽면에만 설치한 그린팁버아트월 패널(SPF-단면 그린팁버아트월 패널(S-GH-4AW11-4-GH))에 대한 재하 내화시험을 추가로 실시하였다. 내력벽으로서의 내화시험은 실시하기 위하여 재하량은 이전과 동일하게 30,605N(약 3톤)으로 설정하였다. 목재벽널로는 SPF 2x6 2등급 구조용재를 사용하였으며 SPF 단면 그린팁버아트월 패널(S-GH-4AW11-4-GH)의 제작도면은 그림 A3-11과 동일하지만 아트월 부분이 관통되지 않고 한쪽면에만 나타나도록 하였다.

SPF 단면 그린팁버아트월 패널(S-GH-4AW11-4-GH)의 재하 내화시험 결과는 그림 A3-21 및 표 A3-3과 같다. 그림 A3-21 및 표 A3-3에서 보면 가열 후 약 35분 만에 시험체의 비가열면으로 화염이 관통하였음을 알 수 있다. 시험이 모두 종료된 39분까지도 비가열면의 평균온도 및 최고온도는 상한값보다 매우 낮았으나 가열 후 35분 만에 화염이 관통함으로 인하여 시험은 실패하였다. 아트월을 단면에만 설치하더라도 아트월 부분을 통한 화염의 전파가 벽체를 관통하는 속도가 생각보다 빠른 것으로 생각된다.

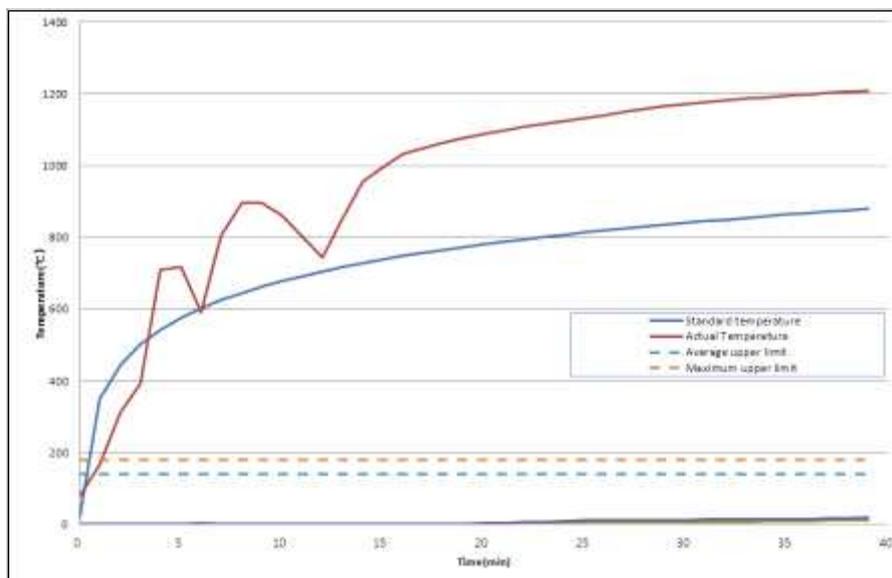


그림 A3-21 SPF 단면 그린팁버아트월 패널(S-GH-4AW11-4-GH)의 재하 내화 시험 결과

표 A3-3 SPF 단면 그린티버아트월 패널(S-GH-4AW11-4-GH)의 재하 내화시험 결과

시험 항목	성능기준		측정결과		성능
내화시험	차염성	균열 또는 관통 되지 않을 것		관통되지 않음	35분
		면 패드에 착화되지 않을 것		착화되지 않음	
		화염발생 없을 것 (10 초 이상)		화염 발생	
	차열성	초기평균온도	5℃	20℃	-
		비 가열면 평균온도	145℃	12℃	39분
		비 가열면 최고온도	185℃	19℃	39분
		이동전열대	-	-	-

이상의 결과를 종합해보면 그린티버월 패널에 아트월을 삽입하는 경우에는 아트월을 단면에 설치하든지 또는 양면에 관통하도록 설치하든지 그 자체로는 내화구조를 구성하기 어렵다는 사실을 알 수 있다. 양면 관통 아트월의 경우는 불가능하지만 단면에만 아트월을 설치하는 경우에는 1시간 내화구조를 만들기 위해서는 약 25 정도의 내화성능만 추가하면 되므로 그 반대쪽에 목재 벽널을 설치하기 전에 두께 12.5mm의 방화석고보드를 설치하고 그 위에 목재벽널을 설치하면 충분할 것으로 판단된다.

그림 A3-22는 SPF 단면 그린티버아트월 패널(S-GH-4AW11-4-GH)의 재하 내화시험 시작 직후의 모습이며 그림 A3-23은 가열시험 시작 후 13분이 경과하였을 때의 모습을 나타낸다. 그림 A3-23에서 보면 단면 아트월 패널도 열을 가하고 얼마 지나지 않아서 비가열면의 여러 부분들을 통해서 많은 양의 연기가 배출되는 것을 볼 수 있다. 이 사실로 미루어 아트월 부분에 작은 구멍들이 많이 뚫려있음을 알 수 있고 이러한 구멍들을 통해서 외부의 산소가 공급되고 이 부분으로 화염이 빠른 속도로 번짐으로써 쉽게 화염 관통이 나타난 것으로 생각된다. 그림 A3-24는 가열시험 시작 후 약 15분 정도 경과하였을 때에 가열로 내부 가열면의 아트월 부분의 모습이다. 그림 A3-24에서 아트월 부분의 측면과 일부 아트월 목재들의 틈새에서 강한 화염이 일어나고 있는 것을 볼 수 있으며 이로 미루어 부분들에 작은 구멍들이 있고 이 구멍들을 통해서 외부의 산소가 공급됨으로써 강한 불꽃이 나타나고 이로 인하여 이들 부분의 연소가 다른 부분보다 빠르게 진행되었음을 알 수 있다.



그림 A3-22 가열 직후의 시험편



그림 A3-23 가열 후 13분 경과



그림 A3-24 가열 직후의 아트월 가열면

그림 A3-25 및 A3-26은 각각 가열 시험 후 38분 및 39분이 경과하였을 때의 모습을 보여주고 있다. 이미 35분 정도에 패널의 우측 상단에 미세한 관통이 생겨서 외부에서도 내부의 화염을 작게나마 볼 수 있었는데 이 관통부가 더 확대되어 38분경에 쉽게 눈에 띄일 정도로 커졌고(그림 A3-225) 39분에는 불길이 크게 먼지기 시작하였음(그림 A3-26)을 알 수 있다. 그림 A3-27은 39분간의 가열시험 종료 후의 가열면 모습으로서 가열면의 목재벽넬은 거의 다 탄화되었으나 아직까지 스테드 사이의 단열재가 그대로 있고 스테드나 아트월 부분의 목재는 대부분 표면만 탄화된 상태로 남아있음을 알 수 있다. 따라서 단면 아트월도 넓은 목재면의 탄화 때문이 아니라 아트월 부분의 작은 구멍을 타고 번지는 화염 때문에 쉽게 화염이 관통됨으로써 내화시험에 실패하는 결과가 나타났음을 알 수 있다.



그림 A3-25 가열 후 38분 경과



그림 A3-26 가열 후 39분 경과



그림 A3-27 가열시험 종료 후의 가열면

### (3) 그린티이버월 패널의 차음성능

그린티이버월 패널을 공동주택의 세대간 경계벽으로 사용하기 위해서는 공동주택에서 요구되는 차음성능을 만족하여야 한다. 그린티이버월 패널의 차음성능을 평가하기 위하여 이 연구에서 개발된 그린티이버월 패널에 대한 음향감쇠성능 시험을 실시하였다. 이 시험은 경기도 여주의 방재시험연구원에서 KS F 2808:2006(건물 부재의 공기 전달음 차단 성능 실험실 측정방법)에 따라서 실시하였으며 시험체를 제작하기 위한 설계도면은 그림 A3-28과 같다. 이 그린티이버월 패널 구조는 서로 다른 세대 사이의 경계벽으로 사용되기 때문에 단열성능 및 차음성능 향상을 위하여 단일 스테드보다는 이중스텝드로 사용하는 것이 바람직하기 때문에 그림 A3-28에서 보는 바와 같이 이중 스테드 구조로 제작하였으며 스테드 사이에는 R11 유리섬유 단열재를 설치하였다. 패널의 양면에는 SPF 2등급 2x6 구조용재로부터 제작된 두께 35mm의 목재 벽널을 설치하였으며 이중 스테드 사이는 25mm의 간격을 주어야 하지만 방재시험연구원의 음향감쇠 시험 시설에서 시험을 실시할 수 있는 벽체의

최대 두께가 260mm로 제한되기 때문에 절반정도인 12mm의 간격을 주도록 하였다.

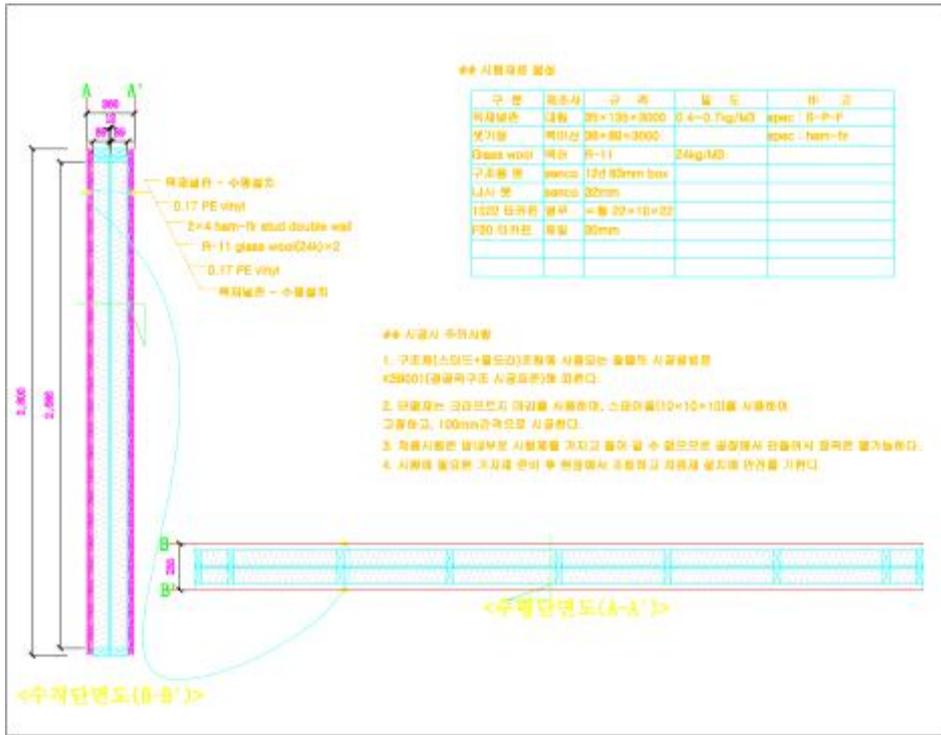


그림 A3-28 음향감쇠성능 시험용 그린틴버월 패널의 제작도면

그림 A3-29는 그린틴버월 패널의 음향감쇠성능 시험을 위하여 시험시설 내부에 패널 시험체를 배치한 도면이며 그림 A3-30은 음향감쇠성능 시험시설 전체의 도면으로서 시험체 및 마이크, 음원 등의 배치 위치를 보여주고 있다. 그림 A3-28과 같은 음향 시험용 그린틴버월 패널을 현장에서 제작한 후 그림 A3-30과 같은 음향 시험 시설의 수음실과 음원실 사이의 경계벽에 옮기고 그림 A3-29와 같은 방법으로 설치한다. 시험체가 설치되면 시험체의 양면 가장자리에서 공기압으로 부풀어진 튜브가 시험체를 눌러서 움직이지 못하게 하면서 동시에 외부의 소음이 침입하여 시험성적에 영향을 주는 것을 방지한다. 그림 A3-30에서 보는 바와 같은 시험 시설에서 음원으로부터 음향이 발생되면 음원실과 수음실에 배치된 마이크들을 통하여 음을 받아들여서 주파수 대역별로 분리하여 음원실에서 받아들인 음과 수음실에서 받아들인 음의 크기를 비교하여 경계벽을 통과할 때의 음의 감쇠정도를 평가하게 된다.

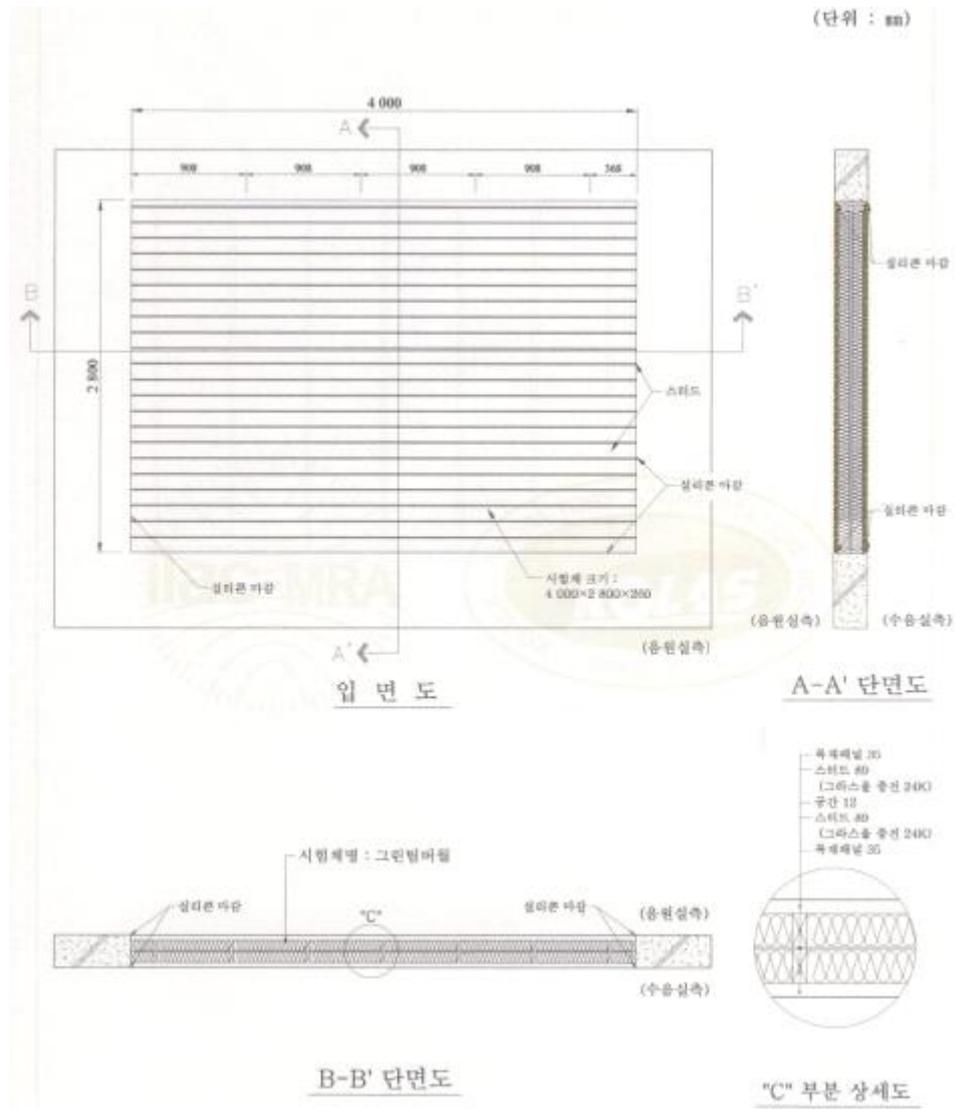
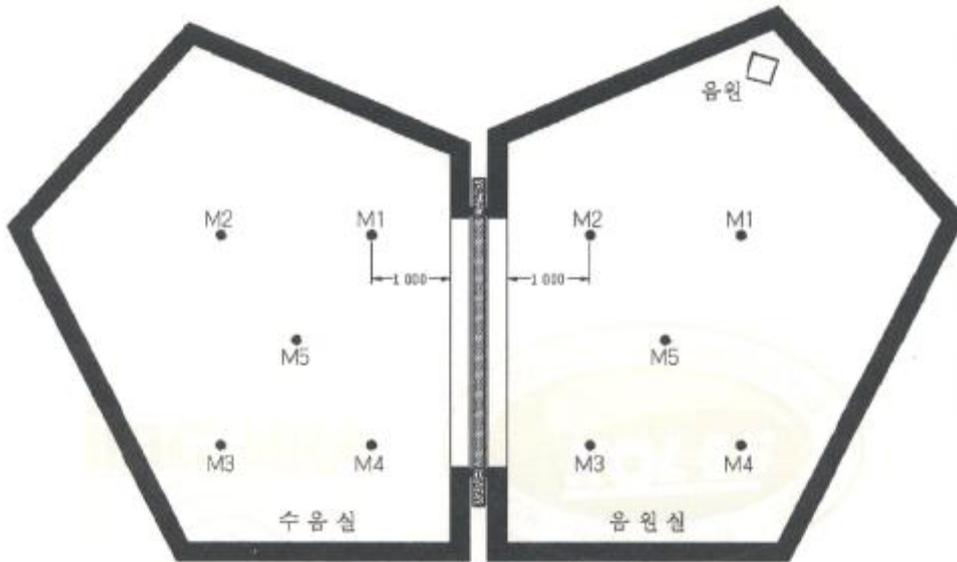


그림 A3-29 음향감쇠성능 시험을 위한 그린팀버월 패널의 시험시설 내 배치 도면

그림 A3-31 및 A3-32는 각각 음향시험 시설 내에 배치된 그린팀버월 패널의 모습과 함께 수음실 및 음원실의 마이크와 음원의 배치를 보여주고 있다.



- M1, M2, M3, M4, M5 : 마이크로폰 위치 (수음점)
- 각 수음점 위치의 높이는 바닥면에서 1.5 m 임.

그림 A3-30 음향감쇠성능 시험시설 내의 시험체, 마이크 및 음원 배치도



그림 A3-31 수음실의 모습



그림 A3-32 음원실의 모습

KS F 2808에 따르면 음원실에서 주파수 범위 100Hz ~ 5,000Hz의 광대역 소음을 발생시키고 음원실과 수음실 내의 잔향 평균음압레벨을 측정하고 그 차이를 가지고 음향감쇠계수를 계산하게 된다. 음향감쇠계수를 계산하기 위하여 먼저 수음실의 등가흡음력은 수음실의 평균잔향시간으로부터 식 (A3-1)에 따라서 계산하였

다.

$$\frac{0.16V}{T} \text{-----} \quad (A3-1)$$

여기서 A = 수음실의 등가흡음력(m<sup>2</sup>)

T = 수음실의 잔향시간(s)

V = 수음실의 용적(m<sup>3</sup>)

잔향시간의 측정은 ISO 3382-2:2008(Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2 : Reverberation time in ordinary rooms)에 따라서 실시하였다. 음향감쇠계수는 음원실과 수음실의 평균 음압레벨을 측정하여 음압레벨차를 구하고 수음실의 흡음력을 측정하여 식 (A3-2)에 따라서 산출하였다.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log\left(\frac{S}{A}\right) \text{-----} \quad (A3-2)$$

여기서 R = 음향감쇠계수(dB)

L<sub>1</sub> = 음원실의 평균음압레벨(dB)

L<sub>2</sub> = 수음실의 평균음압레벨(dB)

S = 시험체의 면적(m<sup>2</sup>)

A = 수음실의 흡음력(m<sup>2</sup>)

그린틴버월 패널에 대한 음향감쇠성능 시험 결과는 표 A3-4 및 그림 A3-33과 같다. 표 A3-4 및 그림 A3-33에서 보면 그린틴버월 패널은 낮은 주파수 대역에서는 음향감쇠가 우수하지만 높은 주파수 대역에서의 음향감쇠가 좋지 않음을 알 수 있다. 모든 주파수 대역의 음향감쇠계수의 평균값은 53dB로서 주거용 건축물의 경계벽으로서는 2등급의 성능을 나타내고 있다. 시험시설의 한계 때문에 이중스터드 구조로 하면서 스테드의 간격을 일반적인 값인 25mm보다 작게 12mm로 하였기 때문에 음향감쇠에서 약간의 손실이 있을 것으로 예상되지만 정상적으로 설치하더라도 1등급까지 도달하기는 어려울 것으로 판단된다. 그린틴버월로서 1등급의 음향감쇠계수를 나타내는 패널을 제작하기 위해서는 이중스터드 또는 엇갈린 스테드 배치에 추가로 패널의 한쪽 벽면에 목재벽널을 설치하기 전에 소음채널을 먼저 설치하고 그 위에 목재벽널을 설치하는 방법이 바람직할 것으로 생각된다.

표 A3-4 그린팁버릴 패널에 대한 음향감쇠성능 시험 결과

주파수(Hz)	음향감쇠계수(dB)	주파수(Hz)	음향감쇠계수(dB)
100	34.5	800	51.4
125	35.6	1,000	56.0
160	38.3	1,250	59.5
200	42.4	1,600	64.8
250	43.9	2,000	67.3
315	47.4	2,500	69.5
400	48.3	3,150	72.1
500	48.6	4,000	68.8
630	48.4	5,000	67.2

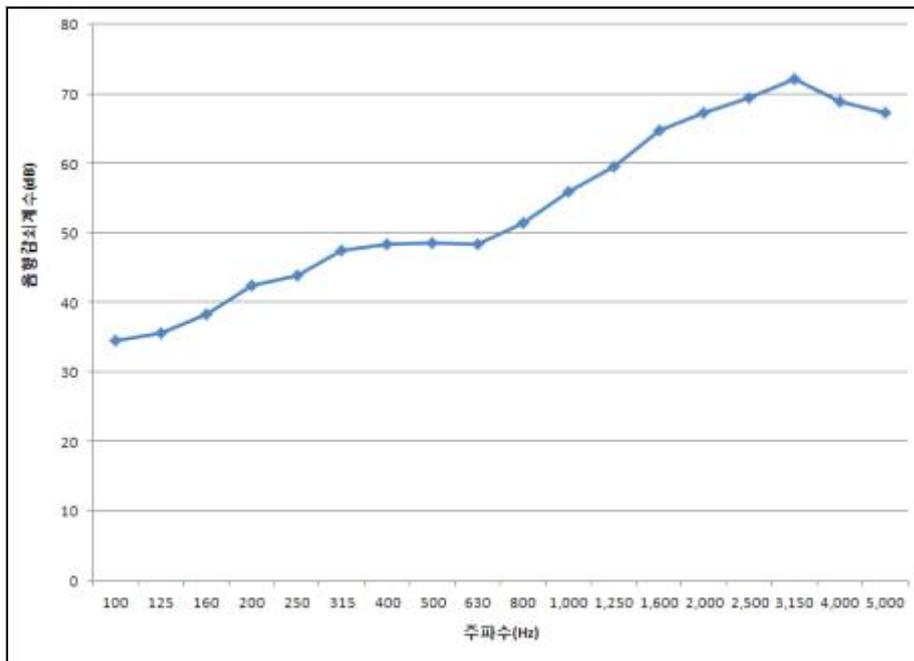


그림 A3-33 그린팁버릴 패널에 대한 주파수에 따른 음향감쇠계수의 변화

#### (4) 그린팁버릴 패널 사이의 길이이음 방법 개발

그린팁버릴 패널을 주택의 벽체로 사용하기 위해서는 긴 벽체를 구성하여야 하지만 공장의 패널 생산 시설의 한계, 운반 시설의 한계, 도로교통법 상의 규제, 현장

에서 취급 및 관리의 문제 등으로 인하여 작은 길이의 패널들로 생산하여 운반하고 현장에서 길이를 접합하여 긴 벽체를 구성하는 방법을 적용하여야 한다. 따라서 그린팁버릴 패널이 목조건축의 시공현장에서 올바르게 적용되기 위해서는 패널들 사이의 길이이음 접합방법이 개발되어야 할 것이다. 이 연구에서는 그린팁버릴 패널들 사이의 길이이음을 위하여 철제 파스너를 사용하고자 하며 시중에서 쉽고 싸게 구입이 가능하고 현장에서 간단한 공구로 쉽게 접합이 가능한 재료를 사용하고자 한다.

어느 목조건축 현장에서나 공기압 공구를 사용하고 있으며 못총을 소유하고 있기 때문에 그린팁버릴 패널들 사이의 길이이음을 위해서도 공기압 못총으로 사용이 가능한 못 접합부가 적합할 것으로 생각된다. 골조부재 사이의 접합에 사용되는 CMN90 못을 사용하면 못총으로 현장에서 원하는 부위에 쉽게 못을 박을 수 있기 때문에 현장시공을 위해서 적합할 것으로 생각된다. 또한 시중에서 쉽게 구할 수 있으며 누구나 알고 있는 재료로서 볼트와 래그나사못을 들 수 있다. 볼트는 재료를 관통하여야 하며 반대쪽에 너트를 끼워야 하고 2개 이상의 부재를 접합시킬 때에 볼트 구멍이 정확하게 일치하지 않으면 설치에 어려움을 겪을 수 있다. 목조건축 현장에서는 반대쪽에 너트를 끼울 수 있는 공간이나 조건이 되지 못하는 경우가 많고 작업이 까다롭기 때문에 볼트는 그린팁버릴 패널의 길이이음 방법으로는 적합하지 않은 것으로 생각된다. 오히려 래그나사못의 경우에는 반대쪽에 너트를 설치하지 않기 때문에 적당하게 구멍을 뚫고 돌려서 삽입하기만 하면 접합이 이루어지므로 목조건축 현장에서는 사용이 더 편할 것으로 생각된다. 대부분의 현장에서 충전용 무선 전동드릴을 사용하고 있기 때문에 필요한 위치에 래그나사못의 못대 지름의 80% 정도에 해당하는 구멍을 미리 뚫고 래그나사못의 육각머리 모양에 적합한 공구를 전동드릴에 끼워서 사용하면 쉽게 래그나사못 접합부를 구성할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 그린팁버릴 패널의 길이이음이나 직각접합 그리고 바닥과 벽의 직각접합에 모두 CMN 90 보통못과 지름 9mm의 래그나사못을 사용하고자 한다. 패널들의 길이이음에서는 두께 38mm의 부재 2개를 맞대어 접합하는 것이기 때문에 래그나사못의 길이가 90mm 정도면 충분하지만 벽과 벽의 직각접합이나 바다고가 벽의 직각접합의 경우에는 보다 긴 래그나사못이 유리할 것으로 판단되어 125mm 길이의 래그나사못을 사용하고자 한다.

그린팁버릴 패널들 사이의 길이이음은 그림 A3-34와 같이 이루어지며 공장에서 패널을 제작하기 위하여 목재 벽널을 설치할 때에 길이이음을 하는 2개의 패널들 사이에 길이이음 접합부를 구성할 수 있도록 중간 중간에 끝에서 첫 번째 및 두 번째 스티드 사이를 비워두고 제작하며 비워둔 길이에 적합한 목재 벽널 토막을 함께 만들어서 운반한다. 현장에서 이러한 패널들을 길이방향으로 이어서 설치할 때에 이와 같이 비워둔 부위들 끼리 맞대놓고 비워둔 부위에 못이나 래그나사못을 설치하여 접합을 시킨 후 목재 벽널 토막을 그 위에 덮어서 고정한다.

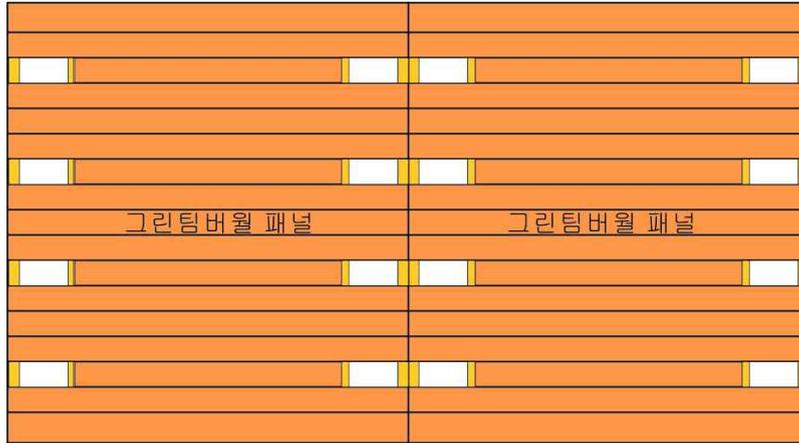


그림 A3-34 그린티이버월 패널들 사이의 길이이음

그림 A3-34에서 길이이음 접합부가 설치되는 간격은 일반적인 벽의 높이가 2,400mm이므로 600mm 간격을 적용한다면 2,400mm 높이의 벽에서 상하 양끝을 포함해서 총 5군데의 길이이음 접합부가 설치된다. 못을 사용하는 길이이음 접합부는 그림 A3-35 및 A3-36에서 보는 바와 같이 한 군데에 2개씩의 못을 사용하는 경우와 4개씩의 못을 사용하는 경우의 2가지로 생각해 볼 수 있다. 그림 A3-34와 같이 공장에서 길이이음 접합을 설치할 부위를 비워두고 제작된 그린티이버월 패널을 현장에서 세우고 길이이음을 할 패널들을 맞대 놓은 후 그림 A3-35 및 A3-36에서 보는 바와 같이 한 군데에 못을 2개(N2 벽 길이이음 접합부) 또는 4개(N4 벽 길이이음 접합부)씩 약  $\pm 40^\circ$ 도의 경사각으로 박은 후에 공장에서 미리 길이이음 접합부에 딱 맞도록 제작되어 현장으로 운반된 목재벽널 토막을 설치한다. 마지막으로 길이이음 접합부를 덮기 위하여 설치하는 목재 벽널 토막은 못 머리가 작은 마감용 못이나 또는 가는 T형 타카핀을 박아서 고정한다.

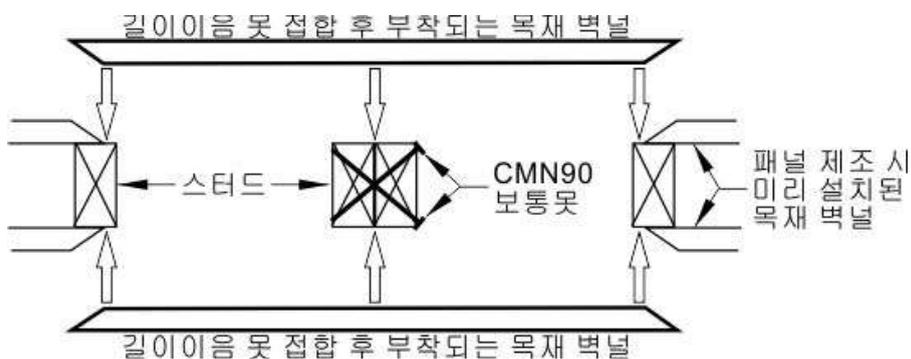


그림 A3-35 한군데에 못을 2개씩 사용하는 길이이음 못 접합부(N2 벽 길이이음 접합부)

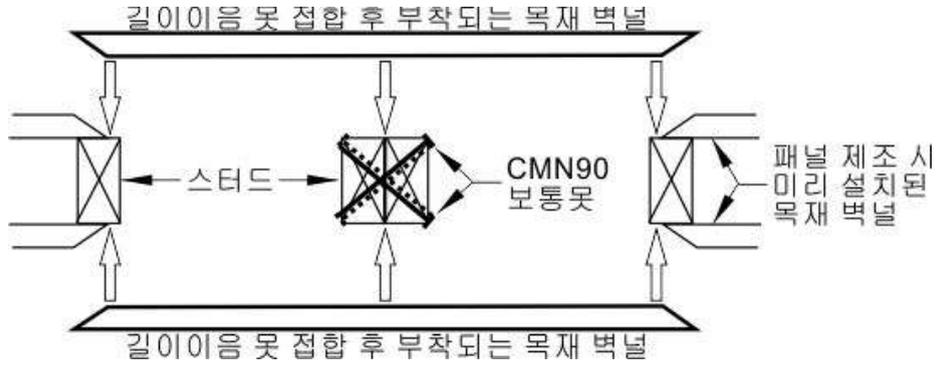


그림 A3-36 한군데에 못을 4개씩 사용하는 길이이음 못 접합부(N4 벽 길이이음 접합부)

그림 A3-37은 한 군데의 길이이음에 못 1개와 래그나사못 1개씩을 사용하는 래그나사못 길이이음 접합부(N1LS1 벽 길이이음 접합부)를 나타낸다. 다른 내용은 앞의 길이이음 못 접합부와 동일하며 다만 길이이음 접합부를 구성할 때에 CMN90 보통못 1개를 보조로 사용하고 못을 박은 반대쪽 측면에서 래그나사못 지름의 80% 정도에 해당하는 구멍을 약 40도의 경사각으로 뚫고 이 구멍에 래그나사못을 돌려서 삽입한다. 접합부를 고정된 후 접합부를 덮도록 제작된 목재 벽널 토막을 마감용 못이나 타카핀으로 고정시킨다.

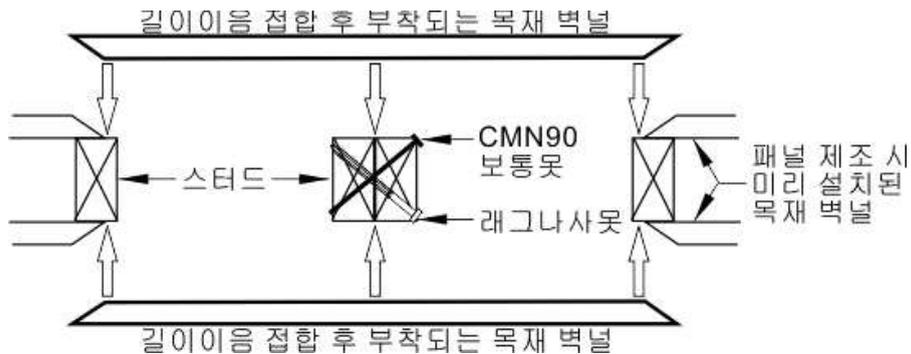


그림 A3-37 한군데에 못 1개와 래그나사못 1개씩을 사용하는 길이이음 래그나사못 접합부(N1LS1 벽 길이이음 접합부)

그림 A3-38은 한 군데의 길이이음에 못 2개와 래그나사못 2개씩을 사용하는 래그나사못 길이이음 접합부(N2LS2 벽 길이이음 접합부)를 나타낸다. 다른 내용은 앞의 N1S1 접합부와 동일하지만 길이이음 접합부를 구성할 때에 CMN90 보통못 2개를 보조로 사용하고 못을 박은 반대쪽 양측면에서 래그나사못 지름의 80% 정도에 해당하는 구멍을 약 40도의 경사각으로 1개씩 뚫고 이 구멍에 래그나사못을 돌려서 삽입한다. 접합부를 고정된 후 접합부를 덮도록 제작된 목재 벽널 토막을 마감용 못이나 타카핀으로 고정시킨다.

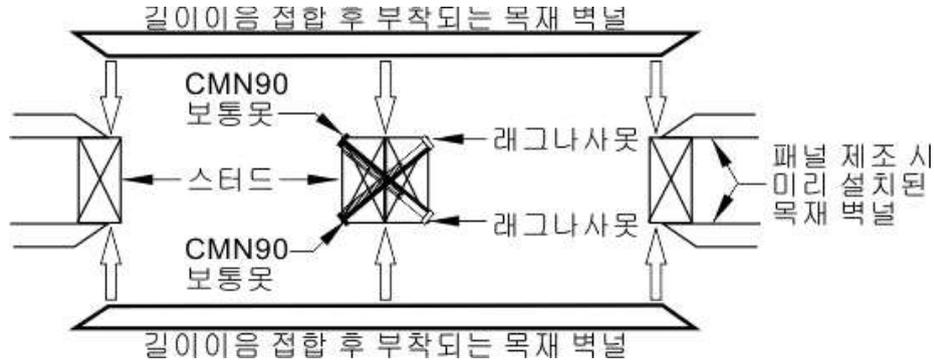


그림 A3-38 한군데에 못 2개와 래그나사못 2개씩을 사용하는 길이이음 래그나사못  
접합부(N2LS2 벽 길이이음 접합부)

#### (5) 그린티이버월 패널 사이의 직각접합 방법 개발

그린티이버월 패널을 주택의 벽체로 사용하기 위해서는 벽체의 길이이음뿐만 아니라 건물의 모서리에서 직각으로 만나는 패널들 사이의 직각접합부가 구성되어야 한다. 직각접합부는 건물의 외곽 모서리뿐만 아니라 실내에서의 벽과 벽 사이의 교차부에서도 필요하기 때문에 그린티이버월 패널이 건축현장에서 올바르게 사용되기 위해서는 패널과 패널 사이의 직각 접합부 개발이 반드시 선행되어야 한다. 이 연구에서는 패널들 사이의 직각 접합부 구성에도 앞의 길이이음 접합부의 경우와 마찬가지로 시중에서 쉽고 싸게 구입이 가능하고 현장에서 간단한 공구로 쉽게 접합이 가능한 CMN90 보통못과 지름 9mm에 길이 125mm의 래그나사못을 파스너로 사용하고자 한다.

그린티이버월 패널들 사이의 직각접합은 그림 A3-39와 같이 이루어지며 공장에서 패널을 제작하기 위하여 목재 벽널을 설치할 때에 직각접합을 하는 2개의 패널들 사이에 접합부를 구성할 수 있도록 중간 중간에 끝에서 첫 번째 및 두 번째 스테드 사이를 비워두고 제작하며 비워둔 길이에 적합한 목재 벽널 토막을 함께 만들어서 운반한다. 현장에서 이러한 패널들을 직각으로 접합하여 설치할 때에 이와 같이 비워둔 부위들 끼리 직각으로 맞대놓고 비워둔 부위에 못이나 래그나사못을 설치하여 접합을 시킨 후 목재 벽널 토막을 그 위에 덮어서 고정한다.

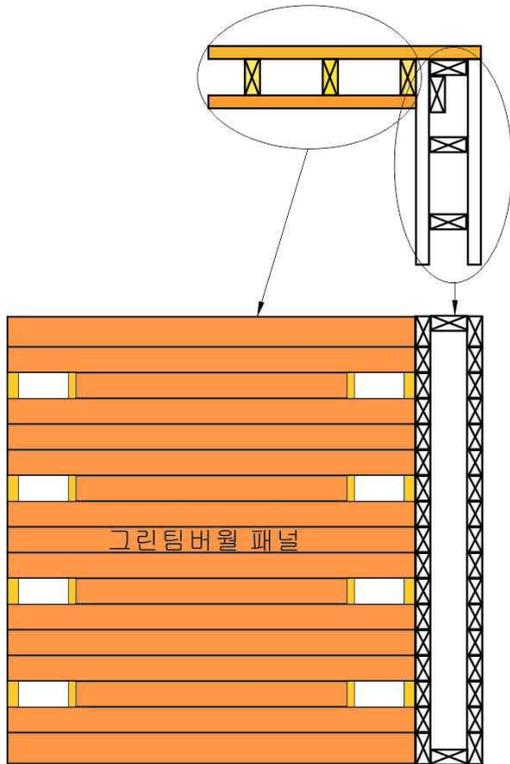


그림 A3-39 그린티ம்ப러 패널들 사이의 직각접합

그림 A3-39에서 직각접합부가 설치되는 간격은 일반적인 벽의 높이가 2,400mm이므로 600mm 간격을 적용한다면 2,400mm 높이의 벽에서 상하 양끝을 포함해서 총 5군데의 직각접합부가 설치된다. 못을 사용하는 직각접합부는 그림 A3-40에서 보는 바와 같이 한 군데에 2개씩의 못을 사용하여 접합부를 구성한다. 그림 A3-39와 같이 공장에서 길이이음 접합을 설치할 부위를 비워두고 제작된 그린티ம்ப러 패널을 현장에서 세우고 직각접합을 할 패널들을 직각으로 맞대 놓은 후 그림 A3-40에서 보는 바와 같이 한 군데에 못을 2개(N2 벽 직각접합부)씩 수평으로 박은 후에 공장에서 미리 길이이음 접합부에 딱 맞도록 제작되어 현장으로 운반된 목재벽널 토막을 설치한다. 마지막으로 길이이음 접합부를 덮기 위하여 설치하는 목재 벽널 토막은 못 머리가 작은 마감용 못이나 또는 가는 T형 타카핀을 박아서 고정한다.

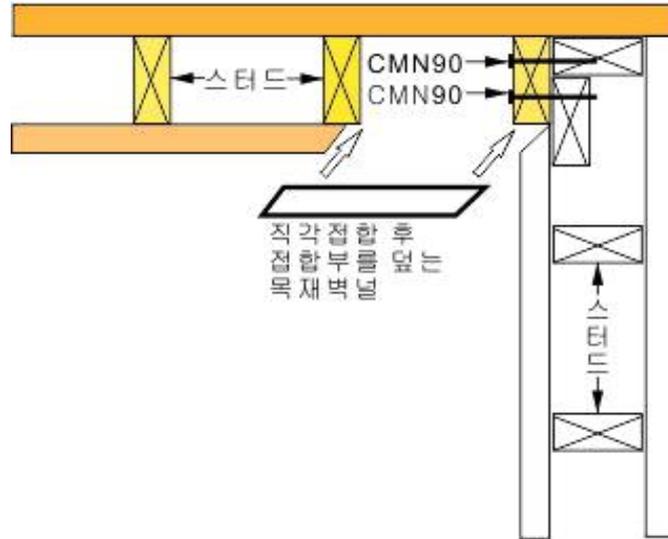


그림 A3-40 한군데에 못을 2개씩 사용하는 직각접합부(N2 벽 직각접합부)

그림 A3-41은 한 군데의 직각접합에 래그나사못 1개씩을 사용하는 래그나사못 직각접합부(LS1 벽 직각접합부)를 나타낸다. 다른 내용은 앞의 N2 벽 직각접합부와 동일하며 다만 직각접합부를 구성할 때에 CMN90 보통못 2개 대신에 래그나사못 1개를 설치한다. 래그나사못을 설치하기 위하여 래그나사못 지름의 80% 정도에 해당하는 구멍을 약 40도의 경사각으로 뚫고 이 구멍에 래그나사못을 돌려서 삽입한다. 접합부를 고정한 후 접합부를 덮도록 제작된 목재 벽널 토막을 마감용 못이나 타카핀으로 고정시킨다.

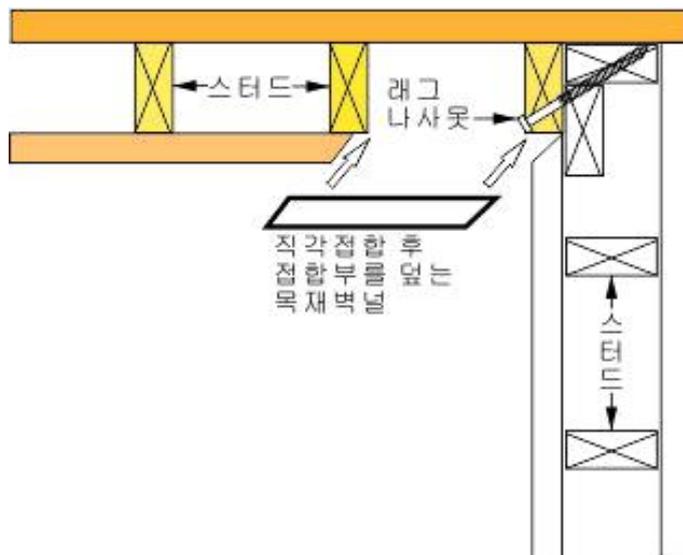


그림 A3-41 한군데에 래그나사못을 1개씩 사용하는 직각접합부(LS1 벽 직각접합부)

## (6) 그린팁버릴 패널과 바닥구조 사이의 직각접합 방법 개발

그린팁버릴 패널을 주택의 벽체로 사용하기 위해서는 벽체끼리의 길이이음 및 직각접합뿐만 아니라 건물의 상하부 바닥/천장과 직각접합도 필요하다. 1층의 벽체로 사용하기 위해서는 1층 바닥의 토대와 직각접합을 이루어야 하며 2층이나 3층의 벽체로 사용하기 위해서는 2층 또는 3층 바닥과 직각접합을 이루어야 한다. 층식 구조(platform construction)로 시공된 건축물의 경우에는 특히 층과 층 사이의 접합부가 취약하기 때문에 바닥과 벽의 직각접합부가 중요한 역할을 갖는다. 층식 구조의 건축물은 전단벽과 같은 수직격판과 바닥과 같은 수평격판의 조합으로 이루어지며 수평하중은 수직격판과 수평격판 사이에 상호 전달 및 지지하는 특성을 지닌다. 따라서 수평격판과 수직격판 사이에 수평하중의 전달 및 지지가 유기적으로 잘 이루어지지 않으면 안전하고 내구성 있는 건축물을 만들 수 없다.

풍하중은 먼저 바람 방향에 직각으로 서있는 벽에 작용하며 이 벽과 직각으로 만나는 수직격판(전단벽)이 풍하중을 전달받아서 이 수직격판과 접합되어 있는 수평격판(바닥)에 하중을 전달하고 수평격판은 다시 그 아래의 수직격판(전단벽)으로 하중을 전달하여 최종적으로 기초구조를 통하여 지반으로 분산시킴으로써 건축물이 안전하게 제 기능을 수행할 수 있게 된다. 지진하중과 같은 수평하중은 지반에 포함되어 있는 기초구조를 통하여 하중을 건축물에 전달시키며 이 하중은 1층의 수직격판(전단벽)으로 전달되고 다시 그 위층의 수평격판(바닥)을 거쳐서 상부의 수직격판과 수평격판에 분산 지지된다. 이와 같은 하중의 전달경로 상에서 수직격판(벽)과 수평격판(바닥) 사이의 직각접합이 벽의 길이 방향에 대하여 평행 또는 직각 방향으로 전단력의 영향을 받게 되며 이러한 전단력을 제대로 저항할 수 있는 직각접합부가 구성되어야 안전한 건축물이 만들어질 수 있다.

이 연구에서는 벽 패널과 바닥구조 사이의 직각 접합부 구성에도 앞의 길이이음 접합부의 경우와 마찬가지로 시중에서 쉽고 싸게 구입이 가능하고 현장에서 간단한 공구로 쉽게 접합이 가능한 CMN90 보통못과 지름 9mm에 길이 125mm의 래그나사못을 파스너로 사용하고자 한다.

그린팁버릴 패널과 바닥 사이의 직각접합은 그림 A3-42와 같이 이루어지며 공장에서 패널을 제작하기 위하여 목재 벽널을 설치할 때에 바닥과의 직각접합을 위하여 패널의 가장 아래쪽에 설치된 1~2개의 목재 벽널을 비워두고 나머지 벽널만을 설치하여 패널을 제작하고 비워둔 위치 및 길이에 적합한 목재 벽널도 미리 제작하여 현장으로 운반한다. 현장에서 바닥구조 위에 벽 패널들을 정해진 위치에 세우고 벽체의 가장 아래 쪽 비워둔 부분에서 밀갈도리를 관통하여 바닥장선에 못이나 래그나사못을 설치하여 접합을 시킨 후 목재 벽널을 그 위에 덮어서 고정한다.

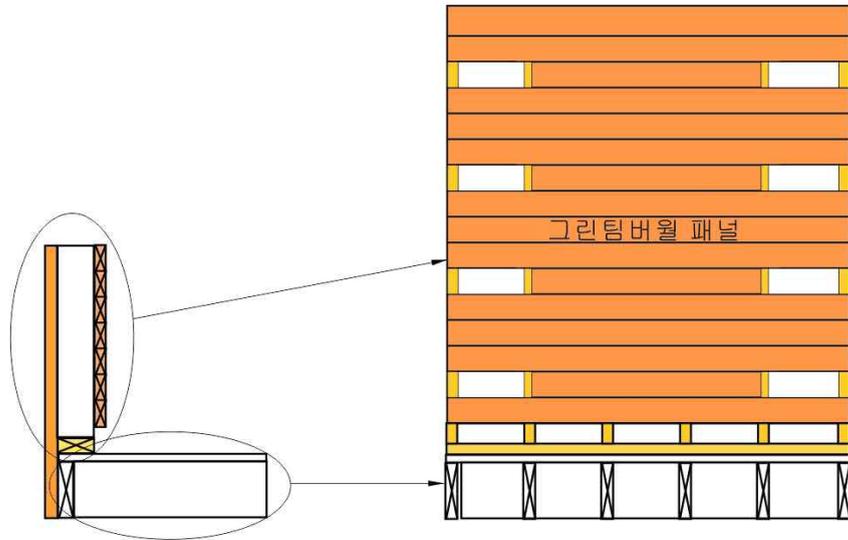


그림 A3-42 그린티ம்ப러패널과 바닥구조 사이의 직각접합

그림 A3-42에서 직각접합부가 설치되는 간격은 바닥장선의 간격과 동일하도록 한다. 못을 사용하는 바닥-벽 직각접합부는 그림 A3-43 및 A3-44에서 보는 바와 같이 한 군데에 2개의 못을 사용하는 경우와 4개씩의 못을 사용하는 경우의 2가지로 생각해 볼 수 있다. 그림 A3-42와 같이 공장에서 제일 아래쪽의 목재 벽널을 1~2개 층 비워두고 제작한 그린티ம்ப러패널을 현장에서 바닥구조 위에 바닥장선과 벽 스테드의 위치가 일치하도록 세우고 각각의 스테드마다 그림 A3-43 및 A3-44에서 보는 바와 같이 한 군데에 못을 2개(N2 바닥-벽 직각접합부) 또는 4개(N4 바닥-벽 직각접합부)씩 약  $\pm 30$ 도의 경사각으로 박은 후에 공장에서 미리 바닥-벽 직각접합부에 딱 맞도록 제작하여 현장으로 운반된 목재벽널을 설치한다. 마지막으로 바닥-벽 직각접합부를 덮기 위하여 설치하는 목재 벽널들은 못 머리가 작은 마감용 못이나 또는 가는 T형 타카핀을 박아서 고정한다.

그림 A3-43에서 보는 바와 같이 못을 한 군데에 못을 2개씩 박는 N2 바닥-벽 직각접합부의 경우에는 못 2개를 한 위치에 마주보도록 박지 않고 스테드의 한쪽면에 2개를 앞뒤로 박는다. 그림 A3-44에서 보는 바와 같이 한군데에 못을 4개씩 박는 N4 바닥-벽 직각접합부의 경우에는 못 4개를 스테드를 중심으로 2개씩 서로 마주보도록 앞뒤로 박는다.

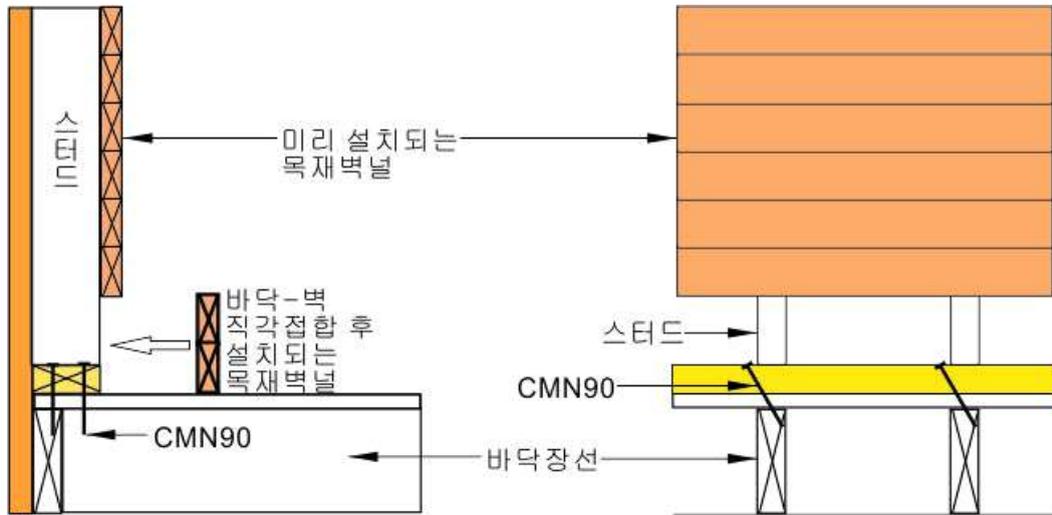


그림 A3-43 한군데에 못을 2개씩 사용하는 바닥-벽 직각접합부(N2 바닥-벽 직각접합부)

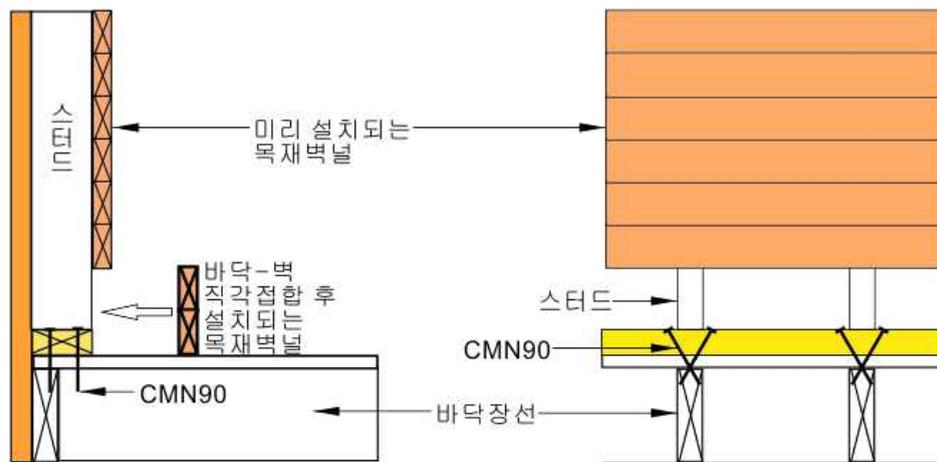


그림 A3-44 한군데에 못을 4개씩 사용하는 바닥-벽 직각접합부(N4 바닥-벽 직각접합부)

그림 A3-45는 한 군데의 바닥-벽 직각접합에 못 1개와 래그나사못 1개씩을 사용하는 바닥-벽 래그나사못 직각접합부(NILS1 바닥-벽 직각접합부)를 나타낸다. 다른 내용은 앞의 바닥-벽 못 직각접합부와 동일하며 다만 직각접합부를 구성할 때에 CMN90 보통못 1개를 보조로 사용하고 못을 박은 쪽과 같은 측면에서 래그나사못 지름의 80% 정도에 해당하는 구멍을 약 30도의 경사각으로 뚫고 이 구멍에 래그나사못을 돌려서 삽입한다. 접합부를 고정된 후 접합부를 덮도록 제작된 목재 벽널 토막을 마감용 못이나 타카핀으로 고정시킨다.

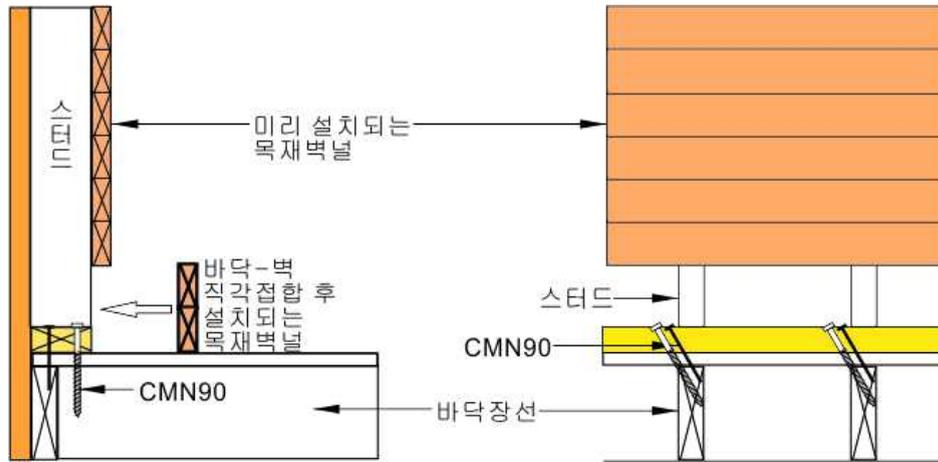


그림 A3-45 한군데에 못 1개와 래그나사못 1개씩을 사용하는 바닥-벽 래그나사못 직각  
 결합부(N1LS1 바닥-벽 직각결합부)

그림 A3-46은 한 군데의 바닥-벽 직각결합에 못 2개와 래그나사못 2개씩을 사용하는 바  
 닥-벽 래그나사못 직각결합부(N2LS2 바닥-벽 직각결합부)를 나타낸다. 다른 내용은 앞의  
 N1S1 결합부와 동일하지만 길이이음 결합부를 구성할 때에 CMN90 보통못 2개를 서로 마  
 주보도록 보조로 사용하고 못을 박은 위치에서 안쪽으로 래그나사못 지름의 80% 정도에  
 해당하는 구멍을 약 30도의 경사각으로 서로 마주보도록 1개씩 뚫고 이 구멍에 래그나사못을  
 돌려서 삽입한다. 결합부를 고정된 후 결합부를 덮도록 제작된 목재 벽널 토막을 마감용  
 못이나 타카핀으로 고정시킨다.

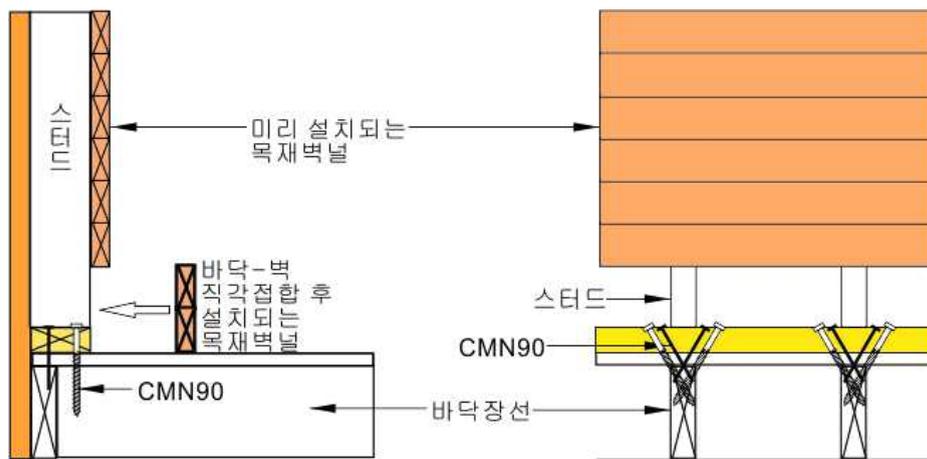


그림 A3-46 한군데에 못 2개와 래그나사못 2개씩을 사용하는 바닥-벽 래그나사못 직각  
 결합부(N2LS2 바닥-벽 직각결합부)

(7) 국산 잣나무를 이용한 그린티이버월 패널의 개발

이 연구의 1차년도에 국산 낙엽송을 이용한 그린티이버월 패널의 개발이 이루어졌고 이후에 다른 국산 수종의 사용 가능성을 평가하였다. 국산재를 그린티이버월 패널 제작을 위한 재료로 사용하기 위해서는 생산량, 구입의 용이성, 강도, 표면 품질, 색상, 무늬결 등의 여러 가지 특성들을 고려하여야 한다. 낙엽송의 경우에는 그 동안 품질, 가공, 강도 등의 측면에서 많은 연구가 이루어져 왔고 시중에서 구입이 용이하기 때문에 선택에 어려움이 없었으나 다른 수종의 경우에는 이러한 조건을 갖춘 수종을 찾기가 어려웠다. 여러 가지로 알아보던 중 여주 임산물 유통센터에서 국산 잣나무를 40mm x 150mm 제재목으로 생산하고 있다는 것을 알게 되었고 이 정도 치수면 35mm x 125mm의 목재 벽널로 가공하여도 큰 무리가 없을 것으로 판단되어 잣나무를 선택하게 되었다.

먼저 그림 A3-47에서 보는 바와 같이 함수율 19% 이하로 건조된 잣나무 40mm x 150mm 제재목을 여주 목재유통센터에서 구입한 후 대림이앤씨(주)에서 35mm 두께의 두꺼운 벽널로 형삭기를 이용하여 가공하였다.



그림 A3-47 국산 잣나무 제재목 및 잣나무 목재 벽널의 형삭 가공

잣나무는 용이가 크고 모인 용이가 많으며 용이들이 잣나무의 길이를 따라서 규칙적으로 나타나고 건조로 인한 비틀림이 발생하는 경향이 많기 때문에 벽널 가공 후에도 비틀림이 심한 것은 사용이 불가능하므로 비틀림이나 용이 등의 결점이 매우 큰 것은 사전에 선별하였다. 국산 잣나무로 가공한 두꺼운 목재 벽널을 사용하여 그린티이버월 패널을 제작하고 이 연구의 협동연구기관인 충남대학교에서 이 패널들에 대한 수평하중 및 수직하중 저항 시험을 실시하여 국산 잣나무를 사용한 그린티이버월 패널의 성능을 평가하였다.

## 제 2절 협동과제: 그린팀버월 및 그린팀버아트월 구조의 성능 평가

### 1. 1차년도 연구과제: 그린팀버월 패널의 강도 및 단열성능 평가

#### 가. 개발 내용 및 범위

세부과제에서 개발된 그린팀버월 패널에 대한 수직하중 및 수평하중저항성능과 단열성능을 평가함으로써 그린팀버월의 구조적 성능 및 에너지 절약 성능을 평가하였다.

#### 나. 시험재료

패널화 공장에서 생산된 그림 B1-1, 표 B1-1 및 표 B1-2에 주어진 바와 같은 형태의 그린팀버월 패널을 수직하중 및 수평하중저항 시험과 단열성능 시험용 시험편으로 사용하였다.

#### 다. 연구내용 및 결과

##### (1) 수직하중저항성능 시험

그린팀버월 패널의 수직하중저항성능 시험은 실제 건축물에서 그린팀버월이 3층 건물의 1층에 사용된다는 가정 하에서 상부의 2개 층으로부터 전달되는 고정하중 및 활하중과 지붕으로부터 가해지는 고정하중, 활하중 또는 적설하중을 고려한 것이다. 일반적으로 목조주택에서 아래층의 벽체에는 지붕 및 천장구조로부터 전달되는 4,500N/m의 수직하중과 상부의 1개층으로부터 가해지는 1,500N/m의 수직하중이 작용한다. 따라서 2층 주택의 1층(또는 3층 주택의 2층) 벽체는 6,000N/m의 수직하중을 지지하여야 하며 3층 주택의 1층 벽체는 7,500N/m의 수직하중을 지지하여야 한다.

그림 B1-1와 같이 시험용 그린팀버월 패널을 시험기에 수직으로 설치하고 상부에서 하중을 가하여 패널의 수직하중저항성능을 측정하였다. 이때에 상부에서 가하는 하중은 패널의 상부에 균일하게 분포하여 작용할 수 있도록 하기 위하여 시험

편의 상부에 하중블록을 설치하고 그 위에 압축하중을 가하여 하중이 시험용 패널의 상부에 골고루 분포될 수 있도록 하였다. 상부에 가해지는 하중의 분산을 위하여 상부에 여러 개의 하중점을 주어야 하며 이를 위하여 상부에 4개의 유압잭을 균일한 간격으로 설치하여 하중이 분산될 수 있도록 하였다. 하중의 속도는 하중을 가하기 시작한 후 약 5분 정도에서 시험편이 파괴될 수 있도록 조정하였다. 시험용 패널은 시험 중에 측면으로 좌굴(buckling)이 발생할 수 있으므로 시험 중에 자유롭게 좌굴이 발생할 수 있도록 시험편의 전 후면에 걸림이 없도록 설치하였다. 수직하중저항시험 중에 벽체의 변형은 시험편의 전후면의 정중앙부에 라인타입 LVDT를 1개씩 부착하여 전후면 측정값의 평균으로 시험편의 변형을 측정하였다.

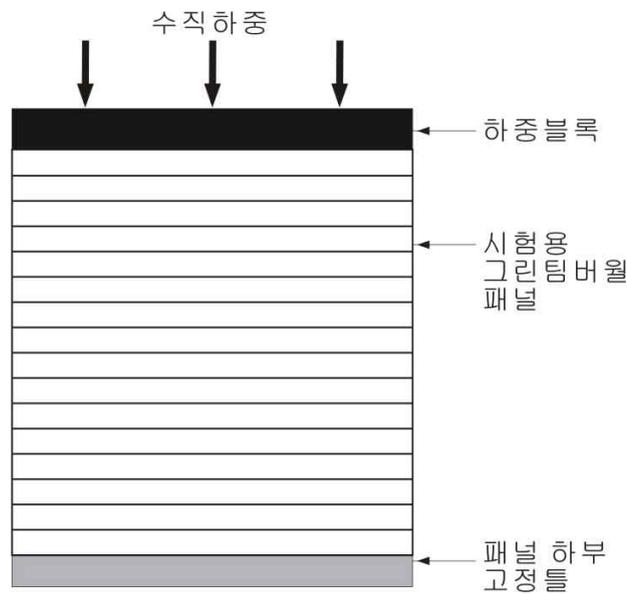


그림 B1-1. 그린티머월 패널의 수직하중저항성능 시험 방법

수직하중저항시험에 사용된 그린티머월 패널의 종류는 표 A1-1 및 A1-2에 주어진 그린티머월 패널의 종류들 중에서 표 B1-1과 같이 6가지 내벽 패널과 3가지 외벽 패널을 선정하였다.

표 B1-1 수평하중저항시험에 사용된 그린팁버릴 패널의 종류

벽체의 종류	모델번호
내벽	IN-B-4-B
	IN-B-6-B
	IN-G-4-G
	IN-GB-6-NG
	IN-GB-6-AG
	IN-GBN-6-NBG
외벽	EX-B-4-S
	EX-B-6-S
	EX-G-4-P
	EX-GN-6-FX
	EX-GBN-6-FXW

수직하중 하에서 그린팁버릴 패널의 하중-변형선도는 그림 B1-2와 같이 나타났  
다.

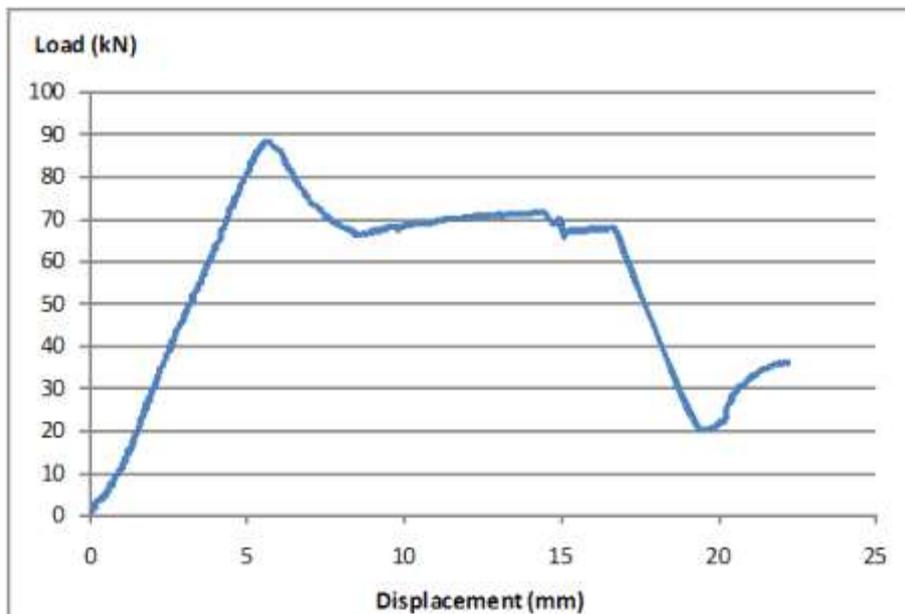


그림 B1-2. 수직하중 하에서 그린팁버릴 패널의 일반적인 하중-변형선도

그림 B1-2에서 보는 바와 같이 그린팁버릴 패널들은 수직하중 하에서 매우 작은 변형이 나타났으며 초기 직선구간(탄성영역)이 계속되다가 탄성한계와 최대하중이 거의 비슷하게 나타나는 경향을 나타내었다. 이 연구에서 수직하중저항시험을 실시한 그린팁버릴 패널들에 대한 최대하중은 표 B1-2와 같이 정리할 수 있다.

표 B1-2 그린팁버릴 패널들의 최대 수직하중저항 성능

종류	모델 번호	스터드 치수 (mm x mm)	최대하중(kN)	단위 길이 당 하중(kN/m)
외벽	EX-B-4-S	38 x 89	135.58	56.49
	EX-B-6-S	38 x 140	287.23	119.68
	EX-GN-6-FX	38 x 140	366.16	152.57
내벽	IN-B-4-B	38 x 89	135.62	56.51
	IN-B-6-B	38 x 140	227.55	94.81
	IN-G-4-G	38 x 89	88.12	36.72
	IN-GB-6-NG	38 x 140	354.7	147.79

표 B1-2에서 보면 그린팁버릴 패널의 수직하중저항성능은 사용된 스테드 부재의 단면 치수와 매우 깊은 연관이 있음을 알 수 있다. 수직하중 시험을 실시한 그린팁버릴 패널들 중에서 목재 벽널판을 38mm x 89mm 스테드의 양면에 수평방향으로 부착한 모델(IN-G-4-G)의 경우에는 예상보다 매우 낮은 수직하중저항성능을 나타내었다. 수직하중이 작용하면서 IN-G-4-G 모델의 경우에는 모든 스테드들이 동일한 방향으로 좌굴이 발생하면서 낮은 하중 하에서 파괴되었는데 목재벽널판을 앞뒷면에 동일한 수평방향으로 설치하는 방법이 패널의 강도 향상에 별로 도움이 되지 못함을 알 수 있다. 목재벽널판을 스테드의 앞뒷면에 부착하여야 하는 경우에는 앞뒷면이 서로 다른 방향(한 면은 수평, 다른 면은 수직)으로 배열될 수 있도록 설치하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

이론적으로 목재 스테드들이 전단벽에 사용되는 경우에 스테드의 좁은 측면 방향으로서는 덮개재료, 석고보드 또는 목재 벽널판이 설치됨으로써 좌굴이 방지되고 스테드의 넓은 치수 방향으로 좌굴이 일어나서 파괴되는 것으로 가정하고 구조계산을 하게 된다. 예를 들어서 Hem-fir 2등급 38mm x 89mm 스테드를 610mm 간격

으로 사용한 내력벽의 수직하중저항성능은 다음과 같이 계산된다.

KS F 3020 또는 KBC2009에 수록된 Hem-fir 2등급 구조용재에 대한 허용응력은 다음과 같다.

$$F_c = 4.5 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 9,000 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{c\perp} = 3.0 \text{ N/mm}^2$$

38mm x 89mm 부재에 대한 치수계수는  $C_F=1.15$ 이다.

$$\left(\frac{\ell_e}{d}\right)_x = \frac{1.0(2,400)}{89} = 26.97$$

$$E' = E(C_M)(C_t)(C_T)(C_i) = 9,000(1.0)(1.0)(1.0)(1.0) = 9,000 \text{ N/mm}^2$$

$$K_{cE} = 0.3$$

$$c = 0.8$$

$$F_{cE} = \frac{K_{cE}E'}{[(\ell_e/d)_x]^2} = \frac{0.3(9,000)}{26.97^2} = 3,712 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c^* = F_c(C_D)(C_M)(C_t)(C_T)(C_F)(C_i) = 4.5(1.0)(1.0)(1.0)(1.0)(1.15)(1.0) = 5.175 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{F_{cE}}{F_c^*} = \frac{3,712}{5.175} = 0.717$$

$$\frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} = \frac{1 + 0.717}{2(0.8)} = 1.073$$

$$C_P = \frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c}\right)^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c}} = 1.073 - \sqrt{(1.073)^2 - \frac{0.717}{0.8}} = 0.568$$

$$F_c' = F_c^*(C_P) = 5.175(0.568) = 2.939 \text{ N/mm}^2$$

$$1\text{개의 스테드}에\ \text{대한}\ \text{허용압축하중} : P = F_c' A = 2.939(38 \times 89) = 9,940 \text{ N} = 9.94 \text{ kN}$$

지압(섬유직각방향 압축)에 대한 계: 지압면적계수는 1.0으로 본다.

$$C_b = 1.0$$

$$F_{c\perp}' = F_{c\perp}(C_M)(C_t)(C_T) = 3.0(1.0)(1.0)(1.0) = 3.0 \text{ N/mm}^2$$

$$1\text{개의 스테드}에\ \text{대한}\ \text{허용응력} : P = F_{c\perp}' = 3.0 \times (38 \times 89) = 10,146 \text{ N} = 10.146 \text{ kN}$$

따라서 스테드 1개의 허용압축하중:  $P_{allow} = 9.94 \text{ kN}$

길이 2.4m의 전단벽에 사용된 스테드의 수: 5

※ 38mm x 89mm 스테드를 610mm 간격으로 사용한 2.4m x 2.4m 크기의  
패널에 대한 허용압축하중 = 49.7kN

38mm x 140mm 부재를 스테드로 사용한 패널의 경우에는 다음과 같이 계산될  
수 있다.

