

# 최종보고서

보안과제( ), 일반과제( ■ )

과제번호 310004-3

3  
1  
0  
0  
0  
4  
1  
3

농  
어  
촌  
형  
그  
린  
홈  
표  
준  
모  
델  
개  
발

농  
림  
수  
산  
식  
품  
부

## 농어촌형 그린홈 표준모델 개발

### The Development of Standard Model for Rural Green Home

아  
주  
대  
학  
교  
산  
학  
협  
력  
단

농  
림  
수  
산  
식  
품  
부

## 주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 ‘농어촌형 그린홈 표준모델 개발’ 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 ‘농어촌형 그린홈 표준모델 개발’ 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

# 제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “농어촌형 그린홈 표준모델 개발에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2013 년 07 월 30 일

주관연구기관명 : 아주대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 이 규 인

세부연구책임자 : 이 태 구

연 구 원 : 염 동 우

연 구 원 : 이 은 희

연 구 원 : 조 경 민

협동연구기관명 : (주)금성종합건축사사무소

협동연구책임자 : 박 성 중

협동연구기관명 : JMD GLOBAL

협동연구책임자 : 김 재 용

협동연구기관명 : (주)천산그룹

협동연구책임자 : 하 인 철

협동연구기관명 : 한국식물자원연구소

협동연구책임자 : 이 재 학

# 요 약 문

## I. 제목

농어촌형 그린홈 표준모델 개발

## II. 연구개발의 배경 및 필요성

- 농어촌 지역의 낙후된 주택건물 및 환경 개선 필요
  - 에너지 사용량 증가에 따른 탄소배출량 증가의 주요 원인이 되고 있음
  - 농어촌 지역의 에너지 사용량을 절감시킬 수 있는 방안 모색 필요
- 화석연료 사용과 탄소배출이 높은 생산과정으로 인해 발생하는 환경문제 발생
  - 건축물에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 발생량 감소를 위해 전 세계적으로 다양한 대책방안 제시
  - 농어촌 지역의 주택환경 개선을 위해 농어촌 지역에서의 저에너지 저탄소 건축물에 대한 연구 필요
- 경제적 측면을 고려한 농어촌형 그린홈 개발 필요
  - 농어촌 지역은 도시 지역에 비해 상대적으로 거주 인구의 연령대가 높고 저소득층이 많음
  - 참여형 시공과 지역 내에서 자급자족할 수 있는 재료를 활용한 공법으로 비용을 낮출 수 있는 방안 모색 필요
- 낙후된 주택과 무분별한 개발로 인해 훼손된 농어촌 지역의 경관 개선 필요
  - 새마을 운동 이후 콘크리트 위주의 주택 건설로 인해 농어촌 지역의 경관 훼손
  - 지역 주민들의 생활양식과 전통경관을 고려한 농어촌형 그린홈 디자인 필요

## III. 연구목표

- 농어촌 그린홈 표준모델 개발을 위한 단계적 목표 수립
  - : 1차년도 Passive House 수준, 2차년도 Zero Energy House 수준, 3차년도 Zero Emission House 수준을 목표로 각 단계별 적용계획 기법 도출 및 성능 평가 실시

- 지역생태재료의 적용공법 및 주택 부위별 구조체 국산화를 통한 농어촌 저탄소 그린홈 표준모델 개발
  - : 농어촌 지역에서 활용가능한 생태재료 모색
- 농어촌형 그린홈 실현을 위한 설계 가이드라인 개발
  - : 지역(기후), 가족구성, 생활양식, 건축양식 등에 따른 농어촌형 그린홈 표준모델 설계가이드라인 개발
- 농어촌형 제로에미션하우스 실현을 위한 생태적 디자인 요소 개발 및 외부적용요소 개발
  - : 지역생태재료를 이용한 그린홈 디자인 요소 개발
  - : 생태적 외부공간 및 외피적용요소의 개발
- 농어촌 자립형 제로에미션 주택 표준모델 설계 및 요소기술 통합 설계기법 제시
  - : 농어촌 주변의 전통적 경관을 고려한 농어촌 그린홈 설계
  - : 패시브 디자인, 액티브시스템, 저탄소 건축기술 등을 고려한 농어촌형 표준모델 설계
  - : 3차년 농어촌형 자립형 제로에미션주택 Test-bed 구축 및 모니터링 측정을 통한 성능평가
- 수순환 및 수정화 종합 시스템 구축 및 보급화 방안 확보
- 기술적 자료 확보 및 성능평가 결과를 토대로 한 인증제도 및 지원방안 구축

#### IV. 연구내용

- 농어촌형 그린홈의 개념 및 계획기준정립
  - 국내·외 그린홈의 현황조사를 통한 농어촌형 그린홈의 개념정의
  - 농어촌주택 수요, 주택성능 실태, 농어촌지역 사회문화·경제·환경 조사
- 농어촌지역 경관분석
  - 농어촌주택 현장 실태조사
  - 현 농어촌지역 경관분석 및 전통 경관 요소 분석
  - 형태, 재료, 색채별 디자인 코드 제시 및 세부 가이드라인 마련
- 그린홈 표준모델 대안설계 및 스타일 가이드 작성
  - 자연환경을 고려한 전통형 주택경관 디자인 구상
  - 지역 특성, 가족 구성, 생활 양식 등에 따른 그린홈 표준모델 대안설계 및 스타일 가이드 작성
  - 부위별 단열 구조체를 이용한 농어촌 그린홈 설계 및 시공가이드라인 개발
  - 농어촌의 주변 경관 고려 및 공간 사용에 따른 유연한 평면계획 실시
  - 실험주택 모델별 농어촌형 그린홈 표준모델 가이드라인 개발

- 농어촌 그린홈 1차년도 Test-bed 설계 및 시공
  - 대상지 선정 및 분석
  - 설계 목표 설정 및 적용기술 도출
  - 유니트별 적용기술의 선정 및 설계안 도출
  - 부위별 구조체의 독립적인 요소 시공
  - 실험조건에 따른 외부 벽체 및 마감공사, 창호, 내부 마감시공
  
- 농어촌 그린홈 1차년도 Passive House 개발
  - 패시브하우스의 모니터링 및 성능평가
  - 그린홈 모델에 적용되는 구조체 및 재료의 국산화방안 연구
  - 신·재생에너지 활용기술의 통합방안 개발
  
- 농어촌 그린홈 1차년도 Test-bed 정량적 효과분석
  - 연 단위 모니터링 측정 및 거주자 측정
  - 실내환경(온도, 습도, CO<sub>2</sub>) 측정을 통한 성능평가
  
- 생태재료 Mock-up 테스트를 통한 성능평가 및 그린홈 적용공법 개발
  - 기초, 구조, 벽체, 지붕, 바닥 등 주택 부위별 생태재료를 활용 시스템 및 공법 개발
  - 생태재료의 혼합, 보강 등을 통한 단점보완 및 시공성 향상을 위한 공법 개발
  - 구법비교 테이블을 통한 저에너지 성능 검토
  - Mock-up 테스트를 통한 시공기술과 보완기술 개발
  
- 생태재료를 활용 및 전통경관을 고려한 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 개발 및 통합 표준설계
  - 농어촌형 Low Energy House 개념
  - 농어촌형 Low Energy House 실현을 위한 Mock-up 성능평가 및 재료별 공법연구
  - 농어촌형 Low Energy House 통합표준 모델 개발
  - 농어촌형 Low Energy House 표준모델 표준도서 작성
  - 농어촌형 Low Energy Test-bed 설계 및 시공
  
- 생태재료를 활용 및 전통경관을 고려한 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 성능평가
  - 모니터링 측정(온도, 습도, CO<sub>2</sub>)을 통한 성능평가
  - 포름알데히드 측정을 통한 실내 공기질 분석
  
- 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 계획요소 조사와 Mock-up 설계 및 시공
  - 생태적 디자인 요소 개발
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 적용요소 계획 설정
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 부위별 계획요소 적용 및 성능분석
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 시공 및 모니터링 측정

- 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 정량적 효과 분석
  - 그린홈 구현 요소기술의 실험적용을 통한 에너지 효율성 및 경제성 분석
  - 적용기술의 부위별 에너지 절감 분석
  - 실험주택과 일반주택의 에너지 절감 비교 분석
  
- 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계 및 시공
  - 표준모델 설계 및 요소기술 통합 설계 기법 개발
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계 및 시공
  - 모니터링 측정을 통한 Test-bed 성능 검증
  
- 농어촌형 그린홈 표준모델을 위한 생태재료 개발
  - 기존 농어촌지역 주택에서 사용하는 재료에 대한 조사 및 문제점 분석
  - 지역별 생산·공급되는 생태재료에 대한 조사
  - 황토, 벽돌, 목재, 왕겨 등의 생태재료 활용방안 연구
  - 무거푸집 흙벽체의 소규모 시공
  - 흙건축 공법의 성능 분석
  - 흙건축 공법 매뉴얼 작성
  - 흙건축 재료 배합의 특성 연구
  - 거주자 참여 방안 교육 실시
  
- 수순환 및 수정화 시스템 구축
  - 환경친화적 우수, 중수(하수) 재활용 수순환시스템 구축
  - 겨울형 수순환 및 수정화 시스템 설치 및 성능실험
  - 수정화 자연형 수순환 자동화 시스템 구성 계획
  - 모니터링을 통한 종합 시스템 구축 및 효능 평가
  
- 부착온실을 활용한 농어촌형 그린홈의 주거환경 개선
  
- 그린홈의 외부공간 구성 및 외부공간 디자인
  - 물순환 시스템 구축을 위한 외부 수공간 조성
  - 외부 경작 및 유기성폐기물 퇴비화 시스템 설치를 통한 자원 순환
  
- 성능평가 결과를 토대로한 인증제도 구상 및 보급 방안 구상
  - 농어촌형 그린홈 성능기준 작성
  - 농어촌형 그린홈 인증 가이드라인 구상
  - 농어촌형 그린홈 표준 모델 보급을 위한 지원방안 구상

## V. 연구개발에 따른 기대성과

- 농어촌형 그린홈 표준모델의 단계별 상품화를 통한 농어촌지역 신규주택, 리모델링 등 신 시장수요 창출
- 부위별 고기밀 단열구조체, 고성능 건축 재료, 지역 대안 재료 등 생태재료의 현대화 및 국산화를 통해 그린홈 실현기술 확보 및 신성장 동력 마련
- 단계별 그린홈 성능기준 및 인증 마련을 통한 농어촌지역 그린홈 시장의 제도적 보급 방안 마련
- 농어촌형 그린홈 요소기술(물자립시스템, 자원자립시스템, 에너지자립시스템, 자동제어시스템) 개별상품화를 통한 관련산업 육성 및 고용창출 효과
- 농어촌 지역 자연환경을 고려한 유형별 디자인 대안 적용을 통한 전통적 마을경관 조성
- 거주자 참여형 그린홈 계획·시공 가이드라인 마련을 통한 실질적인 단가 절감 및 지역 커뮤니티 활성화 효과

# SUMMARY

## I. Title

- The Development of Standard Model for Rural Green Home

## II. Background and purpose of the project

- Improving underdeveloped residential houses and the environment in rural area are required
  - Increasing energy consumption is driving up CO<sub>2</sub> emissions resulting in climate change
  - Solutions are needed to reduce energy consumption in rural area
- Construction material production causes environmental problems due to its fossil fuel usage and high CO<sub>2</sub> emissions
  - Various suggestions were made worldwide to reduce CO<sub>2</sub> emissions from buildings
  - Research on low-energy, low-carbon buildings is needed to improve residential environment in rural area
- Developing the Rural Area Green Home considering economic feasibility are required
  - Populations in rural areas are relatively older and low-income compared to those in urban areas.
  - Reduction of costs through construction methods that are self-sufficient in materials and promote active participation of residents are needed
- Improving the rural landscapes that are damaged due to underdeveloped housings and indiscriminate development are needed
  - Rural landscapes are damaged due to the construction of concrete buildings since the "Saemaeul Movemnet."
  - Designing the Rural Area Green Home considering traditional landscape and lifestyle of rural area are required

### III. Project objectives

- Setting plans for each stage to develop standard model for the Green Home in rural area
  - : Building application plans and implementing performance evaluation in each stage, targeting Passive House(1st year), Zero Energy House(2nd year), and Zero Emission House(3rd year)
  
- Development of standard model for low-carbon Rural Area Green Home by using ecological materials and localizing the materials in different parts of houses
  - : Finding ecological materials that can be acquired in rural area
  
- Development of the design guideline to achieve Rural Area Green Home
  - : Development of the design guideline for the Rural Area Green Home in accordance with local climate, family composition, lifestyle and architectural style
  
- Development of the Ecological Design Elements and Application Elements to Realize Rural Area Zero Emission House
  - : Development of the Green Home design elements using ecological materials
  - : Development of ecological outside space and application elements
  
- Suggesting the design for the standard model of the Rural Area Independent Zero Emission House and the integrated design method
  - : The design for Rural Area Zero Emission House, considering traditional landscape in rural area
  - : The design for Rural Area Independent Zero Emission House standard model, considering Passive House Design, Active System and low-carbon architectural technique
  - : Performance evaluation by establishing and monitoring the test-bed for the Rural Area Independent Zero Emission House(3rd year)
  
- Planning for establishment and deployment of the water cycling system and water purification system
  
- Planning for the certification system and supportive measures based on technical data and performance evaluation result

## IV. Project contents

- Setting the concept of the Rural Area Green Home and planning criteria
  - Definition of the Rural Area Green Home and current status of the Green Home at home and abroad
  - Research on the performance and demand for housing, and on culture, economy and environment of rural area
  
- Analysis on the rural area landscape
  - Research on the current status of rural housing
  - Analysis on the current rural landscape and traditional landscape elements
  - Design code and detailed guideline by shape, materials and color
  
- Alternative design for the Green Home standard model and Style Guide
  - Designing traditional house, considering natural environment
  - Formulating alternative design and Style Guide for the Green Home in accordance with regional character, family composition and lifestyle
  - Designing Rural Area Green Home using the insulation structure and formulating construction guideline
  - Flexible floor planning, considering rural landscape and space utilization
  - Developing the guideline for Rural Area Green Home standard model for each test house model
  
- Design and construction of the test-bed for Rural area Green Home(1st year)
  - Selecting and analyzing the site
  - Setting design goals and selecting application techniques
  - Selecting application techniques for each unit and drawing up a written design proposal
  - Construction of the Independent Structure Elements for each Section
  - Construction of building skin, window and interior finishing works in accordance with test conditions
  
- Development of the Rural Area Green Home(1st year)
  - Performance evaluation and monitoring of the Passive House
  - Research on localization of structure and materials used in Green Home model
  - Development of Integrated plans to utilize renewable energy

- Quantitative analysis on the 1st year test-bed of the Rural Area Green Home
  - Annual Monitoring and measuring residents
  - Performance evaluation by measuring indoor environment(temperature, humidity and CO<sub>2</sub> level)
  
- Performance evaluation through mock-up test on ecological materials, and development of applicable construction method
  - Development of construction method and ecological material utilization system for different sections of the house such as foundation, structure, wall, roof and floor
  - Development of construction method to improve construct ability and supplement weak points by mixing and reinforcing the ecological materials
  - Review on low-energy performance through construction method comparison table
  - Development of construction and supplementary techniques through mock-up's performance evaluation
  
- Development of 2nd year test-bed and integrated standard design for Rural Area Green Home which used ecological materials and considered traditional landscape
  - Concept of the Rural Area Low Energy House
  - Mock-up performance evaluation and research on construction method for different materials to achieve Rural Area Low Energy House
  - Development of the integrated standard model for the Rural Area Low Energy House
  - Preparing the standard drawings of Rural Area Low Energy House standard model
  - Design and construction of the Rural Area Low Energy House test-bed
  
- Performance evaluation on the 2nd year test-bed of the Rural Area Green Home which used ecological materials and considered traditional landscape
  - Performance on indoor air quality through monitoring temperature, humidity and CO<sub>2</sub> level
  - Analysis on indoor air quality through formaldehyde measurement
  
- Research on the 3rd year test-bed plan elements for the Rural Area Green Home, and mock-up design and construction
  - Development of ecological design elements
  - Setting plans for application elements for the 3rd year mock-up of the Rural Area Green Home
  - Performance evaluation and application of plan elements for different part of the 3rd year Rural Area Green Home mock-up
  - Construction and monitoring of the 3rd year Rural Area Green Home mock-up

- Quantitative analysis on the 3rd year mock-up of Rural Area Green Home
  - Analysis on the energy efficiency and economic feasibility by applying element technology for the Green Home in the test
  - Analysis on the energy reduction effect of application technology in different parts of the house
  - Comparison analysis on the energy reduction between common house and test-bed
  
- Design and construction of the 3rd year test-bed of the Rural Area Green Home
  - Development of the integrated design technique and standard model design
  - Design and construction of the 3rd year test-bed for the Rural Area Green Home
  - Verification of test-bed performance through monitoring
  
- Development of ecological materials for the rural Area Green Home standard model
  - Investigation on the materials used in conventional housings in rural area and their problems
  - Research on the ecological materials, produced and supplied in different local areas
  - Study on utilization of ecological materials such as Hwang-toh, bricks, Wood and rice-husk
  - Study of the ecological materials utilization method
  - Small-scale construction of soil walls without mold form
  - Analysis on performance of the soil architecture method
  - Making the soil architecture manual
  - Study on the feature of soil mix
  - Training on resident participation
  
- Establishment of water cycling system and water purification system
  - Building environmentally-friendly water cycling system for rain water and sewage water
  - Setting up water cycling system and water purification system for winter and testing performance
  - Setting up the plan for natural water purification and water cycling automation system
  - Establishment of a comprehensive system and performance evaluation through monitoring
  
- Improvement residential environment of the Rural Area Green Home through attached green house

- Building and Designing of outside space for the Green Home
  - Setting up outside space for water cycling system
  - Resource recycling through the composting system and outside farming
  
- Planning for building and deploying a certification system based on performance evaluation
  - Setting criteria for performance of the Rural Area Green Home
  - Building guideline for Rural Area Green Home certification
  - Finding supportive measure for supplying the Rural Area Green Home standard model

## **V. Project expectations**

- Creating new market demand such as new construction and remodeling of rural houses through commercialization of the Rural Area Green Home standard model
  
- Securing new growth engine and enabling technology for Green Home through modernization and localization of ecological materials, including high-airtight insulation, high-performance materials and local alternative materials
  
- Devising institutional measures to supply Rural Area Green Home through performance standard and certification
  
- Promoting relevant industries and job creation by commercializing element technology of the Rural Area Green Home such as independent water system, resource system, energy system and automatic control system
  
- Forming traditional village landscape by applying alternative designs, considering rural area environment
  
- Reducing costs and vitalizing local community through design and construction guideline of the resident-participating Green Home

# CONTENTS

## **Part 1. Project overview**

1. Background and purpose of the project
2. Objectives and contents of the project
  - (1) Objectives of the project
  - (2) Contents of the project

## **Part 2. Current status of technology development at home and abroad**

1. Domestic and foreign trends of the Zero Emission House and traditional landscape
  - (1) Domestic and foreign trends of the Zero Emission House and traditional landscape
  - (2) Implication

## **Part 3. Content and result of the project**

1. Formulating the alternative design and guideline for Rural Area Green Home standard model
  - (1) Alternative design and Style Guide for the Green Home standard model in accordance with regional features, family composition, lifestyle and economic standing

- (2) Flexible floor plan considering situations of rural area - 10 types of floor plans
- (3) Writing the guideline for Green Home standard model for different test-bed

## **2. Performance evaluation of 1st and 2nd year test-beds**

- (1) Analysis on the annual monitoring of 1st and 2nd year test-bed's indoor environment and energy consumption
- (2) Performance evaluation of 2nd year test-bed which considered traditional landscape

## **3. Investigation on the 3rd year test-bed plans for the Rural Area Green Home and building mock-up**

- (1) Development of the ecological design elements and application elements
- (2) Planning for the 3rd year mock-up for the Rural Area Green Home
- (3) Construction and monitoring of the 3rd year mock-up for the Rural Area Green Home
- (4) Comparison analysis on energy consumption between 3rd year mock-up and common house
- (5) Comparison analysis on the CO<sub>2</sub> reduction and renewable energy application between the 3rd year mock-up and common house
- (6) Analysis on the economy feasibility by testing the 3rd year mock-up element technology

## **4. Design and construction of the 3rd year test-bed for the Rural Area Green Home**

- (1) Concept of the 3rd year test-bed
- (2) Design of the 3rd year test-bed
- (3) Performance evaluation of the 3rd year test-bed

#### Part 4. Reference

Appendix I. Flexible floor planning, considering conditons of rural area - 10 types of floor plans

Appendix II. Development plan for the Rural Area Green Home using soil

Appendix III. Development of the water cycling system for achieving Rural Area Green Home

Appendix IV. Devising supportive plans and certification system for supplying Rural Area Green Home standard model

# 목 차

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

### 1절 연구의 배경 및 필요성

### 2절 연구의 목표 및 내용

1. 연구목표
2. 연구내용

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1절 제로에미션하우스 및 전통 경관 관련 국내·외 동향

1. 제로에미션 건축물 관련 국내·외 동향 및 전통 경관 관련 국내·외 동향
2. 시사점

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 1절 농어촌형 그린홈 표준모델 대안설계 및 가이드라인 작성

1. 지역특성별, 가족구성별, 생활양식별, 경제수준별 그린홈 표준모델 대안설계 및 스타일 가이드
2. 농어촌의 지역적 상황을 고려한 유연한 평면계획\_10개 유형 평면도
3. 실험주택의 모델별 그린홈 표준모델 가이드라인 작성

### 2절 농어촌 그린홈 1, 2차년도 Test-bed 성능평가

1. 농어촌 그린홈 1, 2차년도 Test-bed 실험주택의 연 단위 실내 환경 및 에너지 사용량 모니터링 분석

2. 전통경관을 고려한 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 성능 평가

### 3절 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 계획요소 조사 및 Mock up 구축

1. 생태적 디자인 요소 개발 및 외부적용요소 개발
2. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up체 계획
3. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 시공 및 모니터링
4. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 에너지사용량 비교분석
5. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 CO<sub>2</sub>저감 및 신·재생에너지 적용분석
6. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 요소기술의 실험적용을 통한 경제성 분석

### 4절 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계 및 시공

1. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 개념
2. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계
3. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 성능평가

## 제 4 장 참고문헌

부록 I 농어촌의 지역적 상황을 고려한 유연한 평면 계획\_10개 유형 평면도

부록 II 흙을 이용한 농어촌 그린홈 개발 방안

부록 III 농어촌형 그린홈 실현을 위한 수순환 개발

부록 IV 농어촌형 그린홈 표준모델 보급을 위한 지원방안 및 인증제도 구상

## 본 문

### 제 1 장 연구개발과제의 개요

#### 1절 연구의 배경 및 필요성

- 농어촌 지역의 주거 건물은 도시지역에 비해 노후화 정도가 심하며 이는 건축물의 에너지 사용량 증가 및 탄소배출량 증가와 같은 문제를 야기시킨다. 또한 농어촌 지역은 도시에 비해 상대적으로 높은 연령층과 저소득층의 거주 비율이 높아 저탄소 주택 등의 그린홈 보급에 한계가 있다.
- 이러한 상황은 2025년 제로에너지 주택 의무화라는 국가적 차원의 목표를 달성하는데 걸림돌로 작용될 수 있으며, 이에 농어촌 지역의 에너지 사용량 절감을 위한 농어촌형 그린홈을 구축할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.
- 농어촌 지역의 경우 거주 인구의 연령, 소득, 생활양식 등이 도시 지역과는 확연히 다른 차이를 나타낸다. 이에 농어촌 지역의 연령층, 소득, 생활양식 및 거주 패턴 등의 특성을 파악하고 이를 토대로 한 그린홈 개발이 필요하다.
- 농어촌 지역의 노후된 주택 및 무분별한 개보수 주택으로 인해 우리나라 농어촌 지역의 마을들의 경관이 훼손되고 있다. 이에 우리나라 전통적인 마을이 가지는 경관적 특징을 보존할 수 있는 디자인에 대한 연구가 필요하며 이를 통해 농어촌 지역의 경관향상을 꾀할 필요가 있다.

#### 2절 연구의 목표 및 내용

표 2 연차별 연구 목표 및 내용

구분	연구 개념도	연구내용
1차년도	 Passive House 개념도	에너지 소비 저감을 80%, 탄소 배출 절감을 70%를 목표로 Passive House의 계획 요소(고단열 및 고기밀 시공, 시스템 창호 설치 등)를 적용

2차년도	 <p data-bbox="453 412 689 472">Zero Energy House 개념도</p>	에너지 소비 저감을 100%, 탄소 배출 절감을 90%를 목표로 Passive House의 계획 요소와 신·재생에너지를 이용한 자체적 에너지 생산 시스템 장치 적용
3차년도	 <p data-bbox="453 687 689 748">Zero Emission House 개념도</p>	저감을 100%, 탄소 배출 절감을 100%를 목표로 고단열 및 고기밀 시공, 신·재생에너지 활용, 우수 재활용 시스템 등의 기술을 적용
<p data-bbox="421 763 1174 831">Passive House와 Zero Energy House의 각 기술적 요소의 통합으로 Zero Emission House의 계획 요소 개발 및 실현 방안 모색</p>		

## 1. 연구 목표

농어촌지역의 에너지 과다 소비문제를 줄이고 노후된 주거환경 개선을 위해 본 연구에서는 1차년도의 Passive House 수준, 2차년도의 Zero Energy House 수준의 그린홈 모델을 구축하였다. 또한 1,2차년도의 도출된 연구결과를 토대로 3차년도에는 저에너지화, 저탄소화가 가능한 농어촌지역의 그린홈 표준모델 개발을 최종목표로 연구를 진행하였다. 이와 더불어 농어촌 지역의 주변 경관을 고려해 기존 주택과의 조화로운 경관형성을 위해 전통경관형 그린홈 실현을 목표로 연구를 진행하였다.

각 세부 목표는 아래와 같다.

- 그린홈 표준모델 대안설계 및 스타일 가이드 작성
- 농어촌형 그린홈을 위한 부위별 생태재료를 활용한 건축시스템 및 공법 개발
- 농어촌 자립형 제로에미션 주택 표준모델 설계 및 요소기술 통합 설계기법 제시
  - : 1, 2차년도 연구를 통해 확보한 Passive House와 Zero Energy House의 기술 요소 통합으로 Zero Emission House 구축을 위한 계획 요소 개발
  - : 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 구축 및 모니터링 측정을 통한 성능평가

- 수순환 및 수정화 종합 시스템 구축 및 보급화 방안 확보
- 기술적 자료확보 및 성능평가 결과를 토대로 한 인증제도 구상

## 2. 연구 내용

1차년도 연구에서는 에너지 소비 저감율 80%와 탄소배출 절감율 70%를 목표로 농어촌형 Passive House에 관한 연구를 진행하였고, 2차년도 연구에서는 에너지 소비 저감율 100%와 탄소배출 절감율 90%를 목표로 Zero Energy House에 관한 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 1, 2차년도의 연구결과를 바탕으로 에너지 소비 저감율 100%, 탄소배출 절감율 100%의 Zero Emission House 개발을 목표로 연구를 진행하였으며, 세부 연구 내용은 다음과 같다.

- 그린홈 표준모델 대안설계 및 스타일 가이드 작성
  - 지역 특성, 가족구성, 생활양식, 경제수준 분석 및 조건에 따른 대안설계 작성
  - 부위별 단열구조체를 이용한 농어촌 그린홈 설계 및 시공가이드라인 개발
  - 농어촌의 지역적 상황을 고려할 수 있는 유연한 평면계획 연구
  - 실험주택 모델별 농어촌형 그린홈 표준모델 가이드라인 개발
- 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 정량적 효과 분석
  - 연 단위 모니터링 측정 및 거주자 측정
  - 실내환경(온도, 습도, CO<sub>2</sub>) 측정을 통한 성능평가
- 생태적 디자인 요소 개발 및 외부적용 요소 개발
  - 친환경 건축자재의 분석 및 건축자재를 이용한 디자인 요소 개발
  - 생태적 외부공간 및 외피적용 요소의 개발
- 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 설계 및 시공
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 적용요소 계획 설정
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 부위별 계획요소 적용 및 성능분석
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 시공 및 모니터링 측정

- 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 정량적 효과 분석
  - 그린홈 구현 요소기술의 실험적용을 통한 에너지 효율성 및 경제성 분석
  - 적용기술의 부위별 에너지 절감 분석
  - 실험주택과 일반주택의 에너지 절감 비교 분석
  
- 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계 및 시공
  - 표준모델 설계 및 요소기술 통합 설계 기법 개발
  - 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계 및 시공
  - 모니터링 측정을 통한 Test-bed 성능 검증
  
- 농어촌형 그린홈 표준모델을 위한 생태재료 개발
  - 흙건축 공법 메뉴얼 작성
  - 흙건축 재료의 배합의 특성 연구
  - 거주자 참여 방안 교육
  
- 수순환 및 수정화 시스템 구축
  - 수정화 자연형 수순환 자동화 시스템 구성 계획
  - 종합 시스템 구축 및 효능 평가
  
- 성능평가 결과를 토대로 한 인증제도 구상 및 보급 방안 구상
  - 농어촌형 그린홈 성능기준 작성
  - 농어촌형 그린홈 인증 가이드라인 구상
  - 농어촌형 그린홈 표준 모델 보급을 위한 지원방안 구상

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1절 제로에미션하우스 및 전통 경관 관련 국내·외 동향

#### 1. 제로에미션 건축물 관련 국내·외 동향 및 전통 경관 관련 국내·외 동향

2차년도 Zero Energy House에 이어 Zero Emission House에 관한 국내·외 동향 파악 및 전통 경관을 살리기 위한 국내·외 디자인 현황 파악을 위해 우수 사례를 조사하였다. 조사는 에너지 측면, 생태재료사용 측면, 전통 경관 지속 측면을 대상으로 주로 문헌 연구, 인터넷을 통한 자료 검색을 통해 이루어졌으며, 일부 사례의 경우 2012년 직접 방문하여 현지 연구팀과의 교류를 통해 밀도 있는 조사를 진행하였다. 조사된 대표적인 사례는 다음과 같다.

#### 가. 에너지 측면

국립환경과학원		
	건축가 (개발팀)	CSIRO
	Type	주거
	규모	4층
	구조	철근콘크리트
	완공년도	2011
<b>제로에미션 계획요소</b>		
신·재생에너지 활용(태양광, 태양열, 지열)	고단열 시공 및 기밀 시공	
에너지 절약 조명 설치	3중 유리 창호 설치	
외부 차양막 설치	광덕트를 이용한 자연채광 활용	
삼평동 우체국		
	건축가 (개발팀)	건축사사무소TOP, 한영이엔지, 서원엠이씨, 원이앤씨, 신화SDG
	Type	우체국
	총면적	755.50m <sup>2</sup>
	규모	2층
	구조	철근콘크리트
완공년도	2010	
<b>제로에미션 계획요소</b>		
신·재생에너지 활용(태양광, 태양열)	고단열 시공 및 기밀 시공	
폐열회수 장치 설치	3중 유리 창호 설치	
외부 차양막 설치		

그린투모로우



건축가 (개발팀)	SAMSUNG C&T
Type	전시관 및 홍보관
총면적	676m <sup>2</sup> (전시관 400m <sup>2</sup> , 홍보관 276m <sup>2</sup> )
규모	1층
구조	철근콘크리트구조
완공년도	2009

제로에미션 계획요소

고단열·고기밀 방화문사용	이중 외피 시스템
블라인드형 태양광 발전	패키지 중수처리 시스템
지열 이용 냉난방 시스템	비상용 연료전지
자연 환기	삼중 창호
열회수형 환기장치	자연 채광
절수형 수전	절수형 양변기
연료감응형 태양광 발전	저온 바닥난방
습도조절 마감자재	재생 목재 사용
골판지 알루미늄 코팅 덕트 사용으로 탄소 저감	진공단열보드 및 에어로젤 사용으로 단열성능향상
바이오기술 융합 마감자재 (콩 옥수수 식물성 기름 등)	우수 이용 시스템
지붕형 태양광 발전	태양열 급탕 시스템
풍력 발전	지열 이용 쿨루브 시스템
합성 목재 사용	조박형 옥상녹화 시스템
지열 이용 도로용설 시스템	

Lighthouse



건축가 (개발팀)	KINGSPAN
Type	모델하우스
총면적	93m <sup>2</sup>
규모	3층
구조	simple barn-like structure
완공년도	2007

제로에미션 계획요소

우수 집수장치 및 Greywater 재활용 시스템 설치	고단열 시공
신·재생에너지 활용(태양광, 태양열)	자연채광 활용(skylight & window)
3중 유리 창호 설치	MVHR 시스템 설치
바이오매스 보일러 시스템	에너지 절약 가전제품 및 조명 설치

**Zero Emission House, Japan(방문사례)**



건축가 (개발팀)	Sekisui House
Type	전시주택
총면적	280m <sup>2</sup>
규모	1층
구조	철골구조
완공년도	2008

**제로에미션 계획요소**

복층 지붕의 이끼판넬 마감	음식물 쓰레기 퇴비화 시스템
신·재생에너지 활용(태양광, 연료전지)	100% 재활용 가능한 철골구조
에너지 절약 가전제품 사용	고단열 시공 및 3중 유리 창호 설치
자연채광 활용(태양광 덕트 미러 조명 설치)	페콘크리트 재활용

**Barratt's Green House**



건축가 (개발팀)	Andrew Sutton
Type	주거
총면적	116m <sup>2</sup>
규모	3층
구조	aircrete 내력벽 구조
완공년도	2008

**제로에미션 계획요소**

태양광 에너지 설치	공기 열원 히트 펌프 설치
우수 집수 장치 시스템 설치	고단열 및 기밀 시공
자동 차양막 설치	옥상녹화 시공
열교환기 설치	3중 유리 창호 설치

### Zero Carbon home in Kent



건축가 (개발팀)	Richard Hawkes & Michael Ramage and Phillip Cooper
Type 총면적	주거
규모	3층
구조	조적
완공년도	2009

#### 제로에미션 계획요소

신·재생에너지 활용(태양광&태양열)	바이오매스 보일러 설치
재활용 자재 사용	우수 집수 장치 및 Greywater 재활용 시스템 설치
3중 유리 창호 설치	재활용 자재 활용
MVHR 시스템 설치	

### SIGMA HOME



건축가 (개발팀)	Stewart Milne Group
Type	주거
규모	4층
구조	SIP
완공년도	2007

#### 제로에미션 계획요소

신·재생에너지 활용(태양광, 태양열, 풍력)	고효율 보일러 장치 설치
고단열 및 기밀 시공	우수 집수 장치 및 Greywater 재활용 시스템 설치
3중 유리 창호 설치	에너지 절약 가전제품 및 조명 사용

### Active House, Denmark



출처 : The Guardian

건축가 (개발팀)	Aart Architects
Type	실험주택 및 주거
총면적 규모	2층
구조 완공년도	2009

#### 제로에미션 계획요소

신·재생에너지 활용(태양광)	자연채광 활용(skylight)
고단열 시공 및 3중 유리 창호 설치	에너지 절약 가전제품 사용

### John Christophers' Zero Carbon House



건축가 (개발팀)	John Christophers
Type	주거
총면적 규모	111m <sup>2</sup>
구조 완공년도	3층 2009

#### 제로에미션 계획요소

3중 유리 창호 설치	폐자재 활용(신문지 단열재)
재활용 자재 사용	신·재생에너지 활용(태양광)
고단열 및 기밀 시공	열교환기 설치
우수 집수 장치 설치	에너지 절약 조명 설치

### Smith House



건축가 (개발팀)	Jeff Day Architect Hibbs Homes & Verdatek Solutions
Type	실험주택 및 주거
총면적 규모	2층 185m <sup>2</sup>
구조 완공년도	경량 목구조 2013

#### 제로에미션 계획요소

자연채광 및 자연환기 활용(Velux 창 설치)	에너지 절약 조명 설치
신·재생에너지 활용(태양광)	생애 주기가 긴 자재 활용

## 나. 생태재료사용 측면

동강사랑		
	건축가 (개발팀)	한국내셔널리스트 간사인, 홍순천
	Type	주거
	총면적	약 99m <sup>2</sup>
	규모	2층
	구조	목구조
	완공년도	2005

### 제로에미션 계획요소

스트로베일 벽체 시공과 황토 마감으로 생태 건축 자재를 사용한 건축물이다. 농촌지역에서 쉽게 구할 수 있는 생태 건축 자재로 다른 자재에 비해 운송비 절감과 생산비 절감 등을 통해서 탄소 배출량을 줄일 수 있다.

La Casa Vergara		
	건축가 (개발팀)	José Andrés Vallejo (조세 안드레 발레조)
	Type	주택
	규모	1층
	구조	흙부대
	완공년도	2011

### 제로에미션 계획요소

친환경 자재 사용 - 흙 부대를 이용한 시공  
 흙을 이용하기 때문에 쉽게 구할 수 있고, 운송비 저감 및 운송시 발생하는 탄소 발생량 저감 효과

Hemp House		
	건축가 (개발팀)	Push Design
	Type	주택
	규모	2층
	구조	Hempcrete
	완공년도	2009

### 제로에미션 계획요소

친환경 자재 사용 - 대마를 사용한 시공  
 내부는 재활용 종이 패널 사용  
 600~800년의 긴 수명  
 창 프레임은 이전 창을 재활용

StrawBale Home		
	지역	멕시코
	Type	주택
	규모	2층
	구조	스트로베일
제로에미션 계획요소		
StrawBale을 사용하여 친환경적	태양광 패널 설치로 사막이라는 지형을 이용하여 태양에너지를 효율적으로 이용	
대나무를 사용하여 마루 시공 재활용 유리로 만든 조리대	우수 집수 시스템 설치	

Tiny Adobe Casita		
	지역	멕시코
	Type	주택
	총면적	11.15m <sup>2</sup>
	규모	1층
	구조	흙종이벽돌
제로에미션 계획요소		
흙종이벽돌을 사용하여 친환경적 저가의 초소형 주택이라는 장점	PV 패널로 자체에 충분한 전기와 물을 제공	

Earthship 브라이언트		
	건축가 (개발팀)	Nikolaos Meintanis
	Type	주택
	규모	1층
	구조	The Earthship structure
제로에미션 계획요소		
타이어 및 재활용 캔 및 유리병을 이용한 구조체 및 벽체 형성	큰 창문으로 열에너지를 충분히 획득	
태양 및 바람을 이용한 신·재생에너지로 전기를 생산하여 주택에 활용	생활용수를 재활용하여 재사용	

Phoenix Earthship		
	건축가 (개발팀)	Reynolds
	Type	주택
	규모	1층
	구조	The Earthship structure
제로에미션 계획요소		
타이어 및 재활용 캔 및 유리병 사용을 이용한 구조체 및 벽체 형성	낮에 흡수한 열 에너지를 밤에 방출하여 쾌적한 수준의 실내 온도 유지	
태양 및 바람을 이용한 신·재생에너지로 전기를 생산하여 주택에 활용	우수저장 장치를 활용으로 물 사용량 절감	

#### 다. 전통 경관 측면

명지대학교 실험한옥		
	건축가 (개발팀)	명지대학교
	Type	실험주택
	총면적	126.68m <sup>2</sup>
	규모	2층
	구조	전통식 중량 목구조
	완공년도	2012
전통한옥 개선요소		
개량 한식기와로 공기 단축 지붕가구구조 간략화 대단면 공학목재로 철물 프레임 보강 (기둥, 도리, 평방)	창호 시스템 개발로 단열 성능 및 시공성 확보 전통한옥 지붕의 외관 유형을 살림	

그린한옥		
	건축가 (개발팀)	한국건설기술연구원, (유)에스아이
	Type	주택
	총면적	300.26m <sup>2</sup>
	규모	지하1, 지상1층
	구조	한식 목구조
	완공년도	2012
전통한옥 개선요소		
고단열, 고기밀 당골막이, 창호, 벽체, 출입문으로 제로에너지 수준의 한옥 한옥 공사 기간 단축 및 건축비 반값 절약	지붕, 벽체, 창, 문, 온돌 등 핵심요소 기술을 표준화해 대량생산 가능	

**공주한옥마을**



건축가 (개발팀)	(주)채우림
Type	숙박
총면적	2,918.76㎡
규모	숙박동 7동, 저잣거리 10동
구조	목구조
완공년도	2010

**전통한옥 개선요소**

프리컷 공법으로 목재를 가공하여 공기 단축	경량 벽식 구조 사용으로 내화 및 차음성능, 수평 하중 저항성, 내충격성 강화 및 단열 성능향상
지붕의 경량화	높은 단열 성능의 시스템 창호 설치로 단열 성능 향상
방습지와 방수 보드를 사용함으로써 습기를 차단 및 기밀 시공으로 기밀성 향상	

**御立中**



건축가 (개발팀)	net_miyawaki
Type	주택
총면적	208.65㎡
규모	2층
구조	목구조
완공년도	2005

**전통 주택 개선 요소**

목재를 프리컷으로 가공하여 시공하기 때문에 공기 단축 및 인력비 저감	다다미 바닥을 사용하여 친환경적이며 습기에 강하고 진드기, 곰팡이 방지에 탁월
고기밀, 고단열 시공	페어유리를 사용

## 2. 시사점

영국의 경우 2016년에 신축하는 모든 건물들을 탄소제로를 법적으로 의무화한 것에 비해 국내는 2025년을 목표로 하고 있다. 이처럼 해외에서는 국내보다 앞선 기술과 정책들로 제로에미션하우스의 진행이 한발 더 앞서가 있는 상황이다.

해외에 지어진 제로에미션하우스는 기본적으로 자체적 에너지 생산과 주택의 에너지 사용 요구량 절감의 원리로 탄소 중립을 실천하였고, 기술적 요소로는 단열 및 고기밀 시공, 3중 창호 설치, 환기 장치 설치, 에너지 효율 가전제품 및 조명 설치, 우수를 활용한 물 사용량 절감, 신·재생에너지 활용 등이 있다. 또한 폐자재 활용 및 재활용 가능한 자재 사용과 지역에서 쉽게 구할 수 있는 지역자재 활용으로 건축자재 생산 및 운송과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 저감시키는 계획 요소들도 사용하고 있었다.

2025년 탄소제로 의무화를 위해서 국내에서도 농어촌지역에 적합한 계획요소 개발 및 실현화 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 1절 농어촌형 그린홈 표준모델 대안설계 및 가이드라인 작성

### 1. 지역특성별, 가족구성별, 생활양식별, 경제수준별 그린홈 표준모델 대안설계 및 스타일 가이드

#### 가. 지역특성별 구분

##### (1) 지역기준

건축물의 에너지절약 설계기준(국토교통부 고시 제2013-141호)에 따름

표 3 지역 특성별 지역 구분

특성	구분	지역
지역특성별	중부	서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도(영동군 제외), 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)
	남부	부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 충청북도(영동군), 충청남도(천안시 제외), 전라북도, 전라남도, 경상북도(청송군 제외), 경상남도, 세종특별자치시
	제주	제주도

##### (2) 열관류율 기준

건축물의 에너지절약 설계기준(국토교통부 고시 제2013-141호)에 따름

표 4 건축 부위 및 지역별 열관류율 기준

(단위 : W/㎡·K)

건축물의 부위	지역		중부지역	남부지역	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		0.270 이하	0.340 이하	0.440 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.370 이하	0.480 이하	0.640 이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.180 이하	0.220 이하	0.280 이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.260 이하	0.310 이하	0.400 이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.230 이하	0.280 이하	0.330 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.290 이하	0.290 이하	0.290 이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.350 이하	0.400 이하	0.470 이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.410 이하	0.410 이하	0.410 이하
바닥난방인 층간바닥			0.810 이하	0.810 이하	0.810 이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	1.500 이하	1.800 이하	2.600 이하
		공동주택 외	2.100 이하	2.400 이하	3.000 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	2.200 이하	2.500 이하	3.300 이하
		공동주택 외	2.600 이하	3.100 이하	3.800 이하

## 나. 가족구성별 구분

- 농어촌주택의 가족구성원 규모 구분 : 통계자료를 근거로 그린홈 표준모델 수요자 가족구성 분석
- 전국이나 읍부의 통계보다 실제 농어촌형 거주에 가까운 면부의 통계를 기준으로 함
- 1~2인 가족 이외에 기존 농어촌 거주가족이나 귀농 귀촌인의 3~4인 가족도 예상 수요자로 구분
- 1~2인형 : 독거노인, 부부, 민박용 증축형, 농막형, 연립생활형 등의 수요자
- 2~3인형 : 부부, 소가족, 민박형, 방문가족형 등의 수요자
- 3~4인형 : 1가족형 공동 생활공간 요구 수요자
- 3세대형 : 다세대 가족의 세대구분형, 방 구획형, 민박형 등의 수요자

표 5 년도별 농촌인구의 변화 추이

\* 자료 : (사)문화도시연구소, 도시민 유치를 위한 기존 농촌마을 정비방안 연구, 2007,농림부, p.21재구성

구분		1985	1990	1995	2000	2005	
전국	총인구(명)	40,419,232	43,390,272	44,553,301	45,983,421	47,274,722	
	연령별 (명)	15세 미만	12,094,890	11,134,215	10,235,504	9,638,756	8,986,128
		15~64세	26,574,793	30,093,818	31,677,592	32,972,859	33,690,088
		65세 이상	1,749,549	2,162,239	2,640,205	3,371,806	4,598,506
	총가구(세대)	9,571,361	11,354,540	12,958,181	14,311,807	15,887,128	
	지표 (%)	노령화지수	14.47	19.42	25.79	34.98	51.17
	인구부양비	52.10	44.18	40.65	39.46	40.32	
면부	총인구(명)	4,814,406	3,602,454	3,480,754	3,741,777	3,948,242	
	연령별 (명)	15세 미만	1,500,047	932,973	810,577	835,578	831,903
		15~64세	3,073,919	2,435,483	2,389,063	2,548,722	2,627,967
		65세 이상	240,440	233,998	281,114	357,477	488,372
	총가구(세대)	1,106,070	917,171	1,014,190	1,160,332	1,318,939	
	지표 (%)	노령화지수	16.03	25.08	34.68	42.78	58.71
	인구부양비	56.62	47.92	45.70	46.81	50.24	
면부	총인구(명)	9,187,176	7,497,842	6,080,760	5,600,645	4,849,152	
	연령별 (명)	15세 미만	2,760,133	1,690,215	1,118,328	906,073	663,511
		15~64세	5,710,836	5,037,956	4,117,858	3,681,584	2,961,969
		65세 이상	716,207	769,671	844,574	1,012,988	1,223,672
	총가구(세대)	2,134,493	1,974,952	1,912,013	1,921,999	1,823,249	
	지표 (%)	노령화지수	25.95	45.54	75.52	111.80	184.42
	인구부양비	60.87	48.83	47.67	52.13	63.71	

$$\text{노령화지수} = (65\text{세 이상 인구} / 15\text{세 미만 인구}) \times 100\%$$

$$\text{인구부양비} = [(65\text{세 이상 인구} + 15\text{세 미만 인구}) / 15\sim 64\text{세 인구}] \times 100\%$$

표 6 년도별 읍·면부의 가구원수별 가구 수 변화  
\* 자료: 통계청 2005년 인구주택 총 조사 재구성

행정 구역별	가구 원수별	1985	1990	1995	2000		2005	
		가구수	가구수	가구수	가구수	평균사용 방수	가구수	평균사용 방수
전국	총계	9,571,361	11,354,540	12,958,181	14,311,807	3.4	15,887,128	3.6
	1인	660,941	1,021,481	1,642,406	2,224,433	2.2	3,170,675	2.6
	2인	1,175,532	1,565,713	2,184,626	2,730,548	3.1	3,520,545	3.6
	3인	1,579,668	2,163,272	2,636,254	2,987,405	3.5	3,325,162	3.8
	4인	2,421,627	3,350,728	4,110,359	4,447,170	3.8	4,289,035	4
	5인	1,862,908	2,140,073	1,666,981	1,442,895	4.1	1,222,126	4.2
	6인	1,182,604	671,062	496,861	344,992	4.4	266,930	4.6
	7인이상	688,081	442,211	220,694	134,364	4.8	92,655	4.9
읍부	총계	1,106,070	917,171	1,014,190	1,160,332	3.5	1,318,939	3.7
	1인	73,729	82,133	134,665	180,340	2.4	252,907	3
	2인	130,733	132,161	198,423	251,203	3.2	330,731	3.7
	3인	175,661	165,374	200,460	234,516	3.6	262,800	3.9
	4인	261,750	244,888	284,649	328,450	3.8	331,117	4
	5인	212,766	178,973	128,928	118,759	4.1	105,315	4.2
	6인	151,757	62,762	44,030	32,581	4.5	25,855	4.6
	7인이상	99,674	50,880	23,035	14,483	4.9	10,214	5
면부	총계	2,134,493	1,974,952	1,912,013	1,921,999	3.4	1,823,249	3.8
	1인	159,638	215,753	322,227	401,475	2.5	478,007	3.2
	2인	311,657	397,058	531,013	589,572	3.1	631,681	3.8
	3인	339,620	344,668	346,414	333,198	3.6	291,698	4.1
	4인	424,644	402,873	367,707	340,581	3.8	255,119	4.2
	5인	381,317	343,126	209,323	165,623	4.2	111,278	4.5
	6인	296,510	148,408	85,338	60,246	4.6	37,661	4.9
	7인이상	221,107	123,066	49,991	31,304	4.9	17,805	5.2

표 7 진안군 귀농·귀촌인 가족별 현황

\* 자료 : 전북지역농업연구원, 귀농, 귀촌자 실태조사를 통해 본 귀농, 귀촌 정책의 방향 및 시사점 :진안군 사례를 중심으로, 2008, 지역농업연구원 지역과 농업 제3호, p.88 재구성

구 분	계	
	총 가구 수	비율(%)
가족단위	71	31
부부단위	55	24
개인단위	84	37
기 타	21	9
합 계	231	100

다. 생활양식별 구분

- 농어촌주택의 생활양식에 따라 생활유형 구분
- 주업이 농어업인 형태의 생활양식은 전업농으로 구분
- 농어촌에서 거주하되 주업이 농어업이 아닌 경우 텃밭농형, 전원생활형으로 구분
- 기존 주 건물에 추가로 방을 증개축 하여 별개의 목적으로 사용하는 경우 별채형으로 구분
- 전업농형 : 기존 농어촌 원주민·귀농인 등 주업이 농업인 형태의 거주
- 텃밭농형 : 귀촌인 및 은퇴형 등 소규모 농업인형 거주
- 전원생활형 : 출퇴근형 및 은퇴자형 등 소규모 농업인이나 전원생활 위주의 거주
- 별채형 : 농막, 민박형 등 단기간 체류형 거주

표 8 취농자의 취농 이유

\* 자료 : 김정호, 마상진, 신규 취농의 실태와 정착 과제, 2005, 한국농촌경제연구원, p.44~45 재구성

구 분	연 령(세)				전 체
	21~30	31~40	41~50	51~	
추구하는 가치를 위해	16(17.8)	60(37.5)	77(35.0)	31(29.0)	184(31.9)
농촌생활이 좋아서	19(21.1)	36(22.5)	50(22.7)	24(22.4)	129(22.4)
건강을 위해	4(4.4)	37(23.1)	50(22.7)	24(22.4)	115(19.9)
내 능력상 가장 적합	13(14.4)	7(4.4)	6(2.7)	2(1.9)	28(4.9)
미래 농업의 전망을 보고	9(10.0)	8(5.0)	6(2.7)	1(0.9)	24(4.2)
퇴직 후 여생을 위해	0(0.0)	8(5.0)	24(10.9)	19(17.8)	51(8.8)
도시의 저소득을 피해	11(12.2)	4(2.5)	3(1.4)	4(3.7)	22(3.8)
부모 영농승계	18(20.0)	3(1.9)	2(0.9)	1(0.9)	24(4.2)
사업실패, 실직 때문	0(0.0)	0(0.0)	2(0.9)	1(0.9)	3(0.5)
합 계	90(100)	160(100)	220(100)	107(100)	577(100)

복수 응답을 집계한 통계임

단위: 명, (%)

표 9 귀농자 가족구성원의 부업종사 여부

\* 자료 : 서울대, 한국농선회, 귀농자들의 농촌정착을 위한 프로그램 개발, 2000, 농림부, p.55

구분	빈도	백분율
본인	60	12.2%
배우자	108	22.0%
그 외 가족구성원	27	5.5%
없다	296	60.2%
합계	491	100%

단위: 명

라. 농어촌형 그린홈 표준모델 10개 유형

- 생활유형에 따라 전업농, 텃밭농, 전원생활형, 별채형으로 구분
- 가족구성별로 1~2인형, 2~3인형, 3~4인형, 3세대형으로 구분
- 생활유형 및 가족구성에 따라 선택 가능한 10개 유형 선정

표 10 농어촌 그린홈 표준모델 10개 유형

유형별 변수		가족구성별				
		1~2인형	2~3인형		3~4인형	3세대형
		독거/부부/ 민박(수익)	부부/1가족	부부/ 방 분리형	1가족	가족/세대구분
생활유형별	전업농	① 33m <sup>2</sup>	② 59m <sup>2</sup>	③ 84m <sup>2</sup>	⑥ 108m <sup>2</sup>	⑨ 105m <sup>2</sup>
	텃밭농			1R+1L+1R	3R+1L	
	전원생활	1R+1L	2R+1L	2R+1L	⑦ 100m <sup>2</sup>	2R+1L+1R
	별채형	⑩ 20m <sup>2</sup>		⑤ 84m <sup>2</sup>	⑧ 115m <sup>2</sup>	
		1R		2R+1L	3R+2L	
				+n*20m <sup>2</sup>		
				NR+nR		

마. 표준모델 10개 유형 계획특성

(1) 가족 구성별 표준모델 계획특성

표 11 가족 구성별 계획 특성

특성	구분	방구성	면적	특성
가족구성별	1~2인형	1R +1L	33m <sup>2</sup>	최소면적, 거실+방1, 전업농, 텃밭농, 전원생활용 공통 2가구 이상 연립구성 가능(공공임대, 집짓기 자원봉사 등)
		1R	20m <sup>2</sup>	입체적, 평면적 수납공간 계획 증축형, 별채형 수익모델, 농막형 운영 가능
	2~3인형	2R + 1L	59m <sup>2</sup>	최소면적으로 방2개형 모델 입체적 수납공간 마련
		1R+1L +1R	84m <sup>2</sup>	공식적 출입동선(현관)과 작업자 출입동선 구분 주 생활공간과 부 생활공간을 분리하여 사용 가능
	3~4인형	3R	100,105, 108,115m <sup>2</sup>	외부 활동공간의 적극적인 활용(데크, 작업공간 등)
				1~2가족이 사용하거나 민박, 방문가족용으로 사용 가능
	3세대형	2R+1R	105m <sup>2</sup>	1가족 전원/농가용 주거
				방들 간의 프라이버시 확보로 다 세대 거주 가능 세대 간 확실한 공간 구분 가능
				유사시 민박, 방문가족용으로 사용 가능

(2) 생활양식별 표준모델 계획특성

표 12 영농 형태별(생활양식별) 계획 특성

특성	농가형	비 농가형
공통사항	- 두 개의 출입동선을 계획 : 현관을 통한 공식 출입구와 작업자의 출입구를 분리	
동선계획	- 작업마당-다용도실-주방으로 이어지는 작업자의 동선 강조 - 현관을 공식적인 동선으로 사용 - 두 동선을 같은 방향에 배치	- 현관을 통한 공식적인 출입구 강조 - 다용도실을 통한 부출입 작업동선 계획
평면계획	- 작업마당-다용도실(창고)을 연계한 작업의 편리성이 강조된 평면	- 전원생활 중심 - 식당과 연계된 전원생활공간(데크) 필요
주요개념		
생활유형별	작업장형: 단층의 땀자형 작업장(중정)과 창고 연계, 별도의 출입동선 계획 창고형: 필로티 하부공간을 이용한 작업장/창고 별채증축형: 주 거주공간 이외에 별도로 추가 증축 가능, 민박 및 방문객 등을 위한 이용 가능	텃밭농형: 단층의 작업자 동선 고려, 외부 공간과의 연계성 우선 고려 전원생활형: 2층 전원주택

(3) 농어촌형 그린홈 표준모델 10개 유형 계획 개요

표 13 1~2인가족형\_생활형의 특성 및 평면

구분	① 1~2인가족형_생활형	개요	- 면적 : 33m <sup>2</sup> - 방 : 1R+1L
특성	- 1~2인의 가족이 거주할 수 있는 원룸형 주택 - 전업농, 텃밭농, 전원생활 등이 가능한 공간 구조 - 거실 + 방1개 구성으로 최소규모의 주택 - 2가구 이상 연립구성 가능 (공공임대, 집짓기 자원봉사 등) - 화장실에 욕조 대신 세탁기 설치 - 입체적 수납공간 계획 : 다락, 시렁 - 현관 옆 헛간 : 작업복 환복하는 다용도공간	개념	
평면도			

표 14 2~3인가족형\_1가족형의 특성 및 평면

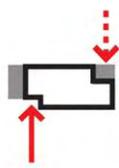
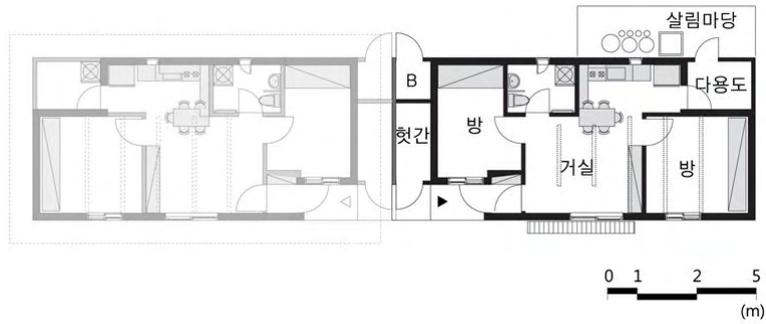
구분	② 2~3인가족형_1가족형	개요 - 면적 : 59m <sup>2</sup> - 방 : 2R+1L
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2~3인의 가족이 거주할 수 있는 농가형 투룸 주택</li> <li>- 전업농, 텃밭농, 전원생활 등이 가능한 공간 구조</li> <li>- 최소면적으로 방 2개</li> <li>- 화장실을 사용 요구에 따라 세탁기나 욕조 설치 선택 가능</li> <li>- 입체적 수납공간 계획</li> <li>- 공식적 출입동선(현관)과 작업자 출입동선 분리</li> <li>- 살림마당 후면에 배치</li> </ul>	개념 
평면도		

표 15 2~3인가족형\_전업농형의 특성 및 평면

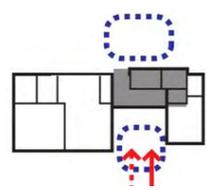
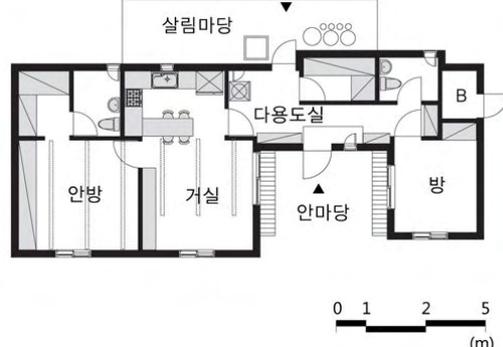
구분	③ 2~3인가족형_전업농형	개요 - 면적 : 84m <sup>2</sup> - 방 : 1R+1L+1R
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2~3인의 가족 혹은 1~2인 가족이 거주하는 전업농형 주택</li> <li>- 2~3인의 가족이 사용할 경우 각 방 별 프라이버시 확보</li> <li>- 1~2인 거주 시 건너방은 민박이나 방문가족용으로 사용 가능</li> <li>- 본채와 건너채 사이 반실내 작업마당을 둠</li> <li>- 따로 현관이 없이 작업자 중심 공간배치</li> <li>- 수납/다용도 공간중심으로 본채+건너채 연결</li> </ul>	개념 
평면도		

표 16 2~3인가족형\_덧발농형의 특성 및 평면

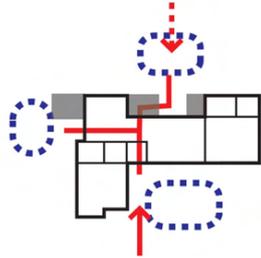
구분	④ 2~3인가족형_덧발농형	개요	- 면적 : 84m <sup>2</sup> - 방 : 2R+1L
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2~3인의 가족 혹은 1~2인 가족이 거주하는 덧발농형 주택</li> <li>- 1~2인 거주 시 건너방은 민박이나 방문가족용으로 사용 가능</li> <li>- 덧발농을 위한 부출입 동선 계획</li> <li>- 다양한 외부 마당(식당 앞 데크, 거실 앞 뒷마루/데크)</li> <li>- 안방/사랑방 개념</li> <li>- 대지조건에 따라 다용도실, 보일러실 등 부가실 위치 변경가능</li> <li>- 외부 활동을 위한 다양한 공간 마련</li> </ul>	개념	
평면도			

표 17 2~3인가족형\_전원생활형의 특성 및 평면

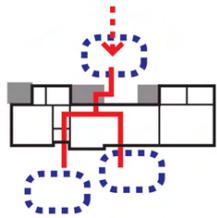
구분	⑤ 2~3인가족형_전원생활형	개요	- 면적 : 84m <sup>2</sup> - 방 : 2R+1L
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2~3인의 가족 혹은 1~2인 가족이 거주하는 덧발농형 주택</li> <li>- 1~2인 거주 시 건너방은 민박이나 방문가족용으로 사용 가능</li> <li>- 전원생활 중심</li> <li>- 각 방을 분리하여 방문가족용으로 사용 가능</li> <li>- 각 방의 프라이버시 중시</li> <li>- 주방, 식당이 생활의 중심으로</li> <li>- 가사동선 단순화</li> <li>- 전면데크 설치(외부 식사공간)</li> </ul>	개념	
평면도			

표 18 3~4인가족형\_전업농형의 특성 및 평면

구분	⑥ 3~4인가족형_전업농형	개요 - 면적 : 108㎡ - 방 : 3R+1L
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3~4인의 한 가족이 거주하는 전업농형 주택</li> <li>- 다양한 외부활동을 위한 공간 제공</li> <li>- 필로티형 주택</li> <li>- 1층에 창고, 작업장 등 계획</li> <li>- 1층 추가 증축공간 마련</li> <li>- 2층에 전원생활용 주택</li> <li>- 2층에 데크 및 살림마당 등 외부공간 연계</li> </ul>	개념 
평면도		

표 19 3~4인가족형\_덧발농형의 특성 및 평면

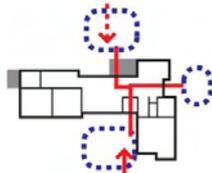
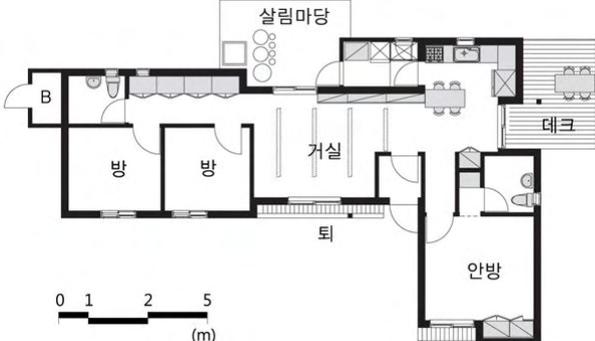
구분	⑦ 3~4인가족형_덧발농형	개요 - 면적 : 100㎡ - 방 : 3R+1L
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3~4인의 한 가족이 거주하는 덧발농형 주택</li> <li>- 어린 자녀가 있는 젊은 가족이 주요 대상</li> <li>- 부모방과 자녀들의 방을 분리</li> <li>- 덧발농을 위한 부출입 동선 계획</li> <li>- 다양한 수납공간, 자녀방, 옷장, 이불장, 식품창고</li> <li>- 방 전부/일부에서 다락 사용 가능</li> </ul>	개념 
평면도		

표 20 3~4인가족형\_전원생활형의 특성 및 평면

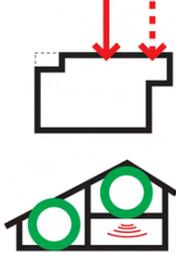
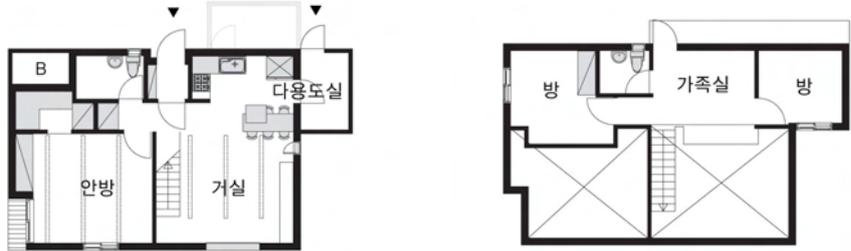
구분	⑧ 3~4인가족형_전원생활형	개요 - 면적 : 115㎡ - 방 : 3R+2L
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3~4인의 한 가족이 거주하는 전원생활형 주택</li> <li>- 작은 대지 큰 주택</li> <li>- 2층 별도의 가족공간 설치</li> <li>- 다용도실 배치의 가변성</li> <li>- 2층 하부에 서비스 공간 배치</li> <li>- 층간소음 방지(프라이버시 확보)</li> <li>- 북측 진입/남측 전용 마당 사용 가능</li> </ul>	개념 
평면도		

표 21 3세대형\_다목적형의 특성 및 평면

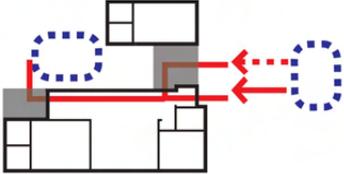
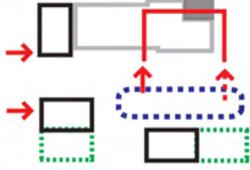
구분	⑨ 3세대형_다목적형	개요 - 면적 : 105㎡ - 방 : 2R+1L+1R
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 세대 구성이 다양한 경우 선택가능한 주택</li> <li>- 전업농, 텃밭농, 전원생활 등이 가능한 공간 구조</li> <li>- 2~3인 거주 시 건너방은 민박이나 방문가족용으로 사용 가능</li> <li>- 전업농에 편리한 진출입 동선 제공</li> <li>- 중간마당 구성(외부공간 활용/살림마당)</li> <li>- 현관 배치의 가변성</li> <li>- 각 세대별 공간 분리</li> </ul>	개념 
평면도		

표 22 1~2인형\_별채형의 특성 및 평면

구분	⑩ 1~2인형_별채형	개요	- 면적 : 20m <sup>2</sup> - 방 : 1R
특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1~2인이 거주할 수 있는 최소 규모의 원룸형 별채</li> <li>- 농어촌 체험을 위한 민박주택 여러 채 연립 가능</li> <li>- (본채)+민박동으로 증축</li> <li>- 방/주방+화장실 구성의 최소공간</li> <li>- 농어촌 공간정취를 느낄 수 있는 툇마루 설치</li> <li>- 지형과 기존 건축물의 상황에 따라 다양하게 건축 가능</li> </ul>	개념	
평면도			

바. 경제수준별 구분

난방에너지 절감량에 따른 단계별 구분: 친환경주택의 성능기준 대비

표 23 난방에너지 절감량에 따른 단계별 구분

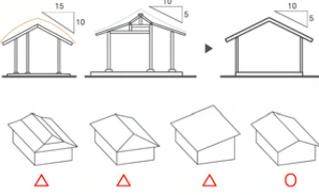
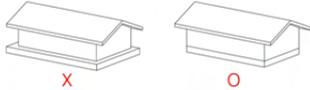
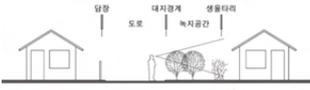
특성	구분		특성(옵션)	비고(표준주택 대비)
	성능별	Level		
경제수준별	저에너지형	1 경제형	화학제품(친환경인증)을 사용	30%절감형
		2 생태형	생태재료를 사용	
	패시브형	3 경제형	화학제품(친환경인증)을 사용	저에너지형 + 패시브형 에너지 절감 10%
		4 생태형	생태재료를 사용	
	제로에너지형	5 경제형	화학제품(친환경인증)을 사용	패시브형 + 신·재생에너지 생산
		6 생태형	생태재료를 사용	
	제로에너지형	7 생태형	생태재료를 사용	제로에너지형 + 자립형 급배수 설비

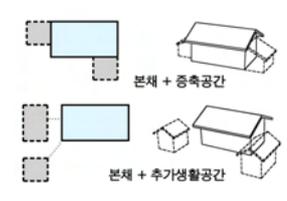
사. 농어촌형 그린홈 표준모델의 대안선택 가이드

1단계	2단계	3단계	4단계	5단계
유형결정	▶ 특성 확인	▶ 평면 확인	▶ 지역선택 or 유형 재선택	▶ 경제수준별 선택
1단계 체크사항	2단계 체크사항	3단계 체크사항	4단계 체크사항	5단계 체크사항
거주인원	▶ 방 사용 특성	▶ 실내 공간구성	▶ 중, 남부, 제주	▶ 주택 요구 성능
생활유형	▶ 외부공간 연계성	▶ 실외 공간구성		

## 아. 농어촌형 그린홈 표준모델 스타일 가이드

표 24 농어촌형 그린홈 표준모델 스타일 가이드

항목	기준	비고
형태계획의 예시		
형태	<p>경사지붕, 부가형 지붕, 물매 3:2 ~ 2:1(25~30도)                      처마의 길이는 일사 조절에 유리한 900 내외로 설치.                      팔작지붕, 우진각지붕은 공사비의 여유가 있을 때 설치.                      평지붕 및 외경사 지붕은 지양.                      맞배지붕을 지향하되 박공부분을 실내 공간으로 활용</p>	
기단	<p>전통적 개념의 기단은 불필요. 건물 상하비례는 재료의 구분으로 보완. 기능상 지면과 300 이격</p>	
덧집	<p>자연스러운 부가형 건물 및 경사지붕으로 기존 농어촌 경관 유지하기.                      마당을 감싸듯 배치하되 주 호에 일사영향을 주지 않는 위치에 주 호의 재료 및 형태와 통일감을 가지도록 계획</p>	
배치		
주향	<p>한국의 기후에 맞는 &lt;남남동향&gt; 사면을 등지고 배치                      보행자를 위한 녹지공간 확보 후 담장(자연재료)설치.                      각 주호의 내부 마당을 만들 수 있도록 배치</p>	
건물의 위치	<p>대지 외부 녹지공간 확보 후 배치. 주 호를 감싸며 마당을 이루도록 배치</p>	
옥외시설	<p>담장은 생울타리를 지향하고, 주택 내 그림자의 영향이 없도록 창 아래에서 25도 각도 외부에 조경. 동서측 차광림 식재. 북측 방풍림 식재. 남측 차폐림 식재                      수종은 지역에서 잘 자라는 수종을 고르고, 남측에는 활엽수, 북쪽에는 침엽수를 식재</p>	

재료	재료사용의 예시	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>지붕</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>· 경사지붕 : 각도 26.51°</li> <li>· 원료: 컬러강판, 징크, 기와-무채색</li> <li>· 처마 0.9M 내외</li> <li>· 태양광 집광판</li> </ul> </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> <b>확장형 뿔마루</b>          · 선택 Option       </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> <b>데크</b>          · 방부 헴퍼데크       </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> <b>외벽</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>· 재료: 시멘트 사이딩</li> <li>· 색: 사용자 지정색 마감</li> <li>· 태양열 집열판</li> </ul> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> <b>외부마감재</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>· 경제성: 시멘트사이딩 &gt; 방부목 사이딩 &gt; 드라이버트 &gt; 치장별들</li> <li>· 미려함: 치장벽들 &gt; 드라이버트 &gt; 방부목사이딩 = 시멘트사이딩</li> </ul> </div> </div> </div>	
	외벽	기존 농어촌 경관을 방해하는 고채도의 재료 지양	
지붕	농어촌 경관을 균일성 있도록 하기 위한 재료 사용.		
기단 등	통일성 있는 마을풍경을 만드는 저채도의 재료 사용.		
노출설비	기단부는 최대한 드러나지 않도록 회색계열 재료 사용.		
노출설비	배관, 환기구, 물받이는 튀지 않는 색깔의 재료를 사용하거나, 진한 무채색계열을 사용.		
창호	색상	목재나 진한 회색계열의 색으로 튀지 않도록 계획	
	크기	남측 창은 크게 하여 개방감을 높이고, 동서측 창은 최소화 하며, 북측 창은 남측창과 맞통풍이 되도록 설치	
시설물	신재생설비	태양광발전설비는 지붕 물매에 맞추어 지붕면에 직접 설치하고, 태양열설비는 벽면에 설치.	태양광판 사진
	부가적인 시설	최대한 눈에 띄지 않는 위치 및 재료, 색상 사용.	
단지	단지조성의 예시		
	배치	이웃 건물 및 자연과의 연속성 고려. 규모, 형태, 색채를 통한 통일성 고려.	
	개별 호	어느 마을에도 어울리는 가장 평범한 형태 지향 추가 공간 증축 시 주 호와 유사한 형태 지향	
실내	마감재	친환경인증 제품을 사용하고, 자연재료의 사용 지향	
	색상	튀지 않는 무채색계열, 특히 흰색사용 지향. 수성 도료를 사용하여 반사하지 않고 유지관리 용이성 고려. 목재 사용 시 무독성 스테인 사용.	
	설비, 배선 등	구조체 매입형을 지향하고, 마감재료의 색상과 동일한 색상 사용.	

## 2. 농어촌의 지역적 상황을 고려한 유연한 평면계획\_10개 유형 평면도(부록 I 참고)

### 평면계획의 기본 원칙

표 25 평면계획 원칙

평면계획의 원칙		
구분	계획사항	비고
향	모든 방과 거실은 남향(남남동)향으로 배치	
	일반적으로 현관은 남쪽 마당에서 진입	작업자의 출입구와는 분리
부엌-거실의 관계	부엌은 거실에서 시야 차단 / 공간적으로는 열림	면적이 클수록 개념 가중
부엌-다용도실의 관계	부엌-다용도실 인접배치, 동선 연결	현관을 통한 공식 출입동선과 분리
실내-외의 관계	매개공간 등을 통하여 다양한 출입동선 계획	매개공간을 통한 작업, 수납 가능
다용도실 계획	세탁기, 김치냉장고, 수전, 상부선반 배치계획	1~2인 가족형은 제외
살림마당 계획	부엌 및 다용도실과 연계한 외부공간	외부 수전 설치 1~2인 가족형은 가변적 계획 가능
층고	거실은 다른공간(평균 2400)에 비해 높게 계획	지붕분절에 반영/지붕 높낮이 변화
뒷마루 설치	거실앞에만 뒷마루/쪽마루 계획	입면계획에 반영
뒷마루 규격	거실 앞 450 이상 벽면 창문과 연계하여 설치	
신발장의 위치	깊이는 300, 현관문 안쪽 벽에 위치	
각 실의 위계	면적이 클수록 면적 가중	안목치수 기준
수납공간	충분한 수납공간 계획(거실, 복도, 방, 주방)	벽장 및 천장 상부 수납공간
출입문	외부와 통하는 공간의 창문, 출입문은 900이상	외부와 직접적인 연계 중심
	화장실 다용도실 등 출입문은 800이하	
창문	정면의 창문은 개방감이 큰 창, 측면 창문은 최소화, 맞통풍 고려 배면 창호 계획	각 호의 벽면적에 비례하여 계획
증축고려	추후 부가적인 공간을 증축할 때 ㄱ자 또는 중정형성이 가능하도록 고려	

### 3. 실험주택의 모델별 농어촌형 그린홈 표준모델 가이드라인 작성

본 장에서는 농어촌형 그린홈 표준모델을 위하여 패시브하우스 수준의 주택과 제로에너지 및 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up에 준하는 표준모델을 설계 및 시공하기 위한 가이드라인을 제시한다.

본 연구에서는 실험주택으로 시공된 철근콘크리트 구조와 경량목구조의 구조체만을 선정하여 설계와 시공시 필요한 가이드라인을 제시하며 각 구조체의 형태를 예시로 제안한다.

또한 가이드라인을 통한 통합운영방안을 마련하고 통합운영을 위한 정부차원의 지원방안 및 운영제도, 사업화 방안을 제시한다.

본 표준모델은 일반주택에서 적용하지 않는 투자비용이 발생되므로 일반적 보급화를 위한 제도적 방안 및 지원방안이 필요하므로 경제적 지원방안 및 사업화에 필요한 방안들을 제시한다.

#### 가. 실험주택의 모델별 농어촌 그린홈 설계 가이드라인

- 실험주택은 철근콘크리트 구조와 경량목구조 형태의 주택 설계 가이드라인을 기준으로 제시한다.
- 에너지 절감을 위한 설계 가이드라인을 중점적으로 권장하며, 부위별 설계방안을 제시한다.

표 26 실험주택의 모델별 설계 가이드 라인

구 분		설계가이드라인
철근 콘크리트 구조 및 경량 목구조 공통	규모구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 패시브하우스 또는 제로에너지 하우스 설계 시 면적단위 에너지 성능분석을 실시하므로 3인 가족 기준 약 25~30py형을 기준으로 건축면적을 수립함</li> <li>· 에너지 절감을 위하여 30py형 이상의 규모에서는 1층 규모의 건축물보다 2층 규모 건축물 조성이 에너지절감에 효과적임</li> <li>· 높은 평수의 주택은 2층 구조를 권장함</li> </ul>
	평면구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주거인원과 규모에 따라 평면구성을 다양하게 계획할 수 있으나 3인 가족 이하의 소규모주택에서는 외피와 체적관계에 따라 장방형 또는 정방향 형태 평면구성을 권장함</li> <li>· 기타 요철이 발생하는 평면형태는 외피의 열손실이 증가하므로 에너지 성능측면에서 비효율적임</li> </ul>
철근	지붕형태	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신축시 에너지 저감측면에서는 외피면적을 줄일 수 있는 평지붕을 권장함 단, 평지붕 조성시 누수에 대한 대책을 미리 세워서 평지붕을 구현함</li> <li>· 외부디자인 형태와 농어촌 주택의 시각적 요인을 고려할 경우 박공지붕 또는 경사지붕을 권장함.</li> <li>· 단층 건물일 경우 지붕의 처마를 이용하여 여름철 냉방부하를 저감할 수 있는 형태를 권장함</li> <li>· 일부 박공지붕이 조성된 건축물 중 디자인을 고려하여 처마를 제거한 지붕 형태가 나타나고 있으나 이러한 주택은 별도의 차양장치를 적용해야함</li> </ul>

콘크리트 구조	바닥구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 바닥면으로 손실되는 에너지를 방지하기 위하여 습기에 강한 단열재를 바닥 구조체에 포함하여 설계함</li> <li>· 바닥구조체의 외부를 단열재로 감싸는 구조방식을 권장함 또는 줄기초방식일 경우 지중으로 수직형 단열재를 설치하는 방식으로 디자인함</li> <li>· 바닥구조체 단열두께는 XPS단열재 또는 습기에 강한 단열재로 200mm 이상 설치하는 것으로 설계를 권장함</li> <li>· 지층에서 발생되어 구조체에 영향을 주는 습기차단을 위한 설계요소를 제안함 (습기차단막의 위치선정 필요)</li> </ul>
	외벽구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 패시브하우스 기준 외벽 열관류율을 0.15W/m<sup>2</sup>·K 이하로 설계함 XPS (열전도율 0.029W/mK)단열재는 약 190mm이상, EPS단열재 (열전도율 0.032W/mK)는 약 210mm이상을 권장함</li> <li>· 외단열 미장공법을 적용한 외벽구조체 디자인을 권장함 치장벽돌을 적용한 외단열공법은 전체적인 열교로 인한 평균 열관류율이 높아질 수 있음</li> <li>· 단열재 적용시 구조체와의 접착면에 공극이 발생하지 않는 공법으로 설계 권장, 공극발생시 내부 구조체의 온도변화분포에 따라 결로발생이 우려됨</li> <li>· 동일한 외벽면에 상이한 구조의 외벽구조체를 적용할 경우 연결부위의 연속적 단열선이 유지되도록 함. 단열선이 끊길 경우 내부 결로와 에너지 손실이 발생됨</li> <li>· 구조체 자체 기밀성이 유지되는 단열재 취부형태로 디자인함</li> </ul>
	지붕구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지붕구조체 재료에 따라 형태를 고려하여 설계함 중량식구조에 경량목구조를 결합한 구조는 결합부위의 단열선 연결방안을 제시해야 함</li> <li>· 경량목구조와 결합하는 지붕 구조체는 구조재 자체의 열교를 차단할 수 있는 구조재의 교차 구성법으로 설계를 권장함. 구조재에 의한 내부 결로 및 에너지 손실이 많이 발생되므로 추가적인 단열 방안을 반영해야함</li> <li>· 평지붕 구조체일 경우 경량목구조보다 중량식 구조를 권장함 방수와 누수에 대한 대책을 제시함</li> <li>· 중량식 구조체에서는 설계시 평지붕 구조체에서 발생하는 난간 또는 파라펫의 구조적 열교를 차단할 수 있는 형태로 설계를 실시함</li> </ul>
	재료구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 내부마감재는 기밀한 주택을 고려하여 화학성분이 최소화 된 재료 또는 천연재료를 선정하여 적용함</li> <li>· 외부 마감재는 천연재료(목재, 황토 등)를 주로 적용하여야 하며, 외단열 미장공법을 위한 상세설계를 제시해야함</li> <li>· 단열재 또는 마감재의 부착시 탈락이나 내부 결로가 발생하지 않는 형태를 제시함</li> <li>· 단열재 적용 설계에서는 형태와 적용부위에 맞는 단열재를 선정하여 제안하고 이질단열재 적용시 결로 및 기밀성능에 대한 대책을 마련함</li> </ul>

경량 목구조	지붕형태	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 목구조 구조상 박공지붕 또는 경사지붕을 권장함</li> <li>· 경사지붕 구성시 신·재생에너지의 적용여부에 따라 박공면의 경사를 고려하여 디자인함</li> <li>· 파라펫이 있는 평지붕 구성시 구조체간의 누수를 대비한 연결부위 상세도를 제공해야함 (누수대책도면 또는 구체방수도면 제시)</li> </ul>
	바닥구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 줄기초와 매트기초로 나누어 적용할 수 있으며 지반에 단열을 하지 않을 경우 줄기초를 권장함 매트기초시 추가적인 자재의 소요가 발생됨</li> <li>· 줄기초 구성시 바닥면 상부에 내단열 형태로 단열재를 구성하도록 설계함</li> <li>· 바닥구조체의 습기 대책방안을 제시해야함</li> <li>· 하부 기초구조에서 외벽의 연결부위 방수를 위한 설계적용</li> <li>· 바닥구조체 단열재의 종류에 따라 내부 바닥 목조구성 또는 시멘트몰탈 마감여부를 고려해야함</li> <li>· 비용적 측면과 내부 축열용량을 고려했을 때 바닥 시멘트몰탈 또는 황토몰탈 적용 설계를 권장함</li> </ul>
	외벽구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외벽 구조목에 의한 열교제거 디자인 대책을 제시해야하므로 외벽 추가적인 단열재 교차시공을 권장함</li> <li>· 구조체 내부의 결로를 방지하기 위한 통기층 적용을 권장함 또는 내부 레인스크린을 권장함</li> <li>· 단열재의 종류(재료 및 열전도율)에 따라 외벽을 구성할 수 있으므로 종류별 단열재 두께를 산정하여 적용함</li> <li>· 내부의 습기전달 차단 설계를 적용함</li> <li>· 외부의 습기 배출 및 외벽 방습설계를 적용함</li> <li>· 지붕면과 외벽면의 열교발생이 우려되는 부위는 구조체의 교차부위, 이음부위, 연결부위 이므로 상세설계를 통하여 열교를 제거하는 것을 권장함</li> </ul>
	지붕구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지붕면 목재 열교차단을 위해 구조목의 교차시공법을 설계 반영</li> <li>· 지붕면과 외벽면이 연결되는 부위의 단열선이 끊어짐이 없는 디테일 권장</li> <li>· 외벽과 동일한 단열재를 적용하여 설계하는 것을 권장함</li> </ul>
	재료구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생태단열재(훈탄, 왕겨, 스트로베일 등)와 일반섬유형 단열재 (유리섬유, 암면, 셀룰로오스 등)를 선정할 경우 재료별 열관류율을 고려하여 적용함</li> <li>· 외벽과 내벽은 OSB를 적용하고 습기방지 및 투수에 대한 재료를 선정함 (투습방습지, 투습방수지, 투습테이프, 방습테이프 등)</li> <li>· 외부마감재료는 농어촌형 마감을 고려하여 벽돌, 황토미장, 석재판 등을 사용한 자연재료로 마감하고 농촌지역에 부합되는 외벽을 구성하도록 함</li> </ul>

## 나. 실험주택의 모델별 농어촌 그린홈 시공 가이드라인 마련

- 실험주택의 모델별 시공가이드 라인을 중점적으로 제시하며 에너지 절감에 필요한 시공방안 및 재료를 권장하여 제시한다.