38mm x 140mm 부재에 대한 치수계수는  $C_F=1.1$ 이다.

$$\left(\frac{\ell_e}{d}\right)_x = \frac{1.0(2,400)}{140} = 17.143$$

$$E' = E(C_M)(C_t)(C_T)(C_i) = 9,000(1.0)(1.0)(1.0)(1.0) = 9,000 N/mm^2$$

$$K_{cE} = 0.3$$

$$c = 0.8$$

$$F_{cE} = \frac{K_{cE}E'}{[(\ell_e/d)_x]^2} = \frac{0.3(9,000)}{17.143^2} = 9.187 N/mm^2$$

$$F_c^* = F_c(C_D)(C_M)(C_t)(C_T)(C_F)(C_i) = 4.5(1.0)(1.0)(1.0)(1.0)(1.1)(1.0) = 4.95 N/mm^2$$

$$\frac{F_{cE}}{F_c^*} = \frac{9.187}{4.95} = 1.856$$

$$\frac{1+F_{cE}/F_c^*}{2c} = \frac{1+1.856}{2(0.8)} = 1.785$$

$$C_P = \frac{1+F_{cE}/F_c^*}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1+F_{cE}/F_c^*}{2c}\right)^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c}} = 1.785 - \sqrt{(1.785)^2 - \frac{1.856}{0.8}} = 0.854$$

$$F_c' = F_c^*(C_P) = 4.95(0.854) = 4.227 N/mm^2$$

$$1개의 스테드에 대한 허용압축하중: P = F_c'A = 4.227(38 \times 89) = 14,295 N = 14.295 kN$$

지압(섬유직각방향 압축)에 대한 계산: 지압면적계수는 1.0으로 본다.

$$C_b = 1.0$$

$$F_{c\perp}' = F_{c\perp}(C_M)(C_t)(C_T) = 3.0(1.0)(1.0)(1.0) = 3.0 N/mm^2$$

$$1개의 스테드에 대한 허용응력: P = F_{c\perp}' = 3.0 \times (38 \times 140) = 15,960 N = 15.96 kN$$

따라서 스테드 1개의 허용압축하중:  $P_{allow} = 14.295 kN$

길이 2.4m의 전단벽에 사용된 스테드의 수: 5

※ 38mm x 140mm 스테드를 610mm 간격으로 사용한 2.4m x 2.4m 크기의  
패널에 대한 허용압축하중 = 71.475kN

위의 전단벽에 대한 수직하중저항성능의 이론적인 계산결과와 표 B1-2의 시험 결과를 비교해 보면 가장 낮은 값을 나타내었던 IN-G-4-G 패널도 이론적인 계산 결과의 약 1.8에 해당하는 압축하중을 견딜 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에서 개발된 그린팀버월 패널들은 수직하중 저항능력에 있어서 안전하게 3층 건물의 1층 내력벽에도 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

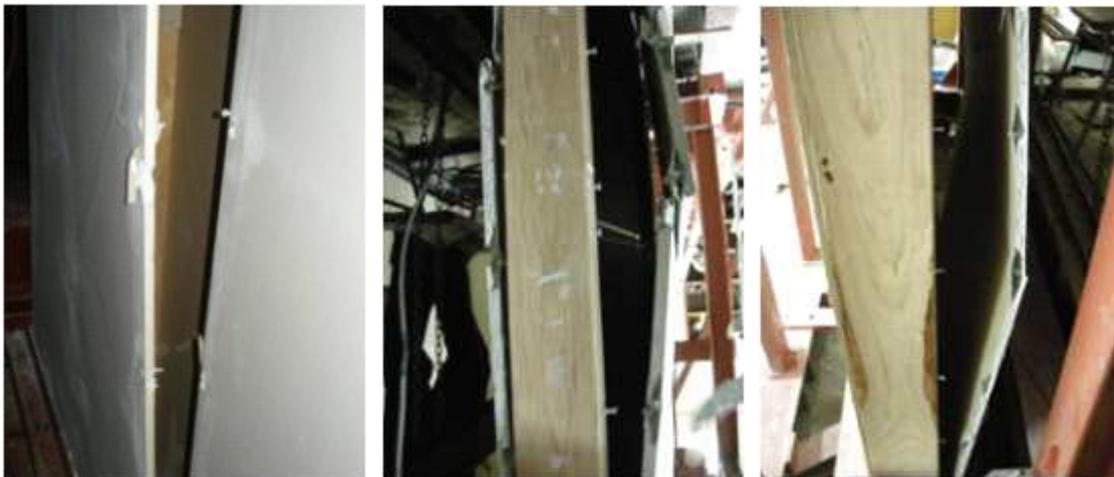
IN-G-4-G 패널은 수직하중 하에서 그림 B1-3과 같이 모든 스테드들이 좁은 측면 방향으로 좌굴되면서 인접한 목재 벽널판들이 서로 어긋나면서 전단변형을 일으키고 스테드가 부러지면서 파괴되는 형태를 보여주었다. 그림 B1-3에서 보는 바와 같이 스테드의 전후면에 모두 목재 벽널판을 수평방향으로 동일하게 부착하는 경우에는 벽널판 사이에 쉽게 전단변형이 발생하여 스테드의 좁은 방향으로의 좌굴에 저항력을 제공하지 못하기 때문에 최대압축하중이 낮은 것으로 판단된다. 따라서 동일한 구성이지만 한쪽 면의 벽널판은 수평으로 고정하고 반대면의 벽널판은 수직으로 고정한다면 벽널판 사이에 서로 전단변형에 저항하는 힘을 제공하고 스테드의 좌굴을 방지하는 효과를 나타냄으로써 수직하중저항성능을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 다만 벽널을 수직으로 배치하는 경우에 윗깔도리와 밑깔도리 사이에 중간에 못을 박을 수 있는 받침이 없기 때문에 전체 높이의 1/3 및 2/3 부분에 스테드 사이에 버팀대를 설치하고 이 부분에 못을 박아서 수직으로 설치되는 벽널판을 고정할 필요가 있다.

스테드 위에 석고보드가 부착된 패널들은 그림 B1-4에서 보는 바와 같이 스테드에 좌굴이 발생하면서 석고보드가 스테드로부터 이탈되어 파괴되는 형태를 나타내었다. 석고보드는 표면에 부착된 종이에 나사못 머리가 걸리면서 하중에 대한 저항력을 나타내는데 어느 순간 표면 종이가 찢어지면서 나사못이 석고보드를 관통하고 순간적으로 하중이 떨어지는 현상을 나타내었다.



a) 스테드의 좌굴과 목재 벽널판의 전단변형 b) 스테드의 좌굴에 의한 파괴

그림 B1-3. 수직하중 하에서 IN-G-4-G 패널의 파괴 형태



a) IN-B-6-B의 파괴 b) IN-B-4-B의 파괴 c) EX-B-6-S의 파괴

그림 B1-4. 석고보드가 부착된 패널 모델에서 석고보드의 이탈로 인한 파괴형태

그림 B1-5는 내단열 또는 외단열이 설치된 패널의 경우에 내단열층이나 외단열층을 구성하기 위하여 스테드의 바깥쪽에 수평방향으로 설치되는 버팀대의 파괴에 의한 패널의 파괴형태를 보여주고 있다.

벽널판이 수직으로 설치된 패널의 경우에는 벽널판이 수직방향으로 압축하중을 받으면서 그림 B1-6과 같이 벽널판의 갈라짐으로 인한 파괴가 나타나기도 하였다.



a) EX-GN-6-BX의 버팀대 파괴



b) IN-GB-6-NG의 버팀대 파괴

그림 B1-5. 내단열층이나 외단열층이 설치된 패널에서 버팀대의 파괴 형태



a) 벽널판이 수직으로 설치된  
IN-GB-6-NG 패널



b) 벽널판의 갈라짐 파괴

그림 B1-6. 벽널판이 수직으로 설치된 패널에서 벽널판의 갈라짐으로 인한 파괴 형태

(2) 수평하중저항성능 시험

그림팀버월 패널의 수평하중저항성능 시험은 실제 건축물에서 작용하는 풍하중 및 지진하중에 대한 저항능력을 측정하기 위한 것이다. 풍하중이나 지진하중은 건

축물에 지면과 평행한 방향의 수평하중을 작용시키며 이러한 수평하중을 그림 B1-7 및 B1-8에서 보는 바와 같이 하중 방향과 평행한 벽체에 전단하중으로 작용하게 된다. 따라서 건축물에서 풍하중이나 지진하중과 같은 수평하중에 대한 저항력을 제공하기 위해서는 벽을 구성하는 패널의 면전단강도가 매우 중요한 역할을 담당하게 된다.

패널의 수평하중저항시험 방법은 KS F 2154(경골목조 전단벽의 전단시험방법)에 따라서 그림 B1-9과 같이 시험용 패널을 시험기에 수직으로 설치하고 상부에서 수평방향으로 반복하중을 가하여 패널의 하중지지능력을 측정하였다. 시험용 패널에는 3층 건물의 1층 전단벽에 대하여 전단벽 상부로부터 전달되는 수직 압축하중을 가정하여 7,500N/m의 수직하중(2.4m 길이의 시험편에 대하여 총 20kN의 압축하중)이 패널 윗면에 골고루 분포되도록 가하면서 수평하중저항시험을 실시하였다. 패널에 가해지는 수평하중은 패널의 상부에서 전단벽의 길이를 따라서 균일하게 분포하여 작용하도록 하중블록을 설치하고 하중블록을 통하여 반복수평하중을 가하였다. 하중은 그림 B1-10 및 B1-11과 같이 단순 증가하중과 각 하중 단계별로 3반복으로 구성된 여러 단계의 준정적 반복하중을 가하며 하중의 속도는 하중을 가하기 시작한 후 약 10분 정도에서 시험편이 파괴될 수 있도록 조정하였다.

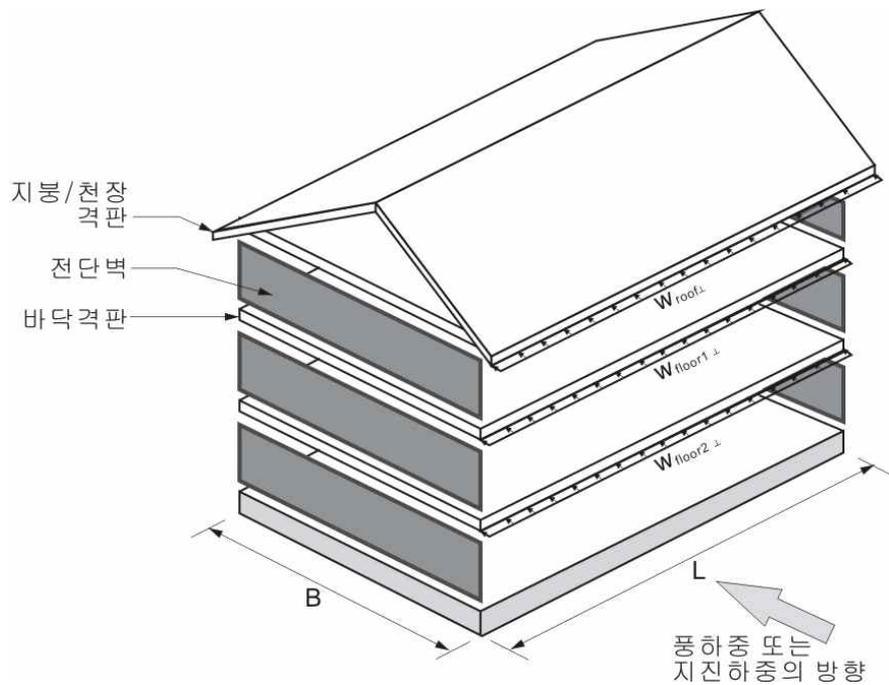


그림 B1-7. 지붕마루에 수직인 방향의 수평하중에 대한 벽체의 저항

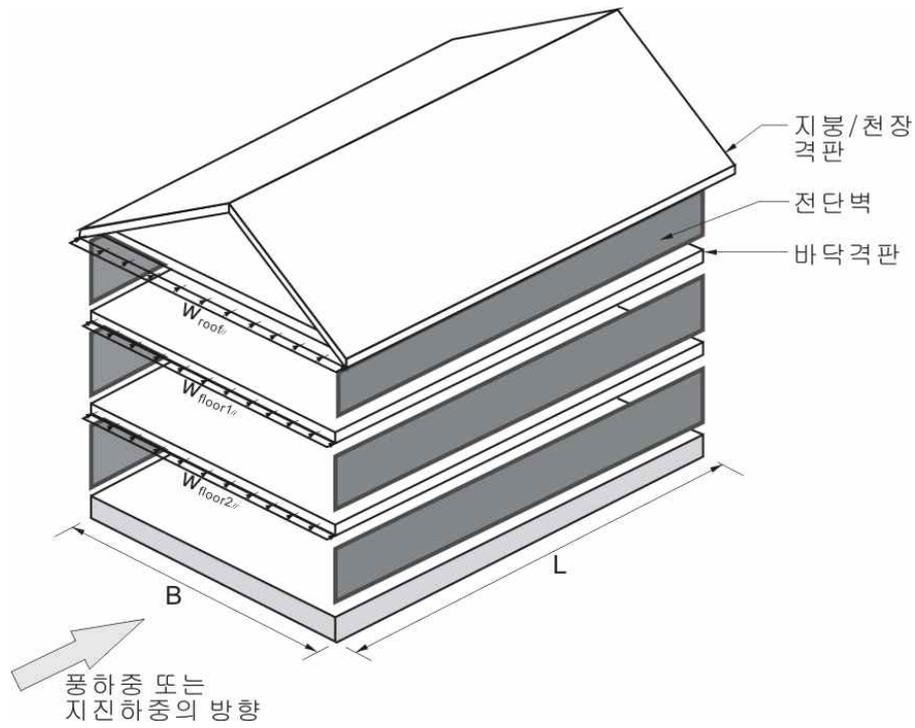


그림 B1-8. 지붕마루에 평행한 방향의 수평하중에 대한 벽체의 저항

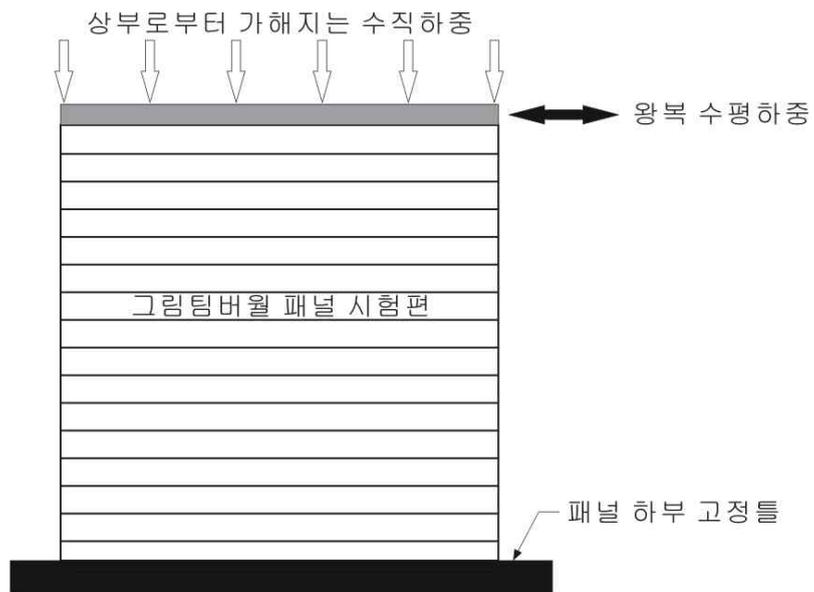


그림 B1-9. 그린티이버널 패널의 수평하중저항성능 시험 방법

단순증가 수평하중 시험은 그림 B1-10에 주어진 바와 같이 본격적인 시험에 앞서서 시험편이 시험장치에 적당하게 안착될 수 있도록 총 예상 변위량( $D_{max} = 30\text{mm}$ )의 10%( $D_{0.1} = 3\text{mm}$ )에 해당하는 하중을 가한 후 다시 하중을 제거하였다가 최종 파괴 시까지 하중을 증가시켰다. 전체적인 하중 시간은 최초 하중을 가한 후 약 5~10분 안에 시험편이 파괴 될 수 있도록 하중 증가 속도를 조절하였다.

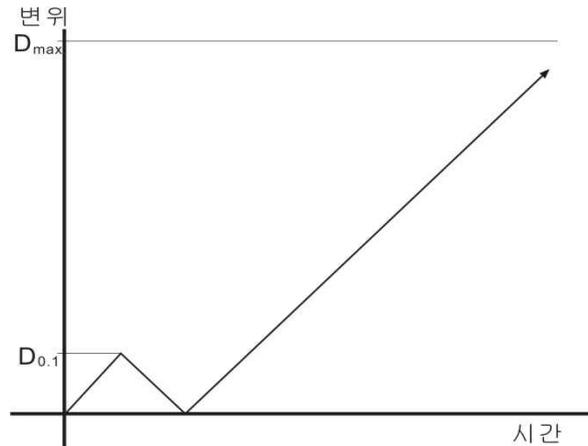


그림 B1-10. 단순증가 수평하중저항시험에 사용된 하중함수

반복하중 하에서의 시험은 실제 건축물에 작용하는 수평하중이 단순증가 하중보다는 반복하중에 가까우며 하중의 크기가 좌우로 반복되며 증가되는 형태이기 때문에 가능하면 실제 상황에 근접하도록 시험을 실시하기 위한 목적으로 그림 B1-11에 주어진 바와 같은 반복 수평하중 하에서의 시험을 실시하였다. 하중은 1mm, 3mm, 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 30mm의 단계로 변위를 증가시키면서 가하였으며 각각의 하중단계는 3반복으로 구성하였다. 30mm의 변위 이후에는 10mm 단위로 변위를 증가시키면서 시험편이 파괴될 때까지 수평하중저항시험을 실시하였으며 시험 중에 하중과 시험편 상부와 중간 지점에서의 변위를 기록하였다.

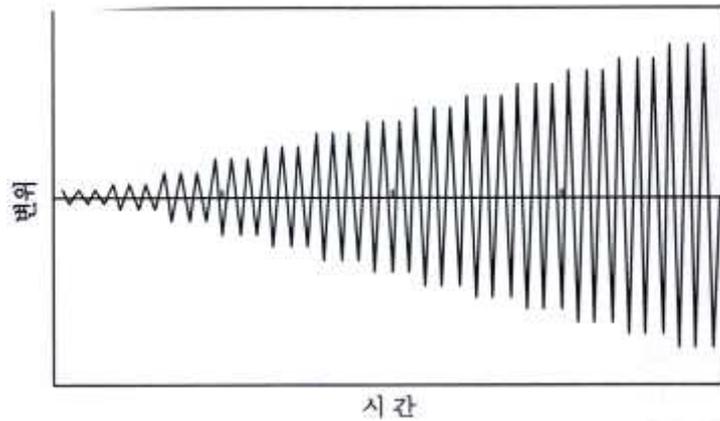


그림 B1-11. 반복 수평하중저항시험에 사용된 반복하중 함수

수평하중저항시험으로부터 얻어진 하중-변위선도로부터 식 (B1-1)에 의하여 최대전단내력을 계산하였다. 시험편의 파괴 시까지 또는 변형이 50mm가 될 때까지 하중을 가하면서 변위를 측정하고 변위 50mm 이전에 최대하중에 도달한 경우에는 그 값을 최대하중으로 하고 그렇지 않은 경우에는 50mm 변위에서의 하중을 최대하중으로 하여 최대전단내력( $S_u$ )을 계산하였다.

$$\frac{P_u}{B} \text{ ----- (B1-1)}$$

여기서  $S_u$  : 최대전단내력 (N/m)

$P_u$  : 최대하중 또는 변위 50mm에서의 하중 (N)

$B$  : 전단벽의 나비 (m)

시험편의 전단강성계수( $G$ )는 식 (B1-2)에 의하여 계산하였다.

$$G = \frac{P}{\delta} \times \frac{H}{B} \text{ ----- (B1-2)}$$

여기서  $G$  : 전단강성계수(N/mm)

$P$  : 하중(N) - 최대하중의 1/3 즉  $P = P_u / 3$

$H$  : 전단벽의 높이(m)

$B$  : 전단벽의 나비(m)

$\delta$  : 하중 P에서의 변위 (mm)

식 (B1-1)과 (B1-2)에 의하여 계산되는 최대전단내력과 전단강성계수는 1번 째, 2번 째 및 3번 째 반복하중 하에서 압축영역과 인장영역에서 각각 값을 계산한 후

두 값의 평균을 각 반복하중 하에서의 최대전단내력과 전단강성계수로 결정하였다.

수평하중저항시험에 사용된 그린팁버릴 패널의 종류는 표 A1-1 및 A1-2에 주어진 그린팁버릴 패널의 종류들 중에서 표 B1-3과 같이 6가지 내벽 패널과 3가지 외벽 패널을 선정하였다.

표 B1-3 수평하중저항시험에 사용된 그린팁버릴 패널의 종류

벽체의 종류	모델번호
내벽	IN-B-4-B
	IN-B-6-B
	IN-G-4-G
	IN-GB-6-NG
	IN-GB-6-AG
	IN-GBN-6-NBG
외벽	EX-B-4-S
	EX-B-6-S
	EX-G-4-P
	EX-GN-6-FX
	EX-GBN-6-FXW

(가) 그린팁버릴 패널 EX-B-4-S의 수평하중저항성능

EX-B-4-S 패널의 수평하중저항시험은 그림 B1-12와 같이 실시하였다.



그림 B1-12. 패널 EX-B-4-S의 수평하중저항시험

패널 EX-B-4-S의 수평하중저항시험 결과 얻어진 하중-변위선도는 그림 B1-13과 같다.

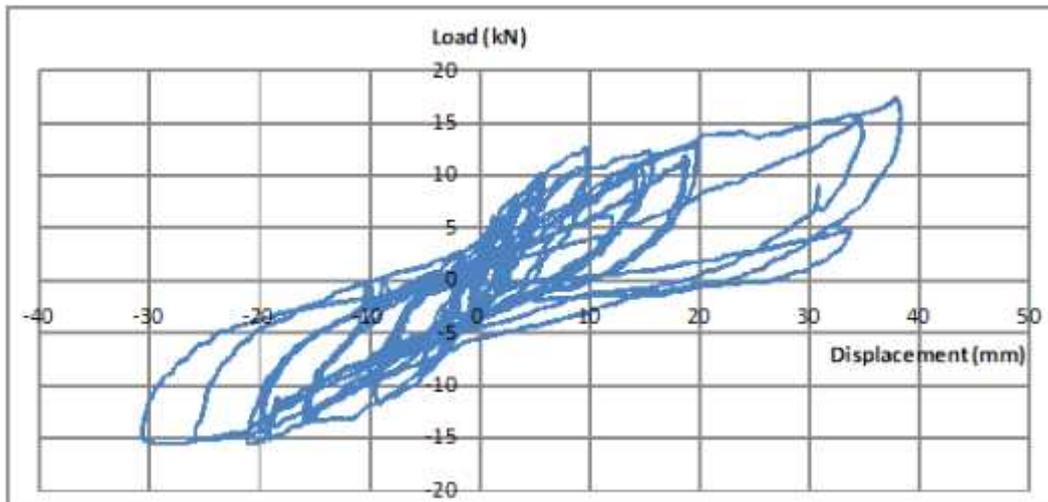


그림 B1-13. 반복수평하중 하에서 패널 EX-B-4-S의 하중-변위선도

반복하중 하에서의 수평하중저항시험에서 각각의 하중단계에서 첫 번째 반복하중 하에서의 하중과 변위를 연결한 곡선을 1차특성곡선(1st envelope curve) 또는 초기특성곡선(initial envelope curve)라 하고 3번째 반복하중 하에서의 하중과 변위를 연결한 곡선을 3차특성곡선(3rd envelope curve) 또는 안정특성곡선(stabilized envelope curve)이라고 하며 2번째 반복하중 하에서의 하중과 변위를 연결한 곡선

을 특성곡선(envelope curve)이라고 하며 해당 시험편의 하중-변위 특성을 나타내는 곡선으로 간주한다.

그림 B1-13에 주어진 EX-B-4-S 패널에 대한 특성곡선을 구하면 그림 B1-14와 같다.

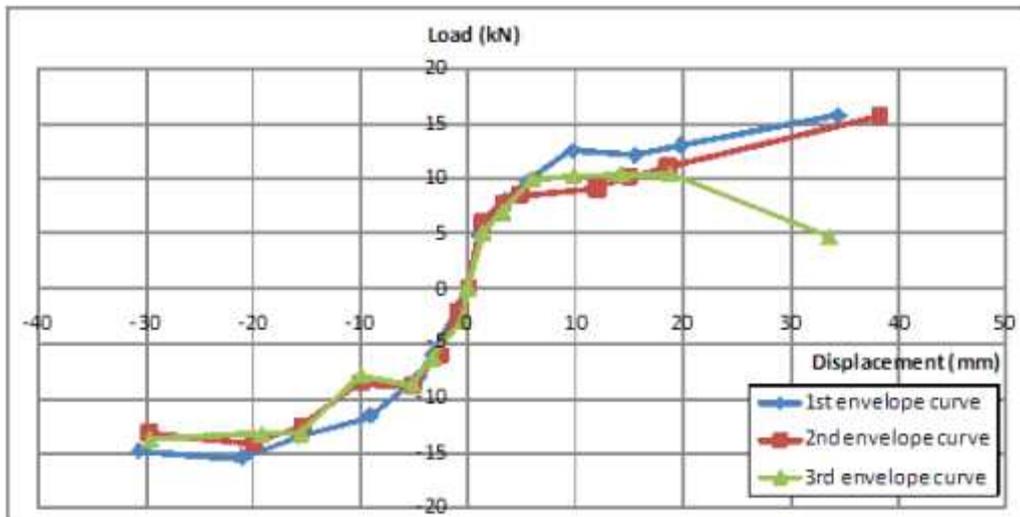


그림 B1-14. 반복수평하중 하에서 패널 EX-B-4-S의 특성곡선

(나) 그린티이버월 패널 EX-B-6-S의 수평하중저항성능

EX-B-6-S 패널의 수평하중저항시험은 그림 B1-15와 같이 실시하였으며 시험으로부터 그림 B1-16과 같은 하중-변위선도를 얻을 수 있었다.



그림 B1-15. EX-B-6-S 패널의 수평하중저항시험

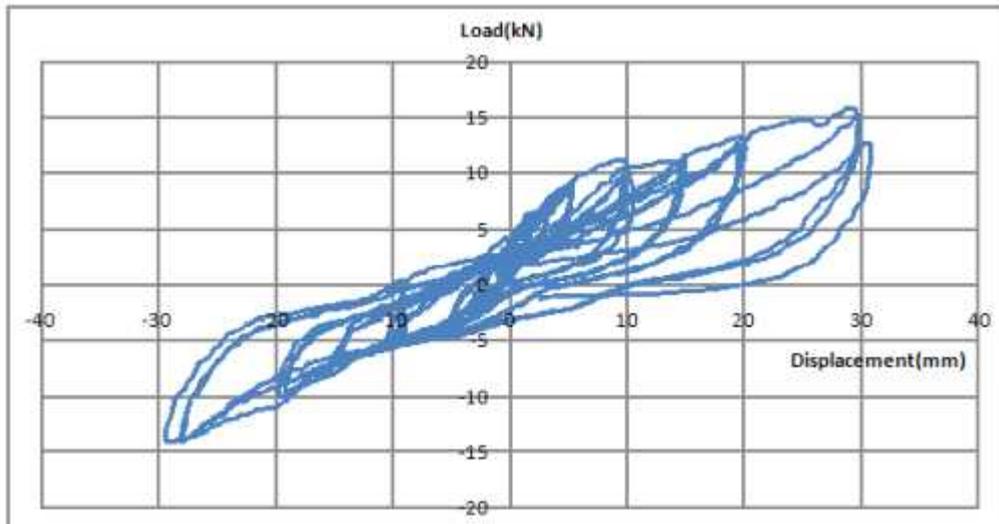


그림 B1-16. 반복수평하중 하에서 EX-B-6-S 패널의 하중-변위선도

그림B1-13은 38mmx89mm 스테르드가 사용된 패널이며 그림 B1-16은 38mmx 140mm 스테르드가 사용된 패널로써 다른 구성은 동일하다. 그림 B1-13과 B1-16을 비교해 보면 그래프에 의하여 감싸여져 있는 면적이 패널의 전단운동에 의한 에너지 감쇄를 나타내는데 그림 B1-13의 면적이 그림 B1-16보다 큰 것으로 나타나서 시험 중에 많은 에너지의 감쇄가 발생하고 있음을 알 수 있다. 그림 B1-16에서 구한 EX-B-6-S 패널의 특성곡선은 그림 B1-17과 같다.

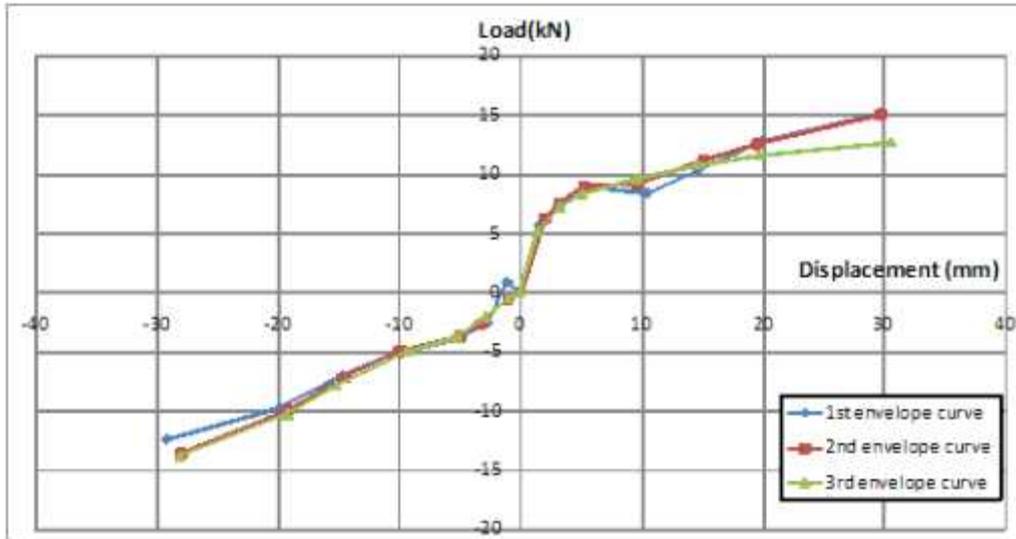


그림 B1-17. 반복수평하중 하에서 패널 EX-B-6-S의 특성곡선

그림 B1-14과 B1-17을 비교해 보면 EX-B-4-S 패널에서는 약 20mm 정도의 전단변형에서 최대강도를 나타내었으나 EX-B-6-S 패널에서는 30mm 정도의 전단변형에서 최대강도를 나타내어 하중에 대한 저항력이 더 우수함을 알 수 있다.

(라) 그린팁버릴 패널 EX-GN-6-FX의 수평하중저항성능

EX-B-6-S 패널의 수평하중저항시험은 그림 B1-18과 같이 실시하였으며 시험으로부터 그림 B1-19와 같은 하중-변위선도를 얻을 수 있었다.



그림 B1-18. EX-GN-6-FX 패널의 수평하중저항시험

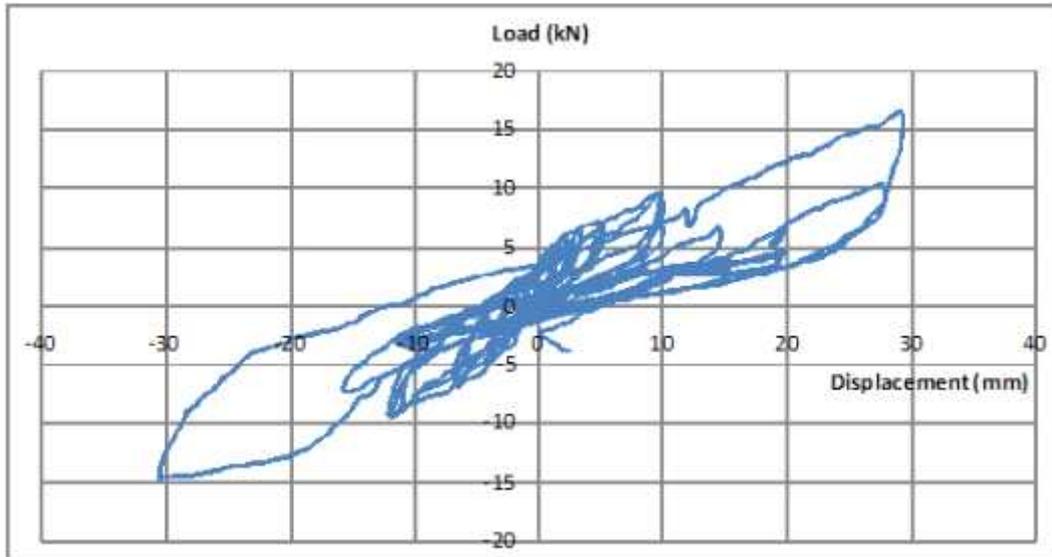


그림 B1-19. 반복수평하중 하에서 패널 EX-GN-6-FX의 하중-변위선도

그림 B1-19에서 구한 EX-GN-6-FX 패널의 측성 곡선은 그림 B1-20과 같다. 그림 B1-19 및 B1-20에서 보면 EX-GN-6-FX 패널은 약 10mm의 전단변형에서 초기 최대값을 나타내고 이후 약간 하중이 감소하다가 전단변형 30mm 정도에서 다시 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 10mm의 전단변형에서 버팀대의 끝 부분에 박힌 못의 전단변형에 의하여 버팀대가 갈라지면서 발생하는 것으로 판단된다. 그 후에 변형이 증가되면서 나머지 못접합부들이 제 자리를 잡고 그로 인하여 다시 하중이 증가하는 경향을 나타낸 것으로 보인다. 그러나 이미 10mm 전도의 전단변형에서 1차 파괴가 되었기 때문에 이후에 하중이 증가하는 현상은 실제 사용하는 용도에서는 크게 의미가 없는 것으로 판단된다.

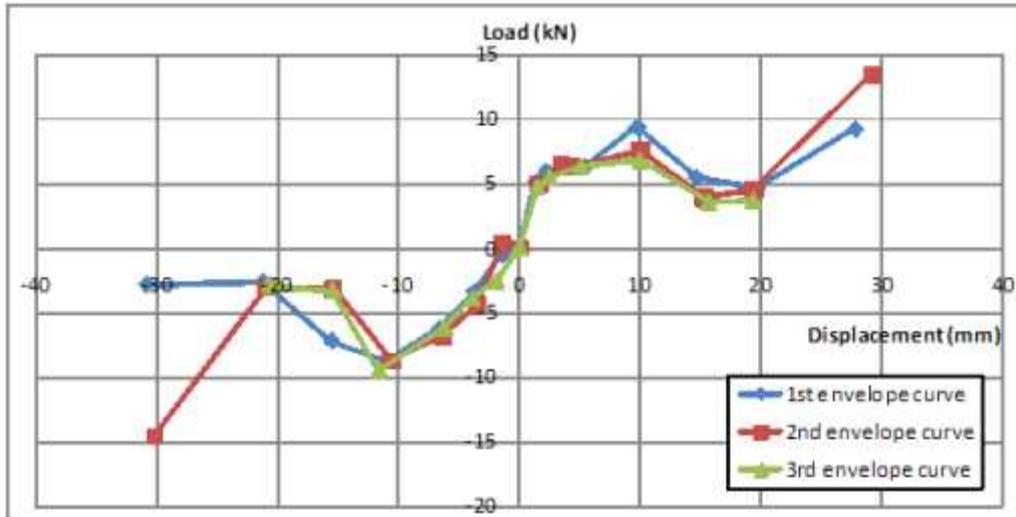


그림 B1-20. 반복수평하중 하에서 패널 EX-GN-6-FX의 특성곡선

(마) 그린팁버릴 패널 IN-B-4-B의 수평하중저항성능

IN-B-4-B 패널의 수평하중저항시험은 그림 B1-21과 같이 실시하였으며 시험으로부터 그림 B1-22와 같은 하중-변위선도를 얻을 수 있었다.



그림 B1-21. IN-B-4-B 패널의 수평하중저항시험

그림 B1-22에서 보면 IN-B-4-B 패널도 하중-변위선도의 내부 면적이 비교적 큰 것으로 보아 시험 중에 부재의 변위와 상호 마찰로 인한 에너지 감쇠가 비교적 크게 발생하는 것으로 판단된다. 다른 석고보드가 부착된 패널들과 마찬가지로 초기 강성을 높였으나 5mm 이내의 작은 변형에서 최대강도를 나타내고 이후 석고보

드의 표면 종이 가 못에 의하여 관통되면서 강도가 감소하는 현상을 나타내었다.

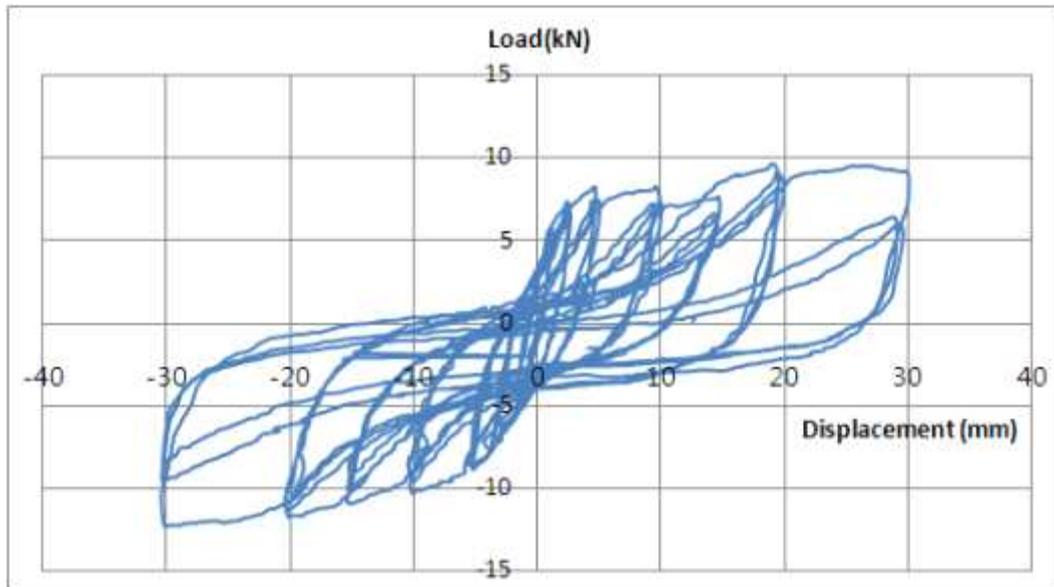


그림 B1-22. 반복수평하중 하에서 패널 IN-B-4-B의 하중-변위선도

그림 B1-22에서 구한 IN-B-4-B 패널의 특성곡선은 그림 B1-23과 같다.

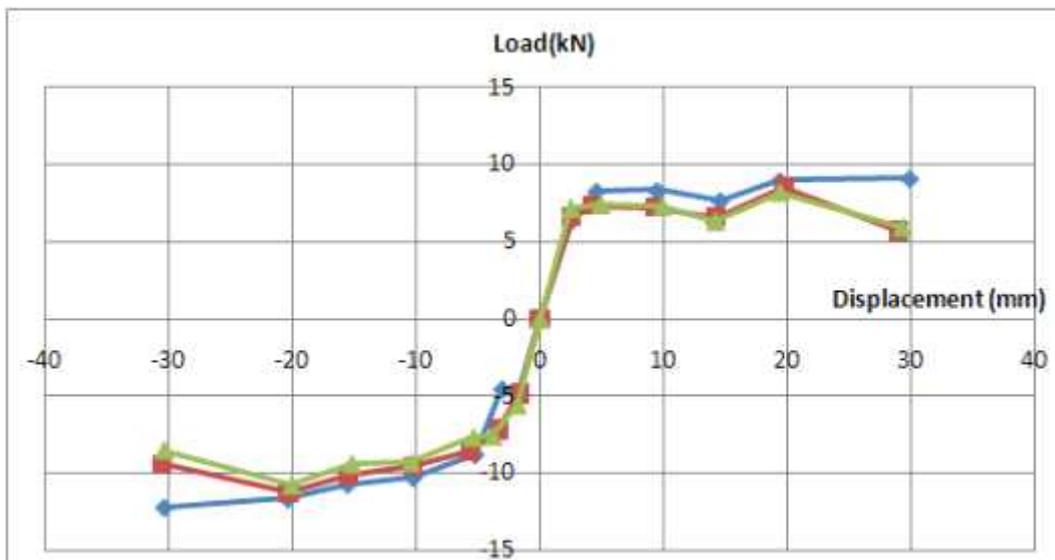


그림 B1-23. 반복수평하중 하에서 패널 IN-B-4-B의 특성곡선

그림 B1-22에서 관찰되었던 초기 강성과 이후의 강도 감소는 그림 B1-23의 특성곡선으로부터도 관찰할 수 있다.

(바) 그림팀버월 패널 IN-B-6-B의 수평하중저항성능

IN-B-6-B 패널의 수평하중저항시험은 그림 B1-24와 같이 실시하였으며 시험으로부터 그림 B1-25와 같은 하중-변위선도를 얻을 수 있었다.



그림 B1-24. IN-B-6-B 패널의 수평하중저항시험

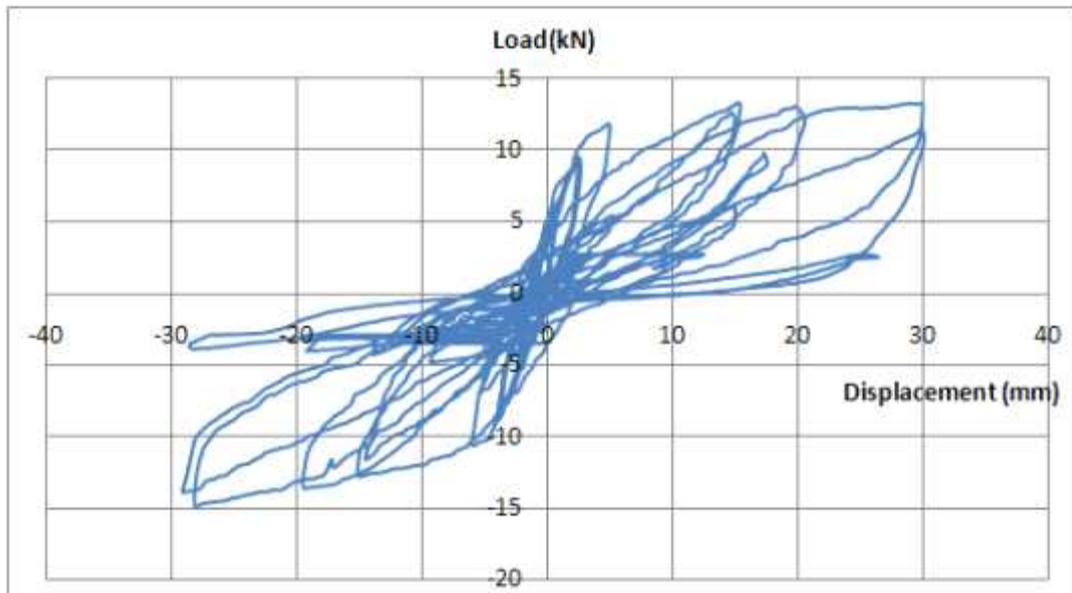


그림 B1-25. 반복수평하중 하에서 패널 IN-B-6-B의 하중-변위선도

그림 B1-25에서 보면 IN-B-6-B 패널의 경우에는 석고보드의 표면 종이 초기에 못에 의하여 관통되고 끝부분의 석고보드가 깨지면서 강성과 강도를 급격하게 잃어버리는 현상을 나타내고 있다. 그림 B1-25로부터 구한 IN-B-6-B 패널의 특성곡선은 그림 B1-26과 같다. 그림 70의 특성곡선을 보면 석고보드의 측면이 깨짐으로써 강성과 강도가 매우 불규칙하게 변화하는 형태를 관찰할 수 있다.

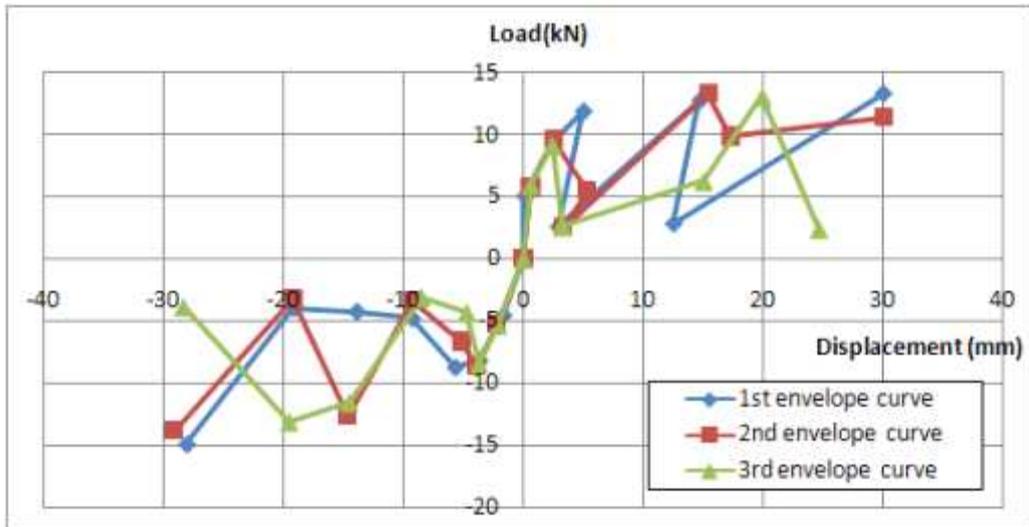


그림 B1-26. 반복수평하중 하에서 패널 IN-B-6-B의 특성곡선

(사) 그린팁버널 패널 IN-G-4-G의 수평하중저항성능

IN-G-4-G 패널의 수평하중저항시험은 그림 B1-27과 같이 실시하였으며 시험으로부터 그림 B1-28과 같은 하중-변위선도를 얻을 수 있었다.



그림 B1-27. IN-G-4-G 패널의 수평하중저항시험

그림 B1-27에서 보면 IN-G-4-G 패널의 수평하중저항력이 생각보다 매우 낮음을 알 수 있다. 이는 앞의 수직하중저항시험에서와 마찬가지로 스테드 전후면의 목재 벽널판이 동일하게 수평으로 배치됨으로써 벽널 상호간에 전단변형이 쉽게 일어나고 이로 인하여 스테드의 좌굴을 방지하는 저항력을 제대로 제공하지 못한 때문으로 판단된다. 따라서 스테드의 양면에 목재벽널판을 설치하는 패널의 경우에 전단저항을 증가시키기 위해서도 스테드 양면의 벽널 설치 방향을 상호 직각으로 어긋나도록 한 면은 수평 다른 면은 수직으로 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

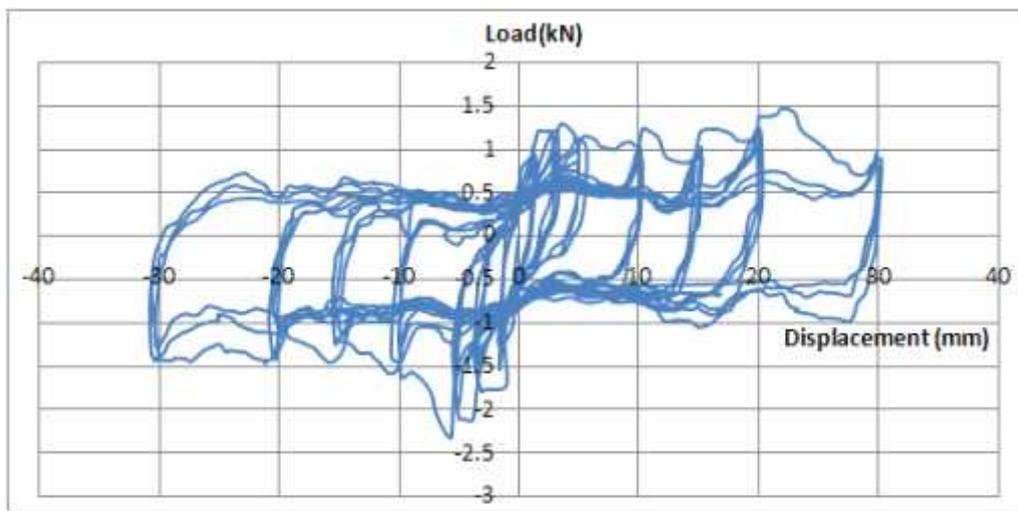


그림 B1-28. 반복수평하중 하에서 패널 IN-G-4-G의 하중-변위선도

그림 B1-28로부터 구한 IN-G-4-G 패널의 특성곡선은 그림 B1-29와 같다. 그림 B1-29에서 보면 초기에는 강성이 제법 높지만 3~5mm의 변형에서 목재벽널판 사이가 서로 미끄러지면서 전단변형이 발생하고 강성과 강도가 급격하게 떨어지는 현상을 보이고 있다.

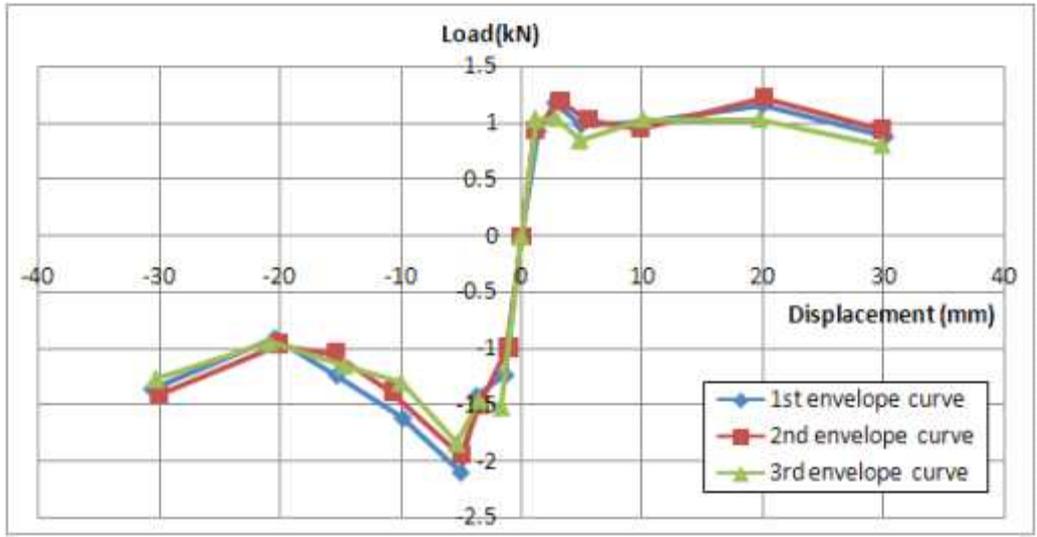


그림 B1-29. 반복수평하중 하에서 패널 IN-G-4-G의 특성곡선

(아) 그린팁버월 패널 IN-GB-6-NG의 수평하중저항성능

IN-GB-6-NG 패널의 수평하중저항시험은 그림 B1-30과 같이 실시하였으며 시험으로부터 그림 B1-31과 같은 하중-변위선도를 얻을 수 있었다.



그림 B1-30. IN-GB-6-NG 패널의 수평하중저항시험

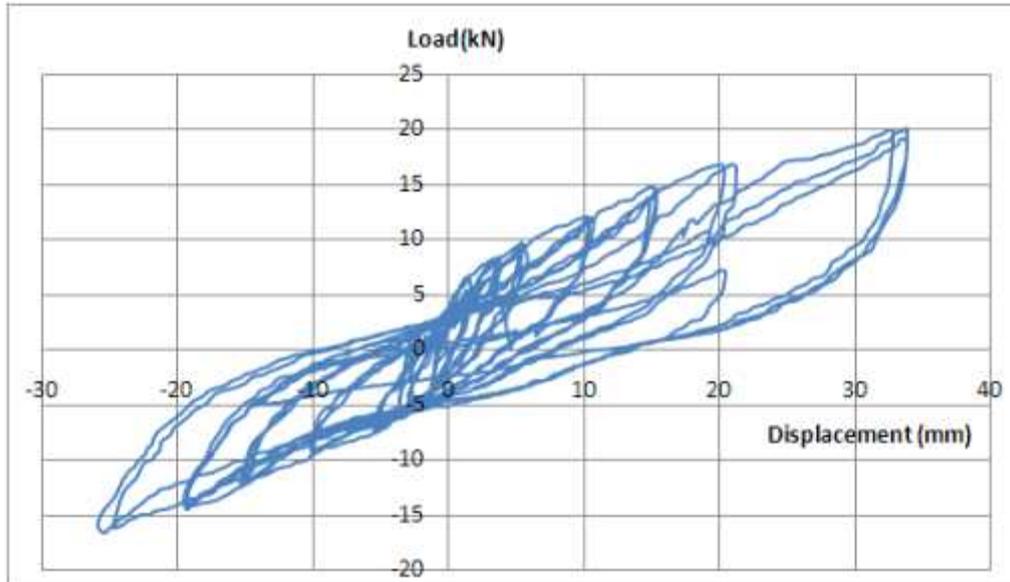


그림 B1-31. 반복수평하중 하에서 IN-GB-6-NG 패널의 하중-변위선도

IN-GB-6-NG 패널은 목재 벽널판이 스티드의 양면에 부착된 패널로써 양면의 벽널판 부착 방향이 서로 직각으로 배치되어 있다. 즉 그림 B1-30에서 보면 정면에는 벽널판을 수직으로 고정하였고 뒷면에는 벽널판을 수평으로 고정하였다. 정면의 수직설치된 벽널판은 스티드 사이에 버팀대는 설치하지 않았지만 스티드 앞에 내단열층을 설치하기 위하여 수평으로 500mm 간격으로 부착된 버팀대 위에 고정하였다. 그림 B1-31에서 보면 스티드 양표면에 부착된 벽널판이 서로 직각방향으로 고정된 IN-GB-6-NG 패널의 수평하중저항성능이 매우 우수함을 알 수 있다. 최대강도도 매우 높게 나타나고 전단변형도 적게 나타나며 하중-변위곡선도 찌그러짐이 없이 매우 깨끗한 형태로 얻을 수 있었다. 그림 B1-31로부터 구한 IN-GB-6-NG 패널의 특성곡선은 그림 B1-32와 같다. 그림 B1-32에서 보면 IN-GB-6-NG 패널의 특성곡선도 매우 반듯하고 1차, 2차 및 3차 특성곡선 사이에 감쇄가 크지 않고 약 30mm의 변형에서 최대전단강도를 나타내었다.

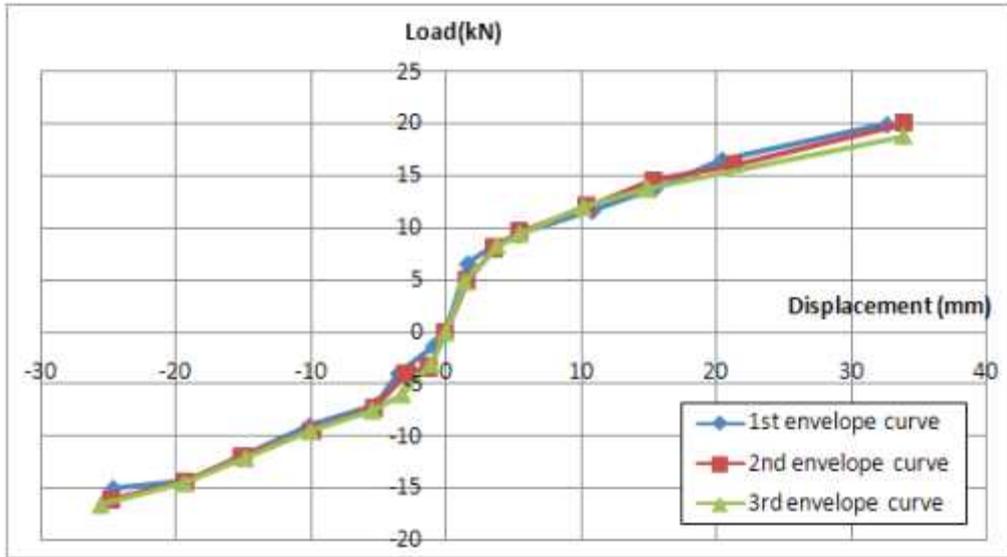


그림 B1-32. 반복수평하중 하에서 IN-GB-6-NG 패널의 특성곡선

(자) 그린팀버월 패널들의 최대전단내력 및 전단강성계수

이 연구에서 시험이 실시된 패널들의 최대전단내력 및 전단강성계수를 식 (B1-1) 및 (B1-2)에 따라서 계산한 결과는 표 B1-4와 같다.

표 B1-4 그린팀버월 패널들의 최대전단내력 및 전단강성계수

벽체의 종류	모델번호	최대전단내력(N/m)			전단강성계수(N/mm)		
		1차	2차	3차	1차	2차	3차
내벽	IN-B-4-B	4,446	4,133	3,954	2,465	2,560	2,734
	IN-B-6-B	5,863	5,650	5,460	2,955	5,483	5,725
	IN-G-4-G	681	654	600	237	350	107
	IN-GB-6-NG	6,585	6,706	6,317	2,509	2,052	2,447
외벽	EX-B-4-S	6,523	6,227	5,048	3,167	3,434	4,511
	EX-B-6-S	5,754	5,977	5,525	1,861	1,668	1,933
	EX-GN-6-FX	3,777	4,631	3,392	2,167	2,001	1,957

표 B1-4에서 보면 최대전단내력은 하중의 반복수가 증가할수록 감소하는 경향을

나타내었으며 전단강성계수는 하중의 반복수에 따라서 변이를 나타내었다. 전체적으로 보았을 때에 IN-G-4-G 패널이 앞에서 언급된 이유처럼 목재벽널판이 스테드의 양면에 동일한 수평방향으로 배치됨으로써 전단에 대한 저항력이 약하게 되어 최대전단내력과 전단강성계수 모두 다른 패널들에 비하여 매우 낮은 값을 나타내었다. 그러나 스테드의 양면에 목재벽널판을 상호 직각되게 설치한 IN-GB-6-NG 패널의 강도 및 강성이 매우 우수한 것으로 보아 IN-G-4-G 패널도 목재 벽널판을 스테드의 양면에서 상호 직각으로 설치하고 스테드 사이에 버팀대를 설치하여 목재 벽널판에 대한 받침을 제공한다면 매우 우수한 성능을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

(차) 수평하중저항시험에서 그린팀버널 패널의 파괴형태

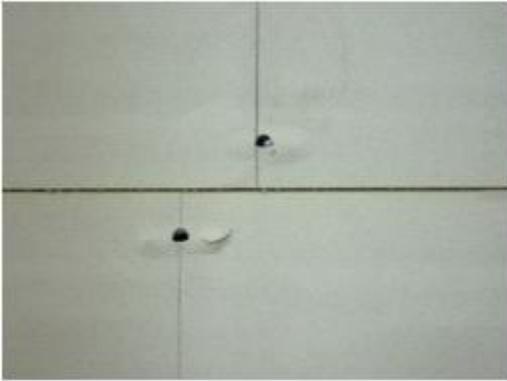
목재벽널을 스테드의 양면에 동일하게 수평으로 설치한 IN-G-4-G 패널의 파괴는 그림 B1-33에서 보는 바와 같이 목재벽널들의 상호 전단변형과 스테드의 좌굴에 의하여 발생하였다.



a) 인접한 목재벽널판 사이의 전단 미끄러짐    b) 스테드의 좌굴에 의한 파괴

그림 B1-33. 반복수평하중 하에서 IN-G-4-G 패널의 파괴 형태

석고보드가 부착된 패널의 경우에는 그림 B1-34에서 보는 바와 같이 나사못이 석고보드의 표면 종이를 관통하거나 측면의 석고보드가 깨지는 형태로 파괴가 나타났다.



a) 나사못이 석고보드를 관통



b) 모서리의 석고보드 깨짐

그림 B1-34. 석고보드가 부착된 패널에서 석고보드의 파괴 형태

스터드의 앞뒤로 내단열층이나 외단열층을 설치하기 위하여 버팀대를 수평으로 500mm 간격으로 설치하고 그 위에 마감재료를 설치한 패널들에서는 그림 B1-35에서 보는 바와 같이 버팀대의 끝부분이 못의 전단변형에 의하여 갈라지는 파괴형태가 나타났다.



그림 B1-35. 내단열층이나 외단열층이 설치된 패널에서 버팀대의 갈라짐에 의한 파괴

### (3) 단열성능 시험

그린팀버월 패널은 그린팀버홈의 주된 구성요소로서 그 단열성능이 그린팀버홈 전체의 에너지 효율성에 막대한 영향을 미친다. 따라서 그린팀버월 패널의 단열성능을 측정하고 기존의 경골목구조 벽체와 비교하여 단열성능 향상 정도를 평가하였다. 그린팀버월 패널의 단열성능은 그림 B1-36 및 B1-37과 같이 측정하였으며 그림 80 및 81에서 가운데에는 그린팀버월 패널 시험편을 설치하고 좌우편에 온도 및 습도를 조절할 수 있는 향온향습기를 부착하였다. 패널에서 실내쪽 방향의 향온향습기는 겨울철 실내 온도 및 습도 조건(온도 25℃, 상대습도 95%)에 맞추고 실외쪽 방향의 향온향습기는 겨울철 실외 온도 조건(온도 -20℃)에 맞추어서 고온 측의 열이 저온 측으로 전달되는 정도를 측정하였다. 또한 저온 측의 낮은 온도가 고온 측으로 전달되어 벽면에 결로현상이 생기는 것을 관찰하였으며 패널 양 측면의 온도 측정을 통하여 패널을 중심으로 실외 측 및 실내 측의 온도경사를 측정하고 이를 통하여 패널의 단열성능을 평가하였다. 모든 단열시험은 각 패널 당 48시간씩 실시하였으며 48시간 동안 실내환경으로 설정된 향온향습기에 전력량계를 달아서 시험 중에 25℃의 온도 및 95%의 상대습도 실내환경을 유지하기 위하여 소모한 전력량을 측정하였다.

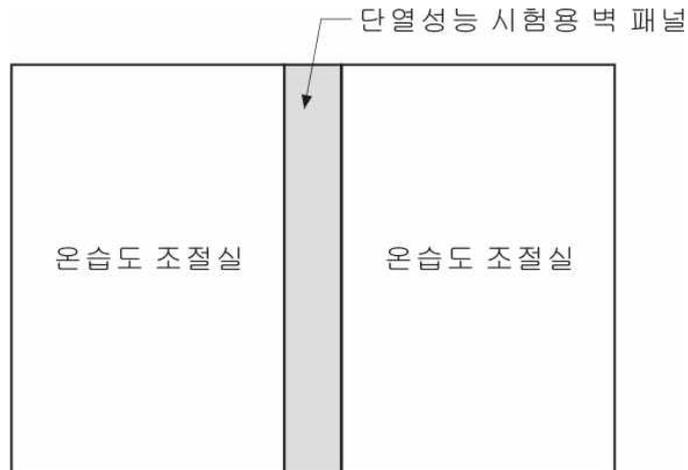


그림 B1-36. 그린팀버월 패널의 단열성능 시험방법



a) 단열성능 시험기에 시험편 설치

b) 단열성능 시험기 내부

그림 B1-37. 실제 단열성능 시험 사진

패널에는 경우에 따라서 창이나 문 등의 개구부가 설치되므로 이러한 경우의 단열성능 평가를 위하여 시험용 패널 내에 적절한 크기의 창이나 문을 설치한 후 동일한 단열성능 시험을 실시하여 개구부가 단열성능에 미치는 영향도 측정할 수 있다. 시험용 패널의 보호되지 않은 측면을 통하여 시험 중에 에너지가 손실되는 것을 방지하기 위하여 패널의 상하좌우 네 측면은 모두 두께 300mm의 스티로폼으로 감싸서 측면을 통한 에너지 손실로 인한 오차의 가능성을 최소화하였다. 단열성능 시험을 실시하면서 패널의 구성요소들 사이에 온도경사와 습도 경사를 측정하기 위하여 패널의 내부에 온도 및 습도 센서들을 부착하였으며 패널의 모든 구성요소들 사이에 온도센서를 부착하여 각각의 요소들 사이에서 온도가 어떠한 경사를 이루는지를 관찰하였으며 이를 통하여 그린티이버월 패널의 단열성능에 어떠한 요소가 영향을 미치며 단열성능 향상을 위하여 어떠한 요소들을 보강하여야 하는지를 결정하고자 하였다.

이 연구에서 단열성능 측정을 위하여 사용된 그린티이버월 패널들의 종류는 표 B1-5와 같이 6종류의 외벽 패널과 3종류의 내벽 패널로 정하였다.

표 B1-5 단열성능시험에 사용된 그린팁버릴 패널의 종류

벽체의 종류	모델번호
외벽	EX-B-4-S
	EX-B-6-S
	EX-G-4-S
	EX-G-4-P
	EX-G-6-S
	EX-GN-6-FX
내벽	IN-B-4-B
	IN-B-6-B
	IN-G-4-G

(가) 그린팁버릴 패널 EX-B-4-S의 단열성능

EX-B-4-S 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-38과 같이 부착하였다.

EX-B-4-S 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-39와 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-40과 같다.

그림 B1-39에서 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 7개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-39에서 보면 실내측의 5개 그래프 사이의 간격이 매우 조밀하고 실외측의 7개 그래프 사이의 간격은 비교적 넓게 벌어져 있는 것을 볼 수 있다. 이는 실내측에서는 실내의 따뜻한 공기가 실내측의 요소들을 통과하여 단열재 앞 부분까지 쉽게 전파되고 실내의 따뜻한 공기가 단열재를 통과하여 실외측 요소들 사이에 까지 온도를 전하여 실외측의 7개 그래프 사이가 비교적 넓게 벌어져 있음을 알 수 있다. 이로 미루어 EX-B-4-S 패널의 단열성능이 주어진 환경 하에서는 부족하며 우리나라와 같이 겨울과 여름이 명확하고 계절 간에 온습도 환경 차이가 크게 나는 조건에서는 적합하지 못하다는 사실을 알 수 있다.



그림 B1-38. EX-B-4-S 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

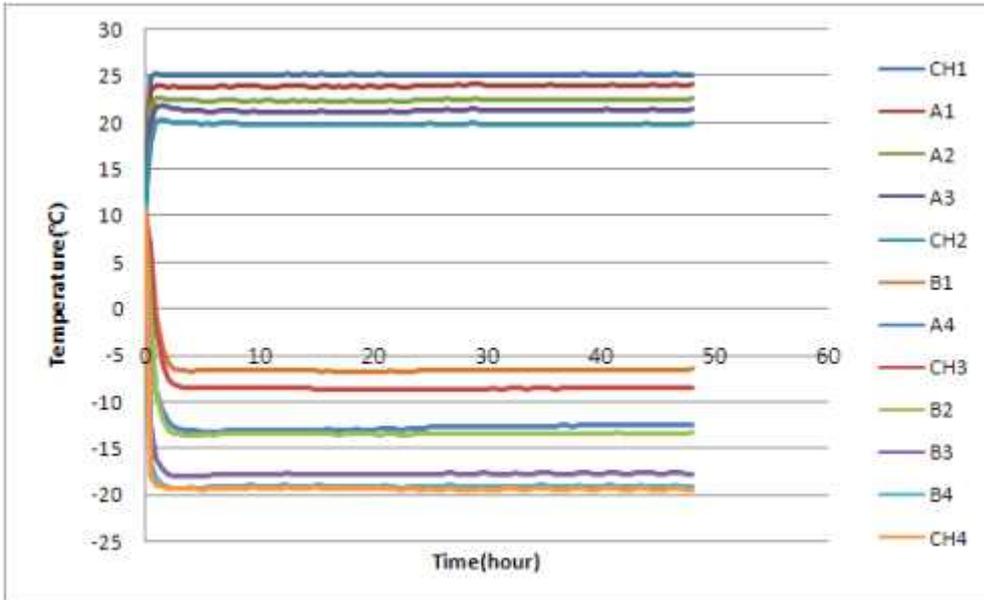


그림 B1-39. EX-B-4-S 패널의 내부 온도 변화

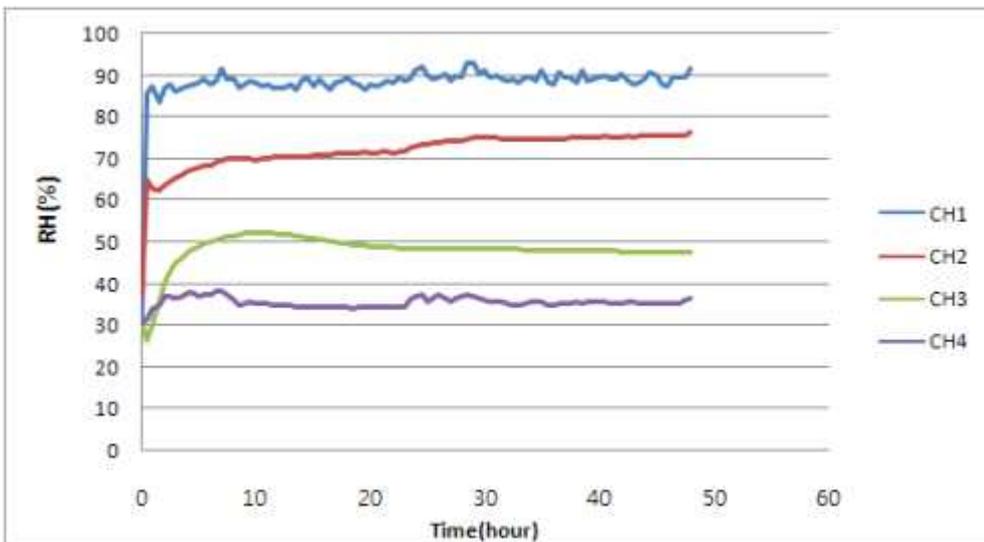


그림 B1-40. EX-B-4-S 패널의 내부 상대습도 변화

그림 B1-40은 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. Ch 1은 실내 환경 향온항습기 내부의 상대습도, Ch 2는 패널 내부 단열재의 실내측면의 상대습도, Ch 3는 패널 내부 단열재의 실외측면의 상대습도 그리고 Ch 4는 실외환경 향온항습기 내부의 상대습도를 나타낸다. 그림 B1-40에서 보면 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 Ch 4에 비하여 상대적으로 높은 상태를 나타냄으로써 실

내쪽의 습한 공기가 패널 구성 요소들을 통과하여 실외쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

(나) 그린텀버월 패널 EX-B-6-S의 단열성능

EX-B-6-S 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-41과 같이 부착하였다.



그림 B1-41. EX-B-6-S 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

EX-B-6-S 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-42와 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-43과 같다.

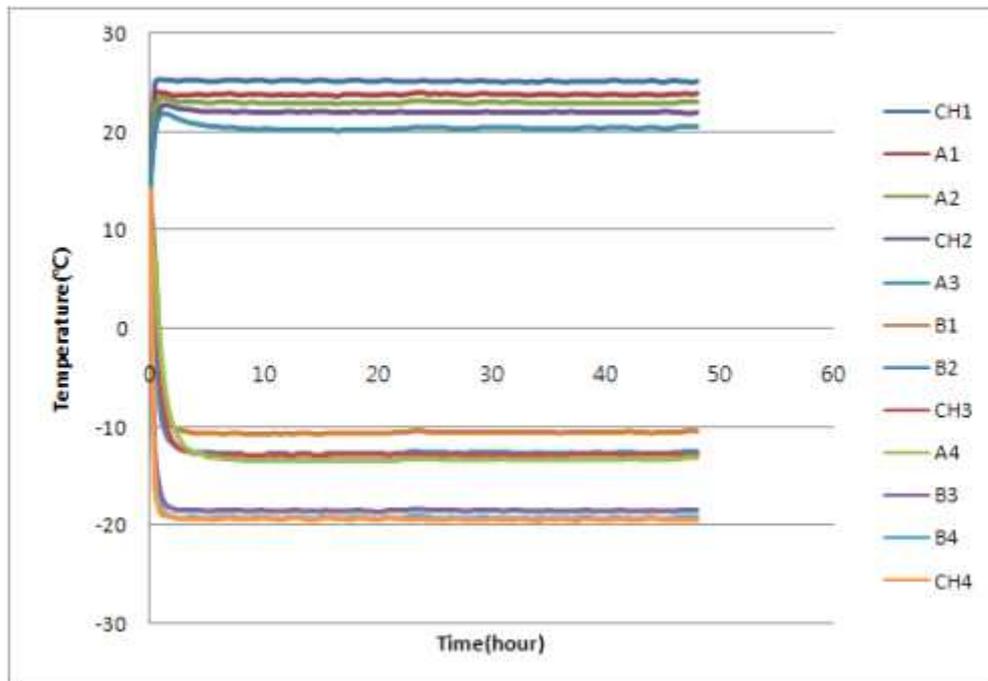


그림 B1-42. EX-B-6-S 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-42에서도 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 7개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-42에서 보면 실내측의 5개 그래프 사이의 간격이 매우 조밀하여 그림 B1-39와 비슷하며 실외측의 7개 그래프들은 OSB 덮개를 기준으로 그 내부의 4개 온도 그래프와 외부의 3개 온도 그래프들이 명확하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그림 B1-42를 그림 B1-39와 비교하면 그림 B1-39의 R-11 유리섬유 단열재에 비하여 그림 B1-42의 R-19 유리섬유 단열재의 단열성능이 우수하여 단열재를 중심으로 실내측의 온도와 실외측 온도 사이에 경사가 심하게 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 B1-43은 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-43의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 그림 B1-40과 동일한 위치의 습도를 나타낸다. 그림 B1-43에서 보면 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 Ch 4에 비하여 상대적으로 높은 상태를 나타냄으로써 비록 R-19 유리섬유에 방수지를 씌 단열재가 설치되었지만 단열재와 스테드 사이의 작은 빈 공간을 통하여 실내 쪽의 습한

공기가 패널 구성 요소들을 통과하여 실외 쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

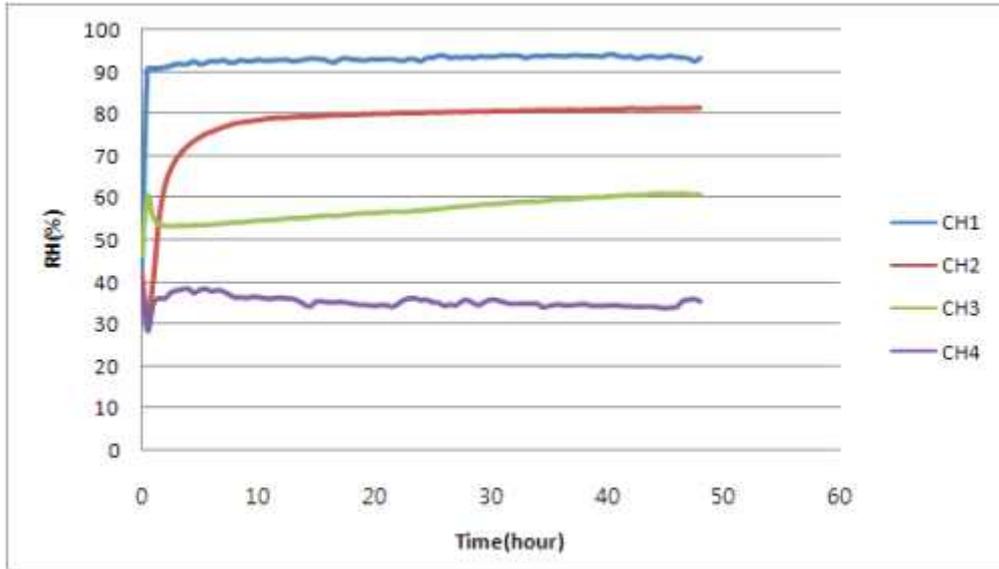


그림 B1-43. EX-B-6-S 패널의 내부 상대습도 변화

㉔ 그린팁버릴 패널 EX-G-4-S의 단열성능

EX-G-4-S 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-44와 같이 부착하였다.

EX-G-4-S 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-45와 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-46과 같다.

그림 B1-45에서도 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 7개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-45에서 보면 실내측의 5개 그래프들은 다시 최상부의 2개 그래프와 중간 3개 그래프로 나누어지는데 최상부의 2개 그래프가 패널의 실내측 표면에서 측정된 온도이며 중간 3개 그래프는 두께 35mm의 실내측 목재 벽네편과 단열재 사이의 온도를 나타낸다. 그림 B1-45를 그림 B1-39 및 B1-42와 비교해 보면 실내측에 위치한 석고보드(그림 B1-39 및 B1-42)는 그 단열 성능이 확실하지 못한데 반하여 실내측에 설치된 목재 벽네편은 그림 B1-45처럼 확실한 온도 차이를 나타낼 만큼 단열성능이 우수한 것으로 나타났다. 실외측의 7개 그래프들은 OSB 덮개를 기준으로 그 내부의 4개 온도 그래프와 외부의 3개 온도 그래프들이 명확하게 차이가 나는 것을 알 수 있다.



그림 B1-44. EX-G-4-S 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

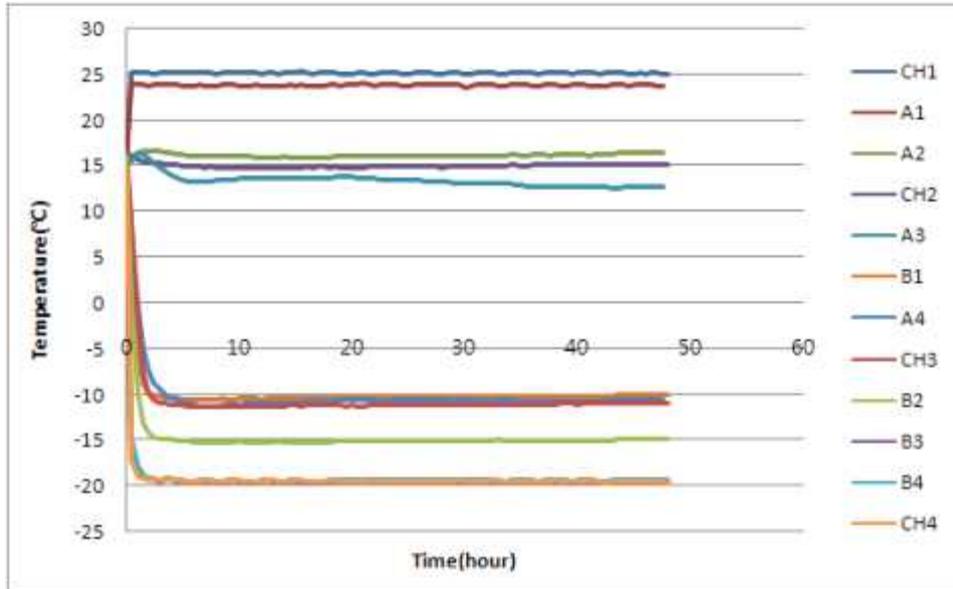


그림 B1-45. EX-G-4-S 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-46은 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-46의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 그림 B1-40과 동일한 위치의 습도를 나타낸다. 그림 B1-46에서 보면 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 앞의 그림 B1-40 및 B1-43과는 반대로 실내쪽 Ch 2의 상대습도가 실외쪽 Ch 3의 상대습도보다 낮음을 알 수 있다. 이는 실내쪽의 습한 공기가 패널 구성요소들을 통과하여 실외쪽으로 이동하는데 Ch 2가 위치한 공간은 실내쪽의 목재벽널판과 실외쪽의 유리섬유 단열재로 둘러싸이게 된다. 따라서 Ch 2의 공간에 유입된 습한 공기가 한쪽 면에 위치한 목재벽널의 넓은 면을 통하여 흡습됨으로써 Ch 2의 상대습도가 목재에 노출되지 않고 한쪽 면에 OSB에만 노출되는 공간에 위치한 Ch 3의 상대습도보다 오히려 낮아지게 된다.

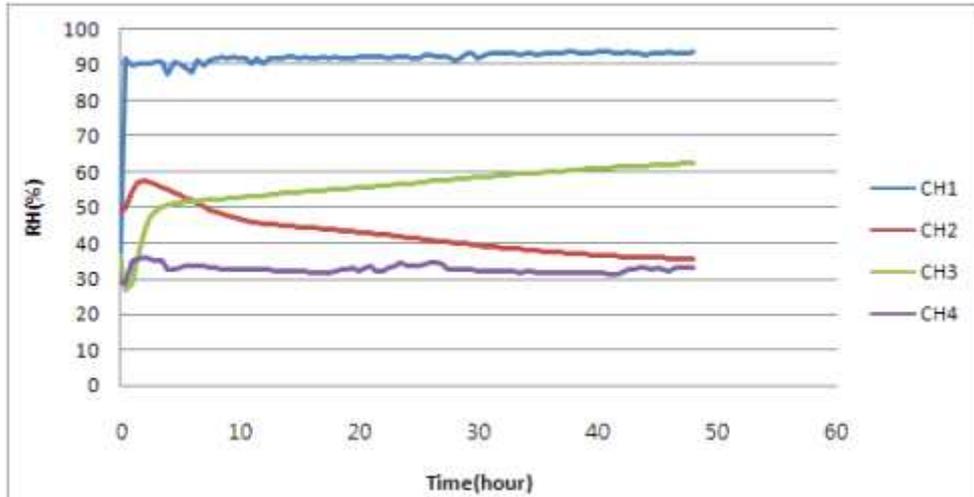


그림 B1-46. EX-G-4-S 패널의 내부 상대습도 변화

(라) 그린팁버월 패널 EX-G-4-P의 단열성능

EX-G-4-P 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-47과 같이 부착하였다.

EX-G-4-P 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-48과 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-49와 같다.

그림 B1-48에서도 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 7개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-48에서 보면 실내측의 5개 그래프들은 다시 최상부의 2개 그래프와 중간 3개 그래프로 나누어지는데 최상부의 2개 그래프가 패널의 실내측 표면에서 측정된 온도이며 중간 3개 그래프는 두께 35mm의 실내측 목재 벽네편과 단열재 사이의 온도를 나타낸다. 실외측의 7개 그래프들은 실외측 방부처리 목재 벽네편을 기준으로 그 내부의 4개 온도 그래프와 외부의 3개 온도 그래프들이 명확하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그림 B1-48을 그림 B1-45와 비교해 보면 실외측에 OSB를 덮은 그림 B1-45에서는 단열재와 OSB 사이의 온도가  $-10^{\circ}\text{C}$  정도를 나타내었지만 그림 B1-48에서는 단열재와 목재 외벽네편 사이의 온도가  $-7^{\circ}\text{C}$  정도를 나타내어 목재외벽네편이 OSB보다 단열성능이 우수함을 알 수 있다.



그림 B1-47. EX-G-4-P 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

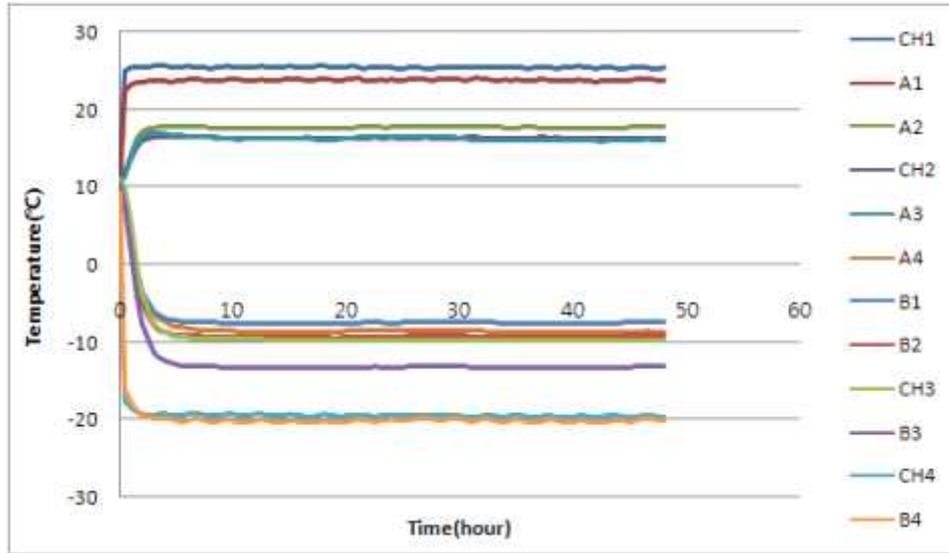


그림 B1-48. EX-G-4-P 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-49는 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-49의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 그림 B1-40과 동일한 위치의 습도를 나타낸다. 그림 B1-49에서 보면 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 서로 비슷하게 실내쪽 상대습도보다 많이 낮은 것을 알 수 있다. 실내쪽의 습한 공기가 패널 구성요소들을 통과하여 실외쪽으로 이동하는데 Ch 2 및 Ch 3가 위치한 공간은 각각 실내쪽의 목재벽널판과 실외쪽의 유리섬유 단열재 및 실내쪽의 유리섬유 단열재와 실외쪽의 목재벽널판으로 둘러싸이게 된다. 따라서 Ch 2 및 Ch 3의 공간에 유입된 습한 공기가 한쪽 면에 위치한 목재벽널의 넓은 면을 통하여 흡수됨으로써 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 실내쪽의 높은 상대습도에 비하여 상당히 낮은 상태를 유지하게 된다.

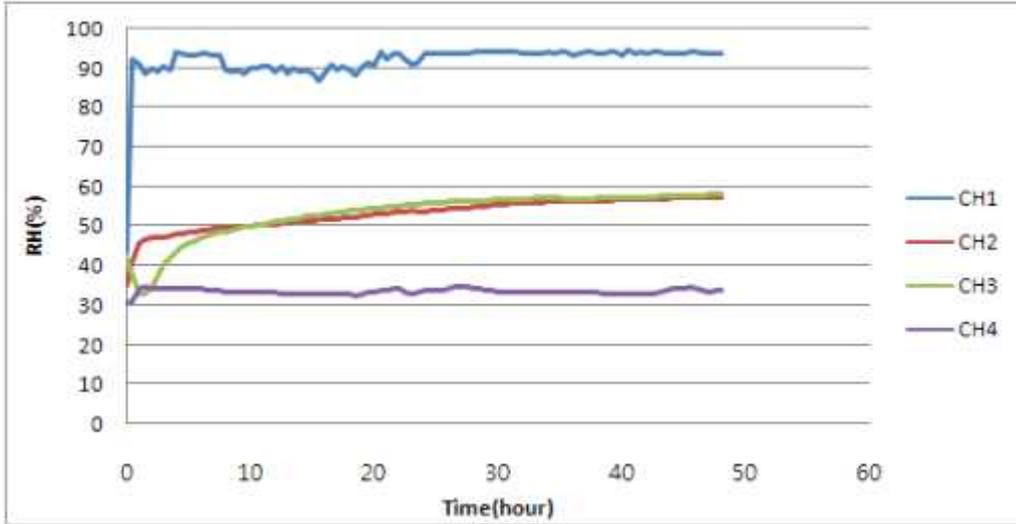


그림 B1-49. EX-G-4-P 패널의 내부 상대습도 변화

(마) 그린팁버릴 패널 EX-G-6-S의 단열성능

EX-G-6-S 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-50과 같이 부착하였다.

EX-G-6-S 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-51과 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-52와 같다.

그림 B1-51에서도 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 7개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-51에서 보면 실내측의 5개 그래프들은 다시 최상부의 2개 그래프와 중간 3개 그래프로 나누어지는데 최상부의 2개 그래프가 패널의 실내측 표면에서 측정된 온도이며 중간 3개 그래프는 두께 35mm의 실내측 목재 벽네펜과 단열재 사이의 온도를 나타낸다. 실외측의 7개 그래프들은 OSB 덮개를 기준으로 그 내부의 4개 온도 그래프와 외부의 3개 온도 그래프들이 명확하게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 그림 B1-51을 그림 B1-48과 비교해 보면 그림 B1-48에서는 단열재와 목재 외벽네펜 사이의 온도가  $-7^{\circ}\text{C}$  정도를 나타내었으나 실외측에 OSB를 덮은 그림 B1-51에서는 단열재와 OSB 사이의 온도가  $-10^{\circ}\text{C}$  이하를 나타냄으로써 목재외벽네펜이 OSB보다 단열성능이 우수함을 알 수 있다.



그림 B1-50. EX-G-6-S 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

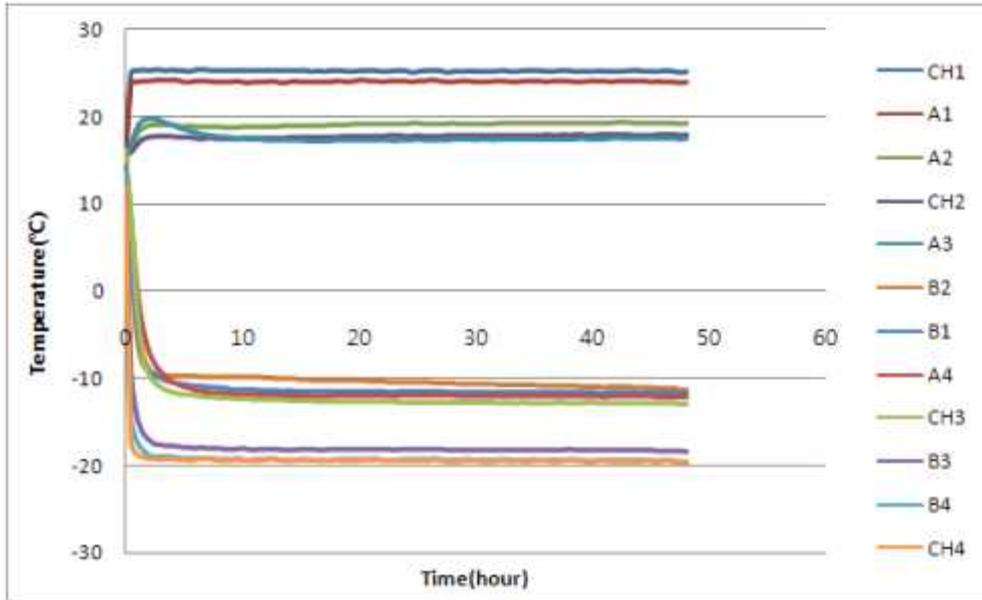


그림 B1-51. EX-G-6-S 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-52는 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-52의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 그림 B1-40과 동일한 위치의 습도를 나타낸다. 그림 B1-52에서 보면 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 앞의 그림 B1-40 및 B1-43과는 반대로 실내쪽 Ch 2의 상대습도가 실외쪽 Ch 3의 상대습도보다 낮음을 알 수 있다. 이는 실내쪽의 습한 공기가 패널 구성요소들을 통과하여 실외쪽으로 이동하는데 Ch 2가 위치한 공간은 실내쪽의 목재벽넬판과 실외쪽의 유리섬유 단열재로 둘러싸이게 된다. 따라서 Ch 2의 공간에 유입된 습한 공기가 한쪽 면에 위치한 목재벽넬의 넓은 면을 통하여 흡습됨으로써 Ch 2의 상대습도가 목재에 노출되지 않고 한쪽 면에 OSB에만 노출되는 공간에 위치한 Ch 3의 상대습도보다 오히려 낮아지게 된다.

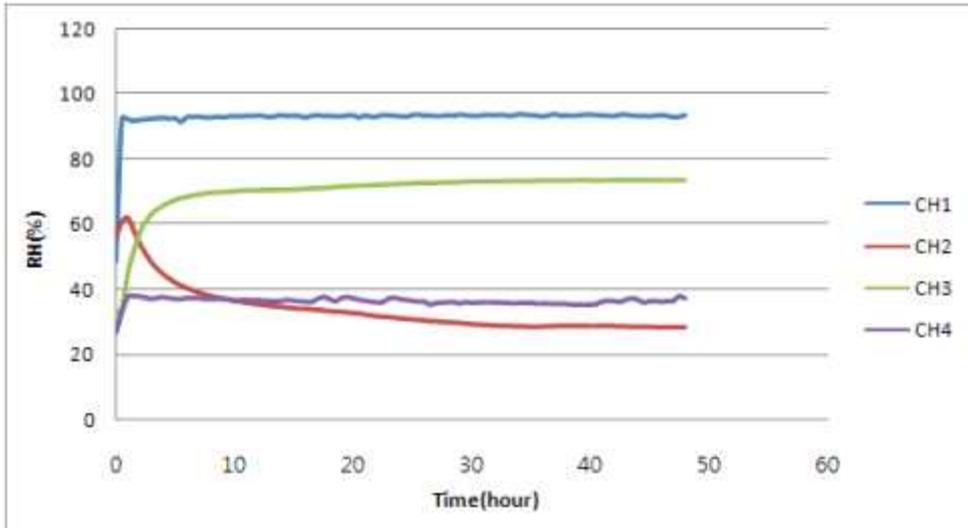


그림 B1-52. EX-G-6-S 패널의 내부 상대습도 변화

(바) 그린팁버릴 패널 EX-GN-6-FX의 단열성능

EX-GN-6-FX 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-53과 같이 부착하였다.

EX-GN-6-FX 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-54와 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-55와 같다.

그림 B1-54에서 상부의 7개의 그래프는 중단열층(R-19 유리섬유 단열재)를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 8개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-54에서 보면 실내측의 7개 그래프들은 다시 최상부의 1개 그래프와 중상부의 3개 그래프 그리고 중하부의 3개 그래프로 나누어지는데 최상부의 1개 그래프가 패널의 실내쪽 표면에서 측정된 온도이며 중상부의 3개 그래프는 두께 35mm의 실내쪽 목재 벽네펜과 내단열층(두께 25mm의 미네랄울) 사이의 온도를 나타내며 중하부의 3개 그래프는 내단열층과 중단열층 사이의 온도를 나타낸다. 실외측의 8개 그래프들은 다시 하단 상부의 3개 그래프, 하단 중부의 4개 그래프 그리고 최하부의 1개 그래프로 나눌 수 있다. 하단 상부의 3개 그래프는 중단열층과 15mm 두께의 방화석고보드 사이의 온도이며 하단 중부의 4개 그래프는 방화석고보드와 외단열층 사이의 온도를 나타내고 최하부의 1개 그래프는 패널의 실외측 표면 온도를 나타낸다.



그림 B1-53. EX-GN-6-FX 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

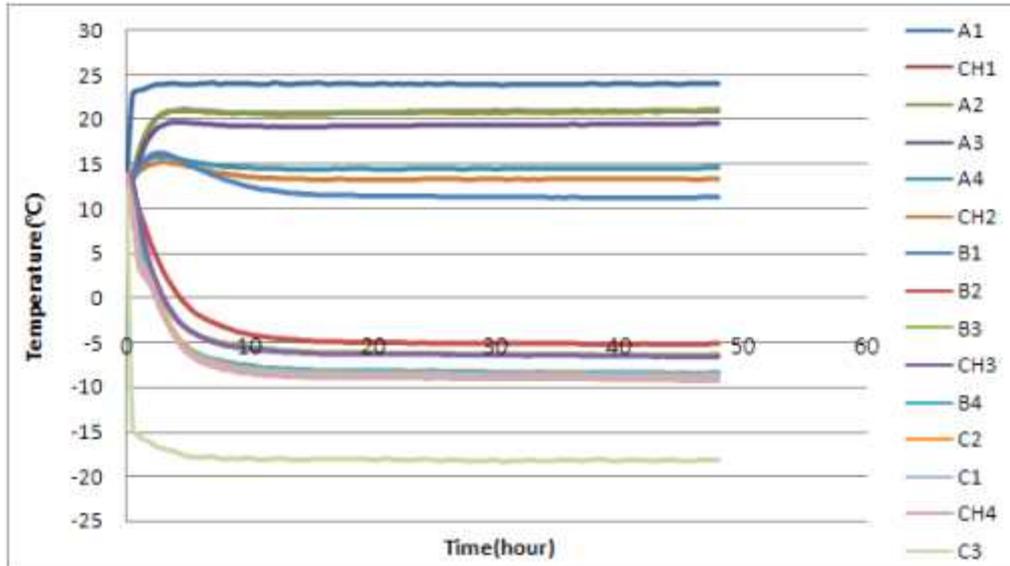


그림 B1-54. EX-GN-6-FX 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-54에서 보면 실내쪽의 목재 벽널판, 내단열층 및 외단열층을 중심으로 그 내외부에 온도 차이가 명확하게 나타남으로써 이들 재료들의 단열성능이 우수한 것을 알 수 있으며 방화석고보드의 경우에는 그 내외부에 약간의 온도차이가 나기는 하지만 그렇게 뚜렷하지는 않다. 그림 B1-54를 다른 그림들과 비교해 보면 외단열의 설치로 인하여 방화석고보드와 외단열층 사이의 온도가  $-8^{\circ}\text{C}$  정도를 유지하여 실외에 목재외벽널을 설치한 경우와 비슷한 온도 상대를 나타내었으며 중단열층과 방화석고보드 사이의 온도는  $-5^{\circ}\text{C}$  정도를 나타내어 시험을 실시한 패널들 중에서 가장 우수한 단열성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 실내쪽 벽면에서도 목재벽널판과 내단열층이 우수한 단열성능을 나타내어서 내단열층과 중단열층 사이의 온도가  $15^{\circ}\text{C}$  이하를 나타내었다.

그림 B1-55는 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-55의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 각각 목재벽널판과 내단열층 사이, 내단열층과 중단열층 사이, 중단열층과 방화석고보드 사이 그리고 방화석고보드와 외단열층 사이의 습도를 나타낸다. 그림 B1-55에서 보면 Ch 1의 상대습도가 Ch 2보다 낮아지고 Ch 2의 상대습도가 Ch 3의 상대습도보다 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 실내쪽의 습한 공기가 패널 구성요소들을 통과하여 실외쪽으로 이동하는데 Ch 1이 위치한 공간은 실내쪽의 목재벽널판과 내단열층의 미네랄울에 의하여 둘러싸이게 되며 Ch 2가 위치한 공간은 실내쪽의 미네랄울과 중단열층에 의하여 둘러싸이게 된다. 따라서 Ch 1의 공간에 유입된 습한 공기가 한쪽 면에 위치한 목재벽널의 넓은 면을 통하여 흡습됨으로써 Ch 1의 상대습도가 매우 낮아지게 되며

Ch 2가 위치한 공간도 미네랄울을 통하여 비교적 쉽게 수분 이동이 가능하기 때문에 수분이 내부의 목재벽넬판에 의하여 흡습되어 상대습도가 비교적 낮아진 것으로 볼 수 있다. 목재에 노출되지 않고 중단열층과 방화석고보드에 의하여 둘러싸여 있는 공간에 위치한 Ch 3의 상대습도는 실내쪽에서 이동한 습한 공기의 영향으로 오히려 높아지게 된다.

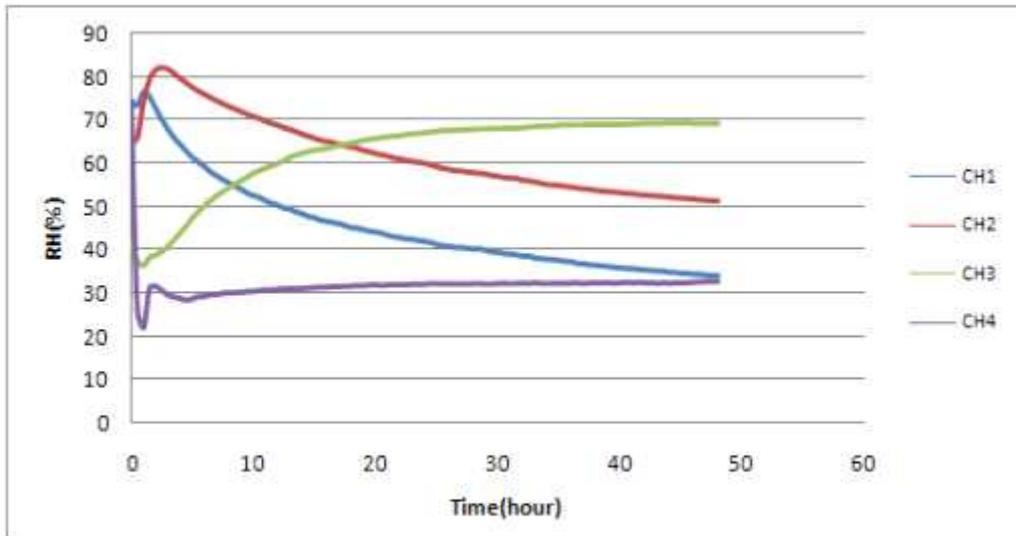


그림 B1-55. EX-GN-6-FX 패널의 내부 상대습도 변화

(사) 그린팁버월 패널 IN-B-4-B의 단열성능

IN-B-4-B 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-56과 같이 부착하였다.

IN-B-4-B 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-57과 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-58과 같다.

그림 B1-57에서 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 6개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-57에서 보면 실내측의 5개 그래프 사이의 간격이 매우 조밀하고 실외측의 6개 그래프들 사이의 간격도 매우 조밀한 것을 알 수 있다. IN-B-4-B 패널은 실내벽용 패널로써 스티드의 양면이 모두 두께 12.5mm의 일반 석고보드로 마감되어 있다. 따라서 양면에 부착된 석고보드의 단열성능이 우수하지 못하기 때문에 석고보드를 중심으로 그 앞뒷면 사이에 온도차이가 명확하게 나타나지 않고 있다.



그림 B1-56. IN-B-4-B 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

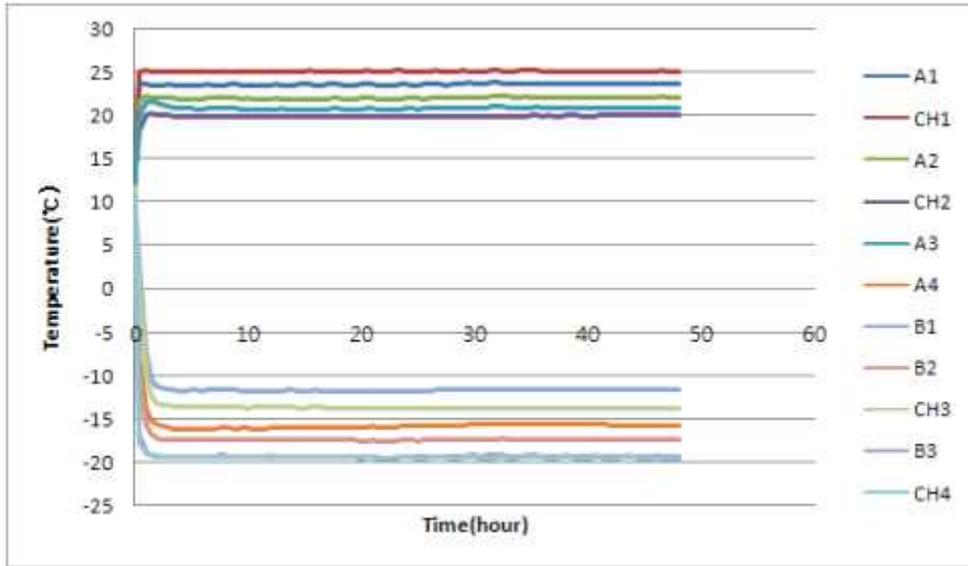


그림 B1-57. IN-B-4-B 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-58은 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-58의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 그림 B1-40과 동일한 위치의 습도를 나타낸다. 그림 B1-52에서 보면 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 Ch 4에 비하여 상대적으로 높은 상태를 나타냄으로써 비록 R-11 유리섬유에 방수지를 쓴 단열재가 설치되었지만 단열재와 스테드 사이의 작은 빈 공간을 통하여 실내 쪽의 습한 공기가 패널 구성 요소들을 통과하여 실외 쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. Ch 2의 상대습도가 거의 Ch 1의 상대습도와 동일하게 상승하는 것으로 보아 이 패널에 설치된 12.5mm 두께의 일반 석고보드는 수분이 쉽게 통과한다는 사실을 알 수 있다.

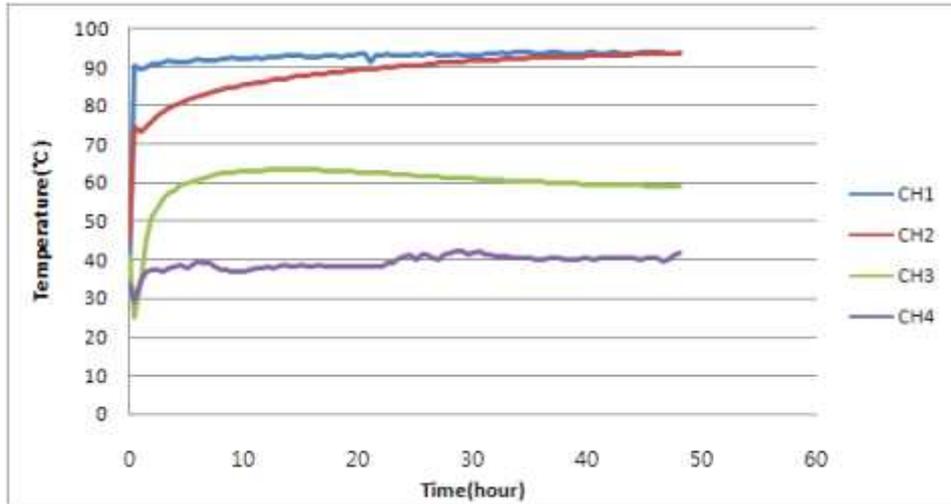


그림 B1-58. IN-B-4-B 패널의 내부 상대습도 변화

(아) 그린팁버월 패널 IN-B-6-B의 단열성능

IN-B-6-B 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-59와 같이 부착하였다.

IN-B-6-B 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-60과 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-61과 같다.

그림 B1-60에서 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 6개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-60에서 보면 실내측의 5개 그래프 사이의 간격이 매우 조밀하고 실외측의 6개 그래프들 사이의 간격도 매우 조밀한 것을 알 수 있다. IN-B-6-B 패널은 실내벽용 패널로써 스티드의 양면이 모두 두께 12.5mm의 일반 석고보드로 마감되어 있다. 따라서 양면에 부착된 석고보드의 단열성능이 우수하지 못하기 때문에 석고보드를 중심으로 그 앞뒷면 사이에 온도차이가 명확하게 나타나지 않고 있다.

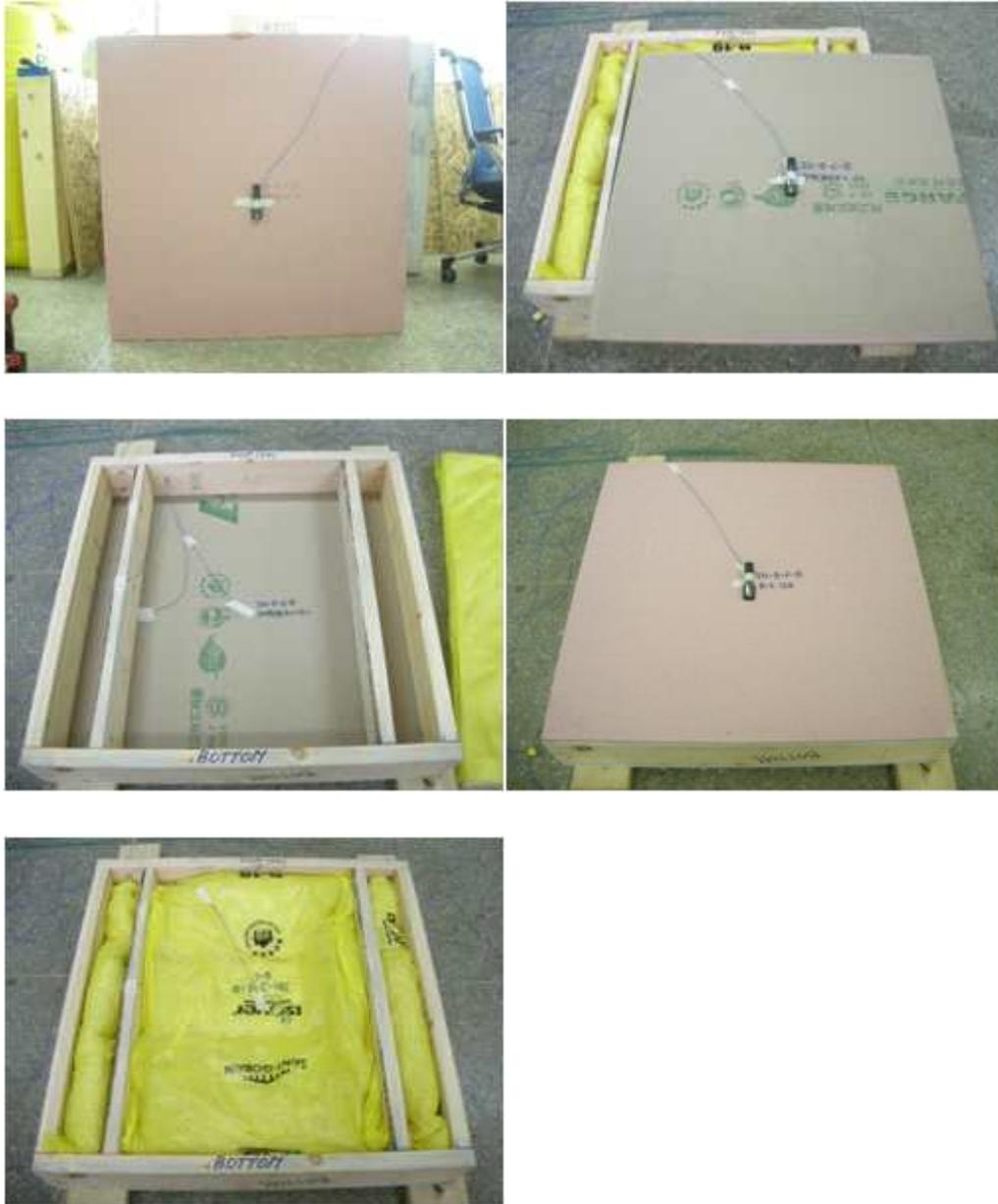


그림 B1-59. IN-B-4-B 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

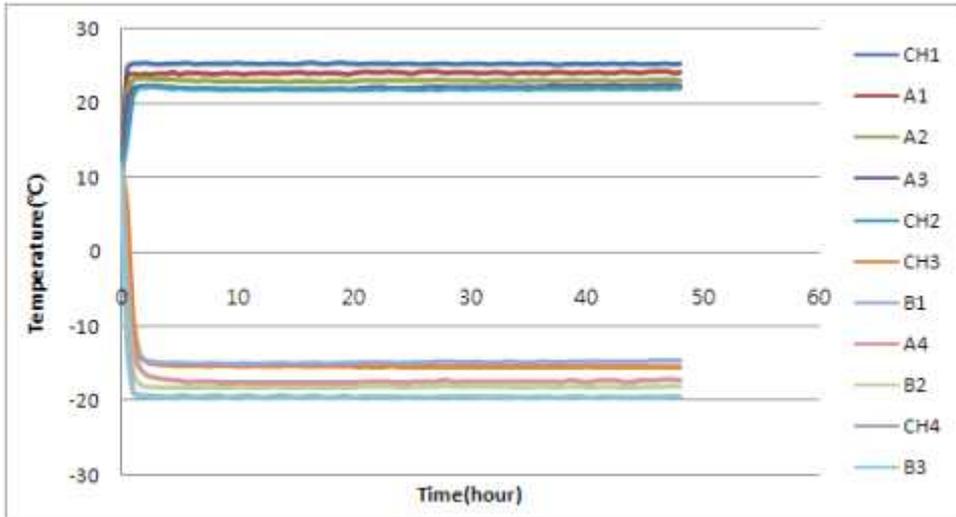


그림 B1-60. IN-B-6-B 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-61은 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-61의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 그림 B1-40과 동일한 위치의 습도를 나타낸다. 그림 B1-61에서 보면 그림 B1-58의 IN-B-4-B 패널과 거의 비슷한 상태로 패널 내부의 상대습도가 변하였음을 알 수 있다. IN-B-6-B 패널에서도 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 Ch 4에 비하여 상대적으로 높은 상태를 나타내었고 이로써 비록 R-19 유리섬유에 방수지를 쓴 단열재가 설치되었지만 단열재와 스티드 사이의 작은 빈 공간을 통하여 실내 쪽의 습한 공기가 패널 구성 요소들을 통과하여 실외 쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다. Ch 2의 상대습도가 거의 Ch 1의 상대습도와 동일하게 상승하는 것으로 보아 이 패널에 설치된 12.5mm 두께의 일반 석고보드는 수분이 쉽게 통과한다는 사실을 알 수 있다.

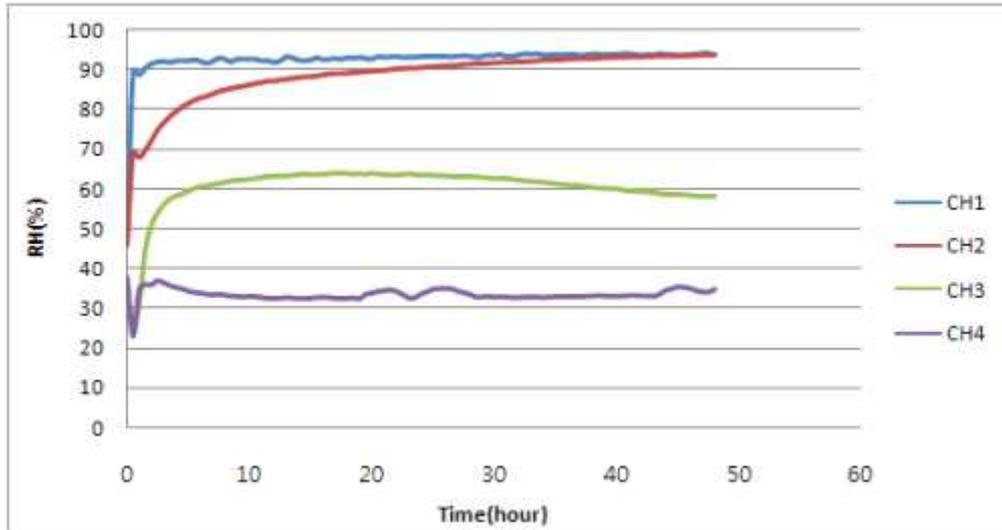


그림 B1-61. IN-B-6-B 패널의 내부 상대습도 변화

(자) 그린팁버월 패널 IN-G-4-G의 단열성능

IN-G-4-G 패널의 단열성능 시험을 위하여 온도 및 습도센서를 그림 B1-62와 같이 부착하였다.

IN-G-4-G 패널의 단열성능 시험결과 패널 내부의 각 부위에서의 온도 변화는 그림 B1-63과 같으며 패널 내부 각 부위에서의 습도 변화는 그림 B1-64와 같다.

그림 B1-63에서 상부의 5개의 그래프는 단열재를 중심으로 실내측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화이며 하부의 6개 그래프는 실외측에 위치한 요소들 사이의 온도 변화를 나타낸다. 그림 B1-63에서 보면 실내측의 5개 그래프들은 다시 최상부의 2개 그래프와 중간의 3개 그래프로 나누어지는데 최상부의 2개 그래프가 패널의 실내쪽 표면에서 측정된 온도이며 중간의 3개 그래프는 두께 35mm의 실내쪽 목재 벽네편과 단열재 사이의 온도를 나타낸다. 실외측의 7개 그래프들은 실외쪽 목재 벽네편을 기준으로 그 내부의 4개 온도 그래프와 외부의 2개 온도 그래프들이 명확하게 차이가 나는 것을 알 수 있다.

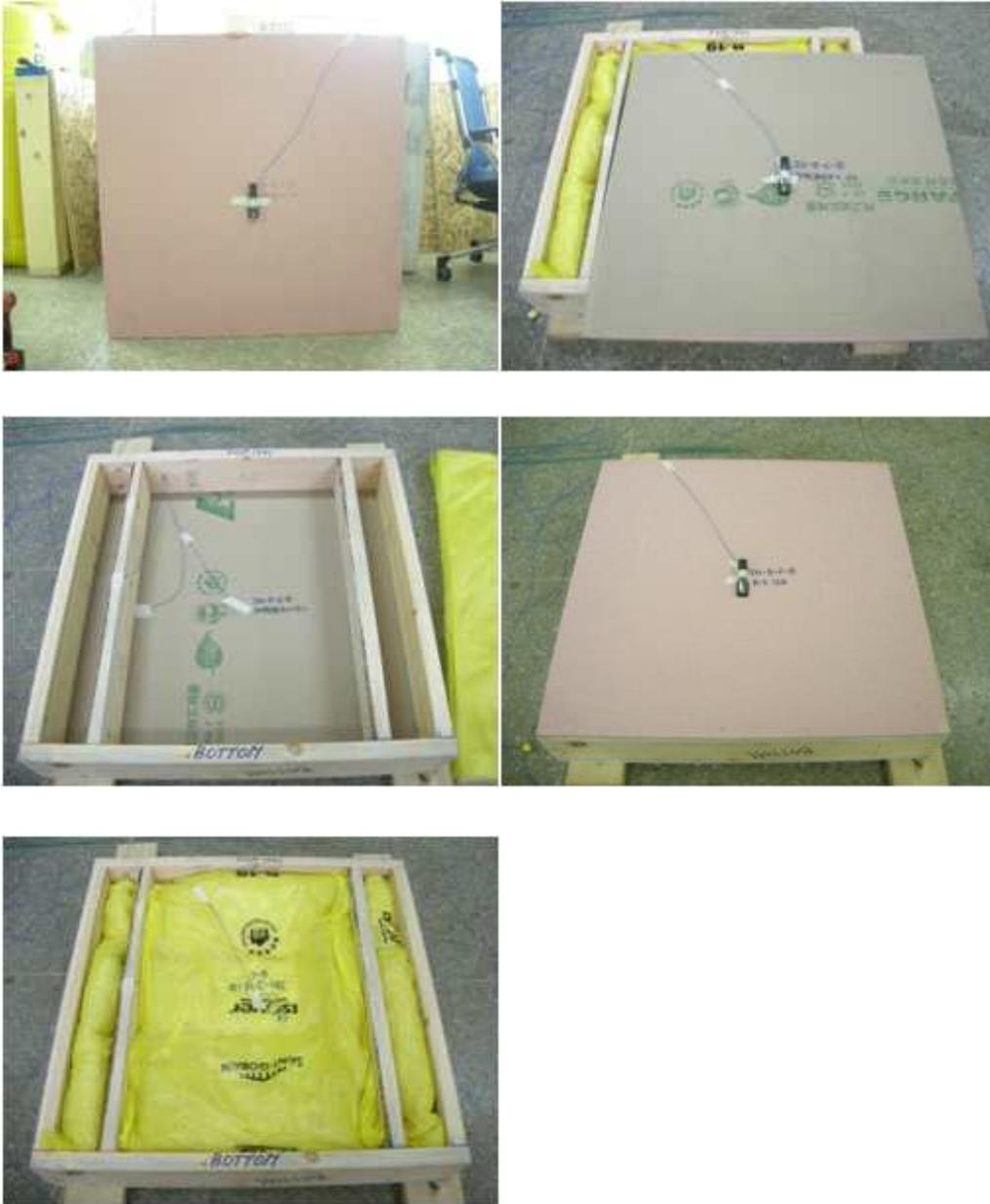


그림 B1-62. IN-G-4-Bg 패널에 대한 온도 및 습도센서의 부착

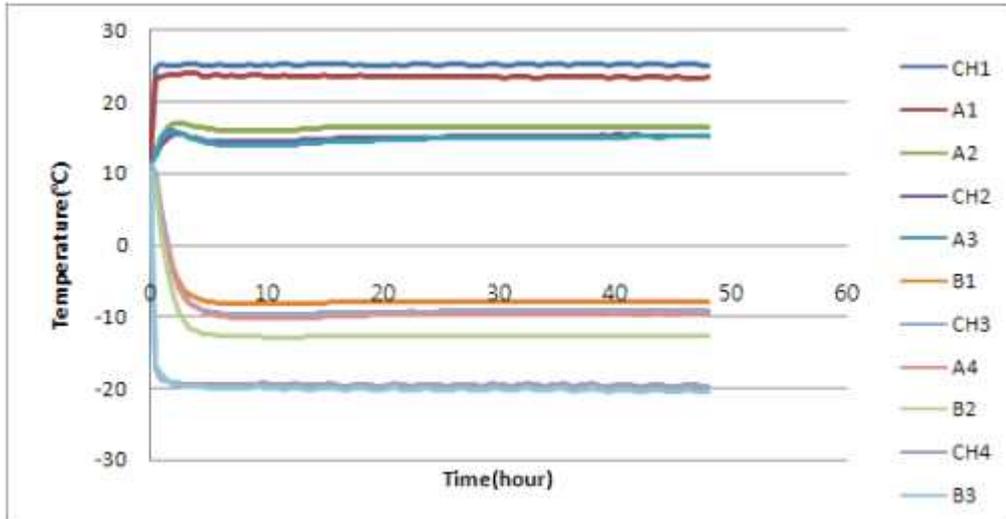


그림 B1-63. IN-G-4-G 패널의 내부 온도 변화

그림 B1-64는 단열성능 시험 기간 중에 패널 내외부의 습도 변화를 보여주고 있다. 그림 B1-64의 Ch 1, Ch 2, Ch 3 및 Ch 4는 그림 B1-40과 동일한 위치의 습도를 나타낸다. 그림 B1-64에서 보면 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 실내쪽 상대습도보다 낮은 것을 알 수 있다. 실내쪽의 습한 공기가 패널 구성요소들을 통과하여 실외쪽으로 이동하는데 Ch 2 및 Ch 3가 위치한 공간은 각각 실내쪽의 목재벽네편과 실외쪽의 유리섬유 단열재 및 실내쪽의 유리섬유 단열재와 실외쪽의 목재벽네편으로 둘러싸이게 된다. 따라서 Ch 2 및 Ch 3의 공간에 유입된 습한 공기가 한쪽면에 위치한 목재벽네편의 넓은 면을 통하여 흡수됨으로써 Ch 2 및 Ch 3의 상대습도가 실내쪽의 높은 상대습도에 비하여 상당히 낮은 상태를 유지하게 된다.

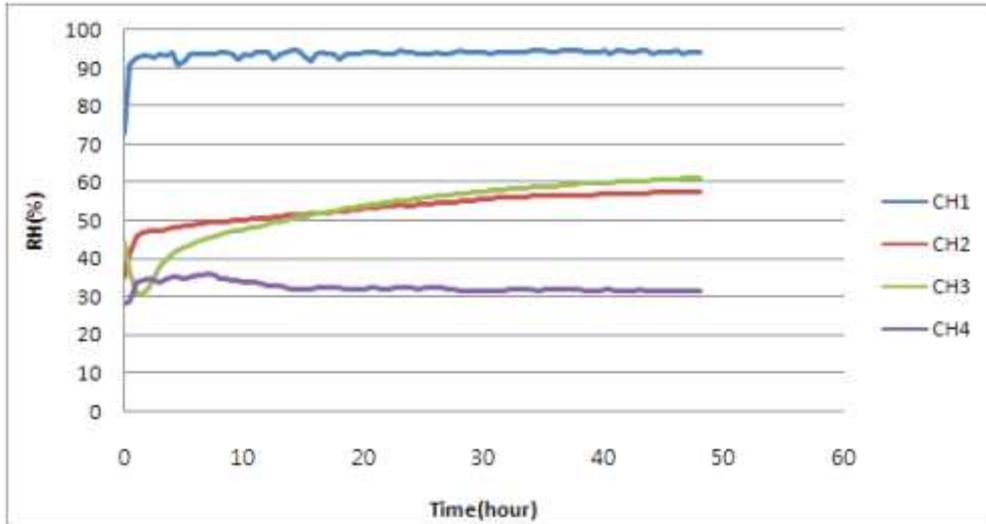


그림 B1-64. IN-G-4-G 패널의 내부 상대습도 변화

(차) 그린팁버릴 패널의 수분 및 단열 문제

이 연구에서 사용된 그린팁버릴 패널들에 대하여 단열성능 시험을 수행하면서 48시간 동안 실내환경(25℃ 온도, 95% 상대습도)을 그대로 유지하기 위하여 소모된 전력량을 측정하여 표 B1-6과 같다.

표 B1-6 단열성능시험에 사용된 그린팁버릴 패널의 종류 별 에너지(전력량) 소모량

벽체의 종류	모델번호	소모 총전력량(kW)	시간당 전력량(kW/h)
외벽	EX-B-4-S	164	3.42
	EX-B-6-S	163	3.40
	EX-G-4-S	166	3.45
	EX-G-4-P	165	3.44
	EX-G-6-S	161	3.35
	EX-GN-6-FX	162	3.38
내벽	IN-B-4-B	168	3.49
	IN-B-6-B	162	3.38
	IN-G-4-G	166	3.46

표 B1-6에서 보면 시험기간이 48시간으로 짧고 벽체의 면적이 900mmx900mm 정도로 작았기 때문에 벽체를 통한 에너지의 손실 차이를 명확하게 관찰하기에는 무리가 있었다. 그러나 전체적으로 보면 큰 차이는 아니지만 일반적으로 38mmx89mm 스테드의 사이에 R-11 유리섬유 단열재를 설치한 구조의 전력 소모가 약간 많았으며 38mmx140mm 스테드 사이에 R-19 유리섬유 단열재의 설치, 목재 벽널판 설치, 내단열 또는 외단열 설치 등을 통하여 에너지 소모를 줄일 수 있음을 관찰할 수 있었다.

일반적으로 우리나라의 경골목조건축 외벽은 38mmx89mm 스테드 사이에 R-11 또는 R-13 단열재를 설치하거나 또는 38mmx140mm 스테드 사이에 R-19 단열재를 설치하는 방법이 적용되고 있다. 그러나 이 연구의 단열성능 시험에서 보면 그림 B1-65 및 B1-66에서 보는 바와 같이 38mmx89mm 스테드 사이에 R-11 유리섬유 단열재를 설치한 구조와 38mmx140mm 스테드 사이에 R-19 유리섬유 단열재를 설치한 구조에서 벽체 내부로 습기가 침투하여 실외쪽 추운 면에 얼음이 얼어 있거나 물이 응결되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.



a) 실험 후 벽체내부에 얼어있는 수분 b) 실험 후 벽체 내부에 습기가 맺힌 모습

그림 B1-65. EX-B-4-S 패널의 단열성능 시험 후 벽체 내부에 응결된 수분



a) 실험 후 벽체 내부에 얼어있는 수분      b) 실험 후 단열재에 응결된 수분

그림 B1-66. EX-B-6-S 패널의 단열성능 시험 후 벽체 내부에 응결된 수분

기존의 경골목구조뿐만 아니라 스테드의 내외부에 목재 벽널판을 설치한 구조에서도 그림 B1-67 및 B1-68에서 보는 바와 같이 단열성능 시험 후 벽체 내부에 얼어있거나 응결된 수분을 관찰할 수 있었으며 이로 미루어 경골구조에서 단열재에 방습지를 붙여서 시공하더라도 설치 과정에 찢어지거나 틈이 생겨서 수분이 벽체 내부로 충분히 침투할 수 있음을 알 수 있다.



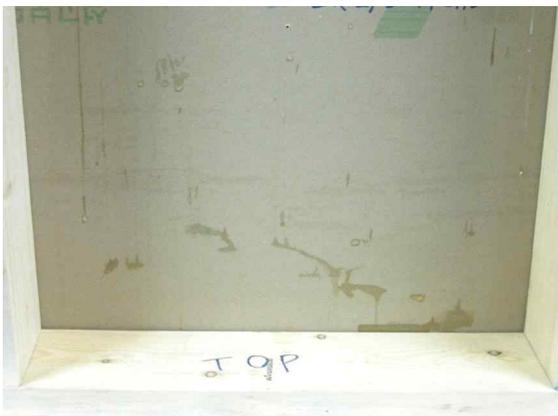
a) 실험 후 단열재에 응결된 수분      b) 실험 후 목재벽널 내부에 응결된 수분

그림 B1-67. EX-G-4-P 패널의 단열성능 시험 후 벽체 내부에 응결된 수분



a) 실험 후 벽체 내부에 얼어있는 수분      b) 실험 후 단열재에 얼어있는 수분  
그림 B1-68. EX-G-6-S 패널의 단열성능 시험 후 벽체 내부에 응결된 수분

이러한 수분의 침투와 벽체 내부 응결의 문제는 단순히 기존의 경골목구조의 문제뿐만 아니라 그림 B1-69에서 보는 바와 같이 이 연구에서 개발한 그린티이버월 패널에서도 정도는 덜하지만 역시 수분의 구조체 내부 침투로 인한 수분 응결의 문제가 동일하게 발생하는 것을 볼 수 있었다. 그림 B1-69의 구조체는 38mmx140mm 스타드 사이에 R-19 유리섬유 단열재를 설치하여 중단열로 삼고 실내쪽과 실외쪽에 각각 25mm 두께의 미네랄울로 내단열층과 외단열층을 설치하고 실내쪽벽면은 35mm 두께의 목재 벽널판으로 마감하였으며 중단열과 외단열 사이에 내화성능 향상을 위하여 15mm 두께의 내화석고보드를 설치한 구조이다. 그러나 그림 B1-69에서 보면 이러한 구조에서도 여전히 수분이 내부로 침투하여 구조체 내부의 수분 응결 문제가 발생하고 있다는 사실을 알 수 있다.



a) 실험 후 벽체 내부에 응결된 수분      b) 실험 후 단열재 내부에 응결된 수분  
그림 B1-69. EX-GN-6-FX 패널의 단열성능 시험 후 벽체 내부에 응결된 수분

내단열과 외단열을 설치한 구조의 경우에는 향상된 단열성능으로 인하여 내부 응결 수분이 얼지는 않았지만 응결수로 남아있다는 사실로 미루어 여전히 실내의 습한 공기가 구조체 내부로 침투하는 것을 방지하기는 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 경골목구조든지 아니면 그린팁버월이든지 목조건축에서 실내의 습한 공기가 구조체 내부로 침투하는 것을 방지할 수 있는 대책의 마련이 시급하다는 사실을 알 수 있다. 주택은 1-2년 살고 버리는 것이 아니라 평생 또는 대를 물려가며 수백년 동안 살아가는 재산임을 생각할 때에 구조체 내부 수분 응결의 문제는 대단히 심각한 문제를 일으킬 수 있기 때문이다. 사람이 주택 내에서 살아가는 한 호흡, 취사, 빨래, 청소 등의 활동을 통하여 실내에서는 지속적으로 수분이 발생하기 때문에 실내환경은 연중 장마철 등의 일부 기간을 제외하고는 실외보다 습할 수밖에 없으며 실내의 상대증기압이 실외보다 높을 수밖에 없다. 따라서 이와 같이 습한 실내공기는 상대증기압이 높은 곳(실내)에서 낮은 곳(실외)으로 이동하게 되며 벽체의 작은 틈을 따라서 벽체를 통과하여 실외로 이동하고자 할 것이다. 비록 적은 양이지만 수분이 지속적으로 벽체 내부로 침투하게 되면 이 습한 공기가 외부의 찬 공기와 만나면서 응결수가 생기고 이 수분이 벽체 내부에 고이고 쌓이면 오랜 시간 후에 벽체 내부의 목재 부분이 썩는 문제가 발생하여 결국은 주택의 안전 문제로까지 비화될 수 있다.

#### (4) 그린팁버월 패널의 개선

##### (가) 목재벽널판의 설치

벽체에 접착제가 다량 사용되어 여러 가지 환경물질을 발산할 수 있는 구조용 OSB 판재나 다량의 먼지와 자연방사선 물질 방출 우려가 있는 석고보드를 사용하지 않고 목재 벽널판을 설치하는 방법이 전단벽이나 내력벽에서 구조적으로 충분한 전단성능을 부여할 수 있다는 사실을 확인하였다. 그러나 벽널판을 스테드 양면에 설치하는 경우에 양면에 동일한 방향으로 수평 설치하는 방법은 벽체의 전단성능 향상에 도움이 되지 못한다는 사실을 확인하였으며 이 경우에는 스테드 사이에 버팀대를 벽체 높이의 1/3 및 2/3 지점에 설치하고 한쪽면의 벽널판은 수평으로 설치하고 반대면의 벽널판은 수직으로 설치함으로써 충분한 전단성능을 발휘할 수 있다.

##### (나) 단열성능 향상

기존의 경골목구조에서 적용하는 스테드 사이에 유리섬유 단열재를 설치하는 중단열층만 가지고는 앞으로 저탄소 녹색성장 시대에서 요구되는 충분한 단열성능을 나타낼 수 없으며 단열성능의 향상을 위하여 목재 벽널판을 설치하고 내단열층 또는 외단열층을 추가할 필요가 있다.

##### (다) 수분 침투 문제

이 연구의 단열성능 시험에서 사용된 모든 종류의 패널들에서 정도의 차이는 있지만 수분 침투의 문제가 있음을 확인하였다. 이러한 수분 침투의 문제는 단열재의 두께, 내단열층 설치, 외단열층 설치, 등에도 불구하고 여전히 발생하였으며 목재벽널판을 설치하는 경우에는 목재의 흡습 성능으로 인하여 벽체 내부의 상대습도를 현저하게 낮출 수 있음을 확인하였다. 그러나 목재벽널판을 설치하여도 벽체 내부의 상대습도를 낮추는 효과는 있지만 수분 침투 문제를 완전하게 해결할 수는 없으며 수분의 벽체 침투를 차단할 수 있는 다른 근본적인 대책의 마련이 필요할 것으로 생각된다.

## 2. 2차년도 연구과제: 그린티버아트월 구조의 성능 평가

### 가. 개발 내용 및 범위

세부과제에서 개발된 그린티버월에 대한 내화성능 평가 그리고 그린티버아트월 패널에 대한 수직하중 및 수평하중저항성능 평가를 통하여 그린티버월과 그린티버아트월을 실제로 사용하기 위하여 필요한 성능의 확보 여부를 분석하고 그 성능을 개선할 수 있는 방안을 강구하고자 하였다.

### 나. 시험재료

세부과제에서 개발되고 패널화 공장에서 생산된 그림 A2-20에서 A2-27까지의 그린티버아트월 패널을 수직하중 및 수평하중 저항시험에 사용하였으며 1차 년도에 개발된 그린티버월 패널을 내화시험용으로 사용하였다. 시험편의 제작을 위하여 사용된 재료들은 앞의 세부과제와 동일하다.

수직하중 및 수평하중 저항시험에 사용된 그린티버월 및 그린티버아트월 패널의 종류는 표 A2-4에 주어진 바와 동일하다.

### 다. 시험방법

#### (1) 수직하중저항성능 시험

그린티버아트월 패널의 수직하중 저항성능 시험은 실제 건축물에서 그린티버아트월이 3층 건물의 1층에 사용된다는 가정 하에서 상부의 2개 층으로부터 전달되는 고정하중 및 활하중과 지붕으로부터 전달되는 고정하중, 활하중 또는 적설하중을 지지할 수 있는지를 평가하기 위한 것이다. 일반적으로 목조주택에서 아래층의 벽

체에는 지붕 및 천장구조로부터 전달되는 4,500N/m의 수직하중과 상부의 1개층으로부터 가해지는 1,500N/m의 수직하중이 작용한다. 따라서 2층 주택의 1층(또는 3층 주택의 2층) 벽체는 6,000N/m의 수직하중을 지지하여야 하며 3층 주택의 1층 벽체는 7,500N/m의 수직하중을 지지하여야 한다.

그림 B2-1과 같이 시험용 그린팁버아트월 패널을 시험기에 수직으로 설치하고 상부에서 하중을 가하여 패널의 수직하중 저항성을 측정하였다. 이때에 상부에서 가하는 하중은 패널의 상부에 균일하게 분포하여 작용할 수 있도록 하기 위하여 시험편의 상부에 하중블록을 설치하고 그 위에 압축하중을 가하여 하중이 시험용 패널의 상부에 골고루 분포될 수 있도록 하였다. 상부에 가해지는 하중의 분산을 위하여 상부에 여러 개의 하중점을 주어야 하며 이를 위하여 상부에 4개의 유압잭을 균일한 간격으로 설치하여 하중이 분산될 수 있도록 하였다. 하중의 속도는 하중을 가하기 시작한 후 약 5분 정도에서 시험편이 파괴될 수 있도록 조정하였다. 시험용 패널은 시험 중에 측면으로 좌굴(buckling)이 발생할 수 있으므로 시험 중에 자유롭게 좌굴이 발생할 수 있도록 시험편의 전 후면에 걸림이 없도록 설치하였다. 수직하중저항시험 중에 벽체의 변형은 시험편의 전후 표면의 정중앙부에 라인타입 LVDT를 1개씩 부착하여 전후면 측정값의 평균으로 시험편의 변형을 측정하였다.

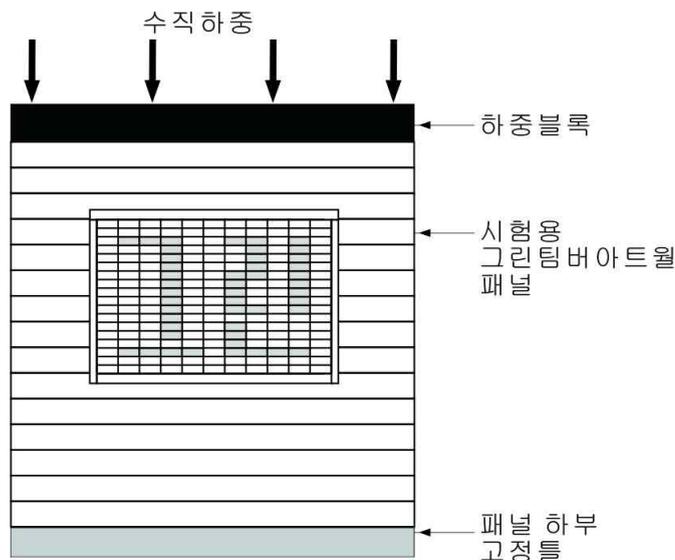


그림 B2-1. 그린팁버아트월 패널의 수직하중 저항성 시험 방법

## (2) 수평하중저항성능 시험

그린팁버아트월 패널의 수평하중 저항성능 시험은 실제 건축물에서 작용하는 풍

하중 및 지진하중에 대한 저항능력을 측정하기 위한 것이다. 풍하중이나 지진하중은 건축물에 지면과 평행한 방향의 수평하중을 작용시키며 이러한 수평하중은 그림 B2-2 및 B2-3에서 보는 바와 같이 하중 방향과 평행한 벽체에 전단하중으로 작용하게 된다. 따라서 건축물에서 풍하중이나 지진하중과 같은 수평하중에 대한 저항력을 제공하기 위해서는 벽을 구성하는 패널의 면전단강도가 매우 중요한 역할을 담당하게 된다.

패널의 수평하중 저항시험 방법은 KS F 2154(경골목조 전단벽의 전단시험방법)에 따라서 그림 B2-4와 같이 시험용 패널을 시험기에 수직으로 설치하고 상부에서 수평방향으로 반복하중을 가하여 패널의 하중지지 성능을 측정하였다. 시험용 패널에는 3층 건물의 1층 전단벽에 대하여 전단벽 상부로부터 전달되는 수직 압축하중을 가정하여 7,500N/m의 수직하중(2.4m 길이의 시험편에 대하여 총 20kN의 압축하중)이 패널 윗면에 골고루 분포되도록 가하면서 수평하중 저항시험을 실시하였다. 패널에 가해지는 수평하중은 패널의 상부에서 전단벽의 길이를 따라서 균일하게 분포하여 작용하도록 하중블록을 설치하고 하중블럭을 통하여 반복수평하중을 가하였다. 하중은 그림 B2-2-5와 같이 각 하중 단계별로 3반복으로 구성된 여러 단계의 준정적 반복하중을 가하며 하중의 속도는 하중을 가하기 시작한 후 약 10분 정도에서 시험편이 파괴될 수 있도록 조정하였다.

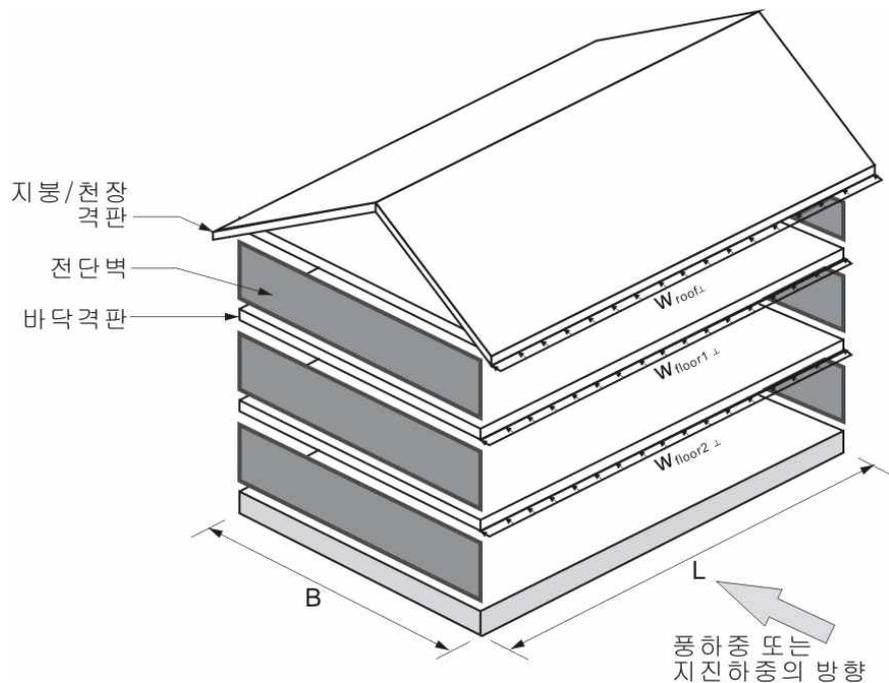


그림 B2-2. 지붕마루에 수직인 방향의 수평하중에 대한 벽체의 저항

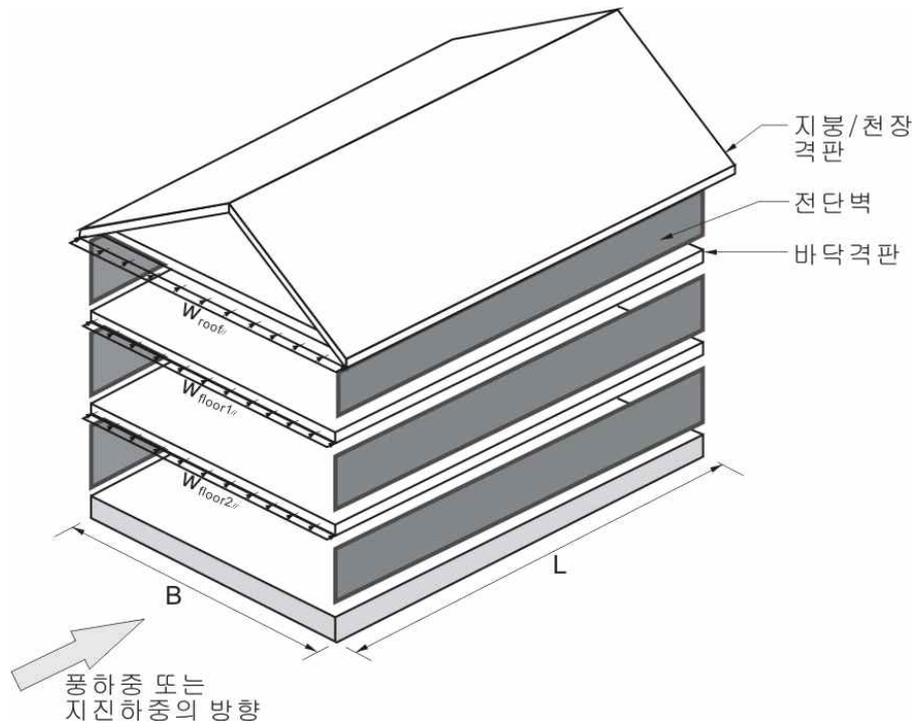


그림 B2-3. 지붕마루에 평행한 방향의 수평하중에 대한 벽체의 저항

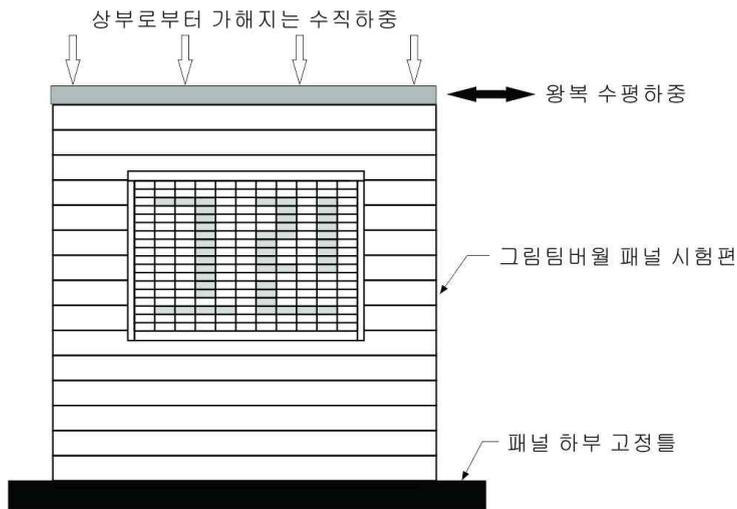


그림 B2-4. 그림티머널 패널의 수평하중저항성능 시험 방법

반복하중 하에서의 시험은 실제 건축물에 작용하는 수평하중이 단순증가 하중보다는 반복하중에 가까우며 하중의 크기가 좌우로 반복되며 증가되는 형태이기 때문



$$\frac{P}{\delta} \times \frac{H}{B} \text{ ----- (B2-2)}$$

여기서  $G$  : 전단강성계수(N/mm)

$P$  : 하중(N) - 최대하중의 1/3 즉  $P = P_u / 3$

$H$  : 전단벽의 높이(m)

$B$  : 전단벽의 나비(m)

$\delta$  : 하중 P에서의 변위 (mm)

식 (1)과 (2)에 의하여 계산되는 최대전단내력과 전단강성계수는 1번 째, 2번 째 및 3번 째 반복하중 하에서 압축영역과 인장영역에서 각각 값을 계산한 후 두 값의 평균을 각 반복하중 하에서의 최대전단내력과 전단강성계수로 결정하였다.

### (3) 단열성능 시험

그린티이버월 및 그린티이버아트월은 그린티이버홈의 주된 구성요소로서 그 단열성능이 그린티이버홈 전체의 에너지 효율성에 막대한 영향을 미친다. 따라서 그린티이버아트월 패널의 단열성능을 측정하고 기존의 경골목구조 벽체와 비교하여 단열성능 향상 정도를 평가하였다. 그린티이버아트월 패널의 단열성능은 그림 B2-6 및 B2-7과 같이 측정하였으며 그림 B6 및 B2-7에서 가운데에는 패널 시험편을 설치하고 좌우편에 온도 및 습도를 조절할 수 있는 항온항습기를 부착하였다. 패널에서 실내쪽 방향의 항온항습기는 겨울철 실내 온도 및 습도 조건(온도 25℃, 상대습도 95%)에 맞추고 실외쪽 방향의 항온항습기는 겨울철 실외 온도 조건(온도 -20℃)에 맞추어서 고온 측의 열이 저온 측으로 전달되는 정도를 측정하였다. 또한 저온 측의 낮은 온도가 고온 측으로 전달되어 벽면에 결로현상이 생기는 것을 관찰하였으며 패널 양 측면의 온도 측정을 통하여 패널을 중심으로 실외 측 및 실내 측의 온도경사를 측정하고 이를 통하여 패널의 단열성능을 평가하였다. 모든 단열시험은 각 패널 당 48시간씩 실시하였으며 48시간 동안 실내환경으로 설정된 항온항습기에 전력량계를 달아서 시험 중에 25℃의 온도 및 95%의 상대습도 실내환경을 유지하기 위하여 소모한 전력량을 측정하였다.