표 27 실험주택의 모델별 시공 가이드라인

구 분	시공 가이드라인
철근 콘크리트 구조	<p>· 지붕형태는 평지붕과 외경사 지붕, 박공지붕 등으로 분류함</p> <p>① 평지붕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 지붕외단열 공법을 적용하고 2중 방수공사를 권장함</li> <li>- 방수공법은 비노출형 액체방수 및 우레탄방수와 노출형 우레탄방수를 권장함 (열융착 시트방수도 가능)</li> <li>- 파라펫과 이어지는 외벽면의 방수공사 권장</li> <li>- 파라펫 구성재질은 alc블럭쌓기 또는 단열성이 우수한 재질로 파라펫 구성 권장</li> <li>- 파라펫 단열시 외벽단열재와 동일한 단열재료를 선정하여 적용함</li> <li>- 파라펫 최상단 난간부위는 후레싱을 이용하여 구조체와 단열재 사이의 물침투를 방지함 (al 후레싱 또는 칼라강판 후레싱 권장)</li> </ul> <p>② 외경사 지붕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 경사가 낮은 지붕면에 빗물받이 설치시 홈통의 구경선정 (집수면적 계산후 적용)</li> <li>- 콘크리트 지붕단열시 외단열 공법을 권장하며, 지붕재질에 따라 단열재 고정방법을 변경할 수 있음</li> <li>- 지붕구조체로 습기 및 빗물 침투를 방지하기 위한 구조체 방수시공 권장</li> <li>- 지붕구조체에 의한 열교방지를 위하여 지붕경사 차양은 목구조 또는 이어붙임 처마를 권장함</li> <li>- 이어붙임 처마가 어려울 경우 창호의 개별 차양 설치를 권장함</li> <li>- 지붕목구조일 경우 처마일체형 차양으로 권장</li> <li>- 지붕목구조는 지붕구조체에 의한 열교방지를 위하여 구조재 교차시공을 권장함</li> <li>- 지붕의 습기 이동에 대한 대비책으로 내부는 투습방습지, 외부는 투습방수지 설치를 권장함</li> <li>- 따뜻한 지붕면을 위하여 지붕단열재 상부에 통기층 형성 권장</li> <li>- 서까래 내에 조성되는 기존 통기층은 기밀성능이 떨어지고 습기의 침투가 일어나므로 지양함</li> </ul> <p>③ 박공지붕</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 콘크리트 구조체일 경우 외부 단열재 취부 공법을 미리 선정하여 시공함</li> <li>- 단열재 시공 공법으로 단열재 외부 단열파스너 고정방법과 각재 연결 고정 방법, 철재 연결 고정방법을 사용할 수 있으며, 이중 외부 단열파</li> </ul>

		<p>스너 고정방법과 각재 연결 고정방법을 권장함</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 각재 연결 고정방법은 상부의 최종 마감을 타 재료로 사용할 경우 권장함</li> <li>- 경량목구조일 경우 구조재 교차시공을 권장함</li> <li>구조재에 의한 열교방지에 효과적임</li> <li>- 처마를 이용한 차양깊이를 조절할 것을 권장함</li> <li>- 처마 길이에 따라 여름철 겨울철 냉난방에너지의 손실량이 달라지므로 시뮬레이션을 통한 평면별 길이를 산정할 것을 지향함</li> </ul>
	바닥구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 줄기초와 매트기초로 나누어 시공할 수 있으며 지반안정화가 빠른 곳은 줄기초를 권장하며, 지반안정화가 필요한 곳은 매트기초를 권장함</li> <li>· 기초부에 적용되는 단열재는 내수성을 가진 XPS 단열재를 권장함</li> <li>· 매트기초에서 동결심도를 고려한 단열재 설치를 위하여 수평단열재를 지반에 설치하는 것을 권장함</li> <li>· 줄기초의 동결심도를 고려하기 위하여 수직단열재를 설치할 것을 권장함</li> <li>· 줄기초와 매트기초 모두 설치단열재의 배수체계 확보를 실시할 것을 권장함</li> <li>· 바닥면에 설치되는 단열재는 바닥 슬래브를 기준으로 상하부로 나눌 수 있으며 경량목구조 건축구조에서는 슬래브 상부에 설치하는 것을 권장함 (경량목구조는 구조적으로 슬래브와의 열교부위가 발생할 수 있으므로 내 단열 바닥면 단열을 실시하는 것이 효율적임 )</li> <li>· 철근콘크리트 구조에서는 바닥슬래브 하단에 단열재를 설치하는 것을 권장함 (구조체 외부로 단열재를 취부하는 방식이므로 단열의 연속에 유리함)</li> <li>· 바닥슬래브 설치시 하부에서부터 발생하는 습기를 방지하기 위하여 슬래브하단 습기 방지사공을 권장함</li> </ul>
	외벽구조체	<p>① 철근콘크리트 외벽구조체</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 외벽단열 방식은 외단열, 내단열, 중단열 구성이 가능하며 외단열 방식을 권장함</li> <li>(외단열 방식은 구조체의 열흐름이 구조체내부에서 결로발생이 적고 내부 축열 효과가 높음 )</li> <li>· 외단열 시공시 구조체 선시공 후 단열재 후 시공방법이 있으며, 단열재 구조체 일체형 시공방법이 있음. 시공과 기밀, 일체형 구조체로 단열재 일체형 시공을 권장함</li> <li>· 외단열 시공 후 외부의 발코니 또는 차양장치 시공시 단열 파스너를 이용한 연결부위의 열교를 방지해야 함</li> <li>· 내단열 또는 중단열을 실시할 경우 열교부위 및 열교지역을 검토하여 열교를 제거한 형태로 시공해야함</li> </ul> <p>② 경량목구조 외벽구조체</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 경량목구조는 내부가 단열재로 채워지는 형태로서 단열재 내 습기의 이동을 차단할 수 있는 기밀층 형성을 권장함</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단열재는 섬유형 단열재를 권장하며 구조재와의 이격 또는 박리가 발생하지 않는 형태로 단열을 실시함</li> <li>· 외부의 벽체는 OSB를 위주로 구성하고 본 외벽의 습기침투를 방지하기 위한 투습방습지 설치를 권장함</li> <li>· 내부는 가변형 투습방습지 또는 투습테이프를 이용하여 실내 기밀 및 습기로 인한 하자발생을 미연에 방지함</li> <li>· 외벽의 스티드 목재로 인한 열교방지를 위하여 외벽구조재를 교차 시공하는 것을 권장함</li> <li>· 외벽 마감재와 외벽의 판재가 고정되는 부분의 열교를 방지하기 위하여 단열 파스너 시공을 권장함</li> </ul>
	재료구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외부마감재료는 천연재료 인 나무와 황토, 천연몰탈, 석재 등을 사용하며 외부의 디자인 형태와 부합되도록 시공함</li> <li>· 외부 나무마감을 할 경우 수성 오일스테일과 바니쉬를 시공하여 내구성을 높이도록 함</li> <li>· 외벽의 통기층 형성을 통하여 구조재 및 단열재의 내구성과 효율을 높임</li> <li>· 내부재료는 기밀한 주택을 고려하여 화학성분이 최소화 되거나 화학성분이 없는 재료를 적용함</li> <li>· 천연재료 및 천연도료, 황토 미장, 황토몰탈 등 적용을 권장함</li> <li>· 단열재 역시 천연재료를 이용한 1차 가공만 거친 천연물을 주로 적용하고 추후 폐기시에 폐기물로 배출되지 않는 단열재를 권장함 (왕겨, 훈탄, 셀룰로오스, 목섬유, 대마섬유 등)</li> </ul>
경량 목구조	지붕구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 경량목구조에서는 평지붕과 경사지붕을 나누지 않고 목재로 구성되는 지붕형태에 방수 및 단열, 방습에 대한 내용을 고려해서 시공함</li> <li>· 방수와 다락공간 조성에 효율적인 경사지붕을 권장하며 지붕조성시 구조재의 열교를 최소화하기 위하여 교차시공을 권장함</li> <li>· 구조목의 두께와 교차시키는 구조목의 두께를 고려하여 최종 지붕구조체의 열관류율을 산정해야 함</li> </ul>
	바닥구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 줄기초와 매트기초로 나누어 적용할 수 있으며 지반에 단열을 하지 않을 경우 줄기초를 권장함</li> <li>· 매트기초시 추가적인 자재의 소요가 발생됨</li> <li>· 줄기초 구성시 바닥면 상부에 내단열 형태로 단열재를 구성하도록 설계함</li> <li>· 바닥구조체의 습기 대책방안을 제시해야함</li> <li>· 하부 기초구조에서 외벽의 연결부위 방수를 위한 설계적용</li> <li>· 바닥구조체 단열재의 종류에 따라 내부 바닥 목구조성 또는 시멘트몰탈 마감여부를 고려해야함</li> <li>· 비용적 측면과 내부 축열용량을 고려했을 때 바닥 시멘트몰탈 또는 황토몰탈 적용 설계를 권장함</li> </ul>
	외벽구조체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외벽 구조목에 의한 열교제거 디자인 대책을 제시해야하므로 외벽 추가적인 단열재 교차시공을 권장함</li> <li>· 구조체 내부의 결로를 방지하기 위한 통기층 적용을 권장함 또는 내부</li> </ul>

		<p>레인스크린을 권장함</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 단열재의 종류(재료 및 열전도율)에 따라 외벽을 구성할 수 있으므로 종류별 단열재 두께를 산정하여 적용함</li> <li>· 내부의 습기전달 차단 설계를 적용함</li> <li>· 외부의 습기 배출 및 외벽 방습설계를 적용함</li> <li>· 지붕면과 외벽면의 열교발생이 우려되는 부위는 구조체의 교차부위, 이음부위, 연결부위 이므로 상세설계를 통하여 열교를 제거하는 것을 권장함</li> </ul>
	재료구성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 생태단열재(훈탄, 왕겨, 스트로베일 등)와 일반섬유형 단열재 (유리섬유, 암면, 셀룰로오스 등)를 선정할 경우 재료별 열관류율을 고려하여 적용함</li> <li>· 외벽과 내벽은 OSB를 적용하고 습기방지 및 투수에 대한 재료를 선정함 (투습방습지, 투습방수지, 투습테이프, 방습테이프 등)</li> <li>· 외부마감재료는 농어촌형 마감을 고려하여 벽돌, 황토미장, 석재판 등을 사용한 자연재료로 마감하고 농촌지역에 부합되는 외벽을 조성하도록 함</li> </ul>

#### 다. 통합적 적용 및 운영을 위한 방안 마련

##### (1) 설계 및 시공 통합기술의 적용 방안

패시브하우스와 제로에너지 하우스, 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 단계별 적용을 위하여 설계에서부터 시공에 이르기 까지 통합적 적용방안이 필요하다.

통합적용방안은 설계 시 시공과 기타 에너지 절감시스템의 적용방안이 제시되어야 건축물의 하자를 줄일 수 있으며 최종 에너지 성능분석을 실시한 분석결과와도 유사성을 보이게 되므로 설계단계의 통합적용 방안은 매우 중요한 단계로 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 설계 시 시공과 유지관리, 신·재생에너지를 통합적용하기 위한 방안 및 운영 방안을 제시한다.

· 설계 및 시공측면에서의 통합기술 적용 방안

표 28 설계 및 시공측면에서의 통합기술 적용방안 및 운영방안

구 분	적용 방안
· 통합기술 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기본 계획 설계를 토대로 부위별 상세설계를 실시 ( 바닥구조체 연결부, 지하부 구조체 연결부, 외벽과 지붕구조체 연결부, 내벽과 지붕연결 부, 차양 및 발코니 연결부, 창호 및 외벽 결합부 등 )</li> <li>- 건축물의 주요 구조방식을 선정하고 축열량을 고려한 추가적인 대안을 마련함</li> <li>- 패시브난방을 위한 대지의 위치 및 건축물의 주향 반영 (정남에서 ± 30°가 기준이지만 최대한 정남향을 고려하여 적용)</li> <li>- 단계별 에너지 성능을 기준으로 적용되는 각 구조체의 열관류율 기준 적용</li> <li>- 20py~30py 이하주택은 외피의 평균 열관류율을 0.12 W/m<sup>2</sup>K 이하로 지정하여 적용</li> <li>- 30py 초과주택은 외피의 평균 열관류율을 0.13 W/m<sup>2</sup>K 이하로 지정하여 적용</li> <li>- 듀플렉스 또는 연립형 주택에서 외피의 평균 열관류율을 0.15 W/m<sup>2</sup>K 이하로 지정하여 적용 즉, 패시브하우스에서 요구하는 외피의 부위별 열관류율은 연립주택 또는 듀플렉스의 형태에서 적용할 수 있는 것으로 분석되었음 . 따라서 국내 기준과 생활패턴을 고려하여 단독형 주택을 구성시 패시브하우스의 기준보다 더 효율이 좋은 열관류율을 적용해야 함</li> <li>- 단열외피 구성을 위한 각 부위별 구조체의 단열형태 및 단열부착방식, 단열재 종류, 외벽의 구성을 설계단계에서 선정을 완료함</li> <li>- 바닥면 적용형태를 매트기초, 줄기초 등으로 구분하여 단열방식을 선정하고 구조체 방수 대책을 수립하여 적용함</li> <li>- 에너지 성능 검토를 기반으로 신·재생에너지원의 개별적 적용용량을 산정하여 적용</li> <li>- 적용가능한 신·재생에너지는 효율성에 따라 전기부문은 태양광에너지, 열에너지 부문은 지열히트펌프 또는 펠릿, 폐열회수장치의 효율성 증대부문에서도 지중열을 적극적으로 활용</li> <li>- 활용되는 신·재생에너지의 적용 상세도를 선결정하여 시공에 적용</li> <li>- 시공시 필요한 신·재생에너지의 공통구 또는 PD를 설계에 반영하여 적용</li> <li>- 건축물 지붕형태를 적용되는 신·재생에너지원에 일체형으로 적용할 수 있도록 설계에 반영 (태양전지는 지붕형태를 고려한 박공지붕의 경사적용 및 외경사 지붕의 경사조정) (지열히트펌프는 보일러실 또는 기계실을 따로 구획하여 평면에 적용 - 폐열회수장치의 위치선정 및 흡배기 관로의 설계 적용)</li> <li>- 제로에너지 하우스를 위한 용량선정에 의한 신·재생에너지원의 종류 및 역할분담 적용</li> <li>- 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up을 위한 건축재료의 선정</li> <li>- 생태재료 및 친환경 재료를 우선선정하고 천연재료의 기능을 살릴 수 있는 마감재료 및 마감재를 선정하여 적용</li> <li>- 건축물 폐기시 발생하는 폐기물이 없는 구조 또는 재활용이 가능한 구조를 적용</li> </ul>

· 유지관리 운영방안

- 건축물 유지관리에 유리한 신·재생에너지원 또는 추가 열원을 선정하여 적용
  - 패시브하우스 단계에서의 열원으로 펠릿보일러, 가스보일러, 기름보일러 등을 적용할 수 있음 (전기를 이용한 난방시설은 지양함- 1차에너지원의 상승으로 인한 추후 제로에미션 주택에서의 CO<sub>2</sub>절감에 비효율적임)
- 건축물 환기계획의 적용
  - 여름철, 겨울철을 제외한 봄, 가을의 자연환기 적극활용  
(환기 가이드 라인을 제시 - 강하고 짧은 환기방식과 기계환기를 최소화 하는 환기)  
(환기시 발생하는 동력에너지 절약을 위한 방안)  
(단, 실내 CO<sub>2</sub>발생량 및 습도를 고려하여 기계환기 또는 자연환기여부를 설정)
- 신·재생에너지원의 유지관리
  - 태양전지의 유지관리로 발전량 유지를 위하여 봄과 가을철, 겨울철 발전모듈을 주기적인 청소 실시
  - 인버터의 발전량 자동체크 프로그램을 통한 누적발전량 및 일일 발전량 체크
  - 인버터의 발전량 체크 및 발전유무 체크
  - 지열히트펌프의 설정온도 조정  
(사용자의 요구에 따라 설정온도를 조정하여 운영 - 실내 20°C 이상으로 설정 )  
(온수를 공통으로 사용할 경우 온수온도를 조정하여 운영 - 공급온도 60°C 이하 설정)
  - 패시브 난방을 위한 겨울철 남향 유리의 주기적인 유지관리 (에너지 투과율 저감 방지)
  - 폐열회수 환기장치의 연 4회 이상 필터 청소 및 교환  
(국내 공기 오염도가 높은 봄철에는 주 1회 이상 흡배기 필터 및 환기열소자 청소)  
(환기시스템의 내부관로의 청결도를 높이기 위한 유지관리 )

**(2) 실내 공기질 연동을 통한 운영방안 (폐열회수 장치 및 외부차양의 통합 운영방안)**

본 연구의 단계별 모델 중 공통적인 사항으로 실내 공기질에 대한 유지관리방안을 들 수 있다. 전 모델들에서 나타나는 공통적인 내용으로 실내의 공기질을 위한 환기시스템의 적용 및 환기방식이 제시되어야 하며 실내 온도 및 습도, CO<sub>2</sub>에 따라 환기의 강도를 달리하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 실내 공기질에 연동되는 폐열회수 환기장치의 시스템 운영 모형체계 및 외부차양을 연동한 여름철 실내 냉방부하 저감을 위한 운영방식을 제안한다.

실내 공기질을 위해서 적용되는 통합기술로는 실내 온·습도 모니터링 시스템과 폐열회수환기장치, 실외 가동형 차양장치가 있으며 이러한 장치들이 통합기술로 연동되면 수동적 에너지 절감체계에서 자동화시스템으로 발전시킬 수 있다.

또한 통합기술을 스마트체계를 구축하여 외부에서 시스템을 조절할 수 있는 홈 자동제어시

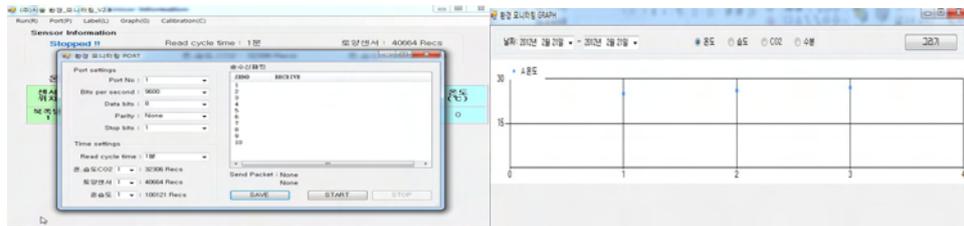
시스템을 구축하여 연동시킬 수 있다.

표 29 실내 공기질을 위한 통합운영방안

구 분	적용 방안
· 통합기술 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 폐열회수 환기장치의 운영체계 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 각 공급 및 배기실에 CO<sub>2</sub> 및 온·습도 센서를 적용하여 폐열회수장치의 운영비율 자동화</li> <li>· 실내 CO<sub>2</sub> 농도를 고려한 가속도 연동 배기팬 적용 (실내 재실인원에 따라 CO<sub>2</sub> 농도변화를 감지하여 급기 및 배기량 자동연동)</li> <li>· 외부 온도를 고려한 지중열 변화장치의 자동 변화시스템 적용</li> </ul> </li> <li>- 실내 환경 모니터링 시스템 운영체계 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 겨울철 여름철을 제외한 자연환기가능 계절의 실내 환경모니터링을 연동한 환기알림 체계 구축 (기계환기를 하지 않아도 되는 시점의 자연환기 알림시스템)</li> <li>· 환기장치에 연동되는 CO<sub>2</sub> 농도에 따른 급배기량 조절 시스템 적용</li> </ul> </li> <li>- 외부 가동형 차양 시스템 적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 여름철 실내 온도상승에 연동되는 자동 차양시스템 적용</li> <li>· 실내 설정온도에 연동</li> </ul> </li> </ul>
· 자동제어시스템 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 스마트 그리드 적용한 자동제어시스템               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 기존 홈오토메이션 및 공조시스템의 계절변화를 인식하여 목표값 변수를 조절하여 운영하는 자동조절시스템 적용</li> <li>· 에너지 모니터링을 통한 에너지 절감 및 사용자 편의성을 고려한 지능적 환기자동제어 시스템 적용</li> </ul> </li> </ul>
· 제어시스템 구성	<p style="text-align: center;">· 제어시스템의 구성도 및 연동 시스템 기기 : 시스템 제어를 위한 각 기기별 제어 구성도 및 연동되는 시스템 기기 제안</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">개발시스템의 제어구축도 구성</p>



시스템의 연동 적용 기기



송수신패킷 및 그래프 적용화면

## 2절 농어촌 그린홈 1, 2차년도 Test-bed 성능평가

### 1. 농어촌 그린홈 1, 2차년도 Test-bed 실험주택의 연 단위 실내 환경 및 에너지 사용량 모니터링 분석

#### 가. 농어촌 그린홈 2차년도 실험주택의 연 단위 실내 환경 모니터링 분석

본 장에서는 1,2차년도에 걸쳐 패시브 공법으로 시공한 농어촌형 그린홈 Test-bed의 성능을 분석하기 위하여 실내 외 온도 및 습도, CO<sub>2</sub> 센서를 각 실에 설치하여 실내 환경 모니터링 시스템을 기반으로 Data를 모니터링 하였다.

본 측정의 목적은 실내 20℃를 기준으로 재실자의 인원 에 따라 CO<sub>2</sub>의 변화 및 온·습도 변화를 분석하기 위함이며 실내 쾌적 범위 조정을 위한 폐열회수환기장치의 풍량 조절의 필요성을 확인하고자 실험을 실시하였다.

#### ○ 연 단위 모니터링 분석 ; 온도, 습도, CO<sub>2</sub> 변화량 분석

- 7월 1일 ~ 4월 30일까지의 측정 한 온도 및 습도, CO<sub>2</sub> 변화를 측정하는데 여름인 7월과 8월은 배기열 회수환기장치의 가동유무를 기준으로 하였으며, 가을(9월~11월), 겨울(12월~2월), 봄(3월~4월)은 계절에 따른 온도변화를 기준으로 측정하였다.

온·습도 측정을 위한 경계 조건으로 다음 표와 같이 적용하였다.

- 경계조건

표 30 농어촌 그린홈 실험주택 측정 조건

구 분	경계조건 내용
재실자	6인
총 측정기간	2012년 7월 1일 ~ 2013년 4월 30일
재실자 주거 측정기간	2012년 12월 25일 ~ 2013년 4월 17일
측정 분야	온도, 습도, CO <sub>2</sub>
측정 위치	거실, 각방, 다락방, 화장실, 주방, 외부
부위별 측정센서	거실-온도,습도 동쪽방 - 온도, 습도, CO <sub>2</sub> 서쪽방- 온도, 습도 북쪽방- 온도, 습도, CO <sub>2</sub> 주방- 온도, 습도, CO <sub>2</sub> 동,서다락-온도,습도
기준 조건	배기열 회수환기장치 가동유무 및 계절에 따른 변화

측정 시기는 2012년 7월부터 측정을 재시작하여 2013년 4월 30 일까지 측정을 완료하였고, 재실자가 주거한 시기는 2012년 12월 25일부터 4월 17일까지 주거한 시기로 선정하였다.

재실자의 주거환경 모니터링 기간에는 6인 가족이 주거하여 주거환경에 대한 변화량을 측정하였다.

측정 분야는 온도, 습도, CO<sub>2</sub>를 측정하였고 부위별 측정센서는 주방, 북쪽방, 동쪽방은 온도와 습도, CO<sub>2</sub>를 측정하였으며, 나머지 방들은 온도와 습도만을 측정하였다.

또한 여름철 측정초기시기에 배기열 회수환기장치의 가동유무를 통하여 실내의 변화를 모니터링하였다.

상기의 측정 경계조건을 기준으로 측정 기간 동안 측정된 모니터링 데이터를 분석하였으며 분석된 내용은 계절별로 나누어 분석하였다. 다음 표는 측정그래프를 바탕으로 분석된 모니터링 내용이다.

표 31 여름철 테스트베드의 온도변화량

실험명	테스트베드 온도 측정
실험 기간	2012. 07. 01 ~ 2013. 08. 30
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
온도 측정공간 - 거실 - 화장실 - 주방	
온도 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 서쪽방 - 다락동쪽 - 다락서쪽	
결과분석	<p>모니터링을 시작한 여름(7월~8월)에서 7월은 환기장치를 가동하지 않았으며, 8월은 가동하였다. 환기장치를 가동하지 않은 7월의 경우 실내온도는 25°C에서 32°C로 내부 온도가 상승 곡선을 나타내고 있으며 환기장치를 가동한 8월의 경우 30°C에서 29°C로 내부온도가 하강하였다. 결과적으로 패시브하우스와 같은 기밀한 주택에서의 온도변화는 외부온도에 따라 주기적으로 상승하고 있으나 이러한 결과는 내부의 환기시스템을 작동하지 않았을 때 발생하는 온도의 상승으로 볼수 있으며 환기장치의 가동시에는 시스템에 바이패스기능이 첨부되지 않아 내부온도와 지속적인 열교환이 이루어져서 발생하는 것으로 사료된다.</p> <p>따라서 지속적 온도상승을 방지하기 위해서는 밤 시간대의 외부환기와 바이패스 기능을 적절히 활용하는 것이 필요하다.</p>

표 32 가을철 테스트베드 온도 측정

실험명	테스트베드 온도 측정
실험 기간	2012. 09. 01 ~ 2013. 11.31
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
<p>온도 측정공간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 거실</li> <li>- 화장실</li> <li>- 주방</li> </ul>	
<p>온도 측정공간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북쪽방</li> <li>- 동쪽방</li> <li>- 서쪽방</li> <li>- 다락서쪽</li> <li>- 다락동쪽</li> </ul>	
결과분석	<p>9월 ~ 11월(가을)의 온도는 내부의 온도가 낮아짐에 따라 9월의 경우에는 내부온도가 30°C에서 25°C로 온도가 점차 떨어졌으며, 11월 까지 보면 최소 16°C까지 떨어진 것을 볼 수 있으며, 11월 29일에서 30일 정도에 보일러를 가동하여 내부온도를 24°C까지 상승되었다. 가을의 외부온도가 낮아짐과 보일러를 미가동하여 내부 온도가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 또한 내부온도의 경우 북쪽방보다 거실과 서쪽방, 동쪽다락의 온도가 더 높은 것을 확인 할 수 있다.</p> <p>따라서 모니터링 상에서 11월 초순까지는 어떠한 난방장치를 가동하지 않아도 실내온도가 20도 이상을 유지하는 것으로 나타났으면 실제 재실자가 주거할 경우 11월 중순부터 난방 부하가 발생할 것으로 사료된다.</p>

표 33 겨울철 테스트베드 온도 측정

실험명	테스트베드 온도 측정
실험 기간	2012.12.01 ~ 2013.02.28
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
온도 측정공간 - 거실 - 화장실 - 주방	
온도 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 서쪽방 - 다락동쪽 - 다락서쪽	
결과분석	<p>12월 말부터는 거주자의 평가를 위하여 실제 6인 가족이 거주하였으며 이로 인하여 실내온도는 평균 22도를 유지하였다. 실내 재실자가 많을수록 주거자의 인체발열에 의한 난방부하가 낮아지고 1차에너지원은 증가하는 것으로 판단된다. 또한 낮 동안의 실내온도가 25도를 웃돌면서 난방부하가 발생하지 않는 구간이 늘어났다.</p>

표 34 봄철 테스트베드 온도 측정

실험명	테스트베드 온도 측정
실험 기간	2013. 03. 01 ~ 2013. 04. 30
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
온도 측정공간 - 거실, - 화장실 - 주방	
온도 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 서쪽방 - 다락동쪽 - 다락서쪽	
결과분석	<p>4월초 전까지는 난방기구 사용과 사람들로 인한 내부 발열로 인하여 내부온도가 20°C이상을 유지 하였으나, 4월 초 이후에는 난방기구 사용과 사람으로 인한 내부발열이 없었으므로 내부 20°C 밑으로 온도가 낮아지는 것을 확인 할 수 있으며, 또한 6인가족의 거주 여부에 따라 4월 중순까지는 온도가 20°C이상으로 유지되는 것으로 볼 수 있으나 이후에는 그전보다 온도가 3°C에서 4°C정도 낮아지는 것을 볼 수 있다.</p>

표 35 여름철 테스트베드 습도 측정

실험명	테스트베드 습도 측정
실험 기간	2012. 07. 01 ~ 2013. 08. 30
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
습도 측정공간 - 거실 - 화장실 - 주방	
습도 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 서쪽방 - 다락서쪽 - 다락동쪽	
결과분석	<p>모니터링을 시작한 여름(7월~8월)에서 환기장치를 가동하지 않은 7월의 경우 습도 분포는 약65%에서 75%의 사이를 유지되는 것으로 분석되었으며, 환기장치를 가동하지 않은 8월의 경우에는 외부의 습기가 높아 폐열회수장치의 여부와 상관없이 내부의 습도가 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 환기장치를 가동시 바이패스의 기능이 있을 경우 제습효과를 가져올 수 있기 때문에 온도의 하락과 습도의 하락을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.</p>

표 36 가을철 테스트베드 습도 측정

실험명	테스트베드 습도 측정
실험 기간	2012. 09. 01 ~ 2013. 11.31
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
<p>습도 측정공간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 거실</li> <li>- 화장실</li> <li>- 주방</li> </ul>	
<p>습도 측정공간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북쪽방</li> <li>- 동쪽방</li> <li>- 서쪽방</li> <li>- 다락서쪽</li> <li>- 다락동쪽</li> </ul>	
결과분석	<p>환기장치를 가동하지 않았던 9월 20일 이전의 습도변화는 내부의 온도변화에 따라 높은 습도를 유지하는 것으로 나타났으나 환기장치를 가동한 9월 이후에는 외부의 습도 변화량과 유사한 평균치를 나타내었다. 즉 내부 습도조절에 있어서 환기장치의 습도교환에 필요하며 쿨튜브의 적용유무에 대한 습도변화량의 지속적인 모니터링이 필요하다.</p> <p>또한 10월 말부터 환기장치를 정지시켰을 경우 실내 습도가 60% 가까이 치솟는 것을 볼 수 있다. 따라서 실내습도의 조절을 위하여 환기장치의 가동 및 쿨튜브시스템의 운영방안이 필요한 것으로 사료된다.</p>

표 37 겨울철 테스트베드 습도 측정

실험명	테스트베드 습도 측정
실험 기간	2012.12.01 ~ 2013.02.28
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
<p>습도 측정공간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 거실</li> <li>- 화장실</li> <li>- 주방</li> </ul>	
<p>습도 측정공간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 북쪽방</li> <li>- 동쪽방</li> <li>- 서쪽방</li> <li>- 다락서쪽</li> <li>- 다락동쪽</li> </ul>	
<p>결과분석</p>	<p>10월부터 12월 중순까지 환기장치의 가동을 중지 시켰을 경우 내부습도가 55% 대에서 유지되는 것을 볼수 있으나 12월 25일 이후 재실자의 주거가 시작되는 시점에서 외부습도와 비슷한 변화량을 보이고 있다. 이것은 내부의 재실자 실내공기질 문제를 해결하기 위하여 (CO<sub>2</sub>) 환기장치의 중속 및 고속가동에 의한 습도변화로 보여진다. 따라서 실내의 공기질에 의한 환기장치의 가동은 전열교환소자를 적용한 환기장치를 고려하여 적용해야할 것으로 사료된다.</p> <p>또한 실내습도분포가 진폭이 큰 형태로 나타난 것은 재실자의 물사용 행태 및 실내 습도유발행위에 의한 변화폭으로 예측된다.</p>

표 38 봄철 테스트베드 습도 측정

실험명	테스트베드 습도 측정
실험 기간	2013. 03. 01 ~ 2013. 04. 30
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
습도 측정공간 - 거실 - 화장실 - 주방	
습도 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 서쪽방 - 다락서쪽 - 다락동쪽	
결과분석	<p>3월과 4월 역시 실내 재실자의 습기조절행위에 따라서 다양한 진폭을 보이고 있다. 겨울철에는 실내습도를 60% 이하로 유지하여 결로발생을 방지해야하므로 간간이 넘는 습도 범위를 위하여 습도관리를 위한 운영방안이 필요하다.</p> <p>4월이후 습도의 안정화는 재실자의 퇴실로 실내 유동인원과 습기유발행태가 발생되지 않음으로 나타나는 현상으로 판단된다.</p>

표 39 여름철 테스트베드 CO<sub>2</sub> 측정

실험명	테스트베드 CO <sub>2</sub> 측정
실험 기간	2012. 07. 01 ~ 2013. 08. 30
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 주방	
결과분석	<p>모니터링을 시작한 여름(7월~8월)에서 환기장치를 가동하지 않은 7월의 경우 평균적으로 200 ~ 400PPM 사이를 유지하는데 테스트베드에 외부방문객이 많을 경우 최대 1700PPM까지 상승하는 것으로 분석되었으며, 환기장치를 가동한 8월의 경우에는 평균적으로 600 ~ 800PPM 사이를 유지하였고, 외부사람들이 방문한 경우 최대 1300PPM까지 상승된 것을 볼 수 있다.</p> <p>또한 8월 28일 이후 다시 낮아진 이유는 환기장치의 가동을 중단하였을 경우 약 300PPM으로 낮아진 것으로 사료된다.</p> <p>즉 외부공기의 유입이 발생되지 않았을 경우 실내의 CO<sub>2</sub>가 상당히 낮아지는 것을 볼 수 있고 재실자 또는 외부공기가 유입되는 환기장치를 가동시켰을 경우에는 외부의 CO<sub>2</sub>수치와 동일해지는 것으로 판단된다.</p> <p>실내 재실자가 발생될 경우 재실자의 인원수에 따라 CO<sub>2</sub>농도가 급격히 증가되는 것을 알 수 있다.</p>

표 40 가을철 테스트베드 CO<sub>2</sub> 측정

실험명	테스트베드 CO <sub>2</sub> 측정
실험 기간	2012. 09. 01 ~ 2013. 11.31
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 주방	
결과분석	<p>9월 ~ 11월(가을)의 CO<sub>2</sub>는 환기장치의 가동으로 인하여 평균적으로 500PPM을 유지하였고, 외부 방문객이 방문한 경우 1400PPM까지 상승한 것으로 볼 수 있다.</p> <p>또한 9월 12일에서 19일까지는 200PPM에서 300PPM사이로 낮아진 것으로 보아 환기장치를 미가동한 것으로 보여지며, 10월 29일 전후로는 환기장치를 미가동 하였으나 내부 공사로 인하여 사람들이 많아져서 실내 CO<sub>2</sub>가 3000PPM가까이 높아진 것으로 보여진다.</p>

표 41 겨울철 테스트베드 CO<sub>2</sub> 측정

실험명	테스트베드 CO <sub>2</sub> 측정
실험 기간	2012.12.01 ~ 2013.02.28
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 주방	
결과분석	<p>12월 중순 전까지는 사람이 살지 않았으며 배기열 회수장치의 사용에 따라 평균 500PPM을 유지 하였으며, 12월 중순 이후 6인 가족이 거주하기 시작하면서 난방기구사용과 조리로 인하여 평균 1000PPM으로 높아졌으며, 최대 1500PPM에서 최소 500PPM 사이에서 유지하는 것을 볼 수 있다.</p> <p>또한 2월 8일 부터 11일 전후의 CO<sub>2</sub>가 급격히 안정화를 찾은 이유로는 휴일로 인한 실내 재실자가 없는 경우로 나타났으며 실내 재실자가 상주할 경우 CO<sub>2</sub>변화량은 상당한 진폭을 유지하는 것으로 나타났다.</p> <p>상대적으로 작은 주택에서 내부의 6인 가족이 거주하는 경우이므로 실제 4인 가족 기준의 실내 공기질보다는 다소 높은 CO<sub>2</sub> 발생량으로 나타났다.</p> <p>6인가족 기준으로 실제 약 1200PPM이 평균치로 나타난 것을 볼 수 있다.</p>

표 42 봄철 테스트베드 CO<sub>2</sub> 측정

실험명	테스트베드 CO <sub>2</sub> 측정
실험 기간	2013. 03. 01 ~ 2013. 04. 30
측정값	내외부 온도, 습도, CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 측정공간 - 북쪽방 - 동쪽방 - 주방	
결과분석	<p>재실자가 거주한 4월 초순까지는 일반적인 평년 1100~1200PPM을 유지하는 것으로 나타났으면 재실자가 없는 상황에서는 외부의 CO<sub>2</sub>수치와 비슷한 500PPM을 유지하는 것을 볼 수 있다.</p> <p>즉 재실자 인원과 배기열 회수장치의 가동여부가 CO<sub>2</sub> 농도의 변화를 결정하는 것으로 나타났으며 실내 CO<sub>2</sub>를 기준치 이하로 낮추기 위해서는 배기열 회수장치의 환기횟수에 대한 기준설정 및 환기량 검토가 필요한 것으로 사료된다.</p> <p>실제 거주하는 인원에 따라서 공급 및 배기되는 공기량, 시간당 전체환기량의 설정이 필요하다.</p>

## 나. 농어촌 그린홈 2차년도 실험주택의 연 단위 에너지 사용량 모니터링 분석

- 본 연구에서는 1차년도와 2차년도에 걸쳐 진행된 패시브하우스 및 제로에너지 하우스의 실제 난방에너지 소비량을 측정하기 위하여 2012년 12월부터 2013년 4월까지 테스트베드 내 거주환경을 조사하고자 실제 6인 가족이 거주하여 데이터를 실내 환경 및 난방에너지, 급탕 에너지 등의 사용량을 모니터링 하였다.
- 따라서 본 장에서는 실제 소비된 에너지를 기반으로 월별 경제성 및 비용분석을 실시 하였다. 본 연구에 적용 가능한 열원으로는 농어촌 단독주택에서 가장 많이 사용하고 있는 석유계 보일러등유 및 LPG, LNG열원을 각각 적용하였다.
- 열원별 산출은 순 발열량을 기준으로 열원별 사용량 및 예측 비용분석을 실시하였다.

### ○ 실험기간별 에너지 사용량 분석

- 실제 거주자가 참석하여 실험주택에 거주하면서 발생된 에너지 소비량을 측정하여 월별로 측정하여 정리하였다.
- 본 연구에서 실험주택의 거주자는 4인 가족을 기준으로 에너지 사용량을 산출하므로 6인 가족이 거주한 에너지 소비내역을 난방을 제외한 급탕부분으로 4인 가족으로 환산하여 적용하였다.
- 또한 에너지 사용량을 급탕과 난방 에너지량으로 분리하여 산출하였으며, 산출된 난방 에너지량을 기준으로 실제 사용된 난방에너지 사용금액을 산출하는데 적용하였다.
- 급탕에너지는 동일 보일러에서 통합되어 관리되므로 4월기간의 비난방 기간으로 정하여 사용된 에너지원으로 일단위로 분류하여 일일 사용 급탕에너지를 산출하는 것으로 적용하였다. 따라서 급탕에너지원 산출은 약간의 오차가 발생할 수 있다.
- 다음 표는 난방 기간 동안 발생된 난방에너지 및 급탕에너지 소비량을 정리한 표이다.

표 43 난방에너지 사용량

열원사용부문	날짜	측정기간	LPG 사용량 (Nm <sup>3</sup> )	급탕사용량 (Nm <sup>3</sup> ) (환산량 Nm <sup>3</sup> )	난방사용량 (Nm <sup>3</sup> )
난방 + 급탕	2012년 12월 26일 ~ 2013년 01월 26일	32 일	43	15.0 (10.0)	28.0
난방 + 급탕	2013년 01월 27일 ~ 2013년 02월 28일	33 일	39	15.5 (10.4)	23.5
난방 + 급탕	2013년 03월 01일 ~ 2013년 03월 31일	31 일	18	14.5 (9.7)	3.5
급탕 <sup>1)</sup>	2013년 04월 01일 ~ 2013년 04월 17일	17 일	8	8.0 (5.3)	0

1) 본 연구에서는 난방과 급탕시 별도의 열원을 분리하지 않았기에 통합 열원사용량을 기반으로 난방열원량과 급탕열원사용량을 분리하여 산출함.

난방을 실시하지 않는 기간의 급탕사용량을 고려하여 1인/일 별 LPG급탕 사용량을 계산.

따라서 0.47 Nm<sup>3</sup>/일 사용량을 적용함.

표 44 4인가족 기준 난방에너지 환산 사용량

열원사용부문	날짜	난방사용량 (Nm <sup>3</sup> )	급탕사용량 (Nm <sup>3</sup> )	월별 사용량 (Nm <sup>3</sup> )	총 사용량 (Nm <sup>3</sup> )
난방 + 급탕	2012년 12월 26일 ~ 2013년 01월 26일	28.0	10.0	38	90.4  (113 일간 사용량)
난방 + 급탕	2013년 01월 27일 ~ 2013년 02월 28일	23.5	10.4	33.9	
난방 + 급탕	2013년 03월 01일 ~ 2013년 03월 31일	3.5	9.7	13.2	
급탕 <sup>1)</sup>	2013년 04월 01일 ~ 2013년 04월 17일	0	5.3	5.3	

1) 난방을 실시하지 않는 기간의 급탕사용량을 고려하여 1인/일 별 LPG급탕 사용량을 계산  
따라서 0.47 KG/일 사용량을 적용함

○ 농어촌 지역의 열원별 적용

- 농어촌 지역의 대표적 적용열원으로는 LPG와 LNG, 보일러 등유가 대표적으로 사용되고 있는 실정이다. 따라서 농어촌 지역의 열원별 예측분석결과 LPG사용량을 기준으로 발열량 환산을 통한 사용량 분석으로는 추정기간 내 총 113일 난방시 LNG 열원이 약 90.4 Nm<sup>3</sup>가 소비되었고, LNG는 약 132.2Nm<sup>3</sup>를 소비하는 것으로 분석되었으며, 가장 많은 열원으로 사용하고 있는 보일러 등유는 약 151.9 L를 소비하는 것으로 나타났다.

표 45 열원별 단가 및 사용량 예측

열원	단가 <sup>1)</sup>	순발열량	기간내 총 열원별 사용량
LPG	4,400원/Nm <sup>3</sup>	13,780kcal/Nm <sup>3</sup>	90.4 Nm <sup>3</sup>
LNG	952원/Nm <sup>3</sup>	9,420kcal/Nm <sup>3</sup>	132.2 Nm <sup>3</sup>
등유	1,365원/L	8,200kcal/L	151.9 L

1) 충북 제천지역의 2013년 5월 기준 열원별 단가표 적용

\* LNG열원 사용예측분석

$$: (13,780\text{kcal/Nm}^3 \times 90.4\text{Nm}^3) \div 9,420\text{kcal/Nm}^3 = 132.2\text{Nm}^3$$

\* 보일러 등유열원 사용예측분석

$$: (13,780\text{kcal/Nm}^3 \times 90.4\text{Nm}^3) \div 8,200\text{kcal/L} = 151.9 \text{ L}$$

## ○ 실험주택의 월별 열원사용량 분석

- 실험주택의 LPG열원 사용량을 기준으로 열원별 사용량을 월단위로 분석한다.
- 월단위 사용되는 열원별 소비량을 기준으로 열원별 사용금액을 산출하고 열원별 경제성을 분석한다.
- 패시브하우스 또는 제로에너지하우스를 위한 열원 중 가장 경제적인 열원을 선정하여 현재 가치로 경제성이 높은 열원을 제시한다.
- 각 열원별 에너지 사용량 분석은 다음과 같다.
- 열원별 가격을 고려하지 않았을 경우 현재 LPG 열원이 사용량이 가장 적은 것으로 나타나지만 실제 열원별 단가를 적용하였을 경우에는 경제적인 열원의 순위가 다르게 나타난다. 사용량 기준의 경우 LPG열원이 가장 적은 사용량을 보였으며, 그다음으로 LNG열원과 보일러등유 열원 순으로 나타났다.

표 46 열원별 에너지사용량 환산

열원부문	날짜	LPG (Nm <sup>3</sup> )	LNG (Nm <sup>3</sup> )	보일러등유(L)
난방 + 급탕	2012년 12월 26일 ~ 2013년 01월 26일	38	55.6	63.9
난방 + 급탕	2013년 01월 27일 ~ 2013년 02월 28일	33.9	49.6	57.0
난방 + 급탕	2013년 03월 01일 ~ 2013년 03월 31일	13.2	19.3	22.2
급탕 <sup>1)</sup>	2013년 04월 01일 ~ 2013년 04월 17일	5.3	7.8	8.9

표 47 열원별 난방 및 급탕 에너지 사용비용

열원부문	날짜	LPG (원)	LNG (원)	보일러등유(원)
난방 + 급탕	2012년 12월 26일 ~ 2013년 01월 26일	167,200	52,930	87,220
난방 + 급탕	2013년 01월 27일 ~ 2013년 02월 28일	149,160	47,220	77,800
난방 + 급탕	2013년 03월 01일 ~ 2013년 03월 31일	58,080	18,370	30,300
급탕 <sup>1)</sup>	2013년 04월 01일 ~ 2013년 04월 17일	23,320	7,420	12,150
총 합계		397,760	125,940	207,470

\* 열원별 단가는 충북 제천지역의 2013년 5월 기준 열원별 단가표 적용  
 - LPG : 4,400원/Nm<sup>3</sup>, LNG : 952원/Nm<sup>3</sup> 보일러등유 : 1,365원/L

표 48 열원별 난방 에너지 사용비용

난방에너지 사용량 LPG	기간	LPG (원)	LNG (원)	보일러등유(원)
28.0	2012년 12월 26일 ~ 2013년 01월 26일	123,200	39,250	64,230 (47 L)
23.5	2013년 01월 27일 ~ 2013년 02월 28일	103,400	32,730	53,900 (39 L)
3.5	2013년 03월 01일 ~ 2013년 03월 31일	15,400	4,880	8,030 (5.9 L)
총 합계		242,000	76,860	126,160 (91.9 L)

\* 열원별 단가는 충북 제천지역의 2013년 5월 기준 열원별 단가표 적용  
 - LPG : 4,400원/Nm<sup>3</sup>, LNG : 952원/Nm<sup>3</sup> 보일러등유 : 1,365원/L

○ 실험주택의 열원별 사용비용분석

- LPG열원을 기준으로 각 열원별 사용 비용을 분석한 결과는 상기의 표와 같다.
- 농어촌 지역에서 가장 보편화되어있는 열원으로 보일러등유로 환산할 경우 3개월간의 난방 에너지 비용은 총 12만6천1백6십원으로 LPG열원보다는 경제적인 비용으로 산출되었고, 도시가스인 LNG비용보다는 높게 나타났다. 따라서 도시가스가 공급되지 않는 지역에서는 보일러 등유를 열원으로 사용하는 것이 더 경제적인 것으로 판단된다.
- LPG열원은 열원단가 비용이 높아 비경제적인 것으로 나타났고 현재 공급비율을 늘리고 있는 LNG열원은 가장 경제적인 비용으로 나타났다. 따라서 농어촌지역에서도 LNG공급이 가능한 지역의 입지조건에 건축할 경우 상당한 난방에너지 절감과 에너지 비용을 절약할 수 있는 것으로 사료된다.
- 그러나 LNG 공급이 불가한 지역에 한하여서는 적용 가능한 열원 중 가장 경제적인 열원은 보일러 등유로 나타났다.

○ PHPP를 통한 에너지 성능분석과의 실제 에너지 소비량 비교분석

- 본 연구에서는 1차년도와 2차년도에 실험주택의 계획 시 건축물 에너지 성능평가를 실시하였다. 현재 국내에서는 에너지 성능을 검토할 수 있는 프로그램이 나와 있으나 그 실효성과 유사성에서 큰 문제를 야기하고 있다.
- 본 PHPP프로그램에서 검토된 에너지 성능은 최초 19kWh/m<sup>2</sup>a로 석유계로 환산할 경우 약 1.9 L (냉난방 면적 약 82m<sup>2</sup>)로 환산할 수 있으며 연간 요구되는 난방에너지는 이론상으로 약 155.8L가 요구되는 것으로 나타났다. 따라서 본 시뮬레이션 수치를 기준으로 다음과 같은 실제 사용량과의 비교를 통하여 에너지 성능에 대한 정확성을 검토하였다.

- 측정되지 않은 11월과 12월의 난방에너지 요구량 비율별 적용 시 다음과 같은 보일러 등유 소비량을 적용할 수 있다. 아래 그림에서 난방에너지 요구량의 11월과 12월 사용 비율이 2월과 3월 비율과 유사함을 나타내고 있다. 따라서 2월과 3월의 실제 난방에너지 소비량을 비율별로 적용하였을 경우 다음과 같은 실제 소비량을 예측할 수 있다.

표 49 열월별 난방 에너지 사용비용

기간	기간	LPG (Nm <sup>3</sup> )	보일러 등유 (L)	보일러등유(원)
11월	예측 사용량	5	8.5	11,600
12월	예측 사용량	25	42	57,330
1월	실제 사용량	28.0	47	64,150
2월	실제 사용량	23.5	39	53,230
3월	실제 사용량	3.5	5.9	8,050
총 합계		85	142.4	194,360

- 연간 난방에너지 시뮬레이션 및 실제 소비량 분석결과 :

상기 표를 통하여 예측되는 보일러 등유의 난방에너지 요구량은 약 142.4 L 임  
따라서 냉난방 면적 82m<sup>2</sup>를 적용하였을 경우 단위면적당 약 1.73 L의 요구량으로 예측됨  
즉, 시뮬레이션에서 실시된 약 1.9 L 에너지 요구량과 유사한 값을 가지므로 시뮬레이션의 검토값은 유의성을 가지는 것으로 볼 수 있음

표 50 PHPP시뮬레이션과 실제에너지 소비량 예측의 비교

구분	최종 에너지 결과값	총 에너지 사용값
PHPP 분석	1.90 L	155.8 L
실제소비량	1.73 L	141.8 L

## PASSIVE HOUSE PLANNING

### SPECIFIC ANNUAL HEAT DEMAND MONTHLY METHOD

Climate: chungju-normal  
 Building: 동어촌 표준주택 테스트베드  
 Location:   
 Interior Temperature: 20 °C  
 Building Type/Use: 단독주택  
 Treated Floor Area Area: 82 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year	
Heating Degree Hours - E	18.2	14.9	12.4	6.7	2.7	-0.5	-3.1	-3.4	0.5	5.4	10.6	16.0	80	kKh
Heating Degree Hours - C	7.2	7.3	8.0	6.7	4.3	2.1	0.4	-0.5	-0.4	1.5	3.2	5.4	45	kKh
Losses - Exterior	995	819	680	366	149	-28	-168	-189	25	297	582	874	4402	kWh
Losses - Ground	90	92	101	84	54	27	5	-7	-5	19	41	68	570	kWh
Sum Spec. Losses	13.2	11.1	9.5	5.5	2.5	0.0	-2.0	-2.4	0.2	3.8	7.6	11.4	60.3	kWh/m²
Solar Gains - North	9	10	16	19	24	23	20	18	16	14	9	8	186	kWh
Solar Gains - East	3	4	5	6	7	6	5	5	4	3	3	3	55	kWh
Solar Gains - South	383	368	344	317	279	232	205	236	294	368	341	356	3722	kWh
Solar Gains - West	3	3	4	5	5	5	4	4	4	4	3	3	46	kWh
Solar Gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Gains - Opaque	50	56	70	82	88	80	65	68	67	64	48	45	782	kWh
Internal Heat Gains	129	116	129	125	129	125	129	129	125	129	125	129	1515	kWh
Sum Spec. Gains Solar + Internal	7.0	6.8	6.9	6.7	6.4	5.7	5.2	5.6	6.2	7.1	6.4	6.6	76.6	kWh/m²
Utilisation Factor	100%	100%	100%	80%	38%	0%	0%	0%	4%	54%	98%	100%	54%	
Annual Heat Demand	509	354	215	6	0	0	0	0	0	0	105	399	1588	kWh
Spec. Heat Demand	6.2	4.3	2.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	4.8	19.3	kWh/m²

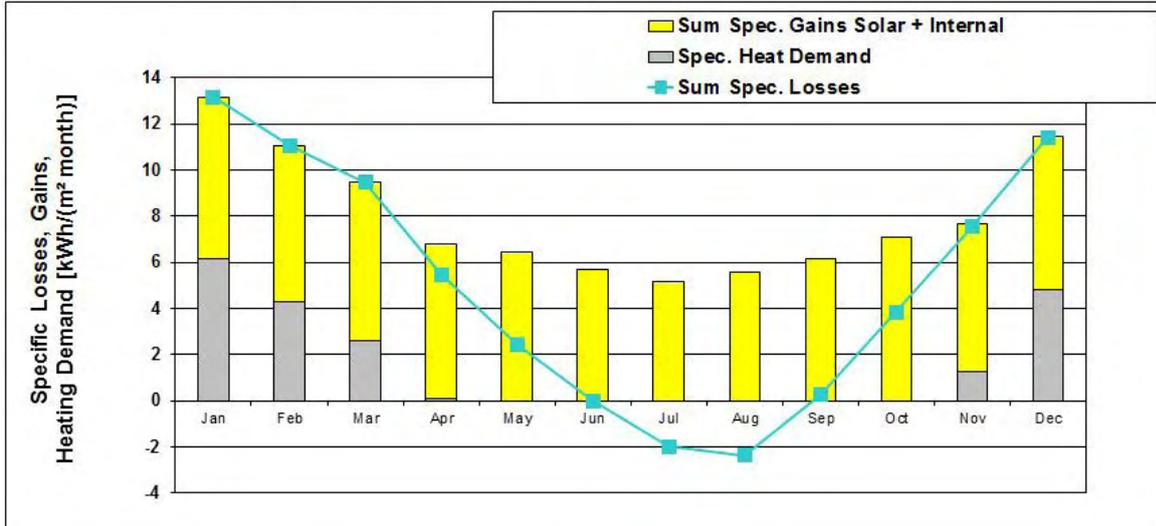


그림 1 실험주택 연간 난방에너지 발생추이 및 에너지 성능표

본 장에서는 패시브 디자인 요소 및 신·재생에너지 요소가 적용된 실험주택의 부위별 에너지 성능분석과 실험주택과 동일한 규모의 모델을 선정하여 2012년 지역별 개정된 단열규정을 적용한 일반주택의 부위별 에너지 성능분석을 비교분석하여 실험주택의 에너지 절감량을 정량화 하는 것을 목적으로 한다.

따라서 실험주택과 일반주택의 에너지 사용량 비교분석을 위하여 지역별 단열법규인 ‘건축물의 에너지 절약설계 기준 (개정: 2012.11.30, 시행: 2013.09.01)’에 준하는 기준을 토대로 PHPP 프로그램 및 HEAT2 프로그램을 통하여 정량적인 산출방법으로 비교분석한다.

## 2. 전통경관을 고려한 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 성능 평가



그림 2 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 전경

표 51 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 개요

Zero Energy House	
구조	전통 한옥식 중량 목구조 + 경량 목구조
규모(m <sup>2</sup> )	40.32
단열재	셀룰로오스, 황토
내부마감	석고보드 위 벽지, 황토미장
외부마감	석고보드 위 황토페인트, 황토미장

2차년도 연구에서는 농어촌 그린홈에 전통 경관을 고려한 디자인을 반영하고자 기존 한옥의 구조 및 건축양식을 토대로 에너지 저감형 주택으로의 가능성을 검토하고자 하였다.

전통경관을 고려한 디자인으로 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed의 구조체와 지붕을 전통 한옥식으로 시공하였고, 벽체 구성은 경량 목구조로 전통 한옥의 취약했던 단열성능과 기밀성능을 보완하였다.

Test-bed 지붕의 남측에는 태양광 발전 시스템 장치 설치를 계획하였지만 에너지 관리 공단의 지원금 절차 등의 문제로 시공하지는 못하였다. 계획대로 태양광 발전 시스템을 설치한다면 약 1.5KW 정도의 전기를 자체적으로 생산할 수 있으며 지붕의 북측에는 옥상녹화를 시공하였다.

마지막으로 전문 한옥 목수의 지도 아래 농어촌 생태그린홈 짓기 아카데미에 참여한 참가자

들이 Test-bed 전반적인 시공에 직접 참가하므로써 주민참여 시공의 가능성을 확인하였다.

### 가. 농어촌 그린홈 2차년도 계획요소

2차년도 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed는 기존의 전통 한옥의 취약한 기밀성능을 향상시키기 위해 원형 서까래 대신 경량 목구조의 부재를 조립한 서까래를 사용하고, 벽체 또한 경량 목구조의 방식으로 시공하여 벽체두께를 확보함으로써 단열성능을 향상시켰다.

표 52 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed의 전통 한옥 개선 요소



Test-bed의 2개의 방은 각각 다른 구성으로 시공하였는데, 하나는 황토벽으로 구성된 전통 한옥 방식의 실험방 1과 다른 하나는 경량 목구조 형식의 벽체 구성으로 셀룰로오스를 단열재로 사용한 개량형 방식의 실험방 2로 시공하였다. 비교실험을 위해 각각의 방을 동일한 두께로 시공하였고, 실험방 1의 열관류율은 1.115 W/m<sup>2</sup>K, 실험방 2의 열관류율은 0.447 W/m<sup>2</sup>K로 계획하였다.

표 53 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 단면 상세도

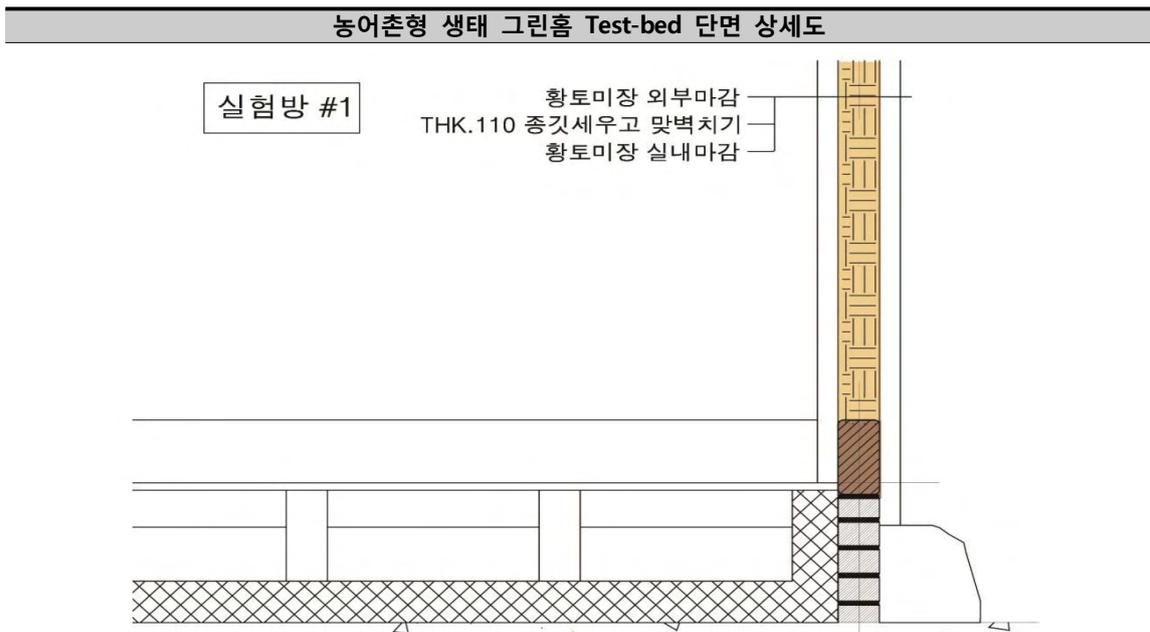


그림 3 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 실험방1

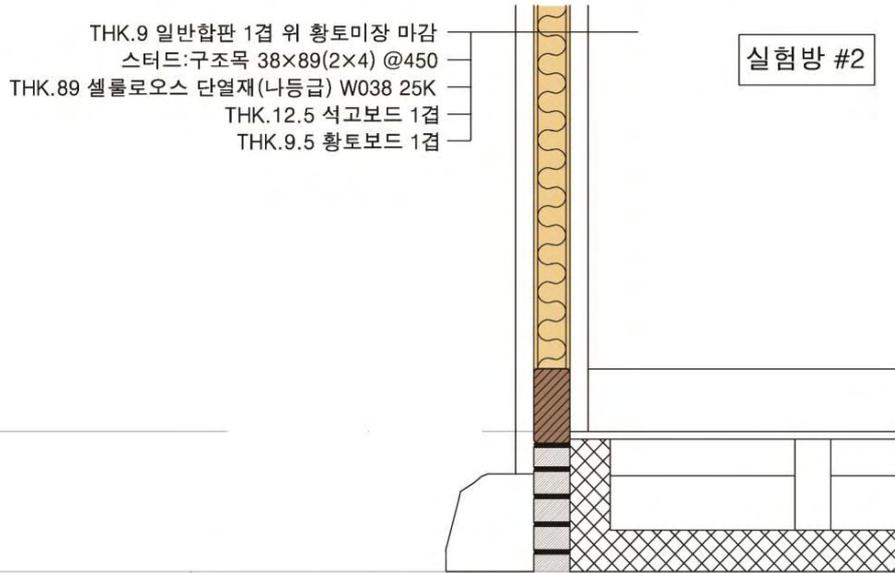


그림 4 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 실험방2

표 54 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 실험방1 벽체구성

구분	재료	재료의 두께	열전도율		열저항	열관류율	
		mm	kcal/mh°C	W/mK	m²h°C/kcal	kcal/m²h°C	W/m²K
실험방1	외표면 열전달저항				0.043	0.994	1.155
	황토미장	10	0.175	0.204	0.057		
	흙:짚(95:5)	110	0.149	0.173	0.739		
	황토미장	10	0.175	0.204	0.057		
	내표면 열전달저항				0.110		
합 계	130			1.006			

표 55 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 실험방2 벽체구성

구분	재료	재료의 두께	열전도율		열저항	열관류율	
		mm	kcal/mh°C	W/mK	m²h°C/kcal	kcal/m²h°C	W/m²K
실험방2	황토벽 마감	30	0.149	0.173	0.202	0.384	0.447
	합판	9	0.112	0.130	0.081		
	셀룰로오스	70	0.031	0.036	2.261		
	석고보드	9	0.190	0.221	0.047		
	한지 마감	2	0.175	0.204	0.011		
합 계	120			5.861			

## 나. 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 성능 평가

### (1) 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 실험계획

전통 한옥을 개선한 부분에 관한 성능 검증과 생태 자재가 실내 환경에 미치는 영향을 파악하기 위해 두 개의 방을 각각 실험계획에 맞추어 시공하였다. 실험방 1은 전통 한옥의 황토벽으로 시공하였고, 실험방 2는 경량 목구조 형식의 벽체 구성으로 셀룰로오스를 단열재로 사용하였다.

Test-bed 실험 방에 설치한 온·습도 측정 센서를 통해 얻은 데이터를 비교 분석하여 전통 한옥의 개선에 따른 향상된 단열성능과 실내 온열환경 쾌적 정도를 살펴보고, 포름알데히드 측정을 통하여 실내공기질을 분석하였다.

표 56 실험 측정 장비

측정 장비	측정 목적
온습도 센서	단열 성능 및 실내 공기환경 평가
CO <sub>2</sub> 센서	자연 환기 및 CO <sub>2</sub> 발생량 측정
외부 온도 센서	외부 기본 온도 측정

		
그림 5 모니터링 측정 장치	그림 6 외부(온·습도) 측정 장치	그림 7 실내(온·습도) 측정 장치

표 57 단계별 실험 내용

구분	실험 대상 계획 요소	실험 내용
실험 1	단열벽체, 기밀시공	기본 실험체의 온열환경 측정 단열 성능 측정
실험 2	생태 자재 시공	생태 자재 사용에 따른 실내환경 측정 습도, 포름알데히드 측정

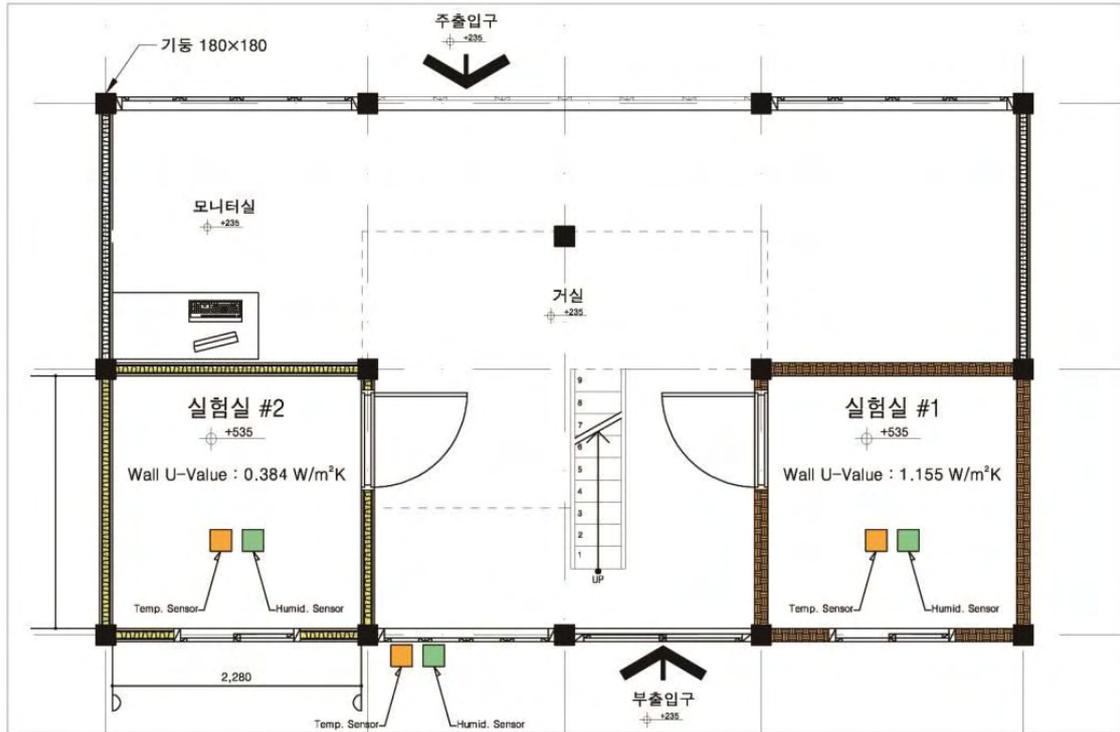


그림 8 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed Sensor 설치 계획

## (2) 농어촌 그린홈 2차년도 Test-bed 성능평가

각 Test-bed의 성능평가를 위해 2012년 7월부터 2013년 5월까지 약 1년 동안 실험방 1, 실험방 2, 외부에 관한 온·습도를 측정하여 얻은 데이터를 분석하였다. 실내 환경 측정 시 창호를 통한 태양광의 유입, 침기와 누기에 의한 습기 변화가 온도, 습도와 관련된 유일한 영향인자가 될 수 있도록 실험환경을 조성하여 실내/외 온도 및 습도 센서를 통해 5분 간격으로 데이터를 수집하여 분석하였다.

### (가) 온·습도 하계 실험 결과

여름철 실험 기간은 2012년 7월 30일부터 8월 31일까지이며, 실험 기간 동안 대체로 맑은 날씨를 유지하였으나 열흘정도 비가 내렸고, 그 중 50mm이상 온 날이 4일이었다. 황토방과 셀룰로오스 방에 대한 하계 온도측정 결과, 두 실험체 모두 외부와 비슷한 온도 변화를 보였다. 실외 온도의 변화 범위가 18.3~36℃일 때, 황토방의 온도는 22.6~32.9℃, 셀룰로오스 방은 22.8~32.7℃로 외부 온도와 비교했을 때 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 두 실험방 모두 경량 목구조 형식의 벽체 구성으로 기존 전통 방식의 한옥보다 두꺼운 벽체를 확보하였지만 기둥이 돌출되어야 하는 전통적 입면의 미를 살리는 과정에서 최대 130mm로 단열두께가 제한되어 단열 성능 확보에 한계가 있었기 때문이다. 이러한 실험 결과는 기존 한옥 건축 방

식의 입면을 고려한 단열 두께로는 실내의 열적 쾌적함을 유지하기 어렵다는 것을 보여준다.

습도 측정 결과 외부의 습도 변화에 비해 두 방 모두 약 60%~80%로 외부 습도에 비해 상대적으로 일정한 습도를 유지하였다. 하지만 황토방의 평균 실내 습도는 72%, 셀룰로오스방의 평균 실내 습도는 70.7%로 두 실험 방 모두 쾌적한 실내 습도 범위(40~60%)를 약간 벗어났다. 이는 Test-bed의 전통 한옥의 입면을 살리는 과정에서 하인방, 중인방, 상인방을 모두 시공함에 있어 기밀도가 취약한 부위가 많이 발생하게 됨에 따라 실내 습도 범위가 쾌적한 범위에서 벗어난 것으로 판단된다.

표 58 하계 모니터링 결과

		최고	최저	평균
온도 (°C)	셀룰로오스	32.7	22.8	27.3
	황 토	32.9	22.6	27.4
	외 부	36	18.3	25.8
습도 (%)	셀룰로오스	79.9	60.4	70.7
	황 토	78.6	61.8	72.0
	외 부	97.8	42.1	78.1

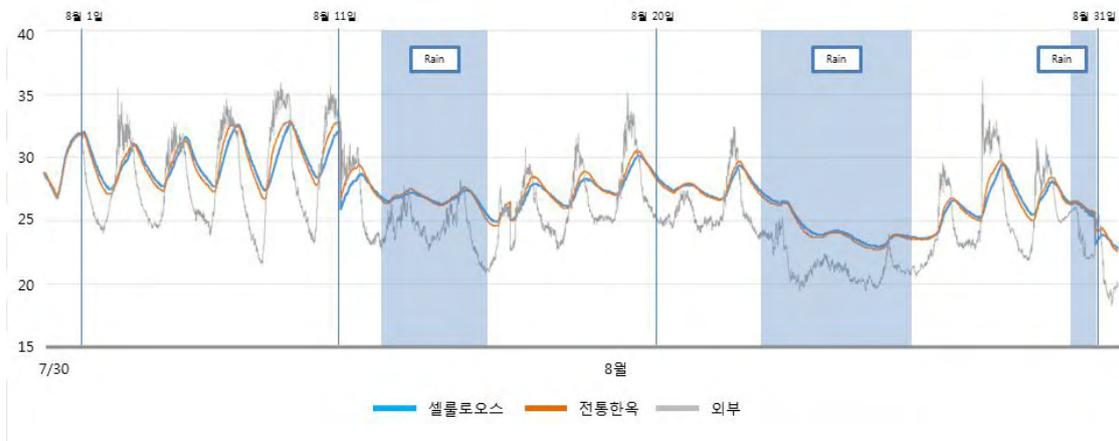


그림 9 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed 하계 온도 그래프

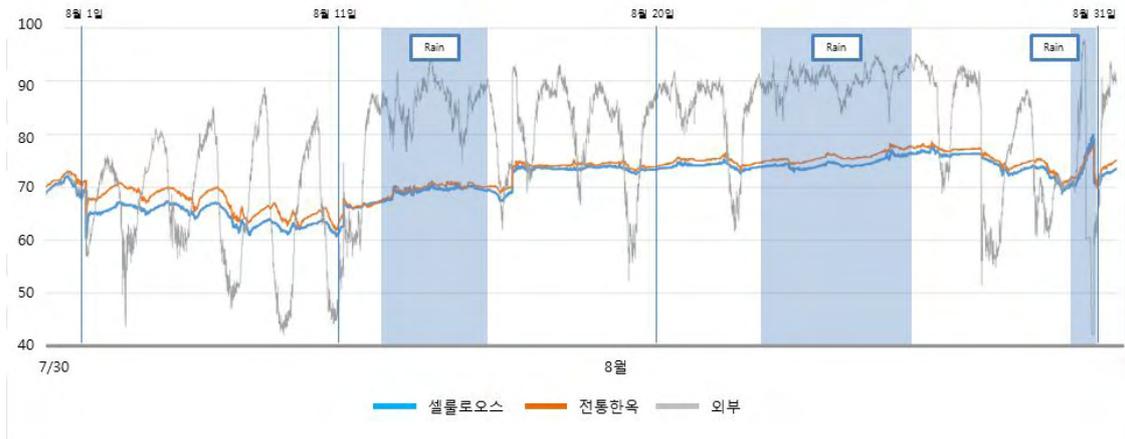


그림 10 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed 하계 습도 그래프

(나) 온·습도 추계 데이터 실험 결과

가을철 실험은 2012년 9월 1일부터 11월 30일까지 진행하였다. 하지만 측정기간 중 센서에 문제가 생겨 센서의 교정 기간 동안 측정하지 못해서 10월 데이터량이 다른 측정기간에 비해 적다. 실험기간 동안 날씨는 대체로 맑았고, 강우량이 50mm 이상인 날은 하루에 불과했다. 실험기간 내 외부 온도는 -1.1~33.4℃, 습도는 13.6~99.9%로 나타났다. 셀룰로오스 방의 실내 온도는 2.4~27℃로 나타났고, 황토방의 실내 온도는 2.1~27℃로 나타났다. 이는 외부 온도와 약 3~6℃정도의 차이를 보이는 수치로 단열성능이 우수하다고 판단되지는 않는다.

셀룰로오스방의 실내 습도는 47.8~78.6%, 황토방의 실내습도는 51.6~84.6%로 외부 습도가 13.6~99.9%로 나타난 것에 비해 두 방의 실내 습도 모두 안정적으로 나타났다. 셀룰로오스방의 평균 실내 습도는 66.9%, 황토방의 평균 실내 습도는 71.2%로 쾌적한 실내 습도 범위(40~60%)를 벗어났지만, 셀룰로오스 방이 황토방보다 약 5%정도 쾌적한 범위에 근접하게 나타났다.

표 59 춘계 모니터링 결과

		최고	최저	평균
온도 (°C)	셀룰로오스	27.0	2.4	19.7
	황 토	27.0	2.1	19.7
	외 부	33.4	-1.1	18.0
습도 (%)	셀룰로오스	78.6	47.8	66.9
	황 토	84.6	51.6	71.2
	외 부	99.9	13.6	71.6

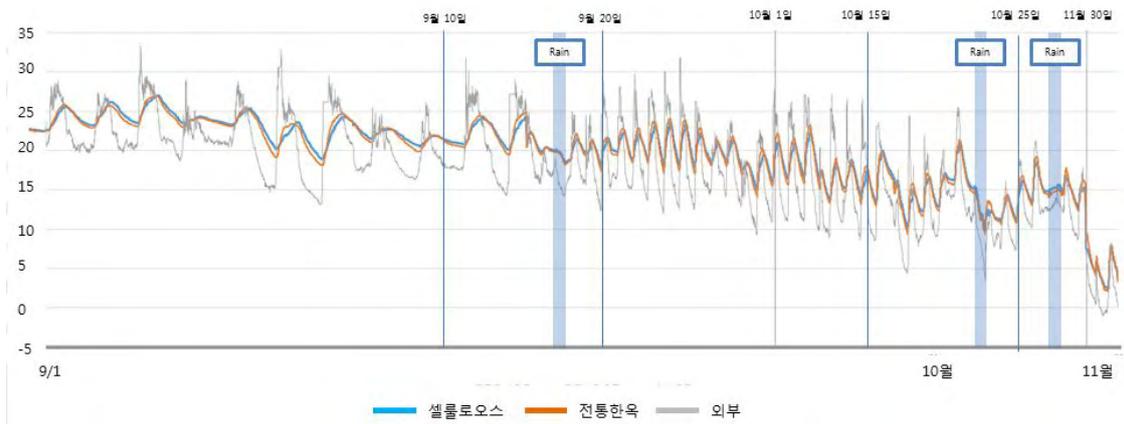


그림 11 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed 추계 온도 그래프

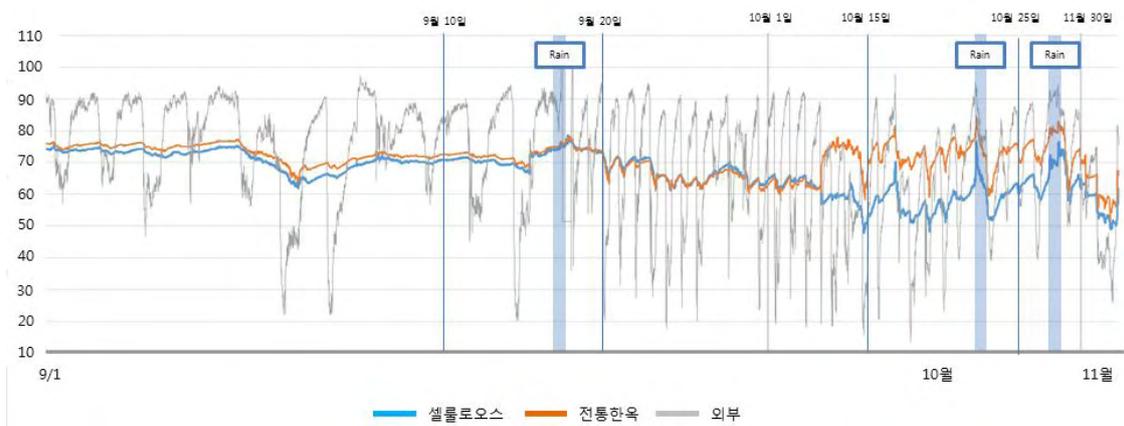


그림 12 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed 추계 습도 그래프

#### (다) 온·습도 동계 실험 결과

겨울철 실험은 2012년 12월 1일부터 12월 27일까지 진행하였다. 실험기간 동안 맑은 날씨였으며, 5일정도 비가 왔다. 실험기간 내 외부 온도는  $-15.9\sim 14.6^{\circ}\text{C}$ 로 나타났으며, 셀룰로오스 방은  $-8.7\sim 6.1^{\circ}\text{C}$ , 황토방은  $-9.0\sim 6.1^{\circ}\text{C}$ 로 외부 온도와 약  $6\sim 8^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 보였다. 외부온도와 두 실험 방의 온도 변화 그래프의 모양이 비슷하고, 온도가 변하는 시점이 비슷한 것을 미루어 보았을 때 단열 성능이 우수하다고 판단되지는 않는다. 또한 단열재의 축열 성능 또한 취약하다고 판단된다.

외부 습도의 측정 결과는  $58.9\sim 99.8\%$ 로 나타낸 반면 셀룰로오스 방의 실내 습도는  $41.5\sim 72.4\%$ , 황토방의 실내 습도는  $43.5\sim 75.8\%$ 로 외부 습도에 비해 안정적인 결과를 나타냈다. 또한 셀룰로오스방과 황토방 모두 평균 습도가 쾌적한 범위( $40\sim 60\%$ )를 나타내고 있었다.

표 60 동계 모니터링 결과

		최고	최저	평균
온도 (°C)	셀룰로오스	6.1	-8.7	-0.4
	황 토	6.1	-9.0	-0.7
	외 부	14.6	-15.9	-3.2
습도 (%)	셀룰로오스	72.4	41.5	54.1
	황 토	76.8	43.5	58.9
	외 부	99.8	58.9	62.5

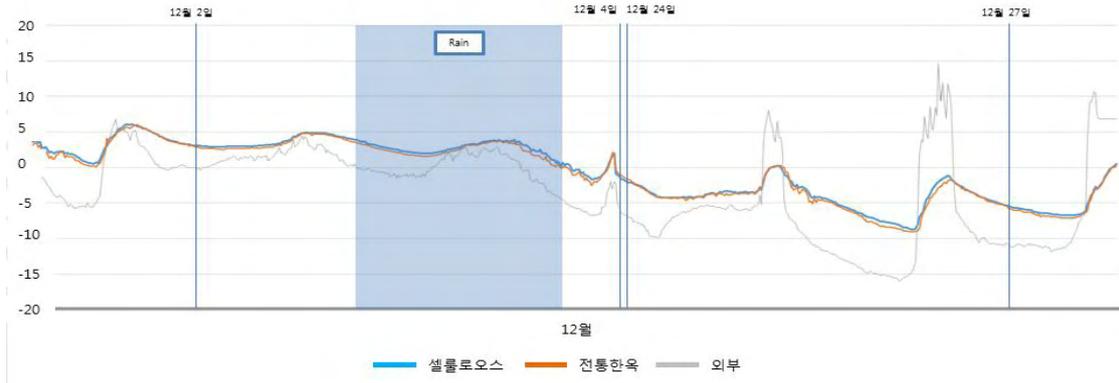


그림 13 농어촌형 생체 그린홈 Test-bed 동계 온도 그래프

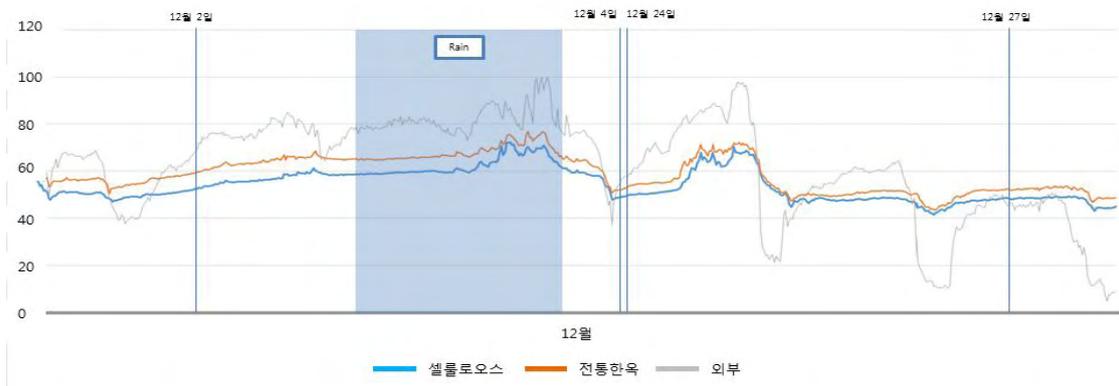


그림 14 농어촌형 생체 그린홈 Test-bed 동계 습도 그래프

(라) 온·습도 준계 실험 결과

봄철 실험은 2013년 3월 23일부터 5월 16일까지 진행하였고, 실험기간 동안 열흘 동안 비온 날을 제외한 나머지 날들은 모두 맑은 날씨였으며 실험기간 내 외부 온도는 -1.8~29.6°C로 나타났고, 셀룰로오스 방의 실내 온도는 2.5~23.9°C, 황토방의 실내 온도는 1.6~23.1°C로 외부와 비슷한 온도를 나타냈다. 셀룰로오스 방의 평균 실내 온도는 13.7°C, 황토방의 평균 실내 온도는 13.3°C로 거의 동일하게 나타났다.