그림 B2-6. 그린팀버월 패널의 단열성능 시험방법



a) 단열성능 시험기에 시험편 설치

b) 단열성능 시험기 내부

그림 B2-7. 실제 단열성능 시험 사진

시험용 패널의 보호되지 않은 측면을 통하여 시험 중에 에너지가 손실되는 것을 방지하기 위하여 패널의 상하좌우 네 측면은 모두 두께 300mm의 스티로폼으로 감싸서 측면을 통한 에너지 손실로 인한 오차의 가능성을 최소화하였다. 단열성능 시험을 실시하면서 패널의 구성요소들 사이에 온도경사와 습도 경사를 측정하기 위하여 패널의 내부에 온도 및 습도 센서들을 부착하였으며 패널의 모든 구성요소들 사이에 온도센서를 부착하여 각각의 요소들 사이에서 온도가 어떠한 경사를 이루는지를 관찰하였으며 이를 통하여 그린팁버릴 패널의 단열성능에 어떠한 요소가 영향을 미치며 단열성능 향상을 위하여 어떠한 요소들을 보강하여야 하는지를 결정하고자 하였다.

#### (4) 내화성능 시험

내력벽의 내화성능 시험은 KS F 2257-1(건축 부재의 내화시험 방법 - 일반 조건) 및 KS F 2257-4(수직 내력 구획부재의 성능 조건)에 의해 시험 및 평가한다. KS 규격에 따라서 내화성능 시험을 하기 위해서는 그림 B2-8에서 보는 바와 같이 3mx3m의 실대 크기 시험체에 실제 현장에서 벽체에 가해지는 하중을 가하면서 다음의 표준화재 온도곡선에 따라서 가열할 수 있는 수직가열로(그림 2-1 참조)를 이용한다. 가열로의 열원은 대개 가스 또는 경유 버너를 이용하며 로내 온도는 그림 B2-9와 같이 시간에 따른 표준 시간-가열온도 곡선에 맞게 가열로가 제어되고 시험체 전 표면에 걸쳐 균일하게 가열되어야 한다.



그림 B2-8. 벽체의 내화시험용 수직 가열로

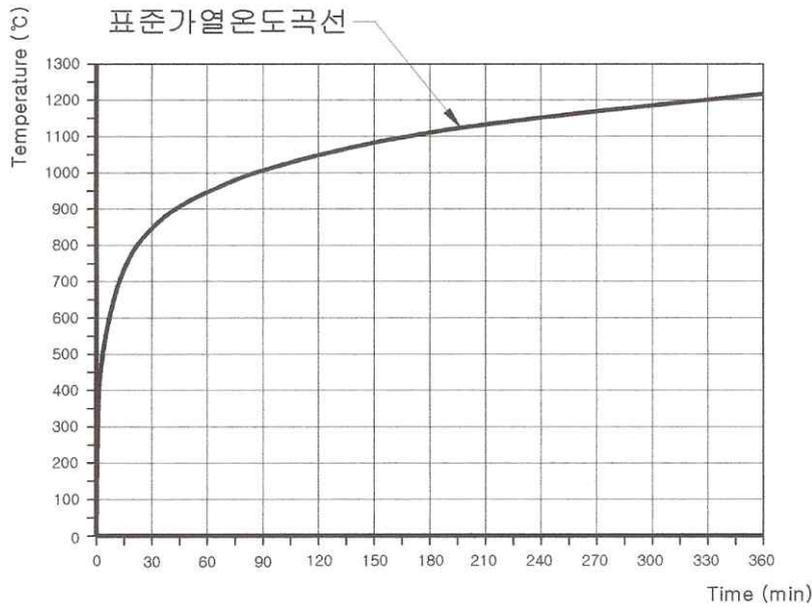


그림 B2-9. 표준 시간-가열온도 곡선

가열로 내 온도를 측정하는 온도 측정장치(열전대)는 평판 온도계 또는 KS C 1602에서 규정하고 있는 보호관이 있는 K형 열전대(Seath 열전대)로서 보호관의 바깥 지름이 6mm 이상인 것을 사용한다. 시험체의 비가열면 온도는 동원판 열전대로 측정하며 양호한 열접촉을 위해 지름 0.65mm 이하의 K형 열전대 선을 두께 0.2mm, 지름 12mm의 동원판에 납땀 또는 용접하여 사용한다. 각 열전대는 크기 (30×30)mm 및 두께 (2.0±0.5)mm의 무기질 단열패드로 덮으며 패드의 재료는 밀도가 (900±100)kg/m<sup>3</sup>인 것을 사용한다. 동원판과 시험체 표면간, 또는 동원판과 단열패드 간에는 접촉체가 묻지 않도록 하여 단열패드를 시험체 표면에 접촉한다. 시험 중 시험체의 변형량 및 변형속도를 측정하기 위하여 LVDT를 시험체에 수직 또는 수평방향으로 부착하여 시험 중 실시간으로 자동 계측한다.

시험체는 부재가 건물에 실제로 시공 또는 설치 되는 것과 같은 상태로 시험하여야 하므로 부재의 끝부분 또는 측면을 실제와 같은 지지조건으로 하여 시험을 실시하여야 한다. 즉 부재의 끝이 자유단, 이동단, 고정단 인지를 판단하여 시험체를 이에 맞게 시험체 고정틀 등에 설치하여 팽창, 수축, 회전이 가능하도록 하여 시험을 하여야 한다. 경골목조구조의 내력벽은 그림 B2-10과 같이 시험체 좌우는 시험 중 변형이 용이하도록 가변구속으로 하고, 하부는 이동이나 회전이 불가능하도록 고정하며 상부는 회전 지점으로서 구속으로 하여 시험을 실시한다. 비내력벽일 경우에는 그림 B2-11과 같이 상하 부분은 고정지점으로 하고, 좌우 중 한 곳은 고정 지점 나머지 한 곳은 가변 구속으로 하여 시험을 실시한다.

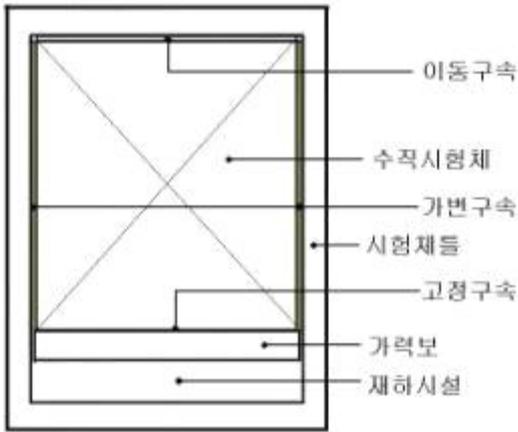


그림 B2-10. 재하 시험체 지점 조건

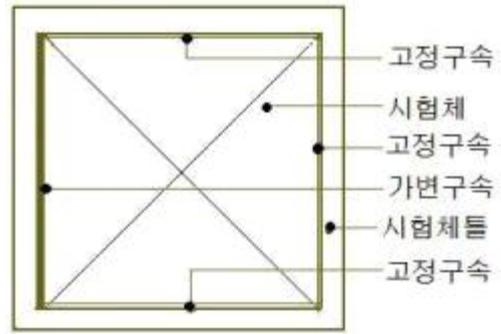


그림 B2-11. 비재하 시험체 지점 조건

시험에서는 벽체 상단부는 바닥 또는 지붕을 지지하는 구조 부분으로서 목구조에서는 회전이 자유로운 회전지점으로 가정한다. 따라서 시험체의 상단을 회전 지점으로 만들기 위하여 로울러 지점(Roller support)를 설치하고 시험체의 좌우측은 자유단으로 하며 벽체 하부는 고정 지점으로 만들기 위하여 면지지(Plain support)로 한다. 로울러 지점(Roller support)은 시험체 상부에 하중블록을 설치하고 그 위에 지름 40mm의 환봉을 설치하여 시험을 실시한다.

시험체에 하중을 가하는 재하 장치는 비교적 조정이 쉬운 유압시스템에 의해 시험체에 골고루 하중이 분포되도록 균일분포 가력장치를 사용한다. 벽구조의 재하 시험장치의 개념도는 그림 B2-12와 같으며 용량은 40톤(10톤의 유압실린더 4개 사용)의 재하장치 시스템을 갖추고 있다.

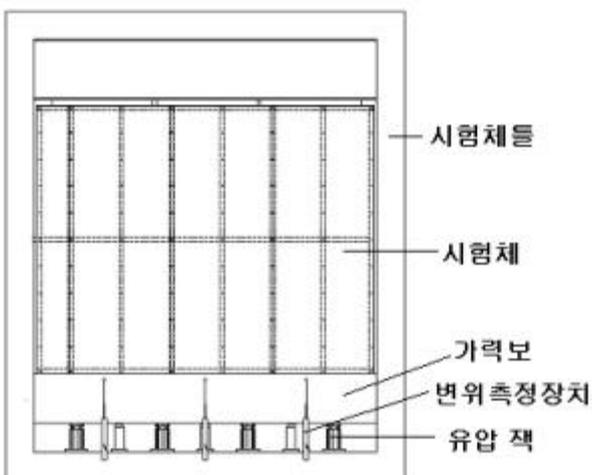


그림 B2-12. 수직 내력벽 가력장치

그린티이버월 패널은 그림 B2-13과 같이 상하 깔도리 사이의 목재 스테드 양면에 두꺼운 목재 벽널을 부착한 것으로서 벽체가 부담하는 하중은 스테드의 축하중과 깔도리의 횡압축하중 중에서 작은 값을 다음과 같이 계산하여 산정한다.

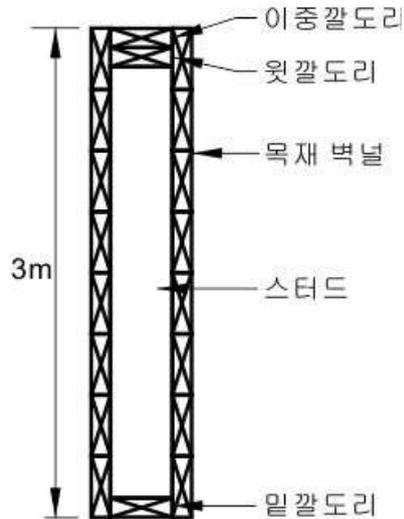


그림 B2-13. 그린티이버월 패널의 단면

스테드는 캐나다산 SPF를 사용한다고 가정하면 KS F 3020에 주어진 SPF의 허용응력은 다음과 같다:

$$\begin{aligned}
 &4.5N/mm^2 \\
 E &= 7,500N/mm^2 \\
 F_{c\perp} &= 2.5N/mm^2 \\
 C &= 1.15 \text{ (압축응력에 대하여)}
 \end{aligned}$$

스테드는 양면의 두꺼운 목재 벽널로 인하여 스테드의 두께 방향(약축 방향)으로는 좌굴이 발생하지 못하는 것으로 가정하고 나비 방향(강축 방향)의 좌굴에 대하여 기둥으로서의 허용하중을 계산한다.

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{\ell_e}{d}\right)_x &= \frac{1.0(3,000)}{89} \approx 33.7 \\
 E' &= E(C_M)(C_t)(C_T)(C_i) = 7,500(1.0)(1.0)(1.0)(1.0) = 7,500N/mm^2
 \end{aligned}$$

0.3 (육안 등급 구조재에 대하여)

$$c = 0.8$$

$$F_{cE} = \frac{K_{cE} E'}{[(\ell_e/d)_x]^2} = \frac{0.3(7,500)}{33.7^2} \cong 1.98 N/mm^2$$

$$F_c^* = F_c (C_D)(C_M)(C_t)(C_F)(C_i) = 4.5(1.25)(1.0)(1.0)(1.15)(1.0) = 6.47 N/mm^2$$

$$\frac{F_{cE}}{F_c^*} = \frac{1.98}{6.47} \cong 0.306$$

$$\frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} = \frac{1 + 0.306}{2(0.8)} \cong 0.82$$

$$C_P = \frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} - \left( \frac{1 + F_{cE}/F_c^*}{2c} \right)^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c} = 0.82 - (0.82)^2 - \frac{0.306}{0.8} \cong 0.28$$

$$F_c' = F_c (C_D)(C_M)(C_t)(C_F)(C_P)(C_i) = 4.5(1.25)(1.0)(1.0)(1.15)(0.28)(1.0) = 1.81 N/mm^2$$

∴ 목재의 섬유방향 압축강도에 근거한 스테드 1개의 허용 압축 하중:

$$P_{cl} = F_c' A = 1.81 \times (38 \times 89) = 6,121 N$$

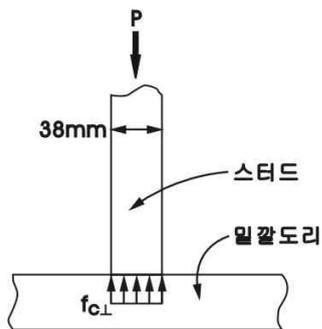


그림 B2-14. 스테드와 밑깔도리 접합부

밑깔도리는 길이가 길기 때문에 여러 개의 부재들을 이어서 사용하여야 하며 경우에 따라서 스테드로부터의 지압이 부재의 끝으로부터 75mm 이내의 거리에 있을 가능성이 있으므로 안전을 위하여 지압계수는 1.0을 적용한다.

$$F_{c\perp}' = F_{c\perp} (C_M)(C_t)(C_b) = 2.5(1.0)(1.0)(1.0) = 2.5 N/mm^2$$

∴ 밑깔도리의 지압에 근거한 스테드 1개의 허용 압축 하중:

$${}_2 F'_c A = 2.5 \times (38 \times 89) = 8,455N > P_{cl} = 6,121N$$

∴ 스티드 1개의 허용 압축 하중은  $P_{cl} = 6,121N$ 을 적용한다.

하나의 내화시험용 벽체에는 5개의 스티드가 사용되므로 재하내화시험에 사용될 재하량은 스티드 1개의 허용 하중의 5배가 된다.

$$P_{allow} = 6,121N \times 5 = 30,605N$$

내력벽의 판정기준은 표 B2-1과 같이 시험 중 하중지지력, 차열성 및 차열성을 평가하여 모두 만족할 경우 적합한 것으로 하고 있다. 내화시험 중의 차열성은 시험체 비가열면의 평균온도와 최고온도를 측정하여 평가한다.

표 B2-1 재하 내화시험의 판정기준

구 분		성능기준	비 고
요구 성능	하중 지지력	- 측면형량: $h/100(\text{mm})$ - 측면형율: $3h/1000(\text{mm}/\text{분})$	h:부재높이
	차열성	- 시험체 이면의 균열발생 부위에 면패드 적용 시 착화가 없을 것 - 6mm 갭게이지가 관통하여 150mm이상 이동하거나 25mm 갭게이지가 관통되는 균열이나 구멍의 발생이 없을 것	
	차열성	- 비가열면 상승 온도: 평균 $140+T_0$ , 최고 $180+T_0$	$T_0$ :초기 온도

차열성 측정을 위한 온도 측정위치는 KS F 2257-1에서 다음과 같이 정하고 있다.

- 비가열면 평균온도: 시험체 전체의 중앙과 시험체 4분할 면 각각의 중앙 등 5개소
- 비가열면 최고온도: 최고온도를 결정하기 위한 열전대는 다음 위치에 설치하되 시험체 끝부분에서 100mm 이상 떨어지도록 하여 설치
  - ① 시험체 상부 끝부분의 나비 중앙지점
  - ② 스티드의 끝부분 지점
  - ③ 스티드와 가로대가 교차하는 지점
  - ④ 구속되지 않는 수직부재 길이의 중앙지점

- ⑤ 판재 이음부 수평 조인트의 중앙 지점으로서, 가능한 조인트에 근접한 지점(정압부분)
- ⑥ 판재 이음부 수직 조인트의 중앙 지점으로서, 가능한 조인트에 근접한 지점(정압부분)

(5) 차음성능 시험

벽체의 차음성능 시험은 정상적인 시험 절차는 아니지만 간이로 그린티버월에서 벽체의 구성에 따른 차음성능을 그림 B2-15와 같이 측정하였다.

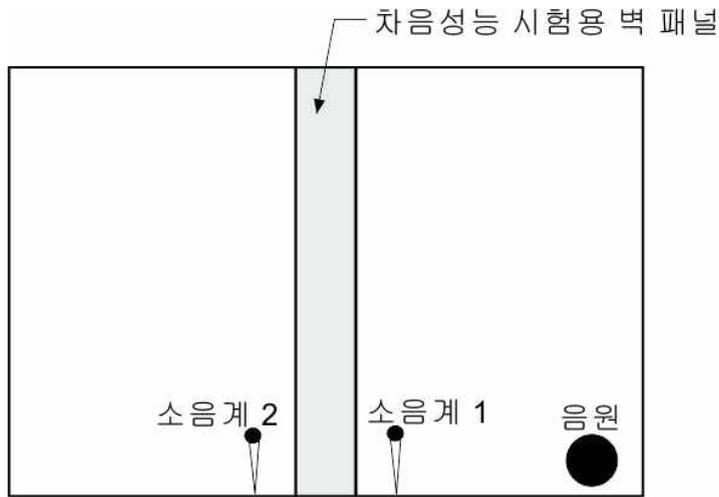


그림 B2-15. 간이식 차음성능 측정 장치

간이식으로 그린티버월 패널의 차음성능을 상호 비교 평가하기 위하여 그림 B2-15에 주어진 바와 같이 외부의 소음이 들어오지 못하도록 밀폐된 2개의 작은 공간을 만들고 그 사이에 그린티버월 패널을 설치하여 밀착시킬 수 있도록 하였다. 한쪽 공간에 음원을 설치하고 그린티버월 패널을 중심으로 좌우측에 각각 소음계를 설치하여 음의 높낮이를 측정할 수 있도록 하였다. 그림 B2-15에서 소음계 1은 음원실의 음높이를 측정하고 소음계 2는 반대쪽 방의 음높이를 측정하도록 하여 주거 공간에서 한 방에서 생기는 소음이 인접한 다른 방에 전달되는 정도를 비교 평가할 수 있도록 하였다.

그린티버월 패널의 차음 성능은 간단하게 다음 식 (B2-3)으로 계산하였다.

$$R = \frac{(SL_1 - SL_2)}{SL} \times 100(\%) \quad \text{----- (B2-3)}$$

1초에 1회의 속도로 소리를 측정하여 각각의 대응되는 측정값들에 대한 차음성능을 계산하여 그 평균치를 그린티म्버월 패널에 대한 차음성능으로 하였다.

#### (6) 포름알데히드 방산량 측정

그린티म्버아트월에서 아트월 부분을 구성하는 목재들을 고정시키기 위하여 접착제를 사용하게 되며 이 접착제로부터 방출되는 포름알데히드가 실내공기질 오염의 문제를 일으킬 가능성이 있기 때문에 이에 대한 측정을 실시하였다. 포름알데히드 방산량은 KS M 1998:2009의 데시케이타법에 따라서 실시하였다. KS M 1998에 따르면 시험편의 치수는 가로 50mm에 세로 150mm의 크기로서 하나의 데시케이터에 넣는 시험편의 노출면적 합계가 1,800cm<sup>2</sup>가 되도록 시험편의 수를 조절한다. 접착제의 도포량은 250g/m<sup>2</sup>가 되어야 하며 접착 시험편을 제작한 후 시험을 실시하기 전에 20±2℃의 온도와 65±5%의 상대습도 조건 하에서 7일간 조습 전처리를 실시하여야 한다. 밀폐된 데시케이터에 증류수와 시험편을 넣고 24시간 동안 유리 포름알데히드가 증류수에 용해되도록 한 후 아세틸 아세톤-아세트산 암모늄 용액을 넣고 분광 분석기를 이용하여 412nm의 파장에서 흡광도를 측정하고 흡광도를 검정곡선과 비교하여 포름알데히드 방산량을 결정한다. 모든 시험은 20±2℃의 온도 조건 하에서 실시하여야 한다.

#### (7) 단열계수 측정

에너지 가격이 상승하면서 저탄소 녹색성장 정책 추구 등의 정책 추진과 맞물려서 많은 사람들이 점차 주택의 단열성능에 관심을 가지고 있다. 일정한 재료들로 구성되는 건축물 구조체의 단열성능은 해당 구조체를 구성하는 재료들의 열전도율과 두께의 함수로 표현될 수 있다. 따라서 일정한 구조체를 구성하는 재료들의 종류와 두께, 열전도율 등을 알면 해당 구조체의 단열성능을 예측할 수 있으며 보다 높은 단열성능을 지닌 구조체의 설계도 가능해 질 것이다. 이 연구에서는 그린티म्버월 패널을 구성하는 목질재료들의 열전도율 및 열저항을 측정하였다.

재료들의 열전도율과 열저항 측정을 위하여 다양한 종류의 시료를 온도 고정식으로 또는 일정 온도 범위를 주고 측정할 수 있는 두 개의 센서가 장착되어 있으며 내장된 PC나 외장형 컴퓨터에서 시료의 열전도율 및 열저항 등을 측정할 수 있는 평판 열류계법 장비인 독일 네취사의 HFM436을 이용하였으며 시험방법은 KS L 9016: 2010(보온재의 열전도율 측정 방법)을 적용하였다. 모든 시험은 25도의 항온 조건에서 실시되었으며 시험편의 크기는 가로x세로가 300x300mm로서 두께는 100mm 이내에서 임의로 조절할 수 있다.

## 라. 연구내용 및 결과

### (1) 국산 낙엽송 목재 벽널을 사용한 그린팀버월 패널의 강도 성능

앞의 표 A4에 주어진 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널 시험편들 중에서 국산 낙엽송을 두꺼운 목재 벽널로 사용하여 제작한 것으로는 내화시험용 시험편으로 L-GH-4-GH의 한 가지를 들 수 있으며 강도시험용 시험편으로는 L-GH-4-GV와 L-GH-4AW01-4-GH 및 L-GH-4AW12-4-GV의 세 가지를 들 수 있다. 모든 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 수직하중저항성능 및 수평하중저항성능 시험은 그림 B2-16과 같은 장치를 이용하여 실시하였으며 수직하중은 시험체의 상부에 설치된 4개의 유압 실린더와 그 아래의 하중 블록을 통하여 균일분포하중이 시험체의 전체 길이에 걸쳐서 작용하도록 하였다. 수평하중저항성능 시험은 그림 B2-16의 시험체에서 오른쪽 상부에 설치된 유압 실린더를 통하여 좌우로 반복 하중을 전달할 수 있도록 설계된 시험 장치를 통하여 시험을 실시하였다. 수직하중저항시험에서는 중앙부 앞뒷면의 변형을 측정하여 그 평균을 시험체의 변형으로 하였으며 수평하중저항시험에서는 시험체의 좌측 상단과 높이의 1/2 지점에서 수평 변위를 측정하였다.



그림 B2-16. 그린팀버월 및 그린 팀버아트월 패널의 수직하중 및 수평 하중저항시험 장치

#### (가) 낙엽송 그린팀버월 패널(L-GH-4-GV)의 강도 성능

낙엽송을 사용한 그린팀버월 패널인 L-GH-4-GV에 대한 수직하중저항시험 결과는 그림 B2-17과 같다.

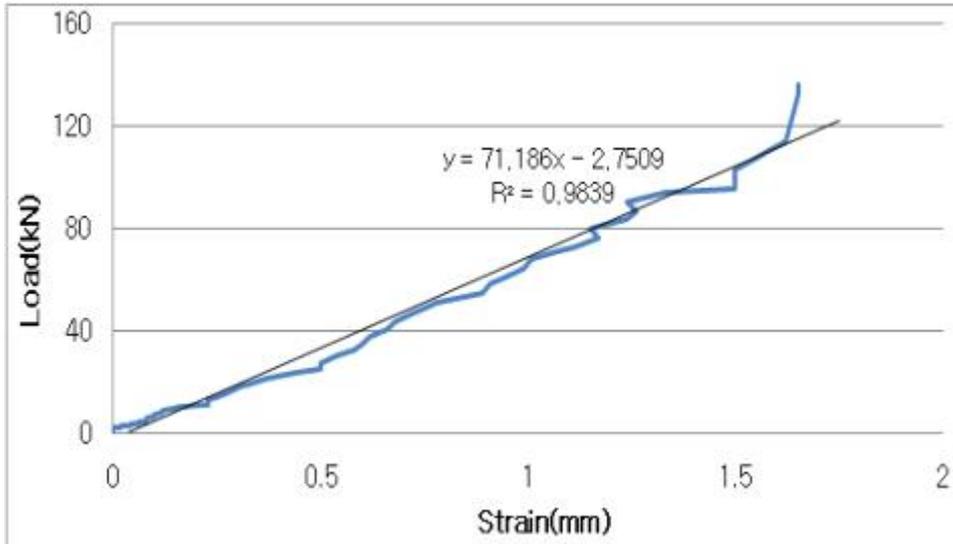


그림 B2-17. 낙엽송을 사용한 그린티이버월 패널(L-GH-4-GV)의 수직하중저항성능

그림 B2-17에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 15톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같은 치수의 일반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중저항성능을 보유하고 있다고 할 수 있다.

L-GH-4-GV 낙엽송 시험용 패널의 수평하중저항성능 시험 결과는 그림 B2-18과 같다. 그림 B2-18로부터 구한 L-GH-4-GV 낙엽송 패널의 특성곡선은 그림 B2-19와 같다. 그림 B2-19에서 보면 초기에는 강성이 제법 높지만 약 10mm의 변형에서 목재 벽널 사이가 서로 미끄러지면서 전단변형이 발생하고 강성과 강도가 급격하게 떨어지는 현상을 나타내고 있다.

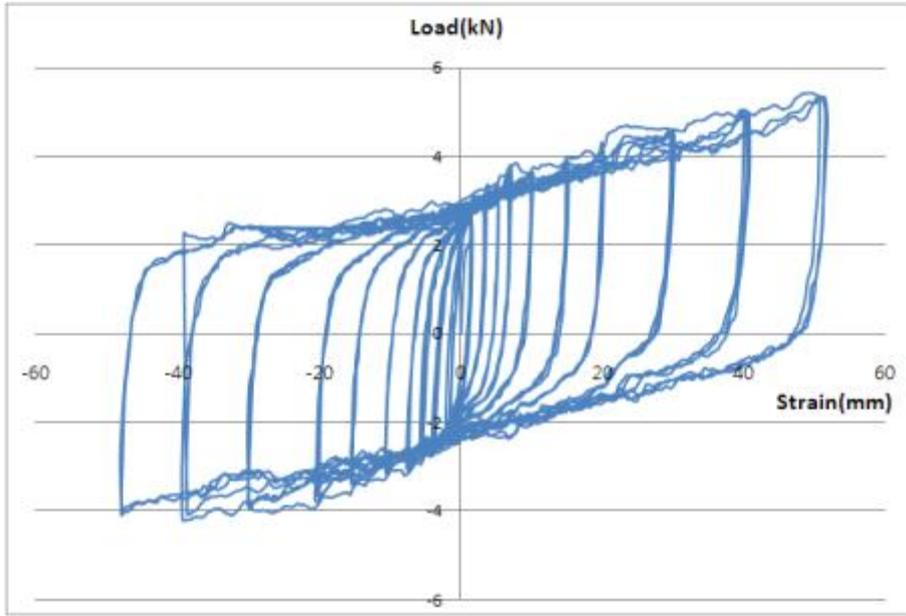


그림 B2-18. 낙엽송을 사용한 그린팁버릴 패널(L-GH-4-GV)의 수평하중저항성능

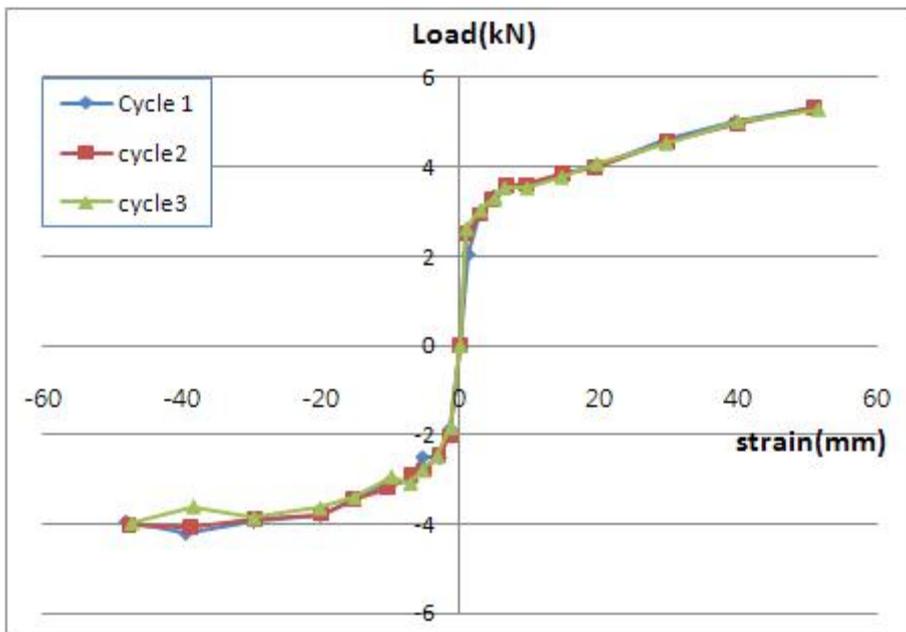


그림 B2-19. 반복수평하중 하에서 낙엽송을 사용한 L-GH-4-GV 패널의 특성곡선

그림 B2-18 및 B2-19를 1차년도에 실시하였던 IN-G-4-G 그린팁버릴 패널(실내

벽, 양면의 목재 벽널 수평 설치)의 수평하중저항성능 시험결과(그림 B1-28 및 B1-29)와 비교하면 그림 B2-18이 더 높은 값을 나타냄을 알 수 있다. 따라서 벽체 양면의 목재 벽널을 동일한 방향으로 배치하기 보다는 서로 직각이 되도록 한면은 수평 다른 한 면은 수직으로 설치하는 것이 수평하중저항성능 향상에 도움이 된다는 사실을 알 수 있다. 목재 벽널 자체의 수종이나 성질에 따른 패널의 수평하중저항성능은 기본적으로 큰 차이가 없는 것으로 생각된다.

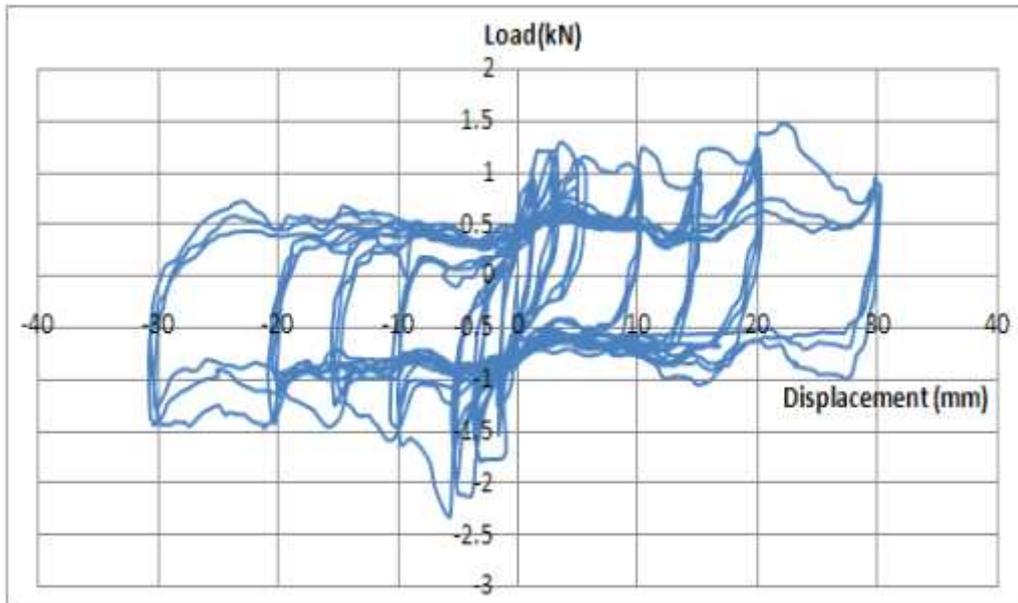


그림 B2-20. IN-G-4-G 패널의 수평하중저항성능

1차년도에 그린팁버릴 패널의 수평하중저항성능 시험을 실시한 결과 중에서 양면의 목재 벽널이 서로 직각인 경우(IN-GB-6-NG, 실내벽, 한쪽에 내단열 및 다른 쪽에 석고보드 설치)에 대한 수평하중저항성능 시험결과는 그림 B2-21과 같다.

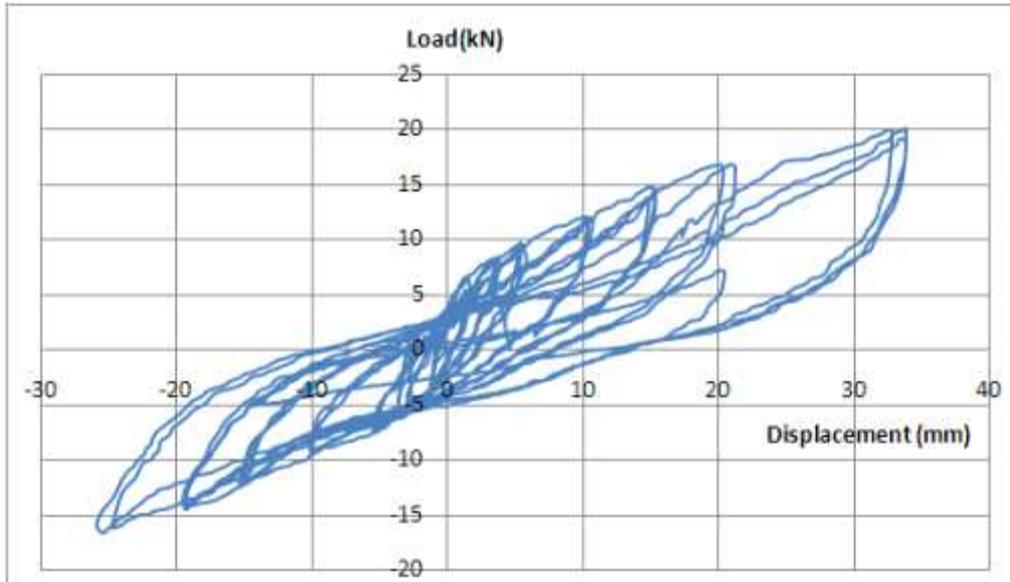


그림 B2-21. IN-GB-6-NG 패널의 수평하중저항성능

그림 B2-18과 B2-21을 비교하면 그림 B2-21의 경우가 수평하중에 대한 저항성능이 매우 우수함을 알 수 있다. 그림 B2-21의 경우는 패널 양면의 목재 벽널을 서로 직각으로 설치하고 스테드의 한쪽 면에 내단열층과 다른 면에는 석고보드를 설치한 경우이다. 따라서 그림 B2-21의 강도 성능은 목재벽널보다는 내단열층의 스테드와 직각으로 설치된 버팀대와 석고보드의 전단성능으로 인하여 높은 수평하중저항성능을 나타내는 것으로 생각된다. 석고보드 등의 다른 재료를 추가로 사용하지 않고 그린팁버릴 패널의 전단성능을 더욱 향상시키기 위해서는 패널의 한쪽 면에 내단열을 추가하고, 패널 양면의 목재 벽널은 직각 방향으로 설치하며, 목재 벽널과 스테드가 만나는 지점에서 벽널 하나당 2개의 12d 마감용 못(하나는 외부에서 보이지 않도록 장부에서 비스듬히 경사못박기, 다른 하나는 벽널 표면에서 표면 못박기)을 사용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

L-GH-4-GH 패널의 대한 수평하중저항시험에서 수평하중 하에서 목재 벽널들 사이가 전단 변형된 모습은 그림 B2-22 및 B2-23과 같다. 그림 B2-22에서 보면 수평하중의 작용 하에서 목재 벽널들이 계단형으로 변형됨을 알 수 있으며 그림 B2-23에서 보면 목재 벽널들이 좌우로 전단 변형을 받으면서 마찰력에 의하여 벽널의 턱솔접합부에서 목재의 일부분이 분리된 것을 알 수 있다.



그림 B2-22. 목재 벽널의 전단 변형



그림 B2-23. 목재 벽널의 파괴

(나) 낙엽송 40% 단면 그린티이버아트월 패널(L-GH-4AW01-4-GH)의 강도 성능

낙엽송을 사용한 단면 그린티이버아트월 패널(아트월 부분은 목재를 구성하지 않고 비워 둔 상태)인 L-GH-4AW01-4-GH에 대한 수직하중저항시험은 그림 B2-24와 같이 실시 되었으며 그 결과는 그림 B2-25와 같다. 그림 B2-25에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 18톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같은 치수의 일반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중 저항성능을 보유하고 있다고 할 수 있다.



그림 B2-24. L-GH-4AW01-4-GH 패널의 벽체 강도시험 장치

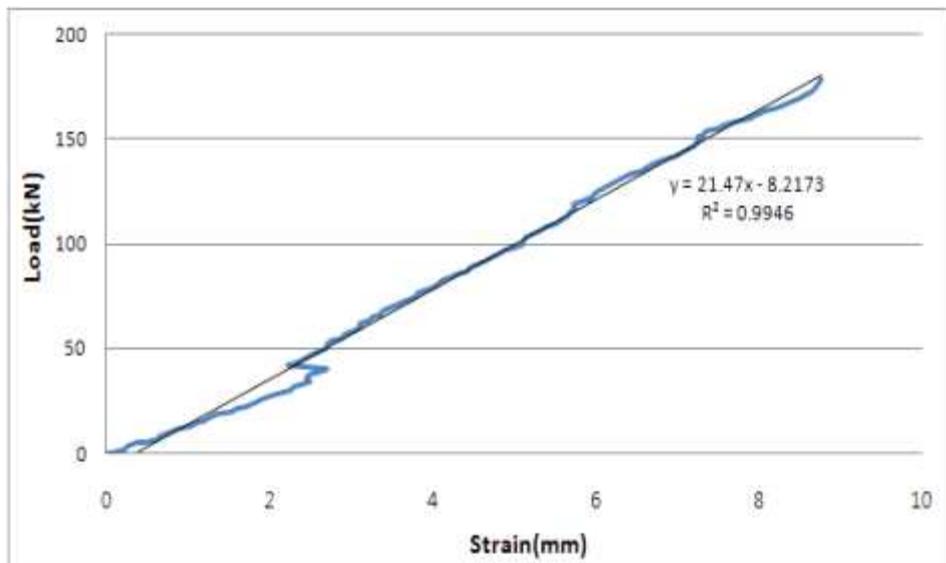


그림 B2-25. 낙엽송 단면 그린티버아트월 패널(L-GH-4AW01-4-GH)의 수직하중저항성능

L-GH-4AW01-4-GH 낙엽송 시험용 패널(아트월 부분은 비워 둠)의 수평하중저항성능은 그림 B2-26과 같다.

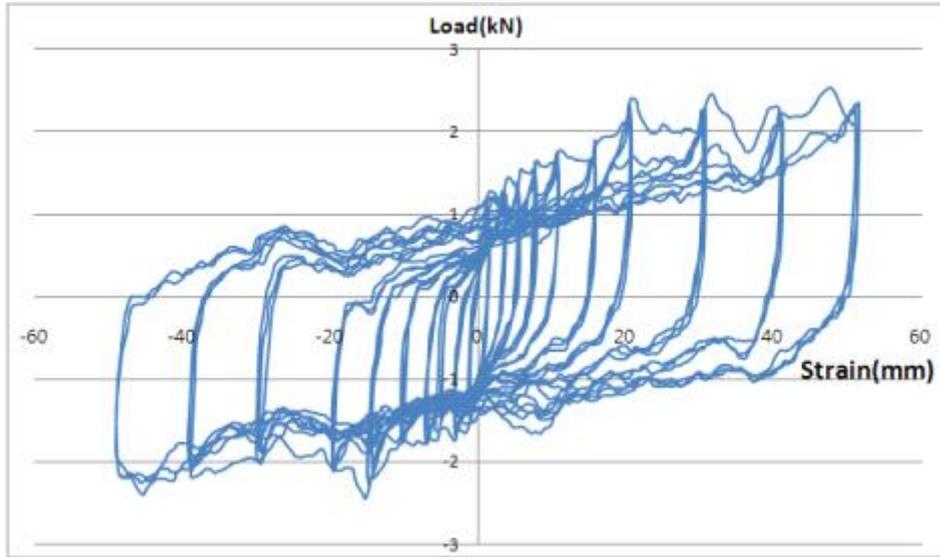


그림 B2-26. 낙엽송 단면 그린팁버아트월 패널(L-GH-4AW01-4-GH)의 수평하중저항성능

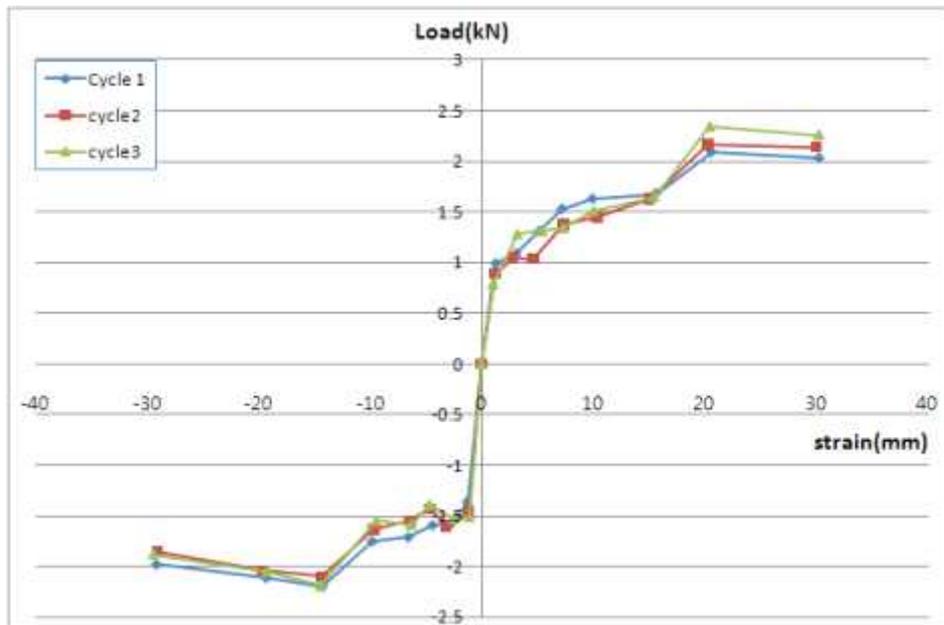


그림 B2-27. 반복수평하중 하에서 L-GH-4AW01-4-GH 패널의 특성곡선

그림 B2-26으로부터 구한 L-GH-4AW01-4-GH 낙엽송 패널의 특성곡선은 그림 B2-27과 같다. 그림 B2-26 및 B2-27에서 보면 초기에는 강성이 제법 높지만 약 5~10mm의 변형에서 목재 벽널 사이가 서로 미끄러지면서 전단변형이 발생하고

강성과 강도가 급격하게 떨어지는 현상을 나타내고 있다. 전반적인 강성이나 강도도 그림 B2-18 및 B2-19의 아트월이 없는 낙엽송 그린팁버월 패널에 비하여 떨어지는 경향을 나타내고 있다. L-GH-4AW01-4-GH 패널에서는 벽면적의 40%에 해당하는 아트월 부분이 비어 있는 상태이기 때문에 벽의 넓은 면을 구성하는 면재료의 전단성능으로 수평하중을 저항하여야 하는 전단벽의 특성상 수평하중저항성능이 낮게 나타날 수밖에 없을 것이다.

(다) 낙엽송 양면 그린팁버아트월 패널(L-GH-4AW12-4-GV)의 강도 성능

낙엽송을 사용한 양면 그린팁버아트월 패널(아트월 부분을 목재로 구성하여 채움)인 L-GH-4AW12-4-GV)에 대한 수직하중저항시험은 그림 B2-28과 같이 실시되었으며 그 결과는 그림 B2-29와 같다. 그림 B2-29에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 18톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같은 치수의 일반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중저항성능을 보유하고 있다고 할 수 있다.



그림 B2-28. L-GH-4AW12-4-GV 패널의 벽체 강도시험 장치

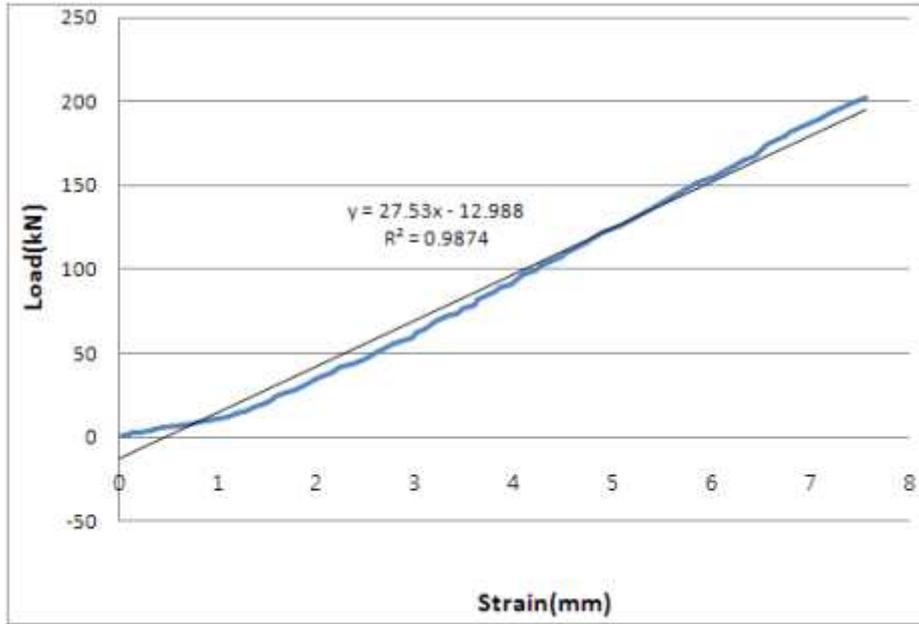


그림 B2-29. 낙엽송 양면 그린팁버아트월 패널(L-GH-4AW12-4-GV)의 수직하중저항성능

L-GH-4AW12-4-GV 낙엽송 시험용 패널(아트월 부분은 비워 둠)의 수평하중저항성능은 그림 B2-30과 같다.

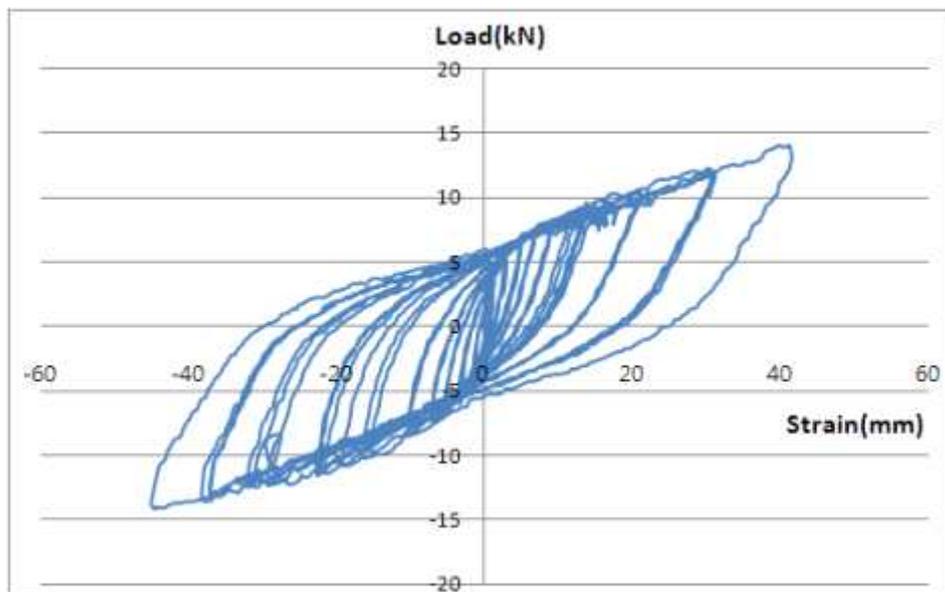


그림 B2-30. 낙엽송 양면 그린팁버아트월 패널(L-GH-4AW12-4-GV)의 수평하중저항성능

그림 B2-30으로부터 구한 L-GH-4AW12-4-GV 패널의 특성곡선은 그림 B2-31과 같다. 그림 B2-30 및 B2-31에서 보면 초기 강성이 매우 높으며 약 10mm의 변위에서 초기 강성이 감소하는 경향을 나타내었으나 이후에 하중이 반복되는 과정에서도 강성의 감소 정도가 그렇게 크지 않은 특성을 지니고 있었다. 전반적인 강성이나 강도는 그림 B2-26 및 B2-27의 아트월 부분을 비운 패널에 비하여 매우 높은 값을 나타내었으며 아트월이 없는 그린티머빌 패널(그림 B2-18 및 B2-19)보다도 더 높은 값을 나타내었다.

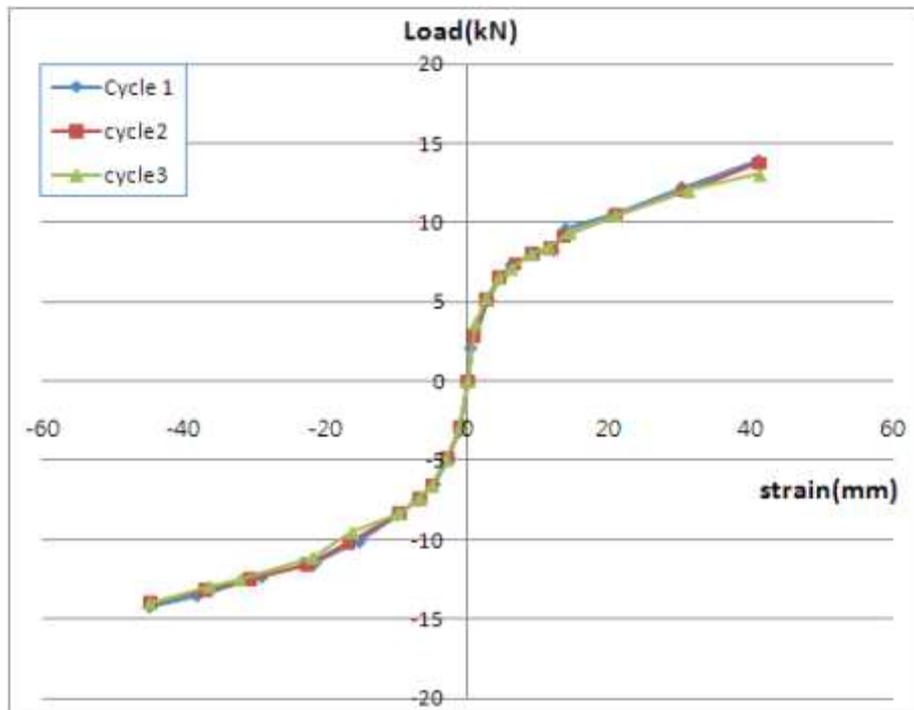


그림 B2-31. 반복수평하중 하에서 L-GH-4AW01-4-GH 패널의 특성곡선

L-GH-4AW12-4-GV 패널의 강도 특성은 1차년도에 시험을 실시하였던 OSB를 덮개재료로 설치하거나 석고보드를 덮개재료로 설치한 경골전단벽의 강도 특성과 유사한 정도의 전단성능을 나타내었다. 그림 B2-18 및 B2-19와 그림 B2-30 및 B2-31의 그림을 서로 비교하면 그린티머아트월 패널에서 아트월 부분을 비운 경우와 아트월 부분을 채운 경우 사이에 강성과 강도의 차이가 매우 크음을 알 수 있다. 따라서 아트월을 구성하는 목재들로 채운 아트월 부분이 패널 전체의 강성과 강도 향상에 매우 큰 영향을 주고 있으며 이 부분을 그린티머아트월 패널의 구조설계에 반영할 필요가 있음을 알 수 있다. 아트월을 비운 그린티머아트월 패널의 수직하중 저항성능은 일반적인 목조건축물의 수직하중을 지지하기에 충분한 성능을 나타

내고 있으므로 아트월 부분을 공장에서 채우지 않은 상태에서 그린팁버아트월 패널을 제작하고 현장에 운반하여 건축에 사용하더라도 수직하중저항성능에는 아무 문제가 없으며 이후에 아트월 부분을 채운 다음에는 더욱 높은 전단성능을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

(2) 그린팁버월 및 그린팁버아트월 패널의 개선

(가) 그린팁버월 및 그린팁버아트월의 결로 문제 및 개선방향

그린팁버아트월 패널의 단열성능은 아트월 부분이 주로 목재로 구성되어 있기 때문에 단열재가 설치된 그 외의 부분에 비하여 단열성능이 떨어질 것으로 예상되었다. 또한 그린팁버아트월이 외벽을 구성하는 경우에는 그림 B2-21에서 보는 바와 같이 아트월 부분과 아트월 이외의 부분을 통하여 목재 부재들 사이의 틈으로 수분의 이동이 가능할 것으로 예상된다. 이와 같이 이동한 수분이 그림 B2-22에서 보는 바와 같이 외부의 차가운 공기로부터 전달되는 냉기와 이슬점 이하의 온도에서 만나면 결로가 발생하고 이러한 벽체 내 결로는 장기간에 걸쳐서 축적되면서 목재 부재가 썩음으로써 벽체의 내구성과 안전성을 심각하게 훼손하게 될 것이다.

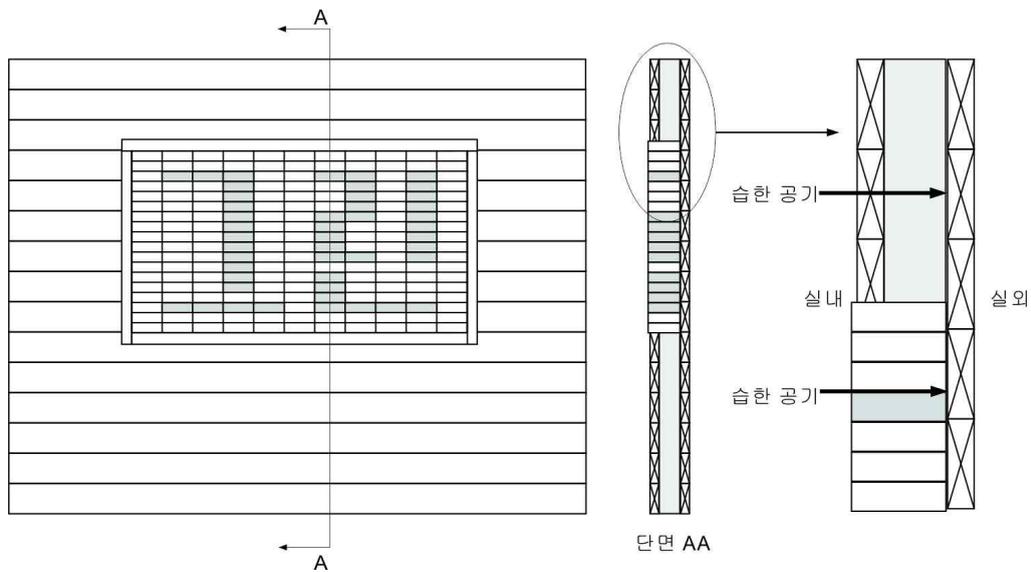


그림 B2-21. 그린팁버아트월 벽체를 통하여 수분의 이동이 가능한 통로

그림 B2-22에서 보면 좌측 그림은 아트월 이외의 단열재가 설치된 부분의 벽체 내 온도 경사를 나타내고 우측 그림은 아트월 부분의 벽체 내 온도경사를 나타낸다. 과도한 수분을 품고 있는 공기는 이슬점 이상의 온도에서는 결로가 발생하지

않지만 이슬점 이하의 온도가 되면 과도한 수분이 재료의 표면에 물방울로 맺히게 된다. 그림 B2-22의 좌측 그림에서 보면 단열재의 실내측 표면은 단열재의 성능으로 인하여 이슬점 이상의 온도를 유지하지만 실외측 표면은 그 바깥쪽 목재 벽넛만으로는 단열성능이 부족하여 이슬점 이하의 온도가 될 것으로 예상된다. 따라서 단열재의 실내측 표면에서 실내의 습한 공기 유입을 완벽하게 차단한다면 벽체 내 결로는 발생하지 않겠지만 그렇지 못하면 벽체 내부로 유입된 습한 공기는 단열재를 통과하여 이슬점 이하의 온도와 접촉함으로써 벽체 내부에 결로가 발생할 것이다.

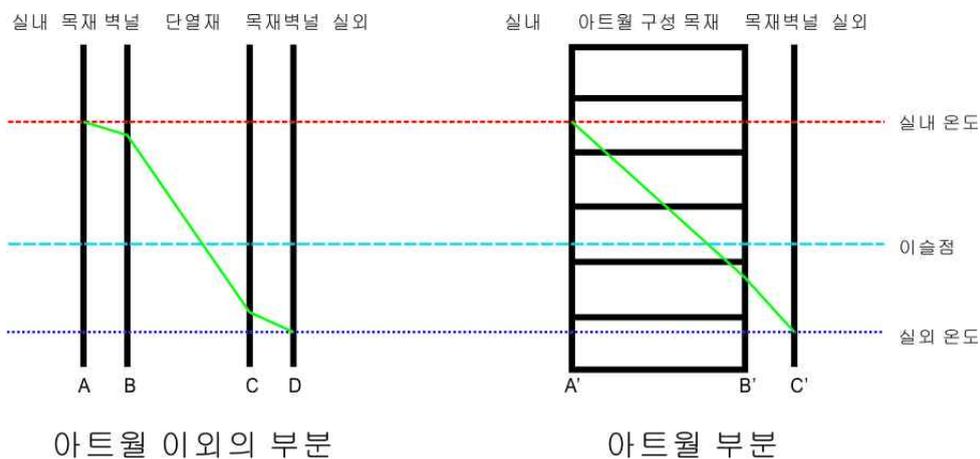


그림 B2-22. 그린티म्버아트월의 벽체 부위에 따른 온도 경사

그림 B2-23 및 B2-24는 그린티म्버월의 단열성능 시험에서 실내측 습한 공기가 벽체 내부로 침투하여 단열재 표면 및 실외측 목재 벽넛의 내부에 생긴 결로를 보여준다. 기존의 단열재 설치방법은 방습지(크라프트지)로 한면을 씌 유리섬유 또는 비닐로 양면을 감싼 유리섬유 단열재를 사용하여 양 측면의 스티드에 단열재 포장재의 날개 부분을 꺾쇠로 고정하는 방법이다. 그림 B2-23 및 B2-24를 보면 기존의 이러한 단열재 설치방법은 수분 침투와 벽체 내 결로의 문제를 해결할 수 없다는 사실을 보여준다. 벽체의 실내측 표면에는 석고보드 또는 목재 벽넛로 마감을 하게 되며 석고보드나 목재 벽넛 모두 수분을 함유한 공기가 쉽게 침투할 수 있는 재료이기 때문에 결로의 문제가 발생하게 된다.



그림 B2-23. 단열재의 표면 결로

그림 B2-24. 목재 외벽널 내부 결로

벽체 내부로 침투한 습한 공기는 단열재의 실내 면에만 있는 것이 아니라 단열재의 좌우측면 공간을 통하여 반대쪽 실외 면으로도 이동하게 되고 이 경우에 그림 B2-22에서 보는 바와 같이 이슬점 이하의 낮은 온도에 노출됨으로서 결로가 발생한다. 이러한 결로의 문제는 아트월 부분에서는 내부에 단열재가 없기 때문에 실외의 찬 기온을 차단하는 성능이 떨어지고 아트월 목재 사이사이의 공간을 타고 실내의 습한 공기가 실외 측면으로 이동할 수 있기 때문에 더욱 심각할 것으로 예상된다. 벽체 내부의 결로는 장기적으로 누적되면서 구조용재 및 덮개재료를 썩게 만들어서 심각한 안전상의 문제를 초래할 뿐만 아니라 단기적으로는 단열재가 물에 젖음으로써 단열 성능이 저하되어 에너지 낭비로 인한 비용 증가 및 환경 문제를 유발할 가능성이 매우 높다.

이와 같은 결로의 문제는 첫째 실내의 습하고 더운 공기가 벽체 내부로 침투하는 것을 방지하고 둘째 외부의 찬 기온이 벽체 내부에 침투한 습한 공기와 이슬점 이하의 온도에서 만나는 것을 차단하는 두 가지 조치를 취하여야 해결이 가능하다. 첫 번째로 실내의 습하고 더운 공기가 벽체 내부로 침투하는 것을 방지하기 위해서는 벽체의 실내 측면 전체에 걸쳐서 수분의 침투가 불가능한 막 재료를 설치하여야 한다. 이러한 수분 침투를 방지할 수 있고 시중에서 쉽게 구할 수 있는 저렴한 재료로는 두꺼운 비닐을 들 수 있다. 벽체 스티드의 실내면과 천장의 장선 밑면에 두꺼운 비닐막을 치고 비닐의 이음부를 테이프로 꼼꼼하게 밀봉함으로써 수분의 침투를 방지할 수 있다. 넓은 벽면이나 천장면을 통한 수분은 이와 같은 방법으로 침투를 차단하더라도 스위치, 콘센트, 등기구 설치 부위 등과 같이 면적이 작지만 실내와 구조부를 관통하는 구멍을 내야하는 위치에서 좁은 구멍을 타고 습한 공기가 벽체 내부로 이동할 수 있다. 따라서 이러한 작은 구멍들도 철저하게 밀봉하여야 하며 스위치나 콘센트 박스의 뒷부분을 비닐로 감싸고 비닐의 끝부분을 테이프로 밀봉하거나 그 뒷부분 및 좌우상하 측면을 우레탄 폼으로 밀봉하는 방법을 사용

할 수 있다.

결로를 방지하기 위한 두 번째 방법은 습한 공기가 벽체 내부로 침투하더라도 실외의 차가운 기온과 이슬점 이하의 온도에서 만나지 못하도록 하는 방법이다. 벽체 내부의 습한 공기가 실외의 차가운 공기와 접촉하지 못하도록 하기 위해서는 벽체의 실외쪽 측면을 수분 및 공기 침투를 방지할 수 있고 차가운 외부 온도가 전달되지 못하도록 충분한 두께의 단열재로 밀봉하는 방법이다. 이러한 목적으로 적합한 단열재로는 우레탄 폼을 들 수 있다. 우레탄 폼을 적당한 두께로 벽체의 덮개재료 안쪽에 분사해 놓고 시간이 지나면서 발포하여 약 30mm 내외의 두께를 형성하도록 한다면 R-13 정도의 단열성능을 나타냄으로써 그림 B2-25에서 보는 바와 같이 외기의 차가운 온도가 전달되지 않음으로써 벽체 내부에 습한 공기가 침투하더라도 이슬점 이하의 온도에 노출되지 않기 때문에 결로를 방지할 수 있다. 벽체에 외단열을 설치하면 차가운 외기 온도와 습한 공기의 접촉을 더 완벽하게 차단할 수 있을 것이며 외단열 재료로는 기존의 외단열 재료로 생산되는 스티로폼 기반의 제품이나 일반 스티로폼을 사용할 수 있다.

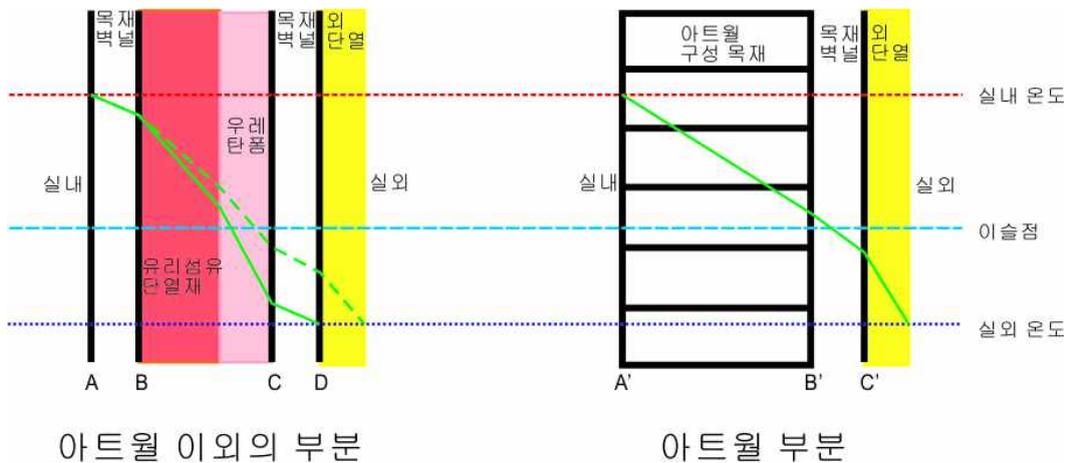


그림 B2-25. 결로 방지를 위한 단열공법

그림 B2-25의 좌측 그림은 아트월 부분을 제외한 그린티म्버월에서 약 30mm 두께의 우레탄 폼 단열을 하고 그 내부에 R-19 유리섬유 단열재를 설치한 그림이며 외단열을 하지 않은 경우에는 녹색 실선의 온도경사를 나타내고 외단열을 한 경우에는 녹색 점선의 온도경사를 나타낼 것으로 예상된다. 두 가지 경우 모두에서 벽체 내부의 습한 공기는 외기의 차가운 온도와 이슬점 이하에서 만나지 않기 때문에 습한 공기가 벽체 내부로 침투하더라도 벽체 내 결로를 방지할 수 있다. 그림 B2-25의 오른쪽 그림은 아트월 부분에서 외단열을 통하여 결로를 방지하는 방법으

로서 아트월의 목재 사이로 실내의 습한 공기가 침투하더라도 벽체 외부의 목재벽널(또는 덮개재료) 및 외단열의 단열 성능으로 인하여 외기의 차가운 온도와 이슬점 이하에서 접촉하는 것을 차단할 수 있다.

벽체의 수분 문제는 실내에서 침투하는 습한 공기와 아울러 외부로부터 강수 또는 적설로 인한 물의 침투로 인해서도 야기될 수 있다. 따라서 실내의 습한 공기 침투 방지 및 침투한 습한 공기의 이슬점 이하 온도에 노출 방지를 통하여 실내로부터의 수분 침투 문제를 해결하더라도 외부로부터의 물 침투도 함께 방지하지 않으면 그린팁버월의 완벽한 수분 문제 해결은 불가능하다고 할 수 있다. 외부로부터의 물 침투 방지는 외장 마감재의 올바른 설치공법을 적용하여 일단 외부의 물이 외장재를 침투하지 못하도록 하여야 하며 약간의 물이 외장재의 접합부나 가장자리, 모서리 등을 통하여 침투하더라도 벽체 내부로 침투하지 못하고 다시 외부로 나가도록 하여야 한다. 이러한 외부 수분의 침투 방지를 위하여 벽체의 실외 측면에 환기구를 설치하여야 한다.

벽체의 스티드 외부에 덮개재료를 설치하고 덮개재료 바깥쪽 면에 방수지(house wrap)을 설치하며 그 외부에 600mm 이하의 간격으로 두께 30~40mm 및 나비 30mm 이상의 받침목을 설치한다. 받침목 사이에 외단열재를 설치하고 받침목 외부에 외장 마감재를 고정한다. 이 때 외단열재와 외장 마감재 사이에는 15mm 이상의 간격이 환기 통로로 확보되어야 한다. 환기 통로의 상하부에는 벌레 등의 침입을 방지할 수 있도록 내구성 있는 재료로 만들어진 모기장 등의 망을 설치한다. 벽체 환기구 설치를 위한 받침목으로는 방부처리 목재를 사용하고 특별한 소재를 구하지 못한 경우에는 2x4(38mmx89mm) 방부처리목을 사용할 수 있다.

#### (나) 그린팁버아트월 패널의 개선 방향

그린팁버아트월 패널은 그린팁버월에서 실내장식 기능을 강화한 패널로써 패널의 중앙부에 아트월을 삽입한 패널이다. 아트월이란 주택의 제일 중심이 되는 벽체에 실내장식 기능을 강화할 수 있도록 포인트를 강조하는 벽체로서 일반적으로 실내에 벽지를 바르는 경우에 다른 곳의 벽지와는 달리 이 부분은 강렬한 색상 및 형태의 벽지를 사용함으로써 실내 마감 및 장식 기능을 부여하고 있다. 그린팁버월은 벽지 대신에 모든 벽을 두꺼운 목재 벽널로 마감하기 때문에 벽지를 이용한 포인트 강조는 불가능하며 다른 패널들과 동일하게 목재를 사용하되 목재의 수종, 색상, 모양, 무늬결 등에 변화를 주어서 이 부분에 시선이 집중될 수 있도록 강조한 것을 그린팁버아트월이라고 한다. 따라서 아트월 부분에는 다양한 색상, 수종, 모양, 치수 및 무늬결의 목재들이 사용될 수 있으며 다양한 조합을 통하여 2차원 또는 3차원의 형상이나 글씨 등을 연출할 수 있다. 따라서 그린팁버아트월 패널을 주의깊게 잘 제작하면 주택의 중심으로서의 장식 기능을 충실히 수행할 수 있을 것이다.

그러나 실제로 아트월 부분의 제작이 쉽지는 않으며 일일이 사람이 목재의 색상, 무늬, 수종, 치수 및 형태에 따른 위치를 확인하면서 일일이 수작업으로 고정을 시켜야 하기 때문에 많은 시간과 노력이 필요한 부분이다. 아트월 구성 목재들은 접착제로 고정시켜야 하므로 접착제의 사용에 따른 포름알데히드 방산으로 인한 실내 공기질 오염 문제의 발생 가능성이 매우 높다고 할 수 있다. 그린팀버아트월 패널을 공장에서 제작할 때에 아트월 부분의 틀만 미리 제작하고 아트월 구성 목재는 건축이 대부분 완료된 후에 설치하는 경우에 아트월 틀의 치수와 아트월 구성 목재들의 치수가 정밀하게 일치하지 않으면 원하는 장식 효과를 100% 나타내기가 어려울 수 있다.

일일이 수작업으로 아트월을 구성하는 문제는 아트월의 특성상 개선이 어려울 것으로 생각되지만 그래도 아트월 제작 매뉴얼에 따른 많은 경험을 통하여 보다 쉬운 방법을 터득하여야 할 것이다. 아트월을 가로, 세로의 격자 구조로 보고 가로 및 세로 좌표로 아트월 구성 목재의 위치를 확인하는 방법도 매우 유용한 방법이 될 것으로 생각된다. 아트월의 개구부 치수와 구성 목재의 치수를 맞추는 문제도 경험을 통하여 기술을 개발하여야 할 것이며 무엇보다 정밀한 치수의 아트월 구성 목재들을 사용하는 것이 필요하다. 아트월 구성 목재들은 가능하면 동일한 치수의 목재 또는 2배, 3배 등과 같은 정확한 배수의 치수를 갖는 목재를 사용하는 것이 전체적인 치수 관리에 유리할 것이다. 그리고 가능하다면 아트월 구성 목재들은 모두 정사각형 또는 직사각형 단면의 것들을 사용하는 것이 바람직하며 사각형 이외의 원형이나 삼각형을 사용하는 경우에는 그 자체의 외부 틀을 사각형으로 만들어서 외부의 치수가 다른 사각형 목재 치수의 배수가 되도록 준비한다면 치수 관리에 큰 어려움은 없을 것으로 생각된다.

아트월 구성 목재를 접착제로 고정하기 위하여 시중에서 판매되는 일반 목공용 접착(오공 205 본드)제를 사용하는 경우에 접착제로부터 방출되는 유리 포름알데히드로 인한 실내 공기질 오염 문제를 해결하기 위하여 접착제만 사용한 경우, 접착제에 흡착성능이 우수한 녹차 가루를 넣은 경우 그리고 접착제에 숯가루를 넣은 경우에 대한 포름알데히드 방산량을 KS M 1998의 테시케이터법에 따라서 측정하였다. 시험에 사용된 접착제 및 첨가제의 비율은 표 B2-2와 같다.

표 B2-2 유리포름알데히드 방산량 측정을 위하여 사용된 접착제 및 첨가제의 종류

기호	205 본드(%)	숫가루(%)	녹차가루(%)
Control	0	0	0
OB100	100	0	0
CC070	93	7	0
CC050	95	5	0
GT025	97.5	0	2.5
GT050	95	0	5

표 B2-2에서 CC070은 50번 메쉬로 친 숫가루를 사용하였고 CC050의 경우에는 100번 메쉬로 친 숫가루를 사용하였으며 녹차가루는 시중에서 판매되는 가루 녹차를 그대로 사용하였다. 측정에 사용된 목재 시험편의 모양과 데시케이터는 그림 B2-26과 같다. 이 연구에서 포름알데히드 방산 농도 측정을 위하여 사용한 흡광도에 따른 포름알데히드 농도 검정곡선은 그림 B2-27과 같다. 그림 B2-27에서 검정곡선을 나타내는 직선식은  $y = 16.295x - 0.0007$  (x: 포름알데히드 방산량(ppm), y: 흡광도)로서 이 직선식에 각각의 접착제 종류별 흡광도를 대입하여 포름알데히드 방산량을 계산할 수 있다.



a) 목재 시험편    b) 데시케이터에 목재 삽입    c) 분광 분석기

그림 B2-26. 포름알데히드 방산량 측정에 사용된 목재 시험편 및 데시케이터

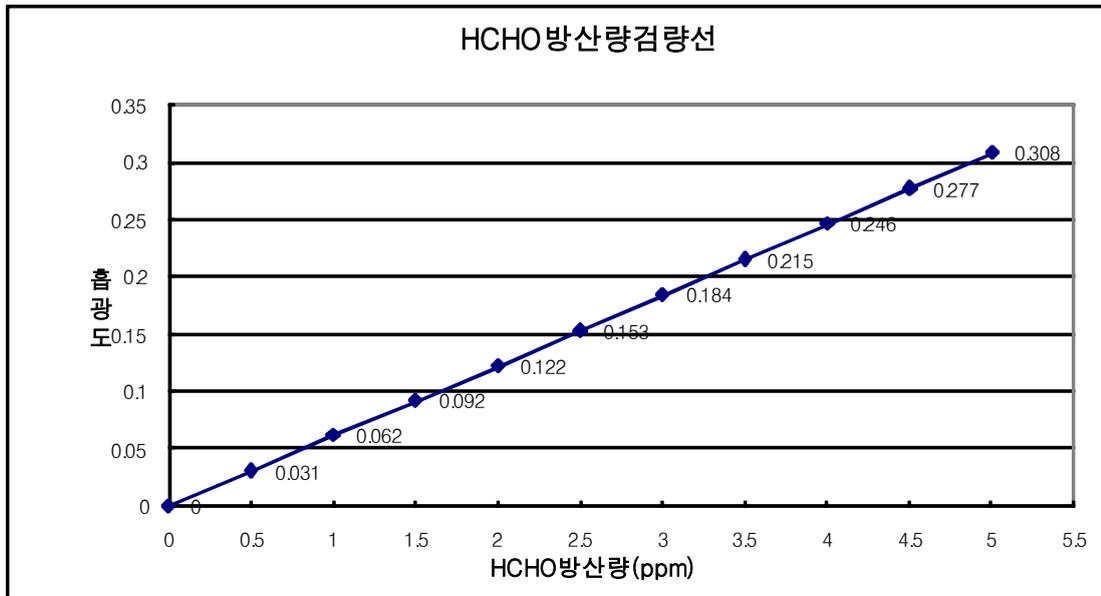


그림 B2-27. 이 연구에서 사용된 흡광도에 따른 HCHO 방산량 검정곡선

이 시험에서 사용된 여러 가지 접착제의 종류에 따른 흡광도 및 포름알데히드 (HCHO) 방산량 측정 결과는 표 B2-3와 같으며 현재 KS 표준에서 규정하고 있는 등급별 포름알데히드 방산량 기준은 표 B2-4와 같다. 우리나라에서 친환경 자재 인증을 위하여 설정한 기준값은 0.14ppm(1.0mg/ℓ)이고 미국 환경보호청의 포름알데히드 방산량 권고 기준값은 0.1ppm이며 세계보건기구(WHO)의 권고 기준값은 0.08ppm이다. 또한 미국의 친환경 인증 건사에서는 인테리어에 대하여 0.05ppm, 가구에 대하여 0.025ppm 그리고 매트리스나 어린이용품에 대하여 0.0135ppm을 기준으로 정하고 있다.

표 B2-3 접착제의 종류에 따른 흡광도 및 포름알데히드 방산량 측정 결과

접착제의 종류	흡광도	HCHO 방산량(ppm)	등급
Control	0	0	-
OB100	0.008	0.130	E1
CC070	0.0004	0.006	슈퍼E0
CC050	0.0001	0.0009	슈퍼E0
GT025	0.0004	0.006	슈퍼E0
GT050	0.0001	0.0009	슈퍼E0

표 B2-4 KS 표준의 포름알데히드 방산량 등급 기준

등급	기준값(ppm)[mg/ℓ]
슈퍼 Eo 등급	0.04[0.3] 미만
Eo 등급	0.04[0.3] 이상, 0.07[0.5] 미만
E1 등급	0.07[0.5] 이상, 0.21[1.5] 미만
E2 등급	0.21[1.5] 이상, 0.7[5] 미만

표 B2-4에서 E2 등급은 실내용으로 사용할 수 없으며 E1 및 Eo 등급은 제한적으로 실내 사용이 허용되며 슈퍼 Eo 등급은 제한 없이 실내용으로 사용이 가능하다. 따라서 목공용 접착제만을 사용한 경우에는 E1 등급으로서 제한적으로 실내에 사용할 수 있었으나 숯가루나 녹차 가루를 첨가한 경우에는 모두 슈퍼 Eo 등급을 나타내어 실내에서 제한없이 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 목공용 접착제만을 사용한 경우에 비하여 숯가루 또는 녹차가루를 첨가하는 경우에 매우 우수한 포름알데히드 방산량 개선효과를 나타냄으로써 숯가루 및 녹차가루의 포름알데히드 흡착 성능이 우수함을 알 수 있다. 시중에서 판매되는 목공용 접착제에 숯가루 또는 녹차가루를 첨가한 접착제는 모두 미국의 친환경 인증 기준 및 WHO 권고 기준값 이하의 수치를 나타내어 어떠한 경우에도 사용이 가능함을 알 수 있다.

(3) 그린티머월 패널의 내화성능 및 차음성능

(가) 그린티머월 패널의 내화성능

그린티머월 패널을 다층 다세대 목조건축에 사용하거나 또는 고층 아파트 및 상업용 건물의 칸막이벽으로 사용할 가능성을 염두에 두고 내화성능을 측정하였다. 국토해양부령 제 320호, “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”, 제 3조 8항의 별표 1에 따르면 4층 또는 높이 20m 이하의 건축물에서 내력벽 및 비내력벽에 대하여 1시간의 내화성능 요구되며 이를 초과하는 건물에서는 2시간의 내화성능이 요구된다. 따라서 그린티머월 패널을 좀 더 다양한 용도로 사용하기 위해서는 이 패널들에 대한 내화성능 평가 및 이 성능을 만족시킬 수 있는 대책의 마련이 필요하다.

① 낙엽송을 사용한 그린티머월 패널(L-GH-4-GH)의 내화성능

국산 낙엽송을 두꺼운 목재 벽널로 사용한 그린티머월 패널에 대한 비내력벽으로서의 내화성능과 내력벽으로서의 내화성능을 측정하였다. 비내력벽으로서의 내화성능은 하중을 지지하지는 않지만 내화성능이 요구되는 칸막이벽으로서의 용도에 적합한 정도를 평가하기 위한 것이며 내력벽으로서의 내화성능은 하중을 지지하는 내력벽으로서 화재 하에서도 안전하게 정해진 시간 동안 그 구조성능을 유지할 수

있는지를 평가하기 위한 것이다.

낙엽송 그린티이버월 패널(L-GH-4-GH)에 대한 비재하 내화성능 시험의 결과는 그림 B2-28 및 표 B2-5와 같았다.

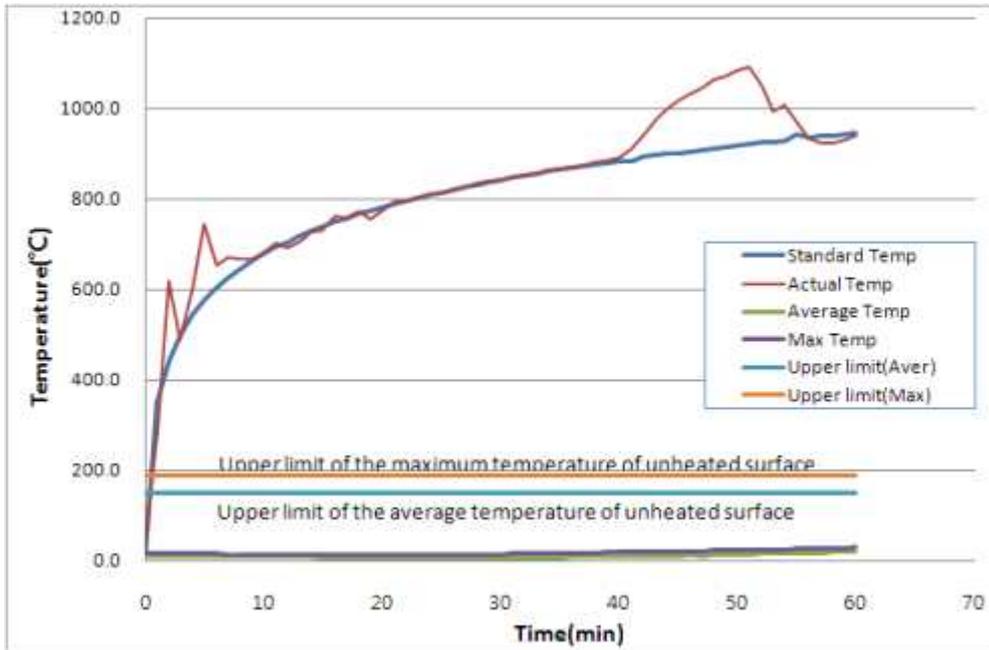


그림 B2-28. 낙엽송 그린티이버월 패널(L-GH-4-GH)의 비재하내화시험 결과

그림 B2-28에서 보면 표준 가열온도곡선에 비하여 실제로 가열된 가열로 내부 온도가 시험 초기 및 말기에 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 가열로는 가스 또는 기름을 태워서 열을 발생시키면서 가열로 내부 온도를 조절하게 되는데 그린티이버월 패널 시험편은 가열면이 전체적으로 목재이기 때문에 가열로의 연료로부터 나오는 열에 시험체의 가열면 목재가 타면서 내뿜는 열이 더해져서 가열로 내부 온도가 급격하게 상승하면서 가열로의 온도 조절이 어려워지는 결과가 초래되고 있다. 가열 곡선에서 초기 온도 상승은 가열면의 목재 벽널이 타면서 발생한 것이며 후반부 온도 상승은 가열면의 목재 벽널과 단열재가 모두 타고 열이 반대쪽의 비가열면 목재 벽널까지 전달되면서 비가열면 목재 벽널의 연소로 인하여 초래된 것이다. 이러한 현상은 모든 종류의 그린티이버월 패널에 대한 내화시험에서 동일하게 관찰되었다.

그림 B2-28을 보면 시험체의 비가열면 온도는 60분의 시험시간 동안 기준값(비가열면의 평균온도는 초기온도보다 140도를 초과하여 상승하지 않아야 하며 최고온도는 초기온도보다 180도를 초과하여 상승하지 않을 것)보다 매우 낮게 유지되었음

을 알 수 있다. 시험체의 육안 관찰 결과 균열이나 관통이 없었으며, 비가열면의 면 패드에 착화되지 않았고, 화염발생도 전혀 없는 것으로 나타났다. 따라서 그림 B2-28과 표 B2-5의 시험 결과를 통하여 낙엽송 그린티버월 패널(L-GH-4-GH)은 비내력벽으로서 1시간의 내화성능을 나타낸다는 사실을 알 수 있다.

표 B2-5 낙엽송 그린티버월 패널(L-GH-4-GH)의 비내력벽으로서의 내화성능

시험 항목	성능기준		측정결과		성능	
내화시험	차염성	균열 또는 관통 되지 않을 것	관통 되지 없음		60분	
		면 패드에 착화되지 않을 것	착화 되지 않음			
		화염발생 없을 것 (10 초 이상)	발생되지 않음			
	차열성	초기평균온도	-	9 °C	-	60 분
		비 가열면 평균온도	149°C	21 °C	60분	
		비 가열면 최고온도	189°C	29 °C	60분	
		이동전열대	-	-	-	

L-GH-4-GH 패널 시험편의 비내력벽 내화시험 시작 전과 1시간 내화시험 종료 후의 시험편의 모양은 각각 그림 B2-29 및 B2-30과 같다. 그림 B2-29와 B2-30을 보면 사진 상으로는 거의 변화가 없는 것처럼 보이나 시험편의 여러 곳에서 연기가 올라오는 것 이외에는 시험체의 비가열면에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 그림 B31은 시험체의 1시간 내화시험 종료 후 비가열면의 온도를 나타내는 컴퓨터 모니터 화면을 나타내고 있다. 그림 B32는 내화시험 종료 후 시험체를 가열로로부터 해체한 직후에 가열면의 모습을 나타낸다. 그림 B32를 보면 내화시험 직후에 시험체의 상태는 가열면의 목재 벽널은 거의 탄화되어 사라지고 스테드와 단열재 그리고 비가열면의 목재 벽널이 연소되고 있음을 알 수 있다. 비록 비가열면 목재벽널의 가열쪽 면은 맹렬하게 연소되고 있었지만 그 바로 35mm 뒷면의 온도는 초기온도보다 평균 20도, 최고온도 28도 상승하는 정도를 나타내었다. 내화시험 중에 두께 35mm의 비가열면 목재벽널에서 약 10mm의 탄화가 진행되고 25mm 정도가 탄화되지 않은 목재로 남아 있는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 시험 종료 직전에는 약 25mm 두께의 목재가 1000도 정도로 상승한 가열로의 열을 차단하여 비가열면 온도를 평균 21도, 최고 29도 정도로 유지하고 있었다는 사실을 알 수 있다. 이로써 목재의 우수한 단열성능을 알 수 있으며 이 단열성능으로 인하여 두께 35mm

의 목재 벽널이 1시간의 내화성능을 나타낼 수 있다는 사실을 알 수 있다.



그림 B29. 시험 시작 전의 시험편



그림 B30. 시험 종료 후의 시험편



그림 B31. 시험체 비가열면의 표면 온도



그림 B32. 내화시험 종료 후 시험체 가열면의 모습

동일한 시험체(L-GH-4-GH 패널)에 대해서 내력벽으로서의 내화성능 시험을 실시하였다. 내력벽으로서 1시간의 내화성능을 나타내기 위해서는 화재 하에서도 안전하게 1시간 동안 주어진 하중을 지지할 수 있어야 한다. 따라서 내력벽으로서의 내화시험은 재하 내화시험을 실시하며 재하량은 앞에서 계산된 것과 동일하게 30,605N(약 3톤)으로 설정하였다. 낙엽송 L-GH-4-GH 패널에 대한 재하 내화시험 결과는 그림 B2-33 및 표 B2-6과 같다.

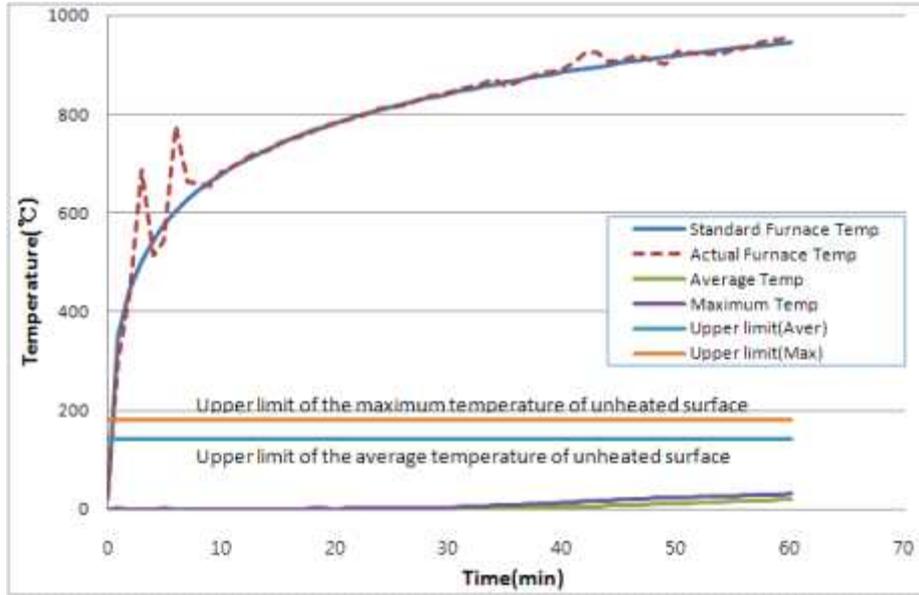


그림 B2-33. 낙엽송 그린티버월 패널(L-GH-4-GH)의 재하내화시험 결과

표 B2-6 낙엽송 그린티버월 패널(L-GH-4-GH)의 내력벽으로서의 내화성능

시험 항목	성능기준		측정결과		성능
내화시험	하중 지지력	수축량	30mm	8mm	60분
		수축률	9mm/min	1mm/min	
	차열성	균열 또는 관통 되지 않을 것		관통 되지 않음	60분
		면 패드에 착화되지 않을 것		착화 되지 않음	
		화염발생 없을 것(10 초 이상)		발생되지 않음	
	차열성	초기평균온도	-	5 °C	-
		비 가열면 평균온도	145°C	18 °C	60분
		비 가열면 최고온도	185°C	29 °C	60분
		이동전열대	-	-	-

그림 B2-33에서 보면 표준 가열온도곡선에 비하여 실제로 가열된 가열로 내부 온도가 비내력벽 시험에서와 마찬가지로 시험 초기 및 말기에 높게 나타난 것을 볼 수 있으며 비내력벽 시험에서와 같은 이유로 이러한 온도 상승이 초래된 것으로 볼 수 있다.

그림 B2-33을 보면 시험체의 비가열면 온도는 60분의 시험시간 동안 기준값(비가열면의 평균온도는 초기온도보다 140도를 초과하여 상승하지 않아야 하며 최고온도는 초기온도보다 180도를 초과하여 상승하지 않을 것)보다 매우 낮게 유지되었음을 알 수 있다. 시험체의 육안 관찰 결과 균열이나 관통이 없었으며, 비가열면의 면 패드에 착화되지 않았고, 화염발생도 전혀 없는 것으로 나타났다. 또한 시험체의 내화시험 중 변형을 측정된 결과 수축량과 수축률 모두 기준값(수축량 30mm, 수축률 9mm/min)보다 낮은 8mm 및 1mm/min를 나타내었다. 따라서 그림 B2-33과 표 B2-6의 시험 결과를 통하여 낙엽송 그린팀버월 패널(L-GH-4-GH)은 내력벽으로서도 1시간의 내화성능을 나타낸다는 사실을 알 수 있다.

L-GH-4-GH 패널 시험편의 내력벽 내화시험 시작 전과 1시간 내화시험 종료 후의 시험편의 모양은 각각 그림 B2-34 및 B2-35와 같다. 그림 B2-34와 B2-35를 보면 비내력벽의 경우와 마찬가지로 사진 상으로는 거의 변화가 없는 것처럼 보이나 시험편의 여러 곳에서 연기가 올라오는 것 이외에는 시험체의 비가열면에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 그림 B2-36은 시험체의 1시간 내화시험 종료 후 비가열면의 온도를 나타내는 컴퓨터 모니터 화면을 나타내며 그림 B2-37은 내화시험 종료 후 시험체를 가열로부터 해체한 직후에 가열면의 모습을 나타낸다. 그림 B2-37을 보면 내화시험 직후에 시험체의 상태는 가열면의 목재 벽널은 거의 탄화되어 사라지고 스티드와 단열재 그리고 비가열면의 목재 벽널이 연소되고 있음을 알 수 있다. 비가열면의 목재벽널은 비내력벽의 경우와 마찬가지로 약 10mm 정도가 탄화되었고 약 25mm 정도의 탄화되지 않은 목재가 남아있는 것이 관찰되었다. 비가열면의 온도는 초기온도보다 평균온도는 13도, 최고온도는 24도 상승하는 정도를 나타내었다. L-GH-4-GH 패널 시험편의 내력벽 내화시험에서도 목재의 우수한 단열성능으로 인하여 두께 35mm의 목재 벽널이 1시간의 내화성능을 나타낼 수 있다는 사실을 알 수 있다.



그림 B2-34. 시험 시작 전의 시험편



그림 B2-35. 시험 종료 후의 시험편



그림 B2-36. 시험체 비가열면의 표면 온도



그림 B2-37. 내화시험 종료 후 시험체 가열면의 모습

내화시험 후 시험체에 붙은 불을 모두 끄고 남은 시험체(비가열면 목재 벽널의 기열쪽 면과 스테드)의 모습은 그림 B2-38과 같으며 1시간 내화시험 후 남아있는 스테드의 깊이를 측정 한 결과는 그림 B2-39와 같다.



그림 B2-38. 비가열면 목재벽널 및 스테드    그림 B2-39. 남아있는 스테드의 깊이

그림 B2-38을 보면 스테드와 스테드 사이의 중간 부분에서 비가열면의 목재 벽널이 많이 탄화되었음을 알 수 있다. 내화시험 후 관찰한 결과 유리섬유 단열재가 스테드 부분에는 비교적 많이 남아있었으며 중간 부분에서는 대부분 탄화되거나 녹아내린 것으로 보아 유리섬유의 영향으로 스테드 근처의 비가열면 목재 벽널의 탄화가 지연된 것으로 보인다. 1시간의 내화시험 후 탄화되고 남아있는 38mmx89mm 스테드의 깊이는 그림 B2-39에서 보는 바와 같이 40-50mm 정도를 나타내었다.

## ② SPF를 사용한 그린팁버월 패널(S-GH-4S-GH)의 내화성능

SPF를 목재 벽널로 사용하고 스테드를 이중으로 엇갈리게 배치한 그린팁버월 패널(S-GH-4S-GH)에 대해서 내력벽으로서의 내화성능 시험을 실시하였다. 내력벽으로서의 내화시험에 주어진 재하량은 SPF의 허용응력을 기준으로 계산하여 54,880N(5,600kg)으로 설정하였다. SPF 그린팁버월 패널(S-GH-4S-GH)에 대한 재하 내화시험 결과는 그림 B2-40 및 표 B2-7과 같다.

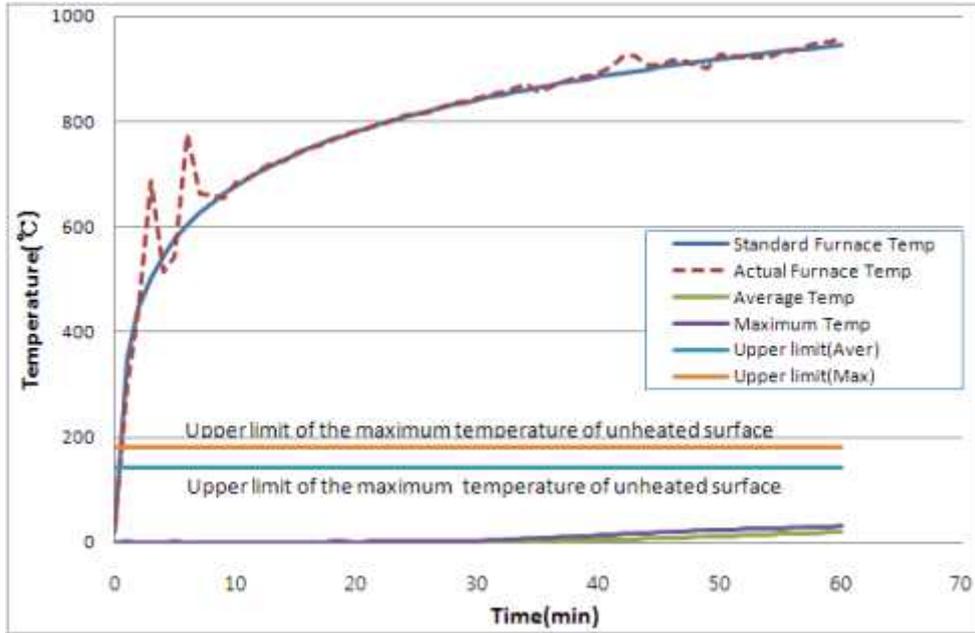


그림 B2-40. SPF 그린티이버월 패널(S-GH-4S-GH)의 재하내화시험 결과

표 B2-7 SPF 그린티이버월 패널(S-GH-4S-GH)의 내력벽으로서의 내화성능

시험 항목	성능기준		측정결과		성능
내화시험	하중 지지력	수축량	30mm	18mm	60분
		수축률	9mm/min	4mm/min	
	차염성	균열 또는 관통 되지 않을 것		관통 되지 않음	60분
		면 패드에 착화되지 않을 것		착화 되지 않음	
		화염발생 없을 것(10 초 이상)		발생되지 않음	
	차열성	초기평균온도	-	1 °C	-
		비 가열면 평균온도	141°C	20 °C	60분
		비 가열면 최고온도	181°C	32 °C	60분
		이동전열대	-	-	-

그림 B2-40에서 보면 표준 가열온도곡선에 비하여 실제로 가열된 가열로 내부 온도가 앞의 시험의 경우와 마찬가지로 시험 초기 및 말기에 높게 나타난 것을 볼 수 있으며 이전과 같은 이유로 이러한 온도 상승이 초래된 것으로 볼 수 있다.

그림 B2-40을 보면 시험체의 비가열면 온도는 60분의 시험시간 동안 기준값(비가열면의 평균온도는 초기온도보다 140도를 초과하여 상승하지 않아야 하며 최고온도는 초기온도보다 180도를 초과하여 상승하지 않을 것)보다 매우 낮게 유지되었음을 알 수 있다. 시험체의 육안 관찰 결과 균열이나 관통이 없었으며, 비가열면의 면 패드에 착화되지 않았고, 화염발생도 전혀 없는 것으로 나타났다. 또한 시험체의 내화시험 중 변형을 측정된 결과 수축량과 수축률 모두 기준값(수축량 30mm, 수축률 9mm/min)보다 낮은 18mm 및 4mm/min를 나타내었다. 따라서 그림 B2-40과 표 B2-7의 시험 결과를 통하여 SPF 그린팁버월 패널(S-GH-4S-GH)은 내력벽으로서 1시간의 내화성능을 나타낸다는 사실을 알 수 있다.

S-GH-4S-GH 패널 시험편의 내력벽 내화시험 시작 전과 1시간 내화시험 종료 후의 시험편의 모양은 각각 그림 B2-41 및 B2-42와 같다. 그림 B2-41과 B2-42를 보면 이전의 시험과 동일하게 사진 상으로는 거의 변화가 없는 것처럼 보이며 시험편의 여러 곳에서 연기가 올라오는 것 이외에는 시험체의 비가열면에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 그림 B2-43은 시험체의 1시간 내화시험 종료 후 비가열면의 온도를 나타내는 컴퓨터 모니터 화면을 나타내며 그림 B2-44는 내화시험 종료 직후 시험체를 관통하여 불길이 솟아나오는 모습을 나타낸다. 그림 B2-44를 보면 비록 S-GH-4S-GH 패널이 내력벽으로서 1시간의 내화시험을 통과하기는 하였지만 시험 직후 바로 화염이 시험체를 관통함으로써 내력벽으로서 1시간의 내화성능이 충분한 정도는 아니라는 사실을 알 수 있다.



그림 B2-41. 시험 시작 전의 시험편

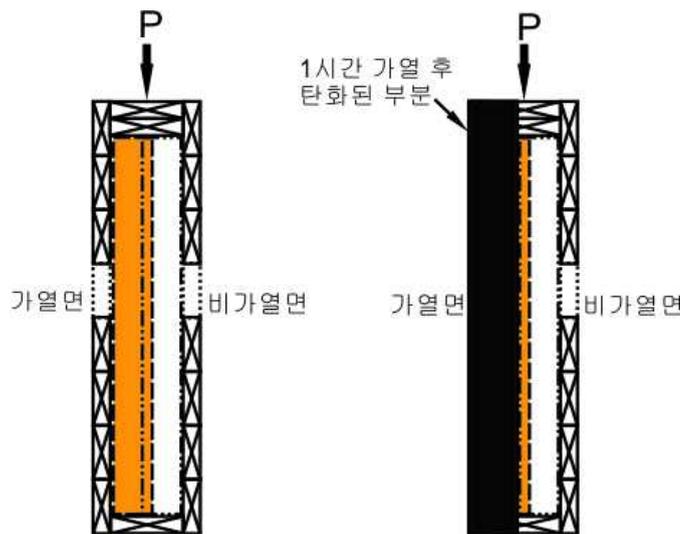


그림 B2-42. 시험 종료 후의 시험편



그림 B2-43. 시험체 비가열면의 표면 온도    그림 B2-44. 내화시험 종료 후 파괴된 가열면의 모습

내력벽은 그림 B2-45 a)에서 보는 바와 같이 시험편 상부의 회전 지점(핀)을 통하여 하중이 작용하는 상태에서 가열 내화시험을 실시하게 된다. 초기에는 하중이 시험체의 수직 단면 중심부를 관통하여 작용하지만 시험이 진행됨에 따라 가열면이 탄화되면서 시험체에서 탄화되지 않고 남아있는 단면이 줄어들게 된다. 그러나 하중은 원래의 작용점에서 그대로 작용하기 때문에 남아있는 단면에 대하여 중심을 관통하지 못하고 한쪽으로 치우치는 편심하중으로 작용하게 된다. 이러한 편심하중의 작용 하에서는 시험체를 비가열면쪽으로 구부러지게 하는 모멘트가 발생하며 시험이 진행될수록 이러한 모멘트의 영향을 더욱 증가하게 된다.



a) 시험 초기의 하중 상태    b) 시험 후반부의 하중 상태

그림 B2-45. 재내화시험에서 발생하는 좌굴 모멘트

그림 B2-45 b)에서 보는 바와 같이 엇갈리게 스테드가 배치된 경우에는 벽의 두께가 더욱 두꺼워지기 때문에 1시간 가열시험 후 가열면쪽의 탄화된 부분을 제외한 나머지 부분에 대한 편심의 값이 더욱 커지게 되고 이로 인하여 시험체를 비가열면 방향으로 구부러지게 하는 좌굴 모멘트가 더욱 크게 작용하게 된다. 더군다나 스테드가 엇갈리게 배치된 경우에는 스테드의 수가 증가하기 때문에 작용하는 하중의 값도 커지게 되고 그 결과로 좌굴 모멘트도 증가하게 된다. 따라서 스테드를 이중으로 설치하거나 또는 엇갈리게 설치한 경우에는 단일 스테드를 설치한 경우보다 좌굴에 의한 파괴의 가능성이 더욱 높아지게 된다.

내화시험 직후 시험체의 상태는 가열면의 목재 벽널은 거의 탄화되어 사라지고 스테드와 단열재 그리고 비가열면의 목재 벽널이 연소되고 있음을 알 수 있었다. 비가열면의 목재벽널은 이전의 경우와 마찬가지로 약 10mm 정도가 탄화되었고 약 25mm 정도의 탄화되지 않은 목재가 남아있는 것이 관찰되었으나 앞에서 설명한 바와 같이 좌굴 모멘트가 증가함으로써 스테드가 부러진 모습이 관찰되었다(그림 B2-46). 비가열면의 온도는 초기온도보다 평균온도는 19도, 최고온도는 31도 상승하는 정도를 나타내었다. S-GH-4S-GH 패널 시험편은 내력벽 내화시험에서 두께 35mm의 목재 벽널로 1시간의 내화성능을 나타내었으나 시험 직후에 좌굴에 의한 파괴가 발생함으로써 약간 불안정한 상태임을 알 수 있었다.



그림 B2-46. 좌굴모멘트에 의하여 부러진 스테드

### ③ HF를 사용한 그린팁버월 패널(H-GH-4-GH)의 내화성능

헴퍼를 목재 벽널(양면 수평 설치)로 사용한 그린팁버월 패널(H-GH-4-GH)에 대해서 내력벽으로서의 내화성능 시험을 실시하였다. 내력벽으로서의 재하내화시험을 위하여 재하량은 앞에서 계산된 것과 동일하게 30,605N(약 3톤)으로 설정하였다. 헴퍼 H-GH-4-GH 패널에 대한 재하 내화시험 결과는 그림 B2-47 및 표 B2-8과

같다.

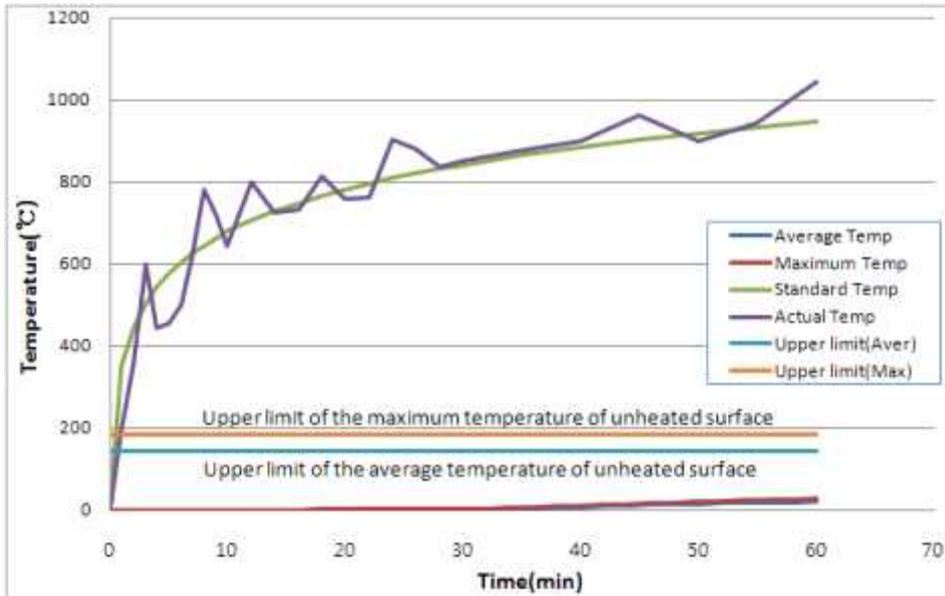


그림 B2-47. 헴퍼 그린티ம்ப러월 패널(H-GH-4-GH)의 재하내화시험 결과

표 B2-8 그린티ம்ப러월 패널(H-GH-4-GH)의 내력벽으로서의 내화성능

시험 항목	성능기준		측정결과		성능
하중 지지력	수축량	30mm	6.3mm	60분	60 분
	수축률	9mm/min	1.1mm/min		
차열성	균열 또는 관통 되지 않을 것		관통 되지 않음	60분	
	면 패드에 착화되지 않을 것		착화 되지 않음		
	화염발생 없을 것(10 초 이상)		발생되지 않음		
차열성	초기평균온도	-	5 °C	-	
	비 가열면 평균온도	145°C	21 °C	60분	
	비 가열면 최고온도	185°C	28 °C	60분	
	이동전열대	-	-	-	

그림 B2-47에서 보면 표준 가열온도곡선에 비하여 실제로 가열된 가열로 내부

온도가 이전 시험에서와 마찬가지로 시험 중에 높게 나타난 것을 볼 수 있으며 이전과 같은 이유로 이러한 온도 상승이 초래된 것으로 볼 수 있다.

그림 B2-47을 보면 시험체의 비가열면 온도는 60분의 시험시간 동안 기준값(비가열면의 평균온도는 초기온도보다 140도를 초과하여 상승하지 않아야 하며 최고온도는 초기온도보다 180도를 초과하여 상승하지 않을 것)보다 매우 낮게 유지되었음을 알 수 있다. 시험체의 육안 관찰 결과 균열이나 관통이 없었으며, 비가열면의 면 패드에 착화되지 않았고, 화염발생도 전혀 없는 것으로 나타났다. 또한 시험체의 내화시험 중 변형을 측정된 결과 수축량과 수축률 모두 기준값(수축량 30mm, 수축률 9mm/min)보다 낮은 6.3mm 및 1.1mm/min를 나타내었다. 따라서 그림 B2-47과 표 B2-8의 시험 결과를 통하여 험퍼 그린티버월 패널(H-GH-4-GH)은 내력벽으로서도 1시간의 내화성능을 나타낸다는 사실을 알 수 있다.

H-GH-4-GH 패널 시험편의 내력벽 내화시험 시작 전과 1시간 내화시험 종료 후의 시험편의 모양은 각각 그림 B2-48 및 B2-49와 같다. 그림 B2-48과 B2-49를 보면 시험 시작 전이나 시험 종료 후의 사진은 시험 종료 후 시험편에서 연기가 발생하는 것 말고는 거의 변화가 없는 것처럼 보인다. 그림 B2-50은 내화시험 중 가열로 내부에서 시험편 표면의 목재 벽널이 탄화되고 있는 모습을 보여주며 그림 B2-51은 내화시험 종료 후 시험체를 가열로부터 해체한 직후에 가열면의 모습을 나타낸다. 그림 B2-50은 내화시험 시작 후 약 50분 정도가 경과한 상태의 가열로 내부 사진으로서 그 때까지도 가열면의 목재 벽널이 일부 탄화된 상태로 남아있음을 알 수 있다. 그림 B2-51을 보면 내화시험 직후에 시험체의 상태는 가열면의 목재 벽널은 거의 탄화되어 사라지고 스티드와 단열재 그리고 비가열면의 목재 벽널이 연소되고 있음을 알 수 있다. 그림 B2-52는 내화시험 후 비가열면의 목재벽널 단면을 보여주고 있으며 그림 B2-52로부터 비가열면의 목재 벽널도 약 10mm 정도가 탄화되고 약 25mm 정도의 탄화되지 않은 목재가 남아있는 것을 알 수 있다. 그림 B2-53은 내화시험 후 남아있는 스티드의 단면을 보여주고 있으며 그림 B2-53으로부터 38mmx89mm 스티드가 탄화되고 약 50~60mm 높이가 남아있음을 알 수 있다. 시험체 비가열면의 온도는 초기온도보다 평균온도는 16도, 최고온도는 23도 상승하는 정도를 나타내었다. H-GH-4-GH 패널 시험편의 내력벽 내화시험에서도 목재의 우수한 단열성능으로 인하여 두께 35mm의 목재 벽널이 1시간의 내화성능을 나타낼 수 있다는 사실을 알 수 있다.



그림 B2-48. 시험 시작 전의 시험편



그림 B2-49. 시험 종료 후의 시험편



그림 B2-50. 내화시험중 목재 벽널의 탄화



그림 B2-51. 내화시험 종료 후 시험체 가열면의 모습



그림 B2-52. 비가열면 목재벽넬 및 스테드 그림 B2-53. 남아있는 스테드의 깊이

#### ④ 헴퍼-방화석고보드 그린팁버월 패널(H-GH-B-4-B-GH)의 내화성능

헴퍼를 두꺼운 목재 벽넬로 사용하고 그 내부에 15mm 두께의 방화석고보드를 함께 사용한 그린팁버월 패널에 대한 비내력벽으로서의 2시간 내화성능을 측정하였다. 2시간의 내화성능은 4층 또는 높이 20m 이상의 고층 건물에 사용할 수 있는 구조로서 목조건축물보다는 고층 아파트나 상업용 건물의 칸막이벽으로서의 용도를 대상으로 하고 있다. 고층 건물의 세대 사이의 벽이나 내력벽에는 2시간의 내화성능이 요구되지만 비내력 칸막이벽에는 내화성능 요건이 없다. 비록 비내력 칸막이벽에 대해서는 2시간의 내화성능이 요구되지 않지만 고층건물의 화재 발생 시에 인명 및 재산상의 피해가 크고 화재 진압에 어려움이 있기 때문에 가능하면 법규에서 요구되지 않지만 필요한 내화성능을 갖추고 있으면 그 만큼 재료 및 구조에 대한 신뢰도를 높일 수 있을 것으로 생각된다. 목구조에서 2시간의 화재 하에서 목재만으로 충분한 내화성능을 나타내기에는 목재의 두께가 너무 두껍게 요구되기 때문에 현실적으로 목재만 사용하기 보다는 방화석고보드와의 조화를 통하여 효율적인 내화구조를 만들 수 있을 것으로 생각된다.

헴퍼-방화석고보드 그린팁버월 패널(H-GH-B-4-B-GH)에 대한 비재하 2시간 내화성능 시험의 결과는 그림 B2-54 및 표 B2-9와 같다.

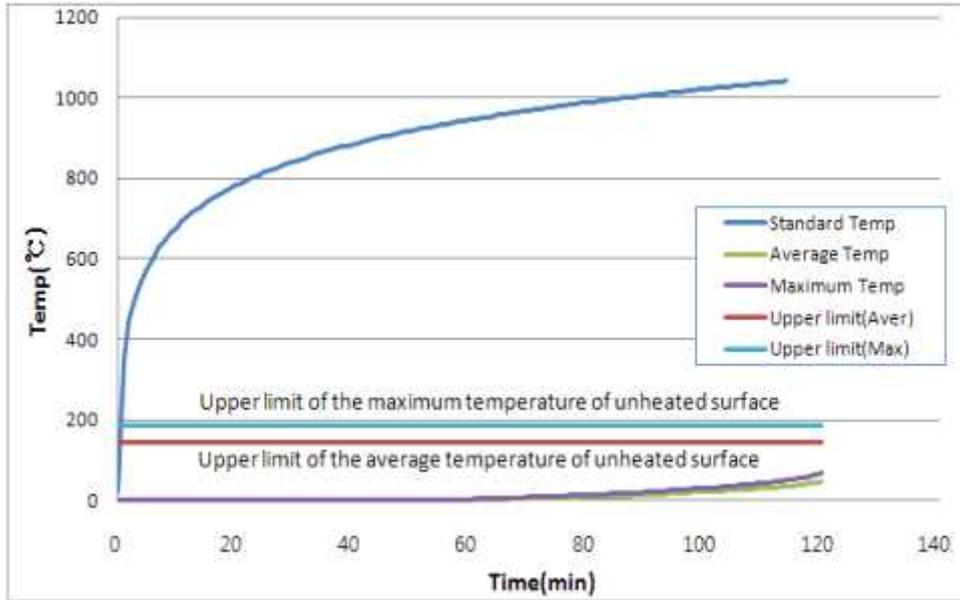


그림 B2-54. 헴퍼-방화석고보드 그린티이버월 패널(H-GH-B-4-B-GH)의 2시간 비재하내화시험 결과

그림 B2-54와 표 B2-9에서 보면 시험체의 비가열면 온도는 120분의 시험시간 동안 평균온도는 42도, 최고온도는 64도 정도 상승하여 기준값(비가열면의 평균온도는 초기온도보다 140도를 초과하여 상승하지 않아야 하며 최고온도는 초기온도보다 180도를 초과하여 상승하지 않을 것)보다 매우 낮게 유지되었음을 알 수 있다. 그러나 시험체의 육안 관찰 결과 시험 말기(시험 시작 후 약 118분 경과)에 비가열면의 목재 벽널에 틈이 벌어지면서 그림 B2-55와 같이 화염이 관통하여 시험에 실패하는 결과가 나타났다. 시험 중 비가열면의 면 패드에 착화되지 않았으며 화염발생도 전혀 없는 것으로 나타났다. 따라서 헴퍼-방화석고보드 그린티이버월 패널(H-GH-B-4-B-GH)은 약간만 보강하여 약 5분 정도의 내화성능만 더 나타낼 수 있어도 비내력벽으로서 2시간의 내화성능을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

표 B2-9 헴퍼-방화석고보드 그린티머월 패널(H-GH-B-4-B-GH)의 비내력벽  
2시간 내화시험 결과

시험 항목	성능기준		측정결과		성능
내화시험	차염성	균열 또는 관통 되지 않을 것	관통되지 않음	118분	117분
		면 패드에 착화되지 않을 것	착화 되지 않음		
		화염발생 없을 것(10 초 이상)	화염 발생		
	차열성	초기평균온도	-	5 °C	
		비 가열면 평균온도	145°C	47 °C	118분
		비 가열면 최고온도	185°C	69 °C	118분
		이동전열대	-	-	-



그림 B2-55. 비가열면에 화염 발생



그림 B2-56. 시험 직후 가열면의 모습

그림 B2-55는 시험 후반부(시험 시작 후 약 118분 경과)에 화염이 비가열면의 고정되지 않은 자유단 부분을 통하여 벽널과 벽널 사이의 턱솔접합부(T&G)가 벌어지면서 화염이 발생하는 모습을 보여준다. 그림 B2-56은 시험 종료 직후 시험체 가열면의 모습으로서 비가열면의 벽널 내부에 설치된 석고보드가 아직 완전히 제거되지 않고 남아있는 것을 볼 수 있다. 그림 B2-57은 비가열면의 목재 벽널을 해체하여 쌓아놓은 것으로서 그 중의 하나를 절단한 단면은 그림 B2-58과 같다. 그림 B2-57과 B2-58을 보면 2시간의 내화시험 종료 후에도 비가열면의 목재 벽널은 아

직도 상당 부분 정상적인 상태로 남아있으며 10mm 정도만 탄화되고 25mm 정도의 정상적인 목재 부분이 남아있음을 알 수 있다. 그러나 목재 벽넛은 140mm 나비의 작은 목재들이 턱솔접합으로 결합되어 있는 것이기 때문에 뒷면에서 10mm 정도가 탄화되면 목재의 치수가 변하게 되고(탄화된 방향으로 수축 발생) 턱솔결합을 지지하는 목재부분이 약화되어 좌굴이 발생하면서 화염이 발생하는 파괴가 나타난다. 따라서 내화시험 후반부에 화염의 관통시간을 5분 정도만 더 지연시킬 수 있도록 보장한다면 비내력벽으로서 2시간의 내화성능을 나타내기에 충분할 것으로 생각된다.



그림 B2-57. 비가열면의 목재 벽넛      그림 B2-58. 비가열면 목재 벽넛의 단면

⑤ SPF-방화석고보드 그린팁버릴 패널(S-GV-B-4-B-GV)의 내화성능

SPF를 두꺼운 목재 벽넛로 사용하고(양면에 수직 설치) 그 내부에 15mm 두께의 방화석고보드를 함께 사용한 그린팁버릴 패널에 대하여 비내력벽으로서의 2시간 내화성능을 측정하였다. 앞의 시험에서 2시간이 거의 다 되는 시점에서 좌굴로 인한 화염 관통이 발생하였기 때문에 벽넛의 수평 설치로 인하여 벽넛 자체의 무게로 늘리면서 좌굴이 발생하였을 가능성을 생각하고 이번에는 양면의 목재 벽넛을 모두 수직 설치하여 시험을 실시하였다.

SPF-방화석고보드 그린팁버릴 패널(S-GV-B-4-B-GV)에 대한 비재하 2시간 내화성능 시험의 결과는 그림 B2-59 및 표 B2-10과 같다. 그림 B2-59 및 표 B2-10에서 보면 시험체의 비가열면 온도는 120분의 시험시간 동안 초기온도보다 평균온도는 51도, 최고온도는 92도 정도 상승하여 기준값(비가열면의 평균온도는 초기온도보다 140도를 초과하여 상승하지 않아야 하며 최고온도는 초기온도보다 180도를 초과하여 상승하지 않을 것)보다 낮게 유지되었음을 알 수 있다. 그러나 시험체의 육

안 관찰 결과 시험 말기(시험 시작 후 약 118분 경과)에 비가열면의 목재 벽널에 틈이 벌어지면서 그림 B2-55와 같이 화염이 발생하여 시험에 실패하는 결과가 나타났다. 시험 중 비가열면의 면 패드에 착화되지 않았으며 관통도 전혀 없는 것으로 나타났다. 따라서 SPF-방화석고보드 그린티버월 패널(S-GV-B-4-B-GV)도 비내력벽으로서 2시간의 내화성능을 나타내기 위해서는 약 10분 정도의 내화성능을 더 나타낼 수 있도록 보강할 필요가 있을 것으로 생각된다.

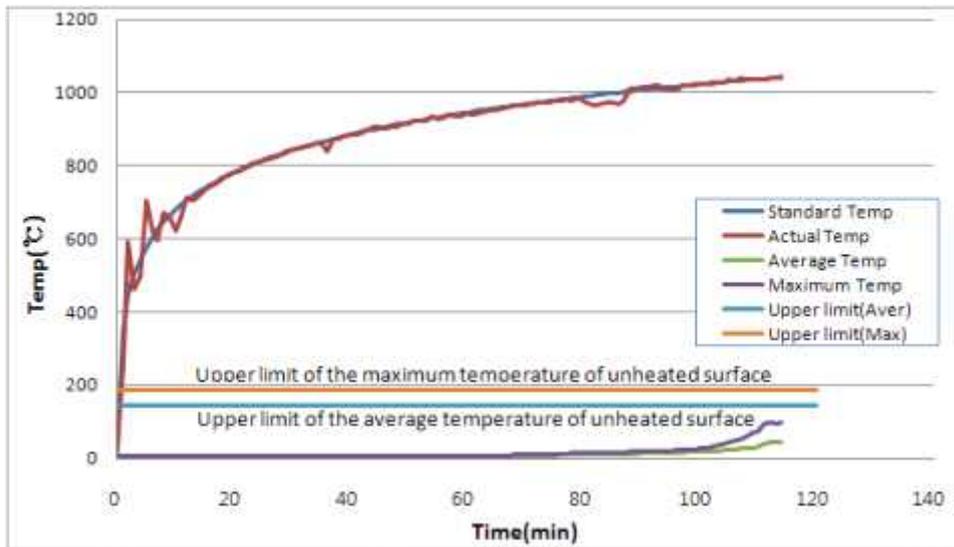


그림 B2-59. SPF-방화석고보드 그린티버월 패널(S-GV-B-4-B-GV)의 2시간 비재하내화시험 결과

표 B2-10 헴퍼-방화석고보드 그린티버월 패널(H-GH-B-4-B-GH)의 비내력벽 2시간 내화시험 결과

시험 항목	성능기준		측정결과		성능
내화시험	차염성	균열 또는 관통 되지 않을 것		관통되지 않음	112분
		면 패드에 착화되지 않을 것		착화되지 않음	
		화염발생 없을 것 (10 초 이상)		화염 발생	
	차열성	초기평균온도	-	5 °C	-
		비 가열면 평균온도	145°C	46 °C	114분
		비 가열면 최고온도	185°C	97 °C	114분
		이동전열대	-	-	-

그림 B2-60은 시험 후반부(시험 시작 후 약 112분 경과)에 비가열면의 벽널과 벽널 사이의 턱솔접합부(T&G)가 벌어지면서 화염이 발생하는 모습을 보여준다. 그림 B2-61은 시험 종료 직후 시험체 가열면의 모습으로서 비가열면의 벽널 내부에 설치된 석고보드가 아직 완전히 제거되지 않고 남아있는 것을 볼 수 있으며 비가열면의 목재 벽널 사이가 벌어져 있음을 알 수 있다.

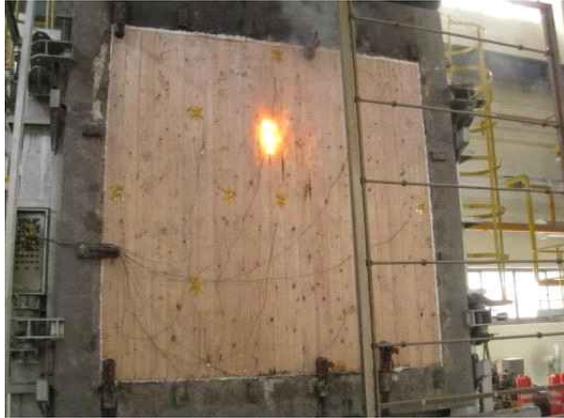


그림 B2-60. 비가열면에 화염 발생

그림 B2-61. 시험 직후 가열면의 모습

그림 B2-62는 시험 후의 비가열면의 목재 벽널로써 벽널들이 평면 상태를 유지하지 못하고 벽면에 직각 방향으로 변형되어 있고 이 변형 부위의 턱솔접합 부분이 벌어지면서 화염이 발생하였음을 알 수 있다. 변형된 부분의 목재 벽널 중의 하나를 절단한 단면은 그림 B2-63과 같다. 그림 B2-63을 보면 비가열면의 목재 벽널에서 상당히 많은 부분이 탄화(약 20mm)되었고 남아있는 목재 부분도 내부 쪽으로 둥글게 변형되어 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 벽널의 변형은 목재의 탄화, 함수율 감소 그리고 연이은 불균일한 수축으로 인하여 발생한 것으로 생각된다.



그림 B2-62. 비가열면의 목재 벽널      그림 B2-63. 비가열면 목재 벽널의 단면

그림 B2-62과 B2-63을 보면 2시간의 내화시험 종료 후에도 비가열면의 목재 벽널은 아직도 상당 부분 정상적인 상태로 남아있음을 알 수 있다. 그러나 목재 벽널은 140mm 나비의 작은 목재들이 턱솔접합으로 결합되어 있는 것이기 때문에 뒷면에서 탄화가 진행되면서 목재의 치수가 변하게 되고(탄화된 방향으로 수축이 발생하며 벽널 자체가 둥글게 변형됨) 이로 인하여 턱솔접합이 분리되고 화염이 관통하는 파괴가 발생한다. 따라서 내화시험 후반부에 화염의 관통시간을 10분 정도만 더 지연시킬 수 있도록 보장한다면 이 시험체도 비내력벽으로서 2시간의 내화성능을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

위의 시험결과로부터 알 수 있듯이 시험체의 양면에 목재 벽널을 수직 설치한 경우에는 오히려 수평 설치한 경우보다 더 짧은 시간에 화염이 발생하여 시험에 실패하는 결과를 나타내었다. 따라서 처음에 예상하였던 목재 벽널의 자체 하중으로 인한 좌굴의 발생이 파괴 원인이 아니며 오히려 탄화에 따른 함수율 감소와 불균일한 수축이 원인이 되어 목재 벽널이 둥글게 변형됨으로써 턱솔접합부가 분리되어 화염이 외부로 빠져 나오는 것으로 생각된다.

#### ⑥ 그린티이버월 패널의 내화성능 보장 방안

비내력벽으로서 2시간의 내화성능을 나타내기 위해서는 15mm 두께의 방화석고보드에 35mm 두께의 목재 벽널만 가지고는 약 5~10분 정도의 내화성능이 부족하며 약간의 내화성능을 향상시킬 수 있는 보장방안이 필요하다. 방화석고보드와의 병행 사용을 통하여 15mm 두께의 방화석고보드가 1시간의 내화성능을 나타내고 목재 벽널이 1시간의 내화성능을 나타냄으로써 2시간의 내화성능을 충분히 나타낼 수 있을 것으로 예상하였으나 15mm 두께의 방화석고보드가 1시간의 내화성능을 나타내기에 좀 무리가 있는 것으로 판단된다. 방화석고보드는 넓은 면에서는 충분한 내화성능을 나타내지만 석고보드의 수축이 발생하면서 이음부가 벌어지고 이 벌

어진 틈으로 화염이 침투하면서 내화성을 약화시키는 요인이 되고 있다. 따라서 석고보드의 이음부가 벌어지는 것을 지연시킨다면 내화성능 향상에 도움이 될 것이며 이를 위하여 석고보드 측면에서 나사못의 간격을 좀 더 감소시키는 방법과 이음부의 조인트처리를 좀 더 철저하게 하는 방법 등을 적용하면 약간의 도움은 될 것으로 생각된다. 그러나 보다 근본적인 대책은 벽체의 한 면에는 15mm 두께의 방화석고보드 1매를 설치하고 다른 한 면에는 12.5mm 두께의 방화석고보드 2매를 설치하는 방법이 될 것이다. 이와 같이 함으로써 방화석고보드 층의 전체적인 두께도 25mm로 증가되고 이음부를 서로 엇갈리게 배치하여 이음부가 빨리 벌어지는 것을 방지하여 내화성능 향상에 많은 도움이 될 것으로 생각된다.

가장 바람직한 방법은 벽널의 두께를 향상시키는 것이지만 외국에서 수입된 두께 38mm의 구조재를 가지고 T&G 가공을 하여 사용하는 경우에는 35mm 이상의 두께를 확보하기는 어려울 것으로 예상된다. 그러나 국산재의 경우에는 국내에서 제재 및 가공이 되기 때문에 두께 조절이 용이할 것으로 생각되며 이 경우에는 55mm 두께로 제재하여 건조 후 대패가공 없이 바로 형삭 가공을 실시하여 45mm 두께의 목재 벽널을 제조한다면 충분한 내화성능을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

그 외에 스테드를 38mmx140mm 부재로 사용하고 스테드 사이에 R19 또는 그 이상의 두꺼운 단열재를 사용한다면 내화성능을 약간 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 스테드 사이에 설치하는 중단열층에 추가하여 벽체의 바깥쪽으로 내단열층을 설치하고 암면을 단열재로 사용한다면 암면의 우수한 단열성능 및 내화성능으로 인하여 그린티이버월의 단열성능과 내화성능 향상에 도움이 될 것이다.

#### (나) 그린티이버월 패널의 차음성능

그린티이버월 패널의 차음성능을 공인된 기관에서 시험하여 성적을 받기 이전에 간이로 성능을 측정하고 그 성능을 개선할 수 있는 방안을 강구하고자 한다. 이를 위하여 실험실 내에서 간이로 벽체의 차음성능을 측정할 수 있는 그림 B2-15와 같은 시험방법 및 기구를 고안하여 시험을 실시하였다.

##### ① 헴퍼 그린티이버월 패널(H-GH-4-GH)의 차음성능

이 연구에서는 그린티이버월 패널의 방습성능 향상을 위하여 목조건축에서 일반적으로 사용되는 방수지(house wrap)를 시험체의 스테드 골조의 실외면 및 실내면에 동시에 부착하였다. 시험체의 크기는 900mmx900mm로 하였으며 내부의 38mmx89mm 스테드 사이에는 R11 유리섬유 단열재를 사용하였다. 시험체의 양면에는 헴퍼를 두꺼운 목재 벽널로 가공하여 수평 설치하였다. 차음성능 시험을 위하여 사용된 시험 기구 내에 그린티이버월 패널을 사이에 두고 양면에 소음기가 설치된 사진은 그림 B2-64와 같다. 그림 B2-64에서 벽체와 소음기 사이에는 300mm의

간격을 두었다.



그림 B2-64. 차음성능 시험장치

햄퍼 그린티버널 패널(H-GH-4-GH)에 대한 차음 성능 시험 결과는 그림 B2-65와 같다. 그림 B2-65에서 음원의 평균 음높이는 82.1dB 이었으며 벽체를 통과하여 수신된 음의 평균 음높이는 58.7dB로써 약 28.7%의 차음성능을 나타내었다.

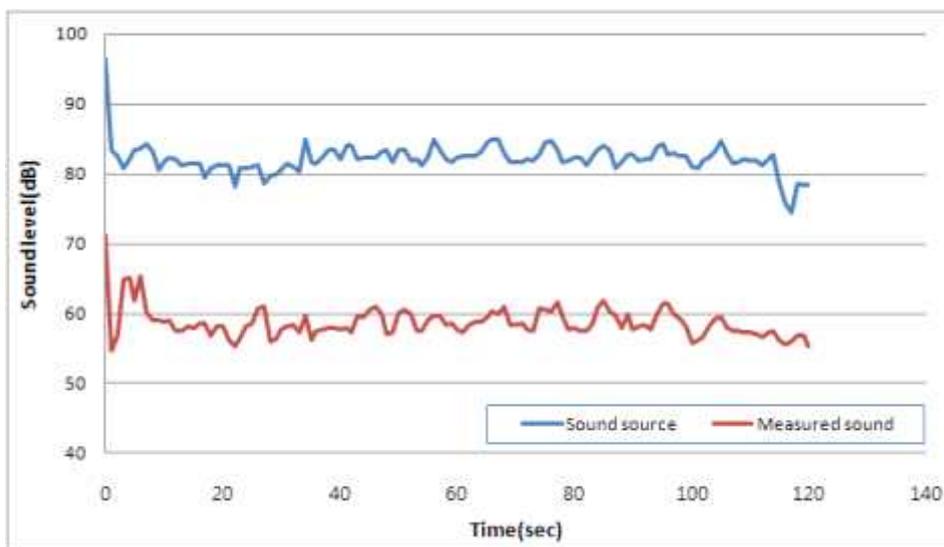


그림 B2-65. H-GH-4-GH 패널(양면 방수지 설치)의 차음 성능

동일한 그린티म्버월 패널(H-GH-4-GH)에 대하여 실내면에 방수지 대신에 두꺼운 비닐을 설치하고 차음성능 시험을 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-66과 같다. 그림 B2-66에서 음원의 평균 음높이는 85.7dB이었으며 벽체를 통과하여 수신된 음의 평균 음높이는 66.6dB으로써 약 22.3%의 차음성능을 나타내었다.

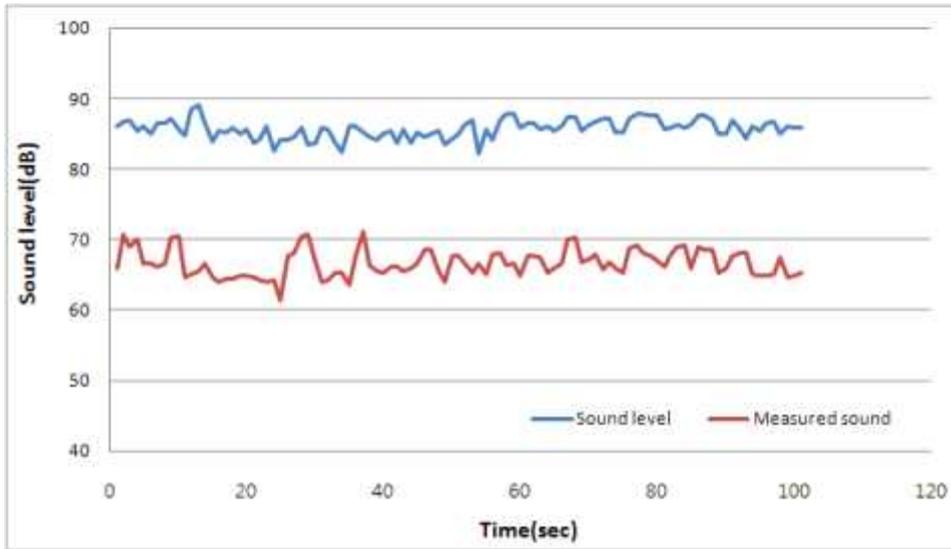


그림 B2-66. H-GH-4-GH 패널(방수지 및 비닐 설치)의 차음 성능

② 헴퍼 단면 그린티म्버아트월 패널(H-AW-GH)의 차음 성능

그린티म्버아트월에서 아트월 부분은 벽체에 직각 방향으로 배열된 목재 조각들로 구성되었기 때문에 음의 차단 성능이 일반 그린티म्버월 보다는 떨어질 것으로 예상되었다. 아트월 부분의 차음 성능 평가를 위하여 먼저 단면 아트월 부분에 대한 차음 성능 시험을 실시하였다. 시험체의 크기는 900mmx900mm로 하였으며 한면에는 아트월을 설치하여 38mmx140mm 스타드의 깊이와 같게 아트월 구성 목재를 삽입하였으며 반대면에는 헴퍼로 만든 두꺼운 목재 벽널을 설치하였다. 차음성능 시험을 위하여 사용된 시험 기구 내에 그린티म्버월 패널을 사이에 두고 양면에 소음기가 설치된 사진은 그림 B2-67 및 B2-68과 같다. 그림 B2-67과 B2-68에서 벽체와 소음기 사이에는 300mm의 간격을 두었다.



그림 B2-67. 아트월 벽면에 소음계 설치



그림 B2-68. 반대 면에 소음계 설치

헴퍼 단면 그린팁버아트월 패널(H-AW-GH)에 대한 차음 성능 시험 결과는 그림 B2-69와 같다. 그림 B2-69에서 음원의 평균 음높이는 82.9dB 이었으며 벽체를 통과하여 수신된 음의 평균 음높이는 59.6dB로써 약 28%의 차음성능을 나타내었다.

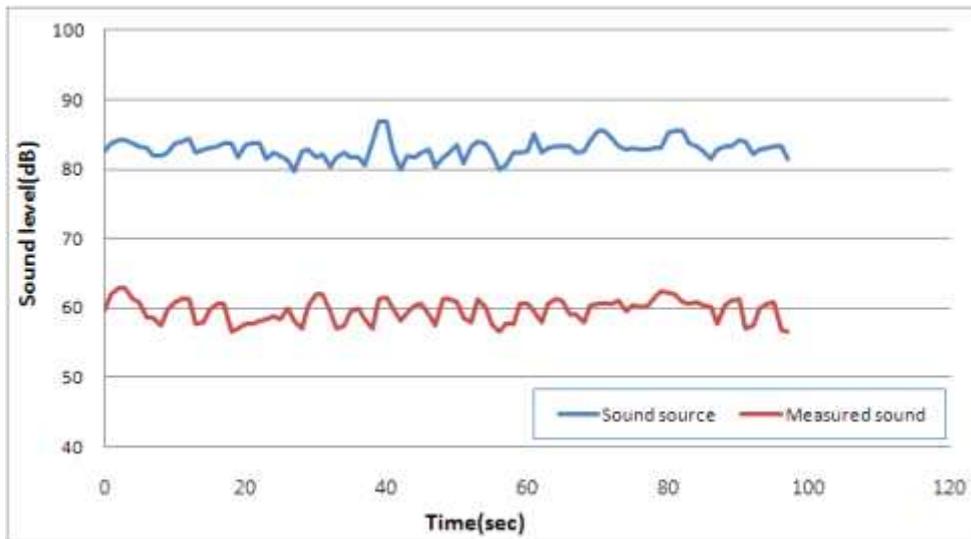


그림 B2-69. H-AW-GH 패널의 차음 성능

### ③ 헴퍼 양면 관통 그린팁버아트월 패널(H-AW-AW)의 차음 성능

그린팁버아트월에서 아트월 부분이 차음 성능에 미치는 영향을 평가하기 위하여 벽체의 양면으로 관통하여 설치된 아트월에 대하여 차음 성능 시험을 실시하였다. 시험체의 크기는 900mmx900mm로 하였으며 벽체의 양면을 관통하도록 아트월을 설치하여 38mmx185mm 스티드의 깊이와 같아지도록 아트월 구성 목재를 삽입하였다. 차음성능 시험을 위하여 사용된 시험 기구 내에 그린팁버월 패널을 사이에 두고 양면에 소음기가 설치된 사진은 그림 B2-70 및 B2-71과 같다. 그림 B2-70과 B2-71에서 벽체와 소음기 사이에는 300mm의 간격을 두었다.



그림 B2-70. 한쪽 벽면에 소음계 설치      그림 B2-71. 반대쪽 벽면에 소음계 설치

헴퍼 양면 관통 그린팁버아트월 패널(H-AW-AW)에 대한 차음 성능 시험 결과는 그림 B2-72와 같다. 그림 B2-72에서 음원의 평균 음높이는 82.5dB 이었으며 벽체를 통과하여 수신된 음의 평균 음높이는 60.2dB로써 약 26.6%의 차음성능을 나타내었다.

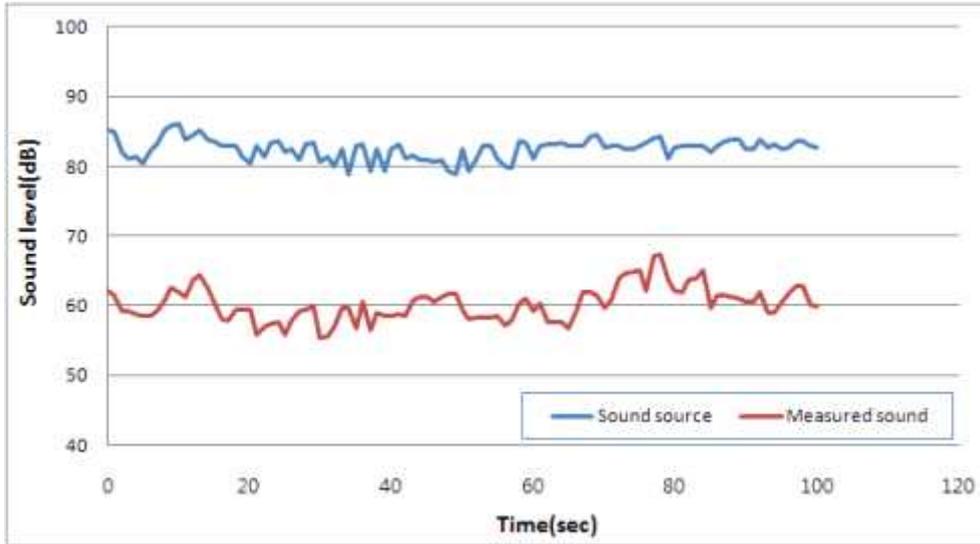


그림 B2-72. H-AW-AW 패널의 차음 성능

이 연구에서 실시된 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널들에 대한 차음 성능 시험 결과를 요약하면 표 B2-11과 같다.

표 B2-11 그린팀버월 및 그린팀버아트월 패널의 차음 성능

구분	음원(dB)	수신(dB)	차음 성능(%)
H-GH-4-GH (방수지+방수지)	82.1	58.7	28.6
H-GH-4-GH (방수지+비닐)	85.7	66.6	22.3
H-AW-GH	82.9	59.6	28.0
H-AW-AW	82.5	60.2	26.6

표 B2-11에서 보면 양면에 방수지를 설치한 H-GH-4-GH 패널의 차음 성능이 가장 우수하였으며 한쪽 면에 비닐을 설치한 H-GH-4-GH 패널의 차음 성능이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이 결과로 미루어볼 때 목조건축에서 주택 외부의 수분 침투 방지를 위하여 사용하는 방수지(house wrap)의 차음 성능이 매우 우수한 것으로 판단되나 이 부분에 대해서는 3차년도에 더 많은 시험을 통하여 그 성능을 검증하고자 한다. 예상과 같이 아트월 부분의 차음 성능이 아트월이 없는 그린팀버월 부분의 차음 성능과 비교하여 약간 떨어지는 경향을 나타내었으며 특히 아트월이 양면을 관통한 경우에 더 낮은 차음 성능을 나타내었다. 아트월 부분의 차음성능

감소는 아트월 구성 목재의 치수를 정밀하게 가공하여 목재와 목재 사이에 빈 틈이 없도록 아트월을 구성한다면 어느 정도 해결이 가능할 것으로 예상된다.

#### (4) 그린팀버아트월 패널의 강도 성능

1차년도 연구에서 추가된 낙엽송 그린팀버월 패널과 그린팀버아트월 패널들에 대한 수평하중저항성능 및 수직하중저항성능 시험을 실시하였다. 벽체의 수평하중저항성능은 풍하중 및 지진하중과 같은 수평하중 하에서 건축물의 전단벽이 수행하여야 하는 전단저항성능을 평가하기 위한 것이며 수직하중저항성능은 건축물의 자체 하중(고정하중), 활하중 및 적설하중에 대한 저항성능을 평가하기 위한 것이다. 낙엽송 그린팀버월 패널(L-GH-4-GV) 및 그린팀버아트월 패널(L-GH-4AW01-4-GH 및 L-GH-4AW12-4-GV)에 대한 수직하중저항성능 및 수평하중저항성능 시험 결과에 대해서는 앞의 4)항에서 설명하였다.

##### ① 헴퍼 20% 단면 그린팀버아트월 패널(H-GH-2AW11-4-GH)의 강도 성능

헴퍼을 목재 벽널로 사용한 단면 그린팀버아트월 패널(아트월 면적비 20%, 목재 벽널 수평 설치, 아트월 부분 목재로 채움)인 H-GH-2AW11-4-GH에 대한 수직하중저항시험은 낙엽송의 경우와 동일한 시험장치에서 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-73과 같다. 그림 B2-73에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 21톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같은 치수의 일반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중저항성능을 보유하고 있다고 할 수 있다.

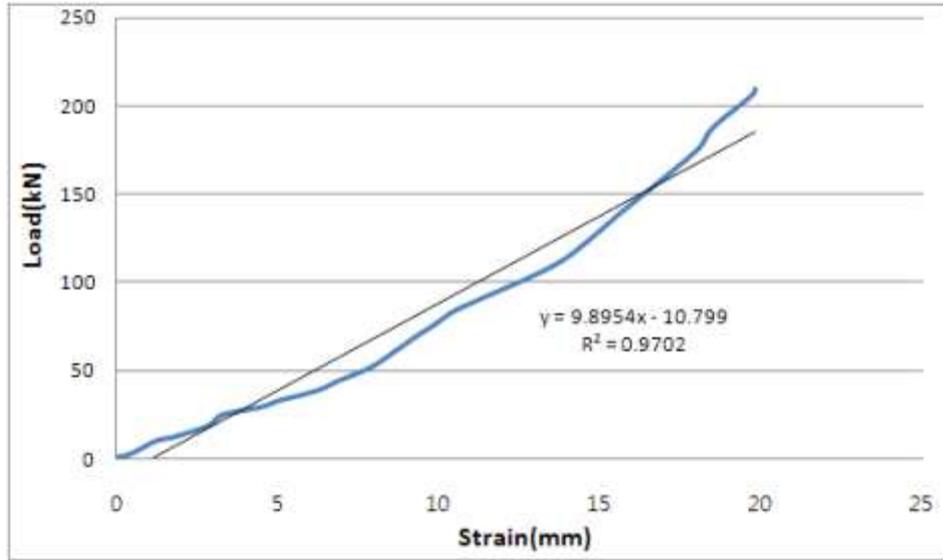


그림 B2-73. 헴퍼 20% 단면 그린티머아트월 패널(H-GH-2AW11-4-GH)의 수직하중저항성능

H-GH-2AW11-4-GH 헴퍼 시험용 패널(아트월 부분 채움)의 수평하중저항성능은 그림 B2-74와 같다.

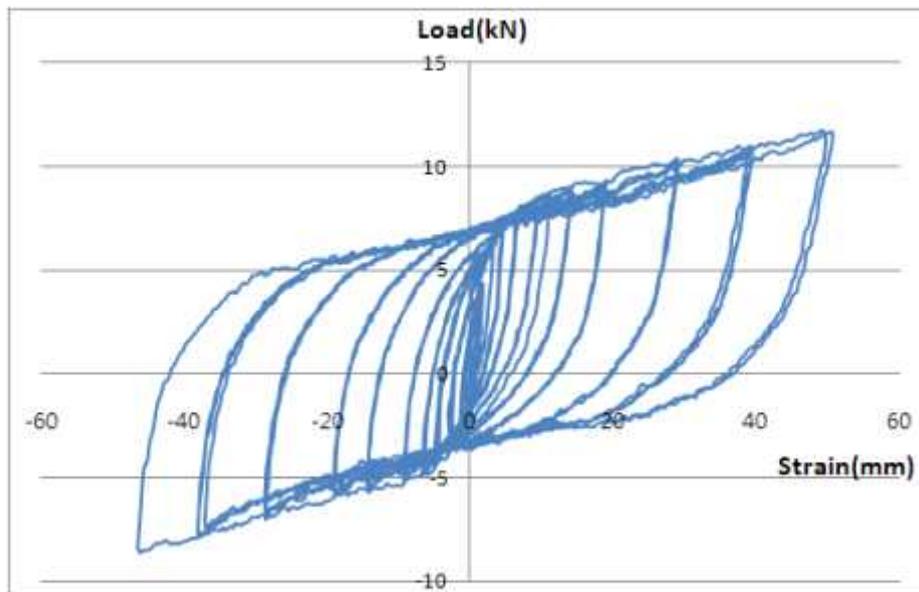


그림 B2-74. 헴퍼 20% 단면 그린티머아트월 패널(H-GH-2AW11-4-GH)의 수평하중저항성능

그림 B2-74으로부터 구한 H-GH-2AW11-4-GH 헴퍼 20% 단면 그린티이버아트월 패널의 특성곡선은 그림 B2-75와 같다. 그림 B2-74 및 B2-75에서 보면 초기에 매우 높은 강성을 유지하고 있으며 약 5~10mm의 변형에서 초기 강성이 감소하기 시작하여 하중이 반복될수록 강성과 강도가 떨어지지만 그렇게 급격한 감소는 보이지 않고 있다. 전반적인 강성이나 강도는 그림 B2-18 및 B2-19의 아트월이 없는 낙엽송 그린티이버월 패널(L-GH-4-GH)보다 높으며 벽면적의 40%에 아트월이 설치된 낙엽송 그린티이버아트월 패널(L-GH-4AW12-4-GV)보다는 낮은 수준을 나타내었다.