습도의 측정결과 외부 습도가 17.1~93.4%로 나타난 것에 비해 셀룰로오스 방의 실내 습도는 34.2~70.3%, 황토방의 실내 습도는 33.4~74.2%로 외부 습도의 변화에 비해 변화 폭이 작

게 나타났다. 두 실험방과 외부의 평균 습도와 습도 변화 그래프를 비교한 결과 평균 습도는 모두 쾌적한 범위를 나타냈고, 그래프의 변화는 비슷한 추세를 보이지만 두 실험방의 변화폭이 적은 것으로 나타났다. 이는 황토와 셀룰로오스의 실내 습도 조절 능력이 있는 것으로 분석된다.

표 61 춘계 모니터링 결과

		최고	최저	평균
온도 (°C)	셀룰로오스	23.9	2.5	13.7
	황 토	23.1	1.6	13.3
	외 부	29.6	-1.8	12.8
습도 (%)	셀룰로오스	70.3	34.2	50.2
	황 토	74.2	33.4	52.5
	외 부	93.4	17.1	50.3

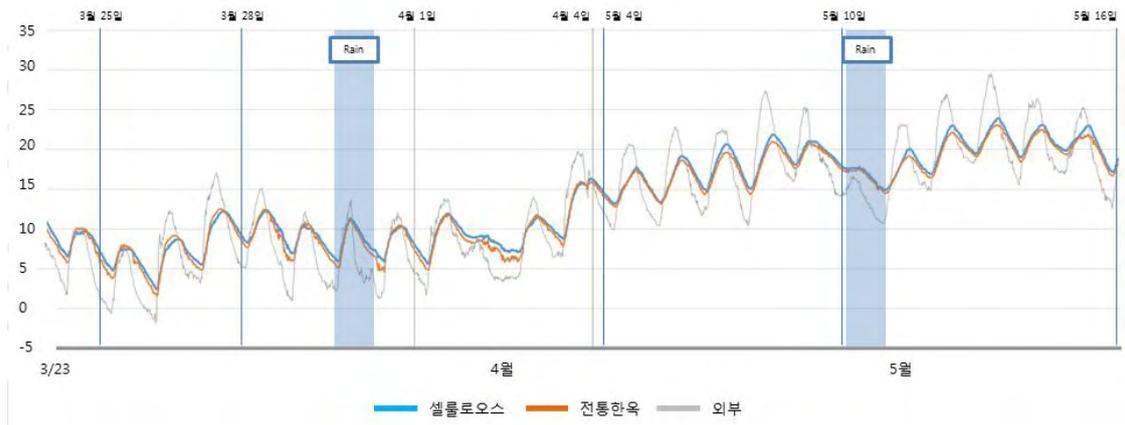


그림 15 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed 춘계 온도 그래프

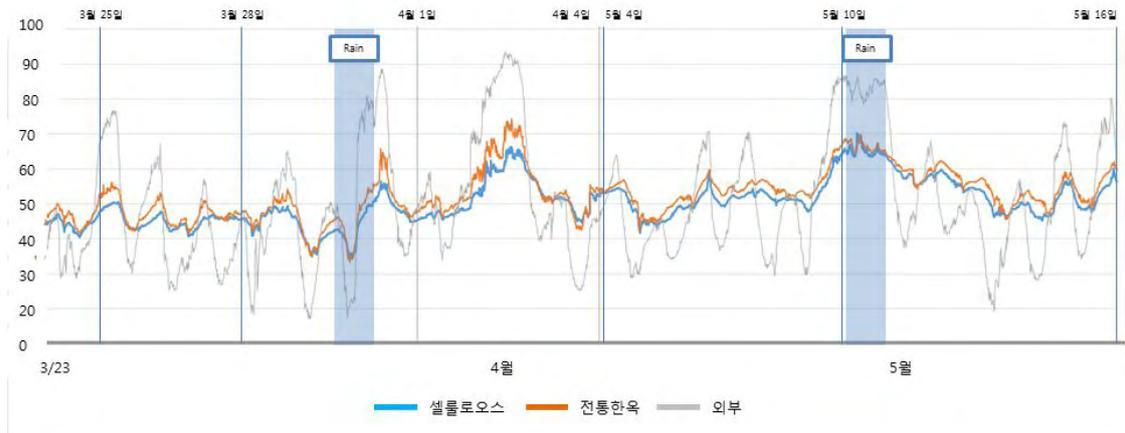


그림 16 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed 준계 습도 그래프

#### (마) 포름알데히드 측정 결과

셀룰로오스방의 포름알데히드 농도는 최고 0.079ppm, 최저 0.008ppm으로 측정되었고, 황토방의 포름알데히드 농도는 최고 0.03ppm, 최저 0.016ppm으로 측정되었다. 셀룰로오스방의 포름알데히드 평균 수치는 0.048ppm, 황토방의 포름알데히드 평균 수치는 0.023ppm으로 측정되었다. 그래프 변화를 살펴보면 특정 구역을 제외한 나머지 부분은 모두 황토방보다 월등히 높게 측정되었다. 이는 석고보드 시공 시 사용되었던 풀과 석고보드 자체로부터 나오는 유해성분인 것으로 분석된다. 하지만 두 실험방의 포름알데히드 측정값은 WHO 권고 기준인 0.8ppm과 국내 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 권고 기준인 0.1ppm보다 낮게 나타났다.

표 62 포름알데히드 측정 결과

		최고	최저	평균
포름알데히드 (ppm)	셀룰로오스	0.079	0.008	0.048
	황 토	0.03	0.016	0.023

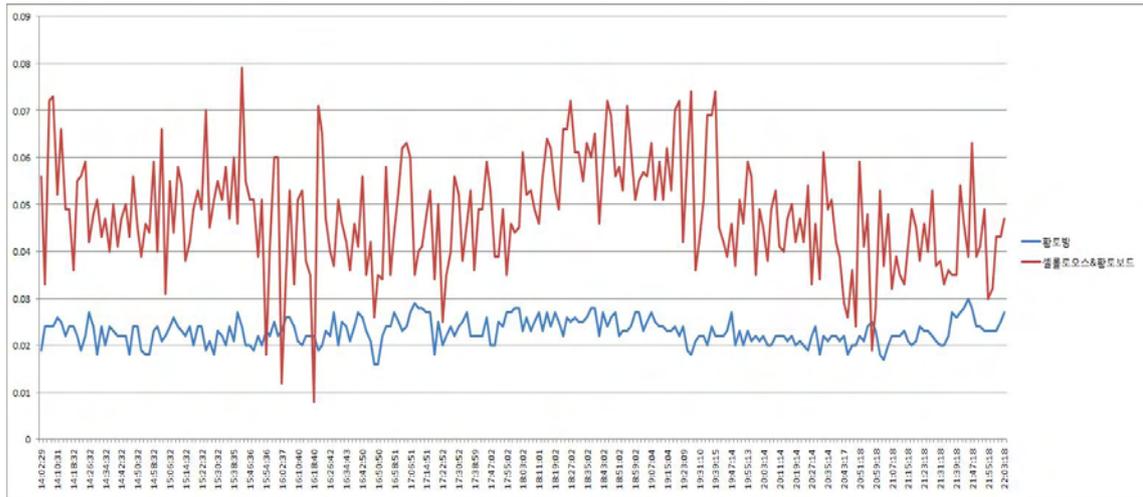


그림 17 농어촌형 생태 그린홈 Test-bed 폼알데히드 그래프

## (바) 결론

모니터링 측정을 통해 얻은 2차년도 농어촌형 그린홈 Test-bed의 온·습도 데이터는 외부의 온·습도와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한 전통 한옥 방식의 맞벽치기(황토벽)와 개량 한옥(셀룰로오스 단열재)벽체를 서로 다른 단열수치를 보이도록 계획하였음에도 불구하고 동일한 수준의 온도를 나타냈다. 이러한 데이터가 측정된 원인으로는 첫 번째로 전통경관의 입면을 고려한 디자인으로 벽체 두께의 한계로 판단되었다. 전통 한옥의 입면은 기둥이 벽체보다 더 돌출되는 특징 때문에 경량 목구조 형식의 벽체를 구성하였지만 130mm의 두께만 확보할 수 있었고, 이는 충분한 단열성능을 확보하기에는 부족한 벽 두께로 판단된다. 따라서 충분한 단열성능 확보를 위해서는 기둥보다 두꺼운 벽체 구성이 필요하고, 전통 한옥의 입면을 고려하여 실내의 기둥의 돌출을 포기하거나 더 두꺼운 기둥을 사용해야 한다. 또 다른 방법으로는 고성능 단열재의 사용으로 단열성능을 확보할 수 있지만 시공비용이 많이 드는 단점이 있다.

두 번째로는 창호성능으로 분석된다. 전통 한옥의 창호는 전통 경관 입면의 중요한 요소 중 하나이다. 따라서 전통 경관을 고려하여 전통 한옥의 창호를 사용하였지만 취약한 단열성능과 기밀성능으로 쾌적한 범위의 실내 온열 환경을 유지하지 못하였다. 따라서 고성능 시스템 창호를 설치하되 프레임의 색상 등을 고려하여 주택 성능의 향상과 동시에 전통 경관 또한 살릴 수 있도록 하여야 한다.

마지막으로 세 번째 이유는 취약한 기밀성능으로 판단된다. 전통미를 고려하여 상인방, 중인방, 하인방 모두 시공하여 벽체가 2개 이상으로 분리된 점과 원형 서까래의 시공은 Test-bed의 기밀시공에 불리한 조건으로 작용하였다. 또한 창호와 벽체의 결합부위에는 별 다른 기밀

시공 없이 폼 충전으로 처리되었다. 취약한 기밀성능을 향상시키기 위해서는 반자틀 설치 및 단열 시공으로 실내 기밀라인이 끊어지지 않는 시공과 창호와 벽체의 결합 부위 및 벽체끼리의 결합 부위에 기밀 테이프 시공이 필요하다.

두 실험방의 포름알데히드의 수치가 낮게 나온 주요원인은 친환경 자재 및 생태 자재를 사용한 것이다. 두 실험방 모두 WHO 권고 기준인 0.8ppm과 국내 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 권고 기준인 0.1ppm보다 낮게 나타났고, 실내공기질은 우수한 것으로 판단된다.

# 3절 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 계획요소 조사 및 Mock up 구축

## 1. 생태적 디자인 요소 개발 및 외부적용요소 개발

### 가. 친환경 건축자재를 이용한 디자인 요소개발

#### (1) 친환경 건축자재의 분석

##### (가) 친환경 건축자재의 유사 개념 정의

###### ○ 천연재료(Natural Materials)

- 흙이나 나무, 돌 같은 소재로서 원재료를 채취하여 절단, 연마 등 가공, 채취, 생산, 사용과정에서 화학적 성분이 전혀 들어가 있지 않고, 순수하게 자연에서 얻어진 재료로 만들어진 건축 재료를 의미

###### ○ 친환경 재료(Eco-friendly Materials)

- 천연성분에 준하지만 천연으로 만든 것은 아니며, 각 나라의 환경 기준치에 맞춰 가공 및 생산된 것임
- 원료의 채취, 생산, 물품제조에서 사용, 유지관리, 폐기에 이르는 라이프사이클 상의 환경 부하를 최소화 할 수 있고 사용자의 건강을 저해하지 않는 재료
- 무공해의 자연소재들을 혼합하거나 접합하여 만들거나 천연소재와 인공재료, 폐자재일부를 합성해서 유독물질이 배출되지 않고 인체에 해롭지 않은 건축 재료임

###### ○ 지속가능한 재료(Sustainable Materials)

- 재료 자체가 훼손되지 않고 썩지 않는 재료로 세대를 교체하여 영구히 사용될 수 있는 재료
- 대부분 스틸, 동판, 알루미늄, 강철 등 금속재가 이에 속하며 재활용, 폐기 시 환경부하가 적지만 생산시 많은 오염을 유발하고 마감방식에서는 유독성 물질을 사용하므로 환경부하가 큼

###### ○ 재활용 재료(Recycled Materials)

- 건축이나 각종 산업 폐자재 중에서 새롭게 원료로 이용하여 생산된 재료
- 폐콘크리트, 폐목재, 폐지, 폐플라스틱 등을 이용하여 생산된 건축재료

(나) 건축재료 선택 및 평가

○ 계획에서의 건축재료 선택

- 화학적 영향이나 기계 및 열의 영향을 막아주는 기능을 수행하는 것이 중요
- 신선하고 산소가 많은 공기를 집으로 유입시키고, 이미 사용하여 오염된 공기를 배출하는 최대의 환기능력을 보유하도록 함
- 환경성 : 건축재료의 제조 및 운송과정에서 에너지 사용과 재료의 무해성, 환경부하 등과 같은 특성을 고려
- 기술성 : 재료의 기능별 적합성, 즉 각 재료가 요구하는 단열, 차음, 습도조절, 안정성, 강도 등 기술적인 요건을 고려
- 경제성 : 동일한 성능과 효과가 기대될 경우 친환경 재료가 경제성 있음
- 다양한 관점에서 선정하는 것이 중요하나 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up을 위한 연구에서는 환경적인 측면에서 주로 검토

○ 평가기준

표 63 건축재료 선택 시 평가기준

제조 및 생산과정		사용과정				폐기과정	
		기술적 측면		기타			
원재료의 평가	광물질 화석 식물성 동물성	기술적인 내용	원재료 중량/ 압축 강도 온도전도율 축열 성능 결로(moisture performance) 열전도율	비용/ 이익	자재비 설치비 사용기간 안정성 파손 허용오차	재생 (Reclaim)	처리 유 처리 무
생산과정	에너지 소비 보조재 환경부하 방사물	기술적인 적합성	단열 차음 습도 조정 내연성 안정성/하중 실내온도조절 공급형태/운송포장	인체 적합성	독성 가스 미세먼지	철거	퇴비화 분해 소각 최종처리 특별 쓰레기 처리
원재료의 재생 가능성		구조	사용 영역 가공 절단 시간소모	감각 기관 자극	소리 냄새 표면구조 색상	생태 시스템으로 재통합 (reintegration)	

출처 자료: Fuchs, Schleifnecker(2001), p.70

(다) 제로에미션을 위한 건축자재의 분석

① 구조체 재료

○ 목구조

· 개념

- 목재를 주요 재료로 쓴 구조물
- 목재의 규격 크기 및 시공방법에 따라 통나무주택, 기둥-보 구조 주택, 경량 목구조 주택 등으로 분류

· 특성

- 열전도율이 낮고 에너지효율이 높음
- 가변성 및 응용성이 좋아 부분적 교체가 용이하고, 전면 개조와 리노베이션이 뛰어나므로 건축 수명을 100년 이상 유지 가능
- 충격흡수력이 뛰어나고 차음효과도 있음
- 화학처리가 이루어지지 않으면 지속적인 쾌적한 실내공기 유지 가능
- 통기능력이 높고 발산 및 흡수 능력이 있음

· 분류

표 64 구조용 판넬 종류 예시

구조용 판넬	
종류	-합판, OSB, 집성판넬 등
특성	-강도와 내구성이 우수하며 충격에 강함 -주거용, 비주거용, 산업용 건물에 다양하게 사용
용도	-바닥판, 벽 및 지붕 널, 천정이나 데크판, 사이딩용, 콘크리트 거푸집용 등




표 65 공학용 목재

글루램	
개요	-두께 50mm 미만의 각재를 접합하여 만들 -선별된 건조목재를 섬유방향이 평행하도록 서로 적층, 접착하여 직선, 곡선모양 등 다양하게 생산
특성	-치수제한이 없음 -구조형태가 자유로움 -강도와 내구성이 우수하여 구조용으로 적절
용도	-지붕마룻대, 바닥용 빔, 대규모 외팔보 등
	

표 66 LVL 공학용 목재

LVL	
개요	-얇은 목재 단판을 모든 단판의 나뭇결이 길이방향에 평행하도록 적층/접착하여 만든 큰 장 작형태를 사용될 제품의 크기로 잘라 만든 것
특성	-힘받이 부위의 축재료를 제조할 수 있음
용도	-헤더, 빔, 힙, 벨리용 서까래, 비계발판 등
	

표 67 I-JOIST 공학목재

I-joist	
개요	-웹 부분은 합판이나 OSB로 만들고, 플랜지 부분은 각재나 LVL로 만듦
특성	-시공이 간단하도록 곧고, 경량이며, 긴 길이의 것이 생산 -전단응력을 지탱하는 웹과 휨 응력을 지탱하는 플랜지 부분으로 구성
용도	-주거용이나 경량의 상업용 건물에 바닥 또는 지붕 구조용 자재




표 68 방부목재

· 방부목	
개요	-부패방지를 위해 인공적으로 약품을 처리한 목재
특성	-수용성·유용성 크레오조트계 방부액 사용 및 설치후 빗물에 방부재료 제거됨
용도	-기초, 발코니, 데크, 담장, 옥외 조경물 등




· 공법

표 69 목구조 공법

노치공법	-나무와 나무의 교차부분을 서로 반씩 겹치게 하는 형식 -튼튼하고 지진이나 지반 침하에도 잘 견딤
포스트앤빔	-하단부분은 노치공법으로 쌓아올리며 중간에서 위까지는 기둥을 세워 건물 내부에서 시야를 다각적으로 처리할 수 있음
콤비네이션	-목재를 이용한 여러 형태의 공법을 분배 이용하여 다양한 모양 표현 -벽체를 황토나 여러 가지 재료로 처리 가능
피스앤피스	-비교적 짧은 원목을 이용할 수 있음 -건물의 각이 많은 설계에 적합 -비교적 가지런하고 안정감을 주는 공법

○ 황토블럭

표 70 황토블럭



· 개념

- 황토를 분쇄하고 반죽하여 블럭 형태로 만들어 자연건조를 통해 만든 블럭
- 각종 시멘트나 석회, 화공약품 등을 섞지 않아 순수 황토 효능을 그대로 가지는 재료

· 특성

- 천연의 습도 조절 기능을 가짐으로 실내 습도를 쾌적하게 유지
- 여름의 경우 실내 기온이 실외보다 3~10℃ 낮고 겨울에는 5~7℃ 높음
- 공극이 많아 통풍이 잘되고 오염물질 제거 효과가 있어 정화기능을 함
- 수분에 취약하며 구조상 고층이 어려움
- 크랙 현상의 발생 우려가 높아 배합 및 건조 시 주의요함
- 황토가루날림 현상이 발생할 가능성이 있음

· 시공

- 빗물이나 눈의 침투에 대비하여 기초 콘크리트 30cm 위에서 조적
- 외벽은 두 장 공간 쌓기가 기본이며 조적 시 벽돌 중앙 공간에 단열재를 넣고 시공가능
- 외벽에 한 장 쌓기가 불가피한 경우 황토 단열재를 바름 시공한 후 황토 미장재를 20mm 정도로 2회 미장
- 황토몰탈 또는 생황토로 시공하며 조적의 안정성 확보를 위해 블럭 메쉬 사용
- 황토 블럭을 노출할 경우 시멘트 대신 황토줄눈재로 시공

○ ALC블록

표 71 ALC 블록



· 개념

- 발포제에 의해 콘크리트 내부에 무수한 기포를 독립적으로 분산시켜 중량을 가볍게 한 기포콘크리트
- 석회질, 규산질 원료와 기포제 및 혼화제를 주원료로 다공질화한 혼합물을 고온고압 (180℃, 10기압)에서 증기 양생시킨 경량기포콘크리트의 일종

· 특성

- 경량성, 단열성, 가공성, 치수안전성, 내화성 등이 우수함
- 내부의 공극량이 많아 함수율 증가에 따라 비중이 약 2배까지 증가하여 압축강도와 열전도율 등에 현저한 영향을 미침
- 흡수성이 높고 부서지기 쉬움. 특히 모서리 파손이 많음
- 재료적인 특성은 비중, 압축강도, 탄성계수, 열전도율, 내구성 등과 같은 ALC 고유의 다양한 물리적 특성과 관계가 깊음

· 분류

표 72 ALC블록 종류 및 분류

일반블록	-별도의 가공없이 표준품으로 만든 블록 -비중이 0.5이며 강도는 30kgf/cm <sup>2</sup> 이상인 것
가공블록	-사용목적에 따라 별도로 가공한 블록 -그라우팅을 하기 위해 블록의 양쪽끝을 오목하게 판 블록과 요철 블록
고강도블록	-일반블록보다 밀도를 높여 높은 강도나 차음성을 요구할 경우 사용되는 블록 -비중이 0.6인 블록은 강도가 50kgf/cm <sup>2</sup> 이상, 비중이 0.7인 블록은 70kgf/cm <sup>2</sup> 이상인 블록
특수블록	-크기를 일반블록보다 크거나 작게 만든 것 -L형, U형으로 만들거나 창호 인방용으로 만든 것
발수블록	-특별히 방수성을 요할 시 사용되는 블록 -ALC를 생산시 슬러리에 발수제를 첨가하여 물에 대한 흡수율을 낮춘 블록

· 공법

- 기존 조적조 공법과 동일한 방법으로 시공
- ALC 첫 단을 전체적으로 선 시공하여 양생시킨 후 상부까지 쌓는 것이 원칙
- 블록과 블록 사이에는 파장편을 이용하여 양생되는 동안 면의 틀어짐 방지
- ALC 조적용 몰탈을 이용해 줄눈을 2~3mm 정도로 쌓음
- 외부와 접하는 부분 및 물과 접하는 부분은 방수를 고려

○ 친환경 콘크리트

표 73 친환경 콘크리트



· 개념

- 환경부하 저감과 CO<sub>2</sub> 감축을 위한 콘크리트
- 도시의 각종 쓰레기 소각물, 하수오물, 산업 폐기물 등을 원료로 한 시멘트 또는 폐 콘크리트로부터 재활용 시멘트를 만들어 이용하거나 시멘트 대신 황토 등을 사용하고 플라이애쉬나 고로슬래그와 같은 산업부산물을 혼화제로 이용한 콘크리트

· 특성

- 콘크리트 제조 시 CO<sub>2</sub>와 산업폐기물의 배출량 감소
- 콘크리트 수명을 연장시키거나 순환골재 사용으로 환경부하 감소
- 다량의 연속공극을 포함한 콘크리트를 활용하여 식재 및 수질정화 효과
- 플라이애쉬나 고로슬래그의 혼합비에 따라 상온에서 3~7일 만에 압축강도 20~80MPa 범위까지 확보 가능
- 현재 개발단계에 있음(시공성, 강도, 내구성, 시공가능부위 등 기존 콘크리트에 비해 낮거나 동등)

· 분류

표 74 친환경 콘크리트 종류 및 분류

환경부하 최소 콘크리트	-환경에 걸리는 부하를 최소화하여 환경보존에 기여 -산업폐기물 소각회, 용융슬래그 30~50% 정도를 포틀랜드 시멘트에 혼화 -하수오니 슬러지 소각회나 슬래그를 이용한 콘크리트 제조
고내구성 콘크리트	-콘크리트 고강도화 및 구조물 사용연한 장기화 고려 -사용 시멘트량 및 골재자원의 감소 등 경제성이나 환경문제 유발 감소
식생 콘크리트	-투기 및 투수가 용이한 다공질 콘크리트 -식물의 식재가 가능
포러스 콘크리트	-연속공극을 균일하게 형성시킨 다공질 콘크리트 -수질정화재, 흡음재, 녹화기반재 등으로 이용
내산성 콘크리트	-산성비에 의한 구조물의 침식작용을 최소화하는 콘크리트

○ 스트로베일

표 75 스트로베일 재료 및 적용



· 개념

- 벽돌처럼 건조블록을 쌓아 벽을 구성하고 양쪽 벽면을 흙 등으로 미장해 완성하는 형태
- 외벽은 황토로 마감하여 건조 후 습기가 들어오지 않는 구조로 시공
- 습도 20%이하의 건조블록만 사용하여 습기에 의한 부식 방지

· 특성

- 재생산 가능한 지속가능한 자연재료
- 습도조절능력, 탈취능력, 방음능력, 단열성능이 우수
- 에너지 투입량이 적은 재료 채취로 가격이 저렴하고 시공 간단
- 다양한 형태로 건축 가능

· 구조체 요소 평가

표 76 재료별 요소평가

구분	인체유해성	에너지소비	환경부하	재생·재활용	경제성
목구조	●	●	◎	●	◎
황토블럭	●	●	◎	◎	○
ALC블럭	◎	◎	◎	○	○
친환경콘크리트	◎	○	◎	○	◎
스트로베일	●	●	●	◎	◎

● : 매우 좋음      ◎ : 좋음      ○ : 보통

\* 제조과정에 따라 인체유해성 정도가 불분명할 수 있음

② 단열재 재료

· 단열재 선정기준

- 제조 공정 시 또는 시공 및 사용 중에 에너지 소모 및 환경적 유해성을 고려하여 선정해야 함
- 일반적으로 화학적으로 생산된 단열재가 단열효과 및 내구성 등이 뛰어나
- 건축구조를 고려하여 단열재 선정
- 열전도율은 일반적으로 0.02~0.05kcal/m·h·℃ 사이에 있는 것이 보통

· 단열재 구비조건

표 77 단열재가 가져야할 조건

열전도율	흡수율	투기율	비중
낮음	낮음	작음	작음
시공성	내화성	기계적 강도	환경성
용이	높음	높음	좋음

○ 압면(rock wool insulation)

표 78 압면단열재 예시



· 개념

- 석회·규산을 주성분으로 하는 내열성이 높은 광물질인 현무암, 안산암, 혈암, 돌로마이트 등을 용융한 것을 원심력과 압축공기 또는 고압증기 등으로 섬유화시킨 단열재

· 특성

- 섬유질 단열재로서 습기에 상대적으로 취약
- 연기나 유독가스가 발생되지 않는 불연재이며
- 섬유 굵기가 가늘수록 열전도율이 낮아지는 경향이 있음
- 열전도율 : 0.042~0.049kcal/m·h·°C 이하 (주위 평균온도 70°C에서)

· 분류

표 79 압면의 종류 및 특징

구 분	특 징
압면보온판	-압면을 물속에서 불순물을 제거한 후 불연성 접착제를 혼합하여 텍스제조기로 제판하여 건조 -유연성이 좋고 시공이 용이 -열전도율:0.044kcal/m·h·°C (주위 평균온도 70°C에서)
압면보온통	-압면에 접착제를 사용하여 스펀지상으로 만든 원통형 -열전도율:0.044kcal/m·h·°C (주위 평균온도 70°C에서)
압면보온대	-겹쳐진 층모양의 압면을 일정한 나비로 잘라내어 이것을 가지런한 길이로 펴놓고 인장강도 2 kg/cm 이상의 종이 또는 형견을 한쪽으로 잘라 붙여 마무리한 제품 -열전도율:0.059kcal/m·h·°C (주위 평균온도 70°C에서)
압면펠트	-접착제를 사용하여 탄력있는 펠트모양으로 성형하거나 메탈라스로 보강하여 성형한 제품 -필요에 따라 종이나 천 등으로 외피를 발라 붙이거나 표면을 피복 -열전도율:0.049kcal/m·h·°C (주위 평균온도 70°C에서)
압면블랭킷	-겹쳐진 층모양의 압면을 인장강도 2kg/cm 이상의 종이, 형견 또는 메탈라스 등의 외피로 보강하여 성형한 제품 -열전도율:0.049kcal/m·h·°C (주위 평균온도 70°C에서)

- 유리면(glass wool insulation)

표 80 유리면 단열재



· 개념

- 규사, 장석, 석회석 등을 1,500~1,600℃에서 용융하여 섬유화한 후 바인더를 첨가하여 집면, 경화, 제품화한 단열재

· 특성

- 일명 광석면이라고도 함
- 단열과 보온 및 흡음성 등이 우수하고 내화성이 있음
- 주위 온도 상승 변화에 대한 열전도율의 상승이 적음
- 열전도율 : 0.039kcal/m·h·℃ 이하 (주위 평균온도 70℃에서)

· 공법

- 압면과 같이 섬유질의 단열재로 연결부위 시공이 용이
- 벽체 등 수직 부위에 시공할 경우 자중 또는 진동에 의해 밑으로 처지거나 내려앉는 현상 발생 가능
- 목조틀을 만들어 고정시켜야 하는 시공 상의 어려움이 뒤따름

○ 발포 폴리스티렌(foam polystyrene insulation)

표 81 발포 폴리스티렌 단열재



· 개념

- 제조방법에 따라 2가지로 구분
- 발포제를 함유한 폴리스티렌 비드를 원료로 하여 예비발포, 숙성, 충전, 가열성형, 냉각의 공정을 거쳐 만든 단열재(EPS)
- 폴리스티렌 수지와 발포제를 압출기내에서 혼합 가열하여 노즐에서 압출, 성형하는 압출 발포 폴리스티렌 단열재(XPS)

· 특성

- 전기절연성이 우수
- 다른 단열재에 비해 단열효과가 비교적으로 크고 흡수율 및 비중이 작음
- 시공성 및 내부식성이 좋아 많이 사용되는 단열재 중 하나
- EPS는 시공성이 우수하나 물 흡수율이 높아 물과 직접 닿거나 습기가 많은 곳에서는 불리
- XPS는 EPS와 비슷하나 단열성이 우수하며 투습 저항을 지닌 단열재

· 분류

표 82 발포 폴리스티렌 종류

발포 폴리스티렌 보온판	-품질에 따라 1~4호 종류로 구분 -크기 : 길이×폭 900×600mm, 1200×600mm, 1800×900mm, 2400×900mm, 2400×1200mm -두께 : 25mm, 30mm, 35mm, 40mm, 50mm, 75mm, 100mm 등 -압출법 발포 폴리스티렌 보온판 동일 -열전도율 : 0.036~0.043kcal/m·h·°C (주위 평균온도 20±5°C)
발포 폴리스티렌 보온통	-품질에 따라 1~3호 종류로 구분 -보온통의 안지름은 22~319mm까지 다양 -두께 : 20mm, 25mm, 30mm, 40mm, 50mm, 60mm, 75mm, 100mm 등 -길이 : 60cm, 90cm, 100cm 등 -열전도율:0.036~0.037kcal/m·h·°C (주위 평균온도 70°C에서)

· 공법

- 고정형 단열재로 운반 및 설치하기 용이
- 연결 부위를 정교하게 고정시키는 것이 중요
- 설치하고자 하는 면에 맞추어 절단 및 접합

○ 폴리우레탄폼(polyurethane foam insulation)

표 83 폴리우레탄 폼



· 개념

- 경질과 연질로 나뉘며 단열재 용도로는 경질의 제품이 사용
- 경질 우레탄폼 단열재는 폴리올, 폴리이소시아네이트 및 발포제를 주재료로 하여 판상 또는 통상으로 제조하나 건축현장에서는 주로 직접 발포해 시공

· 특성

- 현장 발포시공이 가능하며 단열성이 크고 전기절연성이 뛰어나며 강도가 큼
- 시간이 경과함에 따라 부피가 줄어듦
- 점차 열전도율이 높아짐
- 뛰어난 단열성능으로 보온, 보냉에 사용
- 열전도율 :  $0.023 \sim 0.0257 \text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  이하

· 시공

- 현장에서 발포 시공 시 분사 각도가  $30^\circ$ 를 넘지 않도록 주의
- 스프레이건과 피착 면과의 거리를 일정하게 유지
- 균일한 두께를 위해 동일방향으로 연속분사
- 1회 30mm이하로 분사 발포하고 작은 입자가 되도록 분사압을 최대한 설정

○ 셀룰로오스(cellulose insulation)

표 84 셀룰로오스 단열재



· 개념

- 재생종이(신문지 등)나 목재섬유를 갈아서 만든 단열재
- 충전재로 많이 활용되나 보드 및 매트 고형의 형태로 생산 가능

· 특성

- 폐기 시에도 폐자재로 버려지지 않고 다른 이용형태로 재활용 가능
- 단열재 중 경량에 속하여 건축물 자체하중을 줄이는 역할을 함
- 방음성능과 단열성능이 뛰어나며 오염물질의 배출이 없음
- 구조가 복잡한 구조물에도 쉽게 적용이 가능
- 모세관현상이 우수하여 습기에 강함(여름철 고온다습한 우리나라 기후에 적합)
- 지속적인 습기의 유입으로 습기조절 능력의 한계가 발생하면 곰팡이나 화재의 위험 발생이 있음
- 열전도율 :  $0.04 \sim 0.5 \text{W/m}\cdot\text{k}$ (온도, 수분함량, 밀도에 따라 변화)
- 비중이  $55 \text{kg/m}^3$ 으로 일반적인 비드법이나 압출법 단열재, 글라스 울보다 높음
- 수분함량이  $0 \sim 5 \text{vol}\%$  증가함에 따라 열전도율은  $0.04 \sim 0.066 \text{W/m}\cdot\text{k}$ 로 증가
- 단열재 자체로 기밀성 확보가 가능

· 시공

- 건식공법과 습식공법이 있음
- 일반적으로 경제적인 측면에서 포대에 포장되어 이미 세워진 외벽이나 지붕에 구멍을 내어 펌프로 채워 넣는 방식을 많이 사용
- 습식으로 물과 접착제를 섞어 뿜칠을 하는 경우도 있음(투습이 원활한 마감을 하는 경우에 가능)
- 경량목구조나 스틸하우스에서 뿜칠 시 사용되는 많은 양의 물로 인해 하자 발생이 높아 부적합

○ 목섬유(wood fiber insulation)

표 85 목섬유 단열재



· 개념

- 침엽수의 기초조직을 형성하고 있는 섬유질 부분으로 펄프의 원료가 되는 부분
- 바닥, 지붕, 벽체의 단열 및 방음성능에 활용

· 특성

- 모세관 현상이 우수하여 습기에 강함
- 외단열 미장마감, 층간 소음 방지와 평지붕에도 사용 가능
- 경질의 목섬유는 비중이 200kg/m<sup>3</sup>으로 높음

· 분류

표 86 목섬유 단열재의 분류

<b>목섬유 시멘트판</b>	-국산 간벌재의 섬유와 세다공질의 세라믹 분말을 혼합하여 시멘트로 형성한 단열재 -콘크리트 건물에 적합 -실내 측의 거푸집재로 사용되며 콘크리트의 고화 후 떼어내지 않고 그대로 단열재로서 벽의 일부로 사용 -세라믹이 콘크리트에서 나오는 암모니아 등의 유해물질을 흡착 -조습성으로 습기 및 복측의 결로 현상 해결 -지하실 내단열 공법에 적합
<b>목질연질섬유판 (단열재보드)</b>	-건축 폐재, 소경재 등을 잘게 분쇄하여 섬유 모양으로 만든 후 창호지 제작 방법과 같은 공정으로 판을 만든 것 -잔재나 폐재를 이용하므로 친환경
<b>목질발포보드</b>	-식물계 폐기물을 생분해성 플라스틱으로서 발포시킨 것 -폐재가 되어도 흙으로 환원되기 쉬움

· 시공

- 목섬유 단열재는 경질과 연질로 나뉘며, 연질은 대부분 내단열용으로 경질은 외단열용으로 사용(내·외부 미장용 단열재로도 사용 가능)
- 다양한 형태로 가공되어 여러 형태로 시공
- 목조 건물이나 경량스틸하우스에 사용되며 기존의 방습지, 미네랄 울과 조합하여 내단열용으로 사용
- 외단열용으로 사용할 경우 물이 들어가면 썩게 되므로 외피의 최종 마감 시 강수 유입을 막는 것이 우선되며 투습이 원활한 시스템으로 사용
- 경질의 목섬유(라텍스 표면처리-방수효과) 단열재는 방수 기능이 있기에 일반적으로 지붕에 사용하는 투습방습지를 사용하지 않아도 됨

○ 양모(wool insulation)

표 87 양모 단열재



· 개념

- 파생물로서 생산 공정에 에너지가 많이 소요되지 않고 천연 중공사 양모를 아주 견고하게 엮어 제조한 천연 단열재
- 100%양모 또는 폴리에스터 파이버를 첨가하여 제조한 단열재
- 롤, 매트, 경질 단열보드 형태로 제작

· 특성

- 인체에 무해한 친환경 단열재
- 섬유구조와 조밀도로 방음효과가 뛰어남
- 천연양모가 가지는 흡수성으로 내부습도 조절 기능 수행 가능
- 천연양모의 경우 타지 않고 녹는 성질로 내화성이 우수
- 비중은  $25\text{kg/m}^3$
- 열전도율 :  $0.039\text{W/m}\cdot\text{k}$

· 공법

- 장갑 등 별도의 장비 없이 시공 가능
- 원활한 수증기의 흡입·방출을 위해 투습방수지 사용 권장
- 절단이 용이하고 뜯어서 시공이 가능

· 단열재 요소 평가

표 88 단열재 종류별 요소 평가

구분	인체유해성	에너지소비	환경부하	재생·재활용	경제성
암면	◎	◎	○	◎	●
유리면	○	◎	○	◎	●
발포 폴리스티렌	○	○	○	○	●
폴리 우레탄폼	○	○	○	○	●
셀룰로오스	●	●	◎	●	◎
목섬유	●	●	◎	●	◎
양모	●	●	●	●	○

● : 매우 좋음      ◎ : 좋음      ○ : 보통

③ 마감재 재료(내부마감재)

○ 원목 바닥재

표 89 원목 바닥재료



· 개념

- 원목 판재를 그대로 가공하여 인체에 무해한 천연 바닥재
- 보행성이 우수하며 자연스런 느낌과 분위기 연출

· 특성

- 주로 온대지역의 활엽수를 사용
- 함수에 의해 변형이 가능하므로 비 온돌용, 사무실, 상업공간 등에 주로 사용
- 변색 및 퇴색 등 손상이 있을 경우 표면을 연마하고 재 도장하여 사용 가능

· 공법

- 일반적으로 두께 15~20mm, 너비 50~100mm 정도의 크기 사용
- 돌출된 측과 측을 끼울 수 있는 홈을 서로 맞춰 연결
- 하부 작업으로 많은 시공품이 발생
- 현장 상황 등을 감안해 시공

○ 강화마루

표 90 강화마루 바닥재



· 개념

- HDF에 무늬가 새겨진 데코필름을 결합한 뒤 표면은 HPL(high pressure laminate) 또는 LPL(low pressure laminate)로 강화 처리한 바닥재

· 특성

- 데코 필름에 따라 다양한 디자인 연출 가능
- 라미네이트 코팅 처리를 하여 내마모도, 내구성, 내오염성이 강하고 유지관리가 편리

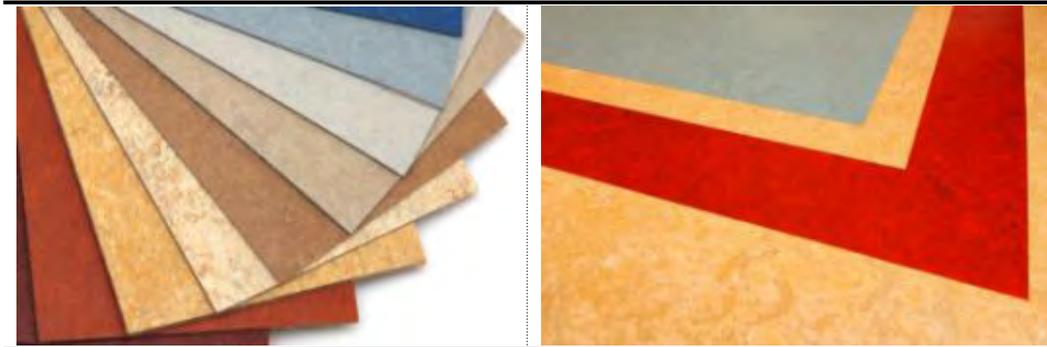
· 공법

- 현가식 시공법을 통해 시공하며 마루와 마루 사이 홈에 친환경 접착제를 칠하여 결합하는 방식

- 시공이 간단하고 공기가 짧음
- 차음성과 보행성이 우수
- 벽, 문아래 등 두꺼운 폴딩을 사용하여 공간을 만들어야하므로 바닥에 붙지 않아 열전도율에 불리

○ 리놀륨

표 91 리놀륨 바닥재



· 개념

- 아마인유 또는 보일유를 산화하여 만든 리놀신에 수지, 충전재 안료등을 가하여 황마포로 압착한 것

· 특성

- 탄력성이 좋음
- 보행성이 좋고 미끄러지지 않음
- 내마모성, 내화, 내열, 전기절연성, 내유성이 우수
- 알칼리성에 취약하고 집중하중을 장시간 받으면 자국이 남고 내수성, 내습성이 부족

· 공법

- 바닥은 충분히 건조시켜 평탄하게 하고 균열을 없애며 알칼리성 외 접착제를 사용
- 무거운 롤러로 내부에 공기가 남아있지 않도록 압착

○ 황토

표 92 황토 재료



· 개념

- 황색 내지 적갈색의 풍화토
- 다량의 탄산칼슘에 의해 쉽게 부서지지 않는 점력을 지니며 물을 가하면 찰흙으로 변하는 성질이 있음

· 특성

표 93 황토의 장점 및 단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> <li>-친근한 느낌을 주는 토속적인 재료이며 온화하며 포근한 느낌을 줌</li> <li>-PH가 중성에 가까워 인체에 무해</li> <li>-자동습도조절(호환작용)이 뛰어나며, 흡수율이 시멘트에 비해 높아 온돌난방의 경우 적절한 수분공급으로 실내 습도가 유지</li> <li>-열전도율이 낮음</li> <li>-황토 미립자 속 작은 기공으로 공기를 순환시키는 환풍기 역할 및 정화기 역할을 함</li> <li>-항균력이 좋음</li> <li>-방음효과가 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-물에 약해 주방이나 욕실 등에 사용하기 어려움</li> <li>-강도 취약으로 모서리 부분이 손상되거나 분진이 발생</li> <li>-분진 및 내구성 부족으로 건축물 유지·관리가 어려움</li> </ul>

· 분류

표 94 황토의 종류 및 적용 재료의 내용

구 분	내 용
황토 모르타르 (미장용)	-시멘트 모르타르의 대체품으로 사용 가능 -별도의 벽지 같은 마감재 없이 벽과 천장에 미장 바름으로 마감 가능 -조적이나 시멘트 마감된 벽면에 0.5~1cm 두께로 미장 -석고보드 및 합판으로 마감된 벽면에 사용할 경우 접착제를 바르거나 와이어 메쉬를 대는 등 박리에 주의
황토 모르타르 (바닥용)	-슬래브 위 황토 기포 콘크리트 타설 후 온수 파이프를 설치하고 황토 모르타르 10cm 미장 마감 -축열성이 큰 재료로 에너지 절약의 효과가 커 경제성 우수
황토 페인트	-수용성 타입 -휘발성 유기화합물 불 포함 -시공 후 냄새가 나지 않음 -분말과 액상 타입으로 나뉘며 뽐칠 가능
황토 퍼티	-색상이 자유롭고 각종 무늬롤러로 시공 -다양한 무늬 연출 가능
황토 본타일	-황토 본타일과 백토 본타일을 혼합하여 다양한 색상 표현 가능 -인테리어 효과 연출을 위해 도장 후 도장기구 사용
황토 아트보드	-다양한 무늬 제품으로 미적인 요구 충족 가능 -벽체 디자인 소재로 사용 가능
황토 벽돌	-불에 굽지 않은 자연 흙벽돌로 흙의 물성 유지 -점토벽돌 시공 시, 냉난방 비용 평균 30%이상 절감 가능 -유지비용 절감
황토 벽지 및 장판지	-투습도와 투기도가 높아 쾌적한 실내공간 형성 가능 -한지 황토 옥벽지, 소나무벽지, 숯벽지, 음이온 벽지 등 다양하게 응용 가능
천연 황토 대리석	-건물 내부 마감재 사용 -황토와 동일한 효능

· 시공

표 95 시공 부위에 따른 주의 사항

구 분	시공주의 사항
벽 체	-지연재 과다 사용 시 문제 -접착제 도장 후 벽체 미장 불량 -이질재와 경계상에서 크랙 -마감 작업 불량에 따른 크랙
바 닷	-초기 경화 시 마무리면 불량 -불량부의 미발견에 따른 미보수 부위 발생 -시공 전 청소 불량으로 들뜸 발생 -두께 차에 의한 크랙 발생 -함수량 차이에 의해 크랙 발생

#### ④ 마감재 재료(외부마감재)

- 천연 칼라 몰탈( 모노쿠쉬)

표 96 천연 칼라 몰탈(모노쿠쉬)



##### · 개념

- 1회 시공으로 미장, 방수, 도장의 공정을 완료하는 마감재
- 석회석 가루가 주원료로 탈변색이 없는 천연광석의 무기안료와 소량의 분말 수지를 넣은 환경 친화적 제품

##### · 특성

- 수명은 반영구적이며 자외선에 황변성이 없음
- 파스텔 톤의 다양한 칼라로 표현 가능
- 미세기공으로 구조체를 숨쉬게 하므로 구조물의 수명을 영구히 보존
- 다층의 방수막 구조로 물의 침투를 억제
- 공기 중의 CO<sub>2</sub>와 계속 접촉하여 경화가 진행되어 천연 대리석의 강도와 같은 견고성 발휘
- 구조체와 일체화되는 차세대 전천후 마감 몰탈
- 오랜시간이 지난 후 오염에도 고압분사 물청소로 오염물을 제거 가능하여 유지 관리가 비교적 용이

##### · 시공

- 시공하고자 하는 면의 표면을 청소한 뒤 표면 고르기를 하고 뿔칠 후 마감

표 97 마감형태별 마감 방법

구분	마감 방법
스프레이 마감	-뿔칠 후 평활하게 형성하여 일정시간 경화시킨 후 스크랩 공구를 사용하여 마감 -뿔칠기와 시공면의 거리를 일정하게 유지하여 분사 -노즐을 조정하여 원하는 패턴에 따라 시공 가능 -모노쿠쉬 대표적인 마감법
지중해 회벽마감	-뿔칠이나 수작업으로 벽면을 평활하게 형성하여 흠손으로 마무리
스프레이마감	-one stop 마감으로 평활한 바탕면에 뿔칠
스프레이누름마감	-스프레이 마감이 형성된 면을 평 흠손을 사용하여 누름 -담장 등 저층부에 적합

○ 스타코플렉스

표 98 스타코 플렉스



· 개념

- 기존 스타코의 시공 후 벽 갈라짐의 하자 발생 등 단점을 해결한 마감재
- 아크릴 폴리머 소재로 천연 고무와 같은 재료

· 특성

- 천연 고무와 같은 재료로 크랙을 방지하는 신축성능이 뛰어나며 크랙 방지
- 방수성과 통기성이 뛰어나 외벽통기성 유지
- 차음효과와 방염성, 단열성 우수
- 광촉매의 오염제거율이 46%에 달하여 압력세정으로 오염물질 제거

· 시공

표 99 스타코 플렉스 마감방법

구분	마감방법
스프레이 마감	-5~6mm구경의 노즐로 전면 뽐칠 -철 처리부분과 경계부가 평평하게 되도록 초벌뽐칠 후 마감뽐칠 -마감은 각 면별로 작업
흙손 마감	-흙손 등을 이용해 마감 -속건성이므로 각 면별로 마감

- 입자가 고운 정도에 따라 내장재 및 외장재로 사용 가능
- 다양한 컬러를 매치하여 외장재의 다양성을 표현가능
- 외부 적용 시 발수성능으로 인한 외장재의 오염도를 줄임

○ 친환경 도료 및 천연도료

표 100 친환경 도료 및 천연도료



㉔ 천연도료

· 개념

- 일반 도료에 비해 사용되는 안료, 수지와 용제의 주요 성분 등이 지속 재생산이 가능한 순수 천연원료를 사용한 도료
- 생산과정과 도장 작업 시, 사용 후 폐기과정에서 환경오염물질이 발생하지 않는 페인트

· 특성

- 중금속과 휘발성 유기화합물을 사용하지 않아 인체에 무해
- 내구성, 내알칼리성, 내마모성, 발수성, 통기성이 우수
- 화재 위험 방지 및 화재 발생 시 유독가스 배출로 인한 피해 없음
- 내구성과 색상 보존력이 우수
- 내부 및 외부 마감재로 사용 가능

㉔ 친환경도료

· 개념

- 기존 석유화학을 이용한 저공해, 저 독성, 저 VOC 도료 등
- 일반 도료에 비해 사용되는 안료, 수지와 용제의 주요성분 등에 납과 유기용제의 함량이 낮은 도료

· 특성

- 재료에서 발생하는 유해가스 방출량을 최소화시켜 실내 공기 질 쾌적하게 확보
- 내구성, 내 알칼리성, 내마모성, 통기성과 같은 기술적 특성을 유지

○ 목재 사이딩

표 101 목재 사이딩 재료



· 개념

- 건물외장용 벽체재료 주로 목조주택의 외벽마감재로 사용
- 판재 등 다른 외벽체재와 구분하여 자재끼리 맞물리는 형태
- 방수를 고려한 외장재료

· 특성

표 102 목재 외장재의 장점 및 단점

장점	단점
-고밀도 집성목으로 원목의 단점 보완 -보온성과 방습성 우수 -경제성이 좋음 -시공이 간편하고 공기가 단축 -자연스러운 느낌 연출 -친환경적이며 미관상 자연스런 느낌 연출	-변색 및 변형 방지를 위해 주기적으로 오일스테인 바름 -화재에 취약

· 분류

표 103 외장재 적용 종류 및 적용 내용

구분	내용
베벨 사이딩	- 자체 방수성이 있는 적삼목을 이용해 만든 사이딩 - 자주 사용되는 전형적인 사이딩 자재 - 습기, 부식, 충해에 강한 고급목재 - 양쪽 두께가 틀린 점이 특징
로그 사이딩	- 통나무 주택의 느낌 연출 가능 - 주로 적삼목과 SPF소재로 가공
스벤스조 사이딩	- 방부처리 과정을 거치거나 자체 적삼목 사용 - 목재 사이딩 중 가격이 저렴

· 시공

- 시공 방법은 클립을 사용하는 것과 사이딩 접합부에 피스로 시공하는 것으로 구분
- 양과 음 부분을 접합하여 부착
- 수평으로 부착 시 사이딩 좌우 높이를 확인하면서 시공
- 부재의 갈라짐에 주의하며 부착

⑤ 마감재 요소 평가

표 104 내외부 마감재의 요소별 평가

구분	인체유해성	에너지소비	환경부하	재생·재활용	경제성	
내부마감재	원목바닥재	●	●	●	●	○
	강화마루	●	◎	◎	◎	◎
	리놀륨	◎	◎	◎	○	◎
	황토	●	●	●	◎	◎
외부마감재	모노쿠쉬	●	◎	◎	○	●
	스타코플렉스	●	◎	○	○	○
	천연도료/ 친환경도료 목재사이딩	●/◎	◎/◎	●/◎	○/○	◎/◎
	목재사이딩	◎	●	◎	◎	◎

● : 매우 좋음      ◎ : 좋음      ○ : 보통

## (2) 친환경 건축자재를 이용한 디자인 요소

### (가) 외부 디자인 요소 분석

친환경 재료의 분석에 이어 재료들을 적용할 수 있는 다양한 디자인을 제시할 수 있다. 본 재료의 적용은 외부 마감재료의 적용과 내부의 마감 재료로 사용될 수 있으며, 재료의 생산에서부터 폐기 시에 폐기물로 분류되지 않고 재활용 또는 폐기물이 최소화 될 수 있는 재료를 적용한다.

다음 표는 외부 마감을 위한 재료의 적용 예시로서 외부 디자인 요소로 사용이 가능하고 재료마다의 색감과 질감을 달리하여 다양한 외부디자인으로 표현 할 수 있다. 또한 지역성을 고려하여 지역에서 생산되는 재료를 우선적으로 적용한다.

표 105 재료별 외부 적용재료의 디자인 요소

재료별 외부 적용 재료		
		
목재사이딩 적용	스타코플렉스 적용 + 목재사이딩	모노쿠쉬 + 목재사이딩 적용
		
적벽돌 + 모노쿠쉬 적용	황토블럭 + 황토미장 적용	천연페인트 적용

### (나) 내부 디자인 요소 분석

친환경 재료를 적용한 내부 디자인 요소는 실내의 인테리어 목적과 계획을 수립하여 적용한다. 농어촌 주택 역시 사용자의 실내인테리어 스타일에 맞추어 적용하여야 하며, 그 중 사용되는 재료가 친환경 재료 또는 천연재료를 주로 사용해야한다.

이는 농어촌 그린홈으로 건축되는 주택들의 내부 기밀도가 일반주택의 기밀도보다 더 높기 때문에 유해물질이 방출되거나 실내공기질에 영향을 주는 실내마감재료들은 재실자의 호흡기 또는 건강상에 해로운 영향을 미친다.

따라서 농어촌 그린홈 주택에서는 내부의 유해물질 방출이 없고 공기질에 영향을 미치지 않는 재료를 우선적으로 선정한다. 또한 이러한 재료를 바탕으로 내부의 실내마감재료를 적용할 경우 다음과 같은 다양한 디자인을 예로 적용할 수 있다.

적용가능한 재료들은 앞서 제시되었던 목재와 1차가공목, 황토, 황토편인트, 천연페인트, 천연펄프, 석재타일 등이 대부분이다.

표 106 재료별 내부 적용재료의 디자인 요소

재료별 내부 적용 재료		
		
황토미장 + 강화마루(원목)	천연도료 + 원목마루	천연도료 + 강화마루
		
원목바닥재	천연도료 + 원목바닥재	황토미장 + 강화마루 + 목재천정마감

## 나. 생태적 외부공간 디자인 요소

### (1) 외부공간 요소 설정

- 도입하기 위한 계획요소들을 설정하기에 앞서 지속가능성을 분석
- 외부공간이 포함해야 하는 부분에 대해 기술하고 분석

#### (가) 효율성

- 환경 피해를 고려하여 개발에 이용되는 자원 및 재료를 최소화하고 동시에 최대의 환경보전 효과를 발생
- 가능한 한 자원을 재활용하고 에너지는 효율적으로 사용

#### (나) 일관성

- 자원의 생산과 소비의 전 과정에서 생태계의 순환작용을 고려하여 기법과 기술을 적용
- 기술 적용 시, 환경의 피해를 최대한 유발하지 않도록 노력
- 인간과 자연의 관계성에서 개발에 따른 문제들을 해결하려 노력

(다) 충족성

- 자원의 사용을 자제하며 한계를 지적하여 필요한 자원만을 사용
- 적정 환경용량을 파악하여 그 수준에 맞는 자원을 사용

(2) 외부공간 요소 분석

- 소형 정원 조성

표 107 소형 정원 특성 및 사진

- 건물 주변 부 휴식공간으로 이용 가능하고 정원을 이용하여 주변 미기후 조성
- 주변 녹지 환경과 어우러질 수 있는 공간 조성
- 식생 및 수목은 개발대지에 식재되어있는 식생을 통해 가능



- 투수성 블록 설치 및 비포장 녹화

표 108 투수성 블록 설치 및 비포장 녹화 특성 및 사진

- 유출되는 우수를 침투시설 및 저류시설로 유도
- 주차장에 시공이 간편한 친환경 잔디 블록 포장



· 지붕 및 옥상 녹화

표 109 지붕 및 옥상 녹화 특성 및 사진

- 생태계 복원 및 건물외피 기능과 건축물의 에너지 절감 효과를 가짐
- 도시열섬현상을 완화하는 방안이며 주변 미기후 조성
- 우수 재이용이 가능하도록 하며 건축물의 녹지경관 효과 창출



· 우수 침투·저류시설

표 110 우수 침투·저류시설 특성 및 사진

- 불투수 포장면에서 유출되는 빗물을 지하구조물에 저류시켜 원지반으로 재침투 시킴
- 투수성 블록 및 콘크리트를 사용
- 불투수층 면적이 증가됨에 따라 함께 우수유출량도 증가되어 도심지 속에서 집중호우로 인한 홍수 방지 효과



· 우수 재이용

표 111 우수 재이용

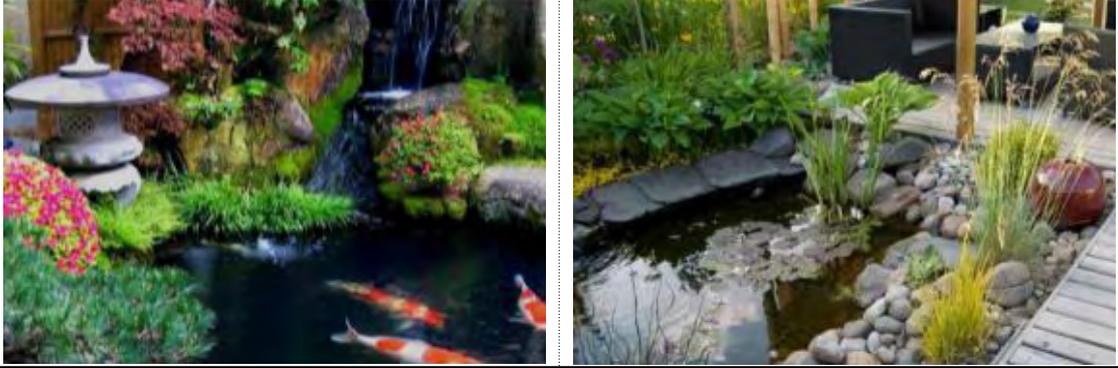
- 유출되는 우수를 빗물탱크에 모아두었다가 조경용수 및 화장실 용수 등으로 재사용
- 건물 지붕 및 도로에서 유출되는 우수 이용
- 침투·저류시설과 혼용하여 사용 가능



· 소형 연못 조성

표 112 소형 연못 조성

- 우수저류 기능 및 환경교육 장소 제공
- 미기후 조절기능도 하며 외부공간의 쾌적한 환경 조성 가능
- 연못 아래 부분에 오염물이 퇴적됨으로써 우수이용시스템의 1차 전처리조로 사용 가능



· 신·재생에너지 풍력 활용

표 113 풍력시스템 활용

- 바람의 운동에너지를 풍차의 회전에너지로 변환시켜 전기 생산
- 날개파손 등 영향과 회전날개 소음으로 인한 피해를 최소화하는 지점에 설치



· 신·재생에너지 태양광 활용

표 114 태양광발전 시스템

- 지붕이나 옥상, 옥외 및 창호 등에 설치가능하며 건물외피로도 설치 가능
- 그림자의 영향을 받지 않는 장소에 설치



· 신·재생에너지 태양열 활용

표 115 태양열발전 시스템

- 집열기를 옥상이나 지붕 등에 설치하여 온수를 가정이나 난방으로 사용
- 한 단일구조물로 설치되기 때문에 미관을 해치는 경우가 발생



· 신·재생에너지 지열 활용

표 116 지열 활용

- 일정한 지중 온도를 히트펌프로 변화시켜 가정의 난방과 냉방에 이용
- 에너지원을 지중 열로 외부환경에 영향을 미치지 않음



표 117 건축물 적용 외부공간 요소

계획측면	항 목	계획요소
녹지	정원	소형 정원 조성
	건물 주변부 녹화	투수성 블록 설치 및 비포장 녹화 옥상 및 지붕 녹화
수자원	우수	침투·저류시설
	수공간	재이용 소형 연못
에너지	신·재생에너지 활용	풍력
		태양광
		태양열
		지열

## 2. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up체 계획

### 가. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 목표 및 적용요소 계획

#### (1) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 목표

3차년도에서는 농어촌 주택에서의 저에너지화, 탄소배출량 감소 등을 목표로 2차년도 연구 결과에서의 개선점을 토대로 연구를 진행하였다.

2차년도에 에너지 제로화를 최종 목표로 연구를 진행하였다면 3차년도에서는 농어촌주택의 탄소배출량을 최소화시키는 제로에미션하우스의 가능성을 일부 확인하고자 연구를 진행하였다.

이에 본 연구에서는 앞서 조사한 친환경 및 생태재료 등을 이용하여 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 구축 시 적용할 요소 선정, Mock-up 계획 및 시공, 성능평가 순으로 연구를 진행하였다.

#### (2) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 적용 요소계획

과거 에너지 절약 필요성은 화석연료의 고갈로 대체 에너지 활용 방안 이었다면 현재는 기후변화 협약에 따라 지구환경보전이라는 목표로 전환이 되었고, 국내에서는 건물의 에너지 소비에 영향을 미치는 에너지 요소는 크게 기후/부지, 사용자/운영방법, 건물/시스템 순으로 분류할 수 있다. 또한 건축물의 에너지 소비가 30%이상 차지함에 따라 에너지 절감 전략을 세워야 하고, 에너지 절감 전략은 건축적 요소와 신·재생에너지로 나눌 수 있다.

다음 그림은 건물의 에너지 소비에 영향을 미치는 요소를 나타낸 것이다

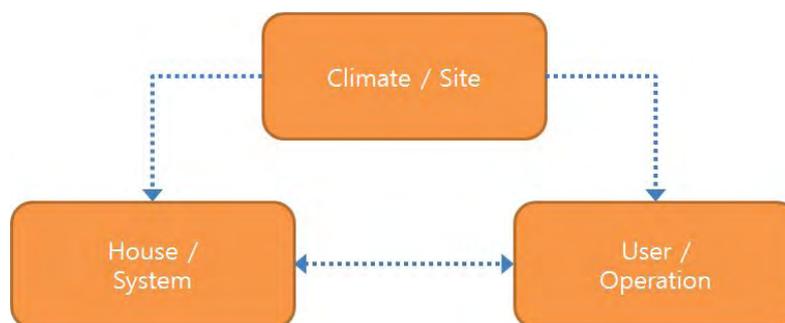


그림 18 건물에너지 소비에 영향을 미치는 요소  
출처: Zero Emission 주택의 계획 요소 활용 방향에 관한 연구

기후/부지 요소는 다양한 변수가 영향을 미치며 에너지를 효율적으로 얻을 수 있는 중요한 역할을 한다. 그러므로 설계를 적용할 시 이에 따른 조건을 고려한 건축적 방법이 요구된다. 건물/시스템 요소는 기후와 부지에 따른 조건을 보고 그 조건에 맞는 시스템과 고효율 기기를 도입하여 최적의 대안을 선택해야 한다.

사용자/운영방법 요소는 사용자가 메뉴얼에 따른 지시와 성능 점검을 통해 건물을 유지관리 및 성능 최적화를 해야 한다.

농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up은 에너지 절약을 최대화 할 수 있도록 설계 초기단계에서 부터 적합한 요소기술을 선정해야 한다. 건물의 에너지 절약 요소기술을 건축 계획단계별로 분류하여 다음 표119에 나타내었다.

표 118 건축계획 단계별 에너지 절약 요소기술

계획 단계		계획 목표	계획 기법
부지계획		미기후 조절	- 부지 내 미기후 분석 - 식재 및 녹지 조성 - 방풍계획
배치계획		열손실 및 열 획득 조절	- 남향, 남동향 건물배치 - 주풍향을 고려한 건물 배치 - 건물의 장단변비 고려 - 건물의 층고 고려
건물 설계	형태 계획	외피면적비 최소화	- 발코니, 온실
	평면 계획	실 부하특성에 따른 조닝	- 실의 기능, 운영 스케줄에 고려
		완충공간	부착온실, 축열벽
	입면 · 단면 계획	자연형 태양열 시스템	- 천창, Clearstory, 광선반, 모니터창
		자연채광	내·외부 차양
		자연통풍	개구부의 위치 및 형태, 크기계획
	단면 계획	단열 및 기밀성 향상	벽체 및 지붕 단열 계획 고기밀, 고성능 개구부
통합외피계획		아트리움 이중외피	
설비계획	건물 녹화 통합조명	입면 및 지붕녹화 조광장치	
	설비효율 개선	고효율 설비기기 이용 배관 및 덕트 단열	
	폐열회수 시스템	전열 교환기	

출처: ZEB(Zero Emission Building) 디자인 프로세스에 관한 연구

(가) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up을 위한 요소계획

① 초저에너지 계획 - 패시브 하우스요소 기본적용

가장 기본적이고 필수적인 것은 건물 에너지 소비에 영향을 미치는 인자를 파악하여 조절하는 것이다. 건물에서의 가장 많은 에너지 소비는 난방 에너지이다. 이러한 난방 에너지 소비를 줄이기 위해서는 패시브 하우스 요소를 적용해야 한다.

패시브 하우스 요소를 적용하기 위해서는 사용면적당 연간 요구에너지량이 15 W/m<sup>2</sup>이하 여야 하며, 건물의 열이 빠져 나가지 못하게 고단열, 고기밀 설계 및 환기장치를 사용하여 나가는 열을 다시 잡아서 건물로 회수해야 한다.

다음 그림19은 국내의 에너지 사용량을 분석한 것이다.

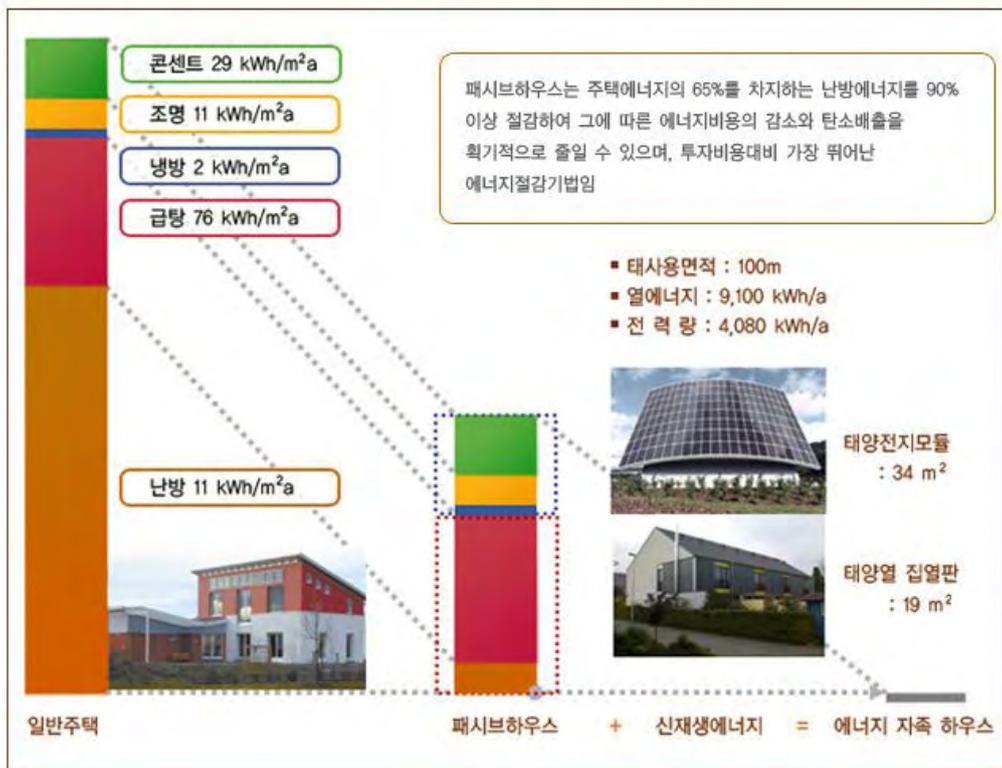


그림 19 일반주택과 패시브하우스의 에너지 사용량 비교분석

출처: 한국 패시브 건축협회

패시브 하우스는 난방에너지를 90%이상 절감하여 에너지 비용 및 탄소배출을 줄여주는 에너지 절감 기법이다. 이러한 패시브 하우스가 되기 위한 여러 요소 및 조건 중 가장 중요한 네 가지를 설명하겠다.

## · 부지 선정

다양한 변수의 상호작용에 영향을 받으며, 건물의 에너지 성능에 중요한 역할을 한다. 좋은 부지를 정하기 위해서는 그 지역의 형태, 기후, 식생 분석을 통해 미기후를 이용할 수 있는 건축 계획을 수립하여야 한다. 이러한 분석을 통해 겨울철 일사획득 요소나 여름철의 자연냉방에 도움이 되는 요소는 적극적으로 활용하여야 한다.

## · 고단열, 고기밀

패시브 하우스에는 가장 중요한 것은 고단열 및 고기밀이다. 건축물에서 발생한 열기를 잡기위해서 국내 단열 기준의 약 3배 강화를 하여 빠져나가는 열기를 잡아주고 전기 콘센트나 창호의 틈새에 새는 바람 즉, 기밀 성능을 높이기 위해 디테일한 계획이 꼭 필요하다. 고단열을 하기 위해 단열재 선택이 중요한데 단열재는 열전도율이 낮을 것을 고르는 것이 좋다.

## · 고성능 3중 유리 시스템 창호 및 외부 차양

기밀을 잡기 위해서는 반드시 창호와 문에서 새어나가는 열을 잡아야 한다. 유리로 통과하는 열을 잡기 위해 3중 유리 안에 아르곤이나 클립톤 가스를 충전한 창호를 사용하고 고단열 및 고기밀 창호 프레임을 사용 하는 것이다. 위 조건이 충족이 되었다 하더라도 기밀 성능이  $0.0\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 는 나와야 사용할 수 있다.

여름에는 일사량이 강한데 실내로 들어오게 되면 온도가 올라가게 되고 패시브 하우스 특성상 내부의 열이 나가는 걸 막기 때문에 일사량이 들어오기 전에 외부에서 차단을 한다. 외부에 차양을 하는 이유는 차양이 내부에 있을 때 태양열 차단이 15%이지만 외부에 있을 때는 85%이상 막아주기 때문에 외부에 설치를 한다.

## · 열교환 환기 장치

패시브 하우스는 고단열, 고기밀 공법을 사용하기 때문에 내부의 열이 빠져나가지 못하기 때문에 기계의 힘을 빌려 내부의 공기를 보내고 외부의 신선한 공기를 들여와서 서로의 온도를 교환하는 장치인 열교환 환기 장치를 설치하여 창을 열지도 않고 충분히 환기가 가능하도록 해야 한다. 그리고 환기를 하기 위해 전열교환효율이 75%이상인 제품을 사용하여야 패시브 하우스의 조건에 만족하게 된다.

## ② 천연재료 및 재활용의 적용

앞으로의 건축은 에너지 절약뿐만 아니라 건물의 CO<sub>2</sub>를 감축시키는데 초점을 맞추어야 할 필요가 있으며, 이에 따라 유럽연합과 미국 등 세계 각국에서는 기술개발과 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 친환경 건축에 대한 관심이 높아짐에 따라 건물 에너지 절약 기술 및 내·외부에서 거주자의 건강과 쾌적성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

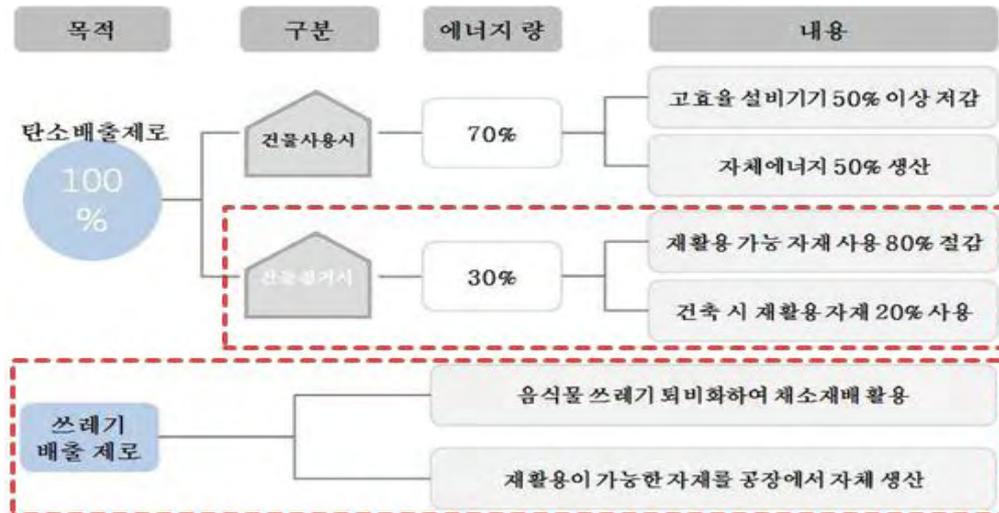


그림 20 건축물 탄소 제로화

출처: 송정석외 2명, Zero Emission 주택의 계획 요소 활용 방향에 관한 연구, 2012

### · 천연 재료 계획

현재 건설 폐기물의 발생량 재건축·재개발 등의 활성화로, 건설폐기물 발생이 증가추세를 나타내고 있으며, 2003년에는 145,420 ton에서 2011년에는 186,417 ton으로 총 40,997 ton이 증가 하였다. 다음 그림은 2003~2011년도까지의 폐기물 발생량을 나타낸 것이다.



그림 21 국가 폐기물 발생량

출처: 전국폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부 & 한국 환경 공단

이러한 건설 폐기물을 줄이기 위해서는 재활용할 수 있는 천연 재료를 사용하는 것이다. 환경적인 관점에서 건축 재료의 선정 기준은 건축 재료의 폐기 후 재생 또는 재활용의 가능성 여부이다.

표 119 재료의 친환경성 평가 기준

H1	H2	E			E1		E11		E12		
인체에 미치는 유해성	실내 환경과 건강을 증진시키는 효과	에너지 소비의 정도			원재료 생산전 과정에서의 환경부하		독성, 가스, 미세먼지의 발생정도		재생, 또는 재활용 가능성		
과정		제조·생산			사용			폐기·활용			
평가기준		H1	E	E11	E12	H2	E	E12	E	E12	R1
천연재료(N.M)		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
친환경재료(E.M)			+	+	+	+	+	+	-	+	+
지속가능한 재료(S.M)		-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
재활용재료(R.M)			+	+	+				+	-	-
+ : 긍정적 효과 , - : 부정적 효과											

출처: 함정우, 생태주거단지에서의 건축재료 선정에 관한 연구, 세명대학교 대학원 석사논문, 2009, p.44

이 위 결과와 같이 천연재료는 제조·생산, 사용, 폐기·활용에까지 긍정적인 효과가 있는 것으로 나타났다. 천연재료는 내부, 외부, 단열재에 따라 사용 하는 재료가 다르다. 내부에는 흙, 목재, 회반죽 등의 천연재료를 이용하여 자연적인 습도조절이 가능하도록 해야 하고 외부에는 천연 칼라몰탈 인 모노쿠쉬를 사용하여 건물의 내구성이 향상 및 물의 침투를 억제, 패시브 하우스에 적용이 되는 고단열 및 고기밀 또한 천연 재료인 목재, 셀룰로오스, 황토, 스트로 베일 등을 사용하여 건물의 단열, 기밀, 실내의 공기질을 확보를 할 수가 있다.

천연재료를 사용함으로써, 건설 폐기물의 감소화, 무해화, 자원화 추진 및 에너지 소비를 줄이는 효과를 얻을 수 있기 때문에 천연 재료를 사용하여야 한다.

· 재활용 계획

건축물을 짓는 과정이나 다 지은 후에 발생하는 폐 콘크리트 구조물, 벽돌, 현 목재, 철골 구조물 등이 있다. 또한 이 외에도 생활 폐기물로는 기타 가로수 및 정원에서 발생하는 나무류, 도축장 등에서 나오는 동물의 시체, 취사 및 난방용으로 사용한 뒤에 남은 나무재와 연탄재, 비닐 포장지, 농업용 폐비닐 등이 있다. 이러한 폐기물들을 재활용하기 위해 해외는 많은 법을 만들어 강력한 규제가 있지만, 우리나라에서는 폐기물관리법과 자원절약과 재활용 촉진 관한 법률이 있지만 실적은 매우 저조하다. 다음 표121은 해외의 건설폐기물 해결 방안을 정리한 것이다.

표 120 국가별 건설 폐기물 해결방안

국가	해결방안
일본	건축물 쓰레기 재활용 관련 법규
미국	슈퍼 기금법
독일	건축물 쓰레기 재활용률 설정과 미재활용분에 대한 보관료 징수 규정
중국	대도시의 건축물 쓰레기 회수

우리나라 또한 『건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률』에 의해 건설폐기물을 친환경적으로 적절하게 처리하고 그 재활용을 촉진하여 국가 자원을 효율적으로 이용하려고 노력하고 있다. 하지만 해외 선진국은 한발 더 나아가 폐기물 및 CO<sub>2</sub> 배출 제로(Zero)를 지향함에 따라 우리나라도 구체적인 재활용 계획을 세워야 한다.

· 골조 계획

- 목재

목재 구조는 무엇보다 친환경적인 부분이고, 자체적으로 단열성이 매우강한 재료이며 설치도 쉽고 개구부 주변, 부재와 부재의 접합부위 등에서 밀폐성이 뛰어나다. 또한 일반주택과는 달리 자연을 파괴하는 일이 적고 목재의 사용으로 에너지 소비를 줄일 수 있고 대기 오염 방지에도 일조한다.

재활용 시에는 적은 에너지로도 가능하며 폐기물의 양도 최소화 할 수 있다. 또한 재활용으로써 대표적인 예로 합판, 코어 합판, 집성재, 파티클보드(목재를 잘게 잘라서 칩으로 형성 후 접착제와 열을 가해 만든 보드)등이 있다.

- 황토

황토는 기둥의 재질에 따라 크게 황토벽돌(담집)집과 목구조(뼈대)집으로 나누어진다. 황토벽돌 집은 인체 친화적인 부분에 있으며, 습도조절, 향균, 탈취, 소취효과가 뛰어나고 보온성이 뛰어나며 원적외선을 방출한다. 또한 잡음과 전자파를 흡수하고, 음이온을 방출하고 각종 균과 층에 대한 방어기능을 가진다.

· 단열 계획

단열재에 있어서 생태적으로 요구되는 조건은 인체 및 환경에 미치는 영향, 실내 공기의 부하 및 화재 시 부하 정도, 폐기과정에서의 환경성 및 재활용 가능성 이다. 우리가 주목해야 할 것은 폐기과정에서의 환경성 및 재활용 가능성이다. 현재 국내에서 단열성능이 우수한 제품으로는 수성연질발포폼, 반사형 단열재, 슈퍼울 단열재가 있지만, 이 단열재들은 화학물질로 이루어져 있기 때문에 환경적 측면에서는 좋지 않다. 그러나 국외를 살펴보면 폐기 시 환경오염물질이 사용되는 단열재 및 건축 재료는 친환경적인 재료를 대부분 사용하고 있고 대표적인 단열재로는 셀룰로오스 단열재가 있다.

셀룰로오스 단열재는 목재펄프를 주원료로 하여 생산을 하고 목구조, 경량목구조 건물에

사용되고 건축물의 자체하중을 줄이는 역할과 단열 성능, 방음 성능이 뛰어나고 오염물질의 배출이 없다. 또한, 건축물의 폐기 시에도 폐자재로 버려지지 않고 다른 이용형태로 재활용을 할 수 있다.

· 에너지 계획

- 공기

폐열 회수용 환기 시스템을 적용할 경우 연간 여름과 겨울을 쾌적한 상태로 지낼 수 있다. 또한 인체에서 발생하는 CO<sub>2</sub>를 밖으로 내보내는 기능도 가지고 있어 실내 환기효율, 공기질 향상 및 주택성능 개선에 도움이 된다.

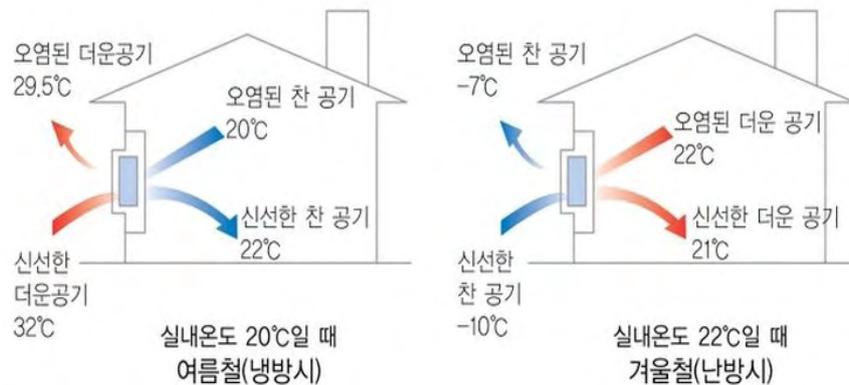


그림 22 폐열 회수 환기장치 적용 개념도

출처: <http://issk.co.kr>

- 쓰레기

생활수준의 향상으로 생활 쓰레기 중 음식물 쓰레기의 발생량이 연간 약 420만톤 생산되며 계속 증가하고 있으나, 정부에서는 음식물 쓰레기 및 분뇨를 매립하거나 소각하는 처리 방법을 사용한다. 이에 따른 악취, 대기오염 등의 환경문제와 경제적인 문제가 발생함에 따라 재활용할 수 있는 방안을 모색해야 한다.

유기성 폐기물의 퇴비화는 오물감 및 악취를 없애고 위생적으로 다루기 쉽고 토양이나 작물에 해를 미치지 않는 유효한 퇴비로 만들어서 농경지에 사용한다. 또한 환경 보전형 농업을 실시하기 위해서는 유기성 폐기물로부터 좋은 품질의 퇴비를 제조하여 농가에 효과적으로 이용하게 하는 것이 필요하다. 이러한 폐기물을 퇴비화하기 위해서는 컴포지트 토일렛을 적용해야한다. 즉 가정에서 나오는 분뇨와 음식물 쓰레기를 퇴비화 하는 것이다. 다음 그림은 컴포지트 토일렛(퇴비화 화장실)의 개념도 이다.

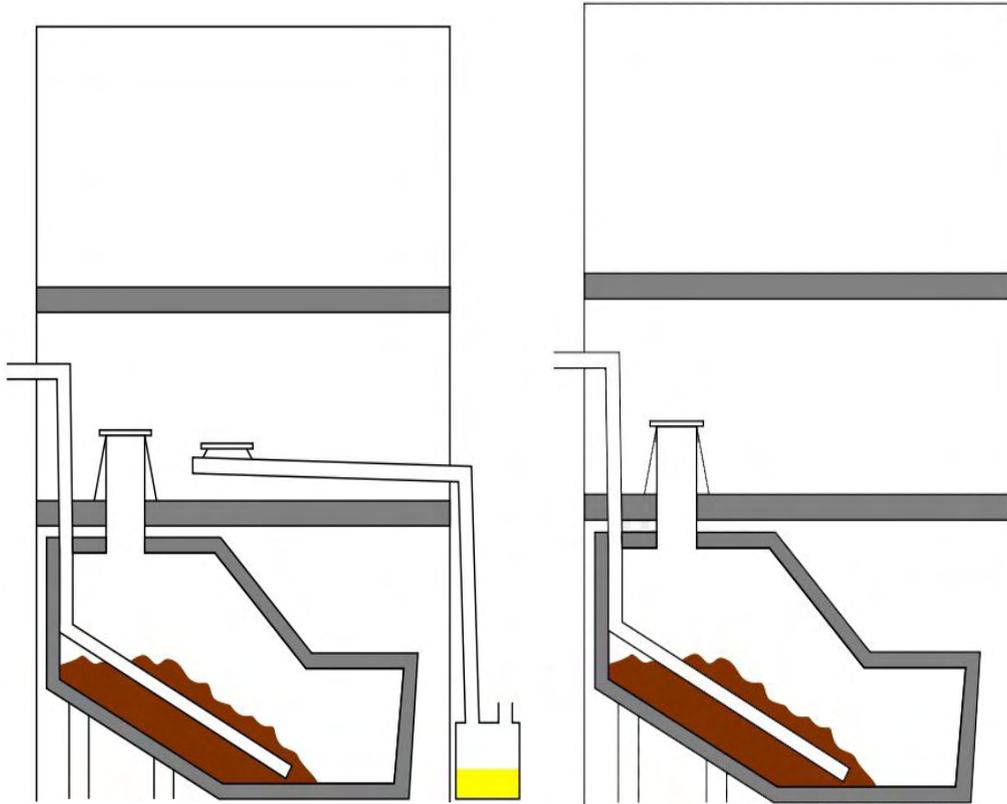


그림 23 콤포지트 토일렛 단면 예시  
출처: Composting toilet, 위키백과

분뇨에서 나오는 메탄가스 등은 바이오 매스를 통해 연료로 사용을 할 수가 있다. 이러한 시스템을 활용하기 위해서는 정부의 적극적인 지원과 지속적인 개발을 해야 한다.