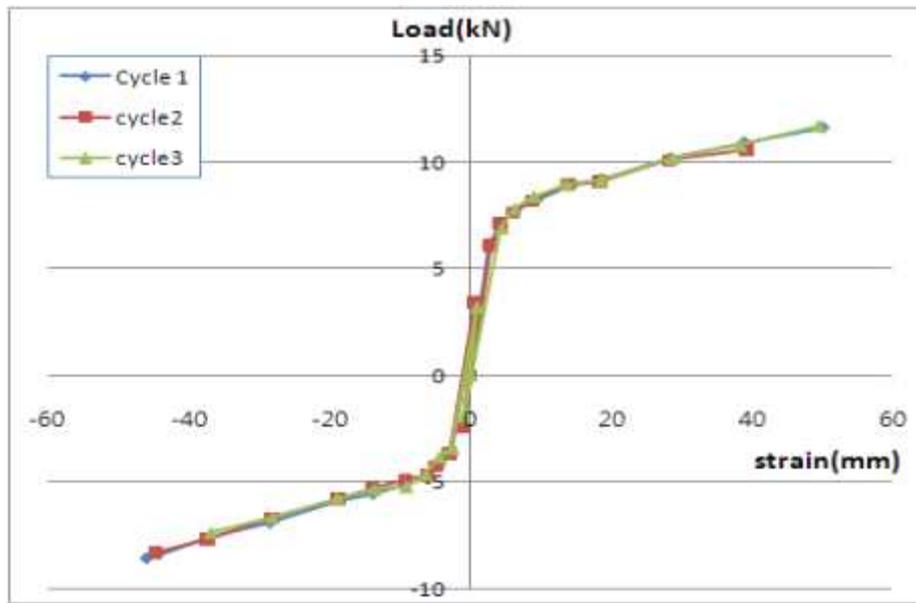


그림 B2-75. 반복수평하중 하에서 H-GH-2AW11-4-GH 패널의 특성곡선

② 헴퍼 30% 단면 그린티이버아트월 패널(H-GH-3AW11-4-GV)의 강도 성능

헴퍼을 목재 벽널로 사용한 단면 그린티이버아트월 패널(아트월 면적비 30%, 목재 벽널을 수직 및 수평으로 설치, 아트월 부분 목재로 채움)인 H-GH-3AW11-4-GV에 대한 수직하중저항시험은 낙엽송의 경우와 동일한 시험장치에서 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-76과 같다. 그림 B2-76에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 19톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같은 치수의 일반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중저항성능을 보유하고 있다고 할 수 있다.

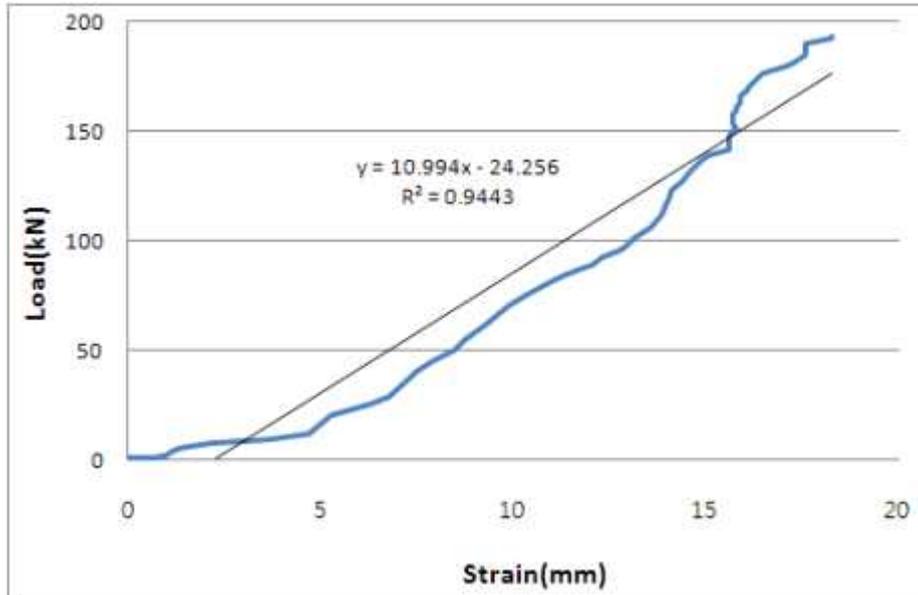


그림 B2-76. 헴퍼 30% 단면 그린티이버아트월 패널(H-GH-3AW11-4-GV)의 수직하중저항성능

H-GH-3AW11-4-GV 헴퍼 시험용 패널(아트월 부분 채움)의 수평하중저항성능은 그림 B2-77과 같다.

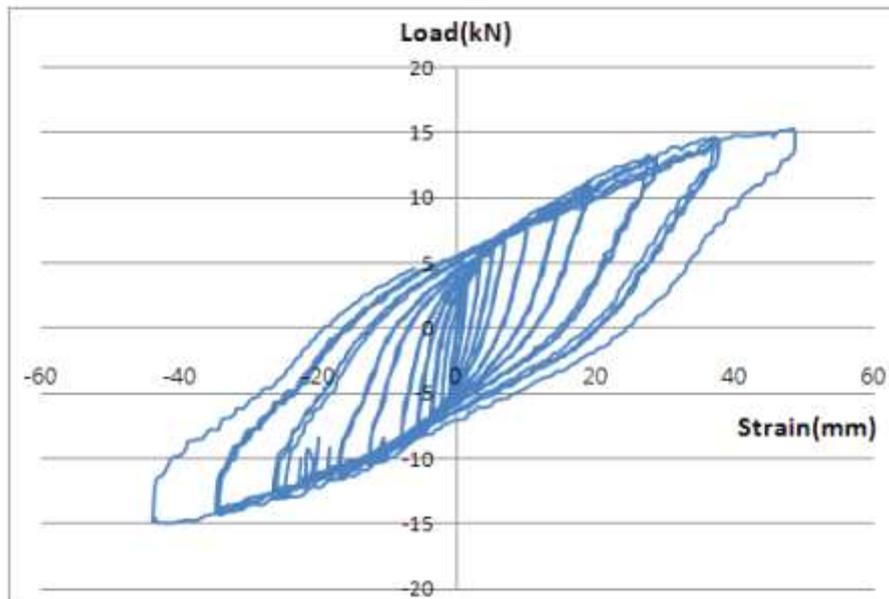


그림 B2-77. 헴퍼 30% 단면 그린티이버아트월 패널(H-GH-3AW11-4-GV)의 수평하중저항성능

그림 B2-77으로부터 구한 H-GH-3AW11-4-GV 헴퍼 30% 단면 그린티이버아트월 패널의 특성곡선은 그림 B2-78과 같다. 그림 B2-77 및 B2-78에서 보면 초기에 매우 높은 강성을 유지하고 있으며 약 5mm의 변형에서 초기 강성이 감소하기 시작하여 하중이 반복될수록 강성과 강도가 떨어지지만 그렇게 급격한 감소는 보이지 않고 있다. 전반적인 강성이나 강도는 그림 B2-74 및 B2-75의 헴퍼 20% 단면 그린티이버아트월 패널(H-GH-2AW11-4-GH)보다 높은 수준을 나타내고 있다.

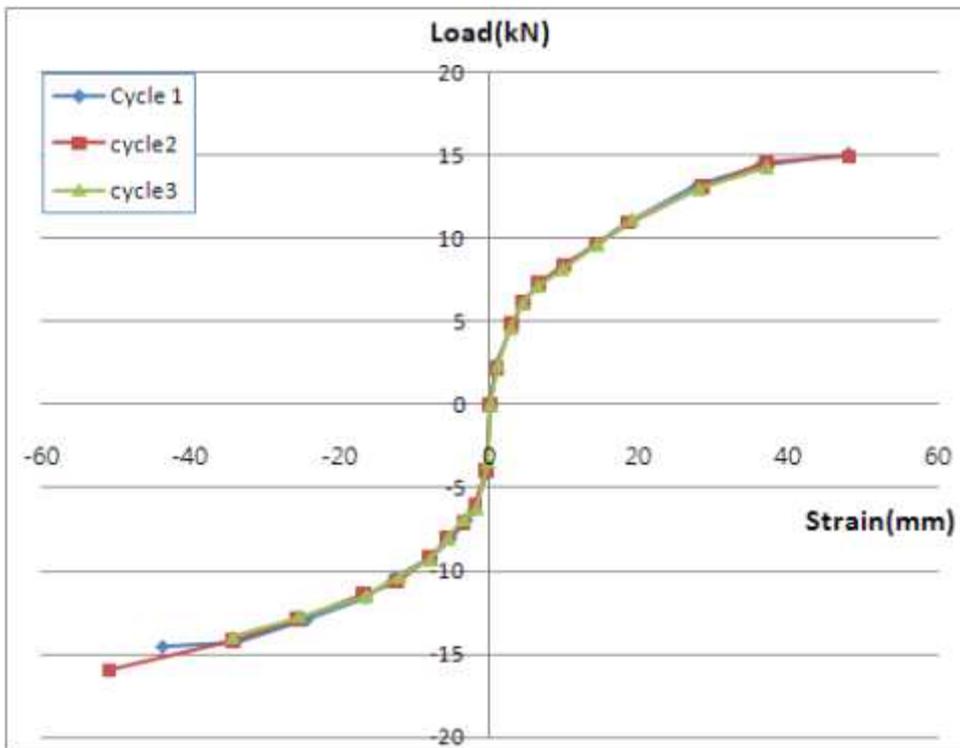


그림 B2-78. 반복수평하중 하에서 H-GH-3AW11-4-GV 패널의 특성곡선

### ③ 헴퍼 40% 단면 그린티이버아트월 패널(H-GH-4AW11-4-GH)의 강도 성능

헴퍼을 목재 벽널로 사용한 단면 그린티이버아트월 패널(아트월 면적비 40%, 목재 벽널 수평 설치, 아트월 부분 목재로 채움)인 H-GH-4AW11-4-GH에 대한 수직하중저항시험은 낙엽송의 경우와 동일한 시험장치에서 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-79와 같다. 그림 B2-79에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 20톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같은 치수의 일

반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중저항성능을 보유하고 있다고 할 수 있다.

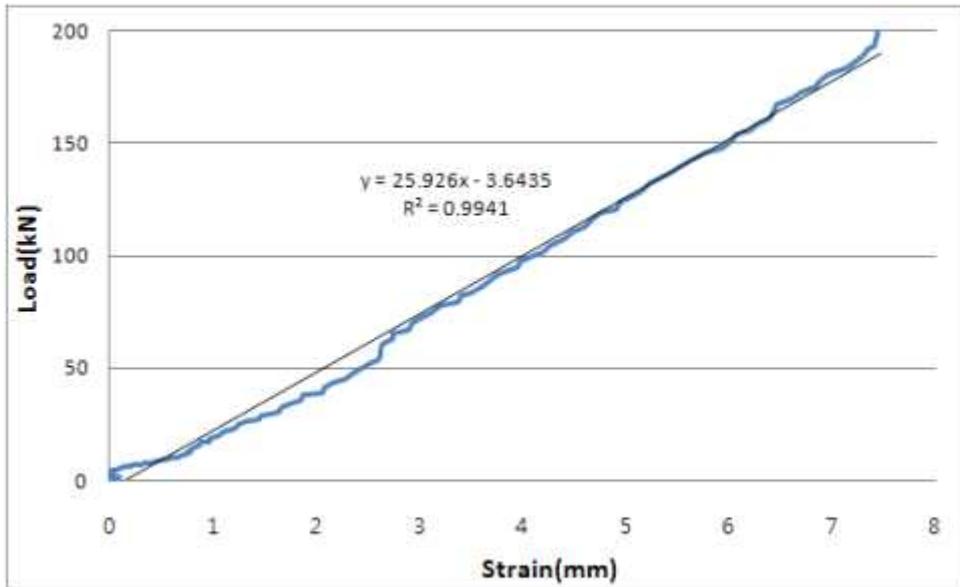


그림 B2-79. 헴퍼 40% 단면 그린티버아트월 패널(H-GH-4AW11-4-GH)의 수직하중저항성능

H-GH-4AW11-4-GH 헴퍼 시험용 패널(아트월 부분 채움)의 수평하중저항성능은 그림 B2-80과 같다.

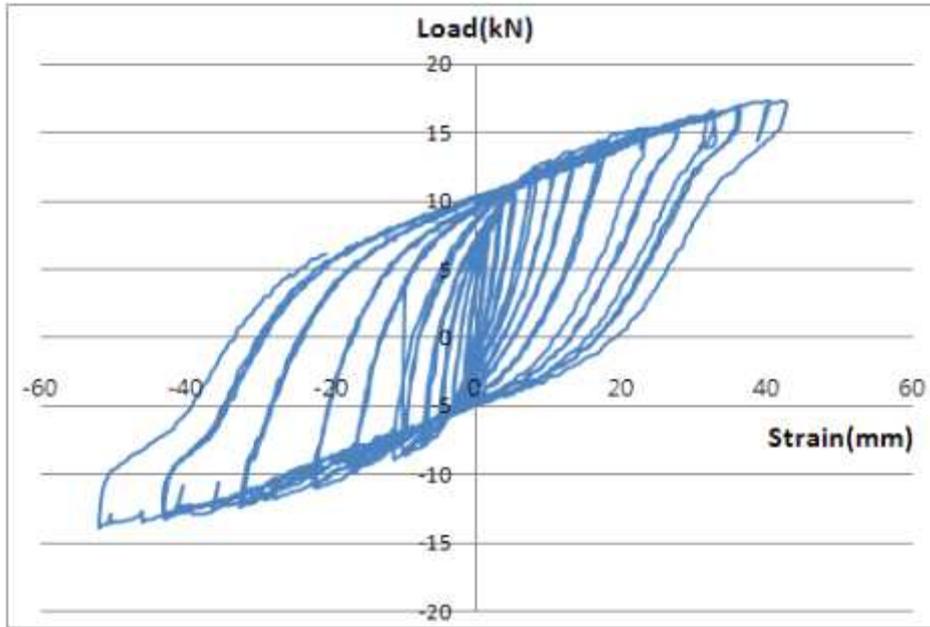


그림 B2-80. 헴퍼 40% 단면 그린팁버아트월 패널(H-GH-4AW11-4-GH)의 수평하중저항성능

그림 B2-80으로부터 구한 H-GH-4AW11-4-GH 헴퍼 40% 단면 그린팁버아트월 패널의 특성곡선은 그림 B2-81과 같다. 그림 B2-80 및 B2-81에서 보면 초기에 매우 높은 강성을 유지하고 있으며 약 5mm의 변형에서 초기 강성이 감소하기 시작하여 하중이 반복될수록 강성과 강도가 떨어지지만 그렇게 급격한 감소는 보이지 않고 있다. 전반적인 강성이나 강도는 그림 B2-77 및 B2-78의 헴퍼 30% 단면 그린팁버아트월 패널(H-GH-3AW11-4-GV)보다 높은 수준을 나타내고 있다. 그림 B2-74 및 B2-75, 그림 B2-77 및 그림 B2-78 그리고 그림 B2-80 및 B2-81을 상호 비교해 보면 아트월을 목재로 채운 패널의 경우에 아트월의 면적비가 증가할수록 더 높은 강성 및 강도를 나타내는 경향을 보이고 있다. 이는 아트월을 구성하는 목재들을 접착제로 상호 견고하게 접착함으로써 아트월 구성 목재들이 수평하중에 대한 저항력을 향상시키고 있기 때문인 것으로 생각된다.

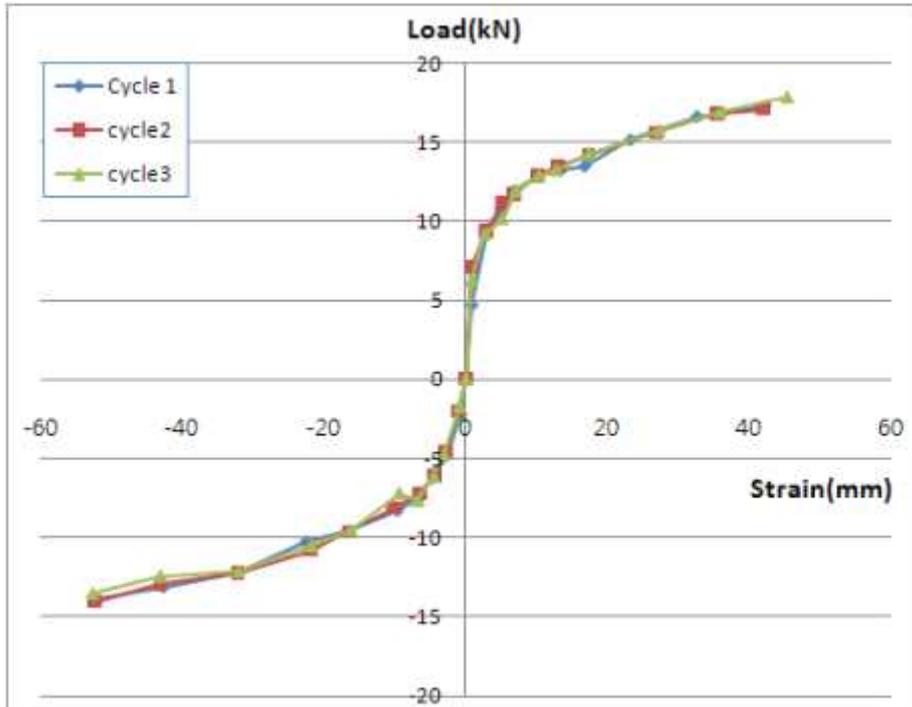


그림 B2-81. 반복수평하중 하에서 H-GH-4AW11-4-GH 패널의 특성곡선

④ 헴퍼 40% 단면 그린티이버아트월 패널(H-GH-4AW11-4-GV)의 강도 성능

헴퍼을 목재 벽널로 사용한 단면 그린티이버아트월 패널(아트월 면적비 40%, 목재 벽널 수평 설치, 아트월 부분 목재로 채움)인 H-GH-4AW11-4-GV에 대한 수직하중저항시험은 낙엽송의 경우와 동일한 시험장치에서 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-82와 같다. 그림 B2-82에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 20톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같은 치수의 일반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중저항성능을 보유하고 있다고 할 수 있다.

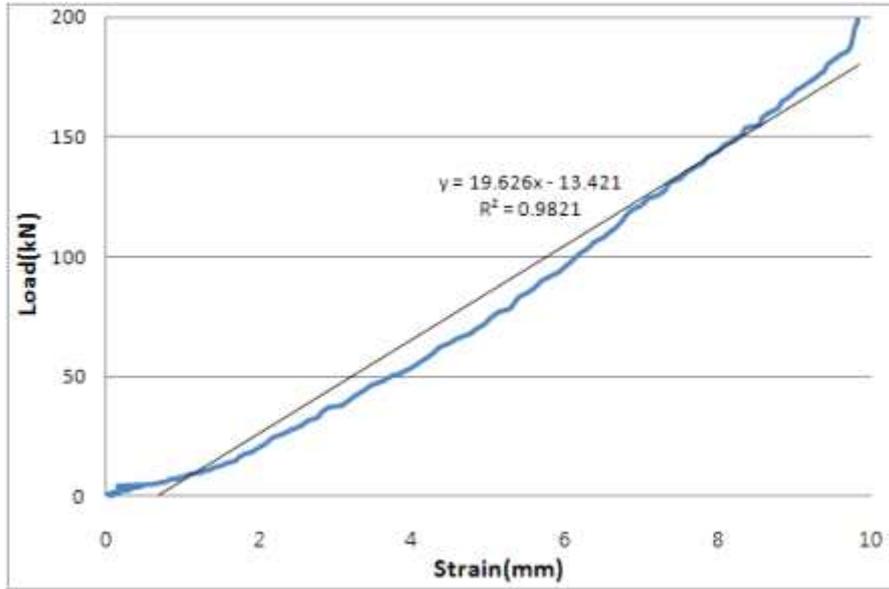


그림 B2-82. 험퍼 40% 단면 그린티머아트월 패널(H-GH-4AW11-4-GV)의 수직하중저항성능

H-GH-4AW11-4-GV 험퍼 시험용 패널(아트월 부분 채움)의 수평하중저항성능은 그림 B2-83과 같다.

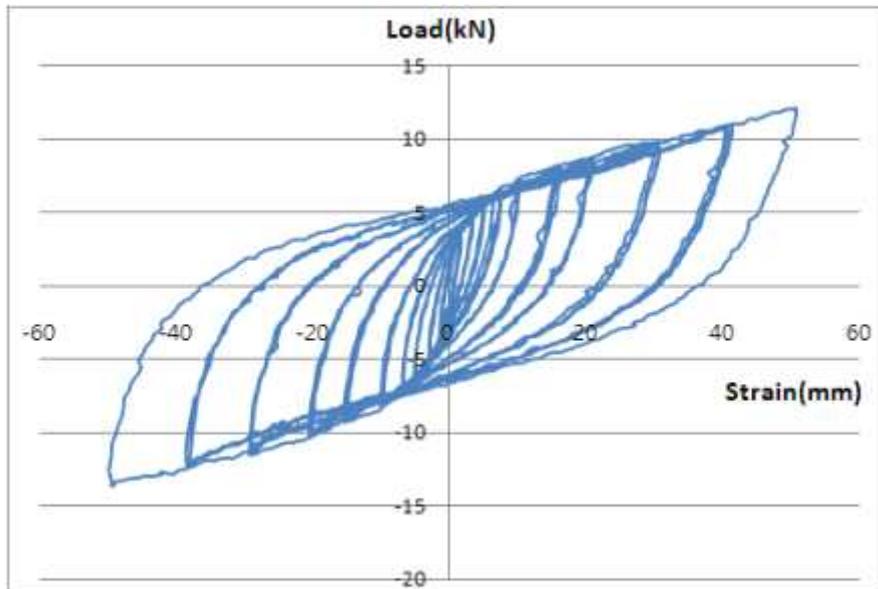


그림 B2-83. 험퍼 40% 단면 그린티머아트월 패널(H-GH-4AW11-4-GV)의 수평하중저항성능

그림 B2-83으로부터 구한 H-GH-4AW11-4-GV 헴퍼 40% 단면 그린티이버아트월 패널의 특성곡선은 그림 B2-84와 같다. 그림 B2-83 및 B2-84에서 보면 초기에 매우 높은 강성을 유지하고 있으며 약 5mm의 변형에서 초기 강성이 감소하기 시작하여 하중이 반복될수록 강성과 강도가 떨어지지만 그렇게 급격한 감소는 보이지 않고 있다. 전반적인 강성이나 강도는 그림 B2-77 및 B2-78의 H-GH-3AW11-4-GV 패널과 비슷하였으며 그림 B2-80 및 B2-81의 H-GH-4AW11-4-GH 패널보다는 낮은 값을 나타내었다.

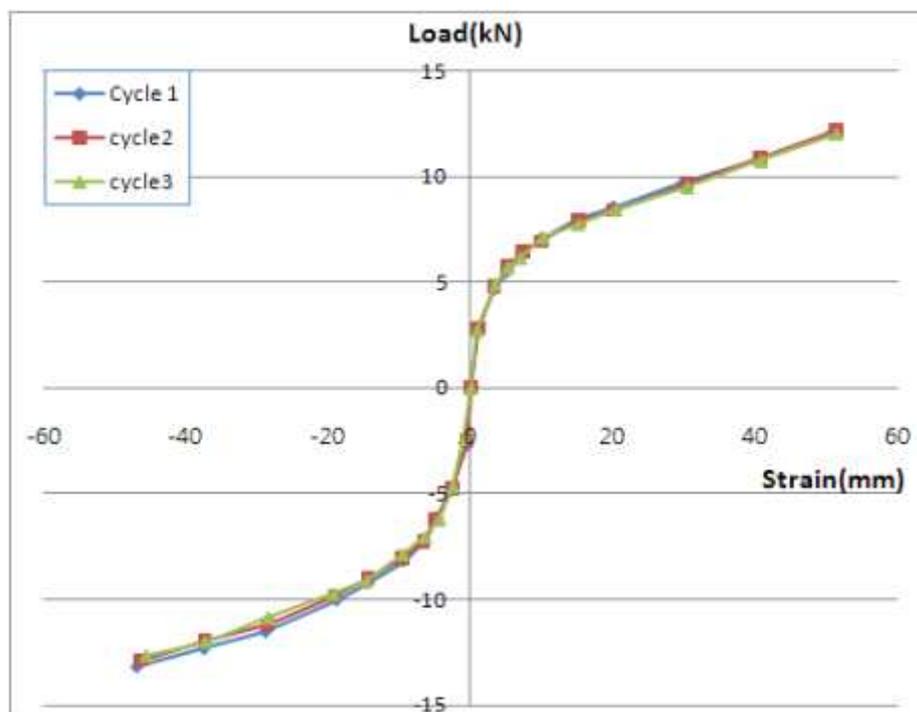


그림 B2-84. 반복수평하중 하에서 H-GH-4AW11-4-GV 패널의 특성곡선

⑤ 헴퍼 40% 양면 그린티이버아트월 패널(H-GH-4AW12-4-GV)의 강도 성능

헴퍼을 목재 벽널로 사용한 양면 그린티이버아트월 패널(양면 아트월 면적비 40%, 목재 벽널 수직 및 수평 설치, 아트월 부분 목재로 채움)인 H-GH-4AW12-4-GV에 대한 수직하중저항시험은 낙엽송의 경우와 동일한 시험장치에서 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-85와 같다. 그림 B2-85에서 보는 바와 같이 이 시험용 패널은 충남대학교 목구조연구실에서 보유하고 있는 벽체 수직하중시험기의 최대 용량인 20톤에 근접(약 20톤)하기까지 파괴되지 않았으며 전체 시험 구간에 걸쳐서 탄성영역으로 볼 수 있는 거의 직선형의 하중-변위선도를 나타내고 있다. 시험용 패널과 같

은 치수의 일반 경골목조 벽체의 경우에 최대 허용 하중이 약 3톤 정도인 것을 고려한다면 이 벽체는 3층 건물의 1층 내력벽으로서 충분한 수직하중저항성을 보유하고 있다고 할 수 있다.

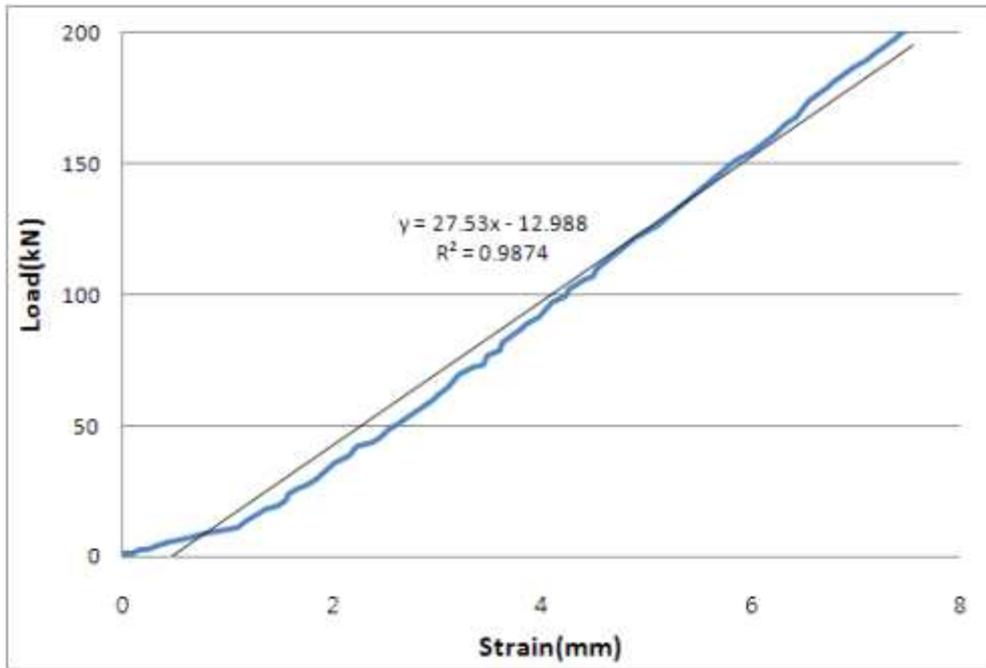


그림 B2-85. 헴퍼 40% 양면 그린티버아트월 패널(H-GH-4AW12-4-GV)의 수직하중저항성능

H-GH-4AW12-4-GV 헴퍼 시험용 패널(아트월 부분 채움)의 수평하중저항성능은 그림 B2-86과 같다.

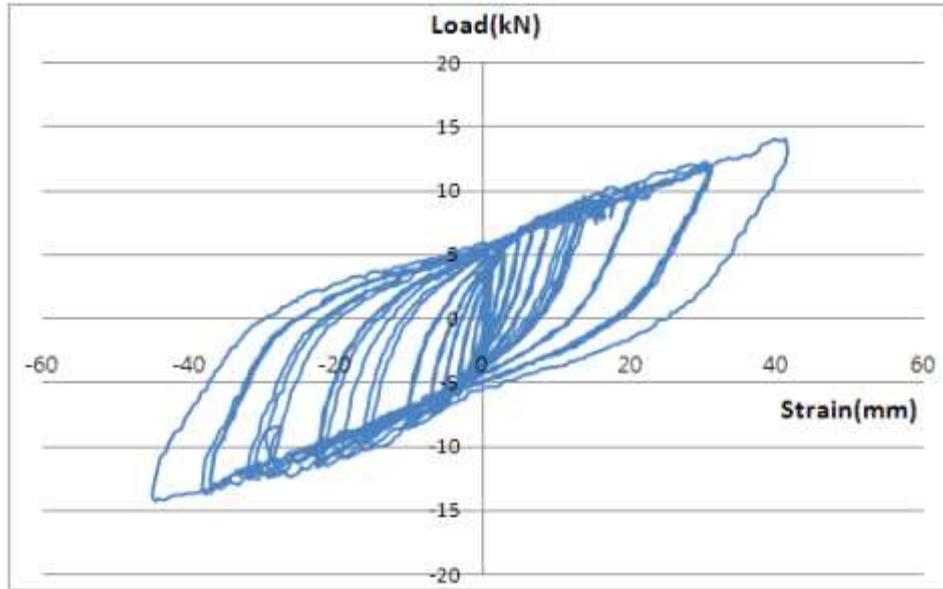


그림 B2-86. 헴퍼 40% 양면 그린티버아트월 패널(H-GH-4AW12-4-GV)의 수평하중저항성능

그림 B2-86으로부터 구한 H-GH-4AW12-4-GV 헴퍼 40% 양면 그린티버아트월 패널의 특성곡선은 그림 B2-87과 같다. 그림 B2-86 및 B2-87에서 보면 초기에 매우 높은 강성을 유지하고 있으며 약 5mm의 변형에서 초기 강성이 감소하기 시작하여 하중이 반복될수록 강성과 강도가 떨어지지만 그렇게 급격한 감소는 보이지 않고 있다. 전반적인 강성이나 강도는 그림 B2-83 및 B2-84의 헴퍼 40% 단면 그린티버아트월 패널인 H-GH-4AW11-4-GV와 비슷한 값을 나타내었다.

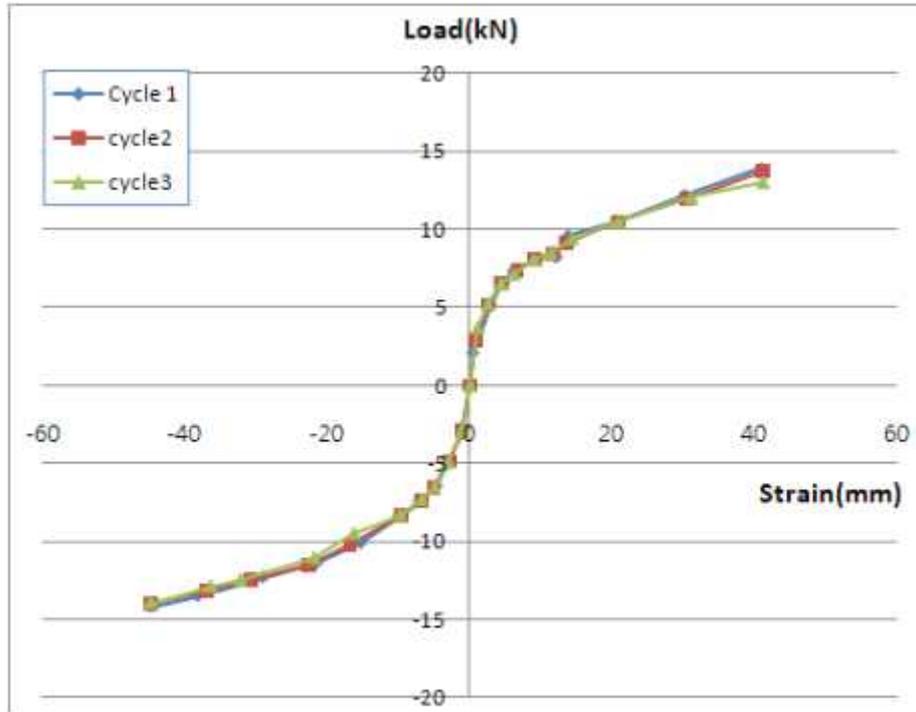


그림 B2-87. 반복수평하중 하에서 H-GH-4AW12-4-GV 패널의 특성곡선

2차년도에 수평하중저항성능 시험이 실시되었던 그린팁버릴 패널 시험편들에 대한 시험결과를 요약하면 표 B2-11과 같다.

표 B2-11 그린팁버릴 패널의 수평하중 저항성능

그린팁버릴 패널 모델번호	최대전단내력(N/m)			전단강성계수(N/mm)		
	1차	2차	3차	1차	2차	3차
L-GH-4AW01-4-GH	940	927	944	841	913	989
L-GH-4-GV	1983	1960	1933	1361	1792	2029
H-GH-4AW11-4-GV	5252	5221	5146	3744	3146	2512
H-GH-4AW12-4-GV	3263	3210	3210	1686	1320	1396
H-GH-2AW11-4-GH	2910	3748	4231	2939	3740	2226
H-GH-4AW01-4-GV	3404	3342	3340	2525	2813	5274
H-GH-3AW11-4-GV	6188	6440	5892	4794	4403	5519
L-GH-4AW12-4-GV	5854	5785	5629	3387	2901	2728
H-GH-4AW02-4-GV	5623	5608	5540	2427	2075	2746
H-GH-4AW11-4-GH	6498	6485	6544	3995	4440	4655

표 B2-11에서 보면 벽 패널의 양 측면에 설치하는 목재 벽널의 방향을 동일하게 수평으로 설치한 경우보다는 한쪽은 수평으로 설치하고 반대쪽은 수직으로 설치한 경우가 강도와 강성이 우수한 것으로 나타났다. 또한 그린티이버월 패널에 아트월을 위한 개구부를 설치하고 아트월 부분을 비워 놓은 상태에서 시험한 경우보다는 아트월 부분을 목재로 채우고 시험한 경우가 더 높은 강도 및 강성을 나타내었다.

(5) 그린티이버아트월 패널의 단열 성능

이 연구에서는 그린티이버월 패널을 구성하는 목질재료들의 열전도율 및 열저항을 측정하였으며 여러 가지 구성의 그린티이버월 및 그린티이버아트월 패널의 단열성능을 측정하였다.

① 그린티이버월 패널 구성 목질재료들의 단열계수

이 연구에서는 그린티이버월 패널을 구성하는 목재 및 목질재료의 단열계수를 측정하였다. 단열계수 측정을 위하여 사용된 재료들은 두께 35mm의 낙엽송 벽널(T&G)(그림 B2-88(a)), 두께 35mm의 험퍼 벽널(T&G)(그림 B2-88(b)), 두께 89mm의 SPF 스테드(그림 B2-88(c)) 및 두께 11.1mm의 OSB(그림 B2-88(d))의 네 가지 종류였다.



(a) 낙엽송 T&G벽널 (b) 험퍼 T&G벽널 (c) SPF 스테드 (d) OSB 덮개

그림 B2-88. 단열계수 측정을 위하여 사용된 그린티이버월 패널 구성 목질재료

단열계수 측정을 위하여 사용된 독일 네츠사의 평판 열류계법 단열계수 측정 장비와 해당 기계에 목재 시험편을 삽입한 사진은 각각 그림 B2-89 및 B2-90과 같다.



그림 B2-89. 평판 열류계식 단열계수 측정장비      그림 B2-90. 목재 시험편의 삽입

위의 기계에 의하여 측정된 각 재료의 열전도율 및 열저항값은 표 B2-12와 같다.

표 B2-12 그린팁버월 패널 구성 물질재료들의 단열계수

구분	두께(mm)	열전도율( $cal/m \cdot hr \cdot ^\circ C$ )	열관류저항( $m \cdot hr \cdot ^\circ C / kcal$ )
낙엽송 T&G 벽널	35	0.117	0.299
헴퍼 T&G 벽널	35	0.121	0.291
OSB	11.1	0.101	0.116
SPF 스테드	89	0.133	0.672

## ② 그린팁버월 패널의 단열성능 예측 모델 개발

그린팁버월 패널은 여러 가지 재료들의 조합으로 구성되어 있으며 패널을 구성하는 각 재료들의 단열계수와 두께로부터 전체 패널의 단열성능을 예측하는 이론 모델을 다음과 같이 개발하였다.

표 B2-12의 물질재료에 대한 단열계수 이외에 유리섬유 단열재의 열관류저항은 R11, R13 및 R19 유리섬유 단열재에 대하여 각각 2.286, 2.702 및 3.949 ( $m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C / kcal$ )이다. 그린팁버월 패널의 실외측 표면에서의 열저항은 0.07 ( $m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C / kcal$ )이고 실내측 표면에서의 열저항은 0.11( $m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C / kcal$ )이다. 이러한 재료들의 열저항을 이용하여 전체 패널의 열관류저항을 다음 식과 같이 계

산할 수 있다.

$$R_{total} = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{so} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{so}$$

여기서  $R_{total}$ : 패널 전체의 열저항

$R_{si}$ : 실내측 표면의 열저항

$R_i$ : 패널을 구성하는 각 재료의 열저항( $i=1 \sim n$ )

$R_{so}$ : 실외측 표면의 열저항

구조체 내부에서의 온도변화 비율은 다음 식과 같이 구조체를 구성하는 각각의 층에 대한 열저항의 비율에 비례한다.

$$\frac{\Delta T_i}{\Delta T_{total}} = \frac{R_i}{R_{total}}$$

$$\Delta T_i = T_{i-1} - T_i$$

여기서  $\Delta T_i$ :  $i$ 번째 층의 앞뒷면 온도 차이

$\Delta T_{total}$ : 실외와 실내의 온도 차이

$T_{i-1}$ :  $i$ 번째 층의 앞면 온도

$T_i$ :  $i$ 번째 층의 뒷면 온도

그러므로 실내로부터 실외까지 패널을 구성하는 각각의 층과 층 사이에서의 온도는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$T_i = T_{i-1} - \left(\frac{R_i}{R_{total}}\right)(\Delta T_{total})$$

즉, 패널 내의 한 층을 지날 때마다  $\left(\frac{R_i}{R_{total}}\right)(\Delta T_{total})$ 의 온도 감소가 발생하게 된다. 패널 내부의 온도변화 계산에서 방수지나 비닐과 같이 두께가 얇은 재료는 온도변화에 대한 영향이 없는 것으로 가정한다.

이 모델을 적용하여 이 연구에서 실내온도 25℃와 실외온도 -20℃ 사이에서 단열 성능을 측정된 패널에 대한 온도경사를 아래와 같이 계산하였다.

H-GH-4-GH 패널은 그림 B2-91과 같은 구성을 가지고 있다.



그림 B2-91. H-GH-4-GH 패널의 구성

그림 B2-91에 주어진 H-GH-4-GH 패널의 각 층별 열저항값 및 각 층에서의 온도 감소는 표 B2-13에 주어진 바와 같이 계산된다.

표 B2-13 H-GH-4-GH 패널 내부의 온도 분포

구분	열저항( $\cdot hr \cdot ^\circ C / kcal$ )	온도 변화( $^\circ C$ )
실내 표면	0.11	1.624
합판 벽널	0.291	4.2963
R11 유리섬유 단열재	2.286	33.75
합판 벽널	0.291	4.2963
실외 표면	0.07	1.0335

표 B2-13에 주어진 각 재료별 열저항값으로부터 패널 전체의 열관류저항을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_{total} &= R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{so} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{so} \\
 &= 0.11 + 0.291 + 2.286 + 0.291 + 0.07 = 3.048
 \end{aligned}$$

표 B2-13에 주어진 패널 내부의 각 층별 온도 변화를 계산하기 위한 온도변화계수는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta T_{total} = \frac{45^\circ C}{3.048 m^2 hr ^\circ C / kcal} = 14.7638 kcal / m^2 hr$$

따라서 각 층의 열저항에 14.7638을 곱하면 해당 층에서의 온도변화를 계산할 수 있다. 표 B2-13의 온도변화를 반영한 H-GH-4-GH 패널 내부의 온도경사는 그림

B2-92와 같다.



그림 B2-92. 이론적으로 계산된 H-GH-4-GH 패널 내부의 온도경사

③ 그린티이버월 패널 및 그린티이버아트월 패널의 단열성능

㉔ 그린티이버월 패널 H-GH-4-GH의 단열성능

실내면과 실외면에 모두 방수지(house wrap)를 설치한 H-GH-4-GH 패널에 대한 단열성능 시험을 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-93과 같다.

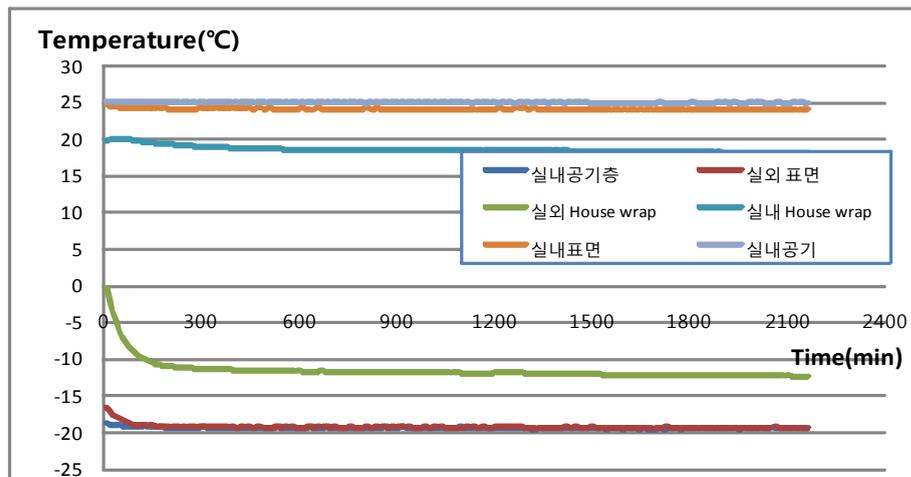


그림 B2-93. H-GH-4-GH 패널(양면에 방수지 설치)에 대한 단열성능 시험 결과

동일한 H-GH-4-GH 패널에 실외면에는 방수지(house wrap)를 설치하고 실내면에는 두꺼운 비닐을 설치한 경우의 단열성능 시험 결과는 그림 B2-94와 같다.

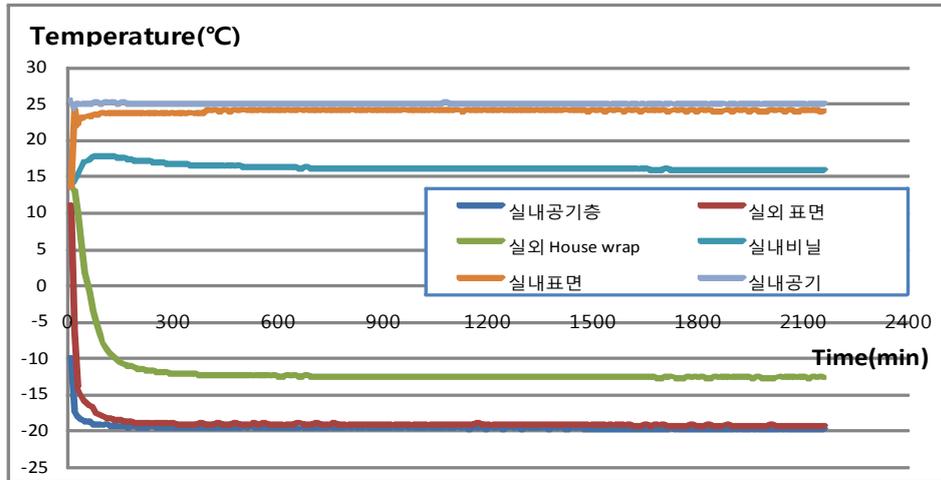


그림 B2-94. H-GH-4-GH 패널(방수지+비닐 설치)에 대한 단열성능 시험 결과

두 가지 H-GH-4-GH 패널에 대한 시험 결과와 그림 B2-92의 이론모형을 적용한 결과를 비교하면 표 B2-14와 같다.

표 B2-14 H-GH-4-GH 패널의 단열성능에 대한 이론모형과 시험결과의 비교

구분	이론 온도(°C)	실제 온도(°C) (양면에 방수지)	실제 온도(°C) (방수지+비닐)
실내 온도	25	25	25
실내 표면	23.376	24.1	24.0
햄퍼 벽널	19.0797	18.1	15.9
R11 유리섬유 단열재	-14.6703	-12.3	-12.6
햄퍼 벽널	-18.9666	-19.3	-19.2
실외 표면	-20	-19.4	-19.7
실외 온도			

표 B2-14에서 보면 이론모형에 의하여 예측한 패널 내부의 온도 분포가 실제 시험결과와 매우 근사하게 맞는다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 연구에서 개발된 패널의 단열성능 예측을 위한 이론모형을 적용하면 복잡하고 어려운 시험을 거치지 않고도 패널을 구성하는 재료의 조합에 따라서 패널 내부의 온도 분포를 예측함으로써 그린티म्버월 패널의 단열설계에 매우 유용한 도구가 될 수 있을 것으로 기대된

다. 표 B2-14에서 양면에 방수지를 설치한 패널과 실외면에는 방수지 그리고 실내면에는 비닐을 설치한 패널 사이의 온도 차이는 실내면의 비닐 층에서 약간 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며 이론모형과의 온도 차이도 크게 나타나고 있다. 따라서 방수지(house wrap)는 온도변화에 큰 영향을 미치지 않는다는 가정이 맞았으나 비닐의 경우에는 온도변화에 어느 정도 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다. 따라서 이론 모형에서 얇은 재료일지라도 온도에 영향을 미치는 재료의 경우에는 모형에 반영할 수 있도록 이론모형을 수정할 필요가 있음을 알 수 있다.

실내로부터 구조체 내부로 수분의 침투를 방지하기 위하여 방수지(house wrap) 또는 비닐을 실내면에도 설치하였으나 그림 B2-95 및 B2-96에서 보는 바와 같이 두 가지 시험편 모두에서 구조체 내부 단열재에 결로가 발생함으로써 결국 수분이 침투하였음을 나타낸다. 따라서 비닐이나 방수지로도 수분 침투의 문제는 해결하기가 매우 어려우며 다른 대책의 마련이 필요할 것으로 생각된다.



그림 B2-95. H-GH-4-GH(양면에 방수지 설치) 패널 내부의 결로



그림 B2-96. H-GH-4-GH(방수지 +비닐 설치) 패널 내부의 결로

㉔ 햄퍼 단면 그린티버아트월 패널 H-AW-GH의 단열성능

H-AW-GH 패널에 대한 단열성능 시험을 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-95와 같다.

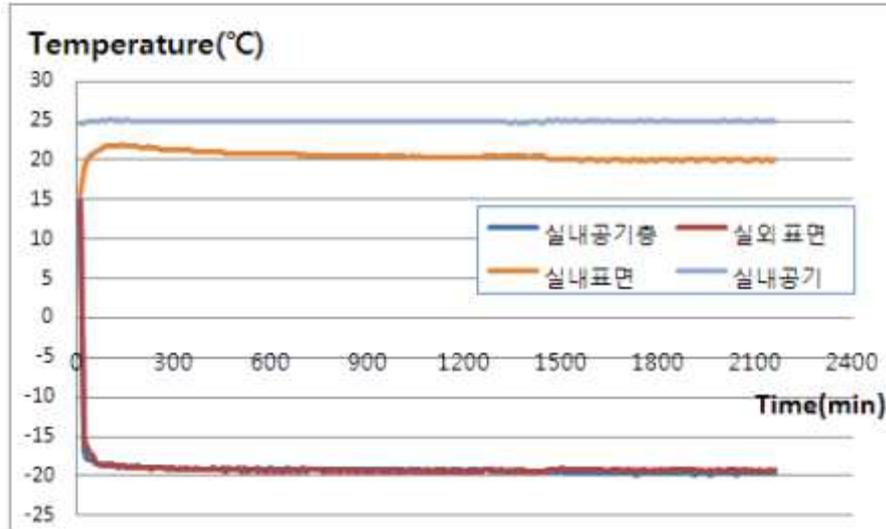


그림 B2-95. H-AW-GH 패널에 대한 단열성능 시험 결과

H-AW-GH 패널에서는 구조체 내부가 목재만으로 구성되어 있어서 습한 공기가 모일 수 있는 공간이 없기 때문에 결로 현상이 관찰되지 않았다.

㉕ 햄퍼 양면 그린티버아트월 패널 H-AW-AW의 단열성능

H-AW-AW 패널에 대한 단열성능 시험을 실시하였으며 그 결과는 그림 B2-96과 같다.

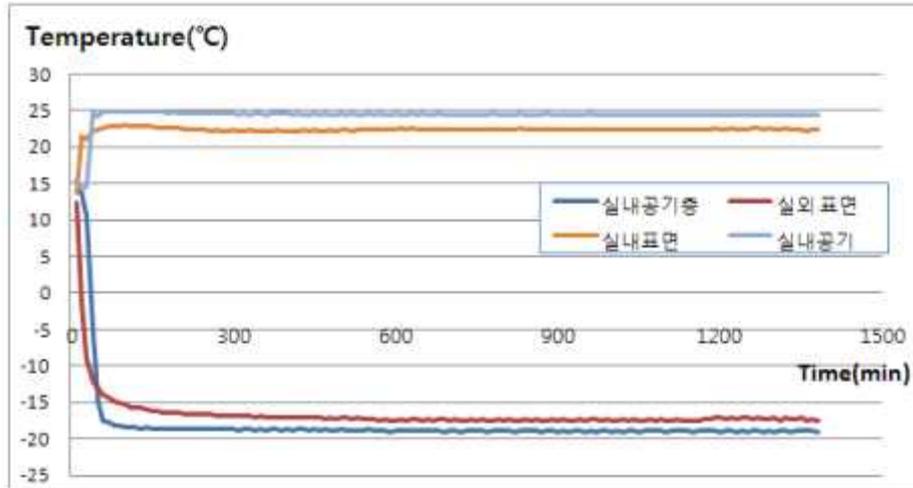


그림 B2-96. H-AW-AW 패널에 대한 단열성능 시험 결과

H-AW-AW 패널에서도 구조체 내부가 목재만으로 구성되어 있어서 습한 공기가 모일 수 있는 공간이 없기 때문에 결로 현상이 관찰되지 않았다.

### 3. 3차년도 연구과제: 그린팀버아트월 패널 접합부의 성능 평가

#### 가. 개발 내용 및 범위

세부과제에서 개발된 국산 잣나무를 사용한 그린팀버월 패널에 대한 수평하중저항성능을 평가하고 세부과제에서 개발된 그린팀버월 패널 사이의 접합부에 대한 강도성능 평가를 통하여 그린팀버월 접합부를 실제로 사용하기 위하여 필요한 성능의 확보 여부를 분석하고 그 성능을 개선할 수 있는 방안을 강구하고자 하였다.

#### 나. 시험재료

세부과제에서 개발되고 패널화 공장에서 생산된 그린팀버월 패널을 사용하였으며 시험편의 제작을 위하여 사용된 재료들은 앞의 세부과제와 동일하다.

#### 다. 시험방법

- (1) 그린팀버월 패널 길이이음 접합부의 수평하중저항성능 시험

그린티म्버월 패널은 공장에서 제작하고 현장으로 운반하여 조립하는 제품이기 때문에 공장에서의 생산시설, 도로교통 법규, 운반 차량, 현장에서의 패널 관리 및 취급 등의 문제들 때문에 도면에 나와 있는 전체 길이의 벽 패널을 공장에서 만들어서 운반하지 못하게 된다. 패널들의 길이가 짧으면 공장 또는 현장에서 운반, 취급, 관리, 이동 등이 용이한 반면 현장 설치 시에 많은 길이이음 접합부가 설치되어야 하는 단점이 있다. 그러나 패널의 길이가 길어지면 반대로 현장 설치 시 길이이음 접합부가 적게 필요하지만 공장이나 현장에서 운반, 취급, 관리, 이동 등이 불편해지는 문제가 발생한다. 따라서 그린티म्버월 패널은 공장과 현장에서의 운반, 취급, 관리, 이동 등에 적절하며 현장 설치 시 길이이음 접합부의 수가 그렇게 많이 필요하지 않는 정도로 길이를 조절하여 제작, 운반 및 설치하게 된다.

이와 같이 설치되는 그린티म्버월 패널들이 전단벽, 내력벽 또는 칸막이벽으로서의 기능을 올바르게 나타내기 위해서는 동일 벽선상에 존재하는 모든 패널들 사이에 적절한 길이이음 접합부가 설치되어야 한다. 이 연구에서는 앞의 세부과제 개발된 길이이음 접합방법을 적용하여 전단벽을 구성하고 이 전단벽의 수평하중저항성능을 평가하고자 한다. 그린티म्버월 패널 길이이음 접합부의 수평하중저항성능 시험은 그림 B3-1과 같은 방법으로 실시한다. 시험편의 전체 치수는 2.4m x 2.4m이며 이 시험편을 반으로 잘라서 1.2m x 2.4m크기의 시험편 2개를 만든 후 이 두 시험편 사이를 세부과제에서 개발된 접합방법으로 접합한 후 전체 시험편에 수평하중을 가하여 수평하중저항성능을 평가하였다. 접합부가 없이 하나의 벽체로 제작된 시험편, 특별한 접합부 없이 2개의 벽체를 맞대놓은 시험편, 그리고 세부과제에서 개발된 접합방법이 적용된 시험 등으로 구분하여 시험을 실시하고 그 결과를 상호 비교 평가하고자 한다.

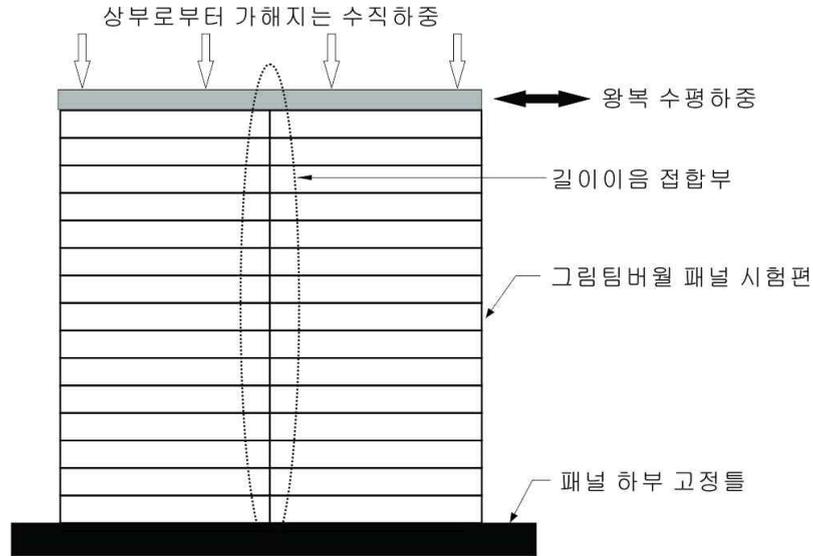


그림 B3-1 그린티이버월 패널 길이이음 접합부의 수평하중저항성능 시험

(2) 그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능 시험

그린티이버월 패널들이 현장에서 사용되면 건축물의 외부 모서리에서 직각으로 만나는 벽 패널들 사이의 직각접합부가 필요하다. 그린티이버월 패널이 건축물의 외부를 감싸고 보호하는 외피로서의 성능을 올바르게 나타내기 위해서는 모서리에서의 직각접합부가 올바르게 구성되고 수평하중 하에서 적절한 수평전단성능을 보유하여야 할 것이다. 그림 B3-2와 같은 직각접합부에서 수평하중  $P_1$ 이 접합부로 전달되면 패널 A가 밀리면서 패널 B를 뒤로 밀게 된다. 이때에 직각접합부에는 패널의 넓은 면과 평행하게 작용하는 전단하중이 가하여지며 접합부는 패널 B에 대하여 패널 A가 패널 B의 높이에 평행한 방향으로 미끌어지는 수평전단의 영향을 받게 된다.

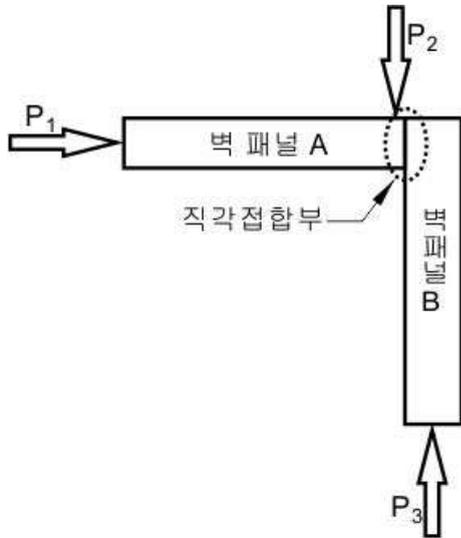


그림 B3-2 벽 패널 사이의 직각접합부

그린티म्버월 패널들 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능 시험은 그림 B3-3과 같이 실시하였다.

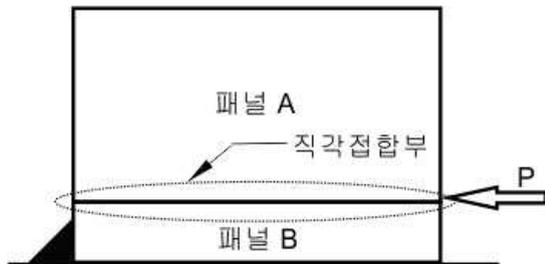


그림 B3-3 패널들 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능 시험

그림 B3-3에서 패널 B를 고정시키고 패널 B에 직각으로 접합된 패널 A에 수평전단하중 P를 가하면서 패널 A의 패널 B에 대한 상대적인 변형을 측정하였다. 패널 A와 B 사이의 직각접합에는 세부과제에서 개발된 접합방법들을 적용하여 그 결과를 비교 평가하였다.

### (3) 그린티म्버월 패널 직각접합부의 수직전단성능 시험

그림 B3-2와 같은 그린티म्버월 패널들 사이의 직각접합부에서 수평하중  $P_2$  또는  $P_3$ 가 작용하면 패널 A와 B 사이의 직각접합부에는 패널의 넓은 면에 대하여 직각 방향으로 전단하중이 작용하게 된다. 이러한 전단하중 하에서 패널 A는 패널 B에 대하여 패널 B의 길이에 평행한 방향(높이에 수직인 방향)으로 미끌어지는 수직전단의 영향을 받게 된다.

패널들 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능 시험은 그림 B3-4와 같은 방법으로 실시하였다.

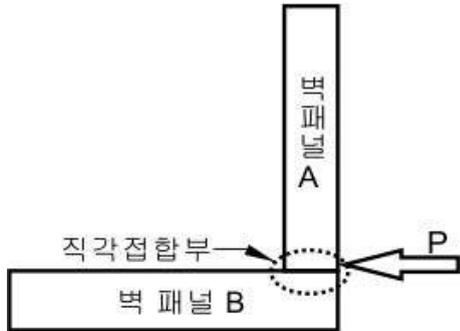


그림 B3-4 패널들 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능 시험

그림 B3-4에서 패널 B를 고정시키고 패널 B에 직각으로 접합된 패널 A에 수직전단하중 P를 가하면서 패널 A의 패널 B에 대한 상대적인 변형을 측정하였다. 직각접합부에 수직전단하중 P를 가할 때에 벽 패널 A가 전체적으로 뒤로 밀리거나 또는 뒤로 넘어가는 것을 방지하기 위하여 버팀대를 패널 시험편의 양 끝에 설치하였으며 버팀대를 중심으로 벽 패널들이 자유롭게 회전이 가능하도록 버팀대와 양끝의 패널들 사이의 접합부는 핀접합으로 하였다. 패널 A와 B 사이의 직각접합에는 세부과제에서 개발된 접합방법들을 적용하여 그 결과를 비교 평가하였다.

#### (4) 바닥-그린티म्버월 패널 직각접합부의 수평전단성능 시험

그린티म्버월 패널들이 사용되어 건물을 건축하기 위해서는 건물의 벽과 바닥이 만나는 직각접합부가 설치되어야 한다. 일반적인 경골목구조들은 층식건축공법(platform construction)이 적용되기 때문에 그림 B3-5에서 보는 바와 같이 바닥 위에 벽체가 올라서는 형태로 건축된다. 건축물에 수평하중이 작용하면 그림 3-5와 같은 바닥-벽 패널 사이의 직각접합부에는 수평하중 P가 작용하게 된다. 수평하중 P가 접합부로 전달되면 벽 패널이 바닥 면 위에서 벽 패널과 평행한 방향으로 미끄러지는 수평전단의 영향을 받게 된다.

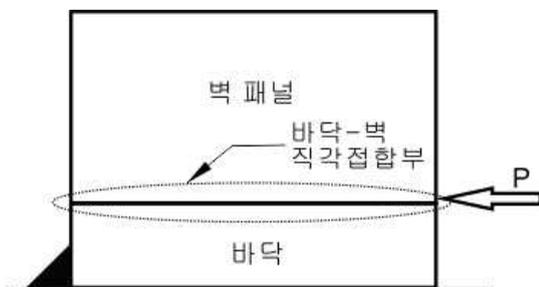


그림 B3-5 바닥-벽 직각접합부의 수평전단

바닥-벽 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단시험은 그림 B3-5와 같은 방법으로 실시하였다. 그림 B3-5에서 바닥을 고정시키고 바닥에 직각으로 접합된 벽 패널에 수평전단하중  $P$ 를 가하면서 벽 패널의 바닥에 대한 상대적인 변형을 측정하였다. 바닥과 벽 패널 사이의 직각접합에는 세부과제에서 개발된 접합방법들을 적용하여 그 결과를 비교 평가하였다.

(5) 바닥-그린팀버월 패널 직각접합부의 수직전단성능 시험

그림 B3-6과 같은 바닥과 그린팀버월 패널 사이의 직각접합부에 수평하중  $P_1$  또는  $P_2$ 가 작용하면 직각접합부에는 벽 패널에 대하여 직각방향으로 작용하는 전단하중이 발생하게 된다. 이러한 전단하중 하에서 벽 패널은 바닥에 대하여 벽 패널의 길이와 높이에 대하여 직각 방향으로 미끌어지는 수직전단의 영향을 받게 된다.

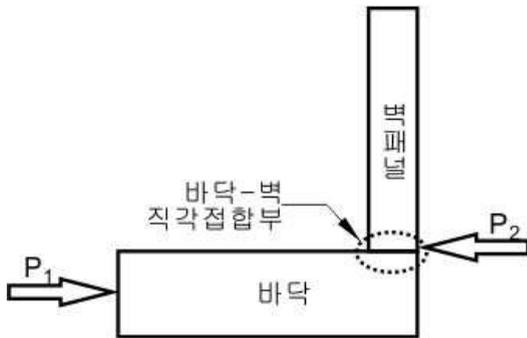


그림 B3-6 바닥-벽 직각접합부에 작용하는 수직전단하중

바닥-벽 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능 시험은 그림 B3-7과 같은 방법으로 실시하였다.

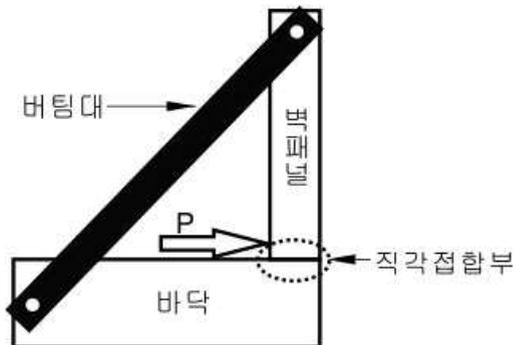


그림 B3-7 바닥-벽 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능 시험

그림 B3-7에서 바닥을 고정시키고 바닥에 직각으로 접합된 벽 패널에 수직전단

하중 P를 가하면서 바닥과 벽 패널 사이의 상대적인 변형을 측정하였다. 바닥-벽 직각접합부에 수직전단하중 P를 가할 때에 벽 패널이 전체적으로 뒤로 밀리거나 또는 뒤로 넘어가는 것을 방지하기 위하여 버팀대를 시험편의 양 끝에 설치하였으며 버팀대를 중심으로 바닥과 벽 패널이 자유롭게 회전이 가능하도록 버팀대 양끝에서 버팀대와 바닥 그리고 버팀대와 벽 패널 사이의 접합부는 핀접합으로 하였다. 바닥과 벽 패널 사이의 직각접합에는 세부과제에서 개발된 접합방법들을 적용하여 그 결과를 비교 평가하였다.

(6) 바닥-그린티ம்ப러월 패널 직각접합부의 못뽑기(인발)성능 시험

그린티ம்ப러월 패널이 사용된 건축물에 풍하중이 작용하면 바람에 의하여 건축물이 위로 들리는 상향력(uplift force)이 작용한다. 건축물의 하부는 고정볼트에 의하여 기초구조에 고정되어 있기 때문에 상향력이 작용하면 기초에 고정되어 있는 하부를 제외하고 그 상부의 구조들이 위로 들리는 하중이 작용한다. 이러한 상향력의 작용 하에서 바닥과 벽 패널 사이의 직각접합부에는 그림 B3-8에서 보는 바와 같이 벽 패널을 위로 들어 올리는 하중이 작용하며 이 하중은 벽 패널 하부로 전다르디어 바닥-벽 직각접합부에서 벽이 뽑히는 방향의 인장력(못뽑기하중 또는 인발하중)이 작용하게 된다.

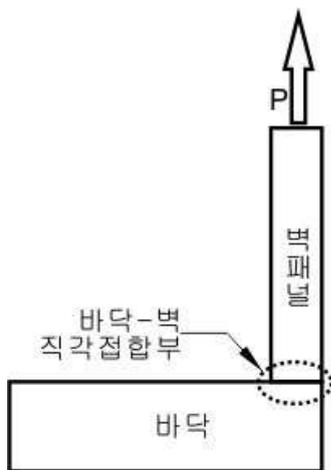


그림 B3-8 바닥-벽 직각접합부에 작용하는 못뽑기(인발)하중

바닥-벽 패널 사이의 직각접합부에 대한 못뽑기(인발)성능 시험은 그림 B3-9와 같은 방법으로 실시하였다.

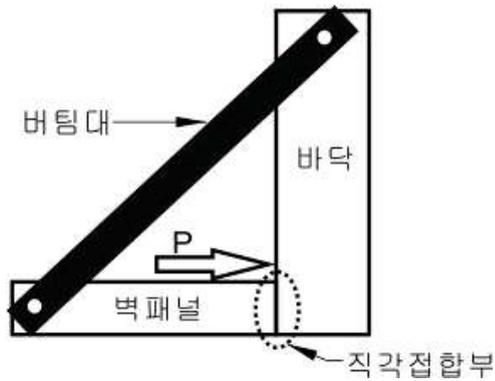


그림 B3-9 바닥-벽 패널 사이의 직각접합부에 대한 못뽑기(인발)성능 시험

그림 B3-7에서 벽 패널을 고정시키고 벽 패널에 직각으로 접합된 바닥에 하중 P를 가하면서 바닥과 벽 패널 사이의 상대적인 변형을 측정하였다. 바닥-벽 직각 접합부에 하중 P를 가할 때에 벽 패널이 전체적으로 뒤로 밀리거나 또는 뒤로 넘어가는 것을 방지하기 위하여 버팀대를 시험편의 양 끝에 설치하였으며 버팀대를 중심으로 바닥과 벽 패널이 자유롭게 회전이 가능하도록 버팀대 양끝에서 버팀대와 바닥 그리고 버팀대와 벽 패널 사이의 접합부는 핀접합으로 하였다. 바닥과 벽 패널 사이의 직각접합에는 세부과제에서 개발된 접합방법들을 적용하여 그 결과를 비교 평가하였다.

(7) 국산 잣나무를 사용한 그린티ம்ப러월 패널의 수평하중저항성능 시험

2차년도에 국산수종 가장 많은 양이 생산되는 낙엽송을 사용하여 그린티ம்ப러월 패널을 개발하여 강도성능을 평가하였으며 3차년도에는 국산수종으로서 낙엽송 다음으로 시중에서 구하기 쉬운 잣나무를 사용하여 그린티ம்ப러월 패널을 개발하고 그 수평하중저항성능을 평가하고자 한다.

잣나무 그린티ம்ப러월 패널에 대한 수평하중저항성능 시험은 1차년도 및 2차년도에 실시하였던 수평하중저항성능 시험과 동일한 방법으로 그림 B3-10과 같이 실시하였다.



그림 B3-10. 잣나무 그림티이버월 패널의 수평하중저항성능 시험 방법

반복하중 하에서의 시험은 실제 건축물에 작용하는 수평하중이 단순증가 하중보다는 반복하중에 가까우며 하중의 크기가 좌우로 반복되며 증가되는 형태이기 때문에 가능하면 실제 상황에 근접하도록 시험을 실시하기 위한 목적으로 그림 B3-11에 주어진 바와 같은 반복 수평하중 하에서의 시험을 실시하였다. 하중은 1mm, 3mm, 5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 30mm의 단계로 변위를 증가시키면서 가하였으며 각각의 하중단계는 3반복으로 구성하였다. 30mm의 변위 이후에는 10mm 단위로 변위를 증가시키면서 시험편이 파괴될 때까지 수평하중저항시험을 실시하였으며 시험 중에 하중과 시험편 상부와 중간 지점에서의 변위를 기록하였다.

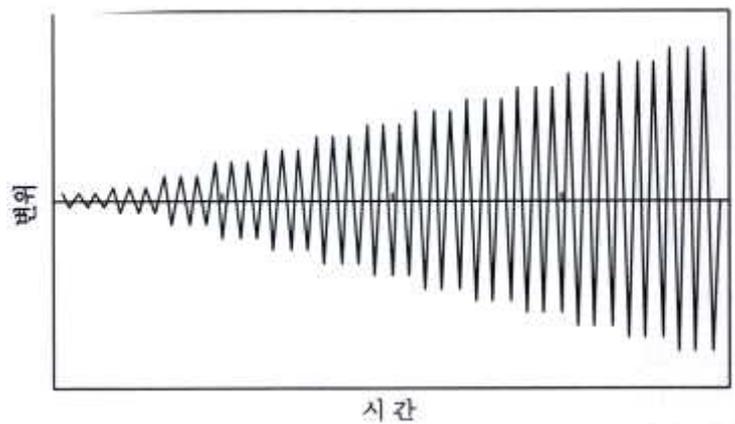


그림 B1-11. 반복 수평하중저항시험에 사용된 반복하중 함수

수평하중저항시험으로부터 얻어진 하중-변위선도로부터 식 (B3-1)에 의하여 최대전단내력을 계산하였다. 시험편의 파괴 시까지 또는 변위가 50mm에 도달할 때까지 하중을 가하면서 변위를 측정하고 변위 50mm 이전에 최대하중에 도달한 경우에는 그 값을 최대하중으로 하고 그렇지 않은 경우에는 50mm 변위에서의 하중을 최대하중으로 하여 최대전단내력( $S_u$ )을 계산하였다.

$$\frac{P_u}{B} \text{ ----- (B3-1)}$$

여기서  $S_u$  : 최대전단내력 (N/m)

$P_u$  : 최대하중 또는 변위 50mm에서의 하중 (N)

$B$  : 전단벽의 나비 (m)

시험편의 전단강성계수( $G$ )는 식 (B3-2)에 의하여 계산하였다.

$$G = \frac{P}{\delta} \times \frac{H}{B} \text{ ----- (B3-2)}$$

여기서  $G$  : 전단강성계수(N/mm)

$P$  : 하중(N) - 최대하중의 1/3 즉  $P = P_u / 3$

$H$  : 전단벽의 높이(m)

$B$  : 전단벽의 나비(m)

$\delta$  : 하중 P에서의 변위 (mm)

식 (B3-1)과 (B3-2)에 의하여 계산되는 최대전단내력과 전단강성계수는 1번째, 2번째 및 3번째 반복하중 하에서 압축영역과 인장영역에서 각각 값을 계산한 후 두 값의 평균을 각 반복하중 하에서의 최대전단내력과 전단강성계수로 결정하였다.

수평하중저항시험에 사용된 그린팁버릴 패널의 종류는 표 B3-1에 주어진 바와 같이 3가지 내벽 패널과 2가지 외벽 패널을 선정하였다. 표 B3-1의 모델번호에서 VG는 두께 35mm의 목재 벽널을 수직으로 설치한 것을 의미하며 HG는 목재 벽널을 수평으로 설치한 것을 의미한다. 또한 NP는 잣나무 목재벽널을 의미하고 L은 낙엽송 목재 벽널을 의미하며 SPF는 북미산 SPF 목재 벽널을 의미한다.