### ③ 신·재생에너지의 활용

#### · 신·재생에너지

신·재생에너지를 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up에 적용하기 위해서는 i 재생에너지 선정, ii 건축적 통합 방안, iii 경제성 및 성능, iv 정부 지원에 대한 고려가 필요하다. 다음 표122은 재생에너지를 나타낸 것이다.

표 121 재생에너지 활용기술

항목	자원	요소기술
재생 에너지	태양 에너지	태양열 시스템(Photovoltaic System)
		태양광 시스템(Solar Thermal System)
	풍력 에너지	풍력 발전 시스템(Wind Turbine System)
	지열 에너지	지열 시스템(Geothermal System)

출처: 운영일, BIM을 활용한 Zero Emission 주택의 디자인 요소와 프로세스에 관한 연구, 전남대학교 대학원 박사논문

- 재생 에너지 선정

부지의 특성인 기후, 바람, 태양의 고도와 같은 자연 에너지의 여부와 함께 건축물에서 요구하는 에너지의 종류와 양에 따라 각 시스템의 적용 가능성을 검토해야한다. 또한 건물의 에너지 절약 계획에 따라 달라질 수도 있다.

- 건축적 통합 방안

에너지 절약계획과 재생에너지 시스템계획의 상호보완이 필요하다. 기존 재생에너지 시스템의 접근 방법은 건물과는 별도로 운영되어 왔지만, 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up에서는 패시브 하우스 요소에 천연 재료를 사용하여 CO<sub>2</sub> 절감 및 신·재생에너지를 접목시켜 새로운 접근체계가 요구 된다. 이에 따라 건축적 요소와 재생 에너지 시스템을 전체적으로 고려해야 한다.

- 경제성 및 성능

경제성은 재생 에너지 시스템의 성능과 매우 밀접하기 때문에 재생에너지 활용기술로부터 초기투자비 및 전기와 난방비용 절감 등 건축물에 적합한 시스템을 계획해야 한다. 또한 시스템을 설치 후 비용회수기간을 산정하고 회수기간을 축소시킴으로서 경제성을 향상시킬 수 있는 방법을 연구해야한다.

- 정부 지원에 대한 고려

대부분의 재생에너지시스템은 약 50%이상의 정부 지원이 이루어지고 있으며, 특히 태양열, 태양광, 풍력의 경우에는 시스템 적용을 촉진하기 위해 그 이상의 정부 지원이 이루어지고 있다.

이러한 분석을 통해 건물의 부하특성에 맞는 에너지 절약 및 신·재생에너지 요소기술을 선별하여 건축 단계별 각 요소기술을 적용하기 위한 적합한 디자인이 필요하다.

표 122 신·재생에너지 시스템별 분석

구 분	태양광	태양열	풍력	지열	바이오에너지
에너지원	태양광	태양열	바람	지표열	바이오메스
산출에너지	전기 에너지	열에너지	전기 에너지	열에너지	열·전기 에너지
시스템용도	온수	발전	발전	냉난방급탕	열
사용시간	일광시	일광시	바람이 불 때	항상	
권장지역	일조량 많은 지역	일조량 많은 지역	바람이 많은 지역	전국적으로 가능	매립지 주위
국내여건	태양에너지 밀도 낮음	태양에너지 밀도 낮음	바람에너지 밀도 낮음	지중열 조건은 전국이 비슷함	
보급도	○	○	○	△	X
정부지원	70~80%	50%	70%	50%	50%
투자비 회수기간	8~18	5~10	9	4~8	10
설비규모	중형	중형	초대형	대형	대형
적용성	상	중	하	중	하
비고	발전차액지원	급탕 설비 대체	발전차액지원	비교적 짧은 투자비 회수기간	발전차액지원

○ : 매우 좋음, △ : 좋음, X : 나쁨

출처: 강혜진 외3명, ZEB(Zero Emission Building) 디자인 프로세스에 관한 연구, 한국태양에너지학회, 2010

## 나. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 설계

### (1) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 방향 설정

#### (가) 방향설정

본 연구에서는 농어촌 그린홈 Mock-up의 탄소 배출량 최소화 계획을 위하여 다음과 같은 목표를 설정하였다.

- 패시브하우스 건축 디자인을 적용하여 소비에너지의 최소화
- 신·재생에너지 요소를 적용하여 에너지 제로화
- 그린홈 건축 및 폐기 시 발생하는 CO<sub>2</sub>를 최소화 및 제로화

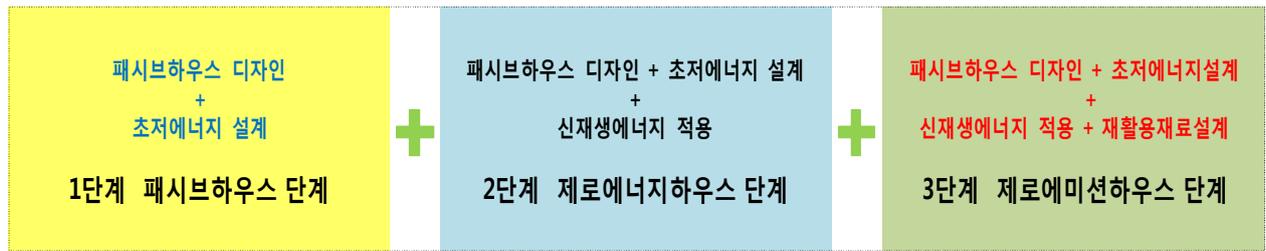


그림 24 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 단계별 목표

① 1단계 건축 에너지소비 최소화를 위한 요소적용 ; 패시브 하우스 단계

- 건축 에너지 소비 최소화를 위하여 패시브 하우스 디자인 요소를 적용하여 건축물 자체의 에너지 소비를 최소 및 최적화 한다.
- 패시브 하우스 디자인과 함께 초저에너지 설계를 바탕으로 에너지저감형 디자인을 적용한다.
- 패시브 하우스 디자인 요소는 다음과 같다.
  - 패시브 하우스에서 요구하는 외벽체 및 지붕구조체의 열관류율 이하 구조벽 디자인 적용 (외피의 구조체 열성능  $U=0.15W/m^2K$ , 창호의 열성능  $U=0.8W/m^2K$ , 폐열회수환기장치 75%이상 효율, 열교없는 구조체, 기밀한 구조체 등과 같은 대표적 디자인 적용 )
  - A/V비율이 약 0.75 이하인 건축물의 형태 적용 (디자인을 위하여 다양한 외피의 구조는 열성능이 저하되는 원인이 됨)
  - 정남향에서  $\pm 30^\circ$  이내의 배치적용
  - 외부 차양 및 블라인드의 적용
  - 환기열 손실을 저감하고 여름철 냉방부하를 저감시킬 수 있는 폐열회수장치 및 쿨튬브 시스템의 적용

② 2단계 건축물 에너지 제로화를 위한 설계 및 요소적용 ; 제로에너지 하우스 단계

- 건축물에서 소비되는 에너지를 최소화 시키고 최소로 소비되는 에너지를 건축물 자체적으로 생산하여 총 에너지사용량을 제로화 및 최적화 시킨다.
- 패시브하우스 디자인을 적용한 모델의 에너지 요구량을 기반으로 난방에너지 및 냉방에너지, 1차에너지를 충족할 수 있는 신·재생에너지원의 필요 용량을 적용한다.
- 건축물에서 소비되는 에너지량을 정량적으로 산출하여 신·재생에너지별 적용용량을 산출한다.

③ 3단계 건축물의 저탄소 배출을 위한 건축디자인 및 요소적용 ; 제로에너지 하우스 단계

- 2단계 제로에너지 단계의 건축물에서 사용되는 에너지를 소비와 생산을 제로화 시키고 제로화 된 건축물의 CO<sub>2</sub> 발생량을 최적화 또는 최소화하기 위해 천연재료 및 재활용재료를 적용한다.
- 건축디자인 단계에서 에너지 최적화 및 제로 에미션 요소를 적용하여 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up을 계획한다.
- 건축 구조체와 건축물 단열재는 재활용이 가능한 재질로 적용한다.

(나) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 설계

- 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 계획을 위하여 패시브디자인 요소의 적용과 신·재생에너지의 적용, 재생건축자재의 적용을 통하여 설계한다.
- Mock-up체의 계획요소와 건물 개요는 다음과 같다.

표 123 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 계획요소



구 분	계획요소
기초 구조체	매트형 기초
외벽구조체	목구조 + 천연단열재
지붕구조체	목구조 + 천연단열재
창호/개구부	3중 창호
내부마감	천연재료 + 황토마감
외부마감	목재마감
신·재생에너지	태양에너지
수자원 활용	우수이용
폐기물 순환	자연발효화장실
단열재	폐지를 이용한 재활용단열재
모니터링 자동제어	모니터링

표 124 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 건축개요

구분	계획요소	비고
건축규모	지상 2층	다락층별도
대지면적	985.00㎡	
건축면적	23.47㎡	
건폐율	2.4 %	
연면적	46.94㎡	
용적율	4.76%	
건축구조 및 마감재료	경량목구조 + 중량목구조	목재 사이딩 마감
신·재생에너지	PV 패널	4.8kWp

### ① 건축개요

본 연구의 Mock-up체는 다락층이 있는 지상2층 건물의 규모이고 내·외부 마감을 재생이 가능하고 생산 시 CO<sub>2</sub> 발생이 적은 목재를 사용하였다. 또한 건축구조를 경량목구조로 구축하였으며, 에너지 절감을 위한 단열재는 폐신문지를 파쇄한 셀룰로오스 단열재를 적용하였다. 본 단열재는 폐기 시 재활용이 가능하며, 제작 시에도 폐지를 활용한 재활용 자재이다.

소비에너지 최소화를 위한 패시브 디자인은 기밀 구조체와 고단열 구조체, 폐열회수 환기 장치, 3중 로이코팅 창호, 열교최소화 디자인을 적용하였다.

또한 에너지 제로화를 위하여 적용된 신·재생에너지는 태양에너지를 활용한 PV패널을 지붕면에 적용하였다.

탄소 배출량 최소화를 위한 계획으로는 폐기물순환을 위하여 자연발효화장실을 적용하고, 폐지를 활용한 재활용단열재를 적용하였다. 그리고 지붕면과 외벽, 내벽은 목재를 사용하여 최종 마감하였다. 목재들은 건축기간부터 폐기 기간 내에 친환경적 재료로써 CO<sub>2</sub> 발생을 최소화 시킬 수 있는 건축 재료이다.

### ② 건축계획 설계도서

본 연구의 Mock-up체는 최소단위의 주택형태를 고려하여 4.5m x 5.5m 크기의 단독형 주택을 계획하였다. 본 건축물의 대상지는 전년도에 완료된 농어촌형 패시브하우스 대상지로 전년도 건물 옆에 제작하였다.

#### · 배치계획

본 Mock-up체는 전년도 연구 성과로 지어진 패시브하우스가 위치한 동일한 대지 내 일부를 활용하였고, 진출입의 레벨차가 발생하여 주거실 공간을 위치시킨 높이와 진입되는 높이를 고려한 건축물을 배치하였다. 주향은 정남향으로 배치하였으며 태양의 입사각을 고려하여 배치를 계획하였다.

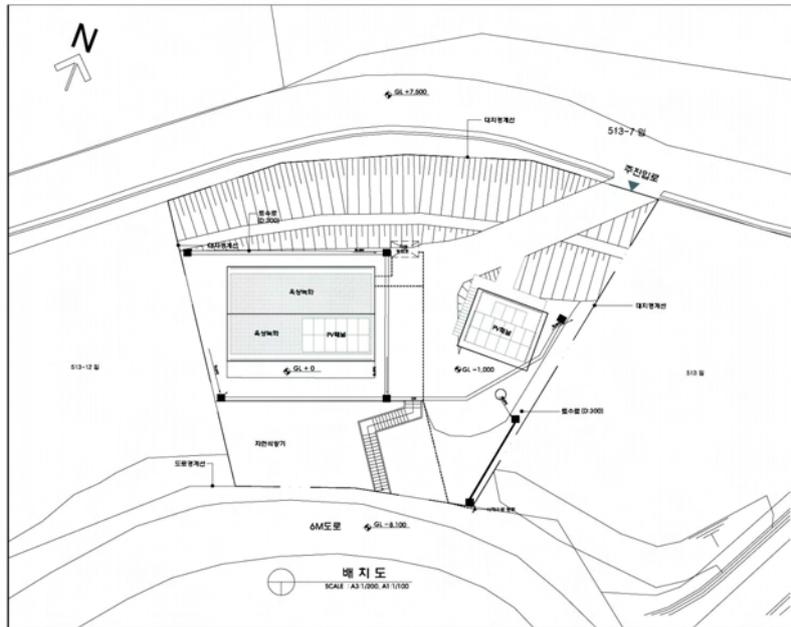


그림 25 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 배치도

· 평면계획

본 Mock-up체는 다락을 포함하여 총3층 높이의 건축물로 조성되었으며 1층은 기타 장비를 위치시킬 수 있는 기계실로 계획하였다. 2층은 주 거주공간으로 화장실이 딸린 원룸형태의 공간으로 계획하였으며 환기시설이 적용된 공간이다. 3층 다락공간은 폐열회수환기장치를 위치시킨 공간으로 가중평균 1.8m가 넘지 않는 공간으로 계획하였다.

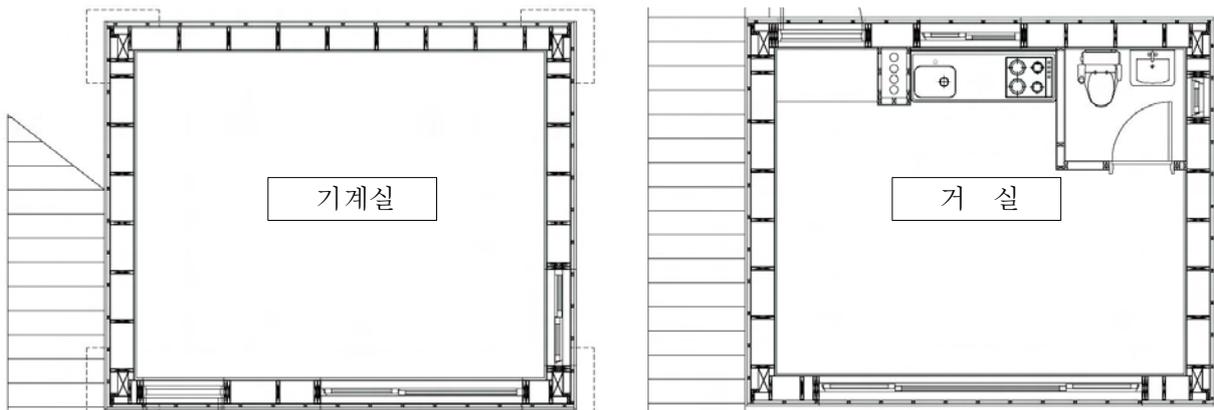


그림 26 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 평면도 (좌; 1층 평면도, 우; 2층 평면도)

· 입면계획

입면은 패시브난방을 위하여 주 거실공간에 전면창호를 설치하였으며 주향은 정남향으로 위치시켰다. 또한 외피의 재료는 목재 사이딩을 이용한 수평적 디자인을 고려하였고, 지붕면의 PV설치를 위해 경사각도 30°를 고려하여 구축하였다.

대지의 레벨차이를 활용한 진출입로를 구상하여 주 거주공간이 2층으로 진입이 가능한 형태로 테라스와 계단을 적용하였다.

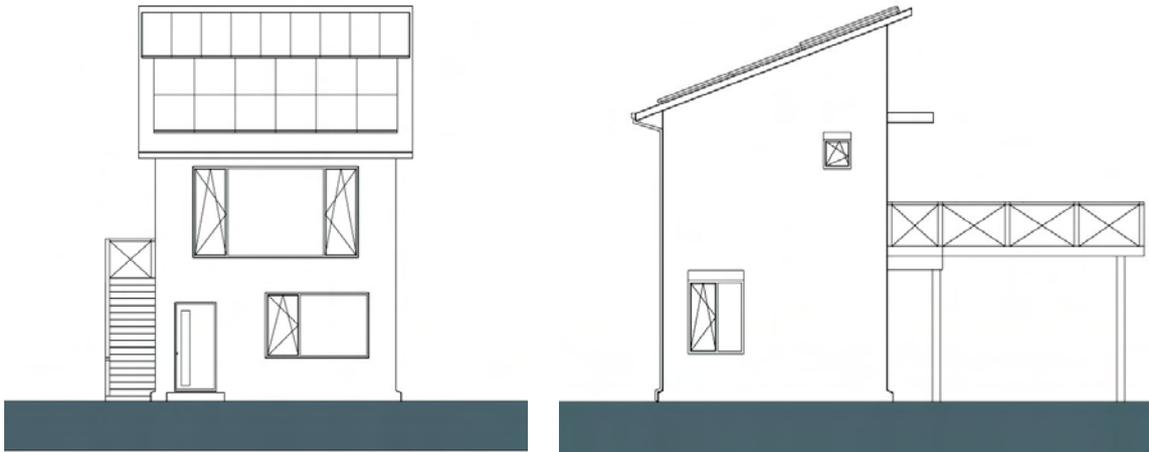


그림 27 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 입면도 (좌; 정면도, 우; 우측면도)

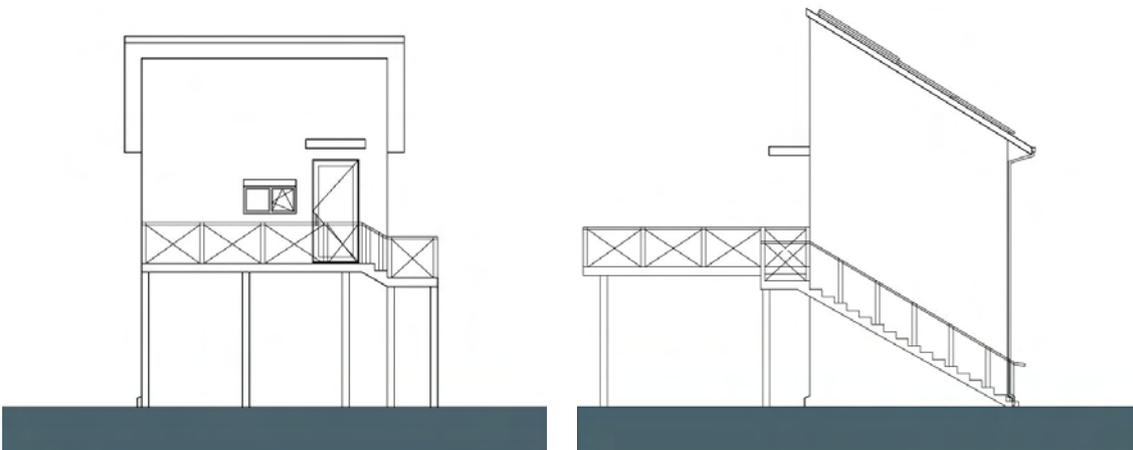


그림 28 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 입면도 (좌; 배면도, 우; 좌측면도)

· 단면계획

단면계획에서 건축물의 높이는 기계시설과 상대적으로 작은 형태의 거주공간을 고려하여 3.0m를 기준으로 계획하였고 내부 목구조를 보강하기 위하여 중량 목재로 기둥, 보 구조를 보강하였다.

설비층은 1층에서부터 다락층까지 수직샤프트를 계획하여 외부로 노출되는 배관을 배제하였으며 주 거주층인 2층의 여름철 냉방저감을 위하여 처마의 길이 조정과 외부차양을 적용하였다. 또한 단열선이 분리되지 않도록 외피가 단열선에 연속되도록 계획하였다.

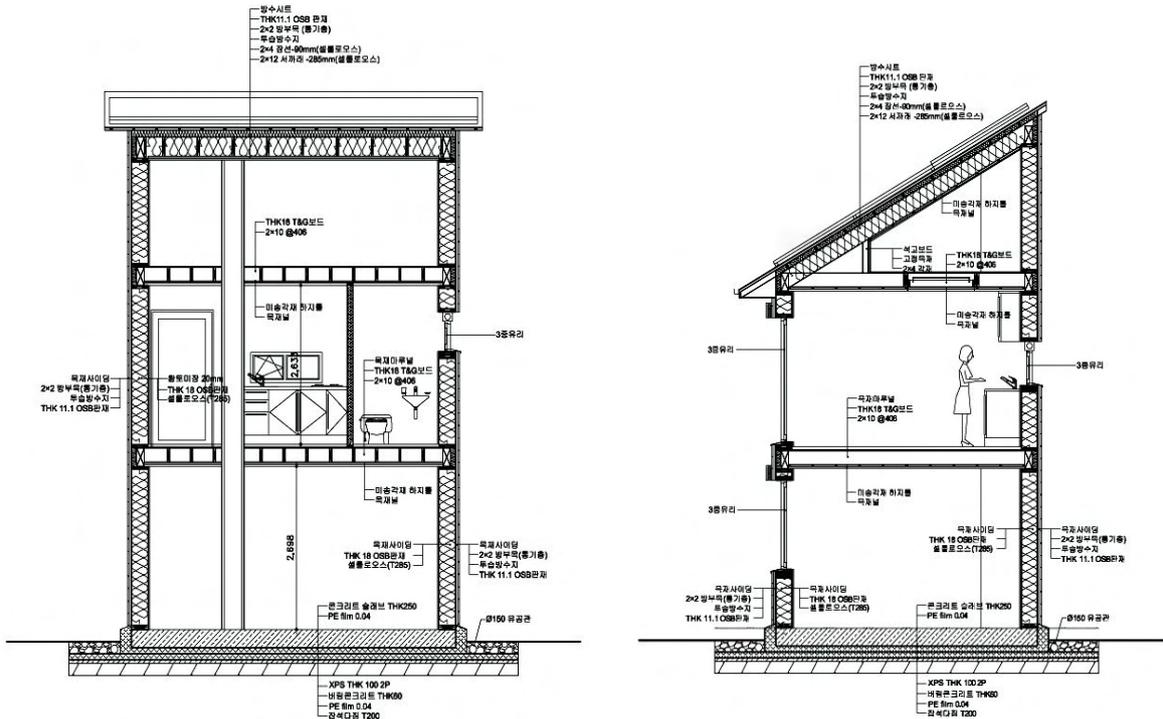


그림 29 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 단면도 (좌; 횡단면도, 우; 종단면도)

## (2) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 부위별 계획요소 및 에너지 성능분석

### (가) 부위별 계획요소 적용

농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 계획을 위하여 부위별 계획요소를 분류하여 각각 적용하였다. 적용된 계획요소는 다음과 같다.

표 125 부위별 계획요소

구분	재 료	총 재료의 두께 mm	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
기초바닥	철근콘크리트 + 방수필름 + XPS + 모래 + 방수필름	700	0.127
외벽	황토미장 + O.S.B 18mm + 구조목 2*12" (셀룰로제) + O.S.B 11mm + 투습방습지 + 통기층 + 목재사이딩	387.4	0.140
지붕	목재루버 + O.S.B 18mm + 구조목 2*12" (셀룰로제) + 투습방습지 + 통기층 + O.S.B 11mm 2p + 방수시트 + 너와기와	481	0.110
창호/개구부	로이코팅 3중유리	44	0.69

농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 단열외피 및 생태재료를 적용하기 위하여 4부분으로 나누어 계획요소를 적용하였다. 건축물에서의 에너지 절감을 위하여 기본적인 단열외피의 성능을 패시브하우스 기준에 준하는 성능으로 계획하였으며, 적용된 재료는 기초면 단열재를 제외하고 천연재료 또는 재활용이 가능한 생태재료를 적용하여 건축 시 발생하는 CO<sub>2</sub>를 최소화시켰다.

### ① 기초바닥 계획 및 적용

기초바닥부위는 지반의 습기 및 지반으로 빠져나가는 열에너지를 방지하기 위하여 매트형기초를 적용하였으며, 습기 저항성이 높은 XPS단열재로 시공하였다.

단열재의 두께는 200mm를 적용하였다. 기초바닥면의 적용두께는 약 700mm이고, 열관류율은 0.128W/m<sup>2</sup>k의 열성능을 가지고 있다.

표 126 기초바닥 열성능

구분	재료	재료의 두께	열전도율	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
		mm	W/mK	
기초바닥	철근콘크리트	400	2.70	0.128
	방수필름	0.4	1.00	
	XPS 단열재	200	0.027	
	모래깔기	100	1.40	
	방수필름	0.4	1.00	
	합 계	700		
실내외열저항	실내 열저항 : 0.00m <sup>2</sup> K/W, 실외 열저항 : 0.04m <sup>2</sup> K/W			

### ② 외벽체 계획 및 적용

외벽체는 CO<sub>2</sub> 절감을 위하여 재활용 단열재와 목재를 적용하여 패시브하우스의 기준에 맞는 열성능을 고려한 구조체로 계획하였다.

구조체는 목재를 이용한 경량목구조와 경량목구조를 보강하는 기둥, 보 구조를 결합한 복합 목구조체로 구성하였고, 기둥보 구조체는 공학목재로 사용되는 글루램을 적용하여 보강목으로 사용하였다.

외벽체의 결합 순서는 내부로부터 황토미장을 최종 마감면으로 구현하고 실내 기밀성 및 단열재 습기흡수방지를 위하여 OSB 합판18.3mm를 투습방습층으로 이용하였고 OSB 합판의 연결틈새는 투습방습테이프로 밀봉하여 기밀을 유지하도록 시공하였다.

단열재는 폐신문지를 재활용한 셀룰로오스를 충전형태로 구성하여 총 285mm의 두께로 충전 하였다. 셀룰로오스는 모세관현상으로 습기의 확산이 활성화 되어 부분적으로 발생될 수 있는 단열재 내 결로를 방지할 수 있으며, 폐기 시 재활용이 가능한 재료로서 본 농어촌그린홈 3차년도 Mock-up의 단열재로 적용하였다.

표 127 외벽체 열성능

구분	재료	재료의 두께	열전도율	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
		mm	W/mK	
외벽체	황토미장	15	0.90	0.140
	O.S.B	18	0.13	
	셀룰로오스 단열재	285	0.04	
	O.S.B	11	0.13	
	투습방습지	0.4	1.00	
	통기층	38	-	
	삼목샤이딩	15	0.13	
	합 계	382.4		
실내외열저항	실내 열저항 : 0.13m <sup>2</sup> K/W, 실외 열저항 : 0.04m <sup>2</sup> K/W			

### ③ 지붕체 계획 및 적용

단독주택의 외피 중(창호 및 개구부 제외)동일한 열성능을 가지는 구조체에서 가장 많은 에너지를 소비하는 구조체는 지붕면의 구조체이며 이때 발생하는 에너지 손실을 저감하기 위하여 지붕체의 단열성능을 높여주는 계획을 적용한다.

지붕체의 구조결합은 경량목구조를 이용하여 교차시공을 적용하여 목재로 인한 지붕면 선형열교를 방지할 수 있도록 하며, 셀룰로오스 단열재의 두께를 높여 단열성능을 보강하였다. 또한 지붕면으로 유입되는 습기 및 기밀성능 보완하기 위하여 기밀테이프를 이용한 틈새를 밀봉하여 실내를 기밀하게 유지하였다.

겨울철과 여름철의 지붕면은 고온다습한 환경과 저온·저습한 환경에 처해있는 국내 기후를 고려하여 따뜻한 지붕면으로 구성하였다. 따뜻한 지붕은 투습방수지 위 통기층을 두어 단열재 내에서 발생하는 습기배출을 원활히 하며, 지붕면으로부터 직접적인 일사를 차단하기 위한 방편으로 이용하였다.

표 128 지붕체 열성능

구분	재료	재료의 두께	열전도율	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
		mm	W/mK	
지붕체	삼목루버	15	0.13	0.110
	O.S.B	18	0.13	
	셀룰로오스 단열재	375	0.04	
	투습방습지	0.4	1.00	
	통기층	38	-	
	O.S.B 2PLY	28	0.13	
	삼목사이딩	15	0.13	
합 계	489.4			
실내외열저항	실내 열저항 : 0.10m <sup>2</sup> K/W, 실외 열저항 : 0.04m <sup>2</sup> K/W			

### ④ 창호 및 개구부 계획

단독주택의 외피 중 창호와 개구부에서 가장 많은 에너지 손실이 발생되고 있다. 따라서 본 연구에서는 패시브하우스 기준에 준하는 창호를 선정하여 에너지 손실을 저감시키는데 중점을 두고 국내 L사의 고성능 시스템 창호를 적용하였다.

본 시스템 창호의 열성능은 3중 로이 유리창이 적용된 창호로서 남향 전면 창호를 제외하고 u-PVC 재질의 창호를 이용하였고 남향전면 창호는 강도의 문제를 고려하여 알루미늄 단열바를 적용한 3중 유리 창호를 적용하였다.

국내 기술력으로 제작한 3중 창호로서 태양에너지 취득률에서 약간의 낮은 수치를 보이지만 전체적인 열관류율은 만족할만한 수준이다.

표 129 창호 및 개구부 열성능

구분	재료	재료의 두께	열전도율	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
		mm	W/mK	
창호 /개구부	창호	35~43	-	1.14~1.40
	개구부	35	-	1.38
	g-vaule			0.40
실내외열저항	실내 열저항 : 0.10m <sup>2</sup> K/W, 실외 열저항 : 0.04m <sup>2</sup> K/W			

(나) 구조체별 결로 해석

- 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 Mock-up체는 목구조를 기반으로 조성되는 모델로서 단열재와 목재사이에서 발생할 수 있는 습기에 의한 결로 및 구조체 Time-lag를 분석하기 위하여 다음과 같은 구체별 해석을 실시하였다.
- 구조체의 결로해석은 U-WERT프로그램을 이용하여 주어진 경계조건을 바탕으로 해석을 진행하였다.
- 구체는 지붕구조체와 외벽구조체로 나누어 해석하였으며 해석한 구조체를 기반으로 실제 시공에 적용하였다.
- 구조체 해석을 위한 경계조건은 다음과 같다.

표 130 구조체 해석 경계조건

구분	온도		습도	
여름철	실내	25 °C	실내	60%
	실외	35 °C	실외	80%
겨울철	실내	20 °C	실내	50%
	실외	-10 °C	실외	80%
실내외열저항	실내 표면 열전달저항 : 0.10m <sup>2</sup> K/W, 실외 표면 열전달저항 : 0.04m <sup>2</sup> K/W			

○ 지붕구조체

- 지붕구조체는 목구조에 의한 열교를 방지하기 위하여 서까래와 가로장선을 교차 시공하는 것으로 설계에 적용하였다.  
교차시공된 목구조를 셀룰로오스로 채웠으며 채워진 내부공간을 바탕으로 구조체 해석을 진행하였다.  
구조체의 해석결과 결로에 대한 문제점을 해결하기 위하여 투습방습지 및 통기층을 설치하여 습기에 의한 결로를 방지하였다. 통기층의 역할이 중요한 해석요인이 되었으며 통기층이 없을 경우 외부와 내부의 재료가 만나는 부위에서 결로가 발생하는 것으로 나타나 결로 방지를 위하여 투습방습지와 통기층을 적용하였다.
- 단열재의 특성상 축열용량이 다른 섬유형 단열재보다 높아 시간지연효과가 높을 것으로 나타났으며 이러한 시간지연효과는 내부 온도편차를 줄이고 에너지 소비를 줄이는데 큰 역할을 한다.

표 131 지붕구조체 여름철 및 겨울철 결로해석

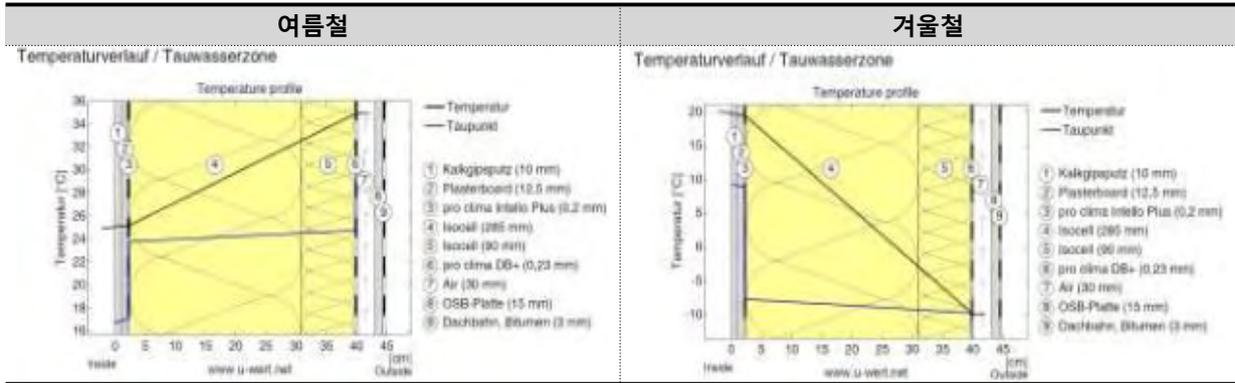
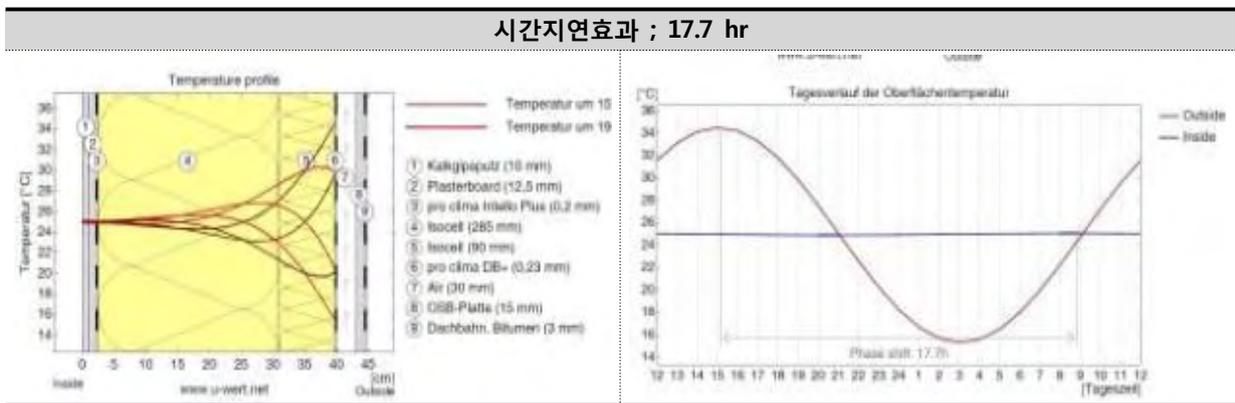


표 132 지붕구조체 시간지연효과 분석



### ○ 외벽구조체

- 외벽구조체는 단열재를 충전하기 위한 OSB 패널을 내외부로 구성하여 밀실한 단열재 충전이 가능하도록 구성하였고, 충전하는 셀룰로오스 단열재는 약 285mm로 충전되게 한다. 외벽단열재 내로 습기의 침투를 방지하기 위하여 내부와 외부에 투습방습지를 설치하였다. 본 투습방습지는 습기의 침투를 방지하여 단열재 내 습기 증가에 의한 결로를 방지할 수 있다.
- 또한 외벽 통기층을 조성하여 습기의 배출을 돕고 단열재 내 빠른 습기 배출로 인한 단열 성능을 향상 시키는데 도움이 된다.
- 축열성능이 높은 단열재를 적용하였으며, 적용된 단열재로 인한 시간지연효과는 14.3시간으로 일반 섬유형 단열재보다 약 2배 이상 지연효과를 가져온다.

표 133 외벽 구조체 여름철 및 겨울철 결로해석

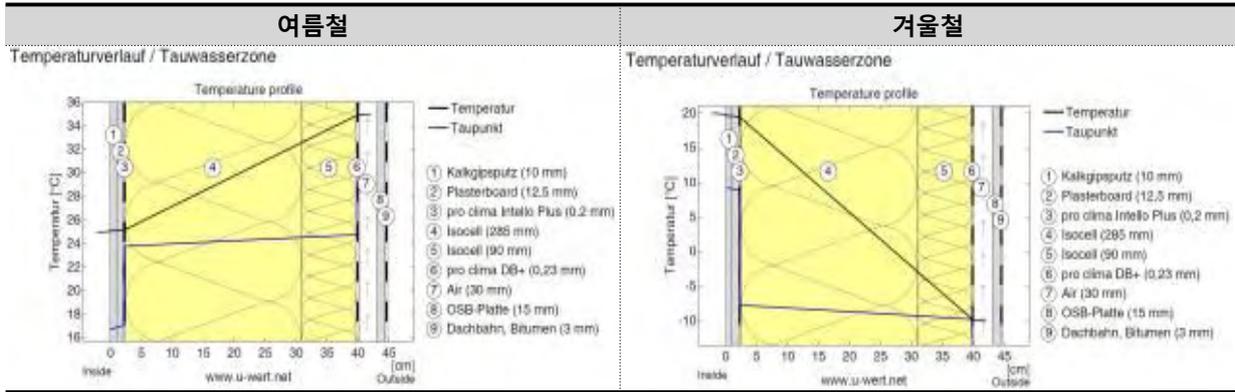
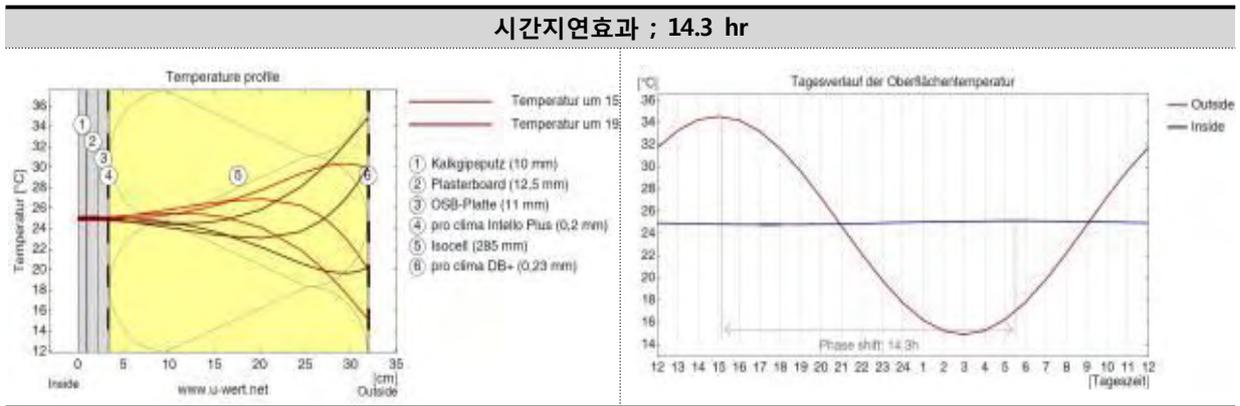


표 134 지붕구조체 시간지연효과 분석



### ○ 에너지 성능분석

본 연구에서는 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up을 계획하여 설계단계의 성능을 시뮬레이션 하고 계획된 에너지 성능이 실제 에너지 사용량과 어떠한 차이를 보이는지 실험하기 위하여 1차적으로 건축물의 에너지 성능분석을 실시하였다.

본 Mock-up체는 원룸형태의 공간으로 2층 규모의 경량목구조 건축물로서 생태재료 및 재활용재료를 적극 반영하여 에너지 성능분석을 실시하였다.

본 연구에서는 정량적 에너지 성능분석을 위해서 패시브하우스 에너지 성능분석을 실시하는 PHPP프로그램을 적용하여 분석을 실시하였다.

· Mock-up체 성능분석 개요

- 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 에너지 성능분석을 위하여 프로그램에 필요한 정량적 수치 및 시설의 사항들을 시험 성적서를 바탕으로 적용하였다.
- 냉난방 면적으로는 46㎡를 적용하였고 폐열회수환기장치는 난방효율이 92%인 HELIOS 제품을 적용하였으며(로터리방식) 신·재생에너지원으로 태양에너지를 이용한 PV패널 4.8kWp를 지붕면에 적용하였다.

표 135 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 에너지 성능분석 개요

구분	내용		비고
사용프로그램	난방에너지	PHPP (Passive House Planning Package)	기초, 외벽, 지붕, 창호 적용 다락포함
	선형열교	HEAT 2 7.0	
	건축물 물리해석	U-Wert	
적용면적 (TFA)	46 m <sup>2</sup>		ULTIMATEAIR 200DX
적용시설	폐열회수환기장치 η92%		METEONORM 6.1
	난방시설 : 전기코일난방		
적용기후	충주기후		
신·재생에너지	PV 패널 4.8kWp		

- PHPP 2007에서는 기본적으로 독일의 표준 기후를 배경 데이터로 건물의 에너지 성능을 계산하는데, 이는 우리나라의 기후조건과 맞지 않으므로 PHPP에서 인정하는 기후 데이터 산출 프로그램인 METEONORM 6.1을 이용하여 얻은 충주지역의 기후 데이터를 이용하였다.
- Mock-up체 설계 시에는 유럽 표준인 DIN EN ISO 13790의 Monthly Method(월간계산법)을 적용하였다.
- 본 시뮬레이션의 난방 및 1차에너지 소요량은 기밀성 테스트를 거치지 않은 분석값으로서 최종 기밀테스트를 통하여 최종 난방에너지 및 1차에너지 소요량을 분석할 수 있다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 패시브하우스 최대 허용치인 기밀 성능값을 적용하여 분석하였다.

· 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 에너지 성능분석 PHPP Chart 분석

- 실제 적용된 재료 및 시스템을 적용하여 에너지 성능분석을 실시한 결과 다음과 같은 결과가 나타났다.

본 결과치는 난방열원의 종류에 따라 각각 나누어 분석하였으며 가스보일러가 적용된 제로 에미션 주택의 에너지 소모 결과는 전기난방보다 1차 에너지가 적게 소모되었고, 지열 히트펌프보다는 많은 소모량을 보였다.

본 결과의 원인으로는 전기 난방 시 기존 전기의 발전 및 송전 손실과 전기를 난방으로 재 변화시킬 때 발생하는 변환효율 때문에 오는 에너지 증가치로 보여 진다.

## Passive House Verification



Building:	농어촌 제로에너지 주택		
Location and Climate:	chungju-normal		
Street:	신월동		
Postcode/City:	제천시		
Country:	대한민국		
Building Type:	단독주택		
Home Owner(s) / Client(s):	세명대학교 건축공학과		
Street:	세명로 65		
Postcode/City:	충북 제천시		
Architect:			
Street:			
Postcode/City:			
Mechanical System:			
Street:			
Postcode/City:			
Year of Construction:	2013		
Number of Dwelling Units:	1	Interior Temperature:	20.0 °C
Enclosed Volume $V_e$ :	224.0 m <sup>3</sup>	Internal Heat Gains:	2.1 W/m <sup>2</sup>
Number of Occupants:	2.0		

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area:	46.0 m <sup>2</sup>			
	Applied:	Monthly Method	PH Certificate:	Fulfilled?
Specific Space Heat Demand:	38	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	149	kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	107	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Heating Load:	27	W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:		%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	56	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Cooling Load:	18	W/m <sup>2</sup>		

그림 30 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 가스열원 적용 성능표

# SPECIFIC ANNUAL HEAT DEMAND MONTHLY METHOD

(This page displays the sums of the monthly method over the heating period)

Climate: chungju-normal		Interior Temperature: 20 °C	
Building: 농어촌 제로에너지 주택		Building Type/Use: 단독주택	
Location:		Treated Floor Area A <sub>TFA</sub> : 46.0 m <sup>2</sup>	
Spec. Capacity: 60 Wh/(m <sup>2</sup> K) (Enter in "Summer" worksheet)			

Building Element	Temperature Zone	Area m <sup>2</sup>	U-Value W/(m <sup>2</sup> K)	Month. Red. Fac.	G <sub>t</sub> kWh/a	per m <sup>2</sup> Treated Floor Area
1 Exterior Wall - Ambient	A	141.7	0.141	1.00	84	1687
2 Exterior Wall - Ground	B			1.00		
3 Roof/Ceiling - Ambient	A	31.5	0.110	1.00	84	292
4 Floor Slab	B	28.1	0.128	1.00	52	188
5	A			1.00		
6	A			1.00		
7	X			0.75		
8 Windows	A	27.4	1.330	1.00	84	3073
9 Exterior Door	A			1.00		
10 Exterior TB (length/m)	A			1.00		
11 Perimeter TB (length/m)	P			1.00		
12 Ground TB (length/m)	B			1.00		
<b>Total</b>					<b>5240</b>	<b>113.8</b>

**Transmission Heat Losses Q<sub>T</sub>**

Effective Air Volume V <sub>RAX</sub> m <sup>3</sup>	A <sub>TFA</sub> m <sup>2</sup>	Clear Room Height m	V <sub>RAX</sub> m <sup>3</sup>
46	46	2.50	115

Effective Air Change Rate Ambient n <sub>a</sub> 1/h	Effective Air Change Rate Ground n <sub>v,g</sub> 1/h	n <sub>v,eq</sub> 1/h
0.535	0.535	0.134

V <sub>RAX</sub> m <sup>3</sup>	n <sub>v,eq</sub> 1/h	C <sub>air</sub> Wh/(m <sup>3</sup> K)	G <sub>t</sub> kWh/a	Q <sub>v</sub> kWh/a	Q <sub>v,e</sub> kWh/(m <sup>2</sup> a)
115	0.134	0.33	84	429	9.3
115	0.000	0.33	52	0	0.0
<b>Total</b>					<b>429</b>

**Ventilation Heat Losses Q<sub>v</sub>**

그림 31 난방에너지 월간법 계산 1

<b>Total Heat Losses Q<sub>L</sub></b>	Q <sub>T</sub> kWh/a	Q <sub>v</sub> kWh/a	Reduction Factor Night/Weekend Saving	Q <sub>L</sub> kWh/a	Q <sub>L</sub> kWh/(m <sup>2</sup> a)
	5240	429	1.0	5669	123.1

Orientation of the Area	Reduction Factor See Windows worksheet	g-Value perp. radiation	Area m <sup>2</sup>	Global Radiation kWh/(m <sup>2</sup> a)	Q <sub>S</sub> kWh/a
1 North	0.36	0.50	3.6	209	137
2 East	0.29	0.50	2.2	442	139
3 South	0.55	0.50	21.7	712	4230
4 West	0.40	0.00	0.0	451	0
5 Horizontal	0.40	0.00	0.0	762	0
6 Sum Opaque Areas					369
<b>Total</b>					<b>4874</b>

**Available Solar Heat Gains Q<sub>S</sub>**

Length Heat Period kh/d	Spec. Power q <sub>d</sub> W/m <sup>2</sup>	A <sub>TFA</sub> m <sup>2</sup>	Q <sub>I</sub> kWh/a	Q <sub>I</sub> kWh/(m <sup>2</sup> a)
0.024	243	46.0	564	12.2

**Internal Heat Gains Q<sub>I</sub>**

Free Heat Q <sub>F</sub> kWh/a	Q <sub>S</sub> + Q <sub>I</sub> kWh/a	Ratio Free Heat to Losses Q <sub>F</sub> / Q <sub>L</sub>
5438	5438	0.96

Utilisation Factor Heat Gains η<sub>G</sub> = 72%

Heat Gains Q <sub>G</sub> kWh/a	Q <sub>G</sub> kWh/(m <sup>2</sup> a)
3904	84.8

**Annual Heat Demand Q<sub>H</sub>**

Q <sub>L</sub> - Q <sub>G</sub> kWh/a	Q <sub>H</sub> kWh/(m <sup>2</sup> a)
1765	38

**Limiting Value** kWh/(m<sup>2</sup>a) = 15 Requirement met? **No**

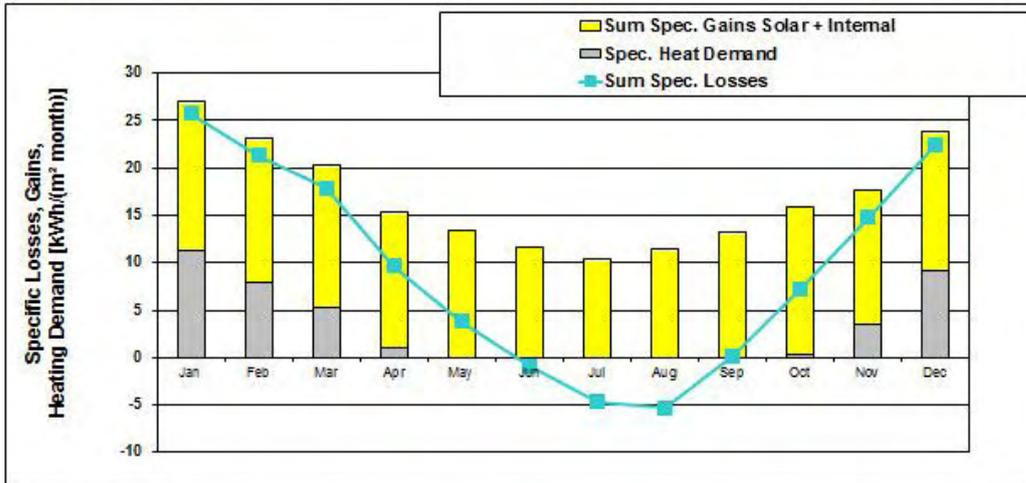
그림 32 난방에너지 월간법 계산 2

## PASSIVE HOUSE PLANNING

### SPECIFIC ANNUAL HEAT DEMAND MONTHLY METHOD

Climate: chungju-normal  
 Building: 동이촌 개포리마을 주택  
 Location:   
 Interior Temperature: 20 °C  
 Building Type/Use: 단독주택  
 Treated Floor Area Area: 4.6 m<sup>2</sup>

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year	
Heating Degree Hours - h	17.7	14.6	12.0	6.4	2.5	-0.7	-3.2	-3.6	0.3	5.2	10.3	15.5	77	kWh
Heating Degree Hours - °C	9.4	10.0	10.8	8.6	4.8	1.2	-1.8	-3.5	-3.2	-0.5	2.6	6.3	45	kWh
Losses - Exterior	1153	948	783	415	160	-44	-207	-232	20	338	672	1013	5018	kWh
Losses - Ground	34	36	39	31	17	4	-7	-13	-11	10	23	161	161	kWh
Sum Spec. Losses	25.8	21.4	17.9	9.7	3.9	-0.9	-4.6	-5.3	0.2	7.3	14.8	22.5	112.5	kWh/m <sup>2</sup>
Solar Gains - North	11	13	20	24	29	29	25	23	20	17	12	10	233	kWh
Solar Gains - East	14	15	19	24	26	24	19	20	19	17	12	12	221	kWh
Solar Gains - South	588	564	529	487	428	356	315	362	451	564	523	547	5715	kWh
Solar Gains - West	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Gains - Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Solar Gains - Opaque	38	42	51	58	61	54	45	48	48	48	37	34	564	kWh
Internal Heat Gains	72	65	72	70	72	70	72	72	70	72	70	72	847	kWh
Sum Spec. Gains Solar +	15.7	15.2	15.0	14.4	13.4	11.6	10.3	11.4	13.2	15.6	14.2	14.7	164.6	kWh/m <sup>2</sup>
Utilisation Factor	92%	89%	84%	61%	29%	0%	0%	0%	1%	45%	79%	91%	45%	
Annual Heat Demand	520	362	241	44	2	0	0	0	0	13	162	422	1765	kWh
Spec. Heat Demand	11.3	7.9	5.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.5	9.2	38.3	kWh/m <sup>2</sup>



Annual Heat Demand: Comparison

EN 15780 Monthly Method	1765 kWh/a	38.3 kWh/(m²a) Reference to habitable area
PHPP, Heating Period Method	1304 kWh/a	28.3 kWh/(m²a) Reference to habitable area

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Annual Total	Heating Period
Days	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	205
Ambient Temp.	-2.90	-0.30	4.60	11.30	17.20	21.30	24.50	25.00	19.90	13.50	6.30	-0.10	11.8	4.3
North Radiation	17.0	20.0	31.0	36.0	45.0	44.0	38.0	35.0	30.0	26.0	18.0	16.0	356	152
East Radiation	43.0	48.0	61.0	75.0	84.0	75.0	60.0	65.0	61.0	55.0	39.0	37.0	703	334
South Radiation	99.0	95.0	89.0	82.0	72.0	60.0	53.0	61.0	76.0	95.0	88.0	92.0	962	613
West Radiation	41.0	50.0	62.0	76.0	80.0	89.0	96.0	82.0	60.0	59.0	44.0	39.0	698	348
Horiz. Radiation	66.0	80.0	109.0	136.0	151.0	137.0	110.0	113.0	107.0	96.0	66.0	58.0	1229	587
Tasky	-22.43	-19.41	-11.86	-2.16	6.35	13.68	19.93	20.33	13.03	3.33	-7.24	-17.38	-0.2	
Ground Temp	7.39	5.19	5.44	8.09	13.54	18.39	22.47	24.67	24.42	20.66	16.32	11.47	14.9	10.6

그림 33 연간에너지 요구량 분포 및 난방에너지 요구량

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area:	46.0 m <sup>2</sup>		PH Certificate:	Fulfilled
	Applied:	Monthly Method		
Specific Space Heat Demand:	38	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	232	kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	190	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Heating Load:	27	W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:		%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	56	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Cooling Load:	18	W/m <sup>2</sup>		

그림 34 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 전기열원 적용 성능표

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area:	46.0 m <sup>2</sup>		PH Certificate:	Fulfilled
	Applied:	Monthly Method		
Specific Space Heat Demand:	38	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Pressurization Test Result:	0.6	h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	60	kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	18	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Heating Load:	27	W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:		%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	56	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Cooling Load:	18	W/m <sup>2</sup>		

그림 35 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 지열열원 적용 성능표

## ① 난방에너지 시뮬레이션 결과분석

난방에너지 요구량 분석 - 본 건물의 난방에너지 요구량은 연간 38 kWh/m<sup>2</sup>가 필요한 것으로 분석되었다. 이는 석유로 환산할 경우 약 3.8L의 에너지원이 필요한 것으로 판단된다.

본 Mock-up체는 패시브하우스 기준치에 준하는 디자인 요소를 적용했음에도 불구하고 난방에너지 소요량 15kWh/m<sup>2</sup>.a에 미치지 못하였는데 그 원인으로는 실제 패시브하우스는 건축되는 면적이 대부분 66m<sup>2</sup>(구 20평형대)이상인데 반해 본 모델은 Mock-up체로 구성하였기 때문에 냉난방 면적이 낮아진데서 발생한 원인으로 분석된다.

또한 기존의 국내 시스템 창호를 적용한 결과로 수입산 창호보다 태양에너지 취득률과 열관류율 면에서 다소 불리한 수치가 적용되었다.

1차에너지 소요량에서는 난방장치의 열원을 보일러를 이용한 가스열원과 전기난방을 이용한 전기열원으로 각각 분류하여 분석한 결과로 보일러 가스 난방 시 약 149 kWh/m<sup>2</sup>.a 에너지 소요량으로 분석되었으며, 전기 난방 시 약 232 kWh/m<sup>2</sup>.a 에너지 소요량으로 나타났다. (기밀테스트는 패시브하우스 인증 최대치인 시간당 0.6회를 적용함)

반면 지열열원을 이용한 1차에너지 소요량은 약 60 kWh/m<sup>2</sup>.a으로 전기 열원을 이용할 때보다 약 3.8배 절약할 수 있는 에너지소모량을 보였다. 이는 난방 및 냉방을 지열로 이용함으로써 건축물에서 발생하는 1차에너지를 크게 축소시킬 수 있는 에너지원으로 판단된다.

앞서 명시한 내용과 같이 전기난방을 사용할 경우 전기열원에 대한 1차에너지의 송전손실, 발전 손실 등을 고려하여 적용해야한다.

따라서 1차에너지 소요량을 절감하기 위한 난방열원의 적용은 석유계 열원에 가까운 1차 열원을 사용하는 것이 바람직하며, 경제적인 부분에서 신·재생에너지 열원에 대한 적용도 고려할 필요가 있다.

표 136 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 열원별 난방에너지 및 1차에너지 소요량 비교분석

구 분	난방에너지 요구량 (kWh/m <sup>2</sup> .a)	1차에너지 소요량 (kWh/m <sup>2</sup> .a)	적용 열원
가스열원	38	149	가스난방
전기열원	38	232	전기난방
지열열원	38	60	지열난방

## ② 신·재생에너지를 이용한 1차에너지 시뮬레이션 결과분석

본 연구에서는 Mock-up체에 적용한 신·재생에너지 설비로 PV패널을 지붕면에 일체형으로 적용하였다.

적용된 PV모듈은 경사각 30°를 기준으로 4시간 일조량을 확보할 수 있도록 정남향에 위치하였고 모듈당 약 240W의 생산량을 가진 PV패널 20장을 지붕면에 설치하였다.

설치된 PV패널은 경사각에 맞추어 하부 통기층 (약 110mm)을 두고 상부에 설치하였다.

적용된 PV패널의 연간 생산능력은 약 6920 kWh 용량이며, 일일 4시간 일조기준으로 적용된 생산용량이므로 실제 발전용량은 본 용량보다 많을 것으로 판단된다.

## - 1차에너지 대체결과

전기난방을 적용하였을 경우 1차에너지 소요량이 284.6 kWh/m<sup>2</sup>.a으로 가스열원사용시보다 약 113.8 kWh/m<sup>2</sup>.a의 1차에너지가 소요된다. 그러나 실제 사용된 최종에너지원으로 환산할 경우 전기난방을 사용했을 경우가 108.6kWh/m<sup>2</sup>.a만을 사용하기 때문에 가스를 사용했을 경우 124.8kWh/m<sup>2</sup>.a보다 오히려 더 적은 사용량을 나타냈다. 따라서 신·재생에너지원을 근거로 사용되는 에너지량으로 환산한다면 가스열원보다 전기난방열원이 조금 더 효율적인 열원이 된다.

또한 PV를 적용하여 생산된 전기는 모든 열원에서 사용된 에너지보다 많은 발전량을 보였다.

시뮬레이션 효과 중 지열히트펌프를 이용한 냉난방에너지가 가장 적게 소모되고 이로 인한 CO<sub>2</sub> 발생 역시 가장 적은 발생량을 보였다.

따라서 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up을 위한 효율적 설비의 적용 시 지열히트펌프를 적용하는 것이 경제적으로 효과적인 것으로 사료된다.

표 137 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 열원별 전기생산량 및 CO<sub>2</sub> 비교분석

구 분	1차에너지 소요량 (kWh/m <sup>2</sup> .a)	CO <sub>2</sub> 배출 및 저감량 (kg/m <sup>2</sup> .a)	초과 저감용량
가스열원	148.7	35.2	29.4
전기열원	232.1	58.3	6.3
지열열원	59.9	14.9	49.7
PV 전기생산	300.6	64.6	기준

# Passive House Planning

## PRIMARY ENERGY VALUE

Building:	농어촌 제로에미션 주택		
Location:			
Building Type/Use:	단독주택		
Treated Floor Area A <sub>TFA</sub> :	46	m <sup>2</sup>	
Space Heat Demand incl. Distribution:	58	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Useful Cooling Demand:	0	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	<b>Final Energy</b>	<b>Primary Energy</b>	<b>Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kg/(m <sup>2</sup> a)
Heating, Cooling, DHW, Auxiliary and Household Electricity	105.1	148.7	35.2
<b>Total PE Value</b>	<b>148.7</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Total Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>	<b>35.2</b> kg/(m <sup>2</sup> a) (Yes/No)		
<b>Primary Energy Requirement</b>	120	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>No</b>
Heating, DHW, Auxiliary Electricity (No Household Applications)	86.2	106.6	24.7
<b>Specific PE Demand - Mechanical System</b>	<b>106.6</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Total Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>	<b>24.7</b> kg/(m <sup>2</sup> a)		
Solar Electricity	kWh/a	PE Value (Savings)	CO <sub>2</sub> -Emission Factor
Planned Annual Electricity Generation	6920	kWh/kWh	g/kWh
		0.7	250
<b>Specific Demand</b>	150.3	105.2	37.6
<b>PE Value: Conservation by Solar Electricity</b>	<b>300.6</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>CO<sub>2</sub>-Emissions Avoided Due to Solar Electricity</b>	<b>64.6</b> kg/(m <sup>2</sup> a)		

그림 36 신·재생에너지를 이용한 1차에너지 소요량 분석 (가스열원 적용시 기준)

### 3. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 시공 및 모니터링

#### 가. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 시공계획 및 시공

##### (1) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 시공계획

- 시공을 위한 구조체의 구성은 지붕 구조체와 외벽구조체, 바닥 구조체 및 개구부에 관한 부분으로 분류할 수 있다.
- 지붕구조체는 경량목구조와 중량목구조를 접목한 구조로 셀룰로오스 단열재로 구성되고, 투습방수지를 적용하여 습기에 의한 단열재의 열성능 저하를 방지하도록 시공한다.
- 외벽구조체 역시 경량목구조와 중량목구조를 접목한 구조로 셀룰로오스 단열재로 구성되고, 내부의 마감재질은 천연재료인 목재와 황토를 적용하여 실내공기질과 습도조절을 수행할 수 있도록 시공한다.
- 바닥구조체는 지반으로 빠져나가는 열을 방지하고 단열이 연속성을 갖도록 구성하였으며, 자중에 의한 부피단열재의 눌림과 수분에 의한 단열성능 저하를 방지하기 위하여 단열재의 방수 및 압출법 단열재를 적용하여 시공한다.
- 창호 및 개구부는 패시브하우스 기준에 준하는 고효율 창호와 개구부를 적용하고 시공 시 선형열교의 발생을 방지할 수 있도록 단열보강시공을 진행한다.

표 138 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 시공공정순서

농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 시공공정
1.터파기후 잡석지정을 통한 모세관현상 방지 시공
2.모래를 통한 상부 단열재 시공기틀 마련
3.방습층 형성 후 바닥단열재 2겹 시공 및 설치 (압출법단열재의 적용 및 압축강도를 선정하여 설치)
4.기초 외벽단열재 조립 및 기초철근배근, 매트 기초부 타설
5.구조체 목구조 시공
6.지붕 목구조 시공 및 방습, 방수층 형성 후 셀룰로오스 단열재 충전 및 신-재생에너지원 적용
7.창호 및 개구부의 단열시공 및 기밀층 형성 시공
8.내부 바닥마감(황토) 및 전기난방관 시공
9.내·외부 천연재료 마감 및 환기시스템의 적용

## (2) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 공정시공 및 모니터링

### (가) 기초부 공정시공 및 모니터링

#### ○ 시공 적용 사항

- 건물이 앉힐 지반에 400mm 매트기초를 시공한다.
- 매트기초의 바닥단열재는 압출법 단열재 100mm를 틈새발생방지 목적으로 2겹 교차시공하고, 측면단열재도 압출법 단열재 100mm를 2겹 교차하여 400mm 높이로 시공한다.
- 지반과 접촉되는 부분은 액체방수를 통하여 단열재의 성능을 보강한다.

표 139 기초 및 단열 시공사진



#### ○ 시공 모니터링

- 바닥단열재가 수평하게 위치하기 위해서는 바닥면의 평활도가 가장 중요하게 작용되었다.
- 콘크리트 타설 시 수직단열재가 콘크리트의 하중에 의해 터져나가지 않도록 주의하고, 타설 후 3일 이상의 양생기간을 가진다.

## (나) 벽체부 공정시공 및 모니터링

### ○ 시공 적용 사항

- 벽체 구조는 중량목구조와 경량목구조를 접목한 구조로, 공학목재로 보와 기둥을 만들고 단열 두께를 고려하여 2x12 목재로 스티드를 만들어 벽체를 구성하였다.
- 벽체의 간격은 OSB 합판의 규격을 고려하여 610mm로 하였고, 스티드 사이의 공간에 셀룰로오스 단열재를 충전하여 285mm의 단열층을 형성하였다.
- 2x10을 이용하여 406mm 간격으로 바닥장선을 구성하였다.
- 외벽 OSB 합판은 11mm를 사용하였고, 내벽은 가변형 투습방수지를 대신하여 18mm OSB 합판을 사용하였다.
- 목구조 시공 시 날씨에 의한 목재의 습기함유량이 늘어나는 것을 방지하기 위하여 투습방수지를 즉시 시공하였다.
- 목구조의 취약점인 기밀을 처리하기 위해 18mm OSB 합판과 투습테이프를 이용하여 전체 기밀층을 형성하였다.

표 140 벽체시공 사진



### ○ 시공 모니터링

- 투습방수지를 시공할 때 물이 들어갈 틈이 생기지 않도록 방수테이프를 이용하여 빈틈없이 시공하여야 한다.
- 내부 기밀층 형성 시 또한 투습테이프로 빈틈없이 시공하여야 하고, 외부 투습방수지는 마감 시 파손이 없도록 최대한 보양해야 한다.

## (다) 지붕부 공정시공 및 모니터링

### ○ 시공 적용 사항

- 지붕구조는 중량목구조와 경량목구조를 접목시킨 구조로, 지붕에 태양광 설치 시 효율적으로 이용할 수 있도록 경사도 30도의 외경사 지붕으로 시공하였다.
- 목구조 시공 시 날씨에 의한 목재의 습기함유량이 늘어나는 것을 방지하기 위하여 투습방수지를 즉시 시공하였다.
- 단열재의 적용 시 충분한 공기층을 유지하기 위하여 처짐이 발생하지 않도록 시공하였다.
- 목구조의 취약점인 기밀을 처리하기 위하여 빈틈없이 투습테이프를 이용하여 기밀층을 형성하였다.
- 지붕면의 최종마감을 위하여 통기층을 두고 상부에 OSB 합판을 설치하여 지붕마감재의 결속하는데 필요한 하지작업을 실시하였다.

표 141 지붕의 시공 사진



### ○ 시공 모니터링

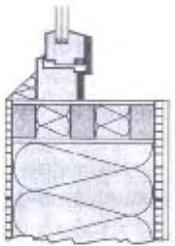
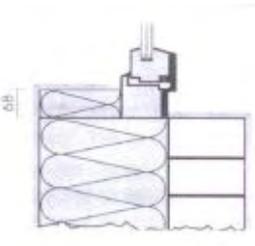
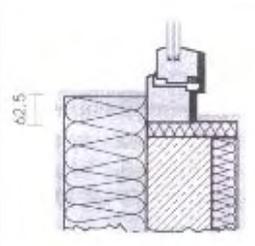
- 방수 및 기밀층을 정확하게 처리해야 하고 지붕의 투습방수지 설치 시 못이나 나사에 의한 파손이 발생하지 않도록 한다.
- 지붕은 여러 재료가 만나는 복잡한 공정이므로 시공도면으로 확인하고 입체도면(BIM)으로 그 부위를 철저히 검토해야 한다.

(라) 창호부 공정시공 및 모니터링

○ 시공 적용 사항

- 창호의 고정은 창틀이 연결된 부위에서 10cm내외에 나사못으로 고정한다.
- 창틀과 벽체의 틈새는 충진폼으로 기밀하게 충전하고 내외부에 방수테이프와 기밀방습테이프를 설치하여 창호의 시공면 주변으로 기밀층이 형성되도록 하였다.
- 창호프레임 하단의 빗물받이는 열교 차단재에 연결하여 하부틀로부터 발생하는 열교를 최소화하였다.
- 여름과 겨울철 냉난방 에너지 절감을 위하여 외부셔터를 장착하여 일체형 창호프레임을 설치하였다.

표 142 창호설치 위치

창호설치 위치		
		
경량목구조 벽체	조적조/콘크리 벽체	양단열 콘크리트 벽체

출처: Passive House Planning Package 2007, p.72

표 143 창호 시공 모습



## ○ 시공 모니터링

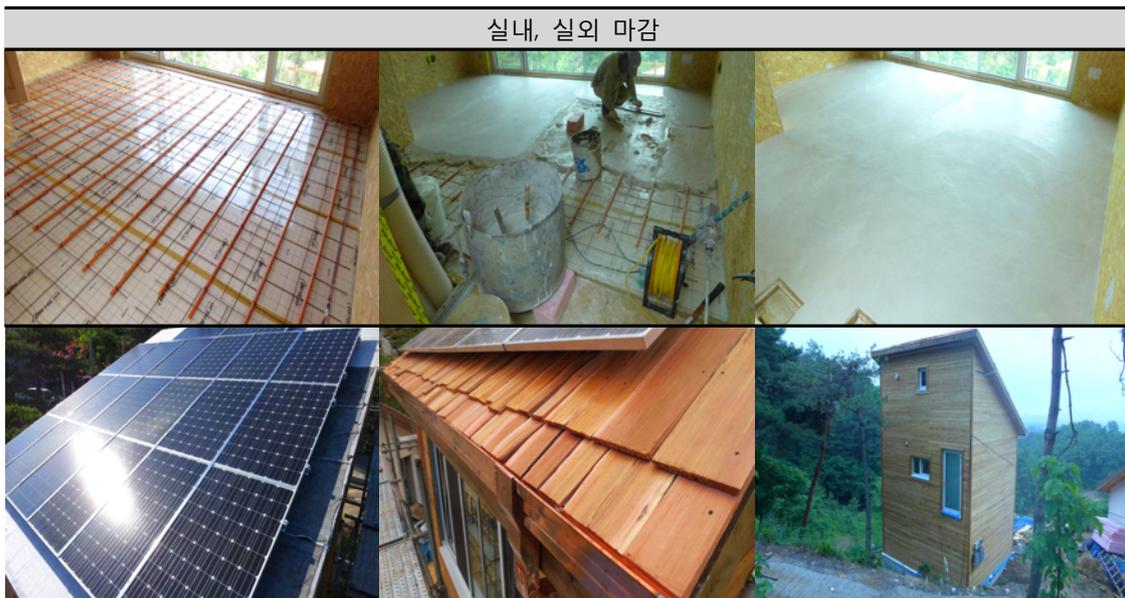
- 창호설치면 내외부의 기밀테이프 시공으로 인한 기밀성이 확보됨을 알 수 있었다.
- 외부셔터일체형 창호를 고정할 때 상부의 셔터를 포함한 부위의 고정방법에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.
- 셔터의 단열성능을 보강하기 위하여 내외부에 추가적인 단열작업을 수행함으로써 셔터박스 부위의 단열성능이 보강되었다.

## (마) 내·외장 마감 부위 시공 및 모니터링

### ○ 시공 적용 사항

- 바닥에 진공관 온돌 파이프를 설치하여 전기난방이 가능하도록 하였다.
- 내부 마감 재료는 대부분 황토를 이용한 미장 및 방통을 적용하였고 천연페인트를 발라 황토의 고유색을 커버하였다.
- 벽체부는 목재를 적용하여 화학제품에서 발생될 수 있는 유기성화합물의 배출을 저감하였다.
- 내부 바닥 마감은 한지를 이용한 공기름장판으로 마감하였다.
- 황토의 성능을 최대한 이용하기 위하여 자연재료를 이용하였다.
- 외벽은 방부목을 이용하여 통기층을 만들어 사이딩 마감하였다.
- 지붕은 적삼목 너와로 마감하였다.

표 144 마감 사진



### ○ 시공 모니터링

- 내부 황토 마감 시 바탕강화처리를 하도작업 해야 하며 황토의 배합비를 고려하여 외부로부터 탈락과 박리를 방지해야 한다.
- 천연페인트 작업 시 황토의 완전한 건조 후 작업을 수행해야 한다.
- 황토바닥 위에 한지 바름을 할 경우 지속적인 유지관리가 가능한 재질을 고려해야 하고 바탕면의 수평이 잘 유지되도록 황토바닥 작업 시 주의를 요한다.
- 외부 벽체의 사이딩에 친수성 오일 스테인을 시공하여 목재의 내구성을 높인다.

### (바) 배기열 회수 환기유닛 시공 및 모니터링

#### ○ 시공 적용 사항

- 배기열 회수 환기장치는 다락에 위치하도록 시공하였다.
- 배기열 회수 환기장치는 연결되는 모든 접속부에서 기밀하게 시공하였고 외부와 연결된 덕트 부분은 소음 저감과 단열을 위하여 단열파이프를 이용하여 연결하였다.
- 소음기를 통하여 기기의 소음을 최대한으로 줄였다.

표 145 폐열회수 환기유닛의 시공모습



### ○ 시공 모니터링

- 덕트 내 이물질로 인한 오염을 막기 위해 시공 중 덕트의 모든 개구부를 밀폐해야 한다.
- 공급관 및 배기관은 최소한 짧은 거리를 유지할 수 있도록 시공되어야 한다.
- 기기의 진동 및 소음이 차단되도록 시공되어야 한다.

### (3) 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 모니터링 계획

본 연구에서는 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up체의 실내·외 온도변화 및 습도변화를 분석하여 연간 난방에너지 사용량, 1차에너지 사용량, 신·재생에너지 생산량 및 사용량을 모니터링하기 위해 실내 환경 모니터링 시스템을 구축하고 DATA를 분석한다. 모니터링의 계획은 다음과 같다.

#### (가) 실내 환경모니터링 계획

- 연간 발생하는 난방에너지의 열원을 토대로 사용된 난방에너지량을 측정하여 분석함
- 실내 온도 및 습도의 변화를 분석하고, 실내 CO<sub>2</sub> 발생 빈도를 분석함
- 폐열회수 환기장치의 가동유무에 따른 에너지 변동분석을 통하여 폐열회수환기장치의 효율성을 분석함
- 실내 환경 모니터링 계획을 바탕으로 실내 공기질 측정을 실시함

#### (나) 신·재생에너지 모니터링 계획

- PHPP프로그램을 활용하여 연간 발생하는 에너지원인 1차에너지 및 최종 에너지량을 기반으로 실제 생산되는 전기에너지를 고려하여 CO<sub>2</sub> 분석을 실시함
- 모델에 필요한 PV모듈의 용량산정 및 전기량 모니터링을 실시함

#### (다) 센서 설치 계획

- 계획된 공간에 온도, 습도 및 CO<sub>2</sub> 센서를 각각 배치하여 실내 환경 모니터링 계획을 수립함
- 센서별 실내·외 설치위치 계획은 다음과 같다.

표 146 실별 센서설치 계획도 및 위치도

설치도		설치위치		
<p> <span style="color: yellow;">■</span> 온도센서  <span style="color: blue;">■</span> 습도센서  <span style="color: green;">■</span> CO<sub>2</sub>센서         </p> <p>1층 평면도      2층 평면도</p>	1층 기계실	온도	습도	CO <sub>2</sub>
	2층 거실	온도	습도	CO <sub>2</sub>
	2층 화장실	온도	습도	
	실 외	온도	습도	CO <sub>2</sub>

#### (라) 모니터링 센서 데이터의 분석계획

- 각 센서에 의한 데이터 분석은 다음과 같은 목적으로 사용된다.

##### ○ 온도센서

- 구획된 실들의 난방기 작동 유무에 따라 패시브 난방 시기를 분석
- 난방기 작동없이 실내온도의 변화편차 및 변화량 분석
- 외부온도와의 온도편차 분석
- 실험체내의 온도변화분석
- 폐열회수환기 장치의 작동유무에 따른 온도변화 분석 및 난방에너지 사용량 분석

##### ○ 습도센서

- 실내외 습도변화 분석 (기밀성과 관련된 성능테스트 입증자료로 활용)
- 실내 습도변화에 따른 실내습도 조절방안 제시에 활용
- 습도변화에 따른 취약 구조체의 결로 지점 검토(결로가 발생 시 어느 부위에 발생되는지 최악조건인 환경에서 실험실시)

##### ○ CO<sub>2</sub> 센서

- 폐열회수 환기장치의 가동유무에 따른 실내공기질의 측정
- 외부 CO<sub>2</sub> 수치와 비교하여 실내 CO<sub>2</sub> 수치의 상승원인 파악 및 하락원인 데이터 정립
- 실내 공기질을 위한 CO<sub>2</sub> 수치 정량화 제시

#### 4. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 에너지사용량 비교분석

본 연구에서는 일반주택의 정의를 다음과 같이 정립한다. 본 연구의 실험주택과 대조군으로 선정한 일반주택은 최근 건축물 에너지 절약 설계기준에 준하는 부위별 열관류율을 적용하여 실험주택과 동일한 규모의 건축물을 조성하는 것으로 삼는다. 건축물의 에너지 절약설계기준은 2012.11.30.일에 개정되어 2013.09.01.에 시행되는 설계기준을 적용하고, 건축물의 구조는 줄기초 구조에 철근콘크리트 구조로 선정한다. 또한 단열의 형태는 외단열을 실시하는 것으로 하여 단열재의 두께에 따라 지역별 건축물 부위의 열관류율을 적용할 수 있도록 하였다. 다음 표는 실험주택과 일반주택을 정의하여 구조체별 적용 형태 및 단열형태를 제시한 내용으로 에너지 성능분석을 실시하기 위한 경계조건으로 적용하였다.

표 147 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 적용 경계조건

구분	실험 주택 Mock-up체	일반주택 1)
건물규모	단독 2층 (다락층 포함)	단독 2층 (다락층 포함)
적용면적(TFA)	46 m <sup>2</sup>	46 m <sup>2</sup>
적용시설	폐열회수환기장치 η = 92%	미적용
적용기후	중주기후	중주기후
건축구조	경량목구조 (중량목구조 혼합)	철근콘크리트 구조
단열방식	구조체내 단열 (셀룰로오스)	외단열 (비드법 2층)
지붕단열	경량목구조	철근콘크리트 구조
창 및 문	3중 로이코팅 유리창호	복층유리 창호
기초구조	매트기초	줄기초

1) 일반주택의 부위별 외단열 적용방식은 국토해양부 공고 제 2012-1117호(2012.08.24.)의 농어촌 표준주택 설계도서를 기반으로 단열방식을 채택하였음 (최근 2012년 농어촌 표준주택 설계도서는 에너지 저감 설계 도서를 구현하고 있기 때문에 외단열 방식의 적용형태를 최근형태로 적용하기 위함)

표 148 지역별 건축물 부위의 열관류율 표

2013년 9월 1일 시행예정표

(단위 : W/m<sup>2</sup>·K)

건축물의 부위	지역	중부지역 1)	남부지역 2)	제주도
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	0.270	0.340	0.440
	외기에 간접 면하는 경우	0.370	0.480	0.640
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우	0.180	0.220	0.280
	외기에 간접 면하는 경우	0.260	0.310	0.400
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방 0.230	0.280	0.330
	외기에 간접 면하는 경우	비 바닥난방 0.290	0.290	0.290
	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방 0.350	0.400	0.470
	외기에 간접 면하는 경우	비 바닥난방 0.410	0.410	0.410
바닥난방인 층간 바닥		0.810	0.810	0.810
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택 1.500	1.800	2.600
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택 외 2.100	2.400	3.000
	외기에 직접 면하는 경우	공동주택 2.200	2.500	3.300
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택 외 2.600	3.100	3.800

비고

- 1) 중부지역: 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도 (강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도 (영동군 제외), 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)
- 2) 남부지역: 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 충청북도(영동군), 충청남도(천안시 제외), 전라북도, 전라남도, 경상북도 (청송군 제외), 경상남도, 세종특별자치시

표 149 중부지역의 단열재 등급별 허용두께

(단위 :mm)

건축물의 부위	지역	가	나	다	라
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	120	140	160	175
	외기에 간접 면하는 경우	80	95	110	120
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우	180	215	245	270
	외기에 간접 면하는 경우	120	145	165	180
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방 140	165	190	210
	외기에 간접 면하는 경우	비 바닥난방 110	130	150	165
	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방 85	100	115	130
	외기에 간접 면하는 경우	비 바닥난방 70	85	95	110
바닥난방인 층간 바닥		30	35	45	50

등급분류

가 등급 : 0.034 W/mK 이하, 나 등급 : 0.035 ~ 0.040W/mK 이하, 다 등급 : 0.041 ~ 0.046 W/mK 이하, 라 등급 : 0.047 ~ 0.051 W/mK 이하,

가. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 에너지 시뮬레이션 비교분석

· 실험주택과 일반주택의 부위별 열관류율 및 적용부위 상세

: 실험주택의 부위별 열관류율은 PHPP프로그램을 통하여 산출하여 적용하였고, 일반주택의 부위별 열관류율은 2013.09.01.에 시행되는 ‘지역별 건축물부위의 열관류율표’를 기준으로 선정하여 적용 단열재의 열전도율을 통하여 두께를 산정하였다.

또한 지역별 선택조건으로는 중주지역으로 중부지역을 선정하여 각 부위별로 열관류율표에 제시된 열관류율 이하로 산정하였다.

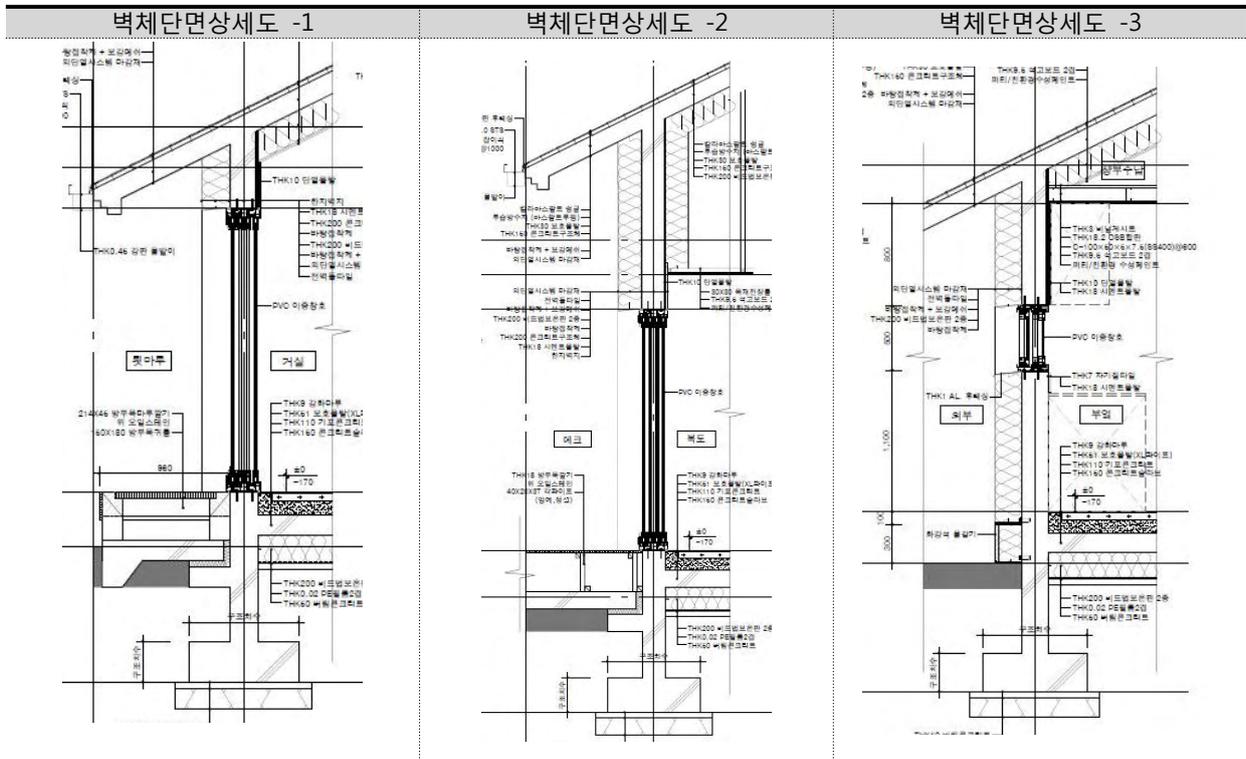
다음 표는 실험주택과 일반주택의 부위별 적용된 열관류율 값이다.

표 150 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택에 적용된 부위별 열관류율

(단위 : W/m <sup>2</sup> ·K)		
구 분	실험주택 Mock-up체	일반주택
거실의 외벽	0.141	0.270
최상층의 지붕	0.110	0.180
최하층의 거실 바닥	0.128	0.350
창 및 문	1.200	2.100
	g-value : 0.5	g-value : 0.61 1)

1)출처 : 국토해양부 건축물 에너지 절약을 위한 창호 설계 가이드 라인, 2012.07.27

표 151 일반주택에 적용된 벽체 단면상세 예시도



○ 각 모델의 에너지 성능비교분석 개요

본 연구에서는 각 모델의 에너지 성능분석은 일반주택과 실험주택으로 분류하여 실시하였다. 모델의 에너지 성능분석은 기밀성능의 적용단계에 따라 분류하였으며, 총 3단계 분류를 통하여 분석표를 작성하였다.

1단계에서는 기밀성능을 제외한 에너지 시뮬레이션을 실시하였고, 2단계에서는 패시브하우스에서 허용하는 최대 기밀성능(n=50Pa일 때 시간당 0.6회)을 적용하였다.

3단계에서는 일반주택 기밀성능 평가시 2000년대 이후 지어진 건축물에서 다소 기밀이 좋은 주택을 가정하여 기밀성능을 시간당 3회를 적용하여 에너지 성능분석을 실시하였다.

다음 표는 실험주택과 일반주택의 에너지 성능 비교 분석한 결과내용이다.

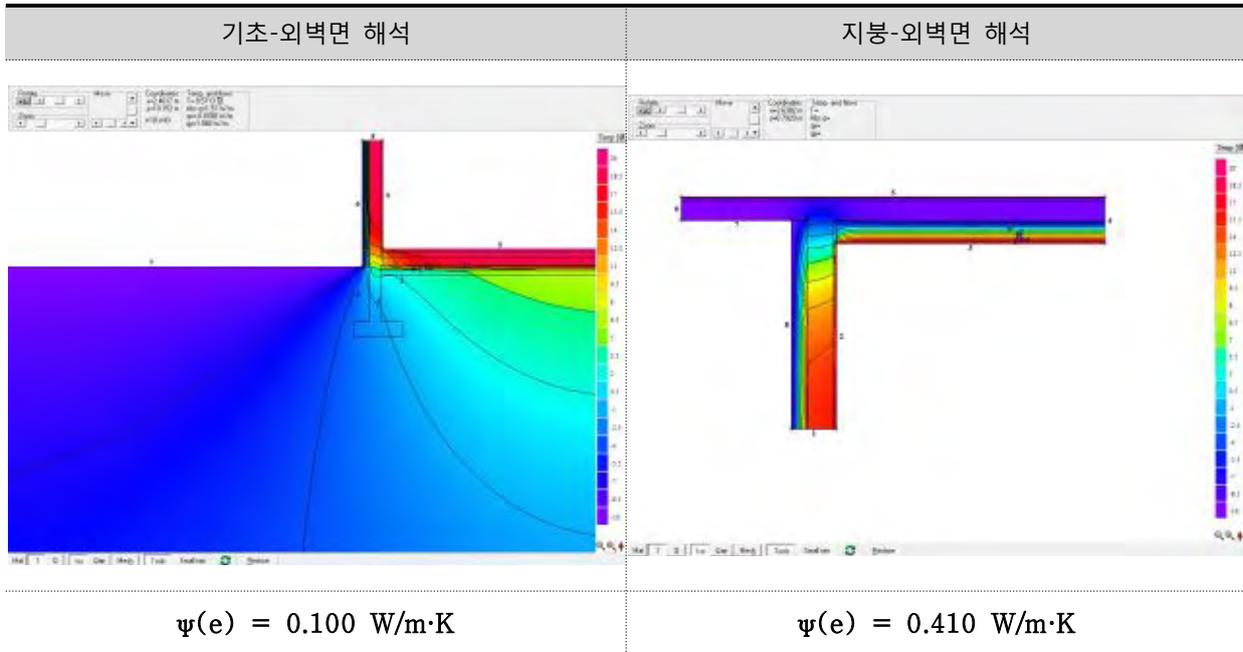
표 152 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 에너지 성능비교분석

일반주택					실험주택				
Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area					Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area: 46.0 m <sup>2</sup>					Treated Floor Area: 46.0 m <sup>2</sup>				
Applied: Monthly Method					Applied: Monthly Method				
Specific Space Heat Demand:	128 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	PH Certificate:	No	Specific Space Heat Demand:	37 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	PH Certificate:	No
Pressurization Test Result:	0.0 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Fulfilled?	No	Pressurization Test Result:	0.0 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Fulfilled?	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	239 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No	Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	147 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	197 kWh/(m <sup>2</sup> a)				Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	105 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)				Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
Heating Load:	62 W/m <sup>2</sup>				Heating Load:	25 W/m <sup>2</sup>			
Frequency of Overheating:	%	over 25 °C			Frequency of Overheating:	%	over 25 °C		
Specific Useful Cooling Energy Demand:	47 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No	Specific Useful Cooling Energy Demand:	56 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No
Cooling Load:	19 W/m <sup>2</sup>				Cooling Load:	18 W/m <sup>2</sup>			
Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area					Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area: 46.0 m <sup>2</sup>					Treated Floor Area: 46.0 m <sup>2</sup>				
Applied: Monthly Method					Applied: Monthly Method				
Specific Space Heat Demand:	130 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	PH Certificate:	No	Specific Space Heat Demand:	38 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	PH Certificate:	No
Pressurization Test Result:	0.6 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Fulfilled?	Yes	Pressurization Test Result:	0.6 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Fulfilled?	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	241 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No	Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	149 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	199 kWh/(m <sup>2</sup> a)				Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	107 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)				Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
Heating Load:	64 W/m <sup>2</sup>				Heating Load:	27 W/m <sup>2</sup>			
Frequency of Overheating:	%	over 25 °C			Frequency of Overheating:	%	over 25 °C		
Specific Useful Cooling Energy Demand:	47 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No	Specific Useful Cooling Energy Demand:	56 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No
Cooling Load:	19 W/m <sup>2</sup>				Cooling Load:	18 W/m <sup>2</sup>			
Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area					Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area				
Treated Floor Area: 46.0 m <sup>2</sup>					Treated Floor Area: 46.0 m <sup>2</sup>				
Applied: Monthly Method					Applied: Monthly Method				
Specific Space Heat Demand:	148 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	PH Certificate:	No	Specific Space Heat Demand:	55 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	PH Certificate:	No
Pressurization Test Result:	3.0 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Fulfilled?	No	Pressurization Test Result:	3.0 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Fulfilled?	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	263 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No	Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	167 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	220 kWh/(m <sup>2</sup> a)				Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	125 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)				Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)			
Heating Load:	82 W/m <sup>2</sup>				Heating Load:	45 W/m <sup>2</sup>			
Frequency of Overheating:	%	over 25 °C			Frequency of Overheating:	%	over 25 °C		
Specific Useful Cooling Energy Demand:	47 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No	Specific Useful Cooling Energy Demand:	56 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Fulfilled?	No
Cooling Load:	19 W/m <sup>2</sup>				Cooling Load:	18 W/m <sup>2</sup>			

표 153 일반주택의 선형열교 적용 에너지 분석

일반주택의 선형열교 적용 최종 시뮬레이션 (기밀성능 시간당 0.6회 적용)			
Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area			
Treated Floor Area:	46.0 m <sup>2</sup>	Applied: Monthly Method	PH Certificate:
Specific Space Heat Demand:	148 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Pressurization Test Result:	0.6 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	262 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	220 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
Heating Load:	71 W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:	%	over 25 °C	
Specific Useful Cooling Energy Demand:	46 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
Cooling Load:	19 W/m <sup>2</sup>		

표 154 일반주택의 선형열교분석



· 해석 결과

- 지반의 수직형 단열재가 없는 형태의 줄기초는 하단의 단열재의 두께가 얇은 형태로 적용되어 지붕면보다 적은 선형열교가 발생되었음
- 지붕면은 단열재가 연속되지 못한 지붕면 내단열형태로 상당량의 선형열교가 발생하는 구조로 단열을 수행하는 것으로 설계가 이루어졌음
- 따라서 에너지 저감을 위하여 놓여준 표준주택 설계도서를 기반으로 선형열교를 고려한 결과 아직까지 다수의 선형열교가 발생하는 것으로 나타났으며 이러한 설계도서는 조속한 설계변경이 이루어져야함

## ○ 에너지 성능 비교분석 결과

- 1단계 분석결과에서 기밀성능을 제외한 난방에너지는 실험주택이 일반주택의 약 3.46배에 달하는 난방에너지 요구량을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 즉, 외벽의 열관류율이 2배 정도 낮은 열성능을 가지고 있으나 실제로 건축물의 열성능 차이는 그 이상의 차이를 보인다.
- 2단계 분석결과 패시브하우스의 최대 허용 기밀성능을 적용하였을 경우 실험주택이 일반주택의 약 3.42배에 달하는 난방에너지 요구량을 절감할 수 있으며 1단계 분석결과와 현저한 차이를 보이지 않았다.
- 3단계 분석은 일반주택 신축건물의 기밀성능을 최대로 좋게 가정하였을 경우 약 시간당 3회 정도를 고려하여 적용된 에너지 성능 값을 비교분석 하였다. 분석결과 1,2단계의 확연한 차이를 보이던 난방에너지 절감량이 약 2.7배로 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 이러한 원인으로 패시브하우스와 같은 고효율 저에너지 주택에서는 외벽체로 빠져나가는 에너지 손실이 어느 한 기밀성능 기점을 토대로 환기열손실이 지배적으로 많아지는 것을 알 수 있는 분석 결과이다.  
분석결과에서 일반주택과 실험주택의 각각 에너지 상승비율(기밀성능  $n_{50}=0.6$ 회 기준으로부터 상승 결과값)은 일반주택이 약 12 % 상승하였고, 실험주택은 약 30% 상승하는 것으로 나타났다. 본 성능분석 결과에서 알 수 있듯이 저에너지 주택에서의 기밀성능은 건축물 전체의 에너지 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 또한 일반주택에서 구조적으로 발생할 수 있는 선형열교를 고려하여 건물에너지 성능분석에 포함하였을 경우 기밀성능을 시간당 0.6회로 가정했을 때에도 난방에너지의 요구량이 기밀성능 시간당 3회의 결과 값과 동일하게 분석되었다. 즉, 주거건물에서의 선형열교의 영향은 기밀성능으로 인한 배기열손실에 준하는 에너지 손실이 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 국내 건축물 에너지 저감을 위한 외벽체 및 지붕구조체의 단열성능을 법적으로 제한할 뿐만 아니라 선형열교에 대한 법적 기준치가 필요하다고 판단된다.
- 건물의 형태 및 크기가 더 복잡하고 커질 경우 선형열교에 의한 에너지 손실은 점점 더 가속화 될 것으로 사료되므로 선형열교 제거를 위한 기준마련이 필요한 것으로 판단된다.

## 나. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 실험주택의 부위별 에너지절감 분석

본 연구에서는 일반주택이 가지는 법정기준치인 부위별 열성능을 구현하여 실험주택과 비교 분석하고 각각의 부위별 열성능에 의한 에너지 손실량을 분석하여 일반주택에 비교하여 얼마만큼의 에너지를 절감할 수 있는지를 확인할 수 있다.

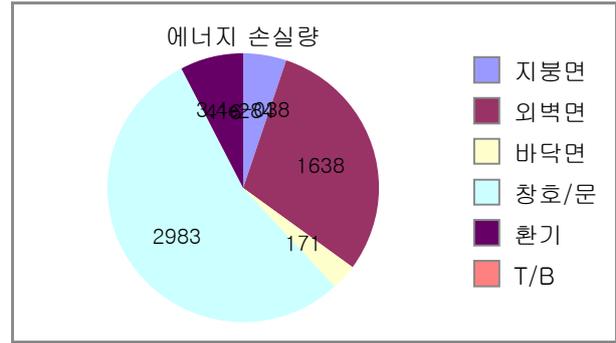
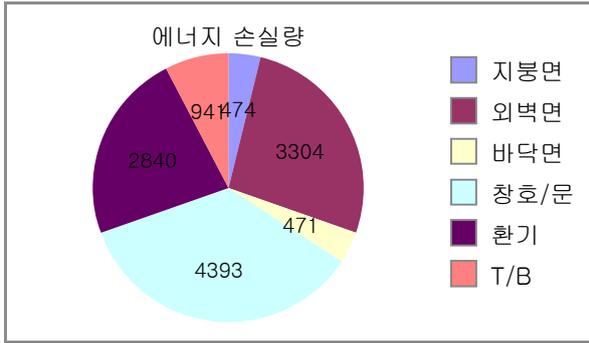
각 주택의 부위별 구분은 외피의 각방향 부분과 창호 및 문, 환기열손실을 분석하여 비교분석하는 것으로 한다.

에너지 절감의 분석을 위한 비교모델의 주택단계로는 일반주택이 선형열교가 포함된 3단계 모델을 선정하였고, 실험주택은 패시브하우스 기밀성능의 최대허용치인 2단계 모델을 선정하여 비교하였다. 비교의 기준으로는 실제로 지어진 주택들의 기밀성능이 가장 유사한 모델을 선정하였으며, 실험주택의 선형열교는 지붕면과 바닥면에서 거의 발생되지 않았으므로 제거된 형태로 적용한다.

다음 표는 일반주택과 실험주택의 부위별 에너지 손실분석 결과이다.

표 155 각 모델 부위별 에너지 손실 비교분석

구분	부위별	에너지 손실량 (kWh/m <sup>2</sup> a)	에너지 성능분석
일반주택 (기밀성능 3.0회/h, 열교포함)	지붕면	474	
	외벽면	3304	
	바닥면	471	
	창호/문	4393	
	환기	2840	
	T/B	941	
	<b>총 합계</b>	<b>12,423</b>	
실험주택 (기밀성능 0.6회/h)	지붕면	284	
	외벽면	1638	
	바닥면	171	
	창호/문	2983	
	환기	416	
	T/B	0	
	<b>총 합계</b>	<b>5,492</b>	



### ○ 일반주택의 부위별 에너지손실 분석

- 일반주택에서 부위별 에너지 손실률이 가장 큰 부위는 창호와 문부위이며, 다음으로 외벽면, 환기열 손실, 선형열교 손실, 지붕 열손실 순으로 나타났다.
- 창호의 열손실은 창호자체의 열관류율이 높은데서 비롯된 것으로 판단되면 창호와 문은 전체 열손실의 약 35%를 차지할 정도로 비중이 높은 부위임을 알 수 있다.
- 또한 외기에 접촉이 가장 많은 외벽면은 약 26%를 차지하였고 환기열손실은 약 23%를 차지함으로써 환기 시 발생하는 열손실이 얼마나 크게 작용하는지 보여주는 결과물이다.
- 따라서 환기열손실의 저감과 창호의 열성능을 높이는 방안만으로도 일반주택에서 상당 부분 에너지 손실을 저감할 수 있을 것으로 사료되며, 현재 제시되는 개정판 지역별 건축물 열관류율 중 창호의 열성능 제한조정이 시급할 것으로 판단된다.
- 일반주택의 선형열교는 전체 열손실의 약 7.6%를 차지함으로써 바닥면과 지붕면의 열손실보다 크게 나타났다. 결과적으로 선형열관류율의 법적 기준치가 제시되지 않는다면 패시브하우스 및 제로에너지 하우스, 제로에미션하우스에 도달하기 어려울 것으로 분석된다.

### ○ 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 부위별 에너지손실 분석

- 실험주택에서 에너지 손실량이 가장 큰 부위로 역시 창호와 문부위로서 에너지손실을 더 저감하기 위하여 고성능 창호를 적용해야하는 것으로 분석된다. 또한 다음으로 많은 열손실 부위는 외벽면으로 나타났으며, 다음으로 환기열손실, 지붕면, 바닥면 순으로 나타났다. 즉, 일반주택과 비슷한 부위별 에너지 손실량 순위를 가지고 있으나 선형열교가 없는구조에서 큰 이득을 받았으며 실제로 손실된 에너지량도 일반주택과 현저한 차이를 보인다.
- 가장 많은 에너지 손실이 발생된 창호부위는 일반주택에 약 70%에 해당하는 손실량만을 보였으며 외벽면은 약 51% 정도에 머물렀다. 환기열 손실에서는 약 15% 수준에 머무르는 저감량을 보였으며, 선형열교는 거의 100% 절감하는 효과를 보였다.

- 총 에너지 손실량의 비교에서 일반주택에 비교하여 실험주택은 약 45% 수준의 에너지 손실을 보였다. 만약 더 좋은 창호 및 문을 적용한다면 에너지 손실량 차이는 더 극대화될 것으로 사료된다.

○ 부위별 에너지 손실량 분석결과

- 결과적으로 일반주택에서 외피의 열성능을 제외하고 가장 시급한 외피의 열성능 개선 부위는 창호와 환기, 그리고 선형열교에 대한 개선이 시급한 것으로 판단된다. 창호 및 환기(기밀성능의 개선 및 환기시스템의 적용), 선형열교의 개선만으로도 난방에너지를 148 kWh/m<sup>2</sup>a에서 118 kWh/m<sup>2</sup>a로 현재의 에너지 손실을 약 20%(30 kWh/m<sup>2</sup>a)를 저감할 수 있는 것으로 분석되었다.
- 또한 에너지 손실량도 약 35% 절감된 7,977kWh/m<sup>2</sup>a로 줄어드는 것을 볼 수 있다.

표 156 일반주택의 부위별 개선후 에너지 성능평가

일반주택 개선부위	에너지 성능평가			
	Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area			
	Treated Floor Area:	46.0 m <sup>2</sup>		
	Applied:	Monthly Method	PH Certificate:	Fulfilled?
1. 창호 및 문 개선 (실험주택과 동일)	Specific Space Heat Demand:	118 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
	Pressurization Test Result:	0.6 h <sup>-1</sup>	0.6 h <sup>-1</sup>	Yes
2. 기밀성능 개선 (시간당 0.6회)	Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	237 kWh/(m <sup>2</sup> a)	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
	Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	195 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
3. 폐열회수환기장치 적용 (실험주택과 동일)	Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:	301 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
	Heating Load:	55 W/m <sup>2</sup>		
	Frequency of Overheating:	%	over 25 °C	
	Specific Useful Cooling Energy Demand:	19 kWh/(m <sup>2</sup> a)	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	No
	Cooling Load:	13 W/m <sup>2</sup>		

5. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 CO<sub>2</sub> 저감 및 신·재생에너지 적용분석

본 연구에서는 실험주택과 대조군으로 일반주택을 선정하여 주택에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 발생량 및 신·재생에너지를 이용한 CO<sub>2</sub> 저감량을 비교 분석한다.

CO<sub>2</sub> 분석 및 신·재생에너지 분석을 위하여 대조군의 적용 모델 단계 및 적용시설은 다음과 같다.

표 157 CO<sub>2</sub> 저감을 위한 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up과 일반주택의 모델 단계 및 시설

구 분	적용 시설 및 적용 내용
농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up	· 모델 분석시 사용된 2단계 모델수준 (기밀도 0.6회)
	· 적용시설 : 폐열회수환기장치, PV발전시스템 (약 4.8kWp)
	· 분석요소 : 최종 에너지, 1차에너지, PV생산전기, CO <sub>2</sub> 저감량
일반주택	· 모델 분석시 사용된 3단계 모델수준 (기밀도 3.0회, 열교포함)
	· 적용시설 : 폐열회수환기장치, PV발전시스템 (약 4.8kWp)
	· 분석요소 : 최종 에너지, 1차에너지, PV생산전기, CO <sub>2</sub> 저감량

가. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 CO<sub>2</sub> 발생분석 및 신·재생에너지 적용분석

## Passive House Planning PRIMARY ENERGY VALUE

Building: 농어촌 제로에미션 주택	Building Type/Use: 단독주택		
Location:	Treated Floor Area A <sub>TF,A</sub> : 46 m <sup>2</sup>		
	Space Heat Demand incl. Distribution: 39 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
	Useful Cooling Demand: 0 kWh/(m <sup>2</sup> a)		
	<b>Final Energy</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>Primary Energy</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>Emissions</b> CO <sub>2</sub> -Equivalent kg/(m <sup>2</sup> a)
Heating, Cooling, DHW, Auxiliary and Household Electricity	105.1	148.7	35.2
<b>Total PE Value</b>	<b>148.7</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Total Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>	<b>35.2</b> kg/(m <sup>2</sup> a)	(Yes/No)	
<b>Primary Energy Requirement</b>	<b>120</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>No</b>	
Heating, DHW, Auxiliary Electricity (No Household Applications)	86.2	106.6	24.7
<b>Specific PE Demand - Mechanical System</b>	<b>106.6</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Total Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>	<b>24.7</b> kg/(m <sup>2</sup> a)		
Solar Electricity	kWh/a	PE Value (Savings)	CO <sub>2</sub> -Emission Factor
Planned Annual Electricity Generation	6920	kWh/kWh	g/kWh
		0.7	250
<b>Specific Demand</b>	<b>150.3</b>	<b>105.2</b>	<b>37.6</b>
PE Value: Conservation by Solar Electricity	<b>300.6</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)		
CO <sub>2</sub> -Emissions Avoided Due to Solar Electricity	<b>64.6</b> kg/(m <sup>2</sup> a)		

그림 37 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 CO<sub>2</sub> 및 신·재생에너지 저감분석

- 상기 그림에서 보는 바와 같이 실험주택의 1차에너지 소요량은 총 148.7kWh/m<sup>2</sup>a이며, 이를 최종에너지로 변환할 경우 약 105.1kWh/m<sup>2</sup>a로 분석된다. 1차에너지 소요량으로 인해 발생하는 연간 CO<sub>2</sub> 발생량은 총 35.2kg/m<sup>2</sup> 이다.

- 본 실험주택에 적용된 PV의 연간 생산량은 총 6920 kWh/a로 최종에너지로 변환했을 경우 연간 단위면적당 약 150.3 kWh가 된다.
- 실제 발전되는 생산전기를 바탕으로 1차에너지를 대체할 수 있는 용량이 충분하다.
- PV에 의해 생산된 전력은 약 300kWh/m<sup>2</sup>a의 1차에너지를 대체할 수 있으며 이때 발생하는 CO<sub>2</sub> 발생량인 64.56kg/m<sup>2</sup>a를 줄일 수 있는 효과를 가져온다. 따라서 실험주택의 CO<sub>2</sub> 발생량을 고려했을 때 약 29.5kg/m<sup>2</sup>a의 CO<sub>2</sub> 저감량이 여유를 가지게 된다.

나. 일반주택의 CO<sub>2</sub> 발생분석 및 신·재생에너지 적용분석

### Passive House Planning PRIMARY ENERGY VALUE

Building: 일반 주택 대조군	Building Type/Use: 단독주택		
Location:	Treated Floor Area A <sub>TFA</sub> :	46	m <sup>2</sup>
	Space Heat Demand incl. Distribution:	167	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	Useful Cooling Demand:	0	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	<b>Final Energy</b>	<b>Primary Energy</b>	<b>Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kg/(m <sup>2</sup> a)
<hr/>			
Heating, Cooling, DHW, Auxiliary and Household Electricity	231.6	283.8	65.7
<b>Total PE Value</b>	<b>283.8</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
<b>Total Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>	<b>65.7</b>	kg/(m <sup>2</sup> a)	(Yes/No)
<b>Primary Energy Requirement</b>	<b>120</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>No</b>
<hr/>			
Heating, DHW, Auxiliary Electricity (No Household Applications)	212.7	241.7	55.2
<b>Specific PE Demand - Mechanical System</b>	<b>241.7</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
<b>Total Emissions CO<sub>2</sub>-Equivalent</b>	<b>55.2</b>	kg/(m <sup>2</sup> a)	
<hr/>			
Solar Electricity	kWh/a	PE Value (Savings)	CO <sub>2</sub> -Emission Factor
Planned Annual Electricity Generation	6920	kWh/kWh	g/kWh
		0.7	250
<b>Specific Demand</b>	<b>150.3</b>	<b>105.2</b>	<b>37.6</b>
<b>PE Value: Conservation by Solar Electricity</b>	<b>300.6</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)	
<b>CO<sub>2</sub>-Emissions Avoided Due to Solar Electricity</b>	<b>64.6</b>	kg/(m <sup>2</sup> a)	

그림 38 일반주택의 CO<sub>2</sub> 및 신·재생에너지 저감 분석

- 상기 그림에서 보는 바와 같이 일반주택의 1차에너지 소요량은 총 283.8kWh/m<sup>2</sup>a이며, 이를 최종에너지로 변환할 경우 약 231.6kWh/m<sup>2</sup>a로 분석된다. 1차에너지 소요량으로 인해 발생하는 연간 CO<sub>2</sub> 발생량은 총 65.7kg/m<sup>2</sup> 이다.

- 본 실험주택에 적용된 PV의 연간 생산량은 총 6920 kWh/a로 최종에너지로 변환했을 경우 연간 단위면적당 약 150.3 kWh가 된다.
  - 실제 발전되는 생산전기를 바탕으로 1차에너지를 대체할 수 있는 용량이 충분하다.
  - PV에 의해 생산된 전력은 약 300kWh/m<sup>2</sup>a의 1차에너지를 대체할 수 있으며 이때 발생하는 CO<sub>2</sub> 발생량인 64.56kg/m<sup>2</sup>a를 줄일 수 있는 효과를 가져 온다. 따라서 일반주택에서의 CO<sub>2</sub> 발생량은 본 시스템에서 적용된 PV의 용량으로도 약간 부족한 용량으로 나타났다. 약 1.1kg/m<sup>2</sup>a의 CO<sub>2</sub> 를 더 저감해야 최종적으로 CO<sub>2</sub> 배출이 제로화된다.
- 다음 표는 모델간 CO<sub>2</sub> 저감 및 1차에너지 소요량을 분석한 내용이다.

표 158 모델간 CO<sub>2</sub> 저감 분석 및 1차에너지 소요량 저감분석

모델구분	분석 구분	발생량	저감량
실험주택	· 1차에너지 소요량 (kWh/m <sup>2</sup> a)	148.7	135.1
	· 1차에너지 CO <sub>2</sub> 발생량 (kg/m <sup>2</sup> a)	35.2	30.5
	· 최종 에너지 소요량 (kWh/m <sup>2</sup> a)	105.1	126.5
	· PV에 의한 발전량 (kWh/m <sup>2</sup> a)		300.6
	· PV에 의한 CO <sub>2</sub> 대체량 (kg/m <sup>2</sup> a)		64.6
일반주택	· 1차에너지 소요량 (kWh/m <sup>2</sup> a)	283.8	-
	· 1차에너지 CO <sub>2</sub> 발생량 (kg/m <sup>2</sup> a)	65.7	-
	· 최종 에너지 소요량 (kWh/m <sup>2</sup> a)	231.6	-
	· PV에 의한 발전량 (kWh/m <sup>2</sup> a)		300.6
	· PV에 의한 CO <sub>2</sub> 대체량 (kg/m <sup>2</sup> a)		64.6

## 6. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up 요소기술의 실험적용을 통한 경제성 분석

본 연구에서 적용된 에너지절감 및 제로에미션 요소들은 기존 일반 주택을 기준으로 6가지 요소를 추가적으로 적용하여 일반주택에서 추가적으로 적용되는 요소를 예측하여 비용분석을 통한 경제성 분석을 실시하였다.

일반주택은 제로에미션 실험주택의 구조와 내외부 마감을 동일한 규모로 적용하고, 상기 연구에서 에너지 성능분석을 실시하였던 해당부위의 부위별 열관류율을 법적기준치로 삼아 이에 준하는 구조체를 구성하였다.

따라서 일반주택의 단열성능을 기준으로 추가적인 요소를 요소별로 분류하고 이를 적용하는데 소비된 비용을 산출하여 절감되는 냉난방에너지와 비교하여 경제성 분석을 수행하였다.

가. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 요소별 적용 비용분석

- 제로에미션을 위한 실험주택은 일반주택을 기준으로 다음과 같은 요소를 추가적으로 적용하였다. 적용된 요소들의 형태와 적용내용은 다음과 같다.

표 159 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up을 위한 적용요소의 규모 및 적용내용

적용요소	적용재료 및 성능	일반주택 대조군 재료 성능
1. 단열재	셀룰로오스 285mm $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$	글라스울 150mm $\lambda = 0.044 \text{ W/mK}$
2. 구조재	구조목 2 by 12 $\lambda = 0.13 \text{ W/mK}$	구조목 2 by 6 $\lambda = 0.130 \text{ W/mK}$
3. 폐열회수장치	컴포트 150 $\eta = 92\%$	미설치
4. 고성능 창호	Low-E 3중 창호 $U = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$	복층유리창호 $U = 2.70\text{W/m}^2\text{K}$
5. 외부가동차양	EVB 가동 블라인드	미설치
6. 기밀자재	투습방습테이프 $Sd = 0.1 \sim 10\text{m}$ OSB 18mm $Sd = 3.0$	미설치

\* 참고

일반주택과 실험주택의 경제성 분석을 위하여 적용된 요소들은 에너지 절감에 영향을 미치는 요소를 우선적으로 선정하였으며 CO<sub>2</sub>절감을 위한 내외부 마감재 또는 폐기물 처리를 위한 시설은 고려하지 않은 하드웨어 장치만을 선정하였음

- 다음표는 실험주택과 동일한 규모에 적용되는 일반주택의 적용요소의 비용을 산출한 내용이다. 본 산출내역은 일반 주택공사 시 적용된 비용으로 적용되지 않는 시설은 제외하고 비용을 산출하였다.
- 산출된 비용을 통하여 실험주택에 적용되는 요소에서 일반주택 적용요소비용을 제외한 순수 추가 비용의 계산은 다음과 같다.
  - 실험주택 적용요소 비용 : 약 36,850,000원
  - 일반주택 적용요소 비용 : 약 8,886,000원
  - 실험주택과 일반주택의 차이비용 발생 : 27,964,000원 (투자비용으로 산정)
- 따라서 실험주택에 추가적인 발생된 투자비용은 약 27,964,000원이다. 본 비용은 일반주택에서 적용되는 비용을 제외한 요소적용비용과 미적용 요소들의 비용을 합한 것으로 최종 투자회수년수를 위한 산정비용으로 적용한다.

표 160 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up에 적용된 요소별 가격 및 일반주택의 적용가격비교

적용요소	실험주택 적용요소 비용		일반주택 적용요소 비용	
1. 단열재	셀룰로오스	5,720,000 원	글라스울 150mm	1,900,000 원
2. 구조재	구조목 2 by 12	2,040,000 원	구조목 2 by 6	986,000 원
3. 폐열회수장치	컴포트 150	7,150,000 원	미설치	-
4. 고성능 창호	Low-E 3중 창호	17,000,000 원	복층유리창호	4,500,000 원
5. 외부가동차양	EVB 가동 블라인드	2,740,000 원	미설치	-
6. 기밀자재	투습방습테이프	2,200,000 원	타이백	1,500,000 원

참고

실험주택과 일반주택의 요소별 적용 총 금액의 차는 약 27,964,000 원 임

나. 농어촌 그린홈 3차년도 Mock-up의 경제성 분석 : 에너지 절감에 따른 투자회수효율 및 기간분석

- 본 실험주택에 적용된 추가적인 요소들의 비용을 산출하여 일반주택과의 에너지 성능비교분석에서 산출된 에너지 절감량을 토대로 투자비용에 대한 회수 년수를 산출한다.
- 본 회수 년수는 실험주택의 에너지 절감을 위해 추가적으로 적용된 적용요소의 추가비용으로서 투자비용으로 본다. 따라서 단순투자비용 회수 년수를 산정하기 위하여 다음과 같은 수식을 적용하여 산출하였다.

식 1)  $X * Y = Z$

X : 추가요소를 적용하여 발생된 연간 에너지 절감비용

Y : 투자비용을 회수하기 위한 년수

Z : 추가요소로 발생된 투자비용

참고 : 투자비용 회수기간 내 발생되는 물가상승률 및 에너지비용의 상승률, 화폐 가치 하락률은 제외하여 산정한다.

○ 연간 에너지 절감비용 산정(X) 및 추가적용 비용산정 ( Z )

- 일반주택의 에너지 사용비용에서 실험주택의 에너지 사용비용을 제외한 연간 에너지 사용비용을 산정함
- 난방 및 냉방에 필요한 대부분의 에너지를 보일러 등유로 환산하여 계산함
- kWh 단위의 용량을 석유환산으로 L 단위로 변환하여 산정  
(10kWh = 약 1L 보일러 등유로 산정함 : 보일러 등유 증복권 1,350원 적용)

■ 실험주택의 연간 에너지 사용비용

- 실험주택의 난방 및 냉방에너지 요구량  
: 61 kWh/m<sup>2</sup>a -> 6.1 L/m<sup>2</sup>a로 환산
- 실험주택의 연간 에너지 사용량 : 6.1 L/m<sup>2</sup>a \* 46m<sup>2</sup> -> 280.6 L/a
- 실험주택의 연간 에너지 사용비용 : 280.6 L \* 1350원 -> 약 378,810 원

■ 일반주택의 연간 에너지 사용비용

- 일반주택의 난방 및 냉방에너지 요구량  
: 213 kWh/m<sup>2</sup>a → 21.3 L/m<sup>2</sup>a로 환산
- 일반주택의 연간 에너지 사용량 : 21.3 L/m<sup>2</sup>a \* 46m<sup>2</sup> → 979.8 L/a
- 일반주택의 연간 에너지 사용비용 : 979.8 L \* 1350원 → 약 1,322,730 원

■ X 및 Z값의 산출

- 연간 에너지 절감비용(X)은 약 943,920 원으로 산출되었음.
  - 추가적인 적용 비용(Z)은 약 27,964,000원으로 산출되었음.
- 추가투자비용에 대한 단순 회수 년수 산정
- 식 1)에 의한 산정은 다음과 같다.

$$X * Y = Z$$
$$943,920 * Y = 27,964,000$$

$$\therefore Y = 29.6 \text{ year}$$

- 투자비용에 대한 단순 회수 년수는 약 29.6년으로 산정되었다.

본 산정 년수는 대략 30년 정도의 기간이 지나면 투자회수가 이루어지며, 이에 에너지 비용 상승률과 물가상승률을 더할 경우 그 회수기간은 더 빨라질 것으로 판단된다.

## 4절 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계 및 시공

### 1. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 개념

표 161 계획요소 및 저감율 목표

단계	계획요소	에너지 소비 저감율	CO <sub>2</sub> 발생 저감율
Code I	고성능 단열재	80%	70%
	태양에너지		
	우수활용		
	옥상녹화		
Code II	경량목구조	100%	90%
	생태재료를 이용한 단열재		
	바이오매스 난방		
	중수활용		
Code III	전통경관형 지붕	100%	100%
	생태재료를 이용한 단열재		
	하이브리드 시스템 설비		
	모니터링 시스템		

3차년도 연구에서는 1차년도와 2차년도에서 도출한 Passive House와 Zero Energy House의 계획요소들을 통합하였다. 또한 탄소배출량 저감을 위한 계획요소들을 보완하여 제로에미션하우스의 실현을 위한 첫단계로서 저에너지, 저탄소를 이루는 Test-bed 구축을 목표로 연구를 진행하였다. 제로에미션하우스 실현을 위한 계획요소는 아래와 같다.

표 162 농어촌형 그린홈 표준모델 그린화 요소

<b>에너지 자립</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Passive House Design을 통해 에너지 효율 극대화</li> <li>- 부족한 분량을 신·재생에너지 및 자연에너지를 통해 대지 내에서 자체 생산</li> </ul>
<b>물 자립</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 우수활용 및 자연형 수정화 시스템을 통한 독립적인 수자원 체계 구축</li> <li>- 사용된 물은 대지 내의 지하수로 정화, 흡수시켜 오염된 하수를 배출하지 않음</li> </ul>
<b>자원 자립</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지역에서 나는 생태재료를 활용하여 주택 건설</li> <li>- 생활 및 개보수시 발생하는 자원폐기물을 전량 재활용 및 자연분해 또는 자원화 함</li> </ul>

표 163 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 계획요소



구분	계획요소
기초	생태재료기초
조립식 구조체	한옥식 중량 목구조 + 경량 목구조
조립식 벽체	생태단열재+일반단열재
지붕	전통경관을 고려한 지붕
창호	고성능 시스템 창호
신·재생에너지	PV 패널
폐기물 순환	composting toilet
지붕	태양광패널+천창
모니터링 자동제어	모니터링

## 2. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 설계

### 가. Test-bed 설계개요

표 164 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 개요

Test-bed 개요		
구분	2층	3층
구조	중량 목구조 + 경량 목구조	
규모(m <sup>2</sup> )	57.24	45.36
단열재	글라스울, 훈탄	글라스울, 훈탄, 미네랄울
내벽	벽지	벽지
외벽	방부목 사이딩	방부목 사이딩

1차년도와 2차년도의 연구를 통해 얻은 Passive House와 Zero Energy House 각각의 계획요소를 통합하여 Test-bed를 설계하였다. 신·재생에너지의 활용을 통한 자체적 에너지 생산과 고기밀 및 고단열 시공 등으로 주택의 에너지 소비량 절감을 통해 저탄소 주택의 목표를 달성하고자 하였다.

Test-bed가 위치한 지리적 조건을 고려하여 자연채광에 좀 더 유리한 조건을 갖추기 위해 Test-bed의 1층은 필로티로 계획하였으며 실질적인 Test-bed는 2층과 3층으로 이루어져 있다. 1층 필로티 공간의 일부는 퇴비를 처리하는 공간과 설비실로 사용하고, 2층은 방 2개, 거실, 부엌, 화장실로 구성되어 있으며, 3층은 다락방과 방 1개와 거실로 구성되어 있다.

Test-bed의 구조는 전통 한옥식 중량 목구조와 서양식 경량 목구조를 혼합하여 계획하였고, 실험방 중 혼합 단열재로 구성된 방은 단열재 시공의 효율성을 위해 더블 스티드로 시공하였다. Test-bed의 외부 경관은 전통 한옥 중량 목구조 구조체와 전통 한옥 지붕의 개량을 통해 전통 경관을 느낄 수 있도록 하였고, Test-bed는 다음과 같다.



그림 39 Test-bed 북측 조감도

Test-bed 3D Modeling



그림 40 Test-bed 남측 투시도



그림 41 Test-bed 동측 입면



그림 42 Test-bed 서측 입면



그림 43 Test-bed 남측 입면



그림 44 Test-bed 북측 입면

Test-bed 평면도 & 단면도

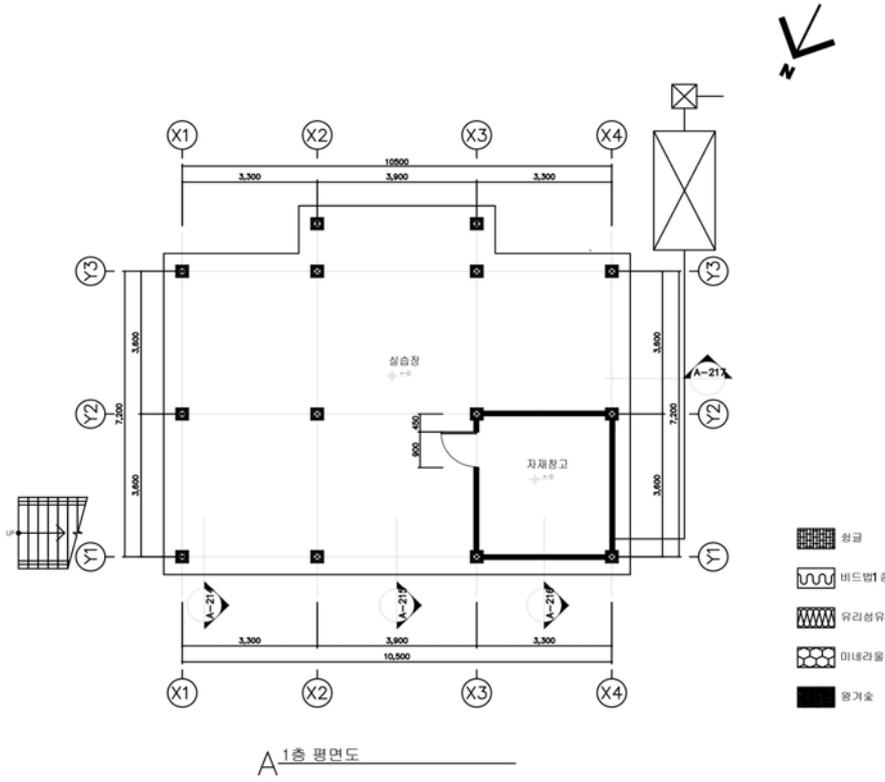


그림 45 1층 평면도

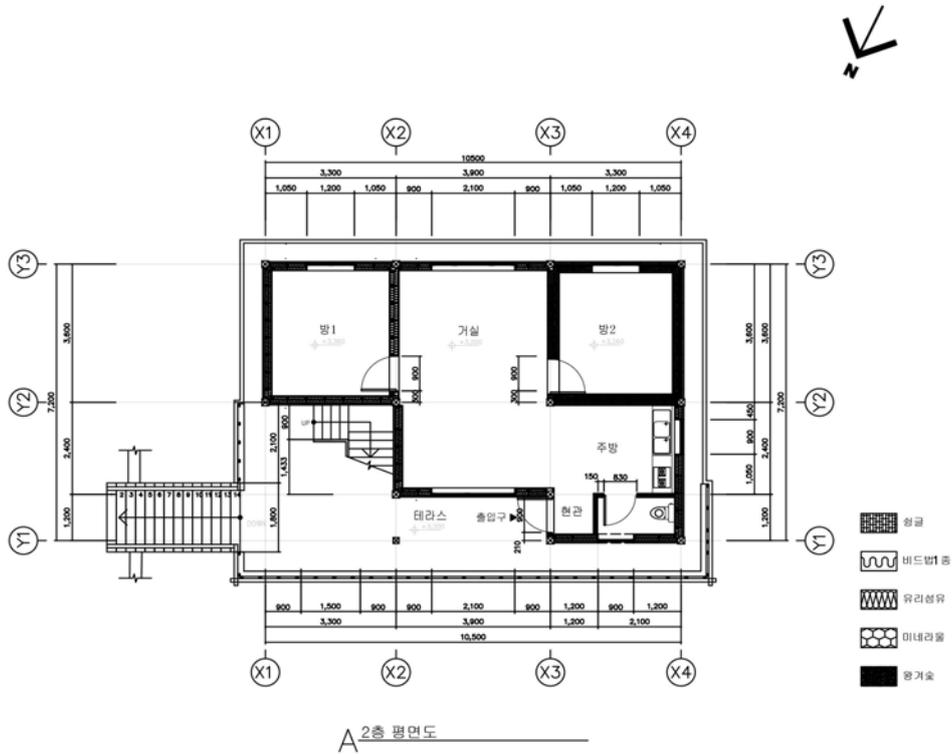


그림 46 2층 평면도

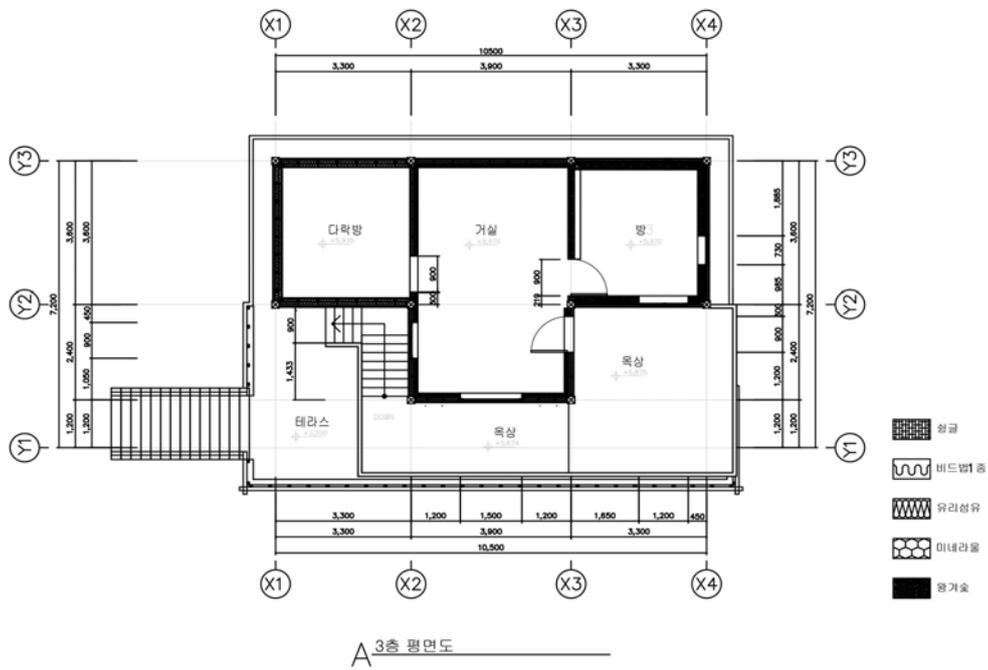


그림 47 3층 평면도

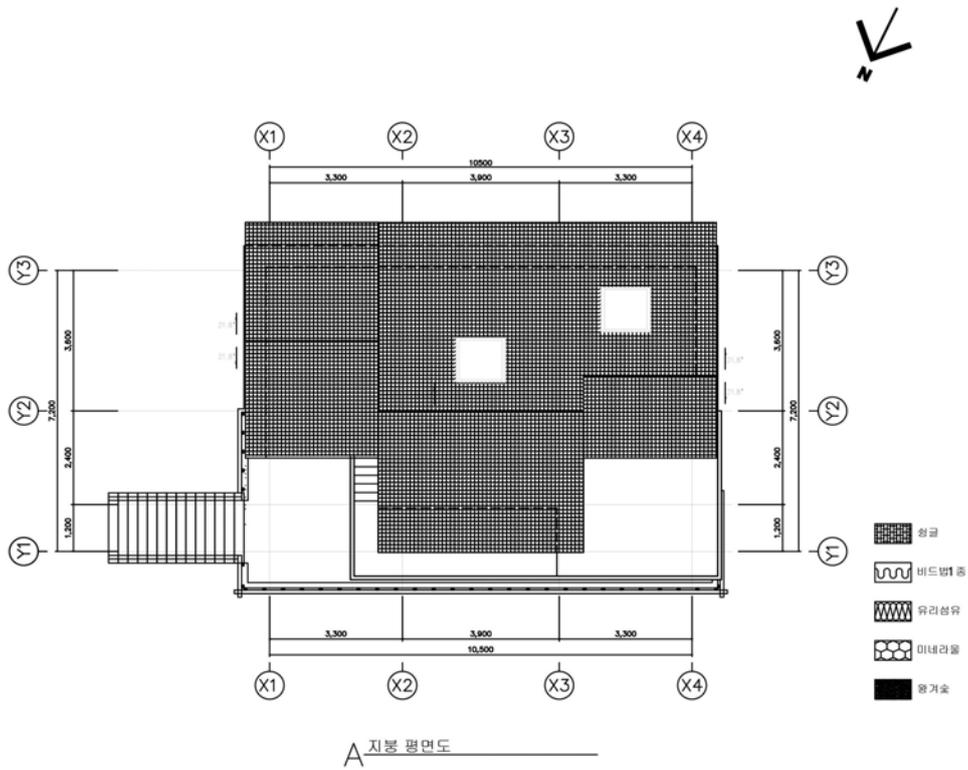


그림 48 지붕 평면도

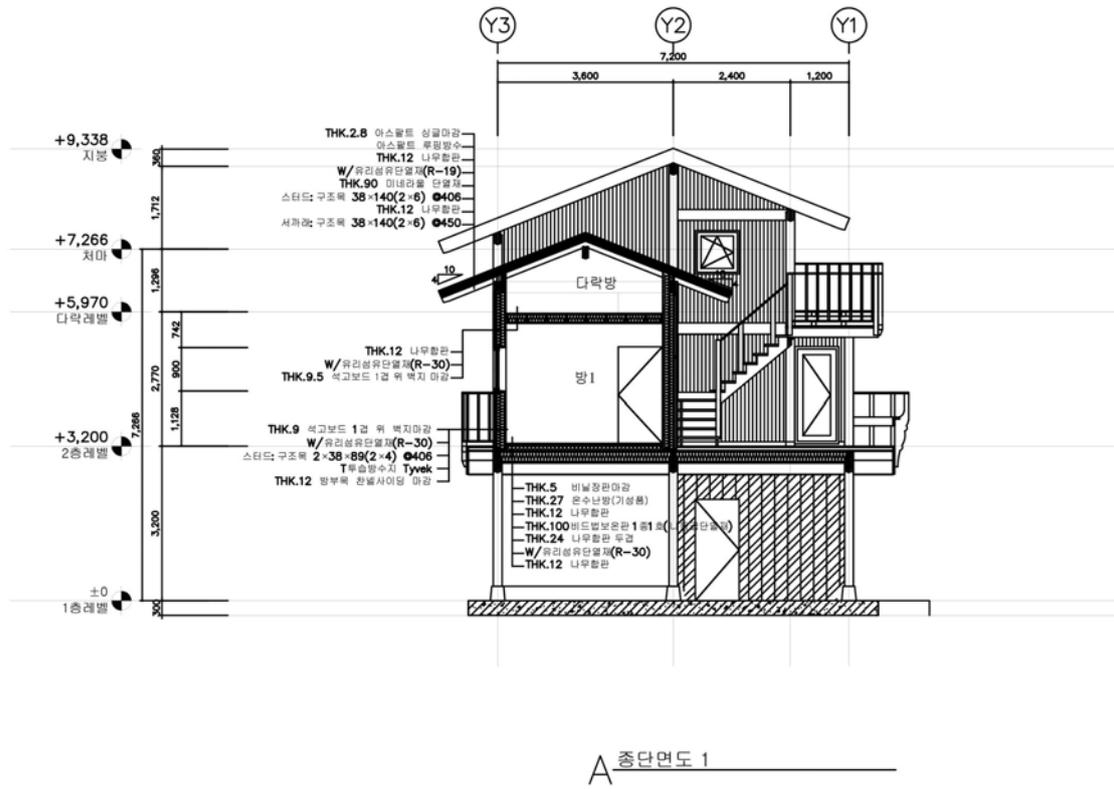


그림 49 Test-bed 종단면도 1

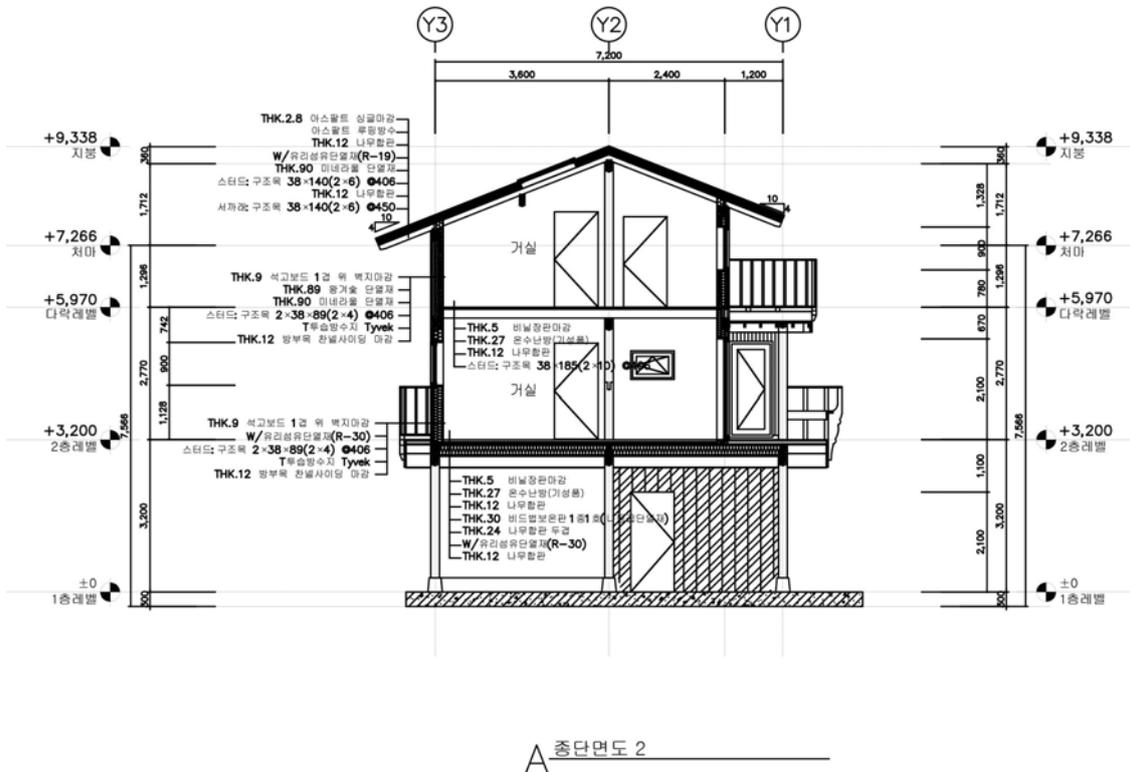


그림 50 Test-bed 종단면도 2

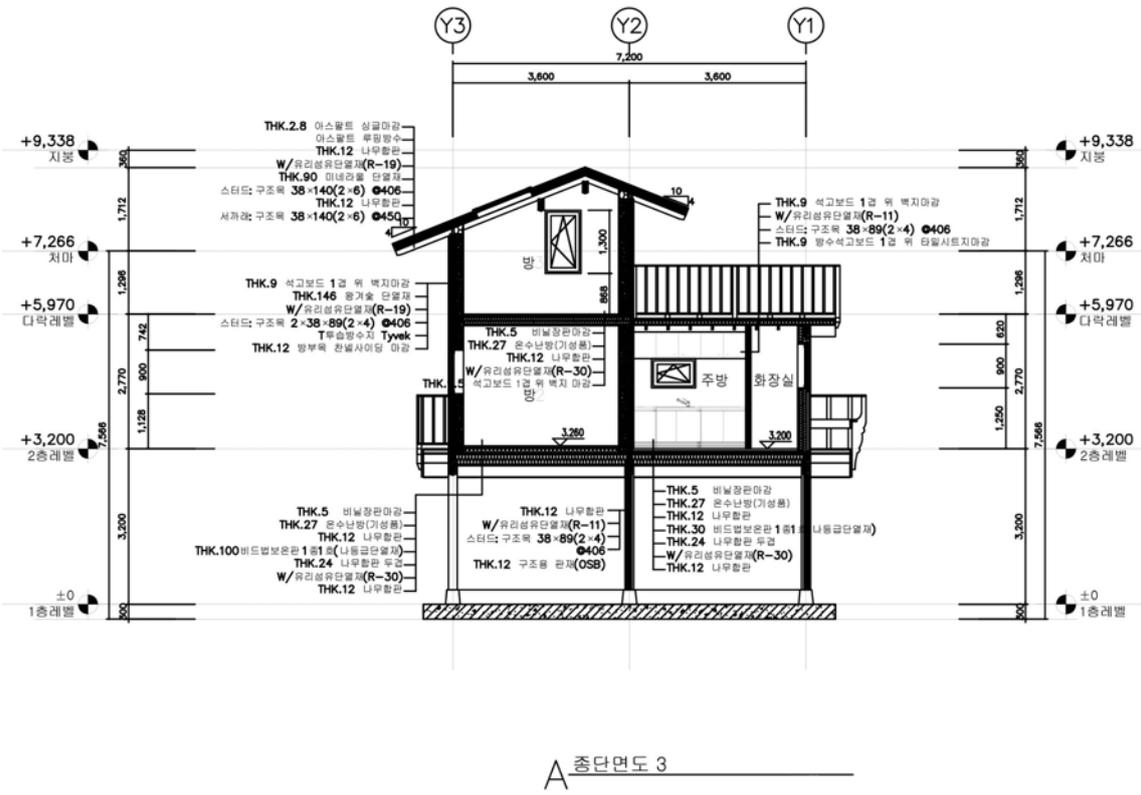


그림 51 Test-bed 종단면도 3

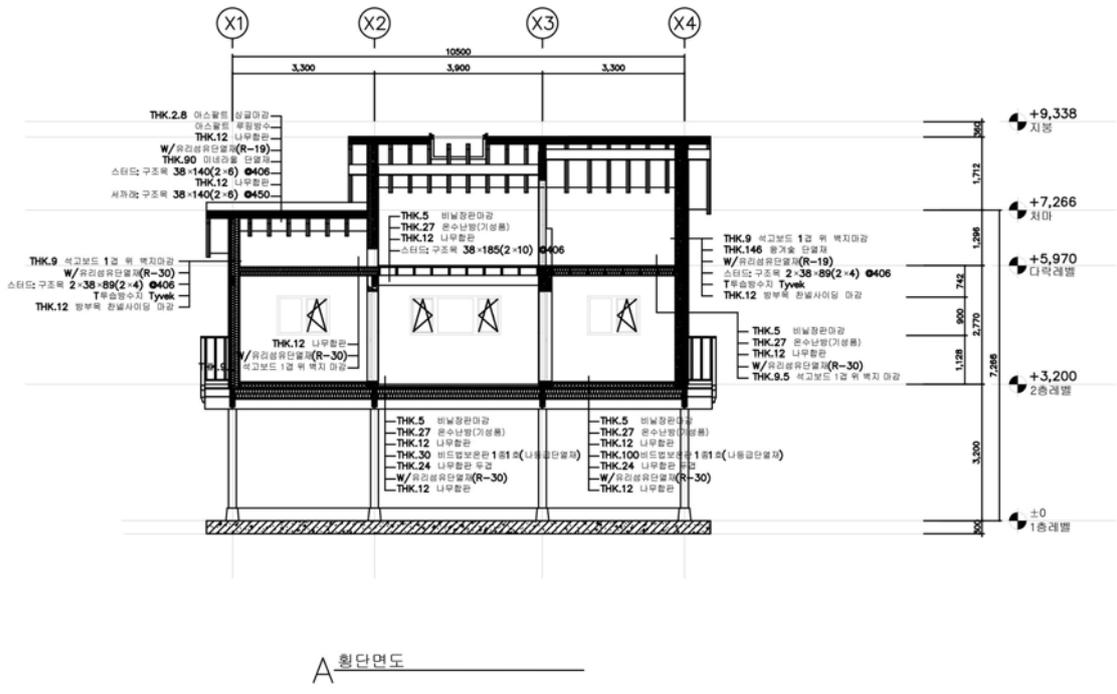


그림 52 Test-bed 횡단면도

## 나. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 적용기술

표 165 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 계획요소별 효과

농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 그린홈 계획 요소	기능 및 효과
태양광 발전 시스템 설치	- 정부 지원 사업을 통해 3kw 규모의 태양광 발전 시스템을 설치함 - 태양광 발전 시스템을 통해 Test-bed에서 자체적으로 에너지를 생산할 수 있도록 하여 에너지 소비량 감소
고단열 시공	- 벽체 두께 확보로 단열 성능 향상 - 계절별 냉·난방 부하 저감에 따른 에너지 소비량을 감소
고성능 시스템 창호 설치	- 아르곤 가스로 충전된 3중 유리의 고성능 시스템 창호를 설치로 인한 기밀성능 및 단열성능을 확보 - 에너지 소비량 절감
고기밀 시공	- 원형 서까래 대신 경량 목구조 부재의 조립으로 만든 각 서까래 사용으로 기밀성능 확보 - 창틀과 벽체 결합 부위에 기밀 테이프 시공으로 기밀성능을 확보 - 건물의 틈새로 빠지는 열손실을 줄임으로써 에너지 사용량 절감
자연채광 면적 확보	- 남향에 위치한 창호와 남측 지붕의 천창 설치로 자연채광을 향상 - 조명사용 시간을 줄임으로 인한 에너지 저감효과 확보
생태 단열재 및 친환경 자재 사용	- 친환경 자재 사용으로 실내 오염물질 생성을 저하 - 지역 내에서 쉽게 구할 수 있는 자재 사용으로 생산과정, 운반과정에서 발생하는 탄소 배출량 절감
퇴비화 화장실 설치	- 물을 사용하지 않는 퇴비화 화장실 설치로 물 사용량 절감 - 자체적으로 퇴비를 생산함으로 자연적인 순환 유도로 기타 경비들로 인해 발생하는 탄소 배출량 절감

저탄소 주택을 달성하기 위한 가장 기본적인 원리는 첫째로 주택의 성능향상을 통한 에너지 사용 요구량 저감과 둘째로 신·재생에너지를 이용한 자체적 에너지 생산이다. 기본적으로 주택 자체의 에너지 사용 요구량을 저감시키기 위해서는 Passive House의 계획요소들을 접목시켜 주택의 성능을 향상시켜야 한다.



그림 53 Passive House 계획요소

본 연구에서는 저탄소 주택 구축을 위한 계획요소로 고단열 및 고기밀 시공, 시스템 창호 설치, 신·재생에너지 활용, 퇴비화 화장실 설치 등을 계획하여 Test-bed를 구축하였다. 또한 농어촌 지역의 경제 구조 및 구성원들을 고려하여 초기비용을 절감 할 수 있는 시공법을 동시에 연구하였다.

Test-bed의 단열성능을 향상시키기 위해 벽체 구성을 경량목구조로 시공하였고, 생태 단열재의 취약한 단열성능을 보완하기 위해서 인공 단열재(글라스울)와 혼합하여 사용하였다. 이는 Test-bed의 단열성능 향상 뿐만 아니라 두꺼운 단열 시공으로 인한 실내공간의 축소를 방지할 수 있었다. 또한 고성능 시스템 창호 설치 및 기밀테이프 시공으로 창호를 통한 주택의 열손실을 줄일 수 있도록 하였다.

신·재생에너지의 활용은 풍부한 일조 조건과 풍력과 지열 등 다른 신·재생에너지에 비해 디자인활용의 용이성과 효율적인 에너지 생산, 상대적으로 적은 초기 투자비용, 공간 활용 등의 이유로 가장 보급이 활성화 되어 있는 태양광 발전 시스템 장치를 설치하였다.

(1) Passive 측면



그림 54 농어촌 그린홈 3차년도 Passive 계획요소

Passive House 계획요소로는 Test-bed의 단열성능과 기밀성능에 관한 계획요소로 결합부위의 기밀한 시공과 충분한 단열시공을 통하여 단열성능과 기밀성능을 확보하였다.

Test-bed의 벽체는 경량 목구조 형식으로 하였고, 지붕 단열 시공으로 Test-bed의 단열성능을 향상시켰다. 또한 고성능 3중 유리 시스템창호를 설치하여 열손실을 방지함으로써 Test-bed의 에너지 소비량을 절감시켰다.

창호와 벽체의 결합부위에 폼 충진과 기밀테이프를 사용하여 기밀시공을 하였고, 경량 목구조의 목재를 조립한 서까래를 사용하여 기존의 원형 서까래보다 기밀하게 시공하였다.

### (가) 단열계획

#### ○ 벽체

표 166 유리섬유 단열재 벽 상세 단면도

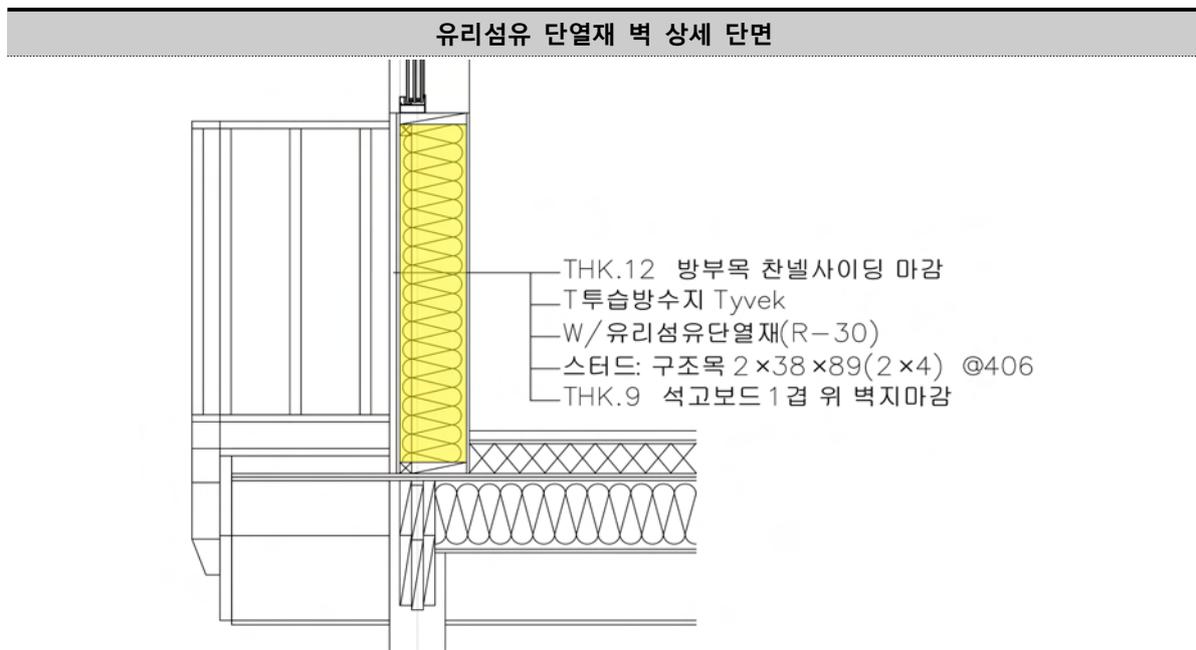


표 167 유리섬유 단열재 벽 열관류율

구분	재료	두께 mm	열전도율		열저항 m <sup>2</sup> h°C/kcal	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
			kcal/mh°C	W/mK		
외벽마감	방부목 사이딩 마감	10	0.112	0.130	0.089	0.157
공기층	수평각재(38x38 @450)	38	0.177	0.206	0.214	
투습방수지	타이벡 시공	1	0.180	0.209	0.006	
외부합판	THK 12 일반합판	12	0.140	0.163	0.086	
단열재	유리면 단열재	248	0.036	0.042	6.866	
	24K W042(R11+R19) 2"x4"(38x89mm) & 2"x6"(38x140mm) 더블 스테드 @406					
내장재	THK 12.5 일반석고보드	12.5	0.180	0.209	0.070	
내벽마감	친환경 천연 벽지 마감	2	0.181	0.210	0.011	
합 계		253.5			7.342	

표 168 유리섬유 + 왕겨숯 단열재 벽 상세 단면도

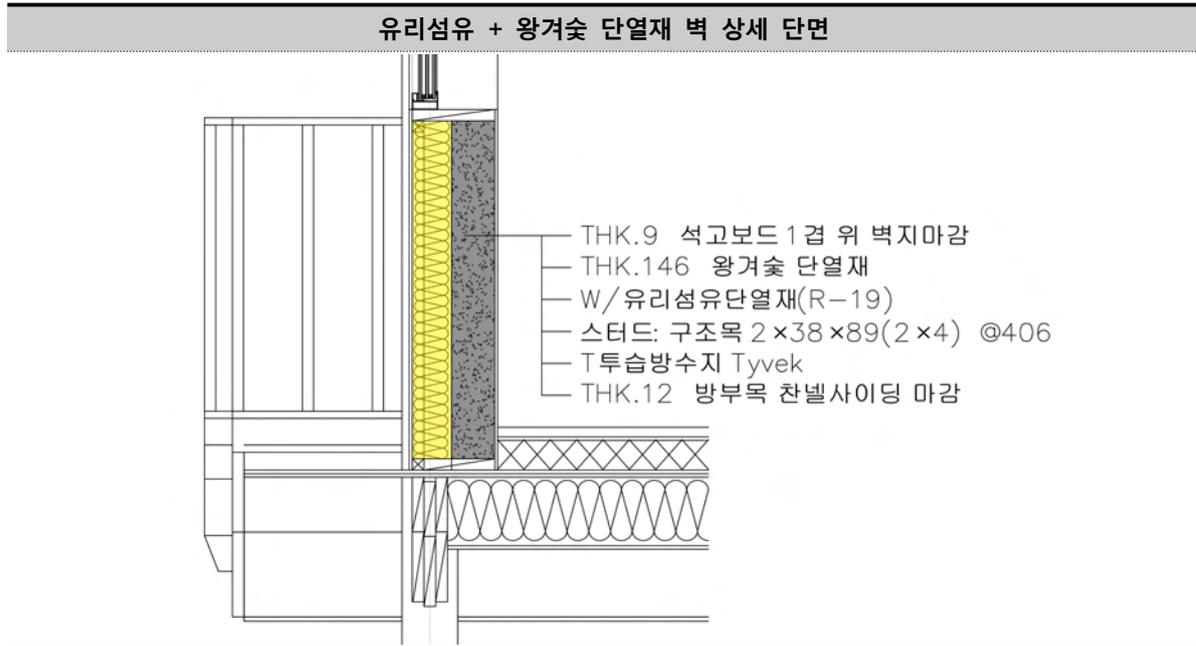


표 169 유리섬유 + 왕겨숯 단열재 벽 상세 단면도

구분	재료	두께 mm	열전도율		열저항 m <sup>2</sup> h°C/kcal	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
			kcal/mh°C	W/mK		
외벽마감	방부목 사이딩 마감	10	0.112	0.130	0.089	0.156
공기층	수평각재(38x38 @450)	38	0.177	0.206	0.214	
투습방수지	타이벡 시공	1	0.180	0.209	0.006	
외부합판	THK 12 일반합판	12	0.140	0.163	0.086	
단열재	유리면 단열재 24K W042	140	0.036	0.042	3.876	
	왕겨 숯 단열재 100K W069	140	0.059	0.069	2.359	
	2"x4"(38x89mm) & 2"x6"(38x140mm) 더블 스테드 @406					
내장재	THK 12.5 일반석고보드	12.5	0.180	0.209	0.070	
내벽마감	친환경 천연 벽지 마감	2	0.181	0.210	0.011	
	합 계	253.5			6.711	

벽체의 단면구성은 글라스울, 글라스울+훈탄, 미네랄울+훈탄으로 각각 3가지 유형으로 계획하였다. 글라스울+훈탄과 미네랄울+훈탄 벽을 효율적으로 시공하기 위해 더블 스테드로 구성하여 시공하였다. 글라스울 단열재만 사용한 벽체는 0.157W/m<sup>2</sup>k, 글라스울+훈탄 단열재를 사용한 벽체는 0.156W/m<sup>2</sup>k으로 동일한 수준으로 계획하여 시공하였다.

○ 지붕

표 170 Test-bed 지붕 상세 단면도

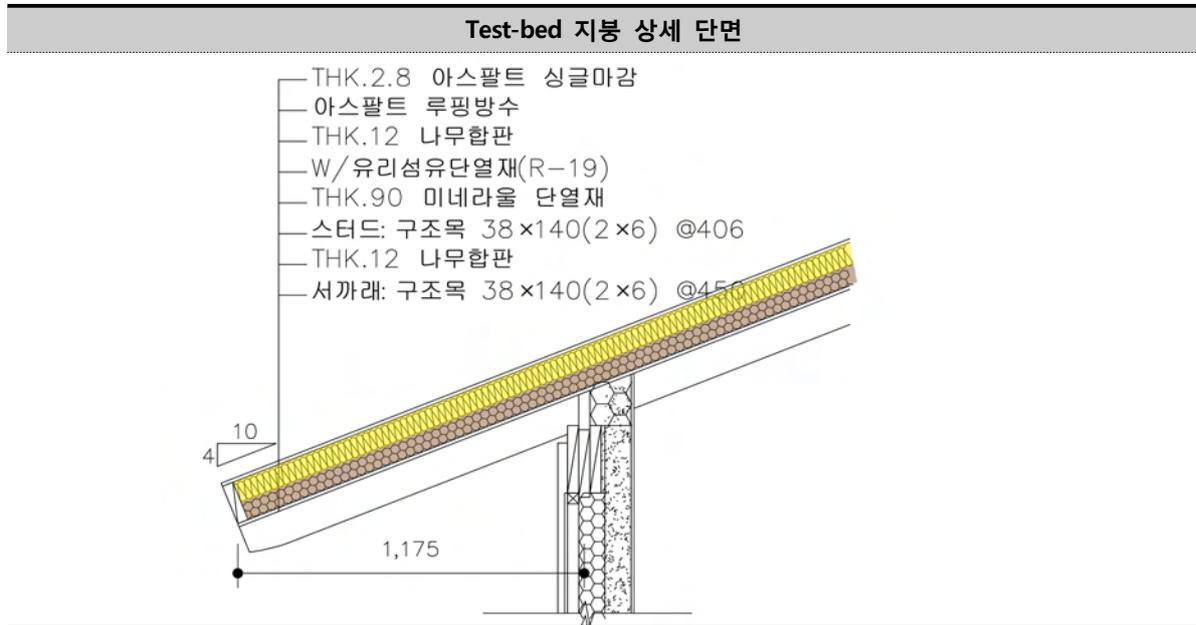


표 171 Test-bed 지붕 열관류율

구분	재료	두께	열전도율		열저항 m <sup>2</sup> h°C/kcal	열관류율 W/m <sup>2</sup> K
		mm	kcal/mh°C	W/mK		
외부마감	아스팔트 싱글 마감	5	0.086	0.100	0.058	0.150
방수	아스팔트 루핑 방수	3	0.090	0.105	0.033	
외부합판	THK 12 일반 합판	12	0.140	0.163	0.086	
단열재	유리섬유 단열재 24K W042	89	0.036	0.042	2.464	
	암면 단열재 80K W034	90	0.029	0.034	3.078	
	2"x6"(38x140mm) 덧서까래 @406					
내부합판	THK 12 미송 합판	12	0.140	0.163	0.086	
구조	서까래 구조목 2"x6"(38x140mm) @450					
합 계		169.8			4.725	

단열성능을 향상시키기 위해 서까래 사이에 단열재를 넣어 합판으로 마감을 하거나 반자를 설치하여 단열 시공을 하는 것은 전통미를 감소시키는 요인이 된다. 이러한 부분을 고려해 서까래 위에 단열시공을 함으로써 실내에서도 구조의미를 느낄 수 있도록 하였다.

지붕의 단열은 140mm의 목재로 기본 스테드를 짜고 그 사이에 단열재를 넣어서 시공하였다. 사용한 단열재는 시공의 편리성을 위해 글라스울과 미네랄울을 사용하였는데 쉽게 압축하여 시공할 수 있는 글라스울과 미네랄울의 특징을 이용하여 159mm 글라스울과 90mm 미네랄울을 140mm 스테드에 시공하였다.

○ 바닥

표 172 Test-bed 바닥 상세 단면도

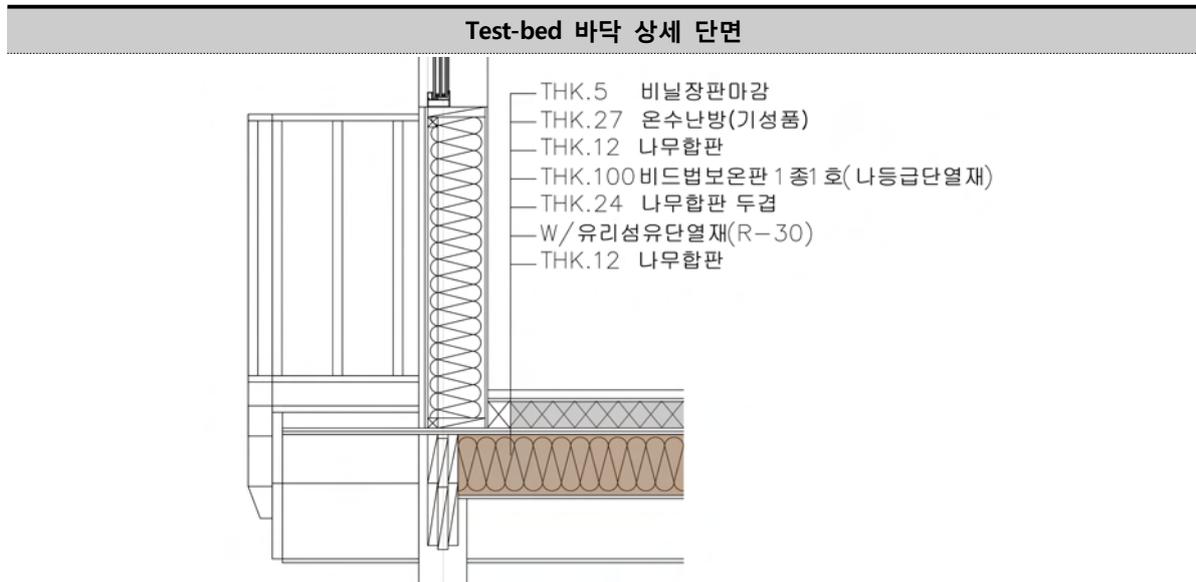


표 173 Test-bed 바닥 열관류율

구분	재료	두께	열전도율		열저항	열관류율
		mm	kcal/mh°C	W/mK		
바닥 마감	강화마루	9	0.110	0.128	0.082	0.131
난방	THK 27 온수난방(기성품)	27	-	-	-	
합판	THK 12 일반 합판	12	0.140	0.163	0.086	
단열재	THK 100 비드법 보온판 1종 1호(나등급)	50	0.031	0.036	1.615	
	THK 12 일반 합판2겹	24	0.140	0.163	0.171	
	유리면 단열재 24K W042	235	0.036	0.042	6.506	
	2"x6"(38x140mm) 덧서까래 @406					
합판	THK 12 일반 합판	12	0.140	0.163	0.086	
구조	서까래 구조목 2"x6"(38x140mm) @450					
<b>합 계</b>		245.5			8.546	

Test-bed의 1층은 필로티로 계획하였기 때문에 일반 주택의 바닥이 땅에 직접 닿는 것과 다르다. 따라서 Test-bed의 바닥 밑 부분의 공기의 대류 현상으로 지속적인 열손실이 발생할 것으로 판단되어 더 높은 수준의 단열성능( 0.131W/m<sup>2</sup>k)으로 계획하였다.

실내 층고 확보를 위해 2층 바닥을 기준으로 외부와 내부로 나누어 단열재 시공을 계획하였고, 외부 단열은 장선을 활용하여 추가 스티드 작업 없이 단열시공을 진행하여 공사비를 절감하였다. 비드법 보온판 1종 1호 단열재가 습기에 매우 취약한 것을 고려하여 습기와 직접적인 노출을 막기 위해 내부에 사용하였다. 외부 바닥 단열 부위는 시공 시 추가 성형없이 시공이 가능한 유리섬유 단열재를 사용하여 공기를 단축하였다.

(나) 기밀계획

표 174 Test-bed 기밀계획

Test-bed 기밀라인

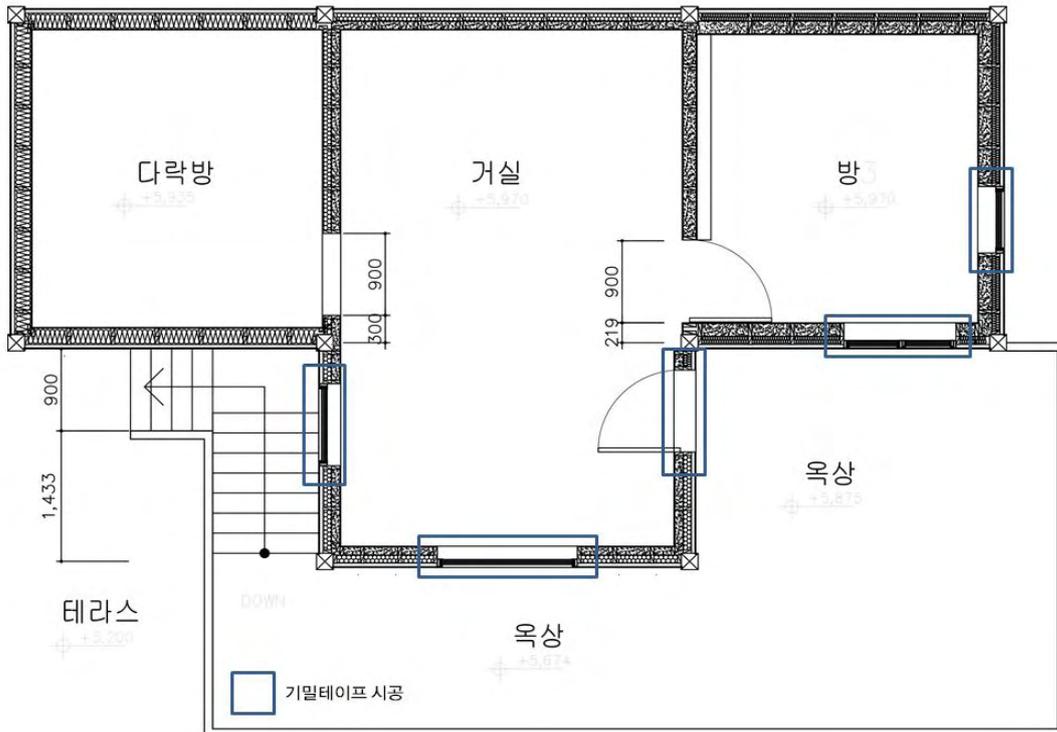
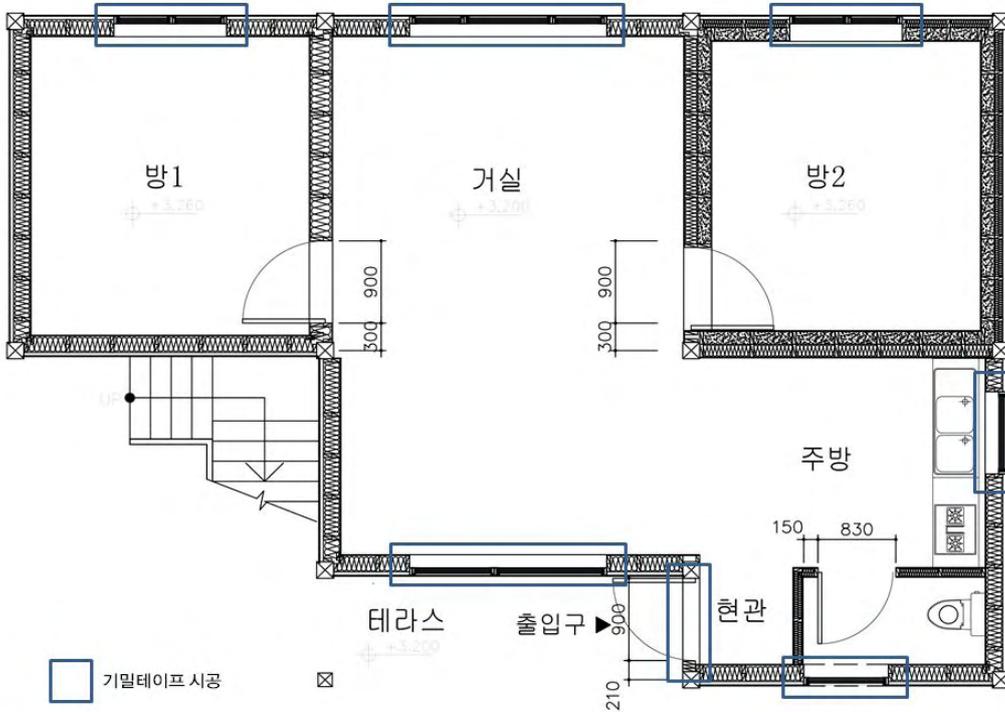


표 175 Test-bed 기밀시공 및 계획요소

Test-bed 기밀시공을 위한 계획요소



그림 55 경량목구조 부재로 제작한 서까래



그림 56 기밀성능을 위한 각 서까래 시공



그림 57 Test-bed 기밀테이프 시공



그림 58 기밀 시공을 위한 폼 충전

주택에서는 기밀성능이 취약한 부위에 발생하는 침기·누기 작용으로 인해 열 손실이 발생하기 때문에 Passive House에서 기밀성능 확보는 단열성능 만큼 중요하다. 본 3차년도 연구에서는 취약한 기밀성능으로 발생하는 열 손실을 방지하기 위해 2차년도 연구결과를 토대로 벽체구성, 지붕 구조, 창호 또는 문과의 결합부위를 기밀시공하여 Test-bed의 기밀성능을 향상시켰다.

Test-bed에서는 기밀성능 확보를 위해 지붕과 벽체, 벽체와 바닥의 기밀라인이 끊어지지 않도록 단열시공을 실시하였다. 전통 한옥의 원형 서까래 사용으로 기밀시공이 어려웠던 점을 고려하여 Test-bed 지붕 구조는 경량 목구조의 목재를 조립한 서까래를 사용함으로써 기밀성능을 높였다. 창호계획에서는 창호와 벽체의 접합 부위의 취약한 기밀로 인한 열손실 방지 및 결로 발생 방지를 위하여 폼 충전 및 기밀테이프를 사용하여 기밀시공을 하였다.