표 B3-1 수평하중저항시험에 사용된 그린팁버릴 패널의 종류

벽체의 종류	모델번호
내벽	IN-VG-4-HG-NP
	IN-VG-4-HG-L
	IN-VG-4-HG-SPF
외벽	EX-S-4-HG-NP
	EX-S-6-B

(8) 단열성능 예측 이론모형의 개선

2차년도 개발하였던 단열성능 예측 이론모형이 비교적 정확하였지만 패널 내부 특히 양 표면에 설치된 목재 널판 안쪽 표면에서의 온도 예측에 약간의 오차가 발생하였다. 이러한 부분을 개선하기 위하여 2차년도에 개발된 이론모형에서 양 측면의 목재 널판 안쪽 표면에 대한 수정을 하기로 하였다. 모든 재료들은 재료 자체가 가지고 있는 열저항이 있지만 재료의 표면에서 공기와 접촉하는 위치에서도 작은 열저항이 발생한다. 이전의 이론모형에서는 이러한 표면의 열저항을 실내측 표면과 실외측 표면에서만 계산하였으나 실제로 패널의 내부에 사용된 유리섬유 단열재로 인하여 목재 벽널의 안쪽 표면에서도 공기와의 접촉이 발생하게 된다. 따라서 공기와 목재 벽널과의 접촉으로 인한 열저항을 패널 내부에 대해서도 적용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

그림 B3-13에서 모델 1은 패널을 구성하는 재료들의 열관류 저항만을 고려한 것으로서 고체인 패널의 표면에서 유체인 공기와의 접촉 시 발생하는 열전달 저항을 무시한 모델이다. 그림 B3-13의 모델 2는 모델 1에 추가로 패널의 실내측 및 실외측 표면에서 공기와의 접촉을 통한 열전달 저항을 고려한 온도 변화를 반영하여 이 연구의 2차년도에 개발한 모델이다. 모델 2는 패널의 양 표면에서의 공기 접촉만을 고려하였으나 실제적으로 패널 내부에서도 스티드 사이에는 느슨한 솜 형태의 유리섬유 단열재가 사용되었기 때문에 단열재 사이에 공기층이 존재하고 이 공기층과 패널의 양측면에 설치된 목재 벽널의 구조체 내부쪽 표면 사이에 열전달 저항이 발생한다. 따라서 올바른 단열성능을 나타내는 모델을 만들기 위해서는 구조체 내부에서 목재 벽널의 표면과 공기층의 접촉으로 인한 열전달 저항도 함께 고려해 주어야 할 것이다. 3차년도에는 2차년도의 패널 내부에서의 목재 벽널과 공기층의 접촉으로 인한 열전달 저항을 모델 2에 추가하여 그림 B3-13의 모델 3과 같이 그린팁버릴 패널을 위한 단열성능 모델을 개선하고자 한다.

모델 3에 따르면 실내온도로부터 실내쪽 표면에서 표면 열전달 저항에 따른 온도 감소가 나타나고 실내쪽 목재 벽널의 열관류 저항에 따른 온도 감소가 목재 벽널의 뒷면 온도로 나타나며 목재 벽널의 뒷면과 공기층 사이에서 다시 열전달 저항에 의한 온도 감소가 나타난다. 내부의 유리섬유 단열재를 지나면서 유리섬유의 열관류 저항에 따른 온도 감소가 발생하고 실외쪽 목재 벽널 표면과의 접촉에 따른 열전달 저항에 의하여 다시 온도가 감소하여 실외쪽 목재벽널의 뒷면 온도로 측정될 것이다. 실외쪽 목재벽널을 통과하면서 목재의 열관류저항에 의하여 온도가 감소하고 실외쪽 표면에서 외부 공기와의 접촉에 따른 열전달저항에 의하여 다시 온도가 감소하여 실외온도와 동일하게 될 것이다.

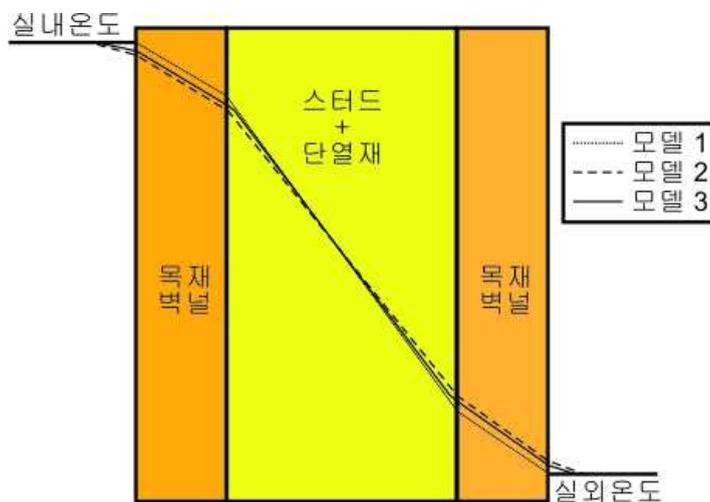


그림 B3-13 그린팀버월 패널의 열전달 및 열관류 저항을 고려한 온도 변화 모델

## 라. 연구내용 및 결과

### (1) 그린팀버월 패널 길이이음 접합부의 수평하중저항성능

그린팀버월 패널의 길이이음 접합부에 대한 수평하중저항성능을 평가하기 위하여 EX-G-4-S(외벽, 두께 35mm 목재벽널 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)와 EX-B-4-S(외벽, 두께 12.5mm 석고보드 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)의 두 가지 타입을 선정하였다. 시험용 패널을 만들기 위하여 그림 B3-14와 같이 SPF 2 등급 2x4 구조용재를 610mm 간격으로 배치하였으며 동일한 부재로 하부에 밑깔도리와 상부에 윗깔도리를 설치하고 1,200mm 나비에 2,162mm 높이의 패널을 2개 제작하여 길이이음 접합을 하였다. 길이이음 접합을 한 후 전체 길이에 걸쳐서 하나의 2x4 부재로 이중깔도리에 상부에 설치하였다. 이와 같이 시험편을 제작한 이유

는 실제 건축현장에서도 같은 층의 모든 벽체를 세우고 벽체와 벽체 사이의 접합을 한 후에 최종적으로 이중깔도리를 전체적으로 설치하며 이때에 접합부를 가로질러서 설치되는 이중깔도리는 하나의 부재로 설치하기 때문이다.

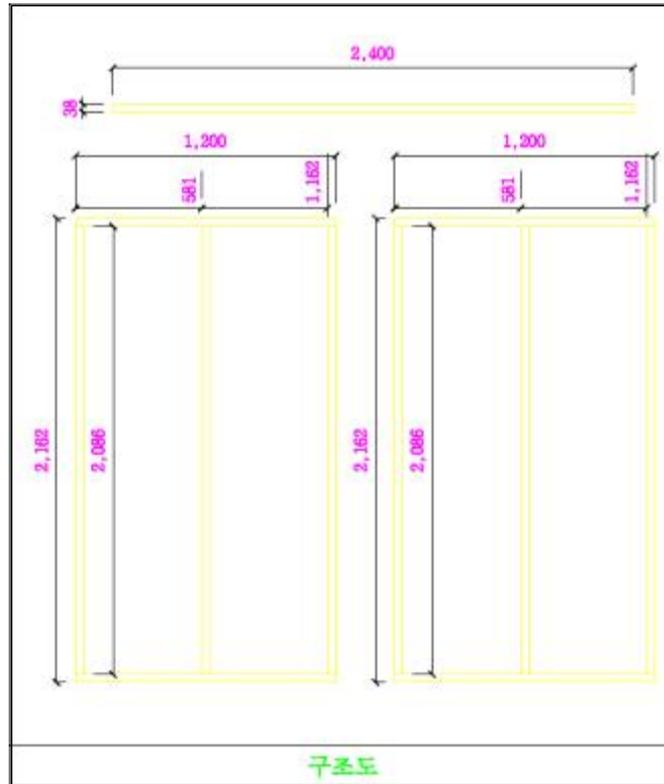


그림 B3-14 그린탐버월 패널의 길이이음 접합부에 대한 수평하중저항 시험편

두 개의 패널들 사이에 길이이음을 하기 위하여 사용된 길이이음 접합부의 종류는 표 B3-2와 같다.

표 B3-2 그린티म्버월 패널 길이이음 접합부의 종류

기호	파스너			
	종류	한 곳에 사용하는 파스너 수	간격(mm)	파스너의 총수
C	없음	0	-	0
N2	CMN90	2	600	10
N4	보통못	4		20
N1LS1	CMN90 보통못 +	못 1 + 래그나사못 1개		10
N2LS2	길이 90mm 래그나사못	못 2개 + 래그나사못 2개		20

표 B3-2에서 패널들 사이의 길이이음 접합부는 세부과제에서 접합방법을 개발한 바와 같이 90mm 길이의 못과 래그나사못으로 구성하였으며 파스너의 간격은 600mm로 하여 전체 높이에 걸쳐서 총 5군데에 파스너가 설치되도록 하였다. 길이이음 접합부의 성능을 비교 평가하기 위하여 길이이음 접합부가 없는 시험편을 만들어서 이중갈도리만 설치하고 그 아래로는 접합부가 없이 패널들을 맞대 놓은 상태(표 B3-2의 기호 C)에서 수평전단하중시험을 실시하였다. 보통못은 미리 구멍을 뚫지 않고 공기압 못총을 사용하여 30도의 경사각으로 설치를 하였으며 래그나사못은 나사못 지름(9mm)의 80% 정도에 해당하는 구멍을 30도의 경사각으로 80mm 깊이까지 미리 뚫고 래그나사못 머리를 돌리면서 설치하였다. 래그나사못을 설치하기 위하여 구멍을 뚫을 때에 두 부재를 고정시키기 위하여 CMN90 보통못을 보조 파스너로 사용하여 먼저 못을 박아서 부재들을 고정시킨 후에 구멍을 뚫고 래그나사못을 삽입하였다.

표 B3-2 중에서 C 시험편(EX-B-4-S-C)에 대한 수평하중저항성능 시험 결과는 그림 B3-15와 같다. 그림 B3-15를 보면 패널과 패널 사이에 길이이음 접합부가 없이 단순히 맞대 놓은 상태에서 시험을 실시하였기 때문에 시험결과가 조금 불안정하며 반복하중이 박용함에 따라서 약간씩 압축쪽으로 움직였음을 알 수 있다. 그림 B3-15의 시험결과로부터 구한 시험편 EX-B-4-S-C에 대한 특성곡선은 그림 B3-16과 같다. 래그나사못으로 접합한 LS1 시험편(EX-B-4-S-LS1)에 대한 수평하중저항성능 시험결과 및 특성곡선은 각각 그림 B3-17 및 B3-18과 같다. 못으로 접합한 N4 시험편(EX-B-4-S-N4)에 대한 수평하중저항성능 시험결과 및 특성곡선은 각각 그림 B3-19 및 B3-20과 같다.

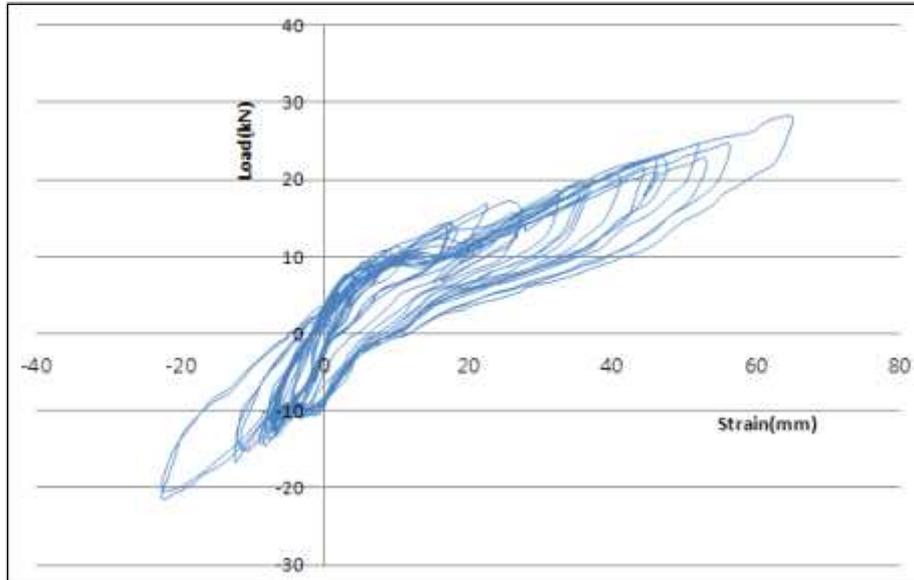


그림 B3-15 시험편 EX-B-4-S-C에 대한 수평하중저항성능 시험의 하중-변형선도

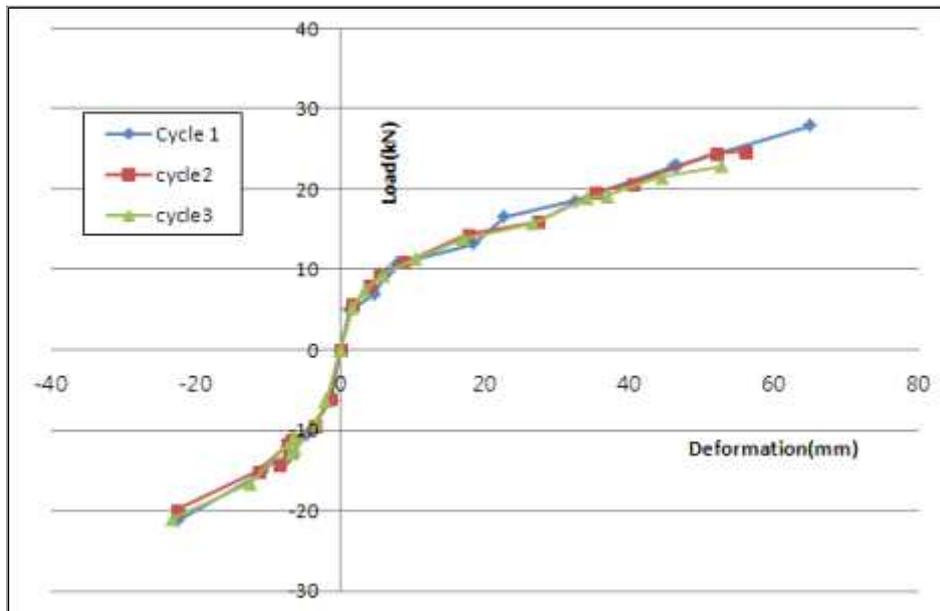


그림 B3-16 반복하중 하에서 시험편 EX-B-4-S-C의 특성곡선

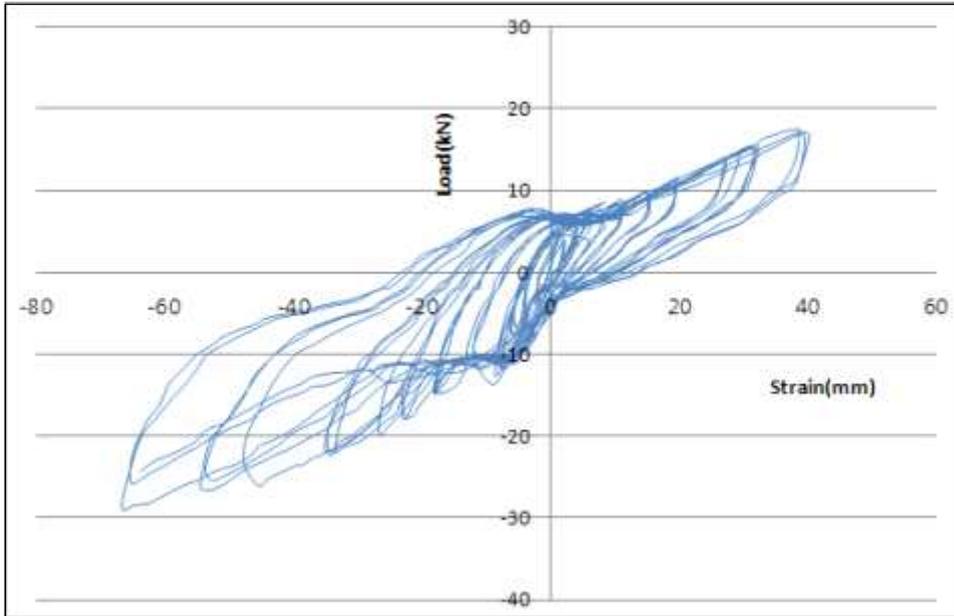


그림 B3-17 시험편 EX-B-4-S-LS1에 대한 수평하중저항성능 시험의 하중-변형선도

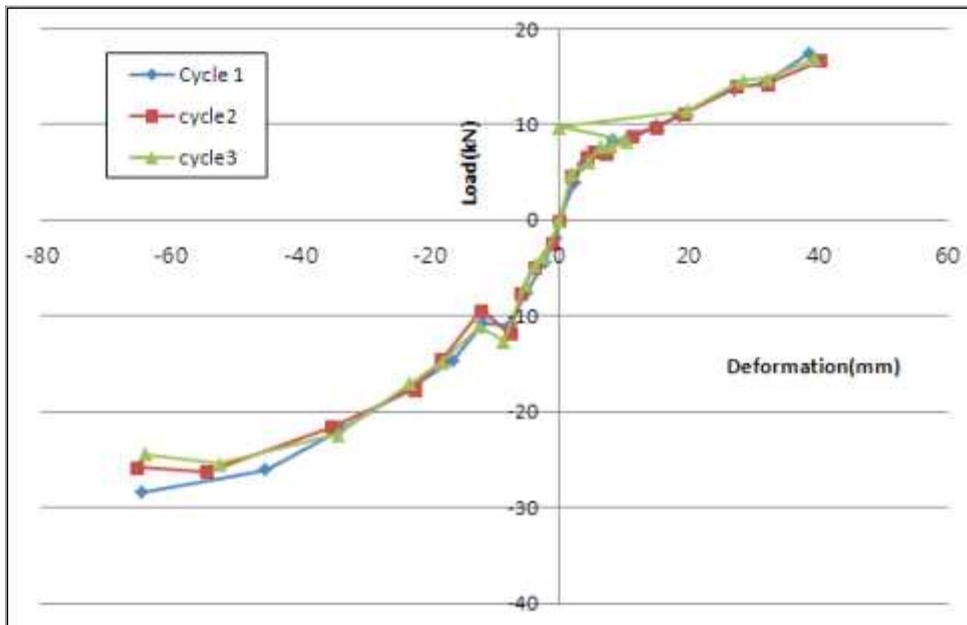


그림 B3-18 반복하중 하에서 시험편 EX-B-4-S-LS1의 특성곡선

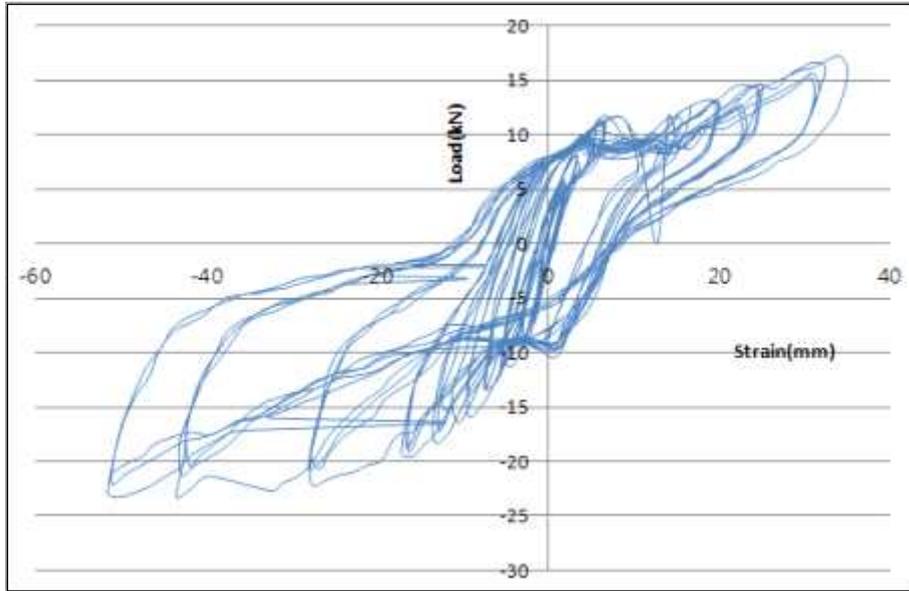


그림 B3-19 시험편 EX-B-4-S-N4에 대한 수평하중저항성능 시험의 하중-변형선도

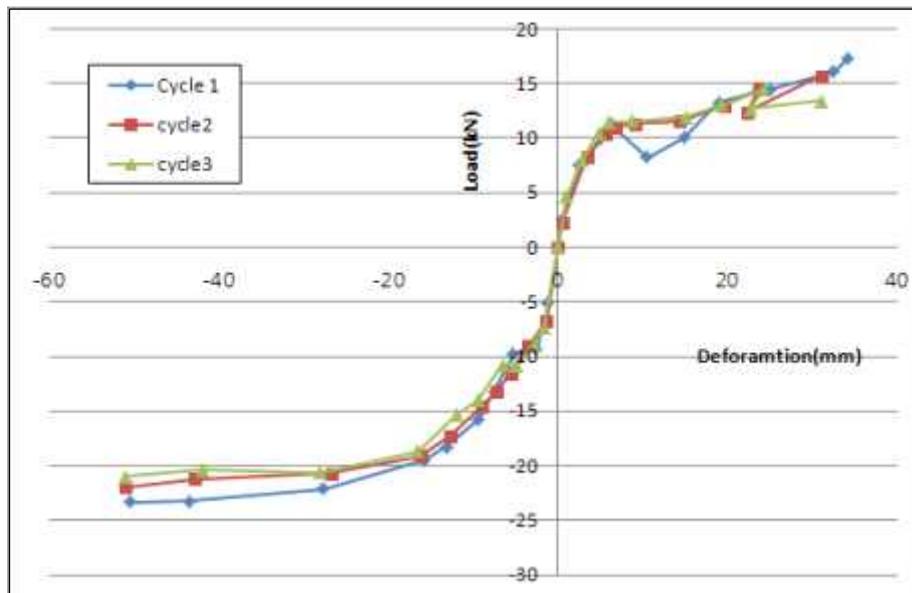


그림 B3-20 반복하중 하에서 시험편 EX-B-4-S-N4의 특성곡선

표 B3-2에 주어진 시험편의 종류별로 각각 2반복씩 시험을 실시하였으며 5가지 종류의 길이이음 접합부를 갖는 시험편에 대한 수평하중저항성능의 평균값은 표 B3-3과 같이 요약할 수 있다.

표 B3-3 길이어음 접합부를 갖는 그린티버월 패널의 최대전단내력 및 전단강성 계수

벽체의 종류	모델번호	최대전단내력(N/m)			전단강성계수(N/mm)		
		1차	2차	3차	1차	2차	3차
외벽	EX-B-4-S-C	7,267	6,310	6,129	3,900	3,329	2,653
	EX-B-4-S-N2	6,660	6,310	5,790	8,797	6,877	6,225
	EX-B-4-S-N4	7,495	7,041	6,439	7,173	8,271	7,022
	EX-B-4-S-N1LS1	8,569	7,938	7,817	2,821	3,117	2,883
	EX-B-4-S-N2LS2	8,788	8,298	8,517	3,729	3,003	2,527
	EX-GH-4-S-N2	6,135	6,200	6,296	7,022	5,509	4,197
	EX-GH-4-S-N4	7,863	7,752	6,979	7,783	6,054	5,928
	EX-GH-4-S-N1LS1	8,050	7,344	7,410	2,297	3,554	3,195
	EX-GH-4-S-N2LS2	7,500	8,496	7,860	3,663	4,292	3,314
	IN-GH-4-GH <sup>1)</sup>	681	654	600	237	350	107
	IN-GH-4-GV <sup>2)</sup>	1983	1960	1933	1361	1792	2029
	EX-B-4-S <sup>1)</sup>	6,523	6,227	5,048	3,097	3,170	2,583

주) <sup>1)</sup> 이 자료는 1차년도 시험결과이다.

<sup>2)</sup> 이 자료는 2차년도 시험결과이다.

표 B3-3을 보면 각각의 길이어음 접합부 시험편들 사이에 최대전단내력에서는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 실외측면에 OSB 그리고 실내측면에 석고보드가 사용된 전단벽 중에서 파스너의 사용 없이 맞댄 접합 시험편(EX-B-4-S-C)과 못이 2개 사용된 시험편(EX-B-4-S-N2) 그리고 못이 4개 사용된 시험편(EX-B-4-S-N4) 사이에 약간의 전단내력 증가 경향이 보이기는 하지만 그렇게 뚜렷하지 않으며 1차년도에 실시하였던 길이어음 접합이 없는 시험편(EX-B-4-S)과도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 못 접합부가 있는 시험편의 경우에 맞댄 접합이나 길이어음이 없는 시험편에 비하여 전단강성계수가 증가하는 경향을 나타냄으로써 하중 하에서 변형의 발생이 비교적 적은 것으로 평가되었다. 래그나사못 접합부는 못 접합부보다 최대전단내력은 약간 높은 값을 나타내었으나 강성계수는 오히려 낮은 값을 나타내었다. 비록 래그나사못이 2개의 부재 사이를 조여서 붙여주는 역할을 하기는 하지만 그래도 구멍을 뚫고 삽입하는 과정에서 약간의 유격이 생기므로써 하중 하에서 변형이 약간 증가하는 것으로 판단된다. 래그나사못을 1개 사용한 경우(EX-B-4-S-N1LS1)와 2개 사용한 경우(EX-B-4-S-N2LS2)사이에

는 강도와 강성 모두 큰 차이를 나타내지 않았다.

실외측면에 OSB 그리고 실내측면에 목재 벽널이 사용된 전단벽 중에서 못이 2개 사용된 시험편(EX-GH-4-S-N2) 그리고 못이 4개 사용된 시험편(EX-GH-4-S-N4) 사이에 약간의 전단내력 증가 경향이 보이기는 하지만 그렇게 뚜렷하지 않으며 파스너의 사용 없이 맞댄 접합 시험편(EX-B-4-S-C)이나 1차년도에 실시하였던 길이이음 접합이 없는 시험편(EX-B-4-S)과도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 못 접합부가 있는 시험편의 경우에 맞댄 접합이나 길이이음이 없는 시험편에 비하여 전단강성계수가 증가하는 경향을 나타내었으며 이는 앞의 실내측면에 석고보드가 사용된 시험편의 경우와 같은 경향을 보여주었다. 래그나 사못 접합부도 앞의 석고보드가 사용된 시험편의 경우와 마찬가지로 못 접합부보다 최대전단내력은 약간 높은 값을 나타내었으나 강성계수는 오히려 낮은 값을 나타내었다. 래그나사못을 1개 사용한 경우(EX-GH-4-S-N1LS1)와 2개 사용한 경우(EX-GH-4-S-M2LS2) 사이에는 강도와 강성 모두 큰 차이를 나타내지 않았다.

전체적으로 보았을 때에 1차년도에 시험하였던 양측면에 목재 벽널을 동일하게 수평방향으로 설치한 벽체 시험편(IN-GH-4-GH)과 비교하면 양측면에 목재벽널을 설치한 시험편의 경우가 다른 것들에 비하여 매우 낮은 강성 및 강도를 나타내었다. 2차년도에 목재벽널들을 벽 패널의 한쪽 측면에는 수평으로 부착시키고 반대쪽 측면에는 수직으로 부착한 그린티이버월 패널(IN-GH-4-GV)의 경우에는 양측면에서 동일하게 수평으로 설치한 경우(IN-GH-4-GH)에 비해서는 강도와 강성이 모두 증가하였지만 여전히 한쪽 측면에 OSB를 설치한 전단벽에 비해서는 강도는 1/3 그리고 강성은 1/2 정도의 수준을 나타내고 있다. 따라서 수평하중을 지지하여야 하는 전단벽으로서의 성능을 고려한다면 건축물의 실외벽에는 실외 측면에 OSB를 부착한 그린티이버월 패널을 사용하는 것이 합당할 것으로 생각된다. 목재 벽널은 비록 T&G로 접합이 이루어지기는 하지만 방수, 방풍 등의 성능과 가격, 시공성 등을 종합 평가하였을 때에 실외 마감재로 사용하기에는 부적합할 것으로 생각된다. 따라서 양측면에 모두 목재 벽널을 부착한 그린티이버월 패널은 실내벽으로 사용하는 것이 바람직하며 실외벽으로는 외측면에는 OSB를 부착하고 내측면에는 목재 벽널을 부착한 그린티이버월 패널을 사용하는 것이 합당할 것으로 생각된다.

수평하중 하에서 길이이음 접합부를 갖는 그린티이버월 패널은 그림 B3-21에서 보는 바와 같이 덮개재료가 회전하는 변형을 나타내며 실제 시험에서도 그림 B3-22에서 보는 바와 같이 중앙 접합부에서 덮개재료의 변형을 확인할 수 있다. 수평하중 하에서 골조부재는 평행사변형으로 변형되고 덮개재료는 회전하면서 이들 사이를 접합시키는 못이 그림 B3-23과 같이 뽑혀 나오거나 또는 못머리가 판재 또는 석고보드를 파고들어가는 변형을 나타내기도 하였다.

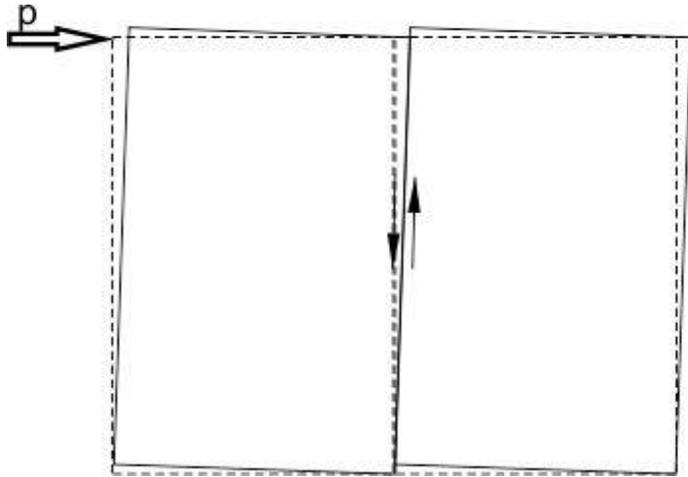


그림 B3-21 수평하중 하에서  
덧개재료의 회전

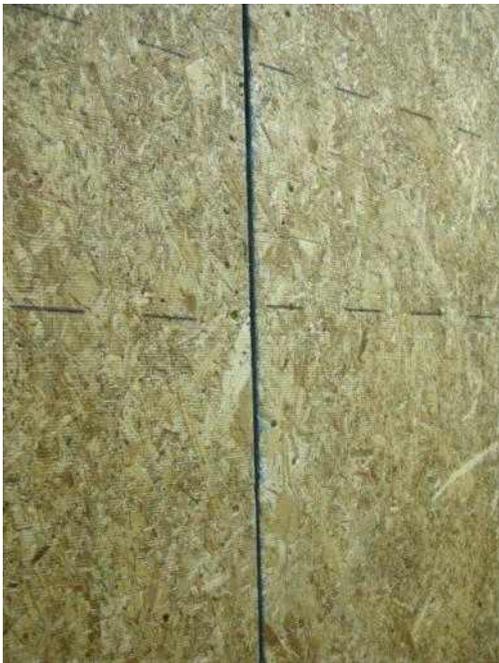


그림 B3-22 실제 수평하중저항 시험에서  
덧개재료의 회전



그림 B3-23 수평하중 하에서 덮개재료의 회전에 따른 못의 뽑힘

## (2) 그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능

건축물의 모서리에서 나타나는 그린티이버월 패널들 사이의 직각 접합부에 대한 수평전단하중에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 앞의 길이이음 접합의 경우와 마찬가지로 EX-G-4-S(외벽, 두께 35mm 목재벽널 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)와 EX-B-4-S(외벽, 두께 12.5mm 석고보드 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)의 두 가지 타입을 선정하였다.

그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능 평가를 위한 시험용 패널을 만들기 위하여 그림 B3-24와 같이 SPF 2등급 2x4 구조용재를 610mm 간격으로 배치하였으며 동일한 부재로 하부에 밑깔도리와 상부에 윗깔도리를 설치하여 900mm 높이에 529mm 및 517mm 나비의 패널을 1개씩 제작하고 직각접합을 하여 시험체의 치수가 가로와 세로가 각각 610mm가 되도록 하였다. 그림 B3-24에서 패널의 실외측면은 모두 두께 11.1mm의 OSB로 덮였으며 실내측면에는 EX-G-4-S는 두께 35mm의 목재벽널 그리고 EX-B-4-S는 두께 12.5mm의 석고보드를 설치하였다.

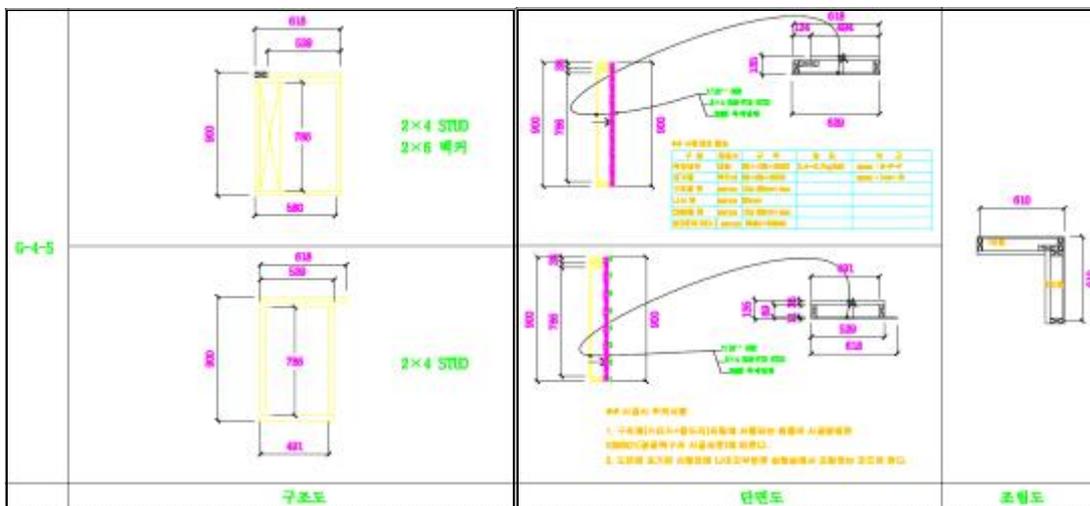
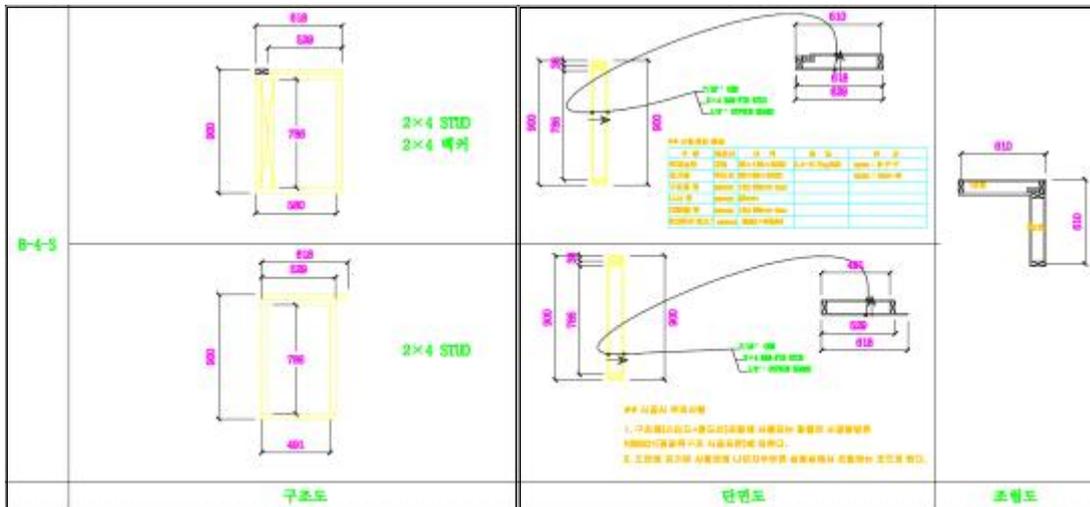


그림 B3-24 그린티म्버월 패널의 직각접합부에 대한 수평하중저항 시험편

두 개의 패널들 사이에 직각접합을 하기 위하여 사용된 직각접합부의 종류는 표 B3-4와 같다.

표 B3-4 그린티म्버월 패널들 사이의 직각접합부의 종류

기호	파스너			
	종류	한 곳에 사용하는 파스너 수	간격(mm)	파스너의 총수
N2	CMN90 보통못	2	600	10
LS1	길이 90mm 래그나사못	1		5

표 B3-4에서 패널들 사이의 직각접합부는 세부과제에서 접합방법을 개발한 바와 같이 90mm 길이의 못과 125mm 길이의 래그나사못으로 구성하였으며 파스너의 간격은 500mm로 하여 벽체 전체 높이에 걸쳐서는 총 6군데에 파스너가 설치되지만 높이 900mm의 시험편에는 중앙에서 대칭이 되도록 하여 2군데만 파스너를 설치하였다. 보통못은 미리 구멍을 뚫지 않고 공기압 못총을 사용하여 수평으로 설치하였으며 래그나사못은 나사못 지름(9mm)의 80% 정도에 해당하는 구멍을 30도의 경사각으로 80mm 깊이까지 미리 뚫고 래그나사못 머리를 돌리면서 설치하였다.

표 B3-4 중에서 LS1 시험편(EX-B-4-S-VJ-LS1)에 대한 수평전단성능 시험 결과는 그림 B3-25와 같다. 그림 B3-25에서 보면 하중-변형선도가 2개의 직선구간으로 나눌 수 있음을 알 수 있다. 이들 2개의 직선 중에서 첫 번째 직선구간의 기울기가 초기강성을 나타내는 값이며 이를 1차 접합계수( $k_1$ )이라하고 두 번째 직선구간의 기울기가 파스너의 항복 이후의 강성을 나타내며 이를 2차 접합계수( $k_2$ )라 한다. 일반적으로 철이나 합성소재 등과 같이 균질한 재료의 경우에는 1차와 2차 강성 사이에 뚜렷한 경계가 생기고 그 경계점이 항복점으로서 재료의 설계를 위한 값으로 사용되지만 철제 파스너가 사용된 목재 접합부의 경우에는 이 점이 뚜렷하지 않은 경우가 많다. 따라서 목재 접합부에서는 1차 접합계수와 같은 기울기를 가지면서 1차 직선으로부터 파스너 지름의 5%에 해당하는 값만큼 우측으로 수평 이동시킨 직선을 그려서 이 직선과 접합부의 하중-변형선도가 만나는 점을 항복점으로 가정하여 사용한다. 따라서 이 점은 진정한 항복점은 아니지만 파스너 지름의 0.5%에 해당하는 값만큼 띄어서 측정한다는 점에서 유사항복점(offset yield point)이라고 하고 이 점을 철제 파스너가 사용된 목재 접합부의 설계값으로 사용하게 된다.

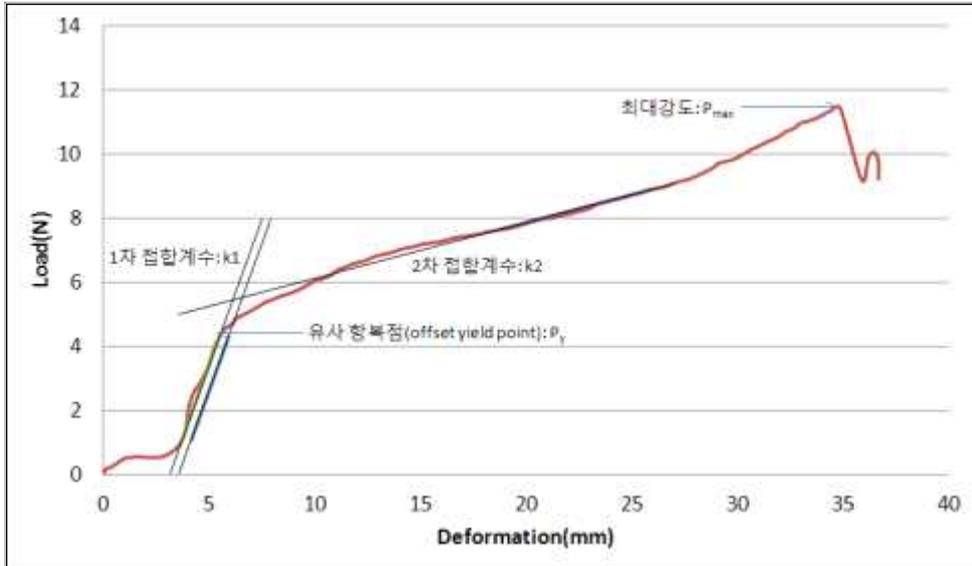


그림 B3-25 시험편 EX-B-4-S-VJ-LS1에 대한 수평하중저항성능 시험의 하중-변형선도

이 연구에서 사용하였던 2가지 패널과 표 B3-4에 주어진 2가지 파스너를 가지고 총 4가지 종류의 시험편의 조합을 만들고 각각 2반복씩 시험을 실시하였으며 수평 전단성능의 평균값은 표 B3-5와 같이 요약할 수 있다.

표 B3-5 그린텀버릴 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능

벽체의 종류	모델번호	최대강도 ( $P_{max}$ , kN)	접합계수(kN/mm)		항복하중 ( $P_y$ , kN)
			k1	k2	
외벽	EX-B-4-S-VJ-N2	2.08	1.81	0.23	1.42
	EX-B-4-S-VJ-LS1	11.44	0.74	0.20	4.70
	EX-GH-4-S-VJ-N2	1.81	1.08	0.22	1.75
	EX-GH-4-S-VJ-LS1	13.14	0.59	0.35	6.89

표 B3-5를 보면 못 접합부(N2)와 래그나사못 접합부(LS1) 사이에 최대강도에서 많은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 못 접합부는 래그나사못 접합부에 비하여 최대강도는 1/6 정도로 낮았으나 1차 접합계수(k1)는 약 2배 정도 높은 값을 나타내었다. 못 접합이 초기강성은 높았으나 2차 강성은 래그나사못 접합부와 비슷한 값을 나타내었다. 래그나사못은 경우에는 앞에서 언급하였던 바와 같이 구멍을

뚫고 삽입하는 과정에서 약간의 유격이 발생하여 초기강성이 낮은 것으로 판단되며 2차 강성은 못접합부에 비하여 비슷하거나 오히려 약간 높은 값을 나타내었다. 항복하중은 래그나사못 접합부가 못 접합부에 비하여 3배 이상 높은 값을 나타내었다. 직각접합부의 강도와 강성은 접합부를 구성하는 패널의 종류(석고보드 사용(B-4-S) 및 목재 벽널 사용(G-4-S))에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

그린티ம்ப러월 패널들 사이의 직각접합부에 대한 수평전단시험은 그림 B3-26과 같이 실시되었다.



그림 B3-26 그린티ம்ப러월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단시험

수평전단하중 하에서 직각접합부를 구성하는 2개의 패널들 사이에는 그림 B3-27 및 B3-28에서 보는 바와 같이 미끄러짐이 발생한다. 이러한 미끄러짐은 직각접합부에 설치된 파스너들이 휘고 휘어진 파스너에 의하여 인접한 목재부재가 파여 들어가면서 발생하게 된다. 덮개재료로 설치된 OSB를 설치하기 위하여 박힌 못도 함께 전단하중을 받아서 휘면서 뽑히게 된다.



그림 B3-27 직각접합부에서 하중이 작용하는 쪽의 변형



그림 B3-28 직각접합부에서 하중이 작용하는 반대쪽의 변형

### (3) 그린티이버월 패널 직각접합부의 수직전단성능

건축물의 모서리에서 나타나는 그린티이버월 패널들 사이의 직각 접합부에 대한 수직전단하중에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 앞의 수평전단시험의 경우와 마찬가지로 EX-G-4-S(외벽, 두께 35mm 목재벽널 + 2x4 스티드 + 두께 11.1mm OSB)와 EX-B-4-S(외벽, 두께 12.5mm 석고보드 + 2x4 스티드 + 두께 11.1mm OSB)의 두 가지 타입의 패널들을 선정하였다.

그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능 평가를 위한 시험용 패널을 만들기 위하여 앞의 수평전단시험용 시험편의 경우와 동일하게 그림 B3-24와 같이 SPF 2등급 2x4 구조용재를 610mm 간격으로 배치하였으며 동일한 부재로 하부에 밑갈도리와 상부에 윗갈도리를 설치하여 900mm 높이에 529mm 및 517mm 나비의 패널을 1개씩 제작하고 직각접합을 하여 시험체의 치수가 가로와 세로가 각각 610mm가 되도록 하였다. 수직전단시험용 시험편도 그림 B3-24에서 패널의 실외 측면은 모두 두께 11.1mm의 OSB로 덮었으며 실내측면에는 EX-G-4-S는 두께 35mm의 목재벽널 그리고 EX-B-4-S는 두께 12.5mm의 석고보드를 설치하였다.

두 개의 패널들 사이에 직각접합을 하기 위하여 사용된 직각접합부의 종류도 앞의 수평전단시험과 동일하게 표 B3-4와 같다.

패널들 사이의 직각접합부도 앞의 수평전단시험과 동일하게 90mm 길이의 못과 125mm 길이의 래그나사못으로 구성하였으며 파스너의 간격은 500mm로 하여 높이 900mm의 시험편에 대하여 중앙에서 대칭이 되도록 하여 2군데만 파스너를 설치하였다. 보통못은 미리 구멍을 뚫지 않고 공기압 못총을 사용하여 수평으로 설치하였다. 래그나사못은 나사못 지름(9mm)의 80% 정도에 해당하는 구멍을 30도의 경사각으로 80mm 깊이까지 미리 뚫고 래그나사못 머리를 돌리면서 설치하였다.

그린티이버월 패널 직각접합부 중에서 LS1 시험편(EX-G-4-S-VJ-LS1)에 대한 수직

전단성능 시험 결과는 그림 B3-29와 같다. 그림 B3-29에서 보면 수평전단시험과는 달리 수직전단시험의 하중-변형선도는 2개의 직선구간으로 나누어지지 않고 거의 하나의 직선형으로 증가하다가 최대하중에 도달함으로써 그린티म्버월 패널들 사이의 직각접합부에 대한 수직전단강성은 하나의 접합계수(k)로 나타낼 수 있음을 알 수 있다. 수직전단시험에서도 직각접합부에 대한 항복점은 유사항복점으로 찾게 되는데 그림 B3-29에서 보면 항복하중이 거의 최대하중과 비슷한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

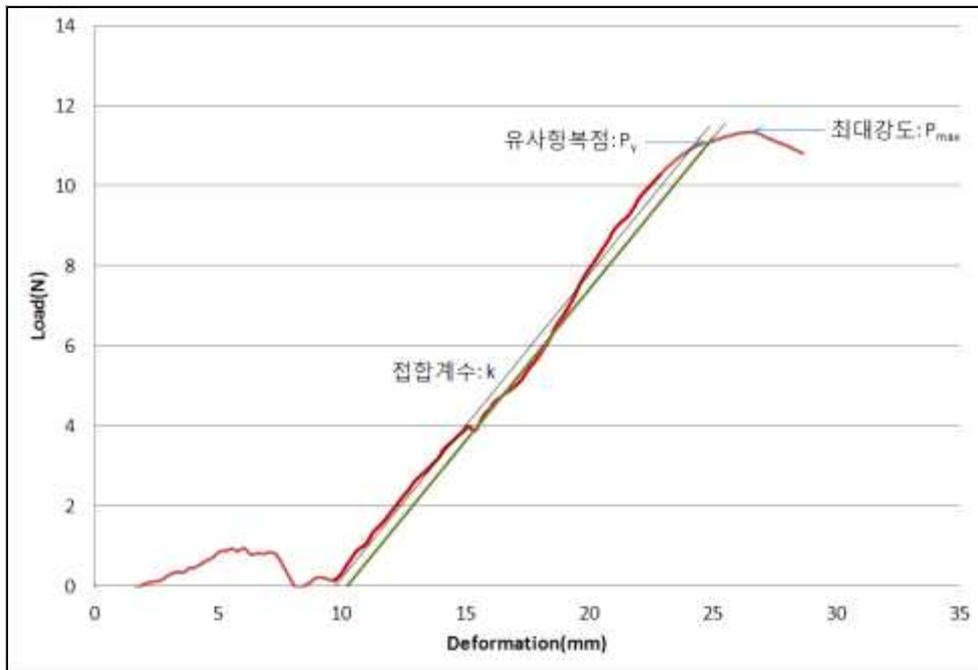


그림 B3-29 시험편 EX-G-4-S-VJ-LS1에 대한 수직전단성능 시험의 하중-변형선도

이 연구에서 사용하였던 2가지 패널과 표 B3-4에 주어진 2가지 파스너를 가지고 총 4가지 종류의 시험편의 조합을 만들고 각각 2반복씩 시험을 실시하였으며 수평전단성능의 평균값은 표 B3-6과 같이 요약할 수 있다.

표 B3-6 그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능

벽체의 종류	모델번호	최대강도 ( $P_{max}$ , kN)	접합계수, $k$ (kN/mm)	항복하중 ( $P_y$ , kN)
외벽	EX-B-4-S-VJ-N2	5.74	1.03	2.08
	EX-B-4-S-VJ-LS1	9.96	0.58	4.70
	EX-GH-4-S-VJ-N2	5.45	0.93	3.50
	EX-GH-4-S-VJ-LS1	11.33	0.49	6.89

표 B3-6을 보면 못 접합부(N2)의 최대강도가 래그나사못 접합부(LS1)의 최대강도에 비하여 약 절반 정도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 못 접합부는 래그나사못 접합부에 비하여 최대강도는 1/2 정도로 낮았으나 접합계수( $k$ )는 오히려 2배 정도 높은 값을 나타내었다. 초기강성은 못 접합부가 높고 최대강도는 래그나사못 접합부가 더 높다는 것을 확인할 수 있었다. 래그나사못은 경우에는 앞에서 언급 하였던 바와 같이 구멍을 뚫고 삽입하는 과정에서 약간의 유격이 발생하여 초기강성이 낮은 것으로 판단된다. 항복하중도 래그나사못 접합부가 못 접합부에 비하여 2배 정도 높은 값을 나타내었다. 직각접합부의 강도와 강성은 접합부를 구성하는 패널의 종류(석고보드 사용(B-4-S) 및 목재 벽널 사용(G-4-S))에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

그린티이버월 패널들 사이의 직각접합부에 대한 수직전단시험은 그림 B3-30과 같이 실시되었다.



그림 B3-30 그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단시험

수직전단하중 하에서 직각접합부를 구성하는 2개의 패널들 사이에는 그림 B3-31

에서 보는 바와 같이 접합부의 회전이 발생한다. 이러한 접합부의 회전은 직각접합부의 바깥쪽에 설치되는 OSB 덮개가 외측을 덮고 있기 때문에 OSB가 전단에 의하여 파괴되지 않는 한 회전이 발생하면서 접합을 위하여 박혀있던 파스너들이 뽑혀 나오게 된다.

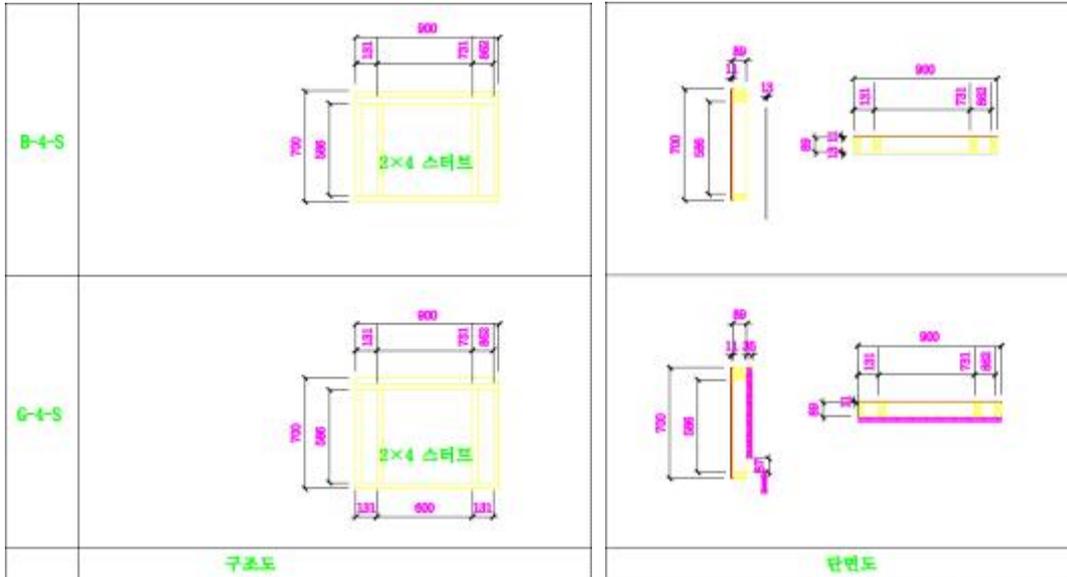


그림 B3-31 수직전단하중 하에서  
직각접합부의 변형

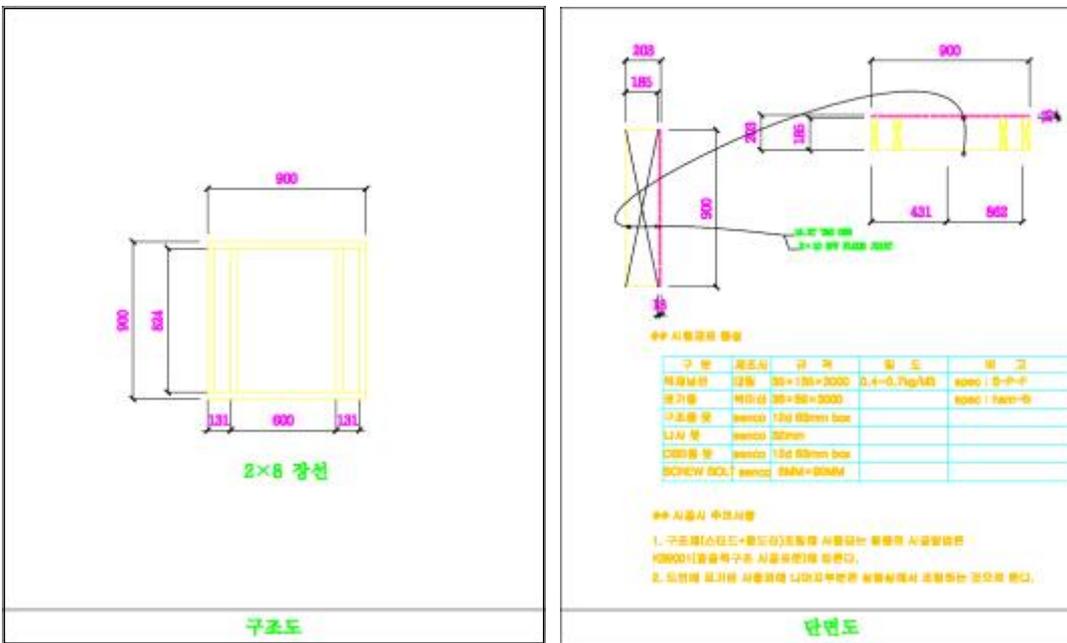
#### (4) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능

건축물의 바닥과 그린티이버월 패널이 만나는 직각 접합부에 대한 수평전단하중에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 바닥은 2x8 바닥장선을 610mm 간격으로 배치하고 그 위에 두께 18mm의 T&G OSB 덮개를 덮은 구조(그림 B3-32(B))로 사용하였고 그 위에 설치되는 벽체는 앞의 시험에서 사용되었던 것과 마찬가지로 EX-G-4-S(외벽, 두께 35mm 목재벽널 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)와 EX-B-4-S(외벽, 두께 12.5mm 석고보드 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)의 두 가지 타입(그림 B3-32(A))을 선정하였다.

바닥과 그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능 평가를 위한 시험용 그린티이버월 패널을 만들기 위하여 그림 B3-32(A)와 같이 SPF 2등급 2x4 구조용재를 610mm 간격으로 배치하였으며 동일한 부재로 하부에 밑갈도리와 상부에 윗갈도리를 설치하여 900mm 나비에 700mm 높이의 벽 시험편을 제작하고 그림 B3-32(B)와 같이 바닥구조를 900mm x 900mm 크기로 제작하여 그 위에 벽 시험편을 올려서 직각접합을 하였다. 그림 B3-32(A)에서 패널의 실외측면은 모두 두께 11.1mm의 OSB로 덮었으며 실내측면에는 EX-G-4-S는 두께 35mm의 목재벽널 그리고 EX-B-4-S는 두께 12.5mm의 석고보드를 설치하였다.



(A) 바닥-그린팁버월 패널 직각접합부 시험을 위한 그린팁버월 패널 제작도면



(B) 바닥-그린팁버월 패널 직각접합부 시험을 위한 바닥구조 제작도면

그림 B3-32 바닥-그린팁버월 패널 직각접합부 시험을 위한 시험편 제작도면

바닥-그린팁버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능 시험을 위한 시험편을 만들기 위하여 사용된 직각접합부의 종류는 표 B3-7과 같다.

표 B3-6 그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능

벽체의 종류	모델번호	최대강도 ( $P_{max}$ , kN)	접합계수, $k$ (kN/mm)	항복하중 ( $P_y$ , kN)
외벽	EX-B-4-S-VJ-N2	5.74	1.03	2.08
	EX-B-4-S-VJ-LS1	9.96	0.58	4.70
	EX-GH-4-S-VJ-N2	5.45	0.93	3.50
	EX-GH-4-S-VJ-LS1	11.33	0.49	6.89

표 B3-6을 보면 못 접합부(N2)의 최대강도가 래그나사못 접합부(LS1)의 최대강도에 비하여 약 절반 정도를 나타내고 있음을 알 수 있다. 못 접합부는 래그나사못 접합부에 비하여 최대강도는 1/2 정도로 낮았으나 접합계수( $k$ )는 오히려 2배 정도 높은 값을 나타내었다. 초기강성은 못 접합부가 높고 최대강도는 래그나사못 접합부가 더 높다는 것을 확인할 수 있었다. 래그나사못은 경우에는 앞에서 언급 하였던 바와 같이 구멍을 뚫고 삽입하는 과정에서 약간의 유격이 발생하여 초기강성이 낮은 것으로 판단된다. 항복하중도 래그나사못 접합부가 못 접합부에 비하여 2배 정도 높은 값을 나타내었다. 직각접합부의 강도와 강성은 접합부를 구성하는 패널의 종류(석고보드 사용(B-4-S) 및 목재 벽널 사용(G-4-S))에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 생각된다.

그린티이버월 패널들 사이의 직각접합부에 대한 수직전단시험은 그림 B3-30과 같이 실시되었다.



그림 B3-30 그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단시험

수직전단하중 하에서 직각접합부를 구성하는 2개의 패널들 사이에는 그림 B3-31

에서 보는 바와 같이 접합부의 회전이 발생한다. 이러한 접합부의 회전은 직각접합부의 바깥쪽에 설치되는 OSB 덮개가 외측을 덮고 있기 때문에 OSB가 전단에 의하여 파괴되지 않는 한 회전이 발생하면서 접합을 위하여 박혀있던 파스너들이 뽑혀 나오게 된다.



그림 B3-31 수직전단하중 하에서 직각접합부의 변형

#### (4) 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부의 수평전단성능

건축물의 바닥과 그린티이버월 패널이 만나는 직각 접합부에 대한 수평전단하중에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 바닥은 2x8 바닥장선을 610mm 간격으로 배치하고 그 위에 두께 18mm의 T&G OSB 덮개를 덮은 구조(그림 B3-32(B))로 사용하였고 그 위에 설치되는 벽체는 앞의 시험에서 사용되었던 것과 마찬가지로 EX-G-4-S(외벽, 두께 35mm 목재벽널 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)와 EX-B-4-S(외벽, 두께 12.5mm 석고보드 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)의 두 가지 타입(그림 B3-32(A))을 선정하였다.

바닥과 그린티이버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능 평가를 위한 시험용 그린티이버월 패널을 만들기 위하여 그림 B3-32(A)와 같이 SPF 2등급 2x4 구조용재를 610mm 간격으로 배치하였으며 동일한 부재로 하부에 밑갈도리와 상부에 윗갈도리를 설치하여 900mm 나비에 700mm 높이의 벽 시험편을 제작하고 그림 B3-32(B)와 같이 바닥구조를 900mm x 900mm 크기로 제작하여 그 위에 벽 시험편을 올려서 직각접합을 하였다. 그림 B3-32(A)에서 패널의 실외측면은 모두 두께 11.1mm의 OSB로 덮었으며 실내측면에는 EX-G-4-S는 두께 35mm의 목재벽널 그리고 EX-B-4-S는 두께 12.5mm의 석고보드를 설치하였다.



표 B3-7 바닥-그린티म्버월 패널 직각접합부의 종류

기호	파스너			
	종류	한 곳에 사용하는 파스너 수	간격(mm)	파스너의 총수
N2	CMN90	2	610	4
N4	보통못	4		8
N1LS1	CMN90 보통못 +	못 1 + 래그나사못 1개		4
N2LS2	길이 90mm 래그나사못	못 2개 + 래그나사못 2개		8

표 B3-7에서 바닥과 패널 사이의 직각접합부는 세부과제에서 접합방법을 개발한 바와 같이 90mm 길이의 못과 125mm 길이의 래그나사못으로 구성하였으며 파스너의 간격은 패널의 스테드 간격과 같은 610mm로 하여 스테드의 좌우측에서 바닥장선에 박히도록 설치하였다. 이 연구에서 사용된 시험편은 나비가 900mm로서 중앙에서 대칭이 되도록 하여 610mm 간격으로 2개의 스테드를 설치하고 스테드와 같은 위치에 파스너를 설치하였다. 보통못은 미리 구멍을 뚫지 않고 공기압 못총을 사용하여 약 30도의 경사각으로 설치를 하였으며 래그나사못은 나사못 지름(9mm)의 80% 정도에 해당하는 구멍을 30도의 경사각으로 80mm 깊이까지 미리 뚫고 래그나사못 머리를 돌리면서 설치하였다.

표 B3-7 중에서 N2 시험편(EX-B-4-S-FW-N2)에 대한 수평전단성능 시험 결과는 그림 B3-33과 같고 N2LS2 시험편(EX-G-4-S-FW-N2LS2)에 대한 수평전단성능 시험 결과는 그림 B3-34와 같다. 그림 B3-33 및 B3-34에서 보면 하중-변형선도가 2개의 직선구간으로 나눌 수 있음을 알 수 있고 이들 2개의 직선 중에서 첫 번째 직선구간의 기울기가 초기강성을 나타내는 값이며 이를 1차 접합계수(k1)이라하고 두 번째 직선구간의 기울기가 파스너의 항복 이후의 강성을 나타내며 이를 2차 접합계수(k2)라 한다. 바닥-벽 직각접합부의 경우에도 이전과 마찬가지로 진정한 항복점은 아니지만 파스너 지름의 0.5%에 해당하는 값만큼 띄어서 측정하는 유사항복점(offset yield point)을 찾아서 이 값을 해당 직각접합부의 수평전단 설계값으로 사용하게 된다.

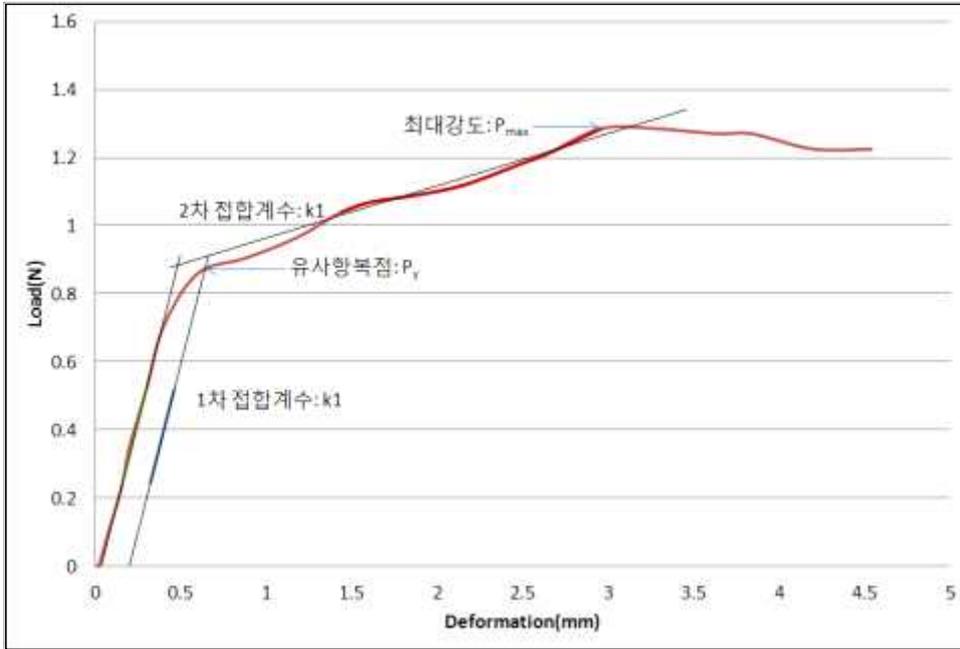


그림 B3-33 시험편 EX-B-4-S-FW-N2에 대한 수평전단성능 시험의 하중-변형선도

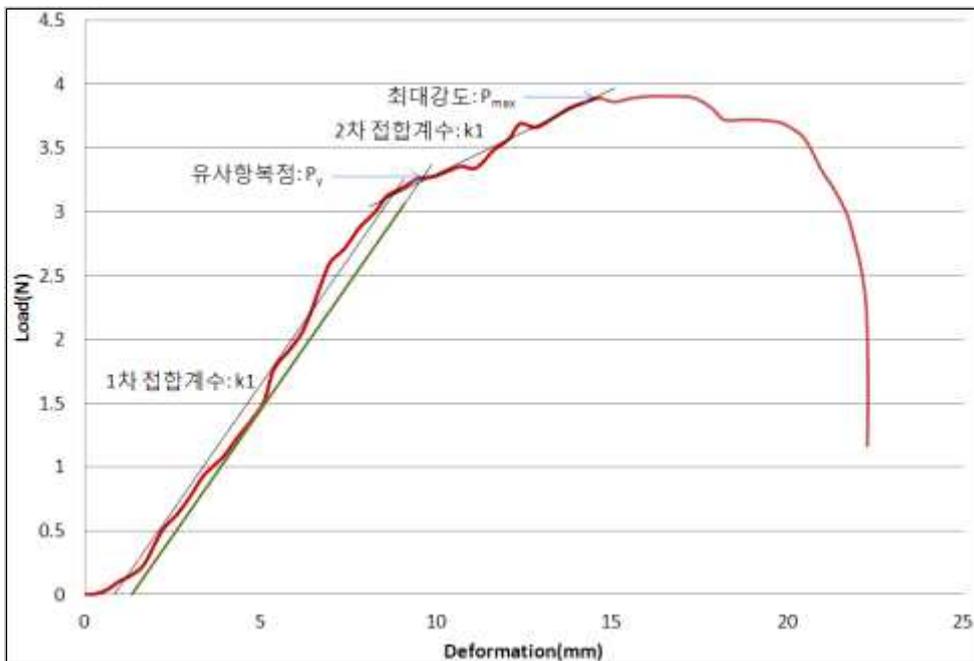


그림 B3-34 시험편 EX-G-4-S-FW-N2LS2에 대한 수평전단성능 시험의 하중-변형선도

이 연구에서 사용하였던 2가지 패널과 표 B3-7에 주어진 4가지 파스너를 가지고 총 8가지 종류의 시험편의 조합을 만들고 각각 2반복씩 시험을 실시하였으며 수평 전단성능의 평균값은 표 B3-8과 같이 요약할 수 있다.

표 B3-8 바닥-그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단성능

벽체의 종류	모델번호	최대강도 ( $P_{max}$ , kN)	접합계수(kN/mm)		항복하중 ( $P_y$ , kN)
			k1	k2	
외벽	EX-B-4-S-FW-N2	1.29	1.06	0.15	0.91
	EX-B-4-S-FW-N4	1.87	1.25	0.23	1.01
	EX-B-4-S-FW-N1LS1	4.42	0.92	0.20	1.55
	EX-B-4-S-FW-N2LS2	6.22	1.07	0.17	3.43
	EX-GH-4-S-FW-N2	1.02	0.93	0.14	0.62
	EX-GH-4-S-FW-N4	1.11	1.31	0.26	0.80
	EX-GH-4-S-FW-N1LS1	1.82	1.12	0.17	1.48
	EX-GH-4-S-FW-N2LS2	3.91	0.89	0.13	3.36

표 B3-8을 보면 못 접합부(N2, N4)의 최대강도는 래그나사못 접합부(N1LS1, N2LS2)의 최대강도보다 낮은 값을 나타내었으며 파스너의 수가 증가할수록 최대강도도 증가하는 경향을 나타내었다. 1차 접합계수(k1)도 파스너 수가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으나 못과 래그나사못 사이에는 뚜렷한 차이를 보이지 않았고 2차 접합계수는 서로 비슷한 값을 나타내었다. 항복하중도 최대강도와 유사한 경향을 나타내어 래그나사못 접합부가 못 접합부보다 높은 값을 나타내었고 파스너의 수가 증가할수록 높은 값을 나타내었고 N2와 N4 접합부의 차이는 크지 않았으나 N1LS1보다 N2LS2 접합부가 2배 정도 높은 값을 나타내었다. 바닥-벽 직각접합부의 수평전단시험에서 강도와 강성은 접합부를 구성하는 패널의 종류(석고보드 사용(B-4-S) 및 목재 벽널 사용(G-4-S))에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

바닥과 그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수평전단시험은 그림 B3-35와 같이 실시되었다.

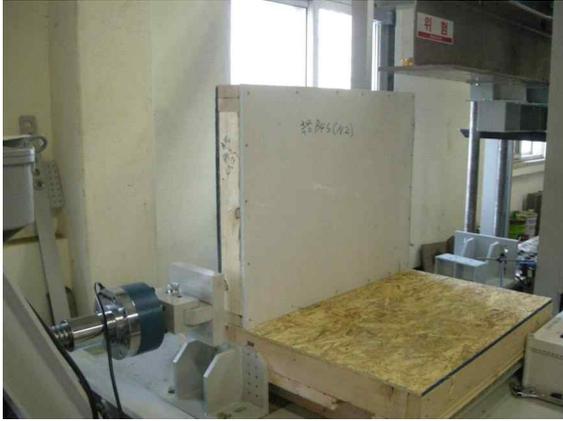


그림 B3-35 바닥-그린티이버월 패널  
직각접합부에 대한  
수평전단시험

수평전단하중 하에서 직각접합부를 구성하는 바닥과 상부의 그린티이버월 패널 사이에는 그림 B3-36 및 B3-37에서 보는 바와 같이 미끄러짐이 발생한다. 이러한 미끄러짐은 직각접합부에 설치된 파스너들이 휘고 휘어진 파스너에 의하여 인접한 목재부재가 파여 들어가면서 발생하게 된다.



그림 B3-36 바닥-그린티이버월 패널  
직각접합부에서 하중이  
작용하는 쪽의 변형



그림 B3-37 바닥-그린티이버월  
직각접합부에서 하중이  
작용하는 반대쪽의 변형

#### (5) 바닥-그린티म्버월 패널 직각접합부의 수직전단성능

건축물의 바닥과 그린티म्버월 패널이 만나는 직각 접합부에 대한 수직전단하중에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 앞의 수평전단시험의 경우와 마찬가지로 바닥은 2x8 바닥장선을 610mm 간격으로 배치하고 그 위에 두께 18mm의 T&G OSB 덮개를 덮은 구조(그림 B3-32(B))로 사용하였고 그 위에 설치되는 벽체는 EX-G-4-S(외벽, 두께 35mm 목재벽널 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)와 EX-B-4-S(외벽, 두께 12.5mm 석고보드 + 2x4 스테드 + 두께 11.1mm OSB)의 두 가지 타입(그림 B3-32(A))을 선정하였다.

바닥과 그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능 평가를 위한 시험용 그린티म्버월 패널을 만들기 위하여 앞의 수평전단시험에 사용하였던 것과 동일하게 그림 B3-32(B)의 바닥구조 위에 그림 B3-32(A)와 같이 벽 패널이 올라가는 직각접합부를 구성하였다. 사용된 재료 및 접합방법, 부재 배치, 치수 등은 앞의 수평전단시험에 사용하였던 시험편과 동일하였다.

바닥-그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능 시험을 위한 시험편을 만들기 위하여 사용된 직각접합부의 종류도 앞의 수평전단시험에 적용되었던 것과 동일하게 표 B3-7에 주어진 4가지로 하였으며 바닥과 패널 사이의 직각접합부에 사용된 파스너도 동일하게 90mm 길이의 못과 125mm 길이의 래그나사못을 사용하였다. 파스너의 간격과 설치방법, 배치방법 등도 앞의 수평전단시험에 적용되었던 것과 동일하게 적용하였다.

표 B3-7 중에서 N4 시험편(EX-B-4-S-FW-N4)에 대한 수직전단성능 시험 결과는 그림 B3-38과 같고 N1LS1 시험편(EX-G-4-S-FW-N1LS1)에 대한 수직전단성능 시험 결과는 그림 B3-39와 같다. 그림 B3-38 및 B3-39에서 보면 하중-변형선도를 2개의 직선구간으로 나눌 수 있음을 알 수 있고 이들 2개의 직선 중에서 첫 번째 직선구간의 기울기가 초기강성을 나타내는 값이며 이를 1차 접합계수( $k_1$ )이라하고 두 번째 직선구간의 기울기가 파스너의 항복 이후의 강성을 나타내며 이를 2차 접합계수( $k_2$ )라 한다. 바닥-벽 직각접합부의 수직전단성능 시험의 경우에도 이전과 마찬가지로 진정한 항복점은 아니지만 파스너 지름의 0.5%에 해당하는 값만큼 떨어져 측정하는 유사항복점(offset yield point)을 찾아서 이 값을 해당 직각접합부의 수평전단 설계값으로 사용하게 된다.