(다) 창호계획

표 176 Test-bed 창호 상세 단면

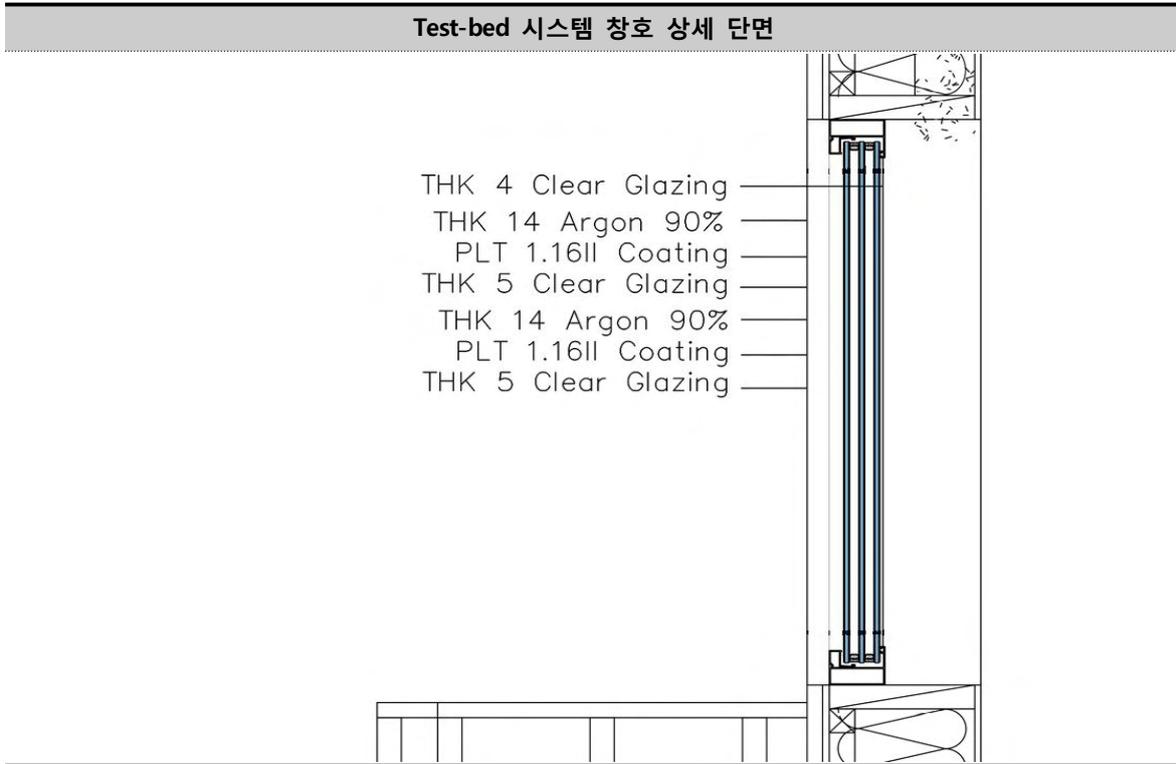


표 177 Test-bed 창호 스펙

Test-bed 시스템 창호 성능				
Glazing Type:		Frist Glazing	Second Glazing	Third Glazing
<p>Outer Inner</p> <p>그림 59 유리 구성도</p>	충진가스		Argon 90%	Argon 90%
	코팅		PLT 1.16II	PLT 1.16II
	두께	4mm	5mm	5mm
	빛 투과율	69%		
	열관류율	0.7 W/m <sup>2</sup> K		

Test-bed 시스템 창호 기밀 시공 사진



그림 60 시스템 창호 폼 충전



그림 61 기밀테이프 시공



그림 62 시스템 창호 설치 완료

실내 온도 유지를 위한 에너지 사용에 따른 탄소 배출량 저감을 위해 고성능의 시스템 창호를 시공하였다. 시스템 창호는 Low-e 코팅 처리된 3중 유리로 구성되어 있고, 유리 사이는 아르곤 가스로 충전 되었다. 창호의 열관류율은  $0.7W/m^2k$ 으로 패시브하우스 창호의 열관류율 기준인  $0.8W/m^2k$ 보다 더 좋은 단열성능으로 창호로 인한 열손실을 최소화하였다.

(라) 일조확보를 위한 건물 개구부 계획

표 179 Test-bed의 일조확보를 위한 개구부 계획

Test-bed 일조량 확보를 위한 계획 요소



그림 63 Test-bed Skylight 시공



그림 64 Test-bed 일조확보를 위한 남향 배치

Passive House에서 일조확보는 겨울철 일사량 확보를 통한 실내 온도 유지로 난방부하를 절감시키고 난방 에너지 소비량을 줄이는데 큰 목적이 있다. 하지만 4계절이 뚜렷하고 특히 여름철 고온다습한 국내 기후를 고려하지 않고 필요 이상의 일사량 확보는 여름철 냉방부하 증가로 오히려 에너지 소비량이 증가 할 수 있으므로 외부 또는 내부에 차양막을 설치하는 것이 바람직하다.

본 3차년도 연구에서는 지리적 특성을 고려하여 Test-bed의 일조에 관한 계획을 세웠다. Test-bed가 시공되는 문경현장의 대지는 산 중턱에 위치하고 주변 대지 레벨보다 낮으므로 1층에서는 일조확보에 불리 할 것이라고 판단되어 Test-bed의 1층은 필로티로 계획하였다.

창호의 위치는 남측에 계획하여 다른 향에 비해 많은 일조량을 확보할 수 있도록 계획하였고, 3층은 천창을 계획하여 일조량을 확보할 수 있도록 하였다.

## (2) Active 측면

### ○ 신·재생에너지 : 태양광

표 180 태양광 에너지 발전 시스템 장치

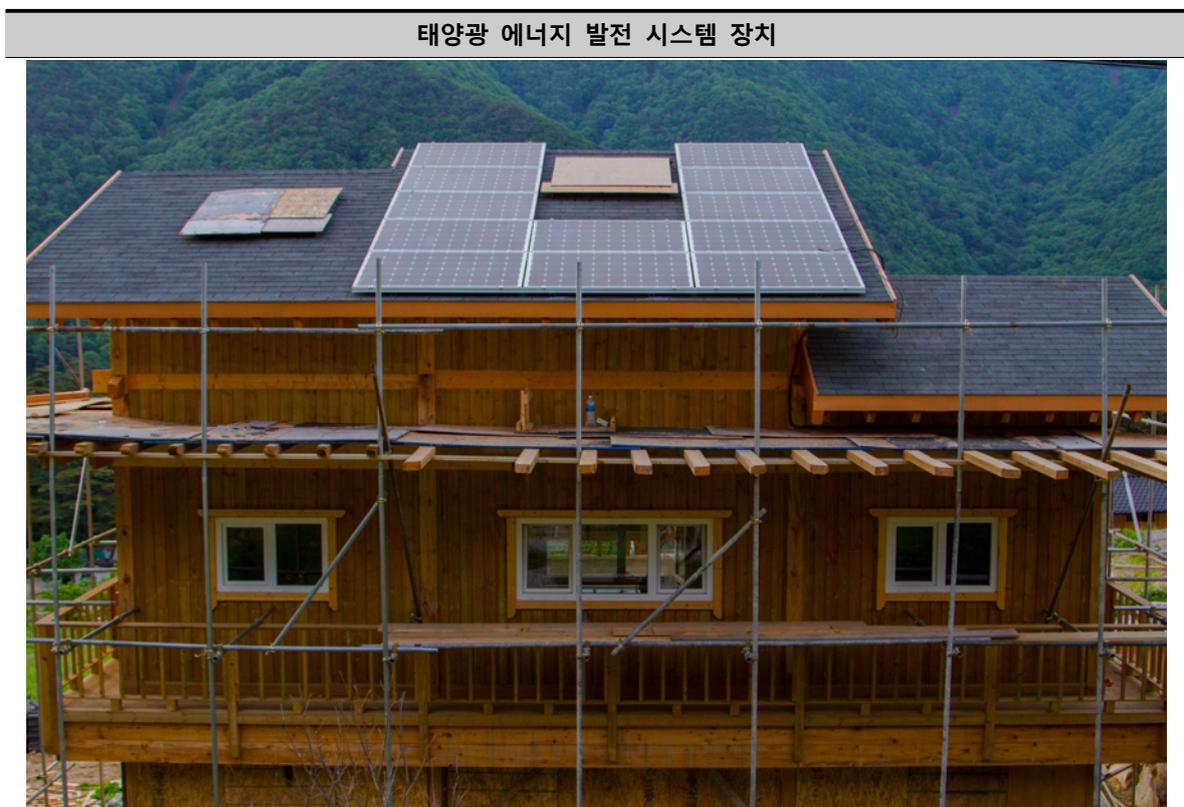


그림 65 Test-bed 태양광 발전 시스템 시공완료 사진



그림 66 태양광 발전 시스템 모듈



그림 67 태양광 발전 시스템 인버터

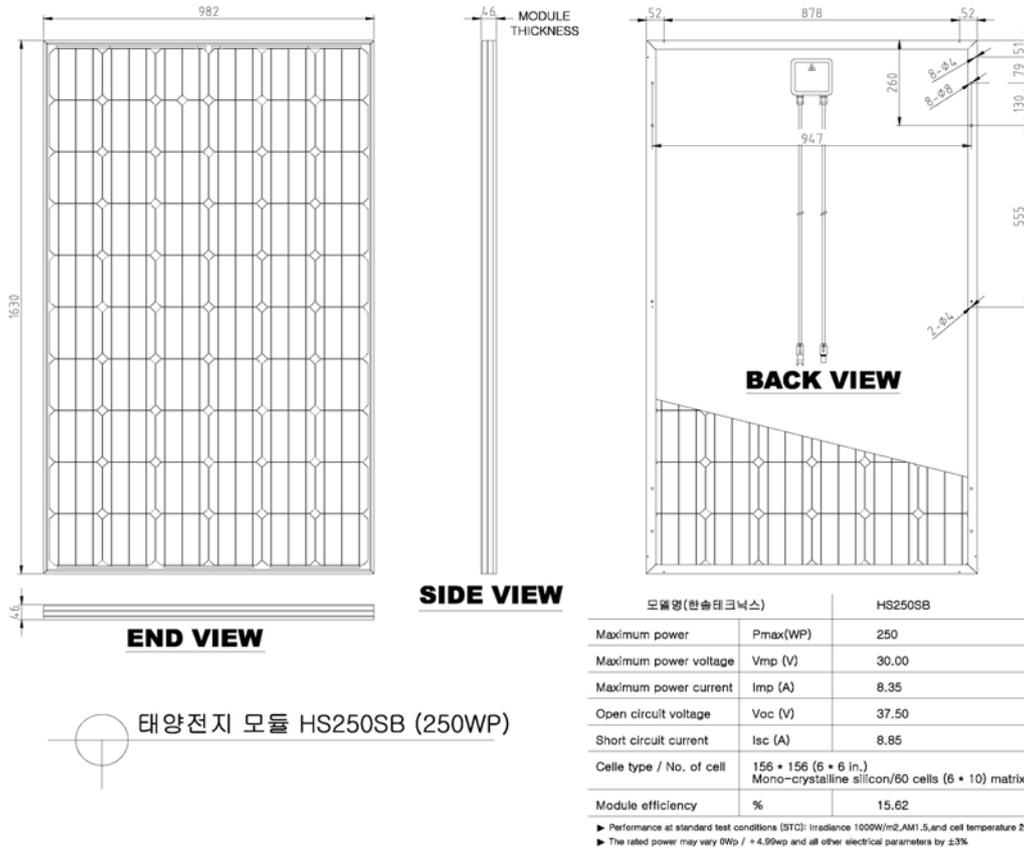


그림 68 태양광 에너지 발전 시스템 장치 사양서

신·재생에너지 중 풍력은 비싼 시공비 및 지리적 특성에 영향을 많이 받는 단점, 또 건물 외 별도 설치 공간 마련 및 소음 발생 등의 이유로 농어촌 지역 그린홈 표준모델에 적용하기에는 다소 어려움이 있는 것으로 판단되었다. 지열은 상대적으로 낮은 효율의 에너지 생산과 토공사를 반드시 해야 하는 단점 때문에 농어촌 지역에 보급하기에 불리하다. 반면 태양광 에너지는 풍력과 다르게 별도의 설치 공간이 필요 없고, 상대적으로 효율적인 에너지 생산으로 농어촌 지역에 보급하기에 적합하다고 판단되어 태양광 발전 시스템 장치를 설치하였다.

태양광 발전 시스템 장치는 정부의 지원을 받아 3kw 규모로 설치하였고, 남측 지붕에 태양광 발전 시스템 장치를 계획하고 시공 시 경사각을 이용하여 효율적으로 에너지를 생산하도록 하였다.

(3) 퇴비화 화장실

표 181 퇴비화 화장실 계획

Test-bed 퇴비화 화장실 설치



그림 69 Test-bed 퇴비화 화장실 설치

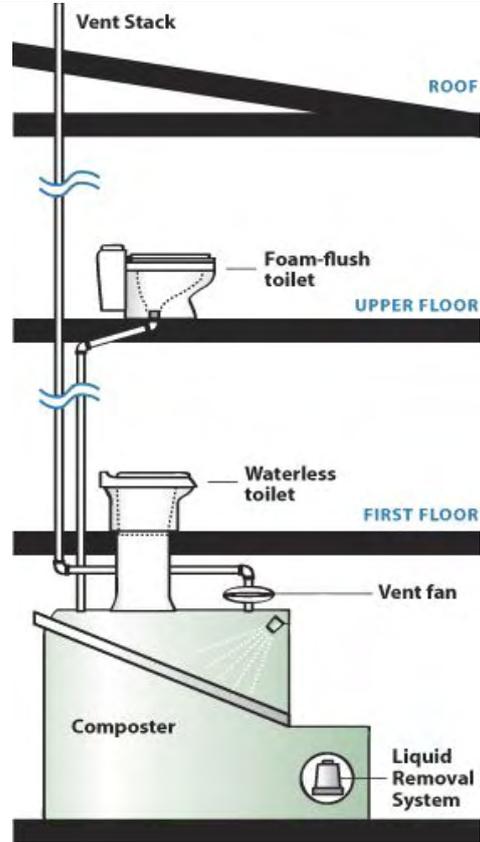
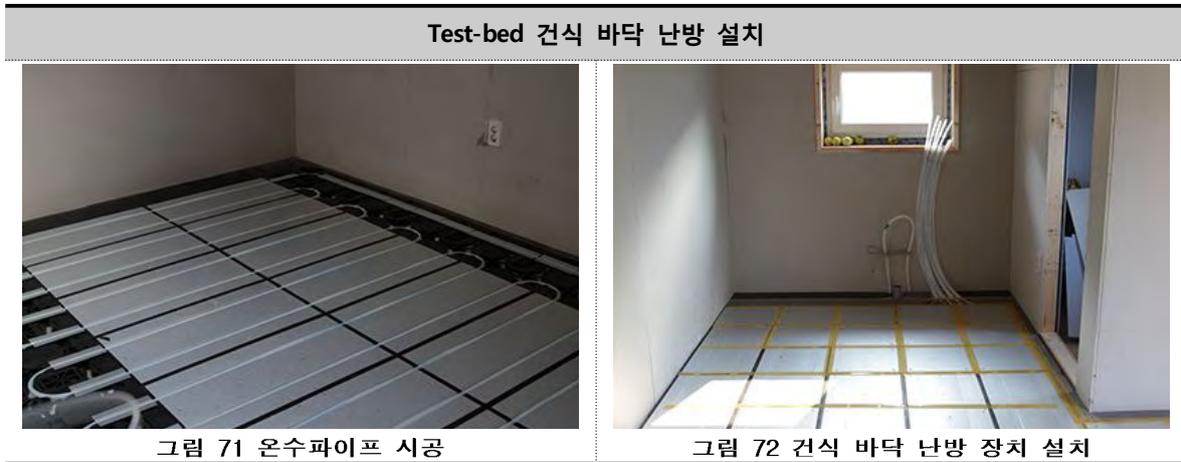


그림 70 Composting Toilet System

Test-bed에 퇴비화 화장실을 설치함으로써 생활오수의 처리단계에서 소비되는 에너지 및 비용을 줄이고 동시에 농어촌 지역에 필요도가 높은 퇴비를 공급함으로써 폐기물 순환을 이루도록 하였다.

(4) Test-bed 난방 계획

표 182 건식 바닥 난방 장치



신·재생에너지 및 펠릿보일러를 이용한 난방방식이 최근 저에너지, 저탄소 난방방식으로 채택이 되어 사용되고 있다. 하지만 현재의 펠릿보일러의 기술은 농어촌 지역에서 쉽게 구할 수 있는 왕겨나 목재 등을 원료로 바로 사용할 수 없고, 시중에서 판매되는 펠릿보일러 연료를 따로 구입하여야만 사용이 가능하다. 또한 잔고장이 많아 유지관리가 어려운 점도 있다. 이에 원료를 사기 위해 소비되는 운반비, 생산비 등을 고려했을 때 화석연료와 크게 차이가 없는 것으로 판단되어 시공성 및 난방 효율을 중점적으로 고려해 온수를 이용한 건식바닥 난방으로 시공하였다.

Test-bed의 바닥 난방장치는 규격화된 패널을 방의 크기에 맞게 깔고, 패널에 파인 홈에 온수 파이프를 매입한 후 방열판 덮개를 덮고 테이프로 마감하는 건식공법으로 해체 조립하기 쉬우며 전문가의 도움 없이도 직접 시공할 수 있다. 비슷한 설치방법인 패널형식의 전기난방은 가정용에서는 사용하기 부담스러운 전기 용량으로 사용하지 않았다.

(5) 전통 경관을 고려한 농어촌 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 계획

표 183 전통한옥 경관 구성 요소 및 개선 요소



○ 경량 목구조 부재를 이용한 구조부재 집합

기존 전통한옥의 구조 방식은 기둥-보를 이용한 중량 목구조 방식이다. 기둥-보와 같은 각 구조부재는 육송(통재)을 이용하여 시공이 되고 있으며 각 부재가 끼워 맞춤방식으로 결합되기 때문에 한옥 전문 도편수에 의해 각 부재가 제작되고 시공이 진행된다. 그렇기 때문에 사용자 참여 시공이 어렵고 공사비용이 경량 목구조 주택에 비해 높다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 부재를 개량하여 장식적인 요소들을 배제하고 최소한의 구조부재를 이용하여 계획하였다. 기둥, 보, 도리는 한옥 방식으로 진행하되 시공성을 고려하여 구조부재 중 보, 도리는 통재대신 경량 목구조 부재를 이용하여 여러 부재를 집합하여서 하나의 부재로 만들어 사용했다. 기타 부재는 기성품으로 규격화된 부재를 사용하여 경량목구조 형식의 벽체를 시공하였다.

## (6) 사용자 참여 시공 가능성

표 184 그린홈 짓기 아카데미 참가자들의 직접시공

생태 그린홈 짓기 아카데미를 통한 참여 시공



일반적으로 전통 한옥은 부재가 많고 맞춤형식의 디테일이 복잡하며 부재의 많은 곡선처리로 인해 한옥 전문 목수에 의해서만 시공되고 있다. 하나의 전통 한옥을 짓기 위해서는 목수, 기와공, 미장공 그리고 소공까지 많은 전문적인 인력을 필요로 한다. 또한 엄격한 시공 순서와 기술적인 측면이 많기 때문에 사용자 참여 시공이 가능하게 하기 위해서는 간소화된 시공순서와 쉬운 시공법의 개발이 필요하다.

사용자 참여 시공이 가능하게 하기 위한 방법으로는 구조 부재를 도면화하고, 이를 공장에서 제작하는 방법으로 하여 현장에서는 직접 조립 시공하는 방법이 있다. 이를 통해 3차년 Test-bed는 참여시공의 가능성을 확인하기 위해 학생들을 비롯한 연구진이 전 단계에 걸쳐 직접 참여하여 시공하였다.

(7) 경제성을 고려한 구조공법 비교

일반적으로 경량 목구조 부재(각재)는 캐나다 등지에서 대량으로 수입되어 상대적으로 저렴한 단가로 구입이 가능하지만 구조용 공학목재(집성목)나, 통구조(더글라스)와 같은 통재들은 단가가 높다. 수입 부재는 충분한 건조와 방부처리로 구조용으로 쓰기 적합하지만 부재 단면 사이즈와 길이가 늘어날수록 한 나무에서 뽑아낼 수 있는 부재 양의 한계가 있기 때문에 단가가 높다. 반면 한옥에 사용되고 있는 육송(통재)은 단가가 가장 낮지만 대량 생산이 불가능하며 다른 구조목처럼 건조되지 않은 자연상태의 수분을 함유한 나무라는 점과 균일한 가격으로 자재 공급이 어려운 단점이 있다. 하지만 지역에서 생산되는 나무를 사용하여 운반비를 절감하고 궁극적으로는 CO<sub>2</sub>발생량을 줄일 수 있고, 별도의 마감시공이 필요없어 자재비용과 시공 비용을 낮출 수 있다.

방부처리와 충분히 건조된 경량 목구조 부재를 이용할 경우 뒤틀림, 변형 등의 단점을 개선할 수 있으며 방부처리 된 중량 목구조 부재보다는 단가가 상대적으로 싸기 때문에 경제적으로도 유리한 장점을 가지고 있다. 하지만 수직하중을 받는 기둥은 통재가 더 유리하므로 기둥만큼은 통재를 사용하는 것이 구조적으로 안전하다. 이러한 점들을 고려하여 Test-bed의 부재는 수직하중을 받는 기둥을 제외하고 다른 모든 부재는 경량목구조 부재를 이용하여 가공하였다.

수입목과 국내 통재 사용 시 위에서 언급한 각각의 장단점을 고려하여 사용하여야 전체적인 시공단가 절감을 비롯하여 탄소배출량을 줄일 수 있고, 각재 및 통재 등 구조체에 따른 경제적 차이는 아래의 표와 같다.

표 185 통재(육송) 경제성

구조체	통재							비고	
	넓이 (mm)	높이 (mm)	길이 (mm)	수량	단가	가격	실지사용길이 (mm)		
도리	도리-1	120	240	4,500	6	₩2,200	₩528,000	3,900	
	도리-2	120	240	5,400	2	₩2,200	₩211,200	5,100	
	도리-3	120	240	4,500	2	₩2,200	₩176,000	4,500	
보	보-1	120	240	4,500	4	₩2,200	₩352,000	3,900	
	보-2	120	240	2,700	2	₩2,200	₩105,600	2,700	
서까래	서까래-1	75	150	3,600	40	₩1,800	₩900,000	3,300	
	서까래-2	75	150	4,500	14	₩1,800	₩393,750	3,900	
	서까래-3	75	150	5,400	14	₩1,800	₩472,500	5,200	
합 계						₩3,139,050			

표 186 각재(경량목구조 부재)경제성

구조체	통재								
	넓이 (mm)	높이 (mm)	길이 (mm)	각재 수량	수량	단가	가격	실제사용길이 (mm)	
도 리	도리-1	2" (38)	10" (235)	14피트 (4267.2)	3	6	₩15,550	₩279,900	3,900
	도리-2	2" (38)	10" (235)	18피트 (5486.4)	3	2	₩20,500	₩123,000	5,100
	도리-3	2" (38)	10" (235)	14피트 (4267.2)	3	2	₩15,550	₩93,300	4,500
보	보-1	2" (38)	10" (235)	14피트 (4267.2)	3	4	₩15,550	₩186,600	3,900
	보-2	2" (38)	10" (235)	14피트 (4267.2)	3	2	₩15,550	₩93,300	2,700
서 까 래	서까래-1	2" (38)	6" (140)	12피트 (3657.6)	2	40	₩7,010	₩560,800	3,300
	서까래-2	2" (38)	6" (140)	14피트 (4267.2)	2	14	₩8,350	₩233,800	3,900
	서까래-3	2" (38)	6" (140)	18피트 (5486.4)	2	14	₩11,180	₩313,040	5,200
합 계							₩1,883,740		

다. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 시공일정 및 시공과정

(1) 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 시공일정

시공일정은 부재제작을 시작으로 층별로 공사가 이루어졌고, 벽체 스테드 시공 후 외부 마감재를 먼저 시공함으로써 비로부터 건축물을 보호하고, 시공일정에 차질이 없도록 하였다. 12월부터 2월까지의 낮은 기온으로 인한 비효율적인 시공과 품질저하를 고려해 인해 공사를 중단하고 3월에 다시 시작하였다.

표 187 Test-bed 시공일정

	공정표	2012년														
		10월					11월					12월				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	부재제작															
2	1층 구조체 공사															
3	2층 구조체 공사															
4	3층 구조체 공사															
5	지붕공사															
6	설비공사															
7	외부벽체공사															
8	내부벽체공사															

	공정표	2013년														
		3월					4월					5월				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	난간공사															
2	부재 추가 가공															
3	3층 구조체 변경															
4	지붕공사															
5	창호공사															
6	3층 벽단열공사															
7	난방공사															
8	설비공사															
9	바닥단열공사															
10	지붕단열공사															
11	PV-Panel공사															

(2) Test-bed 시공과정

(가) 부재제작 및 기초공사





경량 목구조 목재 조립(보, 도리)



보, 도리 가공



보, 도리 가공 완료



경량 목구조 목재 조립 후 서까래 가공



서까래 가공 완료



콘크리트 기초패드 타설



주춧돌 수평 잡기



주춧돌 위치 및 수평 조절



주춧돌 간 거리 조정



주춧돌에 앵카 볼트 설치

(나) 1층 공사

구조체 공사



기둥 세우기



기둥 세우기 완료



보, 도리 시공



보, 도리 시공 완료



장선 시공



1층 구조체 시공 완료



2층 바닥 합판 덮기



2층 바닥 합판 덮기 시공 완료

(다) 2, 3층 & 지붕 공사

2층 5구조체 공사



2층 기둥을 잇기 위한 기초 작업



2층 기둥 세우기



2층 보 시공



2층 도리 시공

지붕 공사



서까래 시공



합판 덮기 시공



숯을 지붕으로 구조 변경



추가 기둥, 도리 시공



추가 기둥, 도리 시공 완료



숯을 지붕 서까래 시공



합판 위 방수시트 시공



지붕 단열을 위한 덧서까래 시공



암면 단열재, 유리면 단열재 시공



단열 시공 후 합판 덮기

구조체 변경 공사



기존 구조체(서까래, 도리) 철거



동자주, 도리 재시공



서까래 재시공



합판 덮기



암면 단열재, 유리면 단열재 시공 및 합판 덮기



아스팔트 씬글 마감

벽체 공사



벽체 스타드 시공



벽체 스타드 시공 완료



투습 방수지 Tyvek 시공



방부목 사이딩 시공



방부목 사이딩 시공 완료



유리면 단열재 시공



유리면 단열재 시공 완료 후 석고보드 마감



왕겨 숲 단열재 시공을 위한 부직포 시공



왕겨 숲 단열재 시공을 위한 부직포 위 석고보드 시공



유리면 단열재 위 왕겨 숲 단열재 시공



암면 단열재 시공



암면 단열재 위 왕겨 숲 단열재 시공

천장 공사



반자틀 시공



반자 틀 사이 유리면 단열재 시공



천장 유리면 단열재 시공 완료



석고보드 마감

(라) 창호 공사

창호 공사	
 <p>창호 설치 전</p>	 <p>창틀에 기밀테이프 설치</p>
 <p>창틀 수평 맞추기</p>	 <p>창틀 고정 후 폼 충전</p>
 <p>창호 유리 설치</p>	 <p>시스템 창호 손잡이 설치</p>
 <p>시스템 창호 설치 완료</p>	 <p>천장 창틀 설치</p>



천창 창틀 설치 후 폼 충전



기밀테이프 시공



실내 기밀 테이프 시공



고성능 3중 유리 설치



창틀과 유리면 실리콘 처리



천창 설치 완료

(마) 난방 공사

바닥 난방 공사



온수 파이프 시공



온수 파이프 시공 완료



건식 바닥 난방 장치 설치 완료



2층 분배기 설치 완료



3층 분배기 설치 완료



보일러 설치 완료

(바) 태양광발전 시스템 장치 설치 공사

태양광 발전 시스템 장치 설치 공사



태양광 발전 시스템 모듈 설치를 위한 각파이프 설치



태양광 발전 시스템 모듈 피스 고정



태양광 발전 시스템 모듈 L바 고정



태양광 발전 시스템 모듈 전선 연결



인버터 설치 및 전선 연결



태양광 발전 시스템 장치 설치 완료

(사) 기타 공사

계단 및 난간 설치



2층 난간 기둥 설치



2층 난간 설치



2층 계좌난간 설치 완료



3층 진입 계단 설치

### 3. 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 성능평가

#### 가. Test-bed 실험 계획

##### (1) Test-bed 개요

표 188 Test-bed 실험방 개요 및 벽체 단열 시공 사진

Test-bed 실험방 개요		
구 분	방1	방2
구 조	전통 한식 중량 목구조 + 경량 목구조	
규 모(m <sup>2</sup> )	11.88m <sup>2</sup>	
단 열 재	글라스울 단열재	글라스울 단열재 + 왕겨숯 단열재
내벽마감	벽지	
외벽마감	방부목 사이딩	



그림 75 실험방1 글라스울 단열재 시공



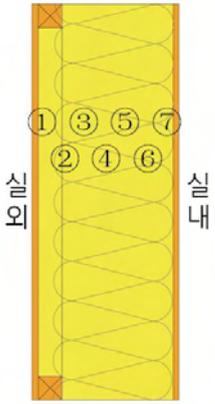
그림 76 실험방2 글라스울+훈탄 단열재 시공

농어촌 지역에서 흔히 구할 수 있는 지역재료 및 생태단열재인 훈탄(왕겨숯)과 목구조건물에서 가장 많이 쓰이는 유리면 단열재를 사용하여 성능비교 실험을 실시하였다. 단열재의 성능을 비교하기 위해 양측 방 열관류율을 동일한 수준으로 시공하였고, 생태 단열재(왕겨숯)이 실내환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 글라스울 단열재를 바깥쪽으로 시공하고, 왕겨숯을 안쪽으로 시공하였다.

생태 단열재인 왕겨숯과 일반 단열재인 글라스울의 성능평가를 위해 11.88m<sup>2</sup>로 실물크기의 실험체를 구축하였다. 구조체는 전통 한옥식 중량목구조와 경량목구조를 혼합한 구조로 구축하였다. 방1은 글라스울(R11+R19)을 사용하였고, 방2는 글라스울 R19+왕겨숯을 사용하였다. 실험체의 내부는 모두 벽지로 마감처리 하였다.

(2) Test-bed 상세계획

표 189 Test-bed 실험방 벽체 상세계획

방 1 벽체 상세 계획					
글라스울 R11+ 글라스울R19	번호	재료	두께 (mm)	열전도율 (W/mK)	열관류율 (W/m²K)
	①	방부목 사이딩 마감	10.0	0.130	0.157
	②	수평각재 (38x38 @450)	38.0	0.206	
	③	타이백 시공	1.0	0.209	
	④	THK 12 일반합판	12.0	0.163	
	⑤	유리면 단열재 24K W042	248.0	0.042	
	⑥	THK 12.5 일반석고보드	12.5	0.209	
	⑦	친환경 천연 벽지 마감	2.0	0.210	
		벽두께	253.5		

외부로부터 방부목 사이딩 마감, 수평각재, 타이백, 일반합판, 글라스울(유리면 단열재), 일반석고보드, 친환경 천연 벽지 마감으로 시공되었으며, 글라스울 단열재는 R11과 R19를 사용하여 단열재의 두께는 248mm 이지만 2"x4" 더블 스타드(178mm)에 압축시켜 시공하여 실제 벽두께는 253.5mm이다. 열관류율은 0.157W/m²k로 계획하였다.

방 2 벽체 상세 계획					
글라스울 R19+ 왕겨숯(훈탄)	번호	재료	두께 (mm)	열전도율 (W/mK)	열관류율 (W/m²K)
	①	방부목 사이딩 마감	10.0	0.130	0.156
	②	수평각재 (38x38 @450)	38.0	0.206	
	③	타이백 시공	1.0	0.209	
	④	THK 12 일반합판	12.0	0.163	
	⑤	유리면 단열재 24K W042	159.0	0.042	
	⑥	왕겨숯 단열재 100K W069	150.0	0.069	
	⑦	THK 12.5 일반석고보드	13.0	0.209	
	⑧	친환경 천연 벽지 마감	2.0	0.210	
		벽두께	304.5		

외부로부터 방부목 사이딩 마감, 수평각재, 타이백, 일반합판, 글라스울(유리면 단열재), 왕겨숯 단열재, 일반석고보드, 친환경 천연 벽지 마감으로 시공되었다. 왕겨숯 단열재 시공을 용이하게 하기위해 스타드는 2"x4"와 2"x6"크기의 경량목구조 목재를 사용하여 더블스타드(229mm) 구조로 계획하였고, 생체단열재(왕겨숯)가 실내 환경에 미치는 영향을 분석하기 위해 왕겨숯 단열재를 내부에 시공하였다. 방1과 마찬가지로 2"x4"크기에 글라스울을 압축시켜 시공하여 실제 벽두께는 304.5mm이고, 비교실험이 가능하도록 방 1과 동일한 수준으로 열관류율을 0.156W/m²k로 계획하였다.

### (3) Test-bed 실험계획

한옥구조를 응용한 그린홈의 생태단열재와 일반단열재 비교를 통한 실내환경성능을 검증하기 위하여 온·습도센서와 CO<sub>2</sub>센서 및 데이터를 수집하기 위한 모니터링 시스템을 설치하였다. 또한 양 실험체가 동일한 조건 하에서 내·외부 온·습도센서를 통해 데이터를 수집하였으며 비교 분석을 통해 성능평가를 실시하였다.

표 190 Test-bed 실험 계획 및 목적

실험순서	실험명	실험목적
1	베이스라인 측정(온도)	생태+일반단열재(글라스울+왕겨숯)와 일반단열재(글라스울)의 단열성능 비교
2	베이스라인 측정(습도)	생태+일반단열재(글라스울+왕겨숯)와 일반단열재(글라스울)의 습도 조절능력 비교
3	베이스라인 측정(CO <sub>2</sub> )	생태+일반단열재(글라스울+왕겨숯)와 일반단열재(글라스울)의 CO <sub>2</sub> 조절능력 비교

표 191 모니터링 센서 스펙

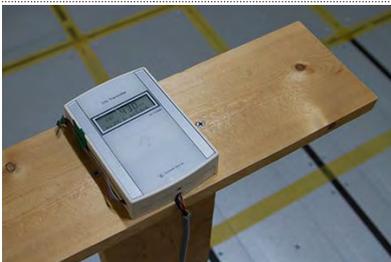
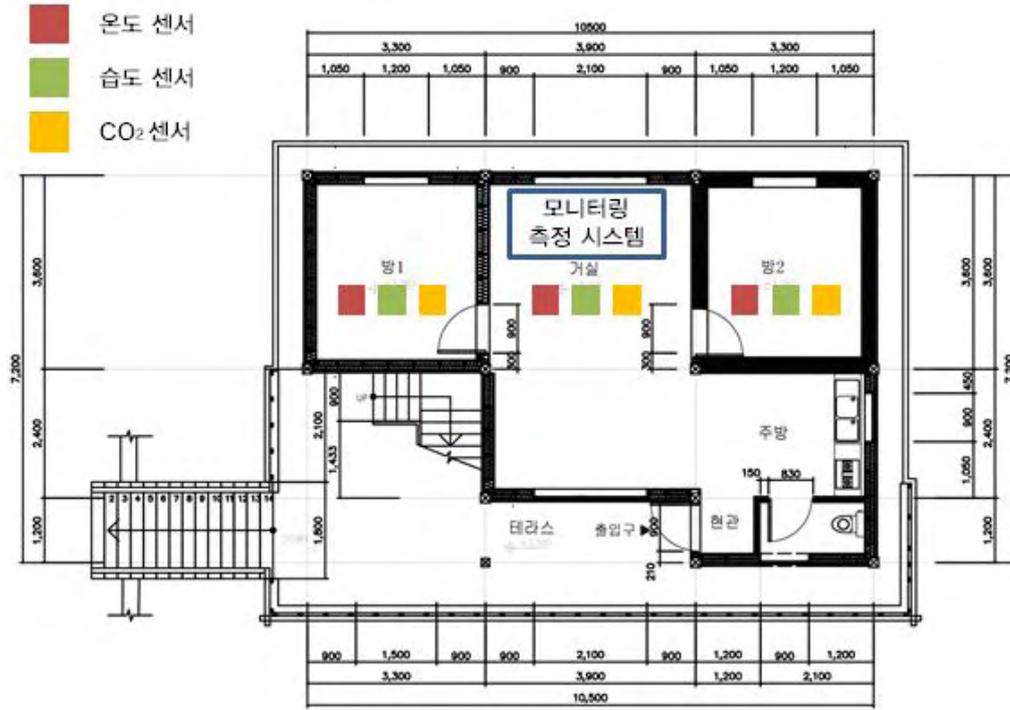
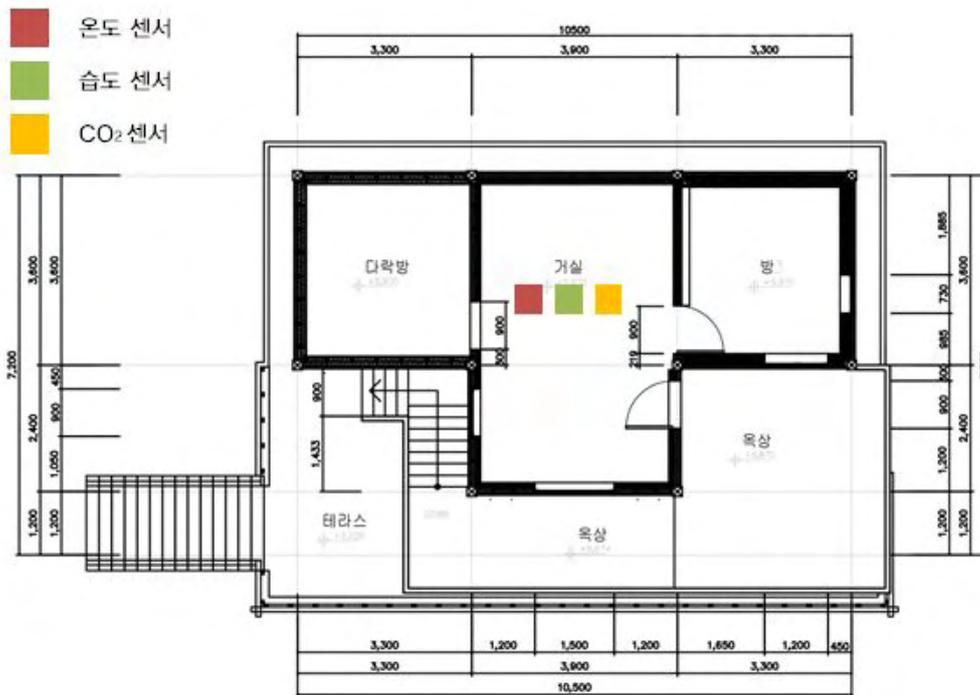
센서 스펙			
	분류	측정범위	오차범위
 그림 77 측정 센서(MHTP485)	온도센서	-20°C ~ 70°C	± 0.6°C
	습도센서	0 ~ 100%	± 2%(20~80% 일 때) ± 3%(20~80%가 아닐 때)
	CO <sub>2</sub>	0~2000 ppm	± 50ppm
 그림 78 2, 3층 거실 온도, 습도, CO <sub>2</sub> 측정 센서	 그림 79 방 1, 2 온도, 습도, CO <sub>2</sub> 측정 센서	 그림 80 Test-bed 모니터링 측정 장비	

표 192 Test-bed 실험 모식도

3차년 Test-bed 2층 실험 모식도

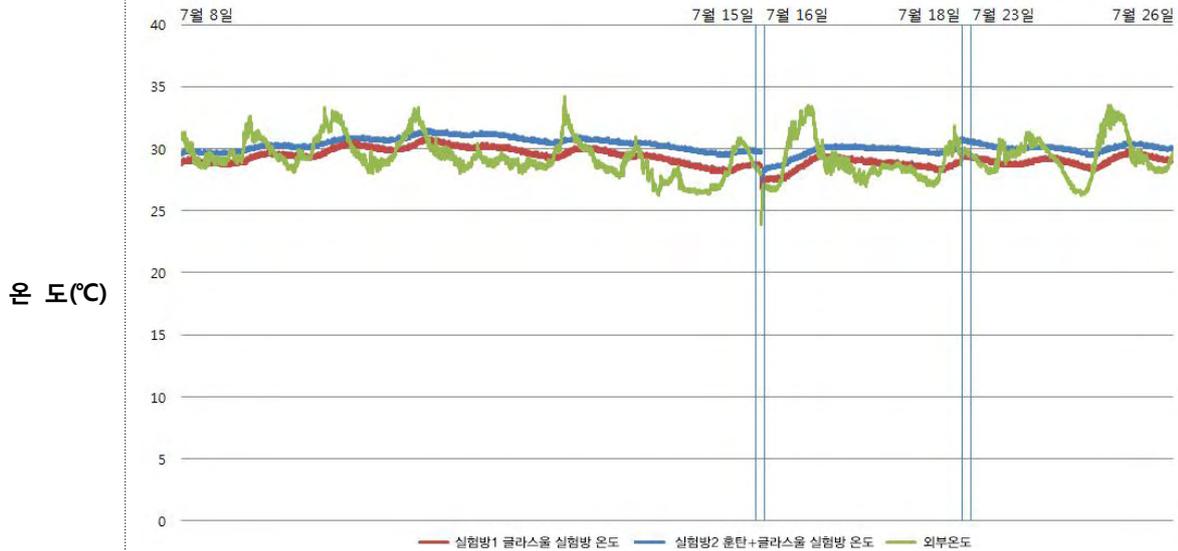


3차년 Test-bed 3층 실험 모식도



## 나. Test-bed 성능평가

실험명	베이스라인 측정(온도)
실험목적	생태+일반단열재(글라스울+왕겨숯)와 일반단열재(글라스울)의 단열성능 비교
실험기간	2013년 7월 8일 - 2013년 7월 18일
측정값	내·외부 온도



훈탄+글라스울 & 글라스울 단열시공 벽체 온도 변화 그래프

### 결과분석

농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed 실험방 1, 2를 각각 글라스울과 훈탄+글라스울로 단열시공을 한 후 모니터링 시스템을 통해 측정한 결과 외부온도는 최저·최고 값의 차이가 약 11°C가 차이나는 반면 두 실험방의 실내온도는 약 4°C의 차이를 나타냈다. 또한 외부온도 변화 그래프는 하루를 주기로 반복되는 모양이 뚜렷하게 나타나는 반면 두 실험방의 실내온도 변화 그래프는 특별한 주기가 발견되지 않은 모양으로 나타났다. 이러한 모양을 나타내는 첫 번째 이유는 훈탄+글라스울 단열재를 사용한 방의 열관류율을 0.156W/m<sup>2</sup>K, 글라스울 단열재를 사용한 방의 열관류율을 0.157W/m<sup>2</sup>K로 한국 패시브하우스 협회에서 제시하는 Passive House의 열관류율(0.15W/m<sup>2</sup>K) 수준에 준하는 단열시공 때문인 것으로 분석된다.

두 번째 이유는 두 실험방에 각각 기밀테이프를 시공함으로써 실험방의 창문을 개폐하지 않으면 실내공기가 환기되지 않으므로 실험방의 실내온도 변화가 외부온도의 변화에 비해 크지 않고 일정한 수준을 유지하는 것으로 분석된다.

7월 15일 23:00경부터 7월 16일 2:00경까지 환기를 시킨 후 재측정한 결과 실내온도가 상승할 요소가 없음에도 불구하고 실험방의 문과 창문을 닫은 직후부터 온도가 상승한 것으로 나타났다. 이는 단열재의 축열성능으로 낮 시간동안 축열된 열이 방출되어 실내온도가 밤에도 낮과 크게 차이가 나지 않는 것으로 판단된다.

7월 18일부터 23일까지 데이터가 끊긴 이유는 정확한 측정을 위해 센서점검을 실시하였기 때문이다. 센서점검 후 이전과 같은 위치에 센서를 설치하였고, 실내온도 측정값은 이전에 측정되었던 온도와 비슷한 수준으로 나타났다.

훈탄+글라스울 단열재를 사용한 실험방의 평균온도는 30.20°C로 측정되었고, 글라스울 단열재를 사용한 실험방의 평균온도는 29.25°C로 측정되었다. 또한 그래프를 비교해보면 훈탄+글라스울 단열재를 사용한 실험방의 실내온도가 약 1~2°C정도 지속적으로 높게 나타났다. 이러한 이유는 훈탄+글라스울 단열재를 사용한 실험방의 위치가 글라스울 단열재를 사용한 실험방보다 서쪽에 배치되어 상대적으로 일사량이 많기 때문인 것으로 분석된다.

실험명	베이스라인 측정(습도)
실험목적	생태+일반단열재(글라스울+왕겨숯)와 일반단열재(글라스울)의 실내습도 조절성능 비교
실험기간	2013년 7월 8일 - 2013년 7월 18일
측정값	내·외부 습도



훈탄+글라스울 & 글라스울 단열시공 벽체 습도 변화 그래프

결과분석	<p>모니터링 시스템을 통해 실험방 1, 2와 외부의 습도를 측정하고 외부습도 변화 그래프는 변화의 폭이 넓게 나타난 반면 훈탄+글라스울 단열재를 사용한 실험방과 글라스울을 사용한 단열재는 큰 변화 없이 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 훈탄과 글라스울 단열재가 조습 성능이 있는 것으로 판단된다.</p> <p>훈탄+글라스울 단열재를 사용한 실험방의 실내습도는 63.91%~77.53%, 글라스울 단열재를 사용한 실험방의 실내습도는 66.54%~78.68%로 측정되었고, 두 실험방 모두 실내습도 쾌적범위(40~60%)보다 높게 나타났다. 이러한 이유는 농어촌 그린홈 3차년도 Test-bed의 대지 특성상 바람이 강하게 불어서 비가 올 때 벽체에 직접 빗물이 닿기 때문인 것으로 분석된다.</p> <p>7월 15일부터 16일까지 데이터가 끊긴 이유는 실내온도가 높게 나타나는 요인을 파악하기 위해 외부온도가 가장 낮은 시간인 23:00~02:00까지 환기를 시키고 재측정 하였기 때문이다. 실내습도 변화는 순간적으로 높게 나타났다가 시간이 지나면서 이전에 측정되었던 수준과 비슷하게 측정된 것을 알 수 있다. 이는 측정장비의 자동조절 시간으로, 안정적인 실내습도를 측정하는데 일정시간을 필요로 하기 때문이다.</p> <p>또한 7월 18일부터 23일까지 데이터가 끊긴 이유는 정확한 측정을 위해 센서점검을 실시하였기 때문이다. 센서점검 후 이전과 같은 위치에 센서를 설치하였고, 실내습도 측정결과는 이전에 측정되었던 습도와 비슷한 수준으로 나타났다.</p> <p>훈탄+글라스울 단열재를 사용한 실험방의 평균 실내습도는 66.13%, 글라스울 단열재를 사용한 실험방의 평균 실내습도는 68.99%로 훈탄+글라스울 실험방의 평균 실내습도가 약 2%정도 낮게 측정되었다. 이러한 측정결과는 미세한 차이지만 상대적으로 훈탄이 글라스울보다 조습성능이 뛰어난 것으로 분석된다.</p>
------	--

## 제 4 장 참고문헌

### 참 고 문 헌

강혜진 외 3명, ZEB(Zero Emission Building) 디자인 프로세스에 관한 연구, 한국 태양에너지 학회 Vol 30, No. 2, 2010

국토해양부, 건축공사표준시방서, 2006

권양희 외 1, 송산리 6호분의 석회모르타르 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 구조계, v.32, n.1 (2012-04)

김민석 외3명, Zero-Energy Buildig 의무화에 따른 정부지원정책 개선방안, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집 계획계 제31권 제1호, 2011.04

김순웅, 조민철, 건축 흙에 매혹되다. 효형출판, 2012

김정호, 마상진, 신규 취농의 실태와 정착 과제, 2005, 한국농촌경제연구원

대한건축학회, 건축재료, 대한건축학회, 2011

대한건축학회외 1, 건축기술지침 : 건축2, 공간예술사, 2011

대한주택공사, 지속가능한 에너지 저감형 첫마을 생태주거단지 실현방안 연구, 대한주택공사, 2008

문희수, 점토광물학, 민음사, 1996

박상호 외 1명, Zero Energy Building(ZEB) 개념 및 설계 모델링에 관한 연구, 대한 전기 학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14-17, 2009

박영근, 산업용 단열재의 연소위험 특성에 관한 실험적 연구, 서울시립대학교 도시과학대학원 석사논문, 2005

박종문 외2명, 친환경 건축물 단열재 최근 연구 동향, 한국청정기술학회지, 2012

서울대, 한국농선회, 귀농자들의 농촌정착을 위한 프로그램 개발, 2000, 농림부

서정호, ALC블록벽체의 효율적 적용방안에 관한 연구, 건국대학교 산업대학원 석사논문, 2002

소양섭, 환경친화성 콘크리트, 한국건축시공학회, 2011

송정석 외 2명, 제로에미션 주택의 계획 요소 활용 방향에 관한 연구, 대한 건축 학회 논문 계획계 제 28권 제 5호, 2012

송종택, 조선시대의 석회 사용, 세라미스트 제12권, 1호 (2009-03)

에너지관리공단, 그림홈 백만호 프로젝트 안내 가이드, 2013.04

유정연 외2명, 국내외 친환경건축물 인증제도 비교분석 연구. 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 제6권 제1호, 2009

윤영일, BIM을 활용한 Zero Emission 주택의 디자인 요소와 프로세스에 관한 연구, 전남대학교 대학원 박사논문, 2012

이권영, 산릉-영건외래 분석을 통한 조선후기 관영 건축공사의 석회에 관한 연구, 건축역사연구, 제18권 6호 (2009-12)

이민식 외2명, 녹색건축물 활성화를 위한 제도 기반 구축 방안 연구, 2011.09

---

이예진외, 흙건축재료 및 공법의 이해를 위한 교육 프로그램 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, v.23, 2012.11

---

이재준 저, 녹색 도시의 꿈, 04. 녹색도시 계획기법 적용을 위한 인센티브, 2011.05.30.

---

이현우교수, Carbon-free 그린홈의 건설을 위한 LCCO2 데이터베이스 구축 및 DB활용에 관한 연구, 2009.12

---

전북지역농업연구원, 귀농, 귀촌자 실태조사를 통해 본 귀농, 귀촌 정책의 방향 및 시사점: 진안군 사례를 중심으로, 2008, 지역농업연구원 지역과 농업 제3호

---

최희용, 친환경 흙건축 재료와 공법선정 시의 고려사항, 대한건축학회지, v.51 n.2, 2007.02

---

통계청 2005년 인구주택 총 조사

---

한민철 외 1명, 친환경 콘크리트 기술동향 및 콘크리트의 제로에미션, 한국그린빌딩 협의회지, 2012

---

함정우, 생태주거단지에서의 건축재료 선정에 관한 연구, 세명대학교 대학원 석사논문, 2009

---

허윤정, 실내마감재로서의 황토의 사용현황과 공급방안에 관한 연구, 경북대학교 대학원 석사논문, 2006

---

홍도영, 패시브하우스 설계&시공, 주택문화사, 2012.08

---

황혜주, 흙건축, 씨아이알, 2008

---

황혜주외 1, 석회를 활용한 전통 흙건축 기술에 관한 기초 연구, 한국생태환경건축학 논문집, v.10, n.2 (2010-04)

---

황혜주외 2, 황토반응의 메카니즘에 관한 실험적 연구, 대한건축학회학술발표논문집, v.17, n.2 (1997-10)

---

황혜주외 2, 흙다짐 적용을 위한 흙의 선정 및 입도조건에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집, v.9, n.2 (2009-04)

---

(사)문화도시연구소, 도시민 유치를 위한 기존 농촌마을 정비방안 연구, 2007, 농림부

---

(사)한국흙건축연구회, [www.earth.or.kr](http://www.earth.or.kr)

---

DIN 4108-2 Waermeschutz und Energie-Einsparung in Gebaeude - Teil2: Mindestanforderungen an den Waermeschutz, 2003, Beuth Verlag in Berlin

---

DIN V 4108-6 Waermeschutz und Energie-Einsparung in Gebaeude - Teil3: Berechnung des Jahresheizwaerm e und des Jahresheizenergiebedarfs, Vornorm, 2003, Beuth Verlag in Berlin

---

DIN 4108-3 Waermeschutz und Energie-Einsparung in Gebaeude - Teil3: Klimabedingter Feutesschutz, Anfor derungen, Berechnungsverfahren und Hinweise fuer Planung und Ausfuehrung, 2001, Beuth Verlag in Berlin

---

Gernot Minke, Building with Earth, BIRKHÄUSER,2006

---

ISO 10211 Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calcul ations, 2007, ISO Store in Switzerland

---

ISO 13790 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, 200 8, European committee for standardization

---

Penerphit-Planerhandbuch, 2012, Passivhaus Institute in Germany

---

PHPP2007-Passive house project planning package 2007, 2007, Passivhaus Institute in Germany

---

참 고 웹 사 이 트

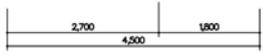
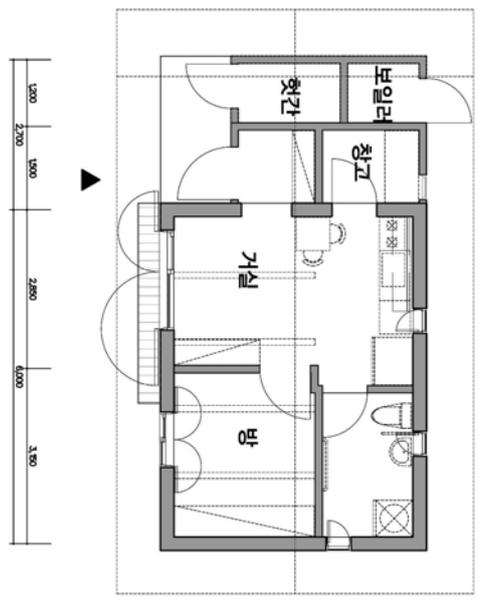
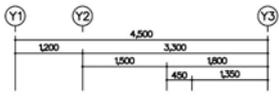
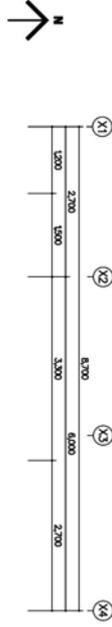
<http://www.index.go.kr>

<http://www.phiko.kr>

[별첨]

**부록 I 농어촌의 지역적 상황을 고려한 유연한 평면 계획\_**  
**10개 유형 평면도**

■ 농·어·출·형·그·린·출·표·준·모·델·개·발

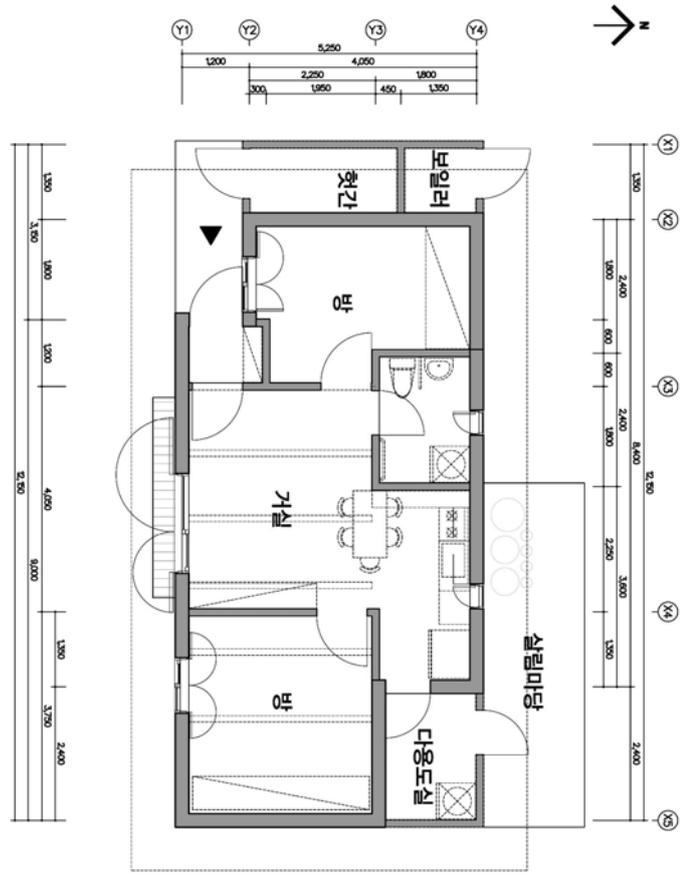


A 1층 평면도 AT V/00

□ 계원성종합건축사사무소  
G.E.W.SUNG ENGINEERING CORP., LTD.

① 1-2인기주택 생활형 1층평면도 A-201	
제출 일	2024. 01. 15
제출 번호	2024-01-001
제출 위치	1층

■ 농어촌형 그린출표준모델개발



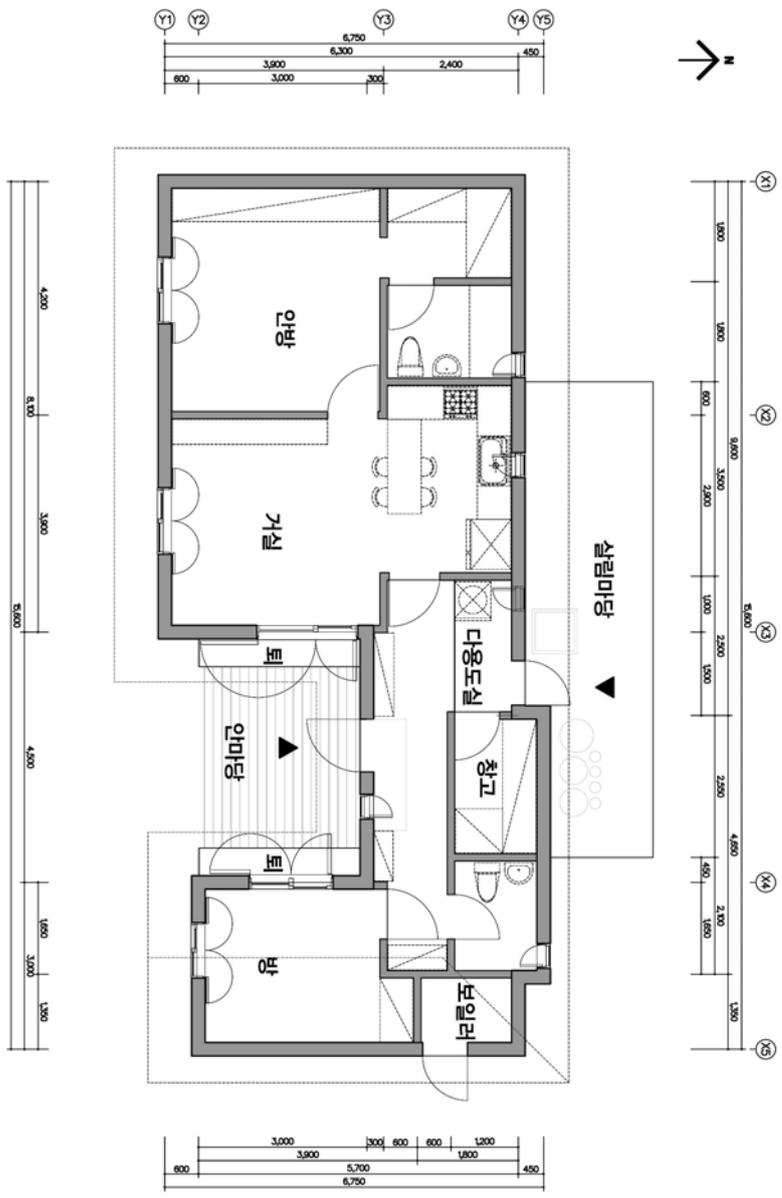
A 1층 평면도

1/100

□ 계원성종합건축사사무소  
GHEUMSUNG ENGINEERING CORP., LTD.

2-3인가족형	
1기주택형	
1층평면도	
제도	A-201
시도	
군구	
읍면동	
로번	
필도	

■ 농어촌형 그린출표준모델개발

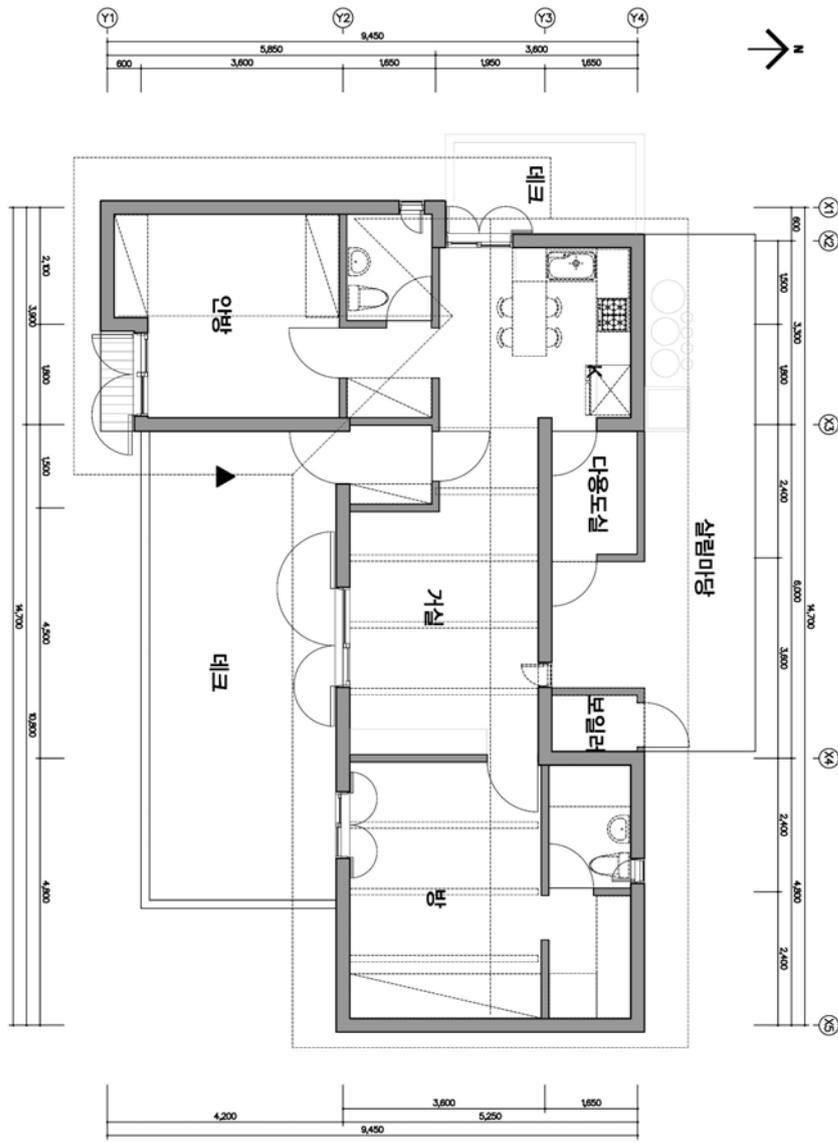


A 1층 평면도  
A4: 1/100

□ 계금성종합건축사사무소  
GEMSUNG ENGINEERING CORP., LTD.

2-3인가족형 전입농형 1층평면도 A-201
-----------------------------------

■ 농·어·출·형·그·린·출·표·준·모·델·개·발



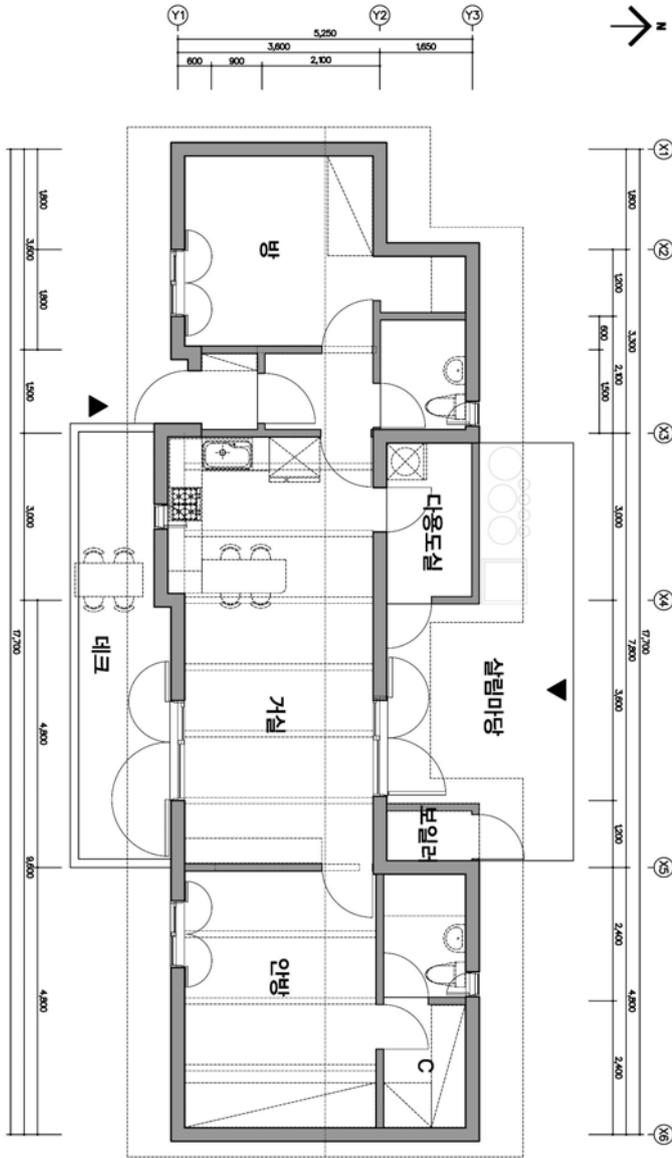
A 1층 평면도

단: 1/100

□ 세움건축종합건축사사무소  
GEUMSUNG ENGINEERING CORP., LTD.

2-3인거주형	
1층평면도	
도면명	A-201
제출일	
제출처	
제출인	
제출직	

■ 농어촌형 그린출표준모델개발



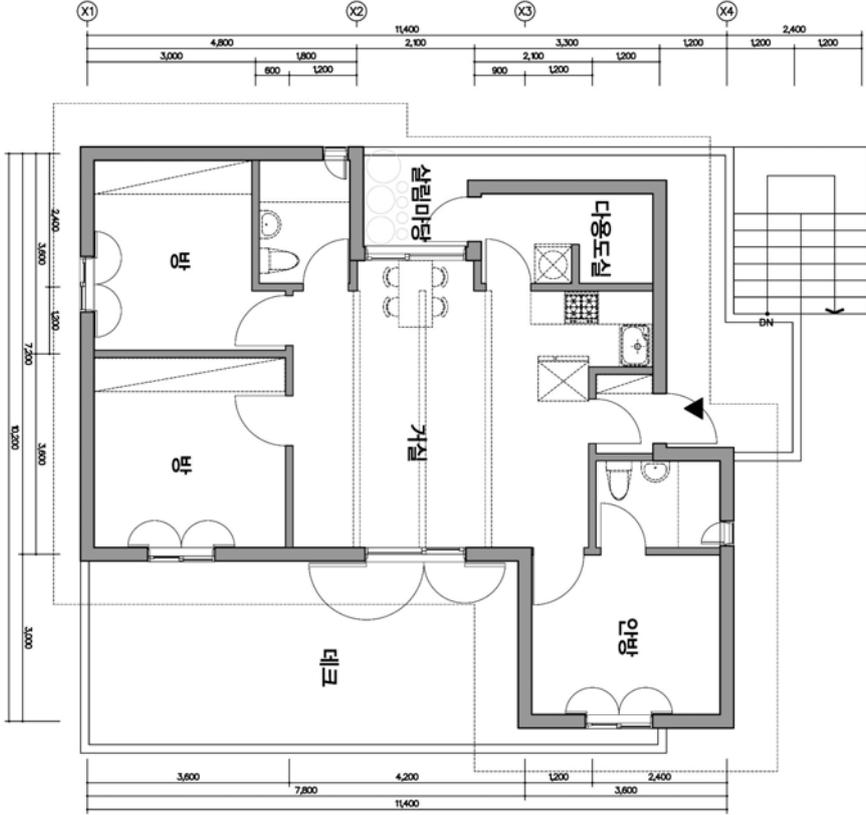
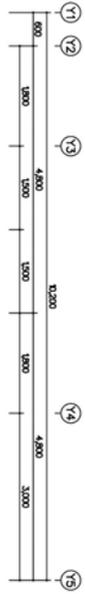
A 1층 평면도

44/1/00

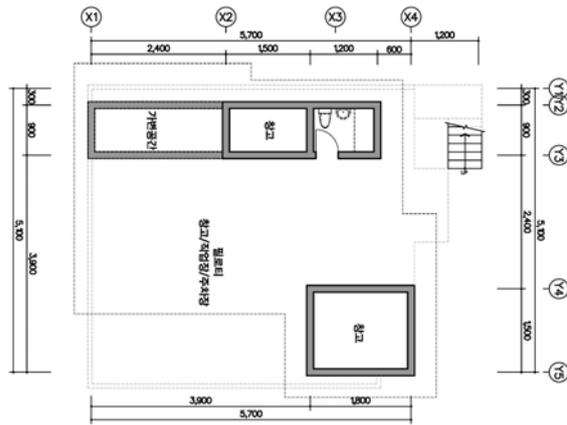
□ 세움건축종합건축사사무소  
SEUMSUNG ENGINEERING CORP.LTD.

⑤ 2-3인가주택 건설생활형 1층평면도 A-201	
제출일	2011. 11. 11
제출처	국립농어촌개발사업
제출인	김민준
제출번호	2011-11-11-001

농어촌형 그린출표준모델개발



A 1층 평면도 A4: V/100

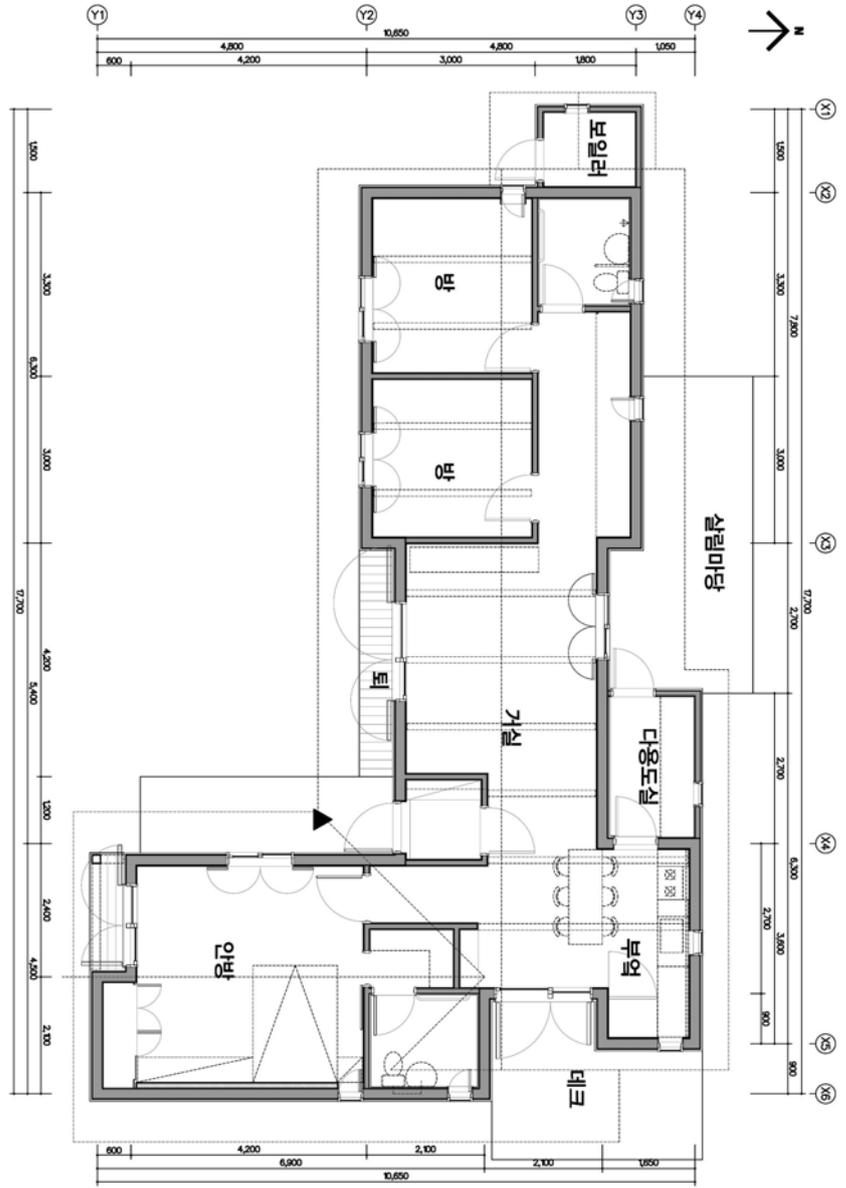


B 2층 평면도 A4: V/200

주최: 금성종합건축사사무소  
DESIGN: GUMSUNG ENGINEERING CORP.LTD.

3-4인가족형	
건안농형	
평면도	
A-201	

■ 농어촌형 그린출판표준모델개발



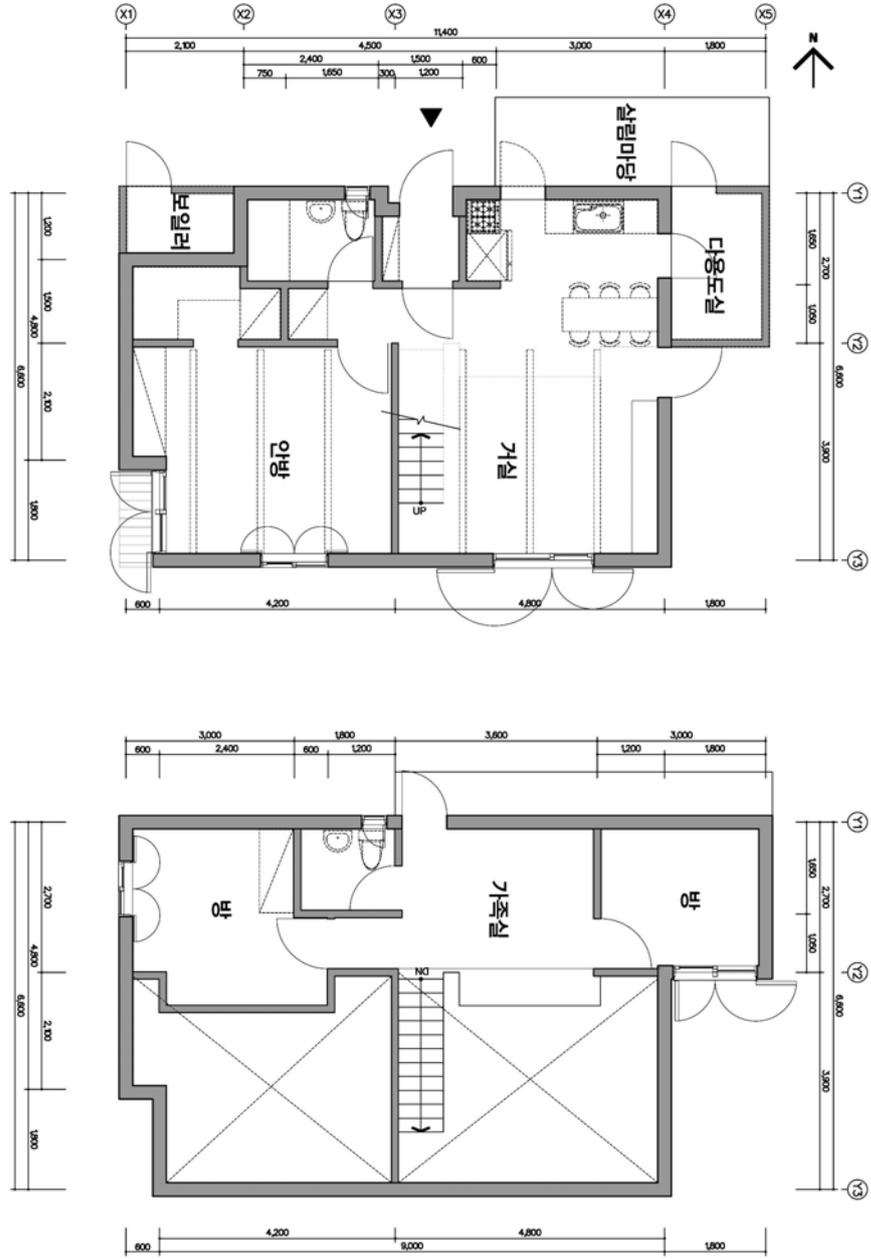
A 1층 평면도

441 V/00

□ 계원성종합건축사사무소  
GHEWUNG ENGINEERING CORP.LTD.

3-4인 가족형	
1층 평면도	
출도	A-201
제	
일	
년	

■ 농어촌형 그린출표준모델개발



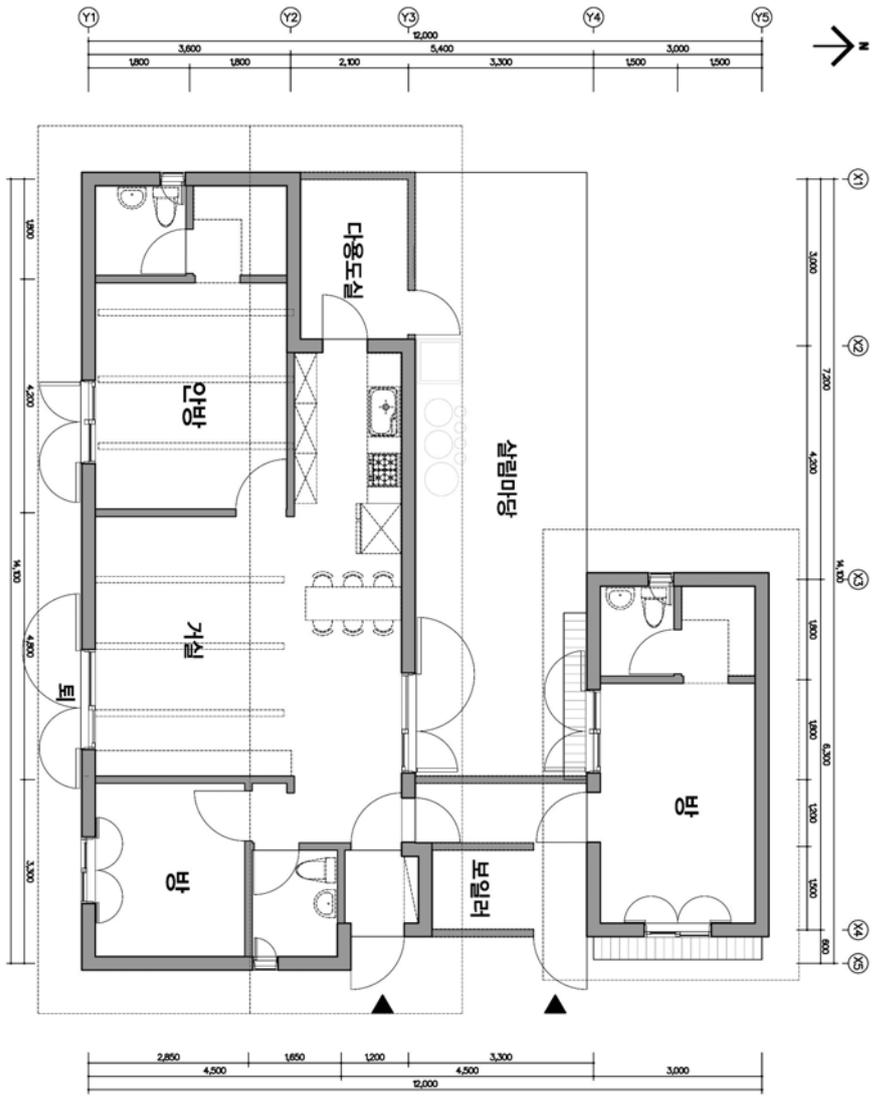
A 1층 평면도

B 2층 평면도

□ 세움건축종합건축사사무소  
 SEUMSUNG ENGINEERING CORP.LTD.

3-4인기숙형 전원생활형 평면도	
시공	A-201
제출	
작성	
확인	

■ 농·출·형·그·린·플·표·준·모·델·개·발



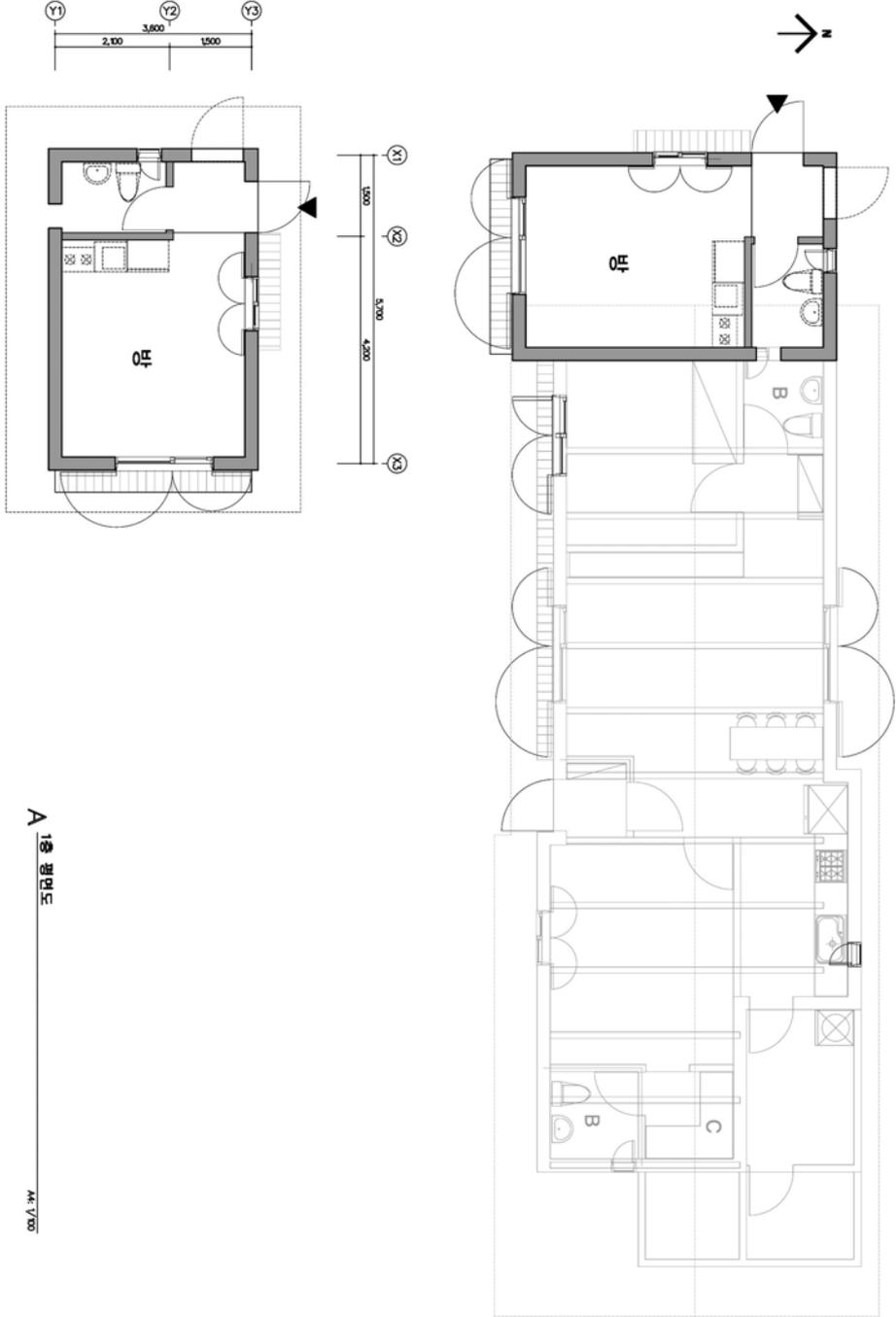
A 층 평면도

MM 1/100

□ 세움건축종합건축사사무소  
GEUMSUNG ENGINEERING CORP., LTD.

⑨ 3세대형	
다목적형	
1층 평면도	
제출	A-201

■ 농어촌형 그린출표준모델개발



A 1층 평면도

1/40

□ 세움건축종합건축사사무소  
SEUMSUNG ENGINEERING CORP.LTD.

⑩ 1-2인형 별채형 1층평면도 A-201
----------------------------------

[별첨]

## 부록Ⅱ 흡을 이용한 농어촌 그린홈 개발 방안

# 제 1 장 흙건축 공법 메뉴얼 작성

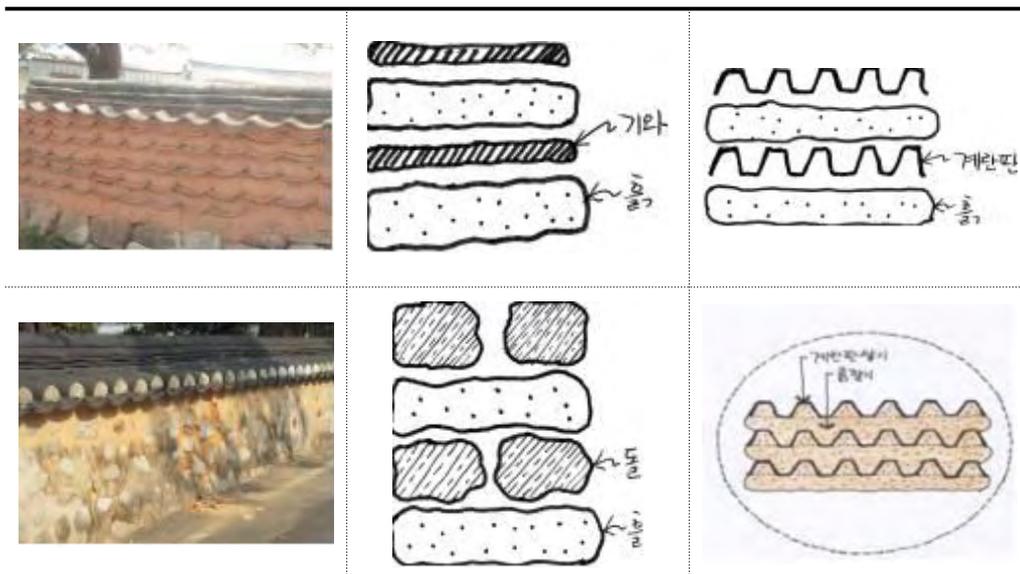
## 1절 개요

### 1. 적용범위

- 가. 본 흙건축 공법 메뉴얼은 흙집을 짓는 다양한 방법 중 계란판 공법(EP공법)에 한해 적용한다.
- 나. 계란판 공법은 흙집을 이루는 다양한 건축요소 중 건축물의 벽체에 한해 적용하는 것을 특징으로 하며 기초, 지붕 등의 시공법은 직접적으로 제안하지 않으며 일반적인 건축공사 메뉴얼을 참고하도록 한다.

### 2. 계란판 공법 : Ep(Egg Packing box)공법

- 가. EP벽체 개념은 전통 흙담에서 도입
- 나. 전통 흙담에 쓰이는 재료는 자연에서 얻을 수 있는 흙, 돌, 기와장 등을 사용
- 다. 벽의 기본적인 구성을 토대로 현대에 맞게 자연 친화적인 재료이며, 종이를 재활용해 만들어진 계란판을 도입
- 라. 주변에서 쉽게 구할 수 있는 계란판과 자연 상태의 흙을 사용한 공법임
- 마. 내재에너지가 적으며 재순환이 되고 재사용이 가능한 특징을 가짐
- 바. 시공이 간단하고 거푸집을 사용하지 않기 때문에 일반인들도 쉽게 벽체를 시공할 수 있고 공기 단축
- 사. 반죽질기는 소성상태 정도이며, 하루 작업높이는 1m ~ 1.2m로 한다.



### 3. 계란판 공법의 장 · 단점

#### 가. 장점

- 내재에너지 소비가 적으며 재료의 재사용 가능
- 시공이 용이하고 공기 단축
- 거푸집을 사용하지 않기 때문에 일반인들도 쉽게 시공 가능
- 벽체의 수직, 수평잡기가 비교적 쉬움
- 다른 흙건축 공법과 비교하여 재료비, 인건비 등이 경제적

#### 나. 단점

- 흙 배합 시 물이 너무 많이 들어갈 경우 벽체가 처짐

## 2절 EP 공법 재료의 선정

### 1. 흙의 특징

가. 흙은 자갈, 모래, 실트, 또는 점토의 집합체로서, 금속재료나 암반과 다른 점은 흙이라는 재료가 비연속체(discrete material)라는 사실임. 흙입자 그 자체는 각각의 입자 하나가 고체이지만, 고열이나 큰 압력에 의한 물리적 결합이 이루어진 것으로서 화학반응에 의한 화학적 결합이 아니기 때문에 각각의 입자는 강하게 부착되어 있지 않음.

나. 흙입자는 외력에 의해 쉽게 분리될 수 있으므로 입자 상호간에 위치변화가 쉽게 일어남.

다. 이러한 관점에서 보면 흙은 암반과 구별됨. 광물입자들이 쉽게 분리될 수 있는 반면, 암반은 영속적인 결합력에 의하여 강하게 부착되어 있음.

라. 비연속체 재료인 흙은 흙입자 사이에 압축성이 큰 공기와 비압축성인 물이 존재하고 있기 때문에 흙에 하중이 가해지는 경우 하나의 균질한 물질로 되어 있는 경우와는 달리 힘의 전달이나 변위가 단순하지 않은 특성이 있음.

### 2. 흙의 구성요소와 역할

#### 가. 자갈

- 크기는 2.5~200mm의 범위
- 모암이 풍화되어 생성된 작은 입자의 거친 재료로 구성
- 흙속에서 수축과 모세관 현상을 억제시킴

### 나. 모래

- 크기는 0.074~2.5mm의 범위
- 실리카나 석영 입자로 구성
- 점착력이 거의 없으며, 낮은 흡수력은 표면의 팽창과 수축을 억제시킴
- 콘크리트 골재로써는 흙 중에서 점토분과 실트를 제외한 모래와 자갈만을 사용함)

### 다. 실트

- 크기는 0.002~0.074mm의 범위
- 물리·화학적으로 사실상 모래의 조성파 동일
- 내부 마찰력 증가로 흙의 안정성을 줌
- 입자 사이의 수분막은 실트에 점착력을 부여 실트가 너무 많으면, 물에 대한 비표면적의 증가로 균열 유발.
- 자갈, 모래, 실트는 그 성질이 거의 같으며 다만 크기로 인하여 그 특성이 다르게 됨

### 라. 점토

- 0.002mm 이하의 범위로 물리·화학적 성질이 다른 요소들과는 다름.
- 흙을 흙답게 하는 요소
- 팽창과 수축에 매우 민감. 점토 입자들중 0.001mm 이하의 아주 미세한 입자를 콜로이드라 함
- 이것은 표면적이 크고, 그 표면의 성질이 특이하여 흙의 성질에 있어 중요한 역할을 함

### 마. 흙의 분류

흙의 종류

구분 \ 종류	1차 점토 (primary clay, Kaolin)	2차 점토 (secondary clay, Clay)
성 인	암석의 풍화	암석풍화물의 퇴적
주산지	산(山) 및 밭(田) 등	천(川), 논(漕)
구 조	1:1 구조 (2층구조)	1:2 구조 (3층구조)
주 성분	SiO <sub>2</sub> : 35 ~ 50 %	SiO <sub>2</sub> : 60 ~ 70 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 25 ~ 40 %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 10 ~ 20 %
입자 크기	조 립	미 립
주된 종류	고령토, 황토, 마사토, 발흙 등	통상 점토, 논흙, 뽕흙, 진흙 등

### 3. 흙의 강도 이론

#### 가. 입자 이론(particle theory)

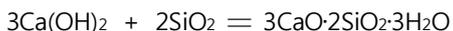
- 입자간 간극을 최소화함으로써 입자간의 인력을 최대화하여 응집 현상이 일어나게 하는 것
- 흙입자 간의 간격을 최소화하면 흙입자 간의 인력이 최대가 되어, 흙입자는 강한 응집을 나타내게 됨
- 입자 간에 공극이 없이 밀하게 충전될 경우에 가장 큰 응집을 보이게 되는데, 이를 최밀충진 효과(optimum micro-filler effect)라고 명명
- 흙입자 외부에서 물리적 힘을 가하여, 흙입자간의 거리를 가깝게 하는 것이 필요하며, 이를 이용한 것이 고압으로 흙벽돌을 찍거나, 미장칼로 흙을 눌러서 표면을 단단하게 하는 방법이 사용됨.
- 입자간의 간극을 가장 좁히는 것은, 공극을 최소화하는 것과 같은 의미인데, 동일한 용기에 콩만으로 채워진 시료와 콩, 쌀, 좁쌀이 함께 채워진 시료를 생각해보면 후자의 공극이 작고, 이것이 더 밀실하게 채워진다는 것을 알 수 있고, 후자의 것이 더 강한 힘을 발휘하게 됨. 흙에서도 마찬가지로, 자갈, 모래, 실트, 점토분이 골고루 섞여있게 배합하는 것이 관건이며, ACT16실험으로 결정함.

#### 나. 결합제 이론(matrix theory)

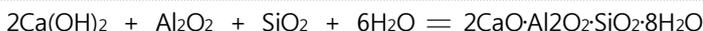
- 입자와 입자 사이를 엮어 주는 결합력이 강한 물질을 이용해 응결 현상이 일어나게 하는 것이며, 토립 미분과 외부로부터 투입되는 석회나 반응하는 포졸란 반응에 의한 강도발현 방법과 외부로부터 투입되는 천연유기물에 의한 강도발현 방법이 있음.
- 석회에 의한 포졸란 반응은 흙속의 실리카(SiO<sub>2</sub>)나 알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)가 석회의 알칼리와 반응하는 것으로서, 고대 로마시멘트나 우리나라의 회다지 등에 쓰였던 반응. 포졸란 반응은 크게 두가지가 있는데, 흙속의 실리카와 알칼리가 반응하여 CSH겔을 생성하는 Afillite반응과, 흙속의 실리카와 알루미나가 동시에 알칼리와 반응하여 CASH겔을 생성하는 Strätlingite반응이 있음. 이 두가지는 동시에 일어나게 되며, 이로 인해 강도가 발현됨.

#### 결합제 이론

##### Afillite 반응



##### Strätlingite 반응



#### 4. 집 주변에서 흙 구하기

##### 가. 흙건축의 좋은 흙

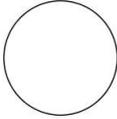
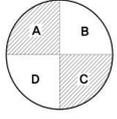
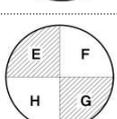
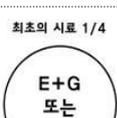
- 흙건축에서 좋은 흙이란 주위에 가까이 있고 구하기 쉬운 흙이 가장 좋은 흙이라고 할 수 있겠는데, 이는 신토불이와도 무관하지 않을뿐더러 흙집을 지었을 때 주변 여건과의 조화되는 점과 수송비 등 경제적 측면을 고려할 때 더욱 그러함.
- 따라서 어떠한 흙이라도 균열이 가지 않고 튼튼한 집을 지을 수 있도록 하는 기술이 필요함. 가능한 시멘트를 섞지 말고, 화학수지를 쓰지 않아야 하며, 아울러 흙은 굽지 않았을 때 흙(earth)이며, 일단 구으면 흙의 많은 특성을 잃어버리므로(ceramic) 굽지 않고 사용하는 것이 바람직함.
- 또한 좋은 흙재료란, 흙집에 사용된 후에 폐기되었을 때 다시 그 흙에 배추를 심어 재배할 수 있도록 하는 것이 가장 좋은 흙집재료라고 생각됨.
- 이상적인 흙의 구성비로는 점토 10%, 실트 20%, 모래, 자갈 70% 임. 하지만 우리나라의 흙의 구성비는 점토와 실트가 대부분을 차지함. 좋은 흙을 사용하기 위해서 점토나 실트를 추가하기보다는 자갈과 모래를 추가하여 비율을 맞춰주는 것이 좋음.

#### 5. 흙 실험방법

##### 가. 시료의 채취방법

- 건축에 사용된 흙을 채취할 때는 곁에 있는 표토의 경우 유기물이 많이 포함되어 있으므로 이를 제외한 심토를 채취하게 되는데 일반적으로 50~100cm 이하에서 채취해야 한다.
- 채취한 흙의 경우 시험 분석을 하기 전에 표본이 되는 시료를 채취하기 위해 아래와 같은 방법으로 시료를 선정한다.
- 흙 실험 시 흙 시료를 필요량만큼 덜어낼 때에는 원칙적으로 4분법이나 시료 분취기를 사용

시료의 채취 방법

시료의 채취 방법	
	a) 균일하게 펼침
 최초의 시료 1/2	b) 4등분하여 인접하지 않은 2개를 고름
	c) 고른 2개를 잘 섞어 혼합하여 균일하게 펼침
 최초의 시료 1/4	d) 다시 4등분하여 인접하지 않은 2개를 고름
	e) 고른 2개를 혼합한다. 분량이 너무 많을 때는 앞의 조작을 반복

나. 입도분석 방법

- 입도분석은 0.074mm 이상의 sand 입자는 체가름시험에 의해 분석하며, 0.074mm 이하의 clay, silt 입자는 레이저입도분석기를 활용하여 정밀 분석한다.
- 준비물은 시료채취법에 의해 채취한 흙, 건조로, 흙을 담은용기, 체가름시험기(체진동기, 크기별 표준체), 손삽, 저울, 분무기 등이 필요하다.
- 우선 채취한 흙 시료를 항량이 될 때까지 110±5℃의 온도로 약 24시간 동안 건조시킨다.
- 건조된 시료는 체가름시험에 따라 500g을 체크기 0.074, 0.15, 0.3, 0.6, 1.2, 2.5, 5mm의 체를 통과시켜 각각의 잔류량을 측정한다.
- 이때 입자가 고운 clay, silt 입자의 경우 작은 흙 알갱이 형태로 뭉쳐 있기도 하며 또한 sand 입자의 표면에 묻어 있어 건식으로만 할 경우에 정밀도가 떨어질 수 있다. 그러므로 물을 뿌려가면서 충분히 흙을 풀면서 체가름 하는 것이 좋다.
- 0.074mm 체를 통과한 입자들은 레이저입도분석을 실시하여 측정한다.
- 각의 입자들의 잔류량을 표로 작성한다.

## 6. 최적배합의 선정

### 가. 일반사항

- 우리나라 흙은 일반적으로 실트 질이 많이 포함되어 있어 채취한 흙을 반죽하여 사용할 경우에는 양생되는 과정에서 많은 균열이 생겨난다.
- 실트의 경우 모래에 비해 비표면적이 높기 때문에 실트질이 많은 흙을 반죽할 때는 많은 양의 물을 필요로 한다. 그러나 물을 많이 첨가하게 되면 양생 과정에서 결합에 필요한 물을 제외한 잉여수는 증발하게 되며 이 과정에서 많은 균열을 발생시키게 된다.
- 또한 발생한 균열로 인하여 흙구조물의 내구성 저하가 발생하기도 한다.
- 그래서 흙을 건축에 사용할 때는 내부의 공극을 최소화 할 수 있는 최밀충전배합의 선정이 필요하다.
- 최밀충전배합이란 흙의 입자들 사이에서 발생하는 공극이 최소화 된 배합을 말하며 입자 사이의 간격이 매우 가깝다. 이로 인하여 흙배합을 반죽하여 양생하는 과정에서 균열이 덜 발생하고 강도는 높은 특성을 갖는다.
- 그러므로 흙을 선정할 경우 흙이 적당한 입도를 갖는 배합 선정이 필요하며 일반적으로 모래를 섞어서 실트의 함량을 낮추게 된다.
- 이러한 최밀충전배합 선정 방법은 여러 가지가 있으나 여기에서는 단위용적중량 시험방법을 적용하고자 한다.

### 나. 단위용적중량 시험방법

- 흙 배합의 최밀충전배합을 선정하기 위한 방법으로 흙과 모래의 최적비율을 선정하는 방법이다.
- 준비물은 건조된 흙, 건조된 모래, 흙과 모래를 담는 용기, 흙과 모래를 혼합하는데 사용되는 용기, 최밀충전시험용 용기(약 1L), 손삽, 스패츄라, 저울 등이 필요하다.
- 건조된 흙과 모래를 일정한 용기(약 1L)에 일정비율의 중량 혹은 용적 비율별로 증감하여 혼합하여 채운다.
- 흙과 모래의 혼합할 때는 충분히 섞어주어 일정한 상태의 입도가 된 다음에 혼합하도록 한다.
- 용기에 흙을 채운 다음에는 용기 상단에 맞춰 남는 흙은 제거한 다음 저울에 올려 무게를 측정한다.
- 무게를 측정한 결과 가장 높은 중량을 나타내는 배합을 선정하면 되나 첨가율을 배합의 증가에 따라 무게의 증가량이 감소되는 구간에서부터는 사용이 가능하다고 판단해도 무방하다. 이러한 방법으로 비율별로 흙과 모래를 배합하여 무게를 측정한 후 흙과 모래의 적정 비율을 찾음

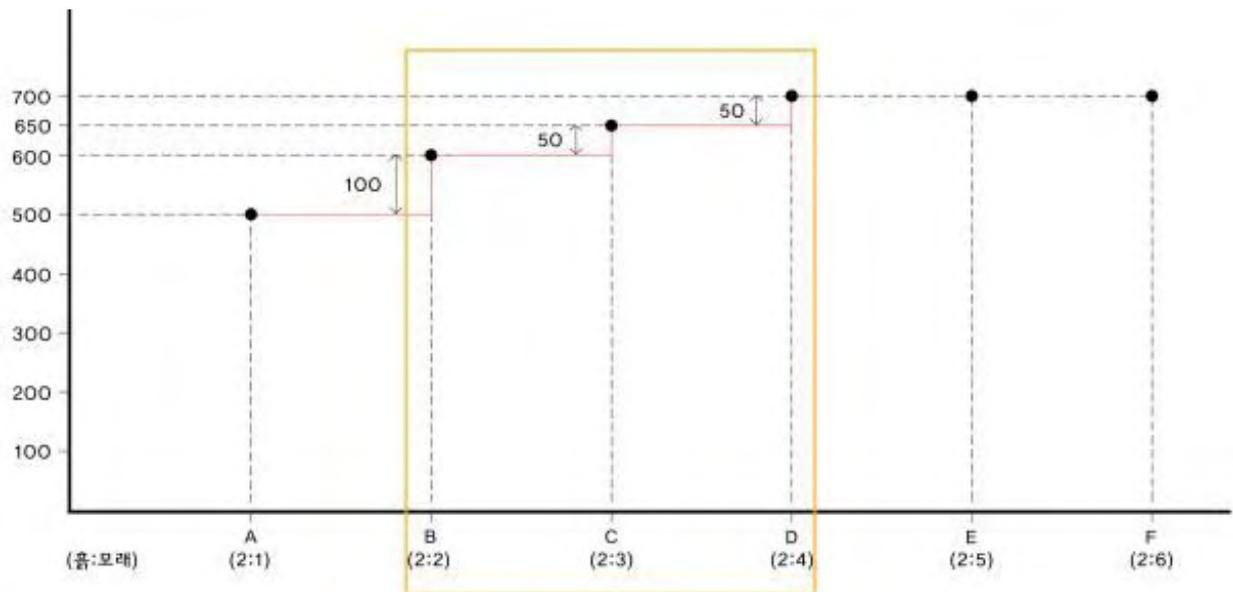
- 하지만 흙은 채취하는 장소에 따라 흙을 구성하는 입도가 다르다는 특징이 있기 때문에 최 밀충전 실험을 적용하여 채취 장소에 맞는 최적 배합비를 찾아야함



고운흙을 통안에 채움      윗 면을 평평하게 정리      모래도 흙과 같이 준비      흙+모래를 흔들어 섞음



통안에 배합된 흙을 채움      무게를 측정      실험 시트지를 준비      실험 시트지 작성



## 7. 적정 함수율의 선정

### 가. 일반사항

- 계란판 공법에 적당한 함수율은 10~20%이다.
- 흙배합의 입도에 따라 다소 차이가 있다.
- 흙배합에 물이 많을 경우 유동성이 좋지만 부착성이 떨어지기 때문에 흙벽으로 쌓기가 어렵고 쌓더라도 자중에 의한 처짐이 커지고 수축이 심하며 양생기간이 길어진다. 또한 시공 시 수직, 수평 등의 규준을 잡기 어렵다.
- 흙배합에 물이 적을 경우 흙배합에 유동성이 떨어져 흙을 배합하는 과정에서 힘이 들며 골고루 섞이지 않는 문제가 발생한다. 또한 유동성이 좋지 않기 때문에 계란판의 골 사이를 잘 채우지 않아 흙 벽의 내구성을 약화 시킬 수 있으며 마감이 어려운 문제가 있다.

### 나. 낙하테스트

- 최적배합이 결정된 흙의 경우 석회와 적당히 건믹싱을 한 다음 시공성에 적합한 양의 물을 첨가하게 된다.
- 물은 흙에 결합력과 유동성을 주어 시공을 용이하게 한다.
- 물은 깨끗한 물을 사용하도록 하며 기름기가 섞여 있는 물을 사용하지 않도록 한다.
- 계란판 공법에서 흙의 반죽질기는 소성상태를 기준으로 하며 이러한 흙의 반죽질기는 보통 낙하테스트에 의해 판단한다.
- 건축재료로 사용되는 흙의 최적 수분함유량과 흙의 기본적인 성질을 알기 위한 실험 낙하테스트는 흙의 함수율을 측정할 수 있는 간단하지만 나름대로 신뢰성 있는 방법이다.

### 다. 낙하테스트 방법

- 반죽된 흙을 적당량 떠서 손으로 볼 형태로 만듦
- 평평한 바닥을 실험 장소로 선정한 다음 테스트에 지장이 없도록 주변을 정리한다.
- 어깨 높이 (보통 1.5m) 정도에서 볼 형태의 흙을 자유낙하 시킴
- 바닥에 떨어진 흙의 모양을 보고 흙의 시공성을 판단함
- 흙이 여러 조각으로 떨어져 나간 경우 흙은 습윤상태로 물량이 부족한 상태이며 흙이 퍼질 경우는 흙에 물이 너무 많은 상태이다.

- 소성상태의 흙 반죽의 경우 조각나지 않으며 구형태의 흙이 찌그러진 형태로 균열이 없어야 하며 이때의 함수량이 적당하다고 할 수 있음



## 8. 결합재

### 가. 고강도석회

- 흙벽의 강도를 개선하고 또한 시공 후 양생되는 시간이 너무 길 경우 흙벽의 자중에 의한 처짐이 커지기 때문에 적당한 결합재의 선정이 중요함
- 고강도석회의 경우 일반 소석회에 비해 압축강도가 우수하며 강도 발현이 빨리 이뤄짐
- 백색 분말의 형상을 가지고 있으며 20kg 단위 백으로 포장되어 있음
- 흙배합량의 15% 내외를 사용함
- 고강도석회의 경우 물과 반응하여 강도 발현을 하므로 보관 시 물과의 적절한 격리가 필요함

## 9. 계란판의 선정

### 가. 규격 및 수량

- 일반적으로 계란판의 규격은 벽체의 두께를 결정하는 것으로 여러 규격의 계란판이 있으나, 시공 과정에서의 편의를 위해서 보통 300mm×300mm로 한다. 이러한 규격을 맞추기 어려운 경우 계란판의 어느 한쪽 면은 벽체의 두께와 같도록 해야 함
- 계란판은 한 개의 건축물을 짓기에 충분한 물량을 확보한 다음 공사에 사용하도록 한다. 규격이 비슷하더라도 모양이 조금 차이가 있는 계란판의 경우 계란판을 끼워 넣을 때 계란판의 형상에 의해 잘 맞지 않는 경우가 발생할 수 있으므로 이 점을 유의해야 함
- 계란판은 흙 속에 묻히는 재료이므로 가능하면 이물질이 붙어 있지 않는 재료를 선정하여야 함

### 나. 재질

- 계란판의 재질은 종이질로 된 것을 선정하여야 함

- 종이질 계란판의 경우 물을 흡수하기 때문에 흙과의 결합이 용이함
- 흙을 사용하여 벽체를 형성하는 계란판 공법은 흙 속에 들어가는 계란판이 흙과 충분한 부착성을 가지고 결합하여야 양생 후에 재료분리가 일어나지 않으며 일체화 되어 강성을 확보할 수 있음
- 또한 종이질 계란판의 경우 현장에서 별다른 기구 없이 적당한 크기로 제단이 가능하여 시공 상 편의를 더함
- 일부 플라스틱, 비닐 등의 재질로 된 계란판의 경우 물이 흡수되지 않아 흙벽 시공은 가능하나 흙이 잘 붙지 않으며 양생 후에도 분리되기 쉬움
- 또한 플라스틱 계란판의 경우 흙과 일체화 되지 않기 때문에 흙벽의 내구성을 약화시킬 수 있음

### 3절 EP공법 시공

#### 1. 조건

- 계란판 공법의 기초는 온통기초를 하는 것을 원칙으로 하며 기초의 높이는 30cm 이상으로 한다.
- 기초의 크기는 건물의 크기와 일치되게 하여 기초판을 타고 빗물이 흙벽하부에 전달되지 않도록 한다.
- 기초판 상부 모서리는 면목으로 경사를 주어 흙벽을 타고 내려오는 빗물이 기초에 고이지 않게 한다.
- 기초 주변에는 배수로를 설치하여 건물 주변에 물이 고이지 않게 한다.
- 비가 내릴 경우 바닥에 떨어지거나 벽에 부딪힌 빗물이 흙벽에 전달되지 않는 구조로 기초를 시공한다.

#### 2. 일반사항

- 기초 완성 후 흙을 일정한 높이(10~20cm)만큼 쌓은 다음 계란판을 놓은 후 다시 반복 함
- 계란판을 서로 맞물리도록 함
- 계란판을 놓은 후 눌러줘야 공간에 흙이 잘 채워짐
- 하루 쌓기 높이는 1m정도 - 흙이 소성상태이기 때문에 높게 시공할 경우 자중에 의해 처짐, 배부름, 휨 등의 현상 발생방지
- 강도 및 건조시간을 고려 석회 등을 혼합하여 사용가능
- 벽체길이 3m가 넘을 시 기초부터 수직철근 연결 간격@600마다 설치하여 횡력 보강

### 3. 재료준비

- 흙은 표토를 제거한 심토를 채취하며 흙쌓기가 완료하기에 충분한 양을 준비한다.
- 공사 진행 중 비가 올 수 있으므로 적당한 덮개를 준비하고 비가 올 경우에는 흙주변에 배수구를 만들어 가능한 흙이 물에 젖지 않도록 한다. 흙이 물에 젖을 경우 흙을 쌓아놓은 위치에 따라 함수율이 다르게 되어 반죽할 때 일정한 물량으로 반죽하기가 어려우며 매번 다른 물량을 맞춰야 되므로 번거로워진다.
- 모래는 해사, 육사 등 모두 사용이 가능하지만 모래의 입도에 주의를 해야 된다. 모래가 5mm 보다 큰 입자들이 너무 많을 경우 마감하는 과정에서 굵은 모래로 인해 표면이 매끄럽지 않거나 손에 상처가 날 수 있으므로 주의한다. 모래가 너무 고운 경우에도 상황에 따라 균열을 유발할 수 있으므로 주의한다.
- 모래 또한 비가 올 경우를 대비하여 덮개를 준비하고 비가 올 경우에는 배수로를 만들어 물에 젖지 않도록 한다.
- 석회는 강도발현이 빠른 고강도석회를 사용하도록 하며 물에 젖지 않도록 하며 바닥에서 적당한 거리를 두고 적재하며 비를 피할 수 있도록 보관한다.
- 물은 깨끗한 물을 사용하도록 하며 기름기가 섞여 있는 물을 사용하지 않도록 한다.
- 모든 재료는 공사를 하는 부지 내에 위치하여야 하며 가능하면 반죽하는 곳과 가깝게 배치하여 운반 작업을 최소화 하도록 한다.
- 목재는 흙쌓기를 할 때 가이드 역할과 기둥역할을 하게 되는데 계란판 공법에서는 구조목 2“6”를 사용한다. 목재는 휘거나 구부러지지 않은 반듯한 재료를 사용하여야 벽체의 수직을 잡는 가이드 역할을 잘 하게 된다. 또한 목재가 썩거나 웅이가 등 기타 목재로써의 결점이 적은 것을 사용하도록 한다.
- 목재는 충분히 건조된 목재를 사용하며 물에 젖어있는 목재는 충분히 건조해서 사용하도록 한다.
- 목재는 함수율이 높기 때문에 물을 잘 흡수하며 많은 물을 흡수하면 무게가 늘어나며 제단이 어렵고 목재의 성질이 변하므로 주의하여야 한다.
- 목재는 가능하면 바닥과 격리시켜 보관하며 물이 직접 닿지 않도록 한다.

### 4. 가이드(목재 규준틀) 설치

#### 가. 일반사항

- 계란판 공법은 거푸집을 설치하지 않고 시공하는 흙쌓기 공법으로 일정한 두께의 흙을 계란판과 같이 쌓아올리는 흙건축 공법이다.

- 이러한 계란관 공법은 벽체를 세워가는 과정에서 흙벽의 수직도를 유지하여 지붕의 하중을 버티고 이를 기초에 잘 전달해야 한다.
- 가이드는 흙벽체의 수직과 수평을 잡아주는 중요한 역할을 하게 된다.

#### 나. 역할

- 가이드는 기초 위에 설치되어 계란관 공법의 흙쌓기 과정에서 벽체의 수직을 잡아주는 역할을 하게 된다. 계란관 공법에 사용되는 흙의 반죽질기는 소성상태이기 때문에 흙쌓기 과정 중 자중에 의해 처짐이 발생한다. 또한 계란관사이의 흙의 채움 두께가 차이가 날 경우 벽체의 처짐이 발생하게 되어 벽체가 기울어지는 경우가 발생하게 된다.
- 벽체가 기울어질 경우 지붕의 하중을 버티지 못할 수도 있으며 다 쌓고 나서도 처짐이 심해짐. 심한 경우 쌓는 중에 넘어감
- 마감 후에 벽체가 기울어진 경우 비에 의한 침식이 다른 곳에 비해 심하게 나타나 벽체의 내구성 저하를 가져옴
- 또한 흙벽을 쌓는 중 벽체의 수직이 맞지 않을 경우 벽체가 배부름 현상이 나타나게 된다. 벽체의 배부름 현상이 계속될 경우 기초의 마감선과 지붕의 마감선에 차이가 발생할 수도 있으며 마감에도 영향을 줄 수 있으므로 시공 중 가이드에 맞춰 잘 시공해야 되며 필요시 두꺼운 흙벽을 깎아 내야 한다.

#### 다. 형태

- 가이드는 기초 바닥에 단단히 고정되어야 하므로 '┌'자 형태로 만든다. '┌'자의 짧은 부재의 길이는 60cm로 하며 긴 부재의 길이는 벽체의 높이만큼 제단 한다.
- 2개의 부재는 '┌'자 형태가 되도록 짧은 부재의 중앙에 긴 부재의 한쪽 끝을 맞대어 못이나 목재용 피스로 단단히 고정한다. 이때 2개가 이루는 각은 직각이 되도록 하여야 한다.

#### 라. 설치위치

- 가이드의 설치에 앞서 기초 콘크리트 위에 벽체의 내부 마감선에 먹줄을 놓는다. 벽체의 외부의 마감은 기초의 끝과 동일하므로 먹줄은 놓지는 않는다.
- 가이드는 내부 마감선에 맞춰 '┌'자의 짧은 부재가 바닥에 가도록 하며 짧은 부재의 긴 변이 마감선과 일치하도록 배치한다.
- 가이드의 배치 간격은 '┌'자의 긴 부재사이가 1m 내외가 되도록 배치한다. 가능하면 한 벽체에 설치된 가이드의 배치 간격은 일정하게 한다.
- 개구부의 경우 가이드의 배치 간격이 1m가 되지 않을 경우에는 개구부 틀의 양측면이 가이드

드의 역할을 대신하도록 하며 개구부 틀의 두께는 보통 벽체 두께와 동일하게 한다. 또한 개구부 틀의 양측면의 중앙부에 벽체의 높이만큼 38mm×38mm의 각재를 설치하여 흠쌓기 후에 발생할 수 있는 재료분리로 인한 바람길을 차단할 수 있게 한다. 또한 흠쌓기 과정에서 개구부 틀에 변형이 생기지 않도록 개구부 틀을 보강한다.

- 창문틀의 경우 단독으로 창문틀을 설치한 경우에는 상, 하단에 뿔을 60~90mm내어 벽체와의 긴결성을 높일 수 있게 한다.
- 창문틀 하단의 경우 물이 고이는 것을 방지하기 위해 15°이상의 각이 지게 하거나 하단의 목재가 벽체 밖으로 빠져 나오게 하여 물이 벽체로 스며들지 않도록 턱을 설치하여야 한다.
- 모서리의 경우에는 벽체의 한 쪽 끝에만 1개의 가이드가 설치되도록 한다.
- 가이드를 바닥에 고정할 때는 스테드 볼트를 사용한다. 콘크리트 기초 바닥에 구멍을 뚫고 가이드의 짧은 변에도 구멍을 뚫은 다음 볼트로 강하게 고정한다.
- 고정하는 과정에서 가이드의 짧은 부재의 수평을 맞춘다. 수평자를 사용하여 짧은 부재의 수평을 확인한 다음 와셔를 짧은 부재와 기초콘크리트 사이에 넣어서 높낮이를 조정하여 수평을 맞춘다.
- 또한 가이드의 긴부재를 수직으로 맞춰야 되는데 이때는 긴 부재에 가새를 설치하여 수직을 맞춘다. 가새는 움직이지 않도록 바닥에 강하게 고정한다.
- 각각의 가이드를 고정한 다음 'L'자형 가이드의 긴 부재의 끝부분에 38mm×140mm 각재를 사용하여 가이드들을 연결한다. 이 각재의 역할은 긴부재의 가이드가 흠쌓기 과정에서 수직도 변화를 최소화 해주면서 가이드를 강하게 고정하는 역할을 하게 된다. 또한 이 각재를 고정함으로써 각각의 가이드의 움직임을 막기위해 설치한 가새를 일부 철거할 수 있게 하고 작업동선을 추가로 확보하여 시공성을 높일 수 있도록 한다.

참고사진

가이드 설치



내벽 먹줄 시공



각재 제단



'L'자형 가이드 조립



'L'자형 가이드 바닥 고정



바닥판 고정



문틀 측면 각재 고정



창문틀 하부 단열재 채움



가이드 상부 부재 연결

## 5. 흙 반죽하기

### 가. 일반사항

- 흙 반죽질기는 소성상태로 한다. 흙쌓기를 할 때 흙 위에 계란판을 올려 놓을 때 계란판의 골 사이에 흙이 잘 들어갈 수 있는 정도의 반죽질기가 가장 좋다.
- 흙을 반죽하기에 앞서 최밀충진배합을 선정하고 1회 반죽량을 결정한 다음 각각의 재료가 1회 반죽에 소요되는 양을 확인하고 숙지해야 한다.
- 또한 흙을 반죽하는 곳의 위치는 공사에 지장을 주지 않으며 사람들의 동선에 제한을 두지 않는 범위에서 가능한 시공위치와 가깝게 선정한다.
- 흙을 반죽하는 방법은 기계를 이용하는 방법과 인력으로 하는 방법으로 나눌 수 있다.
- 흙에 물을 넣어 반죽할 때 점성이 매우 크다. 특히 계란판 공법에 적당한 반죽질기는 소성상태로 점성이 매우 크기 때문에 반죽하는데 많은 힘을 쓰게 된다. 그렇기 때문에 힘을 덜 쓰게 되는 믹서를 사용하지만 믹서가 없는 경우에는 인력이나 굴삭기(포크레인)에 의해 반죽을 하기도 한다.

### 나. 믹서에 의한 반죽

- 흙과 모래 그리고 석회를 적정비율에 맞게 믹서기의 드럼에 넣는다. 이때 믹서기의 용량을 고려하여 그 양을 조절한다. 물을 넣지 않은 건믹싱의 경우에는 큰 무리가 가지 않으나 물을 넣게 되면 점성이 매우 커지기 때문에 이때를 고려하여 1회 믹싱량을 결정한다.
- 흙과 모래, 석회가 충분히 섞이도록 믹서를 회전시켜 충분히 건믹싱을 한다.
- 건믹싱이 완료되면 믹서를 멈추지 않은 상태에서 적당량의 물을 부어 넣는다. 이때 믹서는 계속 회전하고 있으므로 안전에 주의를 해야 한다.
- 만약 믹서기를 멈췄다 다시 돌리게 될 경우 물과 반죽된 흙배합의 점성에 의해 과부하가 걸린 믹서가 회전 하지 못할 수 있으므로 가능하면 물을 넣은 후에는 반죽을 빼기 전까지는 믹서를 멈추지 않도록 한다.
- 반죽이 균일해지도록 충분하게 믹싱을 한 다음 반죽을 빼낸다. 빼낸 반죽은 낙하테스트를 통해 간단한 반죽질기를 확인한 다음 흙쌓기에 사용하도록 한다.
- 기계믹서의 경우 재료를 넣을 때 컨베어를 사용하게 되면 노동력을 줄일 수 있으며 또한 안전을 확보할 수 있다

#### 다. 인력에 의한 반죽

- 인력에 의해 반죽할 때는 반죽하기에 충분하고 평평한 위치를 선정해야 한다. 또한 주변에 이물질이 적고 단단한 장소가 좋다. 흙을 반죽하는 과정에서 바닥이 약할 경우 삽 등에 의해 바닥이 파이면서 배합에 섞일 수 있으므로 주의해야 한다. 또한 바닥이 기울어져 평평하지 않은 경우 물을 넣어 반죽할 때 물이 낮은 쪽으로 흐르거나 건믹싱 과정에서 흙이 흐트러지기 쉽다.
- 흙과 모래, 석회를 적정비율로 부어 넣은 다음 보통 삽을 이용하여 충분히 건믹싱한다. 여기에 물을 넣은 다음 점성이 커서 삽질이 어려울 때까지는 삽으로 하며 이후에는 받을 이용하여 흙을 밟으면서 반죽하도록 한다.
- 인력에 의한 반죽의 경우 물을 넣어서 반죽할 때는 점성이 커서 흙을 뒤집거나 섞기가 매우 어려우므로 충분한 건믹싱을 하여야 한다.
- 인력에 의한 반죽방법은 많은 노동력을 요하므로 공사규모가 커지거나 1일 시공량이 많을 경우에는 이에 맞는 적당한 방법을 모색하는 것을 추천한다.

#### 라. 굴삭기에 의한 반죽

- 굴삭기를 이용하여 반죽하는 경우에는 흙을 반죽하기 위한 구덩이를 판 후 그 안에서 믹싱을 하도록 한다. 굴삭기의 용량에 따라 적당한 크기의 구덩이를 파고 여기에 적정배합의 재료를 넣은 다음 굴삭기를 이용하여 계속적으로 반죽하여 사용한다.
- 굴삭기를 사용할 때는 1회 반죽량이 많기 때문에 충분한 양을 준비한다. 특히 배합수의 경우 구덩이를 파거나 굴삭기의 삽이 들어갈 수 있는 큰 물통을 준비하여 반죽하는 중에 멈추는 일이 없도록 한다.

#### 마. 흙반죽의 적정 사용시간

- 반죽된 흙은 1시간 이내에 사용하도록 하며 1시간이 지난 경우 경에는 부착성이 떨어지며 강도가 저하될 수 있으므로 사용을 지양한다.
- 날씨가 더운 여름의 경우 온도가 높기 때문에 슬럼프 저하가 빨리 일어날 수 있으므로 흙배합의 반죽질기를 확인하면서 사용하도록 한다.
- 이미 굳어진 흙반죽은 재사용하지 않도록 한다. 특히 물을 더 넣고 반죽하여 재사용할 경우 강도 저하가 심하므로 주의를 요한다.

흙 반죽하기

흙 반죽하기



건믹싱



인력에 의한 흙 반죽



컨베이어를 이용한 재료 투입



팬타입 믹서를 활용한 흙반죽



드럼형 믹서를 활용한 흙반죽



굴삭기를 활용한 흙반죽



반죽 완료된 흙



반죽질기 (낙하시험 : 소성상태)

## 6. 흠쌓기

### 가. 일반사항

- 흠을 쌓기에 앞서 벽체가 들어서는 기초 상단의 톱밥, 먼지 등의 이물질을 제거한 다음 물축임을 실시한다. 흠쌓기는 물축임 후 실시하는데 고여 있는 물은 제거한 다음 흠쌓기를 시작한다.
- 반죽이 완료된 흠반죽은 대야, 손수레 등을 이용하여 쌓는 곳까지 이동한다.
- 흠쌓기는 흠과 계란판을 번갈아 가면서 쌓아올린다.
- 먼저 기초 바닥면에 그려진 먹줄에 맞춰 흠을 쌓아 올린다. 흠은 벽체의 폭에 맞춰 빠진 곳 없이 쌓으며 벽체 길이 전체를 한 번에 쌓는 것이 시공이음이 발생하지 않아 좋다.
- 흠쌓기의 높이는 1회 5cm로 한다. 흠이 너무 적을 경우 계란판이 너무 많이 소요되며 시공기간이 길어진다. 반대로 흠이 너무 많을 경우에는 시공 후 처짐이 커지며 수직을 잡기 어렵게 되어 벽체의 배부름 현상이 발생할 가능성이 있다.
- 다음으로 계란판을 흠 위에 올려 놓는다. 이때 계란판의 아래쪽 골에 흠이 충분히 채워지도록 힘을 실어서 눌러주어야 한다.
- 계란판의 적정 겹침 단위는 계란판의 1골을 기준으로 한다. 벽체의 양 끝에 있는 계란판의 경우 한쪽 면만 겹치게 되며 그 사이에 있는 계란판의 경우 양쪽면이 겹치게 된다.
- 계란판 위에 다시 흠을 쌓아 올릴 때는 계란판 상부에 있는 골에 흠이 충분히 채워질 수 있도록 눌러주어야 한다.
- 계란판과 흠이 잘 접촉될 경우에 벽체의 강성을 충분히 확보할 수 있으므로 이에 대한 주의를 요한다.
- 목재 가이드가 설치된 곳의 계란판은 가이드의 위치에 따라  형태의 모양으로 제단 하여 시공한다. 가이드부분은 계란판의 단면이 작아지므로 이부분에서의 계란판 겹침은 확실히 해야 한다.
- 모서리 부분은 계란판이 한쪽에만 겹쳐지고 직각의 형태로 마감을 해야 되기 때문에 흠을 잘 채우지 않으면 처짐 현상이 발생하기 쉬우므로 주의를 요한다.
- 모서리 부분에 처짐 현상이 나타날 경우에는 모서리 부분 안쪽에 굵은 골재를 2~5개 정도 넣어서 처짐 현상을 완화할 수 있다.

### 나. 개구부쌓기

- 개구부를 쌓을 때는 개구부 틀에 맞춰 시공하며 잘 접촉되도록 맞댄 면을 잘 눌러준다.
- 계란판은 개구부 틀에 고정된 38mm×90mm 각재에 맞춰  모양으로 제단 하여 사용하여 벽체와의 접촉이 잘 이뤄지며 재료분리가 발생하더라도 문제가 크게 일어나지 않는다.

- 개구부를 쌓을 때는 개구부 틀과 흙벽의 일체화를 위해 약 60cm 간격으로 못이나 긴결철물을 설치하도록 한다.
- 창문의 경우 하단에는 계란판을 쌓는 경우도 있으나 상단의 경우 하중 부담을 줄이기 위해 단열재로만 채우기도 한다. 또는 상, 하단 모두 단열재만을 채워 마감하기도 한다.
- 창문 하부에 흙쌓기를 할 경우에는 흙벽의 두께가 창문틀 하부보다 두껍게 시공되어 밖으로 나가지 않도록 주의한다.

#### 다. 수직 수평

- 벽체의 길이가 길 경우에는 시공하는 높이가 일정하게 올라가야 되며 상황에 따라 가이드 중간 중간에 수평실을 띄워서 벽체의 수평을 검토할 필요가 있다.
- 흙벽체의 수직도는 시공 중에 주기적으로 확인해야 한다. 수평자, 수평추, 트랜싯 등을 이용하여 벽체의 수직도를 확인하고 필요한 경우 수정한다.
- 벽체의 길이가 길 경우나 높을 경우에는 수직, 수평 방향으로 배불림 현상이 나타날 수 있으므로 주의한다.

#### 라. 조인트 및 이어쌓기

- 1일 시공 후 다음날 쌓을 때 마지막은 계란판을 올려놓고 무거운 돌이나 벽돌 혹은 나무를 이용하여 눌러 놓는다.
- 이슬, 서리, 안개가 낄 경우에는 양생이 되지 않은 흙벽체가 젖는 것을 대비하여 비닐, 천막 등으로 흙벽을 덮어 보호해야 한다.
- 비가 올 경우에는 흙쌓기를 이어서 할 경우에는 계란판에 분무기, 붓 등을 이용해 간단히 물 축임을 한 다음 이어 쌓기를 한다.

#### 마. 표면마무리

- 표면 마무리는 일반적으로 손으로 한다. 계란판이 겹겹이 쌓이면서 생기는 자연스러운 질감을 살리는 경우에는 손을 사용한 마무리가 좋다.
- 마무리 면에 턱이 생기지 않도록 한다. 턱이 생길 경우 물이 고이거나 빗방울의 타격에 의해 벽체의 내구성이 저하된다.
- 일반적으로 마무리 면은 거친 것보다 매끈하게 처리하는 것이 내구성에 좋다.
- 마무리 할 때는 계란판이 밖으로 노출되지 않도록 한다. 흡수율이 높은 계란판이 밖으로 노출되면 비나 눈이 올 경우 계란판이 물을 흡수하여 내부에 팽창이 발생할 수도 있으며 벽체 내부로 물이 침투 할 수 있으므로 주의한다.

- 또한 겨울에는 이러한 부분에 동결현상이 발생할 경우 표면이 깨지거나 부스러지는 현상이 발생할 수 있으므로 주의를 요한다.
- 외부에 추가적으로 미장을 할 경우에는 개구부, 기둥 등 이질재료의 이음면에 균열을 막기 위한 메쉬를 부착한 후 미장하여 흠벽과 분리되는 것을 방지한다.

흙 쌓기

흙 쌓기



계란판 검침



계란판 1단 쌓기 과정 1



계란판 1단 쌓기 과정 2



계란판 1단 쌓기 과정 3



계란판 1단 쌓기 과정 4



계란판 1단 쌓기 과정 5



계란판 1단 쌓기 과정 6



계란판 1단 쌓기 과정 7 (완료)



하루쌓기 높이 1~1.2m



계판판 눌러 놓기



계란판 겹쳐 놓기



흙쌓기



계란판 제단(가이드 부분)



계란판 올려놓기(가이드)



표면 처리



EP 마무리 후 표면 결

## 7. 양생 및 보양

- 흙쌓기를 완료한 직후부터 1일간은 벽체 위쪽에 하중을 가하지 않도록 한다. 지붕공사를 위한 중량물을 올리거나 보행하는 일이 없도록 한다. 흙벽체가 충분한 강성을 확보하지 않은 상태에서의 이러한 하중의 부담을 흙벽체의 처짐을 유발할 수 있으며 내구성을 저하시킬 우려가 있으므로 주의한다.

- 흙쌓기 중이나 완료 후 지붕을 씌우지 않은 상태에서 흙벽체가 비에 노출될 경우 상부면이 비에 의해 침식될 우려가 있으므로 비닐, 천막 등으로 적절히 보양해야 함
- 겨울철 온도가 낮아 벽체의 강성확보 시간이 지연될 경우에는 충분한 강성이 확보될 때까지 외력을 가하지 않도록 함

## 8. 테두리보 : 콘크리트, 나무

- 테두리보는 지붕의 하중을 벽체에 균등하게 전달하는 역할을 하는 것으로 일반적으로 나무, 콘크리트 등의 재료를 사용한다.
- 테두리보는 벽체의 강성이 충분히 확보된 다음에 실시하는 것을 원칙으로 한다.
- 콘크리트 테두리 보의 경우 품은 폭(두께)의 1.5배 이상으로 한다.
- 콘크리트 테두리보의 경우 계란판 쌓기 벽체 상단에 철근을 매립하여 흙쌓기를 실시한다. 철근의 정착길이는 40d 이상 구부려 내려 유효하게 정착시켜야 한다.
- 테두리보를 목재로 하는 경우에는 보통 단층의 경우에 실시하며, 벽두께가 벽 높이의 1/16이상인 경우, 벽 길이가 5m 이하인 경우에 실시한다.
- 목재의 경우 가이드의 상단에 고정하여 시공이 가능하다.

목재 및 콘크리트 테두리 보



## 9. 내외부 마감

- 흙쌓기 후 벽체가 충분히 양생된 다음 흙벽의 내구성을 높이기 위해 마감을 시공한다. 마감재는 흙벽에 발수 및 방수효과를 부여하여 흙벽 내부로 물이 침투하는 것을 방지하며 흙이 부스러지거나 옷에 묻어나는 것을 방지한다. 또한 흙벽에 다양한 색상을 부여할 수도 있다.
- 흙벽 이외에 외부로 노출된 목재의 경우에도 오일스테인 등의 시공으로 내구성을 증진시킬 필요가 있음

- 마감재의 종류는 칩쌀풀, 전분풀, 해초풀, 느릅나무액 등의 천연 풀과 아마인유 등의 건성유 등이 천연마감재로 사용된다. 천연 풀을 사용할 경우에는 풀의 점성에 주의하여야 한다. 점성이 약한 경우에는 큰 문제가 되지 않으나 점성이 클 경우 흙벽의 건조되는 과정에서 흙벽 표면이 갈라지면서 말려 올라갈 수 있으므로 주의해야 한다.
- 마감재를 시공시 우선 바탕면에 먼지 등의 이물질 제거하고 시공할 부위를 제외한 나머지 부분을 보양한다.
- 벽체에 발생한 균열이나 흠은 동일 재료로 메워서 양생시킨 다음 마감재를 시공한다.
- 마감재는 붓, 롤러, 뿔칠 등의 방법으로 시공이 가능하며 1회 이상 시공하고 필요시 그 이상 덧칠이 가능하나 덧칠 할 때는 이전 시공한 마감재가 완전히 양생된 다음에 시공을 하여야 함

### 내·외부 마감처리

내·외부 마감처리	
	
마감면 기름칠	발수처리

### 10, 시공 시 주의사항

- 계란판을 선정할 때 물에 젖거나 찢어져 힘을 받지 못하는 경우에는 사용하지 않도록 한다.
- 물을 넣어 반죽한 흙배합이 1시간 이상 경화하였을 때는 사용을 지양한다.
- 흙의 반죽질기가 너무 질거나 너무 된 경우 적당한 조치를 취해 반죽질기를 맞춰서 시공하도록 한다.
- 비로 인해 공사를 중단할 경우에는 비가 벽체의 상단에 단지 않도록 철저히 보양을 하며 기초가 온통기초일 경우에는 바닥판에 고인 물이 벽체 하부로 흘러 들어가지 않도록 배수를 유도해야 한다. 또한 기초판 외부에는 물이 차오르지 않도록 적당한 배수로를 확보하여야 한다.
- 흙벽 시공시 벽체의 수직, 수평을 일정한 간격으로 계속 확인해야 하며 만약 벽체가 배부름 현상이 나타날 경우에는 즉시 쌓기를 중지하고 합판, 넓은 판재 등을 이용하여 벽체의 배부름 현상을 제어한다. 만약 배부름 현상이 수정되지 않은 경우에는 벽체를 철거하고 다시 시공해야 한다.

- 겨울철에는 기온이 낮기 때문에 시공을 피해야 한다. 특히 일평균기온이 10℃보다 낮을 경우에는 시공을 자제하는 편이 좋다.
- 여름철에는 온도가 높기 때문에 흙반죽의 유동성이 짧은시간에 급격히 저하될 수 있으므로 시공 중 흙의 반죽질기를 확인하며 시공해야 함
- 흙벽의 상·하부와 벽면의 턱이 빗물에 노출되거나 물이 고여 흘러 들어갈 경우 벽체의 내구성이 매우 약해지므로 주의한다.
- 마감재로 방수제나 발수제를 사용할 경우 너무 점성이 큰 재료를 사용하면 흙벽에 균열을 발생하고 말려 올라갈 수 있으므로 재료의 선정이 중요함

## 제 2 장 흙건축 재료의 배합의 특성

### 1절 최밀충전에 의한 흙의 적정 입도 선정 방법

#### 1. 연구의 배경 및 목적

건축재료로서 흙이 사용된 것은 아주 오래된 일이며 만리장성, 피라미드 등 많은 건축물들이 흙을 재료로 사용하였다. 우리나라도 한옥, 초가집 등에서 흙을 사용해 왔으며 현재에도 흙건축물들이 시공되고 사용되고 있다. 그러나 우리나라의 경우 아쉽게도 흙을 주요 건축재료로서 사용했던 과거의 기술들은 현재에까지 전해지지 못하고 있다.

최근 흙건축이 많은 사람들의 각광을 받으며 부흥을 일으키고 있으나 그 관련기술과 전문인력이 부족하여 사용 중 많은 하자가 발생하고 있다. 왜냐하면 보통 흙은 clay, silt, sand로 이뤄졌는데, 우리나라 흙의 경우 silt 성분이 높기 때문에 자연에서 채취한 흙을 그대로 사용할 경우 양생과정에서 균열을 발생시키고, 압축강도가 저하되기 때문이다. 그래서 이러한 문제를 해결하기 위해서 적당량의 sand를 흙에 혼합해서 사용해야 된다. 또한 흙을 채취하는 위치에 따라 흙의 기본 물성이 달라지기 때문에 그때마다 적정 배합이 바뀔 가능성이 높다. 그래서 사용하기 전에 흙에 대한 분석을 필요로 하며 용도에 따라서도 배합을 달리 사용하여야 한다.

흙의 경우 흙의 입도에 따라 비중에는 큰 차이가 없으나 단위용적중량이 변하게 된다. 이는 입도에 따라 공극률이 변하는 것을 말한다. 또한 공극률은 흙배합 내부의 공극의 비율이므로 압축강도에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 밀실한 배합, 즉 공극이 최소화된 최밀충전배합 일수록 압축강도는 높게 된다. 그러므로 흙의 단위용적중량은 결국 압축강도에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 최적배합선정 방법으로 최밀충전실험을 제안하며 압축강도 측정을 통해 이를 증명하고자 한다.

#### 2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 흙의 입도에 따른 단위용적중량과 압축강도에 대한 실험을 하고자 한다. 흙은 일반적으로 clay, sand에 비해 silt 함량이 높기 때문에 적당량의 sand를 첨가하여야 한다. 그래서 흙과 모래의 첨가율에 따라 변화하는 흙배합의 단위용적중량을 확인하고 압축강도에 미치는 영향을 분석하기 위해 본 실험에서는 크게 세가지 실험을 진행하였다.

첫째, 흙과 모래의 첨가율에 따른 단위용적중량을 실험하여 최밀충전배합을 찾기 위한 방법을 선정하기 위해 1단체움(무다짐), 3단체움(손다짐), 3단체움(봉다짐), 3단체움(판다짐) 등 4가지 방법으로 단위용적중량을 측정하였다.

두 번째는 흙의 경우 채취 위치에 따라 입자의 특성이 달라지며 또한 최대 치수 또한 달라하

게 된다. 그래서 모래의 최대치수에 변화를 주어 단위용적중량을 측정하였다. 모래의 최대 치수를 5mm, 2.36mm, 1.18mm 등 3가지 선정하였으며, 첫 번째 실험에서 선정된 방법으로 단위용적중량을 측정하고 차이를 분석하였다.

세 번째는 입도에 따른 압축강도를 측정하기 위해서 모래의 최대치수가 5mm 모래를 사용하여 고강도 석회를 첨가한 다음 압축강도 실험을 실시하였다.

### 3. 실험개요

최밀충전에 의한 흙의 적정 배합 선정 실험은 흙과 모래의 배합비에 따른 흙배합의 단위용적중량과 압축강도 실험을 진행하였으며, 3단계로 진행하였다.

첫 번째는 흙분말과 주문진표준사를 사용하여 단위용적중량실험을 실시하였다. 흙분말 : 주문진표준사 = 100 : 0 ~ 0 : 100 까지 각각의 재료를 10%단위로 증감하며 총 11수준의 시험을 실시하였으며 다짐 방법은 무다짐, 손다짐, 봉다짐, 판다짐의 4가지 방법에 의해 실험을 실시하였다.

두 번째는 흙분말과 해사를 사용하여 실험을 실시하였다. 단위용적중량 실험은 흙분말:해사=100:0~0:100까지 각각의 재료를 10% 단위로 증감하여 총 11수준의 실험을 실시하였으며 해사는 입자의 최대 크기를 5mm, 2.5mm, 1.12mm의 3가지 수준으로 하였고, 단위용적중량실험은 3단계(판다짐)의 방법으로 실험을 실시하였다.

세 번째 실험은 모래의 최대 치수가 5mm인 모래와 흙분말을 100:0~0:100까지 10% 수준으로 증감하여 총 11배합에 대해 압축강도 실험을 실시하였다. 흙배합의 경우 결합재를 첨가하지 않을 경우 강도가 매우 낮으므로 강도 확보를 위해 고강도석회를 흙배합의 15%정도 첨가하여 실험을 실시하였다.

실험 인자 및 수준

	실험인자	수준	실험방법
1차 실험	흙:모래	100:0 ~ 0:100 (10% 단위로 증감)	11수준
	다짐방법	1단계(무다짐), 3단계(손다짐), 3단계(봉다짐), 3단계(판다짐)	4수준
2차 실험	흙:모래	100:0 ~ 0:100 (10% 단위로 증감)	11수준
	모래의 최대치수	5mm, 2.36mm, 1.12mm	3수준
	다짐방법	3단계(판다짐)	1수준
3차 실험	흙:모래	100:0 ~ 0:100 (10% 단위로 증감)	11수준
	모래의 최대치수	5mm	1수준
	고강도석회	15%	1수준

#### 4. 실험재료

##### 가. 흙분말

모든 실험에 사용된 흙분말은 흙을 건조하여 미분말화한 것으로 전북의 D업체의 흙을 사용하였으며 물리, 화학적 성분은 아래 표 2와 같다.

흙분말의 물리·화학적 성질

비중	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
2.55	57.4	30.31	6.78	0.86	0.86	3.36

##### 나. 주문진표준사

1차 실험에 사용된 재료이며, KS L ISO679 시멘트의 강도 시험 방법의 규정을 만족하는 주문진표준사를 사용하였다.

##### 다. 해사

2, 3차 실험에 사용된 재료이며, 인천광역시 강화군에서 채취하여 세척한 모래를 사용하였으며 물리적 특성을 아래 표 3과 같다.

해사의 물리적 성질

최대입경(mm)	비중	조립률(FM)	흡수율(%)
5	2.63	2.47	0.22

##### 라. 고강도석회

실험에 사용된 석회는 일반 석회에 비해 빠른 강도 발현을 보이는 특징을 갖는 것으로써 국내의 C업체에서 생산하는 제품을 사용하였으며, 물리·화학적 특성을 아래 표 4와 같다.

고강도석회의 물리·화학적 특성

구분	분말도 (㎎/g)	초결(h)	종결(h)	강열감량(%)	비중 (g/㎝ <sup>3</sup> )
함량	5,969	5:50	8:20	2.5	2.74

구분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
함량	26.10	13.31	45.51	6.13	6.71	2.24

## 5. 실험방법

### 가. 단위용적중량실험

흙과 모래를 10% 단위로 증감하면서 흙:모래 = 100:0~0:100까지 실험을 실시하였다. 1000ml 용기에 건믹싱 된 혼합골재를 깔때기를 통해 자유낙하 시켜 투입하고 4가지 방법으로 단위용적중량을 측정하였다. 실험은 KSF 2505 단위용적중량 및 공극률 시험방법을 참고하여 실시하였다.

3단계충의 경우에는 다짐을 실시할 경우 용적이 1000ml 이상이 나와야 되므로 흙이 흘러내리지 않게 용기 상단에 별도의 용기를 제작하여 올려놓은 다음 실험을 실시하였다.

#### · 1단계충, 무다짐

깔때기를 통해 1회에 1000ml 용기의 상단까지 채우고 다지지 않은 상태에서 남은 흙은 스펠리터를 이용하여 톱질하듯이 상단면을 평평하게 면을 잡은 다음 중량을 측정하였다.

#### · 3단계충, 손다짐

1000ml 용기에 용적의 1/3을 채운 다음 3cm 높이로 손으로 5회 다진다. 이러한 방법으로 상단까지 흙을 채운 다음 스펠리터를 이용하여 상단면을 평평하게 면잡기 한 다음 중량을 측정하였다.

#### · 3단계충, 붐다짐

1000ml 용기에 용적의 1/3을 채운 다음  $\varnothing 5\text{mm}$  다짐봉을 이용하여 25회 끌고루 다진다. 같은 방법으로 용기의 나머지 2/3를 채운 다음 스펠리터를 이용하여 상단면을 평평하게 면잡기 한 다음 중량을 측정하였다.

#### · 3단계충, 판다짐

플로우관 위에 1000ml 용기를 놓고 용적의 1/3씩 채운 다음 플로우관을 25회 다진다. 같은 방법으로 용기의 나머지 2/3를 채운 다음 스펠리터를 이용하여 상단면을 평평하게 면잡기 한 다음 중량을 측정하였다.

#### · 단위용적중량 계산 방법

흙배합의 단위용적중량의 계산은 아래 수식과 같이 하였다.

$$\text{단위용적중량 } M(\text{kg}/\text{m}^3) = \frac{G-T}{V} \text{ 또는 } M = (G-T) \times F$$

$G$ : 용기를 포함한 시료의 중량(kg)

$T$ : 용기만의 중량(kg)

$V$ : 용기를 채운 물의 중량을 물의 단위용적중량으로 나눈 값( $\text{m}^3$ )

$F$ : 물의 단위용적중량을 용기를 채우는데 필요한 중량으로 나눈 값( $\text{m}^3$ )

## 나. 압축강도 측정

흙배합의 압축강도를 측정하기 위해 KS L 5105 수경성시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법에 준하여 흙배합과 고성능석회를 혼합한 배합의 반죽, 플로 시험 및 압축강도 측정을 실시하였다.

## 다. 유동성 측정

흙의 경우 미분말을 많이 함유하고 있으므로 물을 첨가하여 배합 할 경우 유동성 확보를 위해 많은 물을 필요로 한다. 본 실험에서는 이러한 부분을 감안하여 흙반죽에 필요한 물량을 적게 하였으며 흙건축에서 사용하는 소성상태의 반죽질기를 목표로 하였다. 이에 따라 목표 유동성은  $110\pm 5\text{mm}$ 로 하였다.

# 6. 실험결과

## 가. 1차 실험 결과

단위용적중량 측정 결과 표 5와 같은 결과를 나타내었다.

단위용적중량은 1단계움(무다짐)이 가장 낮은 중량을 나타내었다. 다음으로 3단계움(봉다짐), 3단계움(손다짐) 순이었으나 비슷한 결과를 나타냈다. 그리고 3단계움(판다짐)에 의한 방법에서 가장 높은 결과값을 나타냈다. 각각의 방법에 의한 단위용적중량의 차이는 모래의 첨가율이 증가할수록 커지는 경향을 보였으며 최밀충전배합인 흙:모래=20:80에서 가장 큰 차이를 보였다.

1단계움(무다짐)의 경우 흙입자의 자중에 의해서 흙이 채워지는 것으로 흙배합 내에 공극이 많이 발생하며 채움이 완료된 이후에도 공극은 사라지지 않았다.

3단계움(손다짐)의 경우에는 용기 전체에 충격이 가해지기 때문에 전체적으로 봉다짐에 비해 높은 결과를 나타내었으나, 흙분말의 첨가율이 90% 이상에서는 봉다짐에 비해 낮게 나타났다.

3단계움(봉다짐)의 경우에는 흙분말의 첨가율 40% 이상부터는 봉다짐 후 붓을 뽑아 올리는 과정에서 생겨난 구멍이 없어지지 않아 다짐 효과가 작은 것으로 나타났다. 흙배합 내 미분말의 함유율이 높아질 경우 입자간의 인력이 증가함에 따라 건조한 상태에서도 어느 정도 일정한 형상을 유지할 수 있는 것으로 판단된다. 봉다짐의 경우 고운 입자의 흙배합에서는 효과가 없는 것으로 판단된다.

3단계움(판다짐)의 경우 플로우 판에서 용기 전체에 일정한 외력을 가하므로 흙배합의 다짐이 가장 잘 되었으며 네가지 방법 중 가장 높은 단위중량을 나타냈다. 다짐 초기 15회 다짐 시의 처짐량은 크고 나중 10회 다짐 시에는 침하량은 극히 작게 나타났다. 실험결과 가장 정밀한 방법은 3단계움(판다짐)으로 판단되며, 3단계움(손다짐)의 경우에도 적용가능할 것으로 사료된다.

단위용적중량 실험 결과

구분		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
배합표	배합비 (%)	주문진 표준사	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		흙분말	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	배합량 (g)	주문진 표준사	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
		흙분말	2000	1800	1600	1400	1200	1000	800	600	400	200	0
실험결과	단위용적중량 (g/L)	1단계움 (무다짐)	756	787	861	968	1031	1154	1278	1359	1414	1398	1398
		3단계움 (손다짐)	807	881	961	1075	1180	1311	1461	1578	1620	1548	1516
		3단계움 (봉다짐)	796	855	935	1053	1135	1258	1395	1504	1623	1579	1522
		3단계움 (판다짐)	891	955	1029	1129	1242	1378	1541	1691	1767	1663	1576



(a) 1단계움 (무다짐)



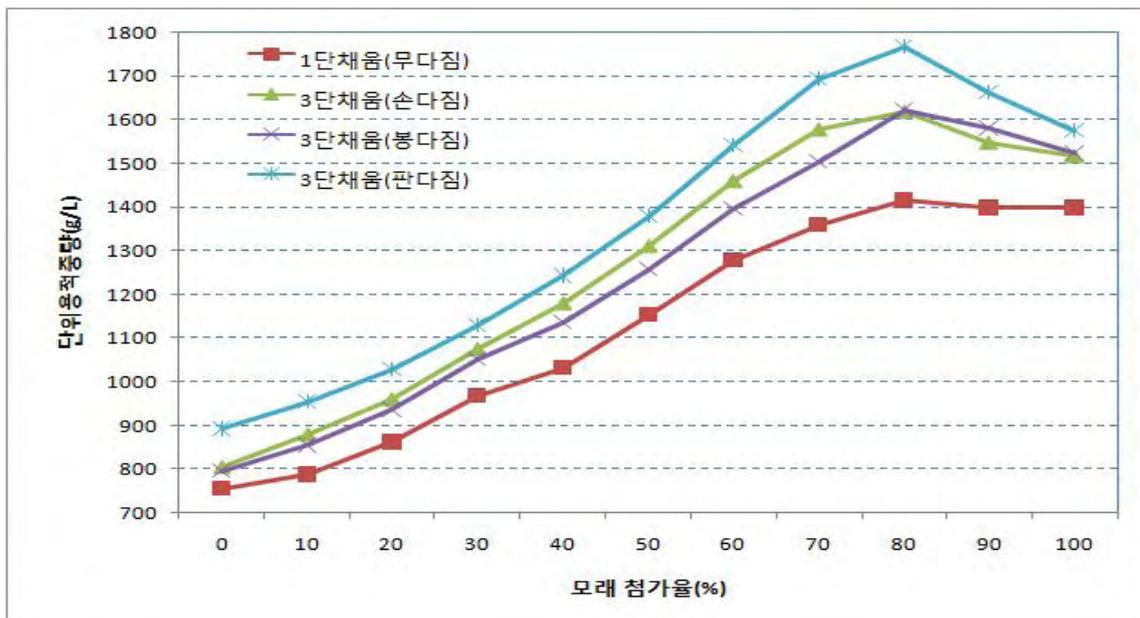
(b) 3단계움 (손다짐)



(c) 3단계움 (봉다짐)



(d) 3단계움 (판다짐)

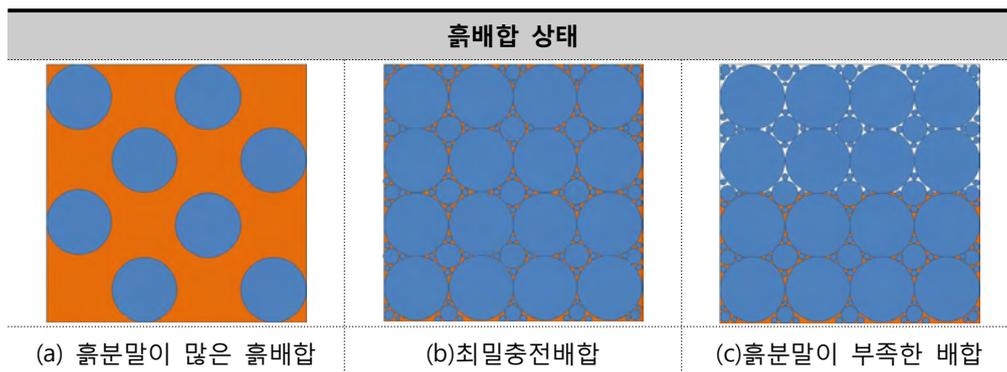


다짐방법에 따른 실험 결과

주문진표준사의 첨가율이 증가함에 따라 단위용적중량은 증가하였으며, 주문진표준사의 첨가율이 80%일 때 가장 높은 단위용적중량을 나타내었고 이후에는 감소하는 것으로 나타났다.

흙배합의 단위용적중량이 높은 것은 흙배합 내부에 공극률이 작은 것을 의미한다. 그림에서 보는 것처럼 흙분말의 함량이 높은 경우 sand 입자들 사이의 거리는 멀고 그 중간에 공극률이 높은 clay, silt 입자들이 채우고 있으므로 단위용적중량은 낮아지게 된다. 특히 입자들이 미세할 경우, 특히 0.001mm 이하의 미세한 콜로이드 입자들의 경우 입자들이 갖는 인력보다 반발력이 크기 때문에 입자사이의 거리가 멀어지게 되어 공극률이 커지는 것으로 판단된다.(그림 a) 그러나 clay, silt, sand가 적당량 혼합되었을 때는 입경이 크기 밀도가 높은 sand입자들이 공간의 대부분을 채우고 sand입자들 사이에 공극률이 큰 clay, silt 입자들이 필요한 최소량만큼만 채워지기 때문에 흙배합의 내부의 공극은 작아지고 단위용적중량은 높아지게 된다.(그림 b) 그렇지만 clay, silt 입자의 함량이 너무 낮을 경우, sand 입자 사이에서 생기는 공극을 모두 채우지 못하여기 때문에 공극률이 높아지면서 단위용적중량은 낮아지는 것으로 판단된다.(그림 c)

흙분말의 첨가량에 의한 흙배합 상태



실험 결과 주문진표준사와 흙분말의 최밀충전비율은 단위용적중량이 가장 높고 공극률이 가장 낮은 흙:모래가 약 20:80의 비율로 혼합될 때 나타나는 것으로 판단된다.

또한 다짐방법에 있어서는 3단계채움(판다짐)의 경우가 가장 높은 중량을 나타내었으며 가장 정밀한 방법으로 판단된다.

#### 나. 2차 실험 결과

모래의 최대 치수를 5mm, 2.36mm, 1.18mm의 세가지 종류로 하여 흙분말과 모래의 첨가율에 따라 3단계채움(판다짐)의 방법으로 단위용적 중량 측정 결과 표 6과 같이 나타났다.

모래의 함량이 낮은 경우에는 모래의 첨가율이 10%까지는 1.12mm가 가장 높았으며, 이후 70%까지는 2.36mm가 높게 나타났고, 80%이후로는 5mm가 가장 높게 나타났다. 3가지 경우 모두 모래의 첨가율 80~90%에서 가장 높은 단위용적중량을 나타내었다.

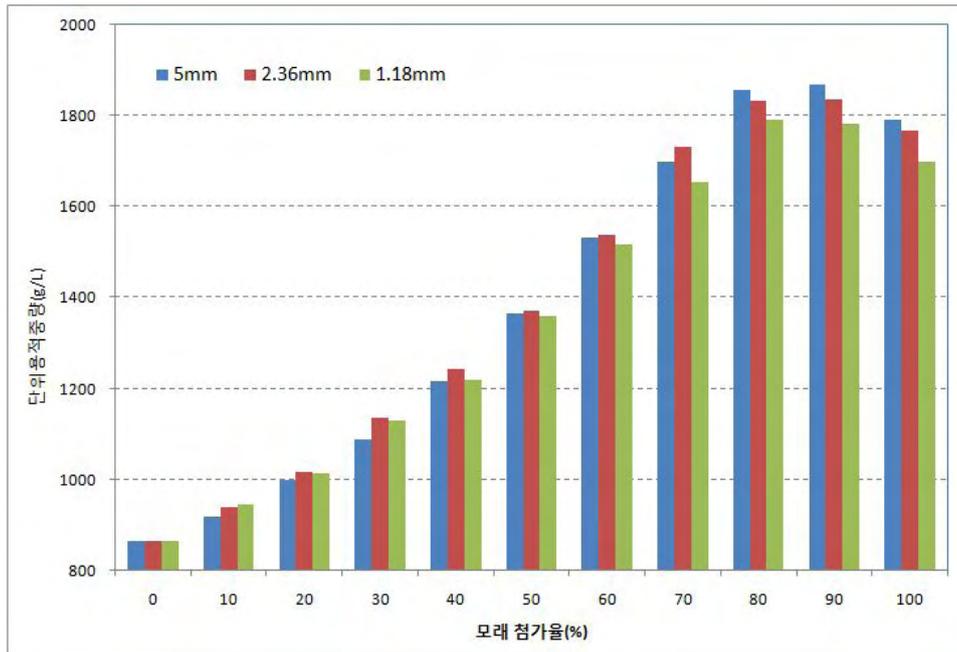
최밀충전은 입경이 큰 모래입자들 사이에서 생기는 공극에 미세한 흙분말이 채워지는 것으로 판단된다. 모래의 첨가율이 너무 낮을 때는 흙입자에 비해 상대적으로 입경이 큰 모래입자 사이의 거리가 멀어지게 된다. 그리고 그 공간을 공극률이 큰 흙분말이 채우기 때문에 단위중량이 낮아진다. 반면 흙분말의 첨가율이 너무 낮을 경우 모래 입자 사이에서 발생한 공극을 채울 흙분말이 부족하기 때문에 단위용적중량은 낮아진다. 그러므로 모래입자들 사이에서의 공극이 최소화 되고, 그 공극을 채우는 적당량의 흙분말의 비율이 최밀충전비율이 될 것으로 판단된다.

최밀충전비율은 모래의 첨가율이 80~90%에서 나타났는데, 이 구간에서는 모래의 최대치수가 작아질수록 최밀충전비율이 모래의 첨가율이 낮아지는 쪽으로 이동하는 경향을 나타내었다. 최밀충전은 입경이 큰 모래의 입자사이의 공극을 흙분말이 채울 때 형성된다. 그런데 모래의 최대치수가 큰 경우에 비해 모래의 최대치수가 작은 경우가 같은 공간에서 높은 공극률을 갖게 된다. 그러므로 모래의 최대치수가 작아질수록 입자사이에 발생하는 공극을 채우는 흙분말의 비율은 증가하며 이 때문에 모래의 최대치수가 작아질수록 최밀충전비율은 흙분말의 첨가율이 높은 쪽으로 이동하게 된다.

최밀충전비율에서 모래의 최대치수가 커질수록 단위용적중량이 커지는 것으로 나타났다. 이는 모래의 최대치수가 커질수록 배합 내부에 공극은 줄어들게 되며 공극을 채우는 흙분말의 양은 감소하게 된다. 그리고 내부의 공극이 많은 흙분말의 함량이 낮아지게 되므로 전체 흙배합의 공극률 또한 낮아지게 되는 것이다. 이러한 이유로 모래의 최대치수가 큰 흙배합이 작은 경우에 비해 단위용적중량이 높아지는 이유로 판단된다.

모래의 최대 치수에 따른 단위용적중량 실험 결과

배합비(%)		배합량(%)		단위용적중량(g/L)		
H	S	H	S	5mm	2.36mm	1.18mm
100	0	2500	0	866	866	866
90	10	2250	250	919	940	944
80	20	2000	500	998	1017	1013
70	30	1750	750	1087	1136	1129
60	40	1500	1000	1216	1244	1218
50	50	1250	1250	1365	1371	1358
40	60	1000	1500	1531	1538	1517
30	70	750	1750	1699	1731	1655
20	80	500	2000	1857	1832	1791
10	90	250	2250	1868	1835	1782
0	100	0	2500	1790	1768	1697



모래의 최대치수에 따른 단위용적중량

### 다. 3차 실험 결과

흙배합에 고강도석회를 15% 첨가하여 압축강도 실험을 실시한 결과 재령 28일 압축강도는 아래 표 7과 같은 결과가 나타났다.

목표 유동성 110±5mm를 만족하는 W/M(물물탈비, %)는 모래의 첨가율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났으며 대체적으로 일정하게 감소하였다. 흙배합내의 흙분말의 첨가율이 일정 비율로 낮아졌으며 배합 내부의 미분의 함량이 감소하기 때문이다.

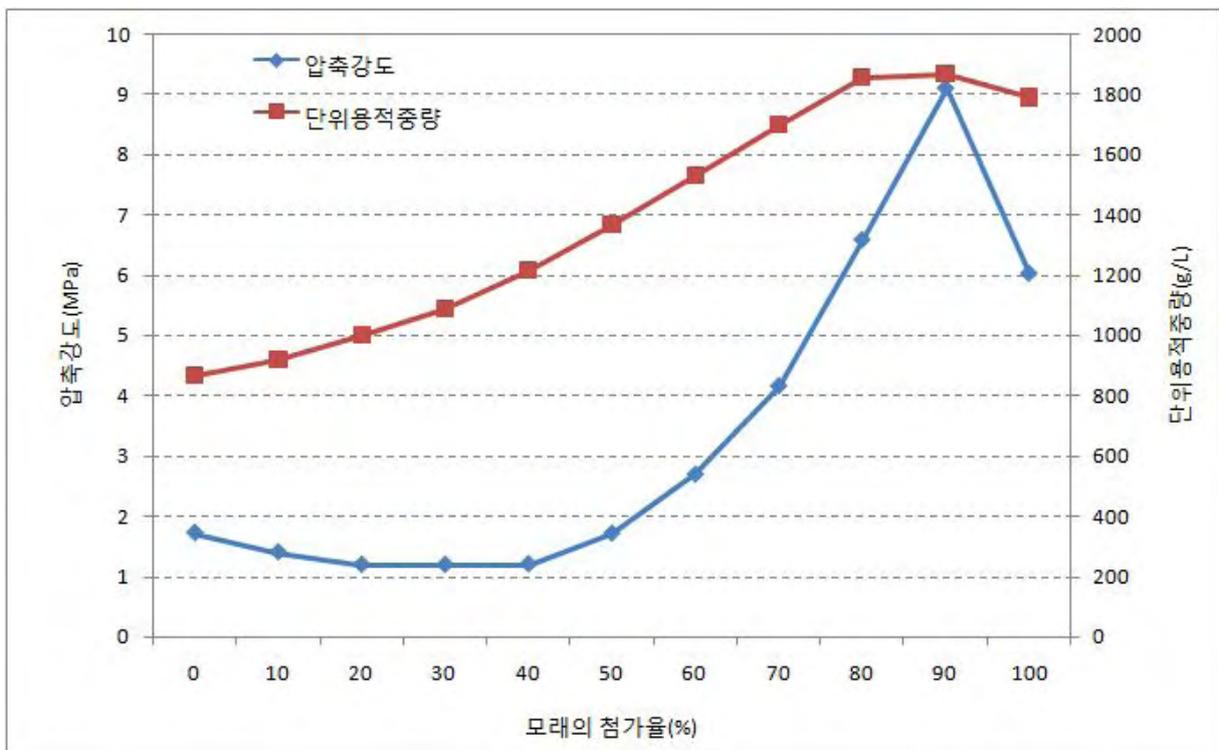
재령 28일 압축강도의 경우 모래의 첨가율이 0~50%까지는 모래의 첨가율이 증가하여도 압축강도는 큰 변화가 없었으며 오히려 모래의 첨가율이 0%인 경우에 비해 미미하지만 낮게 나타났다. 이후 모래의 첨가율이 90%일 때까지 압축강도는 증가하며 100%의 경우 다시 감소하는 것으로 나타났다.

단위용적중량의 경우에도 모래의 첨가율이 90%일 때 가장 높게 나타나 재령 28일 압축강도와 비슷한 경향을 나타내었으나 모래의 첨가율이 60% 보다 낮은 경우에는 압축강도와 단위용적중량이 비슷한 경향을 나타내지는 않았다.

압축강도 실험 결과 모래의 첨가율이 높은 경우에는 단위용적중량과 압축강도가 비슷한 경향을 보였으며 높은 상관관계를 가질 것으로 판단된다.

3차 실험 결과

구분	배합비(%)			W/M (%)	FLOW (mm)	압축강도 (Mpa)	단위용적중량 (g/L)
	GH	S	HPL				
1	100	0	15	39	107	1.72	866
2	90	10	15	38	108	1.40	919
3	80	20	15	34	110	1.19	998
4	70	30	15	30	111	1.19	1087
5	60	40	15	28	112	1.20	1216
6	50	50	15	24	110	1.71	1365
7	40	60	15	21	111	2.69	1531
8	30	70	15	17	109	4.16	1699
9	20	80	15	15	110	6.59	1857
10	10	90	15	13	110	9.11	1868
11	0	100	15	14	119	6.03	1790



3차 실험 결과 : 압축강도와 단위용적중량

## 7. 결론

본 연구는 흙건축 과정 중 적정 흙배합을 선정하기 위한 방안으로 최밀충전에 의한 흙의 적정입도를 선정하는 방법에 대한 연구를 진행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 가. 흙과 모래의 최밀충전배합을 선정하기 위한 방법 선정 결과 3단계음(판다짐)이 다른 실험방법에 비해 상대적으로 높은 결과값을 나타내었으며 가장 적절한 실험 방법으로 판단된다.
- 나. 모래의 최대치수에 따른 흙과 모래의 최밀충전실험 결과 80~90% 사이에서 가장 높은 결과값을 나타내었으며, 모래의 최대치수가 커질수록 최밀충전배합은 모래의 첨가율이 낮아지는 쪽으로 이동하는 경향을 나타내었다.
- 다. 흙과 모래의 입도에 따른 압축강도 실험결과 모래의 첨가율이 90%에서 가장 높은 결과를 나타내었으며 이는 단위용적중량 실험 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.
- 라. 흙의 최적배합을 선정하는 방법으로써 최밀충전에 의한 단위용적중량측정 방법은 흙의 압축강도와 높은 상관관계를 갖는 적절한 방법으로 판단된다.