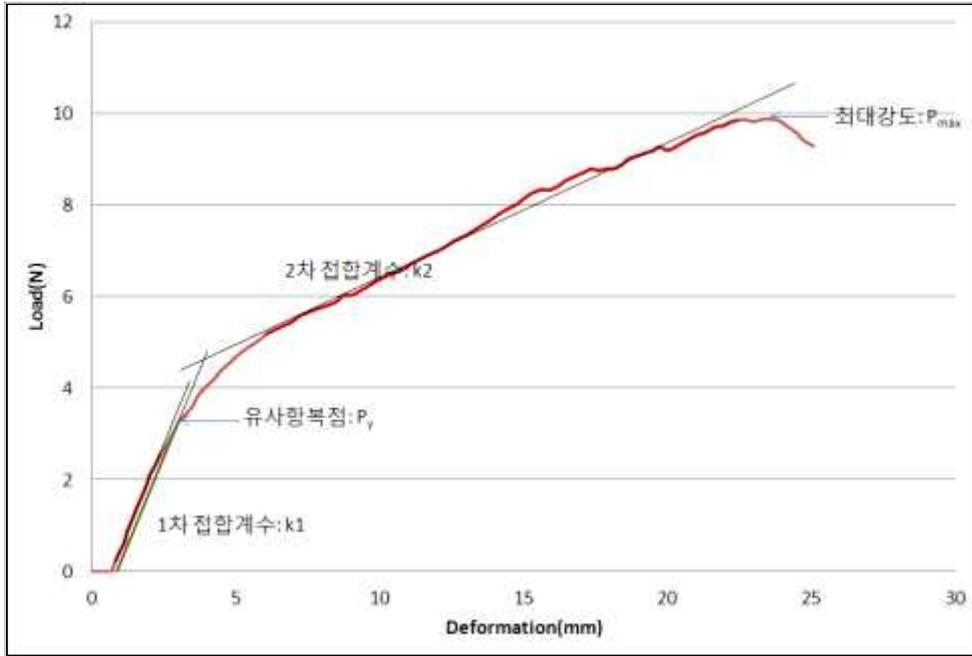


그림 B3-38 시험편 EX-B-4-S-FW-N4에 대한 수직전단성능 시험의 하중-변형선도

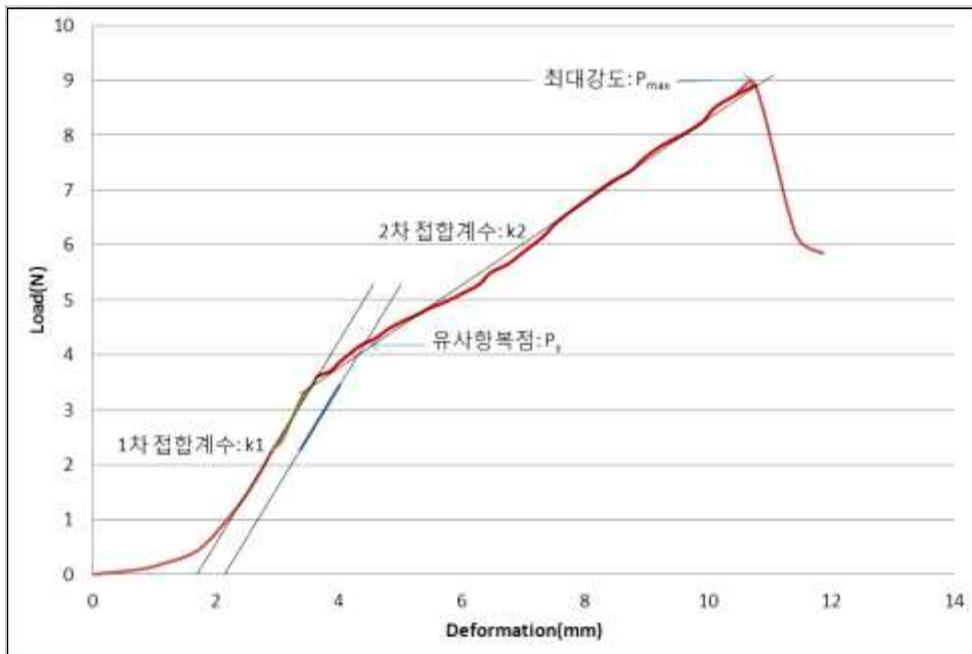


그림 B3-39 시험편 EX-G-4-S-FW-N1LS1에 대한 수직전단성능 시험의 하중-변형선도

이 연구에서 사용하였던 2가지 패널과 표 B3-7에 주어진 4가지 파스너를 가지고 총 8가지 종류의 시험편의 조합을 만들고 각각 2반복씩 시험을 실시하였으며 수평 전단성능의 평균값은 표 B3-9와 같이 요약할 수 있다.

표 B3-9 바닥-그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단성능

벽체의 종류	모델번호	최대강도 ( $P_{max}$ , kN)	접합계수(kN/mm)		항복하중 ( $P_y$ , kN)
			k1	k2	
외벽	EX-B-4-S-FW-N2	5.84	0.92	0.29	4.06
	EX-B-4-S-FW-N4	9.88	0.92	0.30	4.18
	EX-B-4-S-FW-N1LS1	13.05	1.19	0.23	7.43
	EX-B-4-S-FW-N2LS2	14.03	1.89	0.76	12.50
	EX-GH-4-S-FW-N2	4.58	0.43	0.23	3.80
	EX-GH-4-S-FW-N4	7.72	0.67	0.33	3.94
	EX-GH-4-S-FW-N1LS1	11.91	1.34	0.46	6.31
	EX-GH-4-S-FW-N2LS2	17.66	1.60	0.84	14.20

표 B3-9를 보면 못 접합부(N2, N4)의 최대강도는 래그나사못 접합부(N1LS1, N2LS2)의 최대강도보다 1/2 정도로 낮은 값을 나타내었으며 파스너의 수가 증가할수록 최대강도도 증가하는 경향을 나타내었다. 1차 접합계수(k1)도 파스너 수가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며 못 접합부가 래그나사못 접합부보다 낮은 값을 나타내었고 2차 접합계수는 N2LS2 접합부가 약간 높은 것을 제외하고 서로 비슷한 값을 나타내었다. 항복하중도 최대강도와 유사한 경향을 나타내어 래그나사못 접합부가 못 접합부보다 높은 값을 나타내었고 파스너의 수가 증가할수록 높은 값을 나타내었으나 N2와 N4의 차이는 크지 않았고 N1LS1과 N2LS2 사이에는 2배 정도의 차이를 보였다. 바닥-벽 직각접합부의 수직전단시험에서의 강도와 강성은 접합부를 구성하는 패널의 종류(석고보드 사용(B-4-S) 및 목재 벽널 사용(G-4-S))에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

바닥과 그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 수직전단시험은 그림 B3-40과 같이 실시되었다.



그림 B3-40 바닥-그린티ம்ப러월 패널  
직각접합부에 대한  
수직전단시험

수직전단하중 하에서 직각접합부를 구성하는 바닥과 상부의 그린티ம்ப러월 패널 사이에는 그림 B3-41 및 B3-42에서 보는 바와 같이 약간의 회전과 함께 상부의 패널이 뽑혀서 들려올라가는 변형이 나타난다. 수직전단하중에 의하여 상부의 패널이 밀리면서 비스듬히 박힌 파스너들이 뽑혀올라감으로써 그림 B3-41 및 B3-42와 같은 변형이 나타나는 것으로 생각된다.



그림 B3-41 바닥-그린티ம்ப러월 패널  
직각접합부에서 패널의  
회전 변형



그림 B3-42 바닥-그린티ம்ப러월  
직각접합부에서 패널의  
들림 변형

(6) 바닥-그린티म्버월 패널 직각접합부의 못뽑기(인발)저항성능

건축물의 바닥과 그린티म्버월 패널이 만나는 직각 접합부에 대한 못뽑기(인발)하중에 대한 저항성능을 평가하기 위하여 앞의 수평 및 수직전단시험의 경우와 마찬가지로 바닥은 2x8 바닥장선을 610mm 간격으로 배치하고 그 위에 두께 18mm의 T&G OSB 덮개를 덮은 구조(그림 B3-32(B))로 사용하였고 그 위에 설치되는 벽체는 EX-G-4-S(외벽, 두께 35mm 목재벽널 + 2x4 스티드 + 두께 11.1mm OSB)와 EX-B-4-S(외벽, 두께 12.5mm 석고보드 + 2x4 스티드 + 두께 11.1mm OSB)의 두 가지 타입(그림 B3-32(A))을 선정하였다.

바닥과 그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 못뽑기(인발)저항성능 평가를 위한 시험용 그린티म्버월 패널을 만들기 위하여 앞의 수평 및 수직전단시험에 사용하였던 것과 동일하게 그림 B3-32(B)의 바닥구조 위에 그림 B3-32(A)와 같이 벽패널이 올라가는 직각접합부를 구성하였다. 사용된 재료 및 접합방법, 부재 배치, 치수 등은 앞의 수평전단시험에 사용하였던 시험편과 동일하였다.

바닥-그린티म्버월 패널 사이의 직각접합부에 대한 못뽑기(인발)저항성능 시험을 위한 시험편을 만들기 위하여 사용된 직각접합부의 종류도 앞의 수평전단시험에 적용되었던 것과 동일하게 표 B3-7에 주어진 4가지로 하였으며 바닥과 패널 사이의 직각접합부에 사용된 파스너도 동일하게 90mm 길이의 못과 125mm 길이의 래그나 사못을 사용하였다. 파스너의 간격과 설치방법, 배치방법 등도 앞의 수평전단시험에 적용되었던 것과 동일하게 적용하였다.

표 B3-7 중에서 N2 시험편(EX-B-4-S-FW-N2)에 대한 못뽑기(인발)저항성능 시험 결과는 그림 B3-43과 같고 나머지 접합부에 대한 시험결과도 이와 유사한 형태를 나타내었다. 그림 B3-43에서 보면 하중-변형선도는 초기에 하중이 작용할 때에 접합부가 안정을 찾을 때까지 변형만 크게 증가하다가 어느 정도 안정을 찾으면 하중도 함께 증가하기 시작하여 거의 최대강도까지 직선형으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 하나의 파스너에 대한 못뽑기(인발)저항은 KS F ISO 9087(목재의 못 또는 나사못 뽑기 저항 시험 방법)에 따라서 최대하중을 파스너의 침투 길이로 나누어서 단위길이 당 하중의 크기로 계산하게 되는데 이 연구에서 사용한 접합부의 경우에는 여러 개의 파스너들이 사용되었고 이들이 또한 수직으로 설치된 것이 아니라 약 30도의 경사각을 가지고 설치되었기 때문에 파스너의 길이로 나누어 주기도 어려운 실정이다. 아직 바닥-벽 접합부의 못뽑기(인발)저항에 대한 표준이 정립되어 있지 않기 때문에 이 연구에서 나름대로의 계산방법으로서 그림 B3-43에서 보는 바와 같이 최대하중( $P_{max}$ )을 접합부의 수직변위값으로 나누어주는 방법이 합리적일 것으로 판단되었다.

여기서 측정된 수직변위에는 초기에 접합부가 안정을 찾을 때까지 발생한 큰 변

위가 포함되기 때문에 이는 접합부의 저항력과는 무관하므로 그림 B3-43에서 보는 바와 같이 최대하중에 도달하기까지의 직선구간에서 직선식을 구한 후 이 직선을 최대하중점을 지나도록 수평으로 이동시키고 이 직선이 x축을 통과하는 지점과 최대하중에서의 변위와의 차이를 수직변위(그림 B3-43에서  $\Delta d$ )로 하여 못뽑기(인발) 저항을 계산하였다.

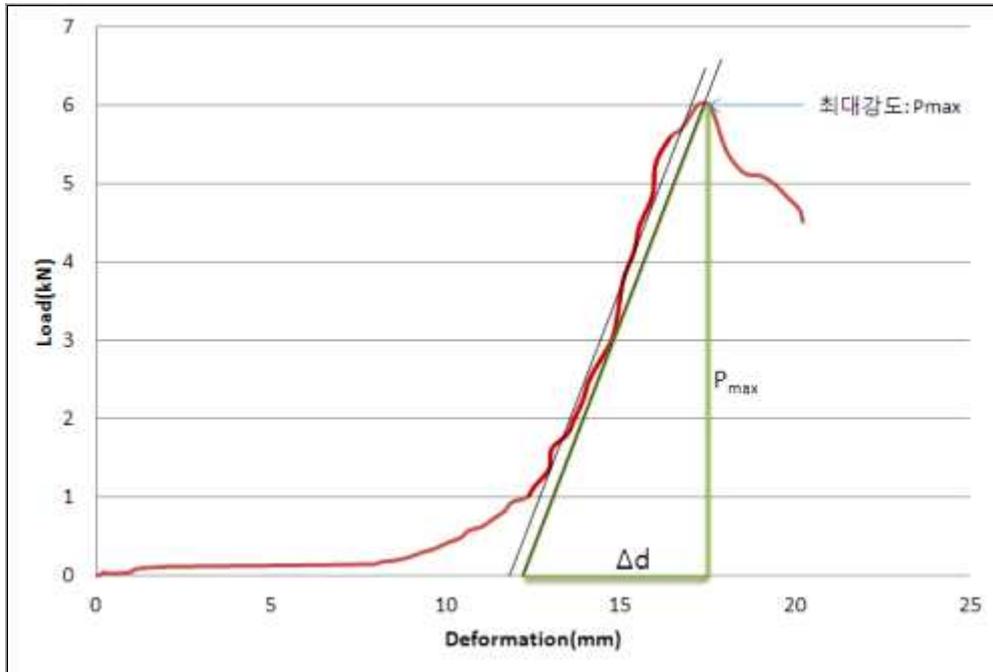


그림 B3-43 시험편 EX-B-4-S-FW-N2에 대한 못뽑기(인발)저항 시험의 하중-변형선도

이 연구에서 사용하였던 2가지 패널과 표 B3-7에 주어진 4가지 파스너를 가지고 총 8가지 종류의 시험편의 조합을 만들고 각각 2반복씩 시험을 실시하였으며 직각 접합부의 못뽑기(인발)저항 평균값은 표 B3-10과 같이 요약할 수 있다.

표 B3-10 바닥-그린티ம்ப러월 패널 사이의 직각접합부에 대한 못뽑기(인발)저항

벽체의 종류	모델번호	최대강도 $P_{max}$ (kN)	변형 $\Delta d$ (mm)	못뽑기저항 (N/mm)
외벽	EX-B-4-S-FW-N2	4.01	4.20	955
	EX-B-4-S-FW-N4	4.17	4.18	998
	EX-B-4-S-FW-N1LS1	10.51	9.79	1,074
	EX-B-4-S-FW-N2LS2	13.54	8.74	1,549
	EX-GH-4-S-FW-N2	3.77	4.17	904
	EX-GH-4-S-FW-N4	4.59	3.94	1,165
	EX-GH-4-S-FW-N1LS1	9.61	8.47	1,135
	EX-GH-4-S-FW-N2LS2	12.02	9.50	1,265

표 B3-10을 보면 못 접합부(N2, N4)의 최대강도는 래그나사못 접합부(N1LS1, N2LS2)의 최대강도보다 1/2 이하의 낮은 값을 나타내었으며 파스너의 수가 증가할수록 최대강도도 증가하는 경향을 나타내었으나 N2와 N4 접합부의 차이는 크지 않았다. 못뽑기저항도 파스너 수가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며 못 접합부가 래그나사못 접합부보다 낮은 값을 나타내었으나 그 차이가 크지는 않았다. 바닥-벽 직각접합부의 못뽑기(인발)저항은 접합부를 구성하는 패널의 종류(석고보드 사용(B-4-S) 및 목재 벽널 사용(G-4-S))에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

바닥과 그린티ம்ப러월 패널 사이의 직각접합부에 대한 못뽑기(인발)저항 시험은 그림 B3-44와 같이 실시되었다.



그림 B3-44 바닥-그린티ம்ப러월 패널  
직각접합부에 대한  
못뽑기(인발)저항 시험

못뽑기(인발)하중 하에서 직각접합부를 구성하는 바닥과 상부의 그린티이버월 패널 사이에는 그림 B3-45에서 보는 바와 같이 상부의 패널이 바닥으로부터 뽑혀서 들려올라가는 변형이 나타났다. 못뽑기(인발)하중에 의하여 상부의 패널을 고정하였던 파스너들이 뽑혀 올라감으로써 그림 B3-45와 같은 변형이 나타나는 것으로 생각된다.



그림 B3-45 바닥-그린티이버월 패널 직각접합부에서 패널의 들림(뽑힘) 변형

#### (7) 국산 잣나무를 사용한 그린티이버월 패널의 수평하중저항성능 시험

국산 잣나무를 목재 벽널로 사용한 그린티이버월 패널의 수평하중저항성능을 평가하기 위하여 1차년도와 2차년도에 실시하였던 수평하중저항성능 시험과 동일한 시험편 제작방법 및 시험방법을 적용하였다. 시험용 패널을 만들기 위하여 SPF 2등급 2x4(38mmx89mm) 구조용재를 스테드로 사용하여 610mm 간격으로 배치하였고 동일한 부재로 하부에 밑깔도리와 상부에 윗깔도리와 이중깔도리를 설치하고 2,400mm 나비에 2,162mm 높이의 패널을 제작하였다. 스테드 골조의 양측면에는 국산 잣나무 목재 벽널을 한쪽에는 수평으로 부착하였고 반대쪽에는 수직으로 부착하였다.

이 연구를 위하여 국산재로서 낙엽송 이외에 다른 수종을 시험해 보기 위하여 잣나무를 여주 임산물유통센터에서 제재, 건조 및 대패가공된 것을 구입하였지만 잣나무는 생재 함유율이 높고 수분의 증발이 느려서 건조가 어렵고 건조 시 나무진이 다량 배출되면서 건조결함도 많이 발생한다. 비록 건조목을 구입하여 목재벽널로 가공하였지만 가공 후 뒤틀림 등의 결함이 많이 발생하였다. 목재 표면에 큰 웅이나 모인 웅이도 많이 노출됨으로써 웅이에서의 갈라짐과 웅이주변의 섬유경사에 의한 건조결함이 많이 생기는 것으로 생각된다.

목재벽널의 부착방법은 이전 시험에서 적용한 것과 동일한 방법으로 스티드와 만나는 위치마다 길이 90mm의 마감용 못으로 혀(tongue) 부분에서 약 30도의 경사각으로 비스듬하게 박아서 고정하였다. 국산 잣나무 그린팁버널 패널의 수평하중저항시험은 그림 B3-46과 같이 실시하였다.



그림 B3-46 국산 잣나무 그린팁버널 패널(N-GH-4-GV)에 대한 수평하중저항시험

이 연구에서는 국산 잣나무 그린팁버널 패널(IN-N-GH-4-GV)과 강도성능을 비교하기 위하여 실내벽용으로 SPF를 목재벽널로 사용한 그린팁버널 패널(IN-S-GH-4-GV)와 국산 낙엽송을 목재벽널로 사용한 그린팁버널 패널(IN-L-GH-4-GV, 2차년도 시험결과를 사용)를 함께 시험 평가하였으며 실외벽용으로 국산 잣나무를 한쪽면에 수평으로 설치하고 반대쪽에는 두께 11.1mm의 OSB를 설치한 그린팁버널 패널(EX-N-GH-4-S)과 일반적인 경골목조 전단벽(EX-B-4-S, 1차년도 시험결과 사용)를 함께 시험 평가하였다. IN-N-GH-4-GV 시험편에 대한 수평하중저항시험 결과는 그림 B3-47과 같으며 이 시험결과로부터 구한 특성곡선은 그림 B3-48과 같다.

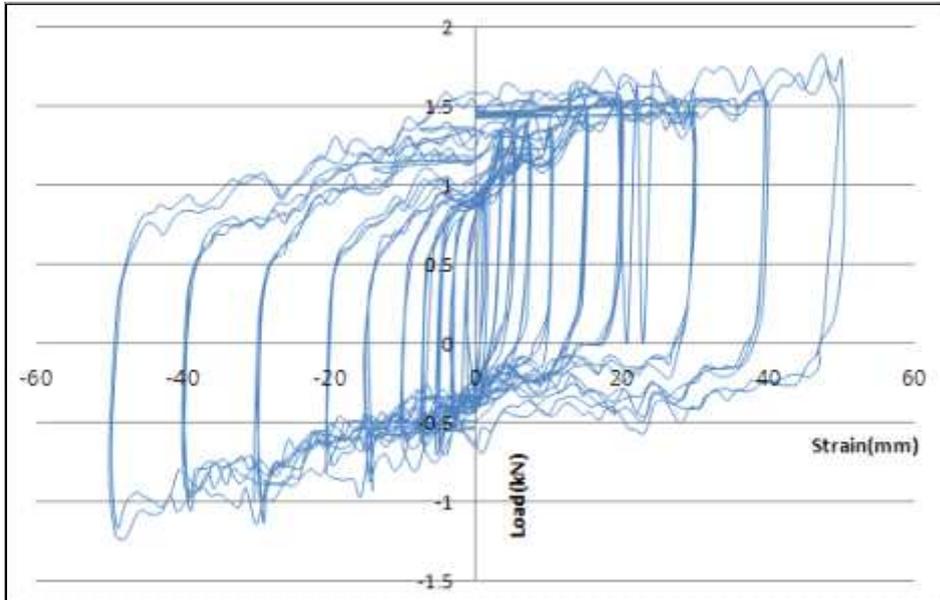


그림 B3-47 시험편 IN-N-GH-4-GV에 대한 수평하중저항시험의 하중-변형선도

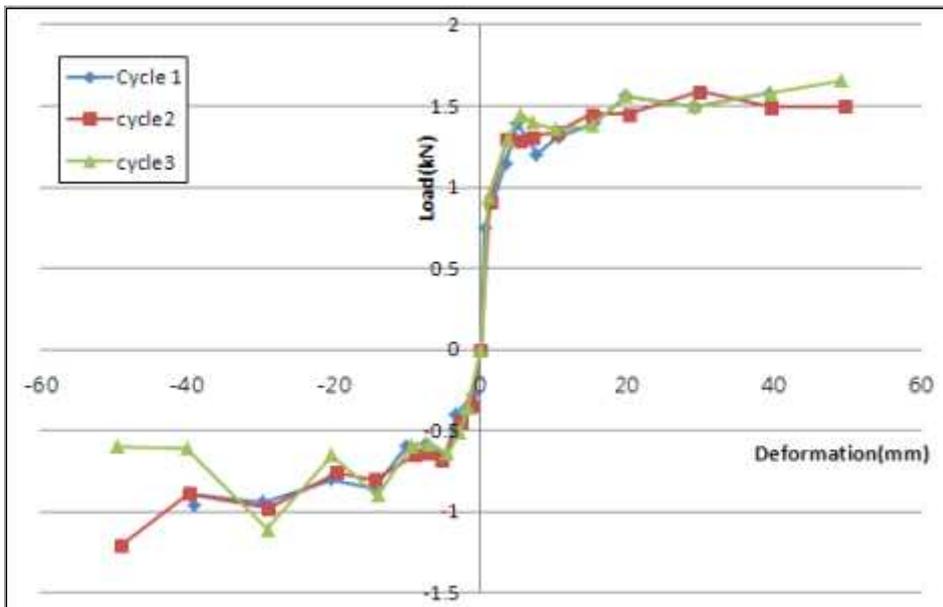


그림 B3-48 반복하중 하에서 시험편 IN-N-GH-4-GV의 특성곡선

IN-S-GH-4-GV 시험편에 대한 수평하중저항시험 결과는 그림 B3-49와 같으며 이 시험결과로부터 구한 특성곡선은 그림 B3-50과 같다.

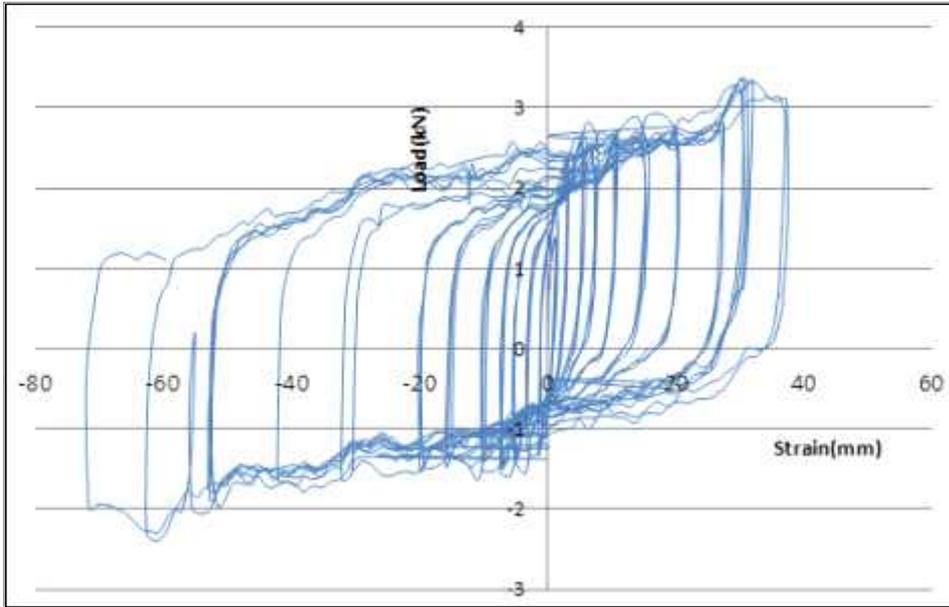


그림 B3-49 시험편 IN-S-GH-4-GV에 대한 수평하중저항시험의 하중-변형선도

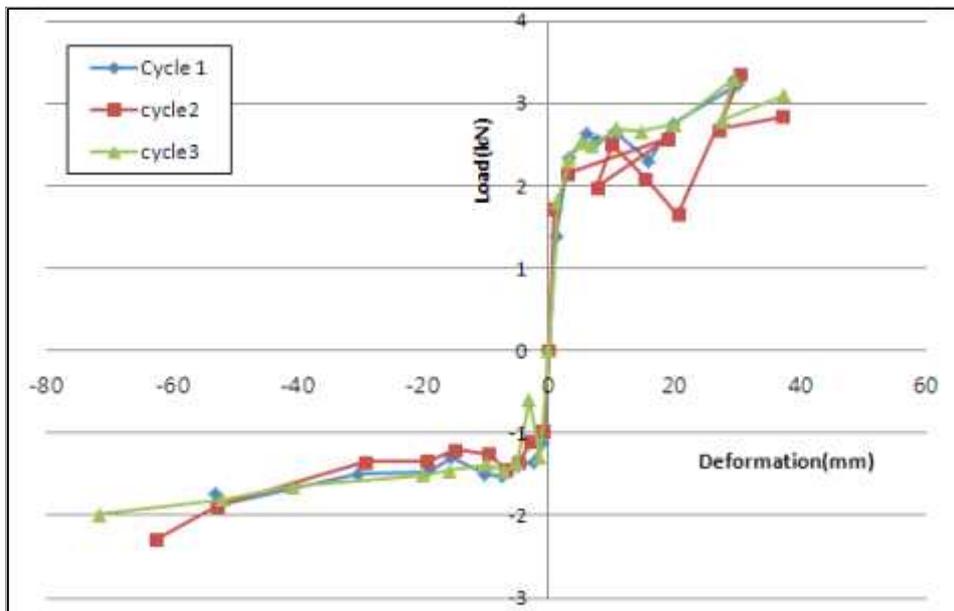


그림 B3-50 반복하중 하에서 시험편 IN-S-GH-4-GV의 특성곡선

IN-L-GH-4-GV 시험편에 대한 수평하중저항시험은 2차년도에 실시하였고 그 결과는 그림 B3-51과 같으며 그 특성곡선은 그림 B3-52와 같다.

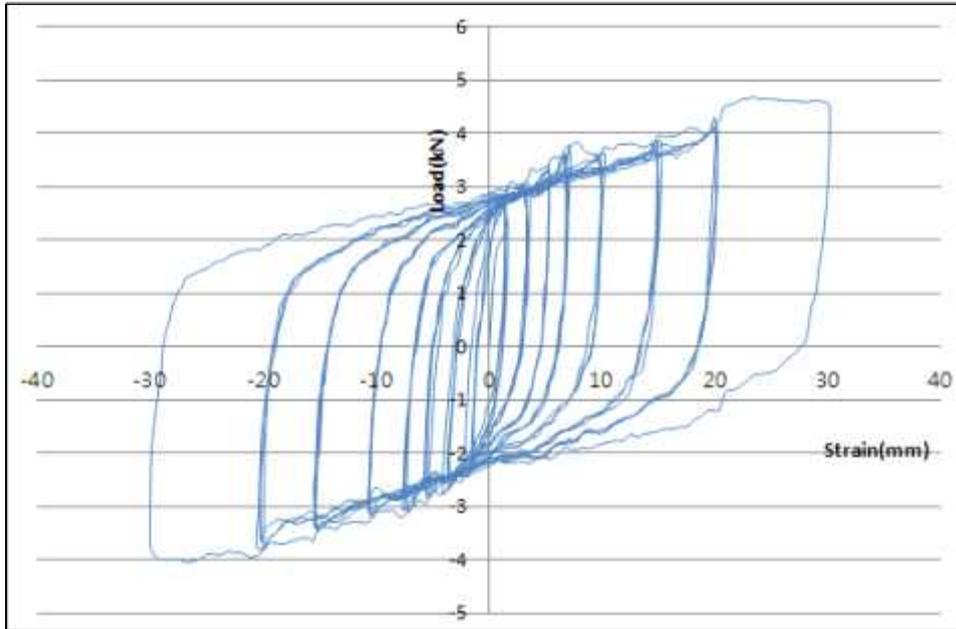


그림 B3-51 시험편 IN-L-GH-4-GV에 대한 수평하중저항시험의 하중-변형선도

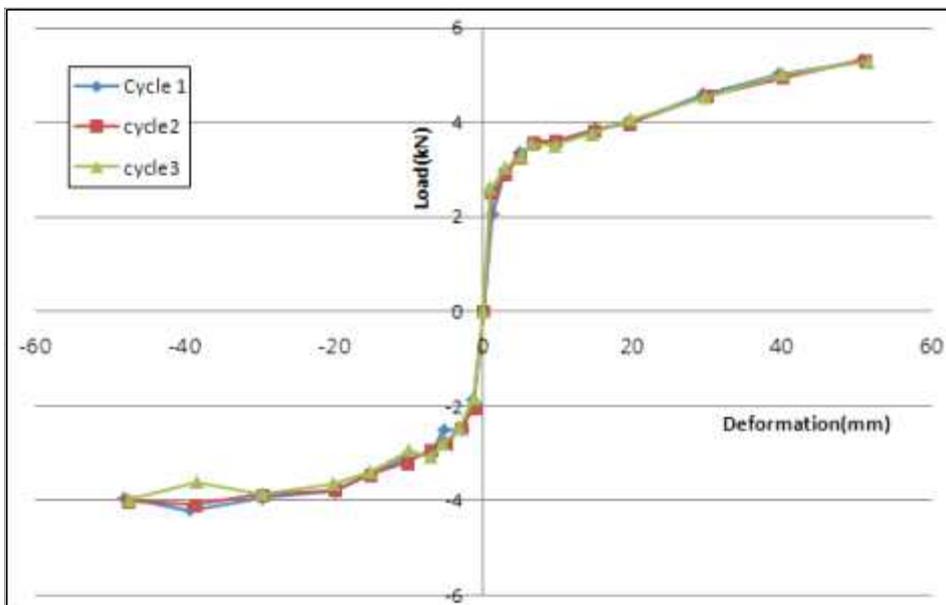


그림 B3-52 반복하중 하에서 시험편 IN-L-GH-4-GV의 특성곡선

EX-N-GH-4-S 시험편에 대한 수평하중저항시험 결과는 그림 B3-53과 같으며 이 시험결과로부터 구한 특성곡선은 그림 B3-54와 같다.

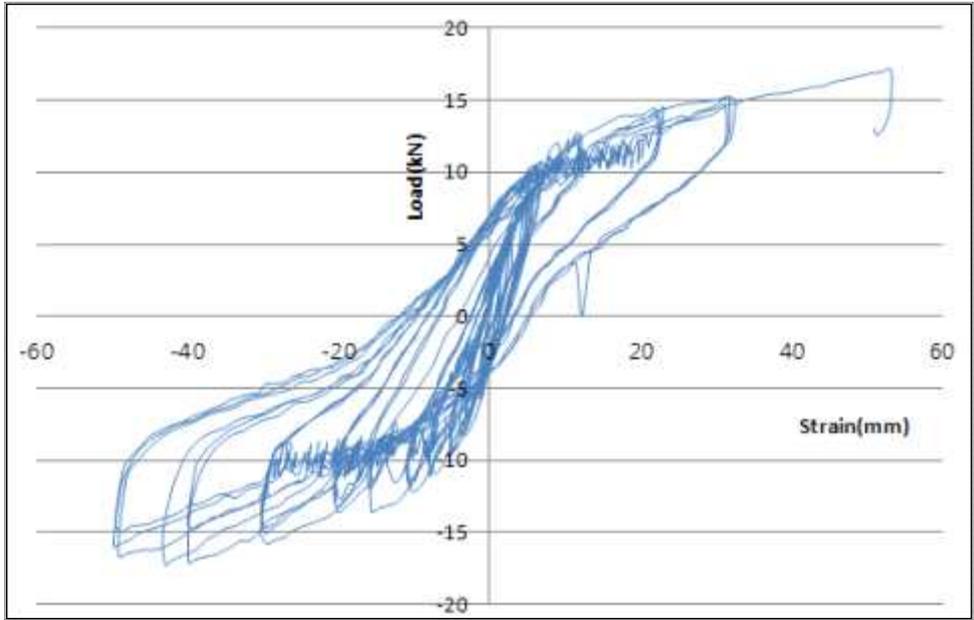


그림 B3-53 시험편 EX-N-GH-4-S에 대한 수평하중저항시험의 하중-변형선도

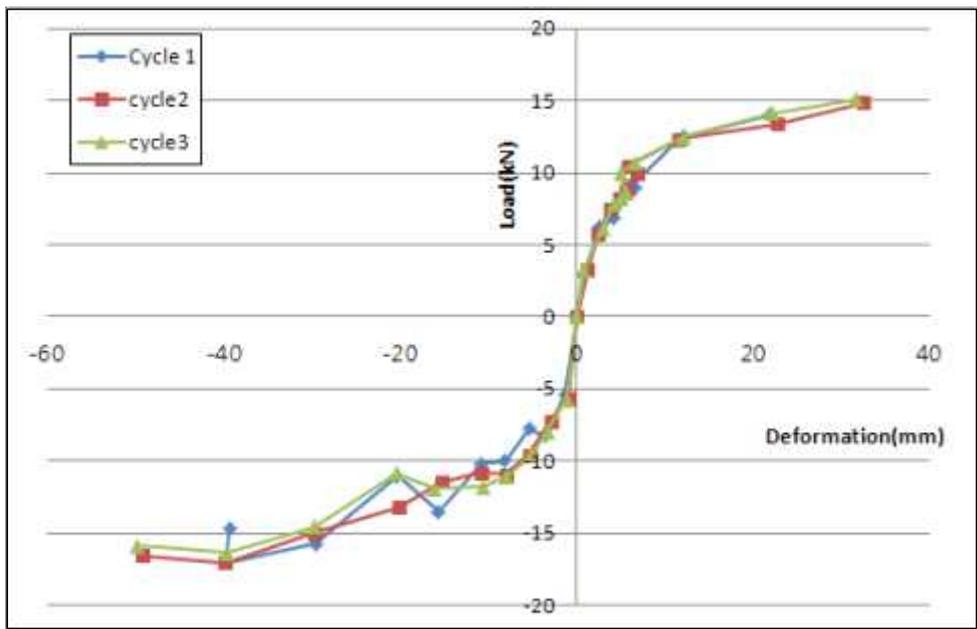


그림 B3-54 반복하중 하에서 시험편 EX-N-GH-4-S의 특성곡선

EX-B-4-S 시험편에 대한 수평하중저항시험은 2차년도에 실시하였고 그 결과는 그림 B3-55와 같으며 그 특성곡선은 그림 B3-56과 같다.

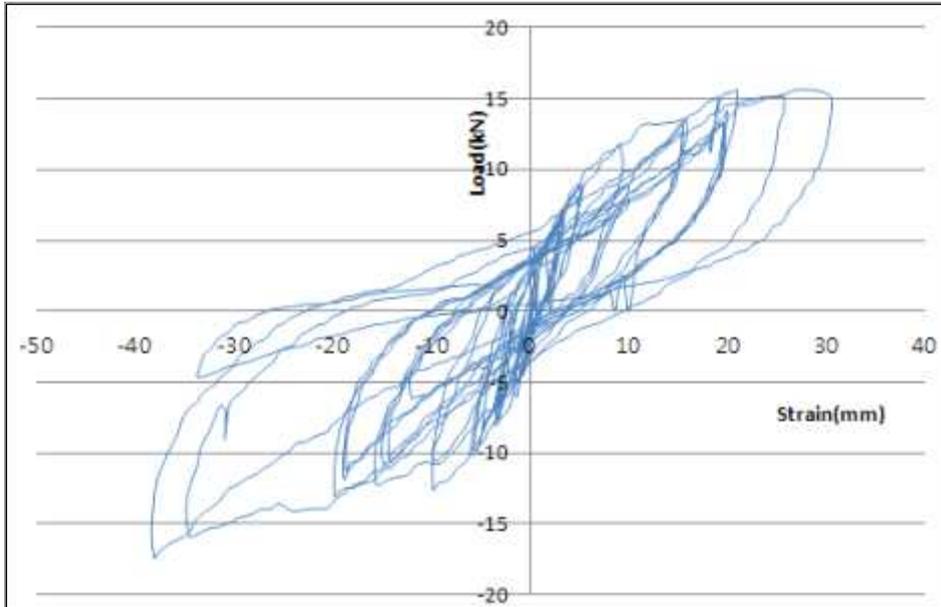


그림 B3-55 시험편 EX-B-4-S에 대한 수평하중저항시험의 하중-변형선도

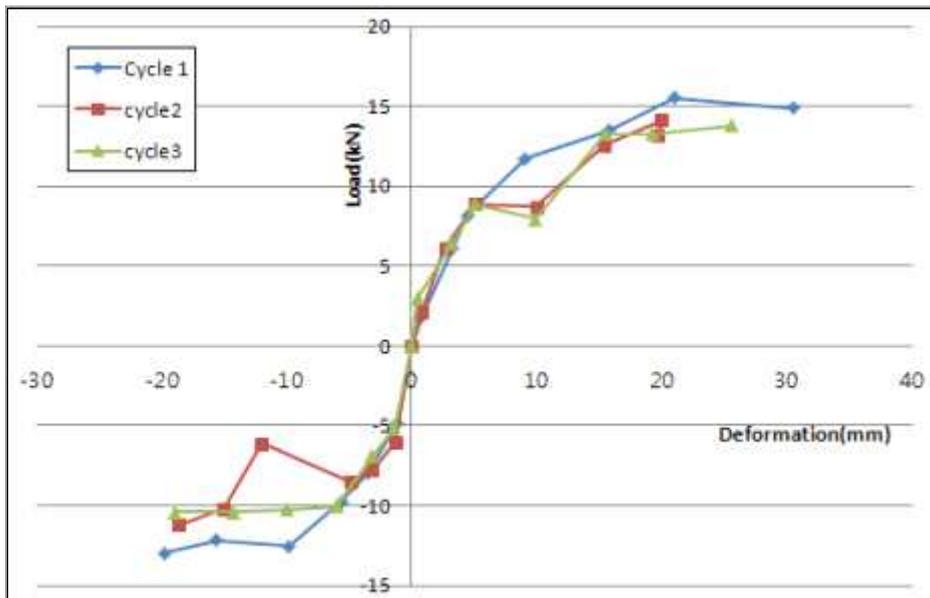


그림 B3-56 반복하중 하에서 시험편 EX-B-4-S의 특성곡선

위의 5가지 종류의 시험편들에 대한 수평하중저항성능 시험결과를 요약하면 표 B3-11과 같다.

표 B3-11 국산재를 사용한 그린팁버월 패널의 최대전단내력 및 전단강성계수

벽체의 종류	모델번호	최대전단내력(N/m)			전단강성계수(N/mm)		
		1차	2차	3차	1차	2차	3차
외벽	IN-N-GH-4-GV	1,983	1,960	1,933	1,361	1,792	2,029
	IN-S-GH-4-GV	1,079	1,175	1,102	1,137	1,454	1,006
	IN-L-GH-4-GV <sup>1)</sup>	529	583	577	759	458	534
	EX-N-GH-4-S	6,465	6,654	6,567	3,812	4,022	4,126
	EX-B-4-S <sup>1)</sup>	6,523	6,227	5,048	3,167	3,434	4,511

주) <sup>1)</sup> 이 자료는 2차년도 시험결과이다.

표 B3-11을 보면 국산 잣나무 목재벽널을 양측면에 사용한 그린팁버월 패널의 최대전단내력 및 전단강성계수가 OSB가 부착된 전단벽은 물론이고 낙엽송이나 SPF 목재벽널을 양측면에 사용한 그린팁버월 패널들보다도 매우 낮다는 것을 알 수 있다. 잣나무의 낮은 강도 때문에 목재벽널을 부착하기 위하여 못을 박은 못접합부가 하중 하에서 쉽게 변형이 발생했던 것으로 생각된다. 그러나 실외벽용으로 스타드 골조의 한쪽면에 두께 11.1mm의 OSB를 부착하고 반대쪽 측면에 잣나무 목재벽널을 부착한 그린팁버월 패널(EX-N-GH-4-S)은 매우 높은 최대전단내력 및 전단강성계수를 나타내어 건축물의 수평하중저항구조로서 충분히 사용 가능함을 알 수 있다.

수평하중 하에서 목재벽널이 설치된 그린팁버월 패널은 평행사변형으로 밀리면서 그림 B3-57에서 보는 바와 같이 측면에 설치된 목재벽널이 계단형으로 변형되는 것을 관찰할 수 있다.



그림 B3-57 수평하중 하에서 목재벽널의 계단형 변형

(8) 단열성능 예측 이론모형의 개선

2차년도 개발하였던 단열성능 예측 이론모형을 개선하기 위하여 그림 B3-13에서 보는 바와 같이 다음의 3가지 모델을 고려하였다.

- ① 모델 1: 패널을 구성하는 재료들의 열관류 저항만을 고려한 모델
- ② 모델 2: 패널을 구성하는 재료들의 열관류 저항과 패널의 실내쪽 및 실외쪽 표면에서 공기와의 접촉을 통한 열전달 저항을 고려한 모델
- ③ 모델 3: 패널을 구성하는 재료들의 열관류 저항, 패널의 실내쪽 및 실외쪽 표면에서 공기와의 접촉을 통한 열전달 저항 그리고 구조체 내부에서 목재 벽널의 표면과 공기층의 접촉으로 인한 열전달 저항을 고려한 모델

위의 3가지 모델들 중에서 모델 1이 가장 간단하며 모델 3이 가장 복잡한 모델이다. 그러나 실제 건축물에서 생길 수 있는 현상들을 고려한다면 모델 3이 가장 실제 상황에 근접한 모델이 될 수 있을 것으로 생각된다. 모델 3에 따르면 실내온도로부터 실내쪽 표면에서 표면 열전달 저항에 따른 온도 감소가 나타나고 실내쪽 목재 벽널의 열관류 저항에 따른 온도 감소가 목재 벽널의 뒷면 온도로 나타나며 목재 벽널의 뒷면과 공기층 사이에서 다시 열전달 저항에 의한 온도 감소가 나타난

다. 내부의 유리섬유 단열재를 지나면서 유리섬유의 열관류저항에 따른 온도 감소가 발생하고 실외쪽 목재 벽널 표면과의 접촉에 따른 열전달 저항에 의하여 다시 온도가 감소하여 실외쪽 목재벽널의 뒷면 온도로 측정될 것이다. 실외쪽 목재벽널을 통과하면서 목재의 열관류저항에 의하여 온도가 감소하여 실외쪽 표면 온도가 되며 실외쪽 표면에서 외부 공기와의 접촉에 따른 열전달저항에 의하여 다시 온도가 감소하여 실외온도와 동일하게 될 것이다.

패널을 구성하는 여러 가지 재료들의 열관류저항은 표 B2-12에 수록되어 있으며 비닐(방습지)의 열관류저항은  $0.442(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 이고 유리섬유 단열재의 열관류저항은 R11, R13 및 R19 유리섬유 단열재에 대하여 각각 2.286, 2.702 및 3.949 ( $m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal$ )이다. 2차년도에 그린티म्버월 패널의 실외측 표면에서의 열저항은  $0.07(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 이고 실내측 표면에서의 열저항은  $0.11(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 로 조사되었으나 국토해양부 고시 제 2008-652호(건축물의 에너지 절약설계기준)에 따르면 실내측 표면에서의 열전달저항은  $0.13(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 이고 실외측 표면에서의 열전달저항은 직접 외기에 면하는 경우에는  $0.05(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 이며 외기에 간접적으로 면하는 경우에는  $0.13(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 을 사용하도록 되어 있다. 따라서 모델 3에서는 실외측 표면에서의 열전달 저항에는  $0.05(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 를 적용하고 실내측 표면 및 구조체 내부 표면에서의 열전달저항은  $0.13(m^2 \cdot hr \cdot ^\circ C/kcal)$ 을 적용하고자 한다. 이와 같은 재료들의 열관류저항과 재료 표면에서의 열전달저항을 이용하여 전체 패널의 열관류저항을 모델별로 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{① 모델 1: } R_{total} = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$\text{② 모델 2: } R_{total} = R_{sf} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{so} = R_{sf} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{so}$$

$$\begin{aligned} \text{③ 모델 3: } R_{total} &= R_{sf} + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{j=1}^m R_{ssj} + R_{so} \\ &= R_{sf} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{ss1} + R_{ss2} + \dots + R_{ssm} + R_{so} \end{aligned}$$

여기서  $R_{total}$ : 패널 전체의 열저항

$R_{sf}$ : 실내측 표면의 열전달저항

$R_i$ : 패널을 구성하는 각 재료의 열관류저항( $i=1 \sim n$ )

$R_{ssj}$ : 구조체 내부 표면의 열전달저항( $j=1 \sim m$ )

$R_{so}$ : 실외측 표면의 열전달저항

구조체 내부에서의 온도변화 비율은 다음 식과 같이 구조체 전체의 열저항에 대한 구조체를 구성하는 각층의 열저항의 비율에 비례한다.

$$\frac{\Delta T_i}{\Delta T_{total}} = \frac{R_i}{R_{total}}$$

$$\Delta T_i = T_{i-1} - T_i$$

여기서  $\Delta T_i$ : i번째 층의 앞뒷면 온도 차이

$\Delta T_{total}$ : 실외와 실내의 온도 차이

$T_{i-1}$ : i번째 층의 앞면 온도

$T_i$ : i번째 층의 뒷면 온도

그러므로 실내로부터 실외까지 패널을 구성하는 각각의 층과 층 사이에서의 온도는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$T_i = T_{i-1} - \left(\frac{R_i}{R_{total}}\right)(\Delta T_{total})$$

즉, 실내쪽에서부터 패널 내의 한 층을 지날 때마다  $\left(\frac{R_i}{R_{total}}\right)(\Delta T_{total})$ 의 온도 감소가 발생하게 된다. 패널 내부의 온도변화 계산에서 방수지나 비닐과 같이 두께가 얇은 재료는 온도변화에 대한 영향이 없는 것으로 가정한다.

이 모델을 적용하여 이 연구에서 실내온도 25℃와 실외온도 -20℃ 사이에서 단열 성능을 측정된 패널에 대한 온도경사를 아래와 같이 계산하였다.

H-GH-4-GH 패널은 그림 B2-91과 같은 구성을 가지고 있다.



그림 B3-58 H-GH-4-GH 패널의 구성

그림 B3-58에 주어진 H-GH-4-GH 패널의 각 층별 열저항값 및 패널 내부의 온도변화는 표 B3-12와 같이 계산할 수 있다.

표 B3-12 H-GH-4-GH 패널의 열관류저항

구분	모델 1		모델 2		모델 3	
	열관류 저항 <sup>1)</sup>	온도변화 (°C)	열관류 저항 <sup>1)</sup>	온도변화 (°C)	열관류 저항 <sup>1)</sup>	온도변화 (°C)
실내 표면	0	0	0.13	1.49	0.13	1.40
헤파 벽널	0.291	3.49	0.291	3.33	0.291	3.12
방습지	0.442	5.30	0.442	5.06	0.442	4.74
구조체 내부 표면	0	0	0	0	0.13	1.40
R11 유리섬유 단열재	2.286	27.42	2.286	26.16	2.286	24.54
구조체 내부 표면	0	0	0	0	0.13	1.40
방습지	0.442	5.3	0.442	5.06	0.442	4.74
헤파 벽널	0.291	3.49	0.291	3.33	0.291	3.12
실외 표면	0	0	0.05	0.57	0.05	0.54
합계	3.752	45.00	3.932	45	4.192	45

주) <sup>1)</sup> 열관류저항의 단위는  $\cdot hr \cdot ^\circ C / kcal$

표 B3-12에 주어진 각 모델별 패널의 열관류저항으로부터 표 B3-12에 주어진 모델별로 패널을 구성하는 각 층별 온도 변화를 계산하기 위한 온도변화계수는 다음과 같이 계산된다.

$$\textcircled{1} \text{ 모델 1: } \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} = \frac{45^\circ C}{3.752 m^2 hr^\circ C / kcal} = 11.9936 kcal / m^2 hr$$

$$\textcircled{2} \text{ 모델 2: } \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} = \frac{45^\circ C}{3.932 m^2 hr^\circ C / kcal} = 11.4445 kcal / m^2 hr$$

$$\textcircled{3} \text{ 모델 3: } \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} = \frac{45^\circ C}{4.192 m^2 hr^\circ C / kcal} = 10.7347 kcal / m^2 hr$$

따라서 모델별로 각 층에서의 온도 감소를 계산하려면 각 층의 열저항에 위의 모

모델별 온도변화계수를 곱하면 해당 층에서의 온도변화를 계산할 수 있다. 각 모델별 패널 내부의 온도 변화 계산 결과는 표 B3-12에 주어진 바와 같다.

구분	모델 1		모델 2		모델 3	
	열관류 저항 <sup>1)</sup>	온도변화 (°C)	열관류 저항 <sup>1)</sup>	온도변화 (°C)	열관류 저항 <sup>1)</sup>	온도변화 (°C)
실내 표면	0	0	0.13	1.49	0.13	1.40
헴퍼 벽넛	0.291	3.49	0.291	3.33	0.291	3.12
방습지	0.442	5.30	0.442	5.06	0.442	4.74
구조체 내부 표면	0	0	0	0	0.13	1.40
R11 유리섬유 단열재	2.286	27.42	2.286	26.16	2.286	24.54
구조체 내부 표면	0	0	0	0	0.13	1.40
방습지	0.442	5.3	0.442	5.06	0.442	4.74
헴퍼 벽넛	0.291	3.49	0.291	3.33	0.291	3.12
실외 표면	0	0	0.05	0.57	0.05	0.54
합계	3.752	45.00	3.932	45	4.192	45

2차년도에 단열성능 시험을 실시하였던 H-GH-4-GH 패널(실내측과 실외측 목재 벽넛 안쪽에 각각 비닐과 방습지 부착)의 실제 내부 온도와 각 모델별로 계산된 이론상의 내부 온도 변화를 비교한 결과는 표 B3-13과 같다. 단열성능 시험 시 시험기의 실내측 온도는 25°C였고 시험기의 실외측 온도는 -19.7°C로 측정되었다. 시험 당시의 시험기 온도 조건에 대하여 각 모델별로 계산된 온도변화계수를 다음과 같다.

$$\textcircled{1} \text{ 모델 1: } \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} = \frac{44.7^{\circ}\text{C}}{3.752\text{m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}} = 11.9136\text{kcal}/\text{m}^2\text{hr}$$

$$\textcircled{2} \text{ 모델 2: } \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} = \frac{44.7^{\circ}\text{C}}{3.932\text{m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}} = 11.3682\text{kcal}/\text{m}^2\text{hr}$$

$$\textcircled{3} \text{ 모델 3: } \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} = \frac{44.7^{\circ}\text{C}}{4.192\text{m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}} = 10.6631\text{kcal}/\text{m}^2\text{hr}$$

표 B3-13 H-GH-4-GH 패널(비닐+방습지)의 내부 온도 변화에 대한 실제 측정값과 이론모델의 비교

구분	실제 온도 (°C)	모델 1		모델 2		모델 3	
		온도변화 (°C)	온도 (°C)	온도변화 (°C)	온도 (°C)	온도변화 (°C)	온도 (°C)
실내 온도	25		25		25		25
실내 표면	<b>24.0</b>	0	<b>25</b>	1.48	<b>23.52</b>	1.39	<b>23.61</b>
헬퍼 벽널	-	3.47	21.53	3.31	20.21	3.10	20.51
방습지	<b>15.9</b>	5.27	<b>16.26</b>	5.02	<b>15.19</b>	4.71	<b>15.80</b>
구조체 내부 표면	-	0	16.26	0	15.19	1.39	14.41
R11 유리섬유 단열재	-	27.23	-10.97	25.99	-10.80	24.38	-9.97
구조체 내부 표면	<b>-12.6</b>	0	<b>-10.97</b>	0	<b>-10.80</b>	1.39	<b>-11.36</b>
방습지	-	5.27	-16.24	5.02	-15.82	4.71	-16.07
헬퍼 벽널	<b>-19.2</b>	3.47	<b>-19.71</b>	3.31	<b>-19.13</b>	3.10	<b>-19.17</b>
실외 표면	-	0	-19.71	0.57	-19.7	0.53	-19.7
실외 온도	-19.7		-19.7		-19.7	47.7	-19.7

표 B3-13에서 보면 모델 3의 내부온도 변화 예측치가 실제 측정값과 가장 근사하였다. 모델 1은 가장 간단하기는 하지만 실내 표면과 내부온도 예측에서 많은 차이가 났으며 모델 2는 실외측 목재벽널의 구조체 내부표면온도에서 실측치와 차이를 나타내었다. 모델 3은 실내표면온도, 실내측 목재벽널의 구조체 내부표면온도, 실외측 목재벽널의 구조체 내부표면온도, 실외측 표면온도 등의 모든 면에서 실측치와 매우 근사한 값을 나타내어 예측이 정확했음을 알 수 있다.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

이 연구의 당초 연구계획에 포함되었던 평가의 착안점 및 척도는 다음 표와 같다.

구 분	평가의 착안점 및 척도	
	착 안 사 항	척 도 (점수)
1차년도(2009)	○ 그린팀버월 구조의 개발	30
	○ 그린팀버월 구조의 패널화	20
	○ 그린팀버월 패널의 강도성능	30
	○ 그린팀버월 패널의 단열성능	20
2차년도(2010)	○ 그린팀버월 패널의 내화, 차음성능	30
	○ 그린팀버아트월 구조의 개발	20
	○ 그린팀버아트월 구조의 패널화	20
	○ 그린팀버아트월 패널의 강도성능	30
3차년도(2011)	○ 그린팀버아트월 패널의 내화, 차음성능	30
	○ 그린팀버월 패널 사이의 접합방법	20
	○ 그린팀버월 패널 접합부의 강도성능	20
	○ 연구 결과의 활용도(실용화)	30
최종평가	○ 개발 계획 목표 설정의 합리성	30
	○ 개발 사업 추진의 성실성	20
	○ 개발 사업 추진 목표의 달성도	20
	○ 개발 사업의 활용도(실용화)	30

당초 연구계획서에 포함되어 있던 연차별 연구목표 및 내용은 다음 표와 같다.

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2009년	그린티이버월 패널의 개발 및 패널화	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린티이버월 구조의 개발: 그린티이버월의 구조와 부재 구성을 완료하고 상세도면을 작성한다.</li> <li>○ 그린티이버월 구조의 패널화 및 경제성 분석: 그린티이버월 구조에 패널화 공법을 적용하기 위하여 그린티이버월을 패널의 형태로 공장에서 생산할 수 있는 방법을 개발하고 패널 생산용 상세도면을 작성하며 그린티이버월 생산의 경제성을 분석한다.</li> <li>○ 그린티이버월 패널의 강수 저항성 평가: 외벽용 그린티이버월 패널을 일정 시간 동안 강수조건에 노출시킨 후 패널의 내부에 대한 수분의 침투 상태 및 침투량을 조사한다.</li> <li>○ 그린티이버월 패널의 변형 측정: 실내 및 실외 조건에서 시간이 지남에 따라서 그린티이버월 패널에 발생할 수 있는 찌그러짐 및 뒤틀림의 발생 정도를 측정한다.</li> <li>○ 그린티이버월 패널의 수직하중저항성능 평가: 그린티이버월 패널이 3층 목조주택의 2층이나 1층에 사용될 수 있는지를 평가하기 위하여 고정하중, 활하중 또는 적설하중과 같은 수직하중에 대한 저항성능을 측정한다.</li> <li>○ 그린티이버월 패널의 수평하중저항성능 평가: 그린티이버월 패널이 3층 목조주택의 2층이나 1층에 사용될 수 있는지를 평가하기 위하여 풍하중이나 지진하중과 같은 수평하중에 대한 저항성능을 측정한다.</li> <li>○ 그린티이버월 패널의 단열성능 평가: 에너지 효율성을 향상시키기 위하여 가장 중요한 요소인 그린티이버월 패널의 단열성능을 평가한다.</li> <li>○ 그린티이버월 패널의 개선: 시험결과를 바탕으로 그린티이버월 패널의 성능 향상을 위한 개선방안을 강구한다.</li> </ul>

2차년도	2010년	그린팀버월 패널의 내화, 차음성능 평가 및 그린팀버아트월 패널의 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린팀버월 패널의 내화성능 및 차음성능 평가: 그린팀버월 패널을 다층 다세대 공동주택에 사용하기 위하여 필요한 내화성능 및 차음성능을 확보하기 위하여 내화성능 및 차음성능 평가</li> <li>○ 그린팀버아트월 구조의 개발: 그린팀버월에 장식용을 위한 아트월을 삽입한 그린팀버아트월의 구조와 부재 구성을 완료하고 상세도면을 작성한다.</li> <li>○ 그린팀버아트월 구조의 패널화 및 경제성 분석: 그린팀버아트월 구조에 패널화 공법을 적용하여 공장에서 패널로 생산할 수 있는 방법을 개발하고 상세도면을 작성하고 그린팀버아트월 패널 생산의 경제성을 분석한다.</li> <li>○ 그린팀버아트월 패널의 변형 측정: 실내 조건에서 시간이 지남에 따라 그린팀버아트월 패널에 발생할 수 있는 찌그러짐 및 뒤틀림의 발생 정도를 측정한다.</li> <li>○ 그린팀버아트월 패널의 수직하중저항성능 평가: 그린팀버아트월 패널이 3층 목조주택의 2층이나 1층에 사용될 수 있는지를 평가하기 위하여 고정하중, 활하중 또는 적설하중과 같은 수직하중에 대한 저항성능을 측정한다.</li> <li>○ 그린팀버아트월 패널의 수평하중저항성능 평가: 그린팀버아트월 패널이 3층 목조주택의 2층이나 1층에 사용될 수 있는지를 평가하기 위하여 풍하중이나 지진하중과 같은 수평하중에 대한 저항성능을 측정한다.</li> <li>○ 그린팀버아트월 패널의 단열성능 평가: 에너지 효율성을 향상시키기 위하여 가장 중요한 요소인 그린팀버아트월 패널의 단열성능을 평가한다.</li> <li>○ 그린팀버아트월 패널의 개선: 시험결과를 바탕으로 그린팀버월 패널의 성능 향상을 위한 개선방안을 강구한다.</li> </ul>
------	-------	----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3차년도	2011년	그린팀버아트월 패널의 내화, 차음성능 평가 및 그린팀버월 패널 사이의 접합부에 대한 접합강도 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그린팀버아트월 패널의 내화성능 평가: 그린팀버아트월 패널을 다층 다세대 공동주택에 사용하기 위하여 필요한 내화성능을 확보하기 위하여 내화성능 평가</li> <li>○ 그린팀버아트월 패널의 차음성능 평가: 그린팀버아트월 패널을 다층 다세대 공동주택에 사용하기 위하여 필요한 차음성능을 확보하기 위하여 차음성능 평가</li> <li>○ 그린팀버월 패널 사이의 길이이음 접합방법 개발: 그린팀버월 패널의 길이이음 접합부에 대한 접합방법을 개발한다.</li> <li>○ 그린팀버월 패널 사이의 직각 접합방법 개발: 그린팀버월 패널끼리 직각으로 만나는 부위의 접합부에 대한 접합방법을 개발한다.</li> <li>○ 그린팀버월 패널과 바닥구조 사이의 직각 접합방법 개발: 그린팀버월 패널과 바닥구조 사이의 직각 접합부에 대한 접합방법을 개발한다.</li> <li>○ 그린팀버월 패널 접합부의 수평하중저항성능 평가: 길이이음 접합부가 포함된 그린팀버월 패널의 수평하중에 대한 저항성능을 평가한다.</li> <li>○ 그린팀버월 패널 접합부의 측방하중저항성능 평가: 바닥구조와 그린팀버월 패널 사이의 직각 접합부에 대한 측방하중저항성능을 평가한다.</li> <li>○ 그린팀버월 패널 접합부의 전단하중저항성능 평가: 바닥구조와 그린팀버월 패널 사이의 직각 접합부에 대한 전단하중저항성능을 평가한다.</li> <li>○ 그린팀버월 패널 접합부의 상향력저항성능 평가: 바닥구조와 그린팀버월 패널 사이의 직각 접합부에 대한 상향력저항성능을 평가한다.</li> <li>○ 그린팀버월 패널 접합부의 개선: 시험결과를 바탕으로 그린팀버월 패널 접합부의 성능 향상을 위한 개선방안을 강구한다.</li> </ul>
------	-------	--------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

이 연구의 결과와 위의 표에 명시된 평가의 착안점 및 연차별 연구목표 및 내용과 비교해 보면 1차년도에는 그린티버월 구조의 개발 및 패널화, 그린티버월 패널의 강도성능 평가, 그린티버월 패널의 단열성능 평가 등을 실시하도록 되어 있으며 주관기관인 대림이앤씨(주)에서 진행한 세부과제에서 그린티버월 구조의 개발과 패널화 연구를 진행하였고 협동기관인 충남대학교에서 그린티버월 패널의 강도성능 평가와 단열성능 평가를 실시하였다. 1차년도에는 주관기관에서는 그린티버월 구조의 개발과 패널화 연구와 함께 그린티버월 패널의 강수 저항성 시험, 그린티버월 패널의 시공 후 뒤틀림 시험 및 그린티버월 패널의 경제성 분석 등을 실시하였고 협동기관에서는 그린티버월 패널의 강도성능 평가와 단열성능 평가를 실시하면서 그린티버월 패널의 수평하중저항성능과 수직하중저항성능을 함께 평가하였다.

2차년도에는 그린티버월 패널의 내화 및 차음성능 평가, 그린티버아트월 구조의 개발 및 패널화 그리고 그린티버아트월 패널의 강도성능 평가 등을 실시하도록 되어 있으며 주관기관에서 그린티버아트월 구조의 개발 및 패널화를 담당하였고 협동기관에서 그린티버월 패널의 차음 및 내화성능 평가 그리고 그린티버아트월 패널의 강도성능 평가를 담당하였다. 2차년도에 주관기관에서는 그린티버아트월 구조의 개발 및 패널화 연구와 함께 국산 낙엽송을 이용한 그린티버월 패널을 개발하였으며 그린티버월 패널 제작 매뉴얼을 개발하였고 그린티버아트월 패널의 시공 후 뒤틀림 등의 변형을 측정하고 그린티버아트월 패널의 시공 시 경제성을 분석하였다. 협동기관에서는 그린티버월 패널의 차음 및 내화성능 평가 그리고 그린티버아트월 패널의 강도성능 평가를 실시하면서 다양한 그린티버아트월 패널들에 대한 수평하중저항성능과 함께 수직하중저항성능을 평가하였고 그린티버아트월 패널에 대한 단열성능 평가와 함께 단열성능 평가 이론모델을 개발하였고 아트월 부분에 사용되는 접착제로 인한 포름알데히드의 방출 가능성을 평가하고 이를 개선하기 위한 방안을 강구하였으며 국산 낙엽송을 사용한 그린티버월 패널의 수평 및 수직하중저항성능을 평가하였다.

3차년도에는 그린티버아트월 패널의 내화 및 차음성능 평가, 그린티버월 패널들 사이의 접합방법 개발 및 그린티버월 팬러 접합부의 강도성능 평가 등을 실시하도록 되어 있다. 3차년도에는 주관기관에서 그린티버아트월 패널의 내화성능 평가, 그린티버월 패널의 차음성능 평가 및 그린티버월 패널의 접합방법 개발을 담당하고 협동기관에서는 그린티버월 패널 접합부의 강도성능 평가를 담당하였다. 주관기관에서는 그린티버아트월 패널의 내화성능 평가, 그린티버월 패널의 차음성능 평가 및 그린티버월 패널의 접합방법 개발을 추진하면서 그린티버월 패널 비내력벽의 2시간 내화구조를 개발하여 성능을 평가하였고 국산 잣나무를 사용한 그린티버월 패널을 개발하였다. 협동기관에서는 그린티버월 패널 접합부의 강도성능을 평가하면서 2차년도에 개발한 단열성능 예측 이론모델을 더욱 정확하게 개선하였고 국산 잣나무 그린티버월 패널의 강도성능을 평가하였다.

이 연구는 연구계획서 상의 연구목표를 모두 달성하였으며 추가로 연구를 진행하면서 필요한 사항들까지 연구를 실시하여 그린팀버월 패널에 대한 종합적인 연구를 수행하였다. 그린팀버월 패널은 지금까지 경골목구조에서 관행처럼 사용해오던 석고보드 대신에 목재 벽널을 사용함으로써 석고보드의 단점인 미세먼지, 방사성 물질 방출, 약한 내충격성 등을 개선할 수 있으며 최고의 자연 및 인체 친화형 재료인 목재를 실내 표면에 사용한다는 점에서 가장 저탄소 녹색성장형 건축 구조라 할 수 있다. 지금까지 일반인들은 물론이고 목재전문가들도 경골목구조에서 방화 석고보드를 사용하지 않고는 내화구조를 만들 수 없다는 인식을 가지고 있었으나 이 연구를 통하여 방화석고보드를 사용하지 않고 두께 35mm의 목재 벽널만을 가지고도 1시간의 내화구조를 만들 수 있으며 방화석고보드와 복합적으로 사용하여 2시간의 내화성능을 나타낼 수 있는 구조도 개발하였다.

1시가닝 내화성능을 가진 구조는 4층 이하의 건축물에 사용할 수 있으며 2시간의 내화성능을 가진 구조는 4층을 초과하는 고층건물에서도 사용할 수 있기 때문에 이 연구에서 개발된 그린팀버월 패널은 모든 종류의 건축물에 사용할 수 있는 구조라고 할 수 있다. 따라서 지금까지 목조건축산업이 진출하려고 생각하지도 못했던 고층 아파트, 고층 상업용 건물 등의 비내력벽에 그린팀버월 패널이 사용될 수 있는 길이 열렸다고 할 수 있다. 또한 이번 연구를 통하여 다양한 그린팀버월 패널의 구조를 개발하고 강도성능을 평가하여 그린팀버월 패널을 활용하는 건축물의 구조계산에 활용할 수 있는 기본자료를 축적하였으며 그린팀버월 패널이 사용되는 건축물에서 반드시 필요한 여러 가지 접합부의 성능을 평가하여 역시 구조설계에 활용함으로써 보다 안전하고 내구성 잇는 그린팀버월 건축물의 설계 및 시공이 가능하게 되었다.

## 제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

### 1. 실용화, 사업화 계획

이 연구는 당초 주관기관인 대림이앤씨(주)에서 사업화 및 실용화하고자 하는 목적을 가지고 시작하였다. 그러나 연구가 진행되는 과정에서 3차년도 거의 마지막 단계에서 주관기관인 대림이앤씨(주)가 2007년에 공장을 신설하면서 차입하였던 금융자금을 갚아야 할 기일이 닥치면서 자금난을 겪고 자금압박에 따른 경영난을 이기지 못하여 2012년 3월 말에 법정관리에 들어가면서 이 연구 결과의 실용화 및 사업화 계획에 차질이 생기게 되었다.

그러나 이 연구의 주관기관인 대림이앤씨(주)는 최선을 다하여 현재의 경영난을 극복한 후 이 연구의 결과를 사업에 접목하여 사업화 및 실용화를 실현하고자 한다.

### 2. 교육, 지도, 홍보 등 기술 확산 계획

이 연구의 결과를 충남대학교 환경소재공학과와 목조건축 관련 교과목에서 교재로 사용함으로써 목조건축을 공부하고자 하는 학생들의 교육에 활용하고자 한다. 이를 통하여 학생들이 좀 더 자연과 환경에 관심과 애정을 가지고 목조건축을 친환경건축으로 실현할 수 있는 지도자로 성장할 수 있도록 하고자 한다.

학생들뿐만 아니라 목조건축산업 종사자들에게도 각종 세미나와 워크샵 등을 통한 교육과 지도에 이 연구의 결과를 활용하고자 한다. 이 연구에서 실시하였던 단열성능 시험 결과 및 단열성능 예측 이론모델은 이미 2011년말에 있었던 목조건축 세미나에서 산업체 종사자들을 위한 교육자료로 활용한 바가 있으며 그린팀버빌 패널의 수평하중저항성능 및 수직하중저항성능 그리고 접합부의 강도성능 평가자료들은 목조건축 산업 종사자들을 위한 구조설계 워크샵을 통해서 2010년과 2011년의 2회에 걸쳐서 활용한 바가 있으며 앞으로도 이러한 교육에 이 연구의 결과를 적극 활용하고자 한다. 또한 충남대학교 그린건축연구실에서 개발한 목조건축용 구조계산 엑셀 프로그램에서 이 연구의 강도성능 시험결과가 구조계산을 위한 기초자료로 활용되고 있으며 이 프로그램은 학생들의 교육과 함께 목조건축 전문가들을 위한 교육 프로그램에도 적극적으로 사용하고 있다. 앞으로 (사)한국목조건축협회의 각종 교육 프로그램과 홍보 프로그램에도 이 연구의 결과를 적극 활용하여 연구결과의 확산을 기하고자 한다.

### 3. 지식재산권 확보계획

현재 연구의 결과를 활용하여 주관기관에서 2건의 특허를 출원하였으며 협동기관에서 국내 및 국외의 학술회의에서 논문을 발표하고 학회지에 논문을 투고하고 있다. 앞으로 연구의 결과를 완전하게 정리하여 더욱 많은 학술회의 발표 및 학회지 논문 투고를 실행하고자 한다. 올해 내로 이 연구의 결과를 활용하여 2건의 학회지 논문을 투고하고자 하며 내년에도 추가로 2건의 논문을 더 투고하고자 한다.

### 4. 추가연구 및 타 연구에의 활용 계획

이 연구의 결과 중에서 다양한 접합부의 전단성능 평가결과는 다른 형태의 경골목조건축에서도 그 자료 그대로 활용할 수 있으며 구조설계 프로그램의 개발에도 활용하고자 한다.

내화성능 시험결과는 KS F 1611-1(경골목구조 벽 및 바닥/천장의 내화성능) 표준 개정에 활용할 수 있으며 좀 더 다양한 구조의 내화목구조 벽체의 개발에 활용하고자 한다.

앞으로 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 건축의 발전방향이 패시브하우스, 그린홈, 슈퍼e-하우스 등의 명칭에서도 알 수 있듯이 단열성능 향상 쪽에 초점이 맞추어져 있다. 이 연구에서 실시하였던 단열성능 시험의 결과와 단열성능 예측 이론모델을 더욱 발전시켜서 패시브하우스 및 그린홈의 기준을 초과하면서 구조체를 통한 공기의 유통을 차단하고 구조체 내부의 결로를 방지할 수 있는 구조의 개발 연구를 계속 진행하고자 한다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당 없음

## 제 7 장   참고문헌

- 1) 국토해양부 고시 제 2008-652호(건축물의 에너지 절약설계기준)
- 2) KS C 1602           열전대
- 3) KS F 1611-1       건축구조부재의 내화성능 표준 - 제1부 : 경골목구조 벽 및 바닥/천장
- 4) KS F 1611-3       건축구조부재의 내화성능 표준 - 제3부 : 구조용 집성재 보 및 기둥
- 5) KS F 2154           경골목조 전단벽의 전단시험방법
- 6) KS F 2257-1       건축 부재의 내화시험 방법 - 일반 조건
- 7) KS F 2257-4       수직 내력 구획부재의 성능 조건
- 8) KS F 3020           침엽수 구조용재
- 9) KS F 3113           구조용 합판
- 10) KS F 4514          목구조용 철물
- 11) KS F 4537          목조건축용 철못
- 12) KS F ISO 9087     목재의 못 또는 나사못 뽑기 저항 시험 방법
- 13) KS L 9102          인조 광물섬유 단열재
- 14) KS L 9016          보온재의 열전도율 측정방법
- 15) KS M 1998          건축 내장재의 포름알데하이드 및 휘발성 유기화합물 방출량 측정

## 주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.