## 2절 흙배합의 강도 증진 특성

### 1. 연구의 배경 및 목적

흙은 건축재료로서 세계 여러 곳에서 사용되어지고 있다. 이러한 흙의 사용은 흙을 사용하는 위치에 따라 특성을 조절해서 사용해야 된다.

일반적으로 건축물의 구조재로서 흙을 사용할 때는 압축강도를 확보해야 되며, 건조수축이나 양생되는 과정에서의 중량변화 등 시공, 구조에 영향을 주는 특성을 고려해야 된다. 또한 마감재로 사용할 경우 경도, 묻어나는 성질 등을 고려할 필요가 있다. 물에 직접 닿지 않는 부분에 대해서는 물에 대해 풀리는 성질(해교성)이 있어도 사용상에는 큰 지장이 없다면 재료를 선정할 때 좀 더 쉽게 할 수 있다. 이러한 특성은 흙의 물리, 화학적인 특성에 의해 좌우되는데 일반적으로 건축에 사용될 때는 물리적인 특성에 의해 좌우되는 경우가 많다. 이러한 물리적인 차이는 입도에 의한 영향이 매우 크다.

같은 지역에서 채취하더라도 입도에 따라 많은 차이를 보인다. 입도에 따라 점토질토양, 모래질토양 등 다양하게 분리되며, 배합수, 압축강도, 건조수축 등에 영향을 미치며 이러한 특성은 건축재료로 사용할 때 많은 변수를 낳게 된다.

흙을 건축재료로 사용할 때는 사용 용도에 맞춰 특성을 보완하기 위해 다양한 재료를 혼합해

사용하게 된다. 풀, 기름, 석회, 섬유 등등 흙의 용도에 따라 주변에서 구할 수 있는 다양한 혼합재료를 사용하게 된다.

본 연구에서는 흙의 종류와 결합재이 첨가에 따른 흙배합의 특성을 분석하여 건축재료로서 흙을 사용하는데 일조하고자 한다.

## 2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 흙에 결합재를 첨가하여 흙과 결합재의 화학적인 반응에서 나타나는 특성을 분석하고자 한다. 흙은 채취하는 위치에 따라 입도가 달라지므로 본 연구에서는 흙의 종류를 4가지로 구분하였다. 클레이, 실트 성분이 많은 분말흙에서 모래의 성분이 많은 흙까지 4가지로 나누어 실험을 실시하였다. 흙과 반응하여 흙은 안정화 시키는 결합재로는 소석회와 고강도석회를 첨가하였으며 비교군으로 결합재를 첨가하지 않은 배합을 포함하여 총 3가지 수준으로 실험을 실시하였다. 결합재의 첨가율은 전체의 15%로 하여 충분한 반응이 일어나도록 하였다.

흙배합이 유동성은 소성상태를 목표로 하였으며 동일 유동성을 확보하기 위해 필요한 물량의 변화를 측정하였다. 재령의 경과에 따라 압축강도, 건조수축변형, 해교성, 중량변화, 흡수율, pH 측정, 표면경도를 실시하였다.

## 3. 실험개요

흙의 종류와 결합재의 첨가에 따른 흙의 특성을 알아보기 위한 실험을 진행하였다.

흙배합은 clay와 silt를 다량 포함한 흙에서부터 sand를 다량 포함한 흙으로 구분하여 실험을 실시하였다. 이를 위해 clay, silt가 풍부한 흙분말과 모래를 혼합하는 방법으로 해당 입도의 흙 배합을 만들었으며, 흙:모래의 배합비를 100:0, 70:30, 40:60, 10:90의 4가지 수준으로 시료를 준비하였다. 결합재의 종류는 일반적으로 흙건축에서 많이 사용되고 있는 소석회, 석회와 무기물을 혼합해서 석회의 경화 속도 및 압축강도 성능을 개선한 고강도석회를 전체 흙배합의 15%를 첨가하였다. 비교군으로 결합재를 첨가하지 않은 배합을 선정하여 총 3가지 수준으로 실험을 실시하였다. 흙배합의 경우 물이 많이 첨가되면 유동성은 좋아지나 압축강도가 약해지는 단점이 있으므로 흙의 반죽상태는 시험체로서 성형이 자유롭고 반죽하기 쉬운 소성상태로 하였다. 이에 따라 목표 유동성은  $110 \pm 5\text{mm}$ 로 하였으며 이를 만족시키는 적정 W/M(물물탈비)를 측정하였다. 실험 배합의 특성을 검토하기 위해 재령 7일, 28일에 압축강도, 건조수축, 중량변화, 흡수율, 해교성, pH변화, 표면경도를 측정하여 각각의 특성을 분석하였다.

실험 인자 및 수준

실험인자	실험수준	실험방법
흙:모래 비율	100:0, 30:70, 70:40, 10:90 (4수준)	유동성 압축강도 건조수축 증량변화
결합재 첨가율	흙배합량의 15% (1수준)	해교성 흡수율
결합재의 종류	무첨가, 소석회, 고강도석회 (3수준)	pH 표면 경도
유동성	110±5mm (소성상태, 1수준)	

4. 실험재료

가. 흙분말(H)

흙을 건조, 분쇄하여 미분말로 만든 것으로 전북의 D업체의 흙을 사용하였으며 물리, 화학적 성분은 아래 표 9와 같다.

흙분말의 물리·화학적 성질

비중	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
2.55	57.4	30.31	6.78	0.86	0.86	3.36

나. 모래(S)

흙배합의 sand 첨가율을 조정하기 위해 사용하였으며, 인천광역시 강화군에서 채취하여 세척한 모래를 사용하였으며 물리적 특성을 아래 표 10과 같다.

해사의 물리적 성질

최대입경(mm)	비중	조립률(FM)	흡수율(%)
5	2.63	2.47	0.22

다. 소석회(SL)

흙을 안정화시키는 결합재로 사용하였으며 B업체의 소석회를 사용하였으며 물리, 화학적 성질은 아래 표 11과 같다.

소석회의 물리·화학적 성질

비중	성상	분말도	Ca(OH) <sub>2</sub> 함량	염산불용물	알칼리금속 및 Mg
2.24	백색분말	#325 이하	95% 이상	5mg 이하	5mg 이하

라. 고강도석회(HPL)

소석회에 비해 반응속도가 빠르며 압축강도가 높은 특성을 갖는 특징을 갖는 재료이며, 국내의 C업체에서 생산하는 제품을 사용하였으며, 물리·화학적 특성을 아래 표 12와 같다.

고강도석회의 물리·화학적 특성

구분	분말도 ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	초결(h)	종결(h)	강열감량(%)	비중 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
함량	5,969	5:50	8:20	2.5	2.77

구분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
함량	26.10	13.31	45.51	6.13	6.71	2.24

5. 실험방법

가. 유동성 측정

흙의 경우 미분말을 많이 함유하고 있으므로 물을 첨가하여 배합 할 경우 유동성 확보를 위해 많은 물을 필요로 한다. 본 실험에서는 이러한 부분을 감안하여 흙반죽에 필요한 물량을 적게 하였으며 흙건축에서 사용하는 소성상태의 반죽질기를 목표로 하였다. 이에 따라 목표 유동성은 110±5mm로 하였다.

나. 압축강도 측정

흙배합의 압축강도를 측정하기 위해 KS L 5105 수경성시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법에 준하여 흙배합과 고성능석회를 혼합한 배합의 반죽, 플로 시험 및 압축강도 측정을 실시하였다.

#### 다. 건조수축 측정

건조수축은 40\*40\*160mm 시험체에 Strain Gauge PMFL-60-2LT를 매립하여 재령 초기 20분 단위로 측정하였으며 측정자료는 데이터로거로 수집 취합하였다. 그러나 실험배합의 결합력이 약한 경우에는 초기에 균열이 발생하였으며 시험체가 분리되어 측정이 어렵게 되었다. 그래서 40\*40\*160mm 시험체를 제작한 후 버니어캘리퍼스를 사용하여 재령별로 건조수축을 측정하였다.

#### 라. 표면 경도 측정

흙배합의 표면경도를 측정하기 위해 KS M ISO 15184 : 2002 페인트와 바니시 - 연필시험기에 의한 필름강도 측정에 준하여 실험을 실시하였다. 경도측정에 사용된 연필 세트는 6B ~ 9H를 사용하였다. 시험체의 표면을 750g의 하중으로 45°각도로 눌러지도록 하여 측정하였다.

#### 마. 흡수율 실험

재령 7일, 28일에 각각의 흙배합이 갖는 흡수율을 측정하였다. 50\*50\*50mm 시험체의 중량을 측정하고 다음 물에 충분히 담근다. 포수상태가 된 시험체의 표면수를 제거한 다음 중량을 측정하였으며 흡수된 물량을 측정하여 흡수율을 계산하였다.

#### 바. 해교성 실험

흙배합이 물에 풀어지는 정도를 검토하였다. 50\*50\*50mm 시험체를 건조한 다음 중량을 측정하고 물에 담근다. 포수상태가 된 후 물에 풀려 부스러지는 조각을 제거한 다음 중량을 측정하고 다시 건조로에서 항량이 될 때까지 건조한 후 중량을 측정한다. 물에 담그기 전과 후의 중량을 비교하여 물풀림에 의해 중량이 감소된 양을 측정한다.

#### 사. 단위중량변화

흙배합의 양생이 진행되면서 변화하는 중량을 측정하였다. 50\*50\*50mm 시험체의 중량을 일주일 단위로 측정하였다.

## 아. pH 측정 실험

결합재의 첨가로 인해 흙배합의 pH 변화를 알아보기 위해 실시하였으며 재령 7일, 28일에 각각 배합의 pH를 측정하였다. KS F 2103 흙의 pH값 측정 방법에 의해 재령 7일, 28일의 pH를 측정하였다.

실험 배합비

구분	흙배합비(%)		결합재 첨가비(%)		
	H	S	無	SL	HPL
B-1	100	0	0		
B-2	100	0		15	
B-3	100	0			15
B-4	70	30	0		
B-5	70	30		15	
B-6	70	30			15
B-7	40	60	0		
B-8	40	60		15	
B-9	40	60			15
B-10	10	90	0		
B-11	10	90		15	
B-12	10	90			15

흙모래의 배합에 따른 입도분포

흙배합비 (%)		입도		
H	S	clay	silt	sand
H	S	~0.002	~0.074	~5
100	0	21.40	74.76	3.84
70	30	14.98	52.73	32.29
40	60	8.56	30.70	60.74
10	90	2.14	8.67	89.18

## 6. 실험결과

### 가. 유동성 실험 결과

흙배합의 입도에 따른 유동성 실험 결과 아래 표 15와 같은 결과를 나타내었다. 결합재를 첨가한 배합의 경우 일반 흙배합에 비해 결합재 내부의 분체량이 증가함에 따라 목표 유동성을 확보하는데 요구되는 W/M가 높은 것으로 나타났다. 특히 소석회를 결합재로 사용한 경우가 고강도석회에 비해 높은 W/M를 나타냈다.

W/M에 따른 플로우 변화

구분	흡배합비(%)		결합재 첨가비(%)			W/M	Flow
	H	S	無	SL	HPL		
B-1	100	0	0			37.3	105
B-2	100	0		15		43	107
B-3	100	0			15	40	105
B-4	70	30	0			30	117
B-5	70	30		15		32.3	105
B-6	70	30			15	30	107
B-7	40	60	0			20.8	116
B-8	40	60		15		24.3	106
B-9	40	60			15	22.8	115
B-10	10	90	0			15	111
B-11	10	90		15		16.2	116
B-12	10	90			15	13.6	106

나. 건조수축 실험 결과

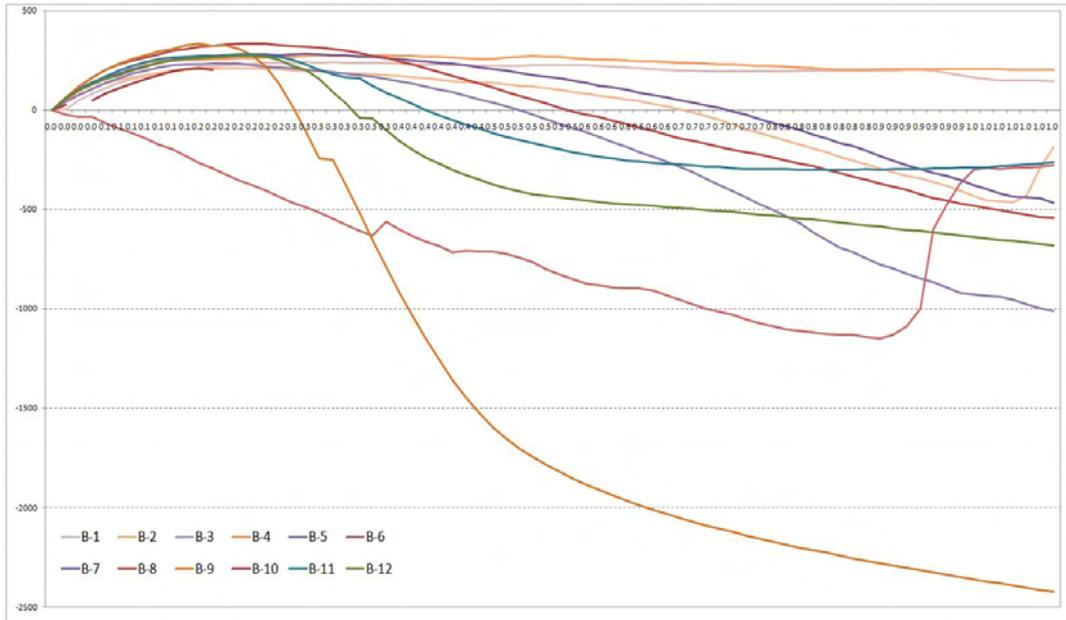
흡배합의 건조수축 실험 결과 결합력이 약하고 수축이 심한 배합의 경우 재령 초기에 수축으로 인해 건조수축계이지를 매립한 부분에서 심한 균열이 발생하여 실험체가 분리되어 측정이 어려웠다. 이에 따라 초기 수축이 큰 배합의 경우 (B-1~B-6) 재령 1일의 경우에는 건조수축계이지를 매립한 데이터로거에 의해 측정하였다. 그리고 재령 28일의 경우에는 40\*40\*160mm 크기의 삼연형 몰드에 성형하여 버니어캘리퍼스로 측정하였다.

대부분의 배합에서 초기의 팽창현상을 나타내었다. 초기 팽창의 경우 B-6의 경우 초기 팽창이 매우 낮은 것으로 나타났으며, 시험체 B-10의 경우에는 모래의 첨가율이 높으나 초기 팽창율이 높게 나타났다.

재령 1일 수축량의 경우 결합재가 첨가되지 않은 배합에서는 대체적으로 낮은 수축량을 보였으며 고강도석회를 첨가한 배합에서 가장 큰 수축을 보였다.

재령 1일 길이변화 측정 결과 (단위 :  $\mu\text{m}$ )

구분	팽창	수축량 (0점기준)	최대수축량 (초기팽창기준)
B-1	240	0	-240
B-2	311	-463	-674
B-3	151	-519	-670
B-4	274	0	-274
B-5	234.81	-1011.8	-1246.7
B-6	0	-1152.4	-1152.4
B-7	281.96	-464.9	-746.86
B-8	333.82	-544.11	-877.93
B-9	332.88	-2425.4	-2758.3
B-10	528.76	0	-528.76
B-11	279.13	-300.81	-579.94
B-12	272.53	-680.84	-953.37



재령 1일 길이변화 측정 결과

재령 28일 길이변화 측정 결과 (단위 :  $\mu\text{m}$ )

구분	팽창	수축량 (0점기준)	최대수축량 (초기팽창기준)
B-1	240	-15,630	-15,870
B-2	392	-8,330	-8,722
B-3	178	-9,940	-10,118
B-4	274	-10,960	-11,234
B-5	234.81	-5,710	-5,945
B-6	141.45	-6,130	-6,271
B-7	281.96	-933.57	-1,215.5
B-8	333.82	-1,550.3	-1,884.1
B-9	332.88	-5,455.3	-5,788.1
B-10	841.33	0	-841.33
B-11	279.13	-300.81	-579.94
B-12	272.53	-1,825.6	-2,098.2

재령 28일 건조수축 측정결과 흙의 첨가율이 높은 경우에는 결합재를 첨가하지 않은 흙배합에서 높은 수축이 일어났으며 결합재를 첨가한 경우에는 낮게 나타났다. 대체적으로 소석회를 첨가한 배합에서 가장 낮은 수축을 나타내었다.

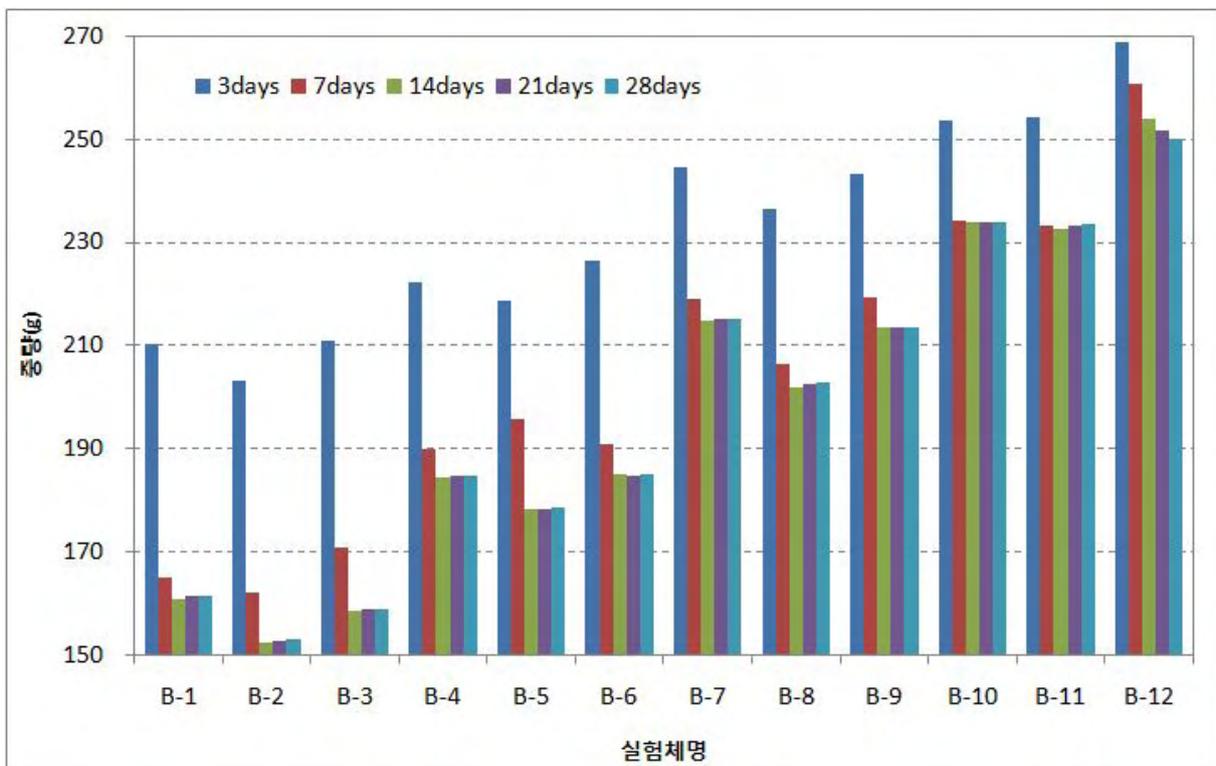
#### 다. 단위중량 변화

대부분의 배합에서 재령 3일에서 7일 사이에 가장 큰 중량 감소가 나타났으며 모래의 첨가율이 증가할수록 재령 7일에서 14일사이의 중량변화는 적게 나타났다.

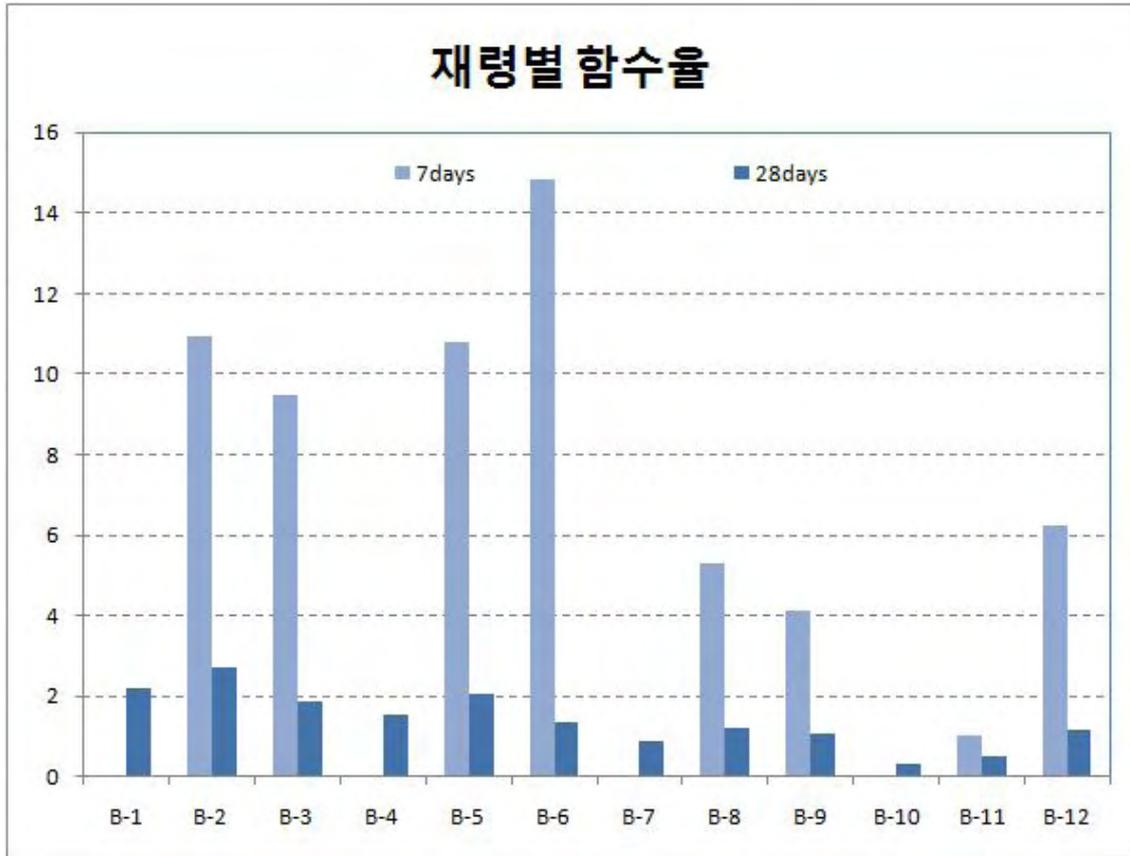
모래의 첨가율이 증가할수록 최밀충전에 따른 공극률의 감소로 단위중량은 증가한 것으로 판단된다.

소석회를 첨가한 배합이 다른 배합에 비해 낮은 단위중량을 보였으며, 고강도석회를 첨가한 배합은 모래의 첨가율이 90%일 때 다른 배합에 비해 매우 높은 단위중량을 나타내었다. 고강도석회를 첨가한 경우 고강도석회의 강도 발현으로 내부의 공극 충전이 잘 이뤄지면서 단위중량이 증가한 것으로 판단된다. 상대적으로 비중이 낮은 소석회나 흙분말의 경우 낮은 결합력과 비중에 의해 공극충전이 적게 일어난 것으로 사료된다.

소석회를 첨가한 배합의 경우 재령이 경과함에 따라 중량이 조금씩 증가하는 것으로 나타났다. 재령 7일, 28일 함수율을 비교해 본 결과 함수율은 재령 28일에 오히려 매우 낮은 것으로 나타났다. 결과적으로 소석회를 첨가한 흙배합의 경우  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 공기중의  $\text{CO}_2$ 를 흡수하여  $\text{CaCO}_3$ 으로 변하는 과정에서 나타나는 중량 변화인 것으로 사료된다.



단위중량 측정결과



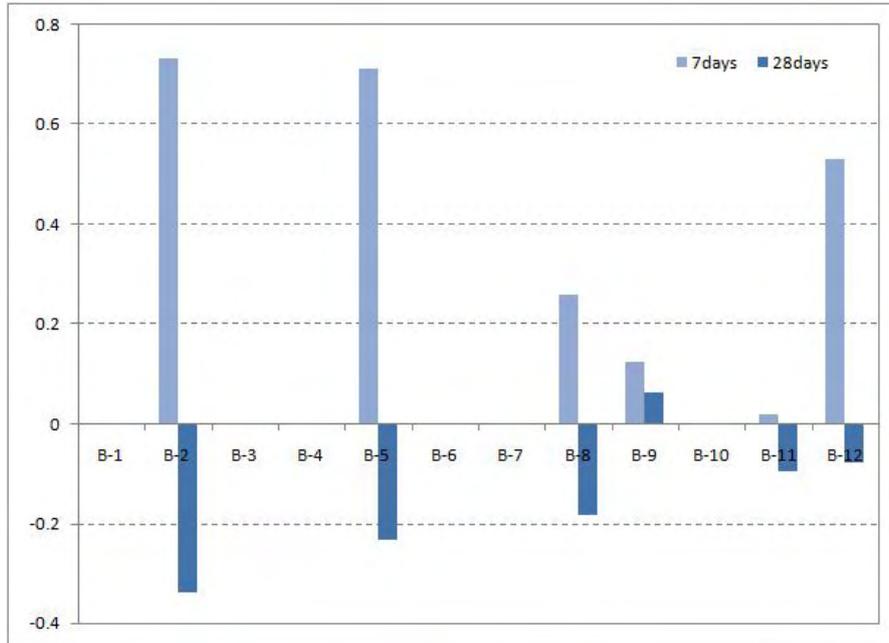
재령별 함수율 측정 결과

#### 라. 해교성 실험 결과

흙배합의 해교성 실험 결과 아래 ‘그림 해교성 실험 결과’와 같이 나타났으며, 결합재를 첨가하지 않은 경우에는 모두 물에 풀렸다. 소석회를 결합재로 사용한 경우 재령 7일에는 모든 배합에서 해교에 의한 중량감소가 나타났으며 모래의 첨가율이 높을수록 해교성은 좋아져 물에 대한 저항성이 큰 것으로 나타났다. 재령 28일의 경우에는 모든 배합에서 중량의 증가가 일어났다.

고강도석회를 첨가한 배합의 경우 재령 7일에는 흙분말이 많이 첨가된 경우 물에 풀리는 현상이 나타났으며 모래의 첨가율이 60%이상일 경우에는 물품림이 일어나지 않았다. 또한 재령 28일의 경우에도 비슷한 결과를 나타내었으나 모래의 첨가율이 90%인 경우에는 중량의 증가가 일어났다.

중량 증가의 원인은 실험체를 물에 담구는 동안 반응하지 않았던 석회(CaO)가 물과 반응하여 소석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)를 생성하거나 석회 복합체를 형성하는 것으로 사료되며 이에 따른 중량 증가로 판단된다.

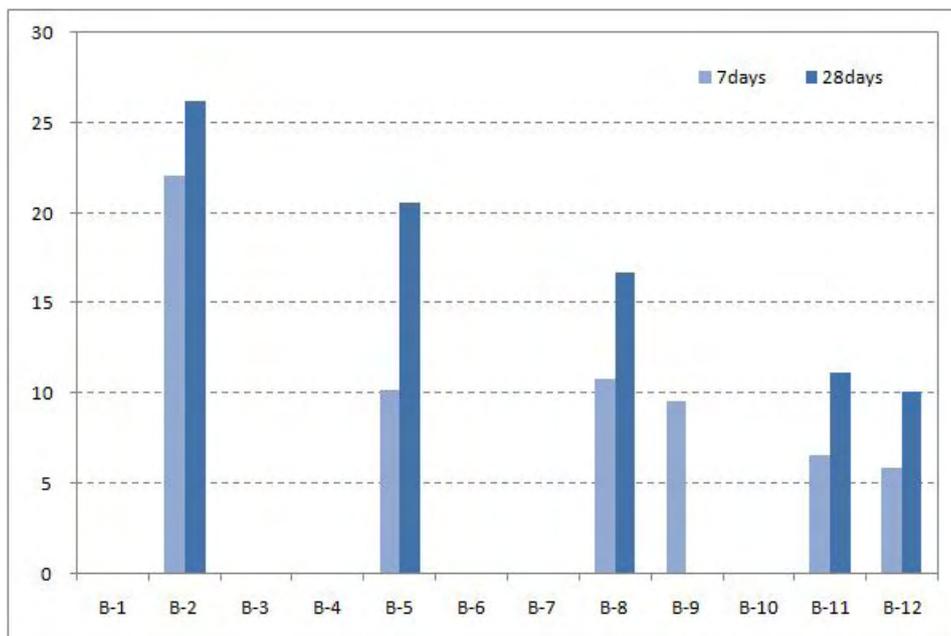


해교성 실험 결과

#### 마. 흡수율 실험 결과

흡배합의 흡수율 실험 결과 아래 ‘그림 흡수율 실험 결과’와 같이 나타났다. 소석회를 결합재로 사용한 배합의 경우 모래의 첨가율이 증가할수록 흡수율은 낮게 나타났으며 재령 7일에 비해 재령 28일에 높은 흡수율을 나타냈다.

고강도석회의 경우에는 모래의 첨가율이 높은 경우에만 흡수율의 측정이 가능했다. 모래의 첨가율이 60%미만에서는 물에 풀려 흡수율의 측정이 어려웠으며 고강도석회도 재령 28일이 7일에 비해 높은 흡수율을 나타냈다.



흡수율 실험 결과

**바. 표면경도 측정 결과**

흙배합의 경우 입도에 따라 양생이 완료되어도 표면이 약해 쉽게 부스러지고 굽히는 문제점으로 인해 시공 후 많은 주의를 요하게 되므로 표면 경도 실험을 재령 7일, 28일 실시하였으며 결과는 아래 ‘표 연필경도시험결과’와 같다.

결합재를 첨가하지 않은 흙배합의 경우 모래 함유율이 증가할수록 결합재인 점토의 함량이 낮아져 표면경도도 낮아지는 것으로 판단되며 재령이 증가함에 따라 경도는 증가하는 것으로 나타났다. 모래의 첨가율이 0%일 경우에는 2H로 높게 나타났으나, 90%일 경우에는 6B에서도 굽히는 것으로 나타나 매우 약한 것으로 판단된다.

소석회를 첨가한 경우 재령 7일 경도는 모래 입자의 함량이 높을수록 높게 나타났으며 재령 28일에는 모든 배합에서 9H의 높은 경도를 나타내었다. 소석회는 흙과 만나 포졸란 반응을 일으키는데 반응 시간이 길다. 그래서 재령 초기에는 낮은 경도를 나타내었고 재령 28일에는 경도가 높게 나타났다. 소석회의 경우 흙배합이 표면 경도를 증진시키는 좋은 결합재인 것으로 판단된다.

고강도소석회를 첨가한 경우 모래의 첨가율이 90%일 경우를 제외한 다른 배합에서는 매우 낮은 경도를 나타내었으며 모래의 첨가율이 90%인 경우에는 9H로 높은 경도를 나타내었다.

연필경도시험결과

구분	흙배합비(%)		결합재 첨가비(%)			7days	28days
	H	S	無	SL	HPL		
B-1	100	0	0			HB	2H
B-2	100	0		15		5B	9H
B-3	100	0			15	-	4B
B-4	70	30	0			-	1B
B-5	70	30		15		2B	9H
B-6	70	30			15	-	-
B-7	40	60	0			-	1B
B-8	40	60		15		5B	9H
B-9	40	60			15	-	-
B-10	10	90	0			-	-
B-11	10	90		15		5H	9H
B-12	10	90			15	3B	9H

### 사. pH 측정 결과

결합재 첨가에 따른 흙배합의 pH 측정결과는 표 19와 같이 나타났다. 결합재를 첨가하지 않은 흙배합의 경우 7.5~8.0의 pH 값을 나타내었으며 모래의 첨가율이 늘어남에 따라 다소 높아지는 것으로 나타났으나 대체적으로 중성을 나타내었다.

소석회를 결합재로 사용한 경우 흙배합의 pH는 12를 넘는 강알칼리성을 나타냈으며 재령 28일에도 높게 나타났다. 장기재령에서의 pH값을 추가적으로 실험해볼 필요가 있는 것으로 사료된다.

고강도석회를 결합재로 사용한 흙배합은 모래의 첨가율이 증가할수록 pH가 증가하는 것으로 나타났으며 소석회에 비해 낮은 pH를 나타내었다. 특히 모래의 첨가율이 낮은 경우에는 재령 28일 pH 9 정도의 약알칼리성을 나타내었다.

pH 측정결과

구분	흙배합비(%)		결합재 첨가비(%)			7days	28days
	H	S	無	SL	HPL		
B-1	100	0	0			7.56	7.71
B-2	100	0		15		12.57	12.49
B-3	100	0			15	10.93	9.09
B-4	70	30	0			7.50	7.58
B-5	70	30		15		12.53	12.57
B-6	70	30			15	11.24	9.19
B-7	40	60	0			7.87	7.86
B-8	40	60		15		12.51	12.61
B-9	40	60			15	11.18	11.17
B-10	10	90	0			8.02	8.08
B-11	10	90		15		12.53	12.65
B-12	10	90			15	11.41	10.70

### 아. 압축강도 실험 결과

결합재의 첨가에 따른 압축강도 측정결과 표 20과 같이 나타났다.

흙의 첨가율이 높은 흙배합의 경우 결합재의 첨가에 상관없이 재령 3일에는 양생이 완료되지 않아 압축강도 측정이 어려웠다. 흙의 첨가율이 70%인 경우에는 고강도석회를 넣은 흙배합이 측정가능했으나 매우 약했으며 흙의 첨가율이 40%이하인 경우에는 소석회와 고강도석회를 첨가한 배합에서 압축강도 측정을 하였다. 고강도석회를 첨가한 배합의 경우 흙의 첨가율이 10%로 낮을 경우 재령 초기에 7.36MPa로 높은 강도 발현을 하였다.

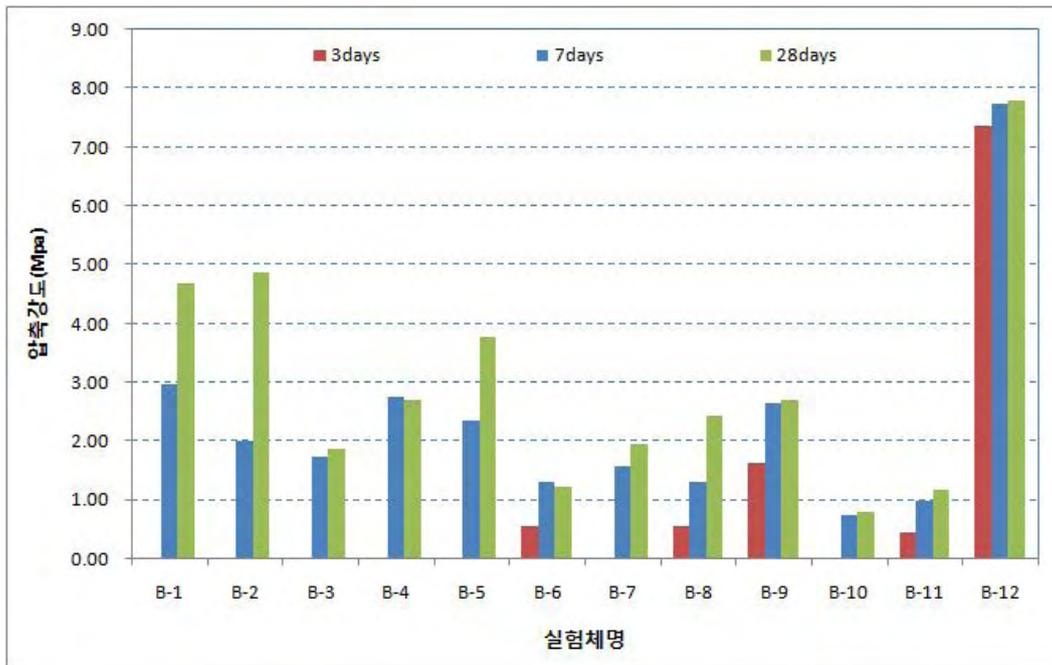
재령 7일부터는 모든 배합에서 압축강도 측정이 가능하였으며 재령 28일에는 대체적으로 압축강도의 증진이 일어났다.

흙의 첨가율이 높은 배합에서는 흙에 결합재를 첨가하지 않은 배합과 소석회를 첨가한 배합에서 높은 강도 발현을 보였다. 이는 흙이 가지고 있는 20%이상의 clay성분에 의해 강한 결합을 한 것으로 판단된다.

모래의 첨가율이 증가할수록 소석회를 첨가한 배합의 압축강도가 결합재를 첨가하지 않은 배합에 비해 높은 강도를 나타내었다. 그러나 재령 28일까지의 결과로 볼 때 점토의 점착력이 소석회의 점착력보다 압축강도에 미치는 영향이 큰 것으로 사료된다.

압축강도 측정결과

구분	흙배합비(%)		결합재첨가율(%)			압축강도(MPa)		
	H	S	無	SL	HPL	3일	7일	28일
B-1	100	0	0				2.98	4.70
B-2	100	0		15			2.00	4.87
B-3	100	0			15		1.74	1.88
B-4	70	30	0				2.76	2.70
B-5	70	30		15			2.36	3.76
B-6	70	30			15	0.56	1.30	1.24
B-7	40	60	0				1.58	1.97
B-8	40	60		15		0.56	1.32	2.44
B-9	40	60			15	1.64	2.64	2.70
B-10	10	90	0				0.74	0.79
B-11	10	90		15		0.46	1.00	1.18
B-12	10	90			15	7.36	7.74	7.80



압축강도 측정결과

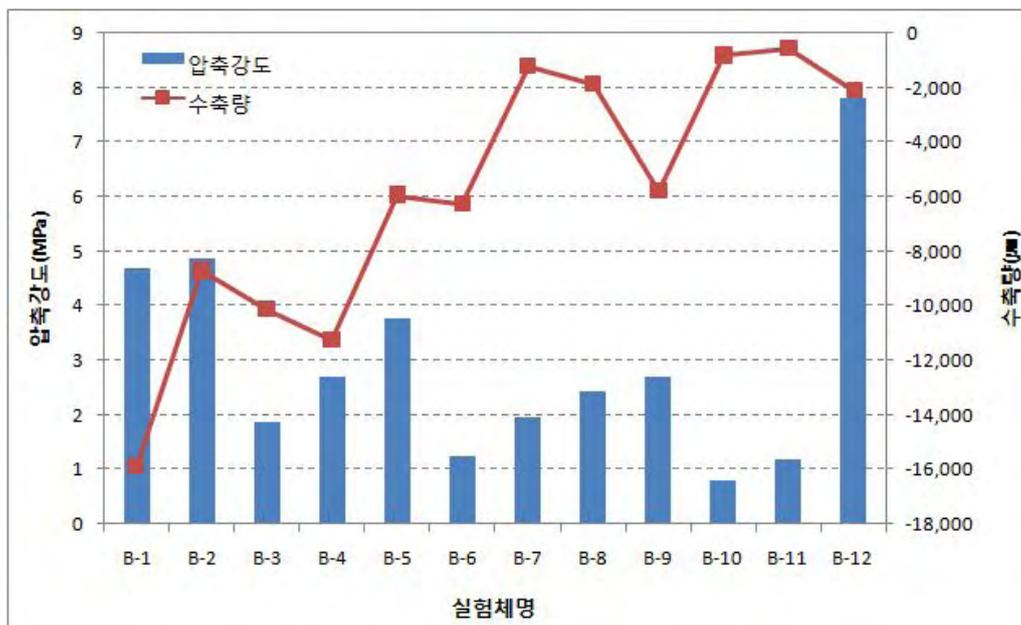
### 자. 압축강도와 건조수축의 관계

흙의 첨가율이 높은 배합의 경우 압축강도는 높으나 건조수축이 심하게 나타났으며, 소석회를 첨가할 경우 건조수축은 다소 저감되는 것으로 나타났다.

고강도석회의 경우 모래의 첨가율이 90%로 높은 경우 상대적으로 높은 압축강도와 낮은 건조수축을 보였다.

압축강도와 건조수축의 관계

구분	흙배합비(%)		결합재첨가율(%)			재령 28일	
	H	S	無	SL	HPL	압축강도(MPa)	최대수축량(μm)
B-1	100	0	0			4.70	-15,870
B-2	100	0		15		4.87	-8,722
B-3	100	0			15	1.88	-10,118
B-4	70	30	0			2.70	-11,234
B-5	70	30		15		3.76	-5,945
B-6	70	30			15	1.24	-6,271
B-7	40	60	0			1.97	-1,215.5
B-8	40	60		15		2.44	-1,884.1
B-9	40	60			15	2.70	-5,788.1
B-10	10	90	0			0.79	-841.33
B-11	10	90		15		1.18	-579.94
B-12	10	90			15	7.80	-2,098.2



압축강도와 건조수축의 관계

## 7. 결론

본 연구에서는 흙의 입도와 결합재의 종류에 따른 흙배합의 특성을 알아보았으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 가. 결합재를 첨가하지 않은 배합의 경우 모래의 첨가율이 낮을 때는 상대적으로 높은 압축강도를 나타내었으며 표면경도가 조금 높게 나타났다. 그러나 건조수축이 심하고 물에 풀리는 단점이 있어 사용에 있어 물에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.
- 나. 소석회를 결합재로 사용한 배합의 경우 대체적으로 결합재를 첨가하지 않은 배합에 비해 높은 압축강도와 낮은 건조수축을 나타내었다. 또한 물에 대한 내성이 크고 표면경도가 매우 높게 나타나 건축물 내외부에서 사용이 좋을 것으로 판단된다. 그러나 pH가 높게 나타나는 점이 있으므로 이점에 주의가 필요한 것으로 판단되며 흡수율이 높게 나타나 외부에 사용시에는 적당한 대책이 필요한 것으로 판단된다.
- 다. 고강도석회를 결합재로 사용한 배합의 경우에는 모래의 첨가율이 낮은 경우에는 압축강도, 해교성, 건조수축, 해교성 등의 특징이 소석회에 비해 낮게 나타나 사용시 주의를 요한다. 그러나 모래의 첨가율이 높은 경우에는 압축강도가 매우 높게 나타났으며, 또한 해교성, 표면경도, 건조수축 등 대부분의 특성이 매우 좋게 나타났다. 특히 pH 부분에서는 소석회에 비해 낮게 나타나 좋은 것으로 판단된다.
- 라. 결합재의 첨가와 흙의 입도에 따라 다양한 특성이 나타났으며 흙을 사용할 때는 용도와 위치 등을 고려하여 적절한 흙배합과 결합재를 선정하는 것이 중요하며 건축물의 내구성을 높이며 거주자의 집에 대한 만족감을 키울 수 있을 것으로 판단된다.

# 제 3 장 거주자 참여 방안 교육

## 1절 교육 내용

### 1. 흙건축 이론교육

- 흙건축의 의미
- 흙의 효과
- 흙건축 기술, 원리 이해
- 흙건축 공법 이론
- 세계의 흙건축
- 국내 흙건축 현황
- 더불어 사는 흙건축
- 건축의 기원
- 해외 흙건축 사례 : 알제리
- 다양한 흙건축 디테일
- 흙건축의 역사

### 2. 흙의 기본 성질 및 물성실험

- 흙은 다양한 입도를 가지고 있으며 이러한 입도의 차이에 따라 나타나는 흙의 특성을 실험, 실습을 통해 비교 분석을 통해 이해함
- 흙에 가해지는 힘의 차이에 따라 외력에 대해 버틸 수 있는 힘의 크기가 달라지며 그 특성을 이해함
- 흙을 반죽할 때 가해지는 물량의 차이에 따라 흙의 물성을 아주 많은 차이를 보이게 되는데 이러한 특성을 이해함
- 흙은 입도, 물의 양, 힘의 조합에 의해 다양한 특성을 갖게 됨
- 흙입자의 공극과 다짐 특성

### 3. 흙건축 공법 실습 : 벽체, 지붕, 마감 공사

- 흙벽체 가이드 세우기 : 목공사
- 흙벽체 쌓기 : 흙쌓기 공법 - EP공법, 흙다짐 공법, 흙타설 공법
- 내부 흙미장 : 내부 마감을 위한 벽, 바닥 흙미장 공법
- 지붕 단열 : 친환경 단열재 사용
- 지붕 마감공법 : 방수 공법
- 내외부 마감 공법 : 발수제, 기름, 풀, 페인트 시공

## 2절 교육사례

### 1. 흙건축워크샵

· 개요

- 가장 전통적이면서도 동시에 미래적 가치를 지닌 흙에 대한 새로운 가능성을 발견을 취지로 흙건축에 대한 교육 실시
- 흙에 대한 이론 및 물성에 대한 실습을 통해 흙의 기본 물성을 이해
- 다양한 흙건축 공법에 대한 이론 및 실습을 통한 건축재료로써 흙을 적용하기 위한 기초 실습 및 공법 이해
- 흙건축에 대한 소규모 시공을 통해 일반인들이 건축물의 시공에 관한 전반적인 사항을 실습하고 이를 통해 일반인들의 건축물 시공이 가능하도록 교육 진행

흙건축 워크샵 개요

<b>교육기간</b>	2012.07.21 - 07.28 (7박8일)
<b>교육대상</b>	학생, 일반인
<b>교육장소</b>	국립목포대학교 흙건축실습장
<b>프로그램 구성</b>	흙건축 이론 / 흙 물성 실험 / 흙건축물 시공
<b>주요공법</b>	EP공법, MJ 공법, 고강도 흙다짐 공법, 알매흙 공법, 흙타설 공법, 흙미장, 개량구들
<b>주 제</b>	흙에서 쉬다
<b>취 지</b>	- 흙에 대한 지식이 많지 않은 일반인들을 대상으로 건축물의 이론에서 시공에 이르는 과정을 직접 실습을 통해 체험 교육함
<b>목적</b>	- 건축의 주요 재료로써 흙을 사용한 건축물 시공 - 일반인들이 흙건축에 대한 이론 및 실습을 통한 특성 이해 - 교육을 통해 일반인들이 직접 건축물 시공이 가능하도록 유도 - 다양한 흙건축 공법의 실습
<b>기대효과</b>	- 흙에 대한 이론교육 및 실습 교육을 통한 흙의 물성 이해 - 흙을 사용한 건축물의 특성 이해 - 일반인들이 교육을 통해 흙건축물의 시공에 대한 이해, 이를 바탕으로 흙건축의 시공이 가능하도록 함

흙건축 워크샵 일정

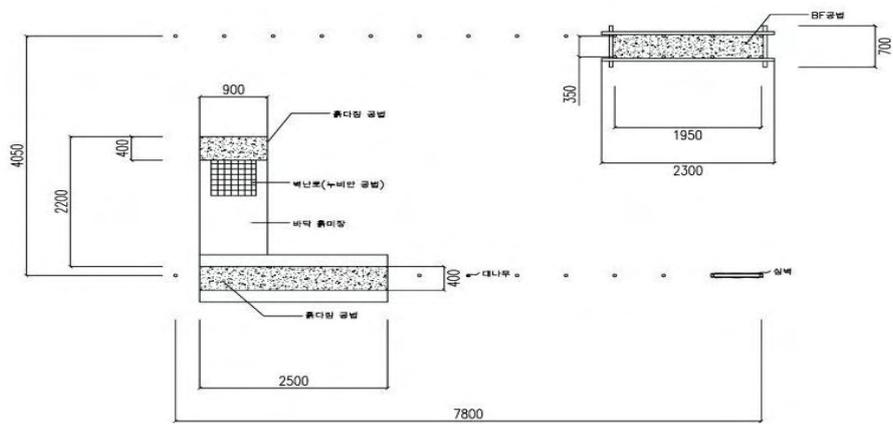
날짜	교육 프로그램	세부 계획
07.21 (토)	개막식 흙건축 이론	13 : 30 집결 및 참가자 등록 (국립목포대학교 대외협력관) 14 : 00 - 14 : 30 개막식 14 : 30 - 17 : 30 흙건축 이론 I 황혜주 17 : 30 - 18 : 30 방 배정 및 저녁식사 19 : 30 - 22 : 30 내가 꿈꾸는 집 I
07.22 (일)	흙의 물성실험 흙벽돌 실습 및 교육	08 : 30 - 12 : 00 흙의 기본성질 / 물성실험 12 : 00 - 13 : 00 점심식사 13 : 00 - 17 : 30 현장실습 흙벽돌 공법 17 : 30 - 18 : 30 저녁식사 18 : 30 - 21 : 00 자유시간
07.23 (월)	기초 실습 및 교육	08 : 30 - 12 : 00 현장실습 기초 공사 / 배관 및 배선 12 : 00 - 13 : 00 점심식사 13 : 00 - 17 : 30 현장실습 기초 공사 및 흙다짐 체험 17 : 30 - 18 : 30 저녁식사 19 : 30 - 22 : 30 야간강의 강성수 <흙과 문명> 김영란 <내가 본 흙건축>
07.24 (화)	거푸집 및 흙벽체 실습 및 교육	08 : 30 - 12 : 00 현장실습 거푸집 설치 12 : 00 - 13 : 00 점심식사 13 : 00 - 17 : 30 현장실습 흙다짐공법 17 : 30 - 18 : 30 저녁식사 19 : 30 - 21 : 30 자유시간
07.25 (수)	흙건축 이론 바닥 실습 및 교육	09 : 00 - 11 : 00 흙건축 이론Ⅱ 김순용 11 : 00 - 12 : 00 쉼터 디자인 12 : 00 - 13 : 00 점심식사 13 : 00 - 17 : 30 현장실습 흙건축 4대 공법 / 바닥미장 17 : 30 - 18 : 30 저녁식사 19 : 30 - 21 : 00 지역답사
07.26 (목)	기둥 및 지붕 실습 및 교육	08 : 30 - 12 : 00 현장실습 BF공법 12 : 00 - 13 : 00 점심식사 13 : 00 - 17 : 30 현장실습 지붕 공사 / 벽난로 17 : 30 - 18 : 30 저녁식사 19 : 30 - 21 : 00 흙마음나누기
07.27 (금)	흙미장 실습 및 교육 흙체험 교육	08 : 30 - 12 : 00 현장실습 벽체 흙미장 / 흙페인트 12 : 00 - 13 : 00 점심식사 13 : 00 - 17 : 30 현장실습 마무리공사 / 흙 체험 놀이 17 : 30 - 18 : 30 저녁식사 19 : 30 - 21 : 00 자유시간
07.28 (토)	수료식	08 : 30 - 12 : 00 내가 꿈꾸는 집Ⅱ 12 : 00 - 13 : 00 점심식사 13 : 00 - 16 : 00 내가 꿈꾸는 집Ⅲ 16 : 00 - 17 : 00 수료식

조감도 및 평면도

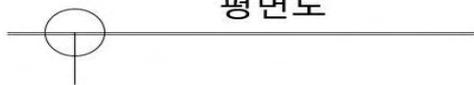
조감도



평면도



평면도



교육일정 및 사진

교육일정 및 사진



(1) 개막식



(2) 이론강의



(3) 내가 꿈꾸는 집



(4) 물성실험 1



(5) 원리 실험



(6) 흙벽돌 제작



(7) 기초 거푸집 조립



(8) 기초 흙타설



(9) 철근 삽입



(10) 몰다짐 기초



(11) 고강도 흙다짐 거푸집



(12) 고강도 흙다짐 시공



(13) 고강도 흙다짐 탈형



(14) 흙미장 실습



(15) 알매흙 공법



(16) BF 공법



(17) MJ 공법



(18) EP공법



(19) 계량구들 시공



(20) 누비안 쌓기



(21) 대나무 엮기



(22) 지붕 시공



(23) 발수처리



(24) 시공 완료

[별첨]

## 부록Ⅲ 농어촌형 그린홈 실현을 위한 수순환 개발

# 제 1 장 농어촌형 그린홈 실현을 위한 자연형 수순환 기술

## 개발 (3차년도: 장기 모니터링을 위한 키트형 수정화시스템 구축 및 효능평가)

### 1절 개요

1차년도에 천연필터소재와 단일 중금속의 흡착능력 차이가 있는지 그리고 종합적인 중금속 및 오염 음이온을 조성하여 간헐식과 급속투여로 흡착효능에 대한 단기실험을 한 결과 1차적으로 흡수능에 확신이 있어 재활용 천연필터소재의 장기 순환실험으로 각각의 오염원에 대한 각각 천연소재의 흡수특성을 조사하였다. 이중 일부 선발된 소재와 수생식물 그리고 벼를 활용한 정화 시스템 구축 예비실험으로 수자원 재활용가능성을 살펴보고 1차년도 결과를 응용해서 4계절을 대상으로 지속적으로 수순환시스템이 가동될수 있는 시스템을 구축하였다. 특히 겨울에 맞는 시스템구축과 봄, 여름, 가을에도 지속적으로 활용할 수 있는 수자원 재활용 수순환 시스템을 구성하여 단기 효능평가를 실시하였다. 2차년도 단기효능 결과를 토대로 3차년도에는 2차년도의 계단식 수로식 통합형인 단일 구성 시스템이 아닌 최적정화시스템에 맞는 키트형태로 수정화 자연형 수순환 시스템을 구축하여 손쉽게 운반가능하며 이들 키트를 조립식으로 이어서 사용하면 추후 각 용도에 맞게 적용가능하고 대규모 시스템도 구축할 수 있게 만들었으며 중수를 한번 처리하는 단기실험이 아닌 중수의 지속적 투여 시 추후 지속적인 장기모니터링을 할 수 있는 키트형 최적 혼합시스템을 설계 및 구축을 하여 실험을 실시하고자 한다.

### 2절 키트형 수정화 자연형 수순환시스템 실험체 구성 설명(사진)

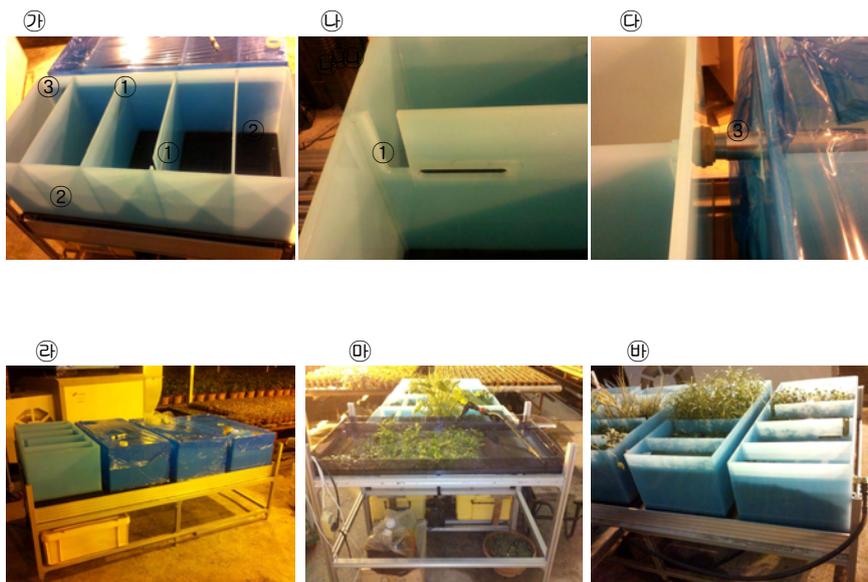


사진1 : 키트형 수순환시스템 실험체 설치(2013. 01. 10 셋팅, 2013. 01. 23 예비순환가동)

설명1 : 키트형 수로 1개의 규모(45cm x 96cm x 29cm)

설명2 : 키트형 수로 1개를 5칸으로 나누었으며 물이 유입되면 1, 4번째 칸막이에는 하단 구석에 구멍(㉔의㉕)을 내었고 2, 3번째 칸막이는 칸막이 상단 구석(㉔㉕의㉑)에 구멍을 내어 중수의 유입이 아래에서 위로 위에서 아래로 흘러 천연필터의 최적 기능을 살렸다.

설명3 : 각키트마다 물 흐름 연결은 ㉔의㉓으로 하였다.

설명4 : ㉔는 키트형 4개 연결된 형태의 사진

㉔는 하단 중수통에서 펌프가 첫 번째 키트에 물 유입사진

㉔는 수로에서 자연정화된 물이 다시 원수통으로 들어가게 연결된 호수사진

### 3절 키트형 수정화 자연형 수순환 자동화 시스템 구성 및 식물생육상(사진)



사진2 : 수정화 시스템 작동시식물의 정상생육상태(2013. 02. 13)

설명1 : 1차 중수 유입되는 형태(좌의 상 사진), 통 솟으로 1차로 중수 오염원 제거(중간 상사진)

설명2 : 마지막 천연필터로 정화된 물이 빠져나가는 형태(좌 아래사진)

설명3 : 전체 구성을 나타내는 사진(우의 상)

설명4 : 정화식물의 생육상(나머지 사진들)

#### 4절 모니터링 기간 정화식물의 생육상황(정상 생육 단계)



사진3 : 식물의 정상생육상태(2013. 03. 04)

설명1 : 가장 왕성하게 정화기능하며 과번식으로 개체수가 많아지면 오래된 잎 제거와 일부 개체를 제거하여 줄여 줌

## 5절 연구재료 및 방법

### 1. 실험 장소

고양시 원당동 화훼단지 자동화 비닐하우스

### 2. 실험 구성

겨울철 식물생육 온도유지 하우스에서 자동 수순환 시스템 구축

[상하 좌우 수로식 아크릴 키트형 챔버 4 + 중수 펌프 + 중수탱크(40L 2개) + 순환 호수 + 키트 연결 밸브 + 키트 받침형 챔버]

### 3. 정화 소재

수생식물(부레옥잠, 거북이자라등, 워터코인, 카라, 꽃창포, 파피루스, 동이, 물냉이, 물 이끼 등) 과 천연필터 소재(토양, 통숯, 맥반석, 옥돌) 이용

### 4. 조사 항목

#### 가. 음이온, 양이온 성분 (ICS 분석)

음이온 : F, Cl, Br, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>

양이온 : Li, Na, NH<sub>4</sub>, K, Mg, Ca

#### 나. 생활용수 수질기준 성분(19항목, 위엔라이프 의뢰) + 추가로 세제 음이온 계면활성제

생활용수 수질기준 성분

시 험 항 목		단 위	기 준
일반오염물질(4)	수소이온농도(pH)	-	5.8~8.5
	대장균군수	MPN/100mL	5,000 이하
	질산성질소	mg/L	20 이하
	염소이온	mg/L	250 이하
특정유해물질(15)	카드뮴	mg/L	0.01 이하
	비소	mg/L	0.05 이하
	시안	mg/L	0.01 이하
	수은	mg/L	0.001 이하
	유기인	mg/L	0.0005 이하
	페놀	mg/L	0.005 이하
	납	mg/L	0.1 이하
	6가크롬	mg/L	0.05 이하

트리클로로에틸렌(TCE)	mg/L	0.03 이하
테트라클로로에틸렌(PCE)	mg/L	0.01 이하
1,1,1-트리클로로에탄	mg/L	0.15 이하
벤젠	mg/L	0.015 이하
톨루엔	mg/L	1 이하
에틸벤젠	mg/L	0.45 이하
크실렌	mg/L	0.75 이하

(<http://www.kewi.re.kr>(2010.2.16개정))

\* 농업용수. 공업용수 일지라도 생활용수의 목적으로도 함께 이용되는 경우에는 생활용수 기준을 적용함

## 다. 실험준비 및 처리 방법

### (1) 실험준비

1월 17일 : 구조물 셋팅

1월 22일 : 구조물에 토양(흙)과 천연필터(맥반석)로 기초 셋팅

1월 24일 : 천연소재(맥반석, 하이드로볼, 숯) 및 수생및 수변식물(부레옥잠, 워터코인, 카라, 파피루스, 동이, 물냉이, 석창포, 거북이자라등, 물이끼)로 구조물 전체 셋팅

1월 25일 : 1차 물갈이로 초기 오염원 제거

2월 12일 : 식물상태 순화상태 점검 및 솟아줌, 추가로 물배추 셋팅

2월 14일 : 식물과 번무 밀도 줄임, 마지막 배출구 빛에 의한 파래형성 및 주변 벽 깨끗이 청소, 맥반석 워싱 및 재배치 그리고 빛이 안들어가게 까망비니루로 덮어줌

2월 19일 : 실험시작(오염수 투여)

### (2) 중수원액 제조(인위적으로 질산태질소 고농도 함유 제조)

(가) 지하수 80L에 대유영양액 원액 A액, B액을 1:1로 1000배 희석하여 제조(식물생육 최적농도)하여 여기에 샴푸액(4ml/80L)과 바다위셔액(4ml/80L) 그리고 비누를 손에 많이 비벼서 거품이 최대한 많이 나게 제조 후 이빨땀고 세정하듯 일정량의 치약을 넣어 혼합제조

(나) 샴푸, 바다, 비누, 치약으로 혼합된 액을 수건에 거품이 잘나게 비벼주고 흔들어준 후 잘 저어서 원수 저장탱크에 저장

**(3) 실험진행 및 샘플채취(2013.02.19 - 2013. 03. 20)**

- (가) 지하수 샘플 채취(지하수 음이온 양이온 분석용)
- (나) 제조된 중수 샘플채취(원수)
  - (음이온 양이온 분석 및 생활용수 19항목 + 음이온계면활성제 분석용)
- (다) 채취샘플 바로 냉장보관
- (라) 제조 중수(원수) 펌프 가동(정화시작)
- (마) 가동후 1, 3, 5, 7, 10일 정화수 샘플채취(음이온 양이온 분석용)
- (바) 가동후 10일 정화수 샘플채취(생활용수 19항목 분석)
- (사) 10일 채취 후 밑에 2통을 비우고 다시 중수원액을 만들어 통에 넣고 샘플채취(추가원수 2/28)
  - (음이온 양이온 분석 및 생활용수 19항목 + 음이온계면활성제 분석용)
- (아) 제조 중수(원수) 펌프 가동(정화시작)
- (자) 가동후 1, 3, 5, 7, 10일 정화수 샘플채취(음이온 양이온 분석용)
- (차) 가동후 10일 정화수(생활용수 19항목 분석)
- (카) 10일 채취 후 밑에 2통을 비우고 다시 중수원액을 만들어 통에 넣고 샘플채취(추가원수 3/11)
  - (음이온 양이온 분석 및 생활용수 19항목 + 음이온계면활성제 분석용)
- (타) 제조 중수(원수) 펌프 가동(정화시작)
- (파) 가동후 1, 3, 5, 7, 10일 정화수 샘플채취(음이온 양이온 분석용)
- (하) 가동후 10일 정화수(생활용수 19항목 분석)

**(4) 실험 챔버에 유입되는 유량속도**

- (가) 910ml/min(2013.02.19-2013.02.26)
- (나) 920ml/min(2013.02.28-2013.03.09)
- (다) 1000ml/min(2013.03.11.-2013.03.20)

## 6절 실험 결과

### 1. 음이온 변이

수자원 재활용 키트형 자연형 수순환 시스템 하에서 음이온 함량변이

	F	Cl	NO3	PO4	SO4
지하수1(2/19)	-	10.86	50.74	-	26.51
<b>원수(2/19)</b>	-	<b>12.25</b>	<b>579.04</b>	<b>48.10</b>	<b>74.57</b>
정화수1(2/19)	0.09	5.22	45.86	-	30.24
정화수2(2/20)	0.09	3.48	75.39	3.18	35.23
정화수3(2/22)	-	2.81	62.70	-	35.25
정화수4(2/24)	-	1.89	49.60	-	34.82
정화수5(2/26)	-	1.27	44.12	-	34.25
<b>추가 원수(2/28)</b>	-	<b>11.57</b>	<b>120.14</b>	<b>24.14</b>	<b>64.59</b>
정화수6(2/28)	0.09	1.47	31.66	-	33.56
정화수7(3/01)	-	1.67	79.21	-	42.30
정화수8(3/03)	-	1.32	79.23	2.27	41.10
정화수9(3/05)	0.08	0.03	98.18	-	39.82
정화수10(3/07)	0.09	0.66	54.55	-	37.84
정화수11(3/09)	0.09	1.04	45.01	-	36.35
지하수12(3/11)	-	9.77	52.11	-	26.01
<b>추가 원수(3/11)</b>	-	<b>11.54</b>	<b>591.80</b>	<b>45.22</b>	<b>74.15</b>
정화수14(3/11)	0.09	1.42	26.00	-	34.00
정화수15(3/12)	-	1.47	64.84	-	42.71
정화수16(3/14)	-	1.23	55.76	-	40.33
정화수17(3/16)	-	1.89	49.13	-	38.51
정화수18(3/18)	-	1.31	27.12	-	34.69
정화수19(3/20)	-	1.80	8.83	-	29.92

원수를 조제한 지하수물에도 염소(Cl)가 9-10ppm, 질산성질소(NO3)가 50-52ppm, 황(SO4)이 26ppm 정도 들어있으며 상기 식물정화 시스템을 통한 순환이 경과할수록 Cl는 약12ppm에서 1ppm대로 떨어지며 10일마다 원수를 재충전(28/2, 11/3)해도 바로 1ppm대로 떨어진다. 생활용수에서 중요한 항목인 질산성질소(NO3)는 하루만에 약90%이상 급격히 감소하다 다시 미비하게 오르다가 다시 감소한다. 10일마다 원수를 재충전(28/2, 11/3)해도 동일양상을 보이며 한달 후(20/3)에는 급격히 감소한다. 식물의 생육이 왕성할 시기이다. 질산성질소(NO3)에서 500ppm

은 아주 고농도로 95%이상 제거되는 것은 식물 및 천연필터 이용 수정화시스템의 큰장점이다. 질산성질소(NO3)와 더불어 생활용수에서 중요한 항목인 인산(PO4)은 거의 100% 감소한다. 10일마다 원수를 재충전(28/2, 11/3)해도 같은 결과를 보여준다. 황(SO4)도 원수에 비해 약 50-60%이상 상당량 감소를 보여주었다(표32).

## 2. 양이온변이

수자원 재활용 키트형 자연형 수순환 시스템하에서 양이온 함량변이

	Na	NH4	K	Mg	Ca
지하수1(2/19)	12.53	0.63	2.89	10.22	29.28
<b>원수(2/19)</b>	<b>14.47</b>	<b>25.73</b>	<b>104.65</b>	<b>21.11</b>	<b>120.28</b>
정화수1(2/19)	11.08	0.62	8.12	10.58	48.02
정화수2(2/20)	11.47	0.92	7.33	12.48	55.64
정화수3(2/22)	11.38	0.57	3.35	12.74	55.93
정화수4(2/24)	10.88	0.80	10.44	12.51	54.66
정화수5(2/26)	9.81	0.60	1.75	12.43	54.89
<b>추가 원수(2/28)</b>	<b>14.41</b>	<b>12.09</b>	<b>43.62</b>	<b>18.94</b>	<b>31.86</b>
정화수5(2/28)	9.06	-	0.70	12.41	54.44
정화수5(3/01)	11.01	0.96	7.97	14.44	60.47
정화수5(3/03)	10.57	0.57	2.22	14.33	62.58
정화수5(3/05)	9.68	0.60	1.15	14.29	64.08
정화수5(3/07)	8.65	-	0.46	14.26	63.57
정화수5(3/09)	7.01	0.50	0.74	13.95	63.17
지하수2(3/11)	12.66	-	2.28	10.30	28.88
<b>추가 원수3(3/11)</b>	<b>15.30</b>	<b>27.17</b>	<b>107.45</b>	<b>21.26</b>	<b>128.27</b>
정화수5(3/11)	5.21	0.38	0.35	14.17	63.33
정화수5(3/12)	7.29	0.40	4.65	15.75	65.69
정화수5(3/14)	6.57	0.39	0.42	15.69	67.77
정화수5(3/16)	5.78	0.67	1.24	15.59	71.28
정화수5(3/18)	3.57	0.46	1.02	15.71	71.65
정화수5(3/20)	2.03	0.33	0.27	15.27	69.16

또한 지하수에 칼슘(Ca)이 약29ppm, 마그네슘(Mg)이 10ppm, 나트륨이 12ppm 들어있으며 칼리와 암모늄태질소가 극미량 들어있다. 식물정화 시스템을 통한 순환이 경과할수록 Ca농도는 50-60% 정도 낮아지며 생육시기에 따라 미비하게 다소 변동이 있다. Mg은 초반 10일에는 원

수의 약 50%정 감소하다가 중반 후반으로 갈수록 다시 상승하는 경향을 보여준다. 암모늄태질소(NH<sub>4</sub>)는 처리와 동시에 거의 흡수되어 제거된다. 나트륨은 크게 변동이 없으나 초반보다는 중반 후반으로 정화기간이 길수록 감소하는 경향을 보였다(표 수자원 재활용 키트형 자연형 수순환 시스템화하에서 양이온 함량변이). 전반적으로 유용미네랄의 감소로 마이너스 측면도 있지만 농어촌에서 발생하는 우수, 비료성분함유물, 세척수(중수), 세탁수의 경우 많은 질산성질소와 인산 경우 제거능이 좋아 상기시스템의 연중 활용으로 생활용수로의 기능을 갖출 수 있다. 생활용수로서의 적합성 검사에서는 수소이온농도는 초중반 정화에서는 7.3에서 8.0 후반정화에서는 6.8에서 8.0으로 약알카리로 변화되었다. 질산성질소가 초중반 정화에서 121ppm(원수)에서 8.7ppm(정화수)으로 후반정화에서는 120ppm(원수)에서 9.5ppm(정화수)으로 검사기준인 20 mg/L이하로 적합함을 보여주었다. 2차년도에는 나타나지 않은 총대장균군은 원수 정화수 모두 초중반에서는 군수가 크지 않아 적합함을 보여주었다. 후반정화에는 원수에서는 상당히 높아 부적합을 보였으나 정화 후 상당히 낮아 적합함을 보여주었다. 다른 항목은 불검출로 적합함을 보여주었다. 또한 세정제에 들어있는 음이온 계면활성제는 원수 정화수 모두 불검출을 나타내었다 (표34, 표35).

### 3. 생활용수 항목검사

수자원 재 활용 자연형 수순환 시스템하에서 생활용수 항목검사(1, 2차조사)

검사항목명	검사기준	결과(원수)	결과(정화수)	결과(정화수)
		2월 19일	2월 28일	3월 9일
총대장균군	5,000이하(균수/100mL)	460	43	240
수소이온농도	5.8~8.5	7.3	7.9	8.0
질산성질소	20 mg/L이하	121.8	11.3	8.7
염소이온	250 mg/L이하	9	1	불검출
가드늄	0.01 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
비소	0.05 mg/L이하	불검출	0.005	0.005
시안	0.01 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
수은	0.001 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
유기인	0.0005 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
페놀	0.005 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
납	0.1 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
6가크롬	0.05 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
1,1,1-트리클로로에탄	0.15 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
벤젠	0.015 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
톨루엔	1.0 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
에틸벤젠	0.45 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
크실렌	0.75 mg/L이하	불검출	불검출	불검출
음이온계면활성제	0.5mg/L이하	불검출	불검출	불검출
판정		기준에 부적합 (질산성질소)	기준에 적합	기준에 적합

수자원 재활용 자연형 수순환 시스템 하에서 생활용수 항목 검사(3차조사)

검사항목명	검사기준	결과(원수)	
		3월 11일	3월 20일
총대장균군	5,000이하(균수/100ml)	22400	1100
수소이온농도	5.8~8.5	6.8	8.0
질산성질소	20 mg/L이하	120.9	9.5
염소이온	250 mg/L이하	9	1
가드늄	0.01 mg/L이하	불검출	불검출
비소	0.05 mg/L이하	불검출	불검출
시안	0.01 mg/L이하	불검출	불검출
수은	0.001 mg/L이하	불검출	불검출
유기인	0.0005 mg/L이하	불검출	불검출
페놀	0.005 mg/L이하	불검출	불검출
납	0.1 mg/L이하	불검출	불검출
6가크롬	0.05 mg/L이하	불검출	불검출
1,1,1-트리클로로에탄	0.15 mg/L이하	불검출	불검출
테트라클로로에틸렌	0.01 mg/L이하	불검출	불검출
트리클로로에틸렌	0.03 mg/L이하	불검출	불검출
벤젠	0.015 mg/L이하	불검출	불검출
톨루엔	1.0 mg/L이하	불검출	불검출
에틸벤젠	0.45 mg/L이하	불검출	불검출
크실렌	0.75 mg/L이하	불검출	불검출
세제(음이온 계면활성제)	0.5mg/L	불검출	불검출
<b>판정</b>		<b>기준에 부적합 (총대장균군. 질산성질소)</b>	<b>기준에 적합</b>

종합적으로 농어촌 생활하수의 경우 음식물 세정수가 아닌 목욕수, 세탁수 또는 우수, 비료성분이 있는 지하수물의 경우 온도가 낮은 겨울형에도 온·습도 조절기능을 갖춘 상기 자연형 수순환 시스템 구축과 이 시스템을 여름형으로 지속적 사용하면 생활중수를 정화해서 생활용수로 사용가능하다는 것을 보여준다. 특히 조립과 분해가 간편하고 작고 가벼워 이동이 수월한 키트형으로 물의 흐름이 상에서 하로 하에서 상으로 그리고 좌우형 수로형태의 상기 수정화 키트시스템을 앞으로 농어촌뿐만 아니라 도시형에서도 자연형 수순환 수정화시스템으로 적용하기가 유용하다.

[별첨]

**부록Ⅳ 농어촌형 그린홈 표준모델 보급을 위한 지원방안 및  
인증제도 구상**

# 제 1 장 기술적 자료 확보 및 성능평가 결과를 토대로한 농어촌형 그린홈 표준모델 보급을 위한 지원방안 및 인증제도 구상

본 연구결과를 바탕으로 농어촌형 그린홈 성능기준에 관한 인증제도를 계획단계와 시공 후 단계로 나누어 작성하고, 운영 방안을 구상하였다. 이를 바탕으로 그린홈 보급 시 적용하여 보다 향상된 그린홈을 보급할 수 있도록 하였고, 제도적 그리고 경제적 지원 방안에 대한 방향을 제시하였다.

## 1절 농어촌형 그린홈 성능기준을 토대로 Test-bed를 통해 확보된 자료를 기준으로 한 인증제도 구상

### 1. 농어촌형 그린홈 성능기준

“국토교통부령 제6호 2013.5.20 제정 건축물 에너지효율등급 인증에 관한 규칙”에 따른 농어촌형 그린홈 성능기준을 작성한다.

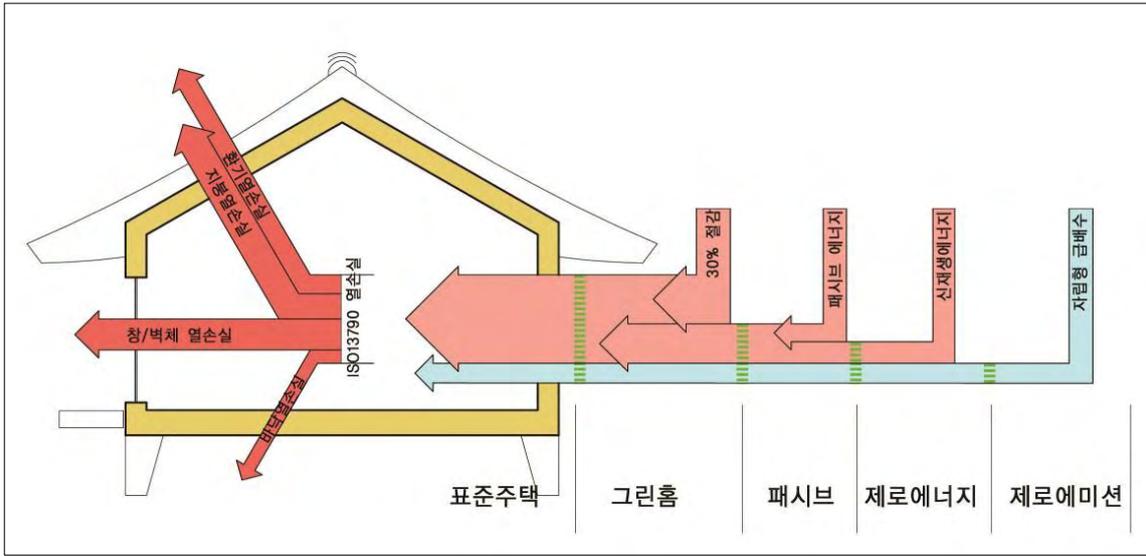
· 평가방법: “건축물 에너지효율등급 인증 기준 제10조 2항 적용”

건축물의 인증을 위한 에너지효율은 ISO 13790 등 국제규격에 따라 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 등에 대해 종합적으로 평가하도록 제작된 프로그램에 따라 산출된 연간 단위면적당 1차 에너지소요량으로 평가

· 평가기준: “건축물 에너지효율등급 인증 기준 별표1 적용”

그린홈 성능기준에 따른 에너지 절감율

등급	그린홈 성능기준	표준건축 대비 (總에너지절감율)	표준건축 성능기준
1	그린홈 1등급 (패시브)	40% 이상	건축법의 지역별 열관류율 적용
2	그린홈 2등급	30% 이상 40 % 미만	
3	그린홈 3등급	20% 이상 30 % 미만	
4	그린홈 4등급	10% 이상 20 % 미만	
5	그린홈 5등급	0% 이상 10 % 미만	



그린홈 성능에 따른 목표설정

표 222 건물에너지 절감은 세부기준 미비로 난방을 대상으로 평가함, 추후 냉방, 급탕, 조명 추가예정임

	구분	내용
그린홈	표준주택	건축법 지역별 열관류율 적용수준의 농어촌 주택
	그린홈(저에너지)	표준주택 대비 에너지 절감 0 - 30% 수준 주택 (ISO13790기준 적용)
	패시브 수준	표준주택 대비 에너지 절감 30 - 40% 수준 주택 (ISO13790기준 적용)
	제로에너지 수준	패시브 성능 주택에 신·재생에너지를 이용한 제로에너지 주택
	제로에미션 수준	제로에너지 수준 주택에 수순환 정화처리 시스템을 적용한 제로 에미션 주택

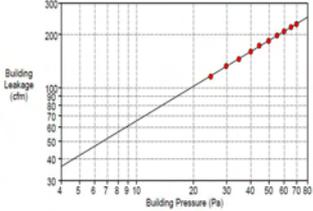
2. Test-bed를 통해 확보된 자료를 기준으로 한 인증제도 구상

인증제도 단계별 방법

인증 구상	방 법	비 고
1. 계획 단계	그린홈V1.0 계산값 산정	ISO13790
2. 시공후 단계	그린홈V1.0 계산값 산정+측정값 산정	유리성능 평가 열교 평가 기밀 평가

가. 계획 단계 (목업 테스트 및 시뮬레이션 검토)

Blower Door Test

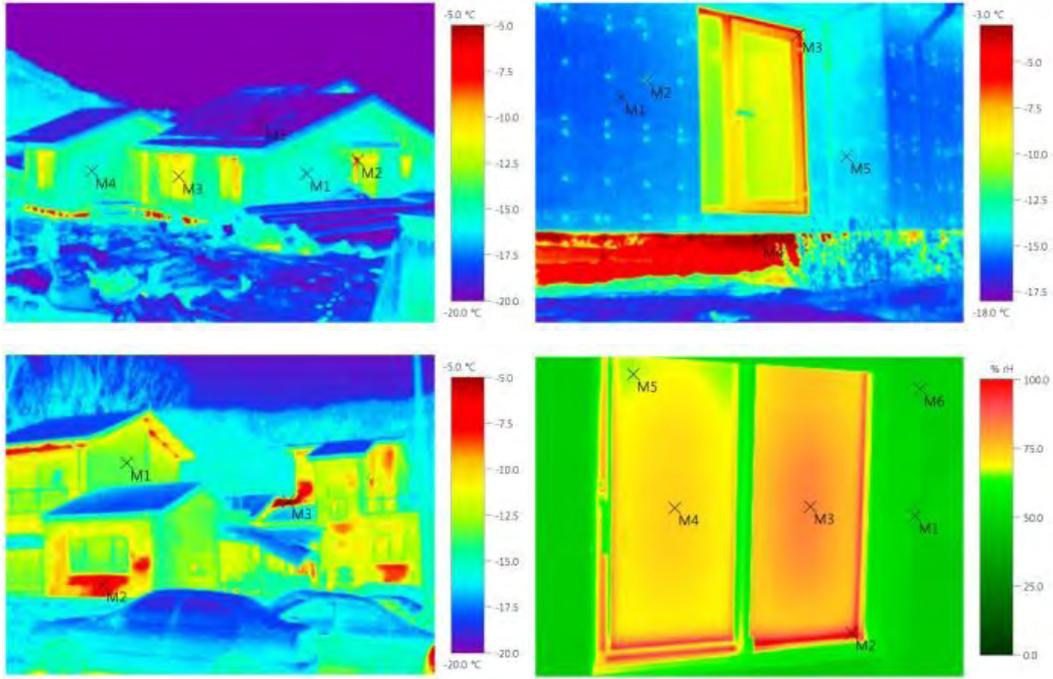
BUILDING LEAKAGE TEST												
		<p><b>개요</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Inside-Temp</td> <td>19°C</td> </tr> <tr> <td>Outside-Temp</td> <td>22°C</td> </tr> <tr> <td>Volume</td> <td>258m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td>Surface Area</td> <td>216m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Floor Area</td> <td>111m<sup>2</sup></td> </tr> </table>	Inside-Temp	19°C	Outside-Temp	22°C	Volume	258m <sup>3</sup>	Surface Area	216m <sup>2</sup>	Floor Area	111m <sup>2</sup>
	Inside-Temp	19°C										
Outside-Temp	22°C											
Volume	258m <sup>3</sup>											
Surface Area	216m <sup>2</sup>											
Floor Area	111m <sup>2</sup>											
<p><b>Test Results at 50 Pascals:</b>                      V50: Airflow (cfm) 186 (+/- 0.2 %)                      n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.22                      w50: cfm/m<sup>2</sup> cfm/m<sup>2</sup> 1.67                      q50: cfm/m<sup>2</sup> cfm/m<sup>2</sup> 0.86</p> <p><b>Leakage Areas:</b> 124.3 cm<sup>2</sup> (+/- 0.9 %) Canadian Eq.LA @ 10 Pa or 0.58 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> Surface Area                      66.3 cm<sup>2</sup> (+/- 1.4 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.31 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> Surface Area</p> <p><b>Building Leakage Curve:</b> Air Flow Coefficient (Cenv) = 14.8 (+/- 2.2 %)                      Air Leakage Coefficient (CL) = 14.8 (+/- 2.2 %)                      Exponent (n) = 0.647 (+/- 0.006 )                      Correlation Coefficient = 0.99971</p> <p>Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization                      Type of Test Method: Regulation complied with:                      Equipment: Model 3 (230V) Minneapolis Blower Door</p>												
블로어 도어 테스트	Test Results at 50 Pascals (기밀성능치) = n50 : 1.2 h-1											

유리성능 테스트

유리성능 평가									
	<p><b>평가 개요</b></p> <table border="1"> <tr> <td>UV값</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>투과율값</td> <td>71%</td> </tr> <tr> <td>방사율</td> <td>59%</td> </tr> <tr> <td>SHGC값</td> <td>66</td> </tr> </table>	UV값	51%	투과율값	71%	방사율	59%	SHGC값	66
	UV값	51%							
투과율값	71%								
방사율	59%								
SHGC값	66								
유리성능 평가	UV, Visible, Infrared, SHGC								

열화상 카메라 측정을 통한 열교 평가

열교 평가



열화상카메라

표면온도 측정, 노점온도 체크

유리 열관류율 측정

열관류율 평가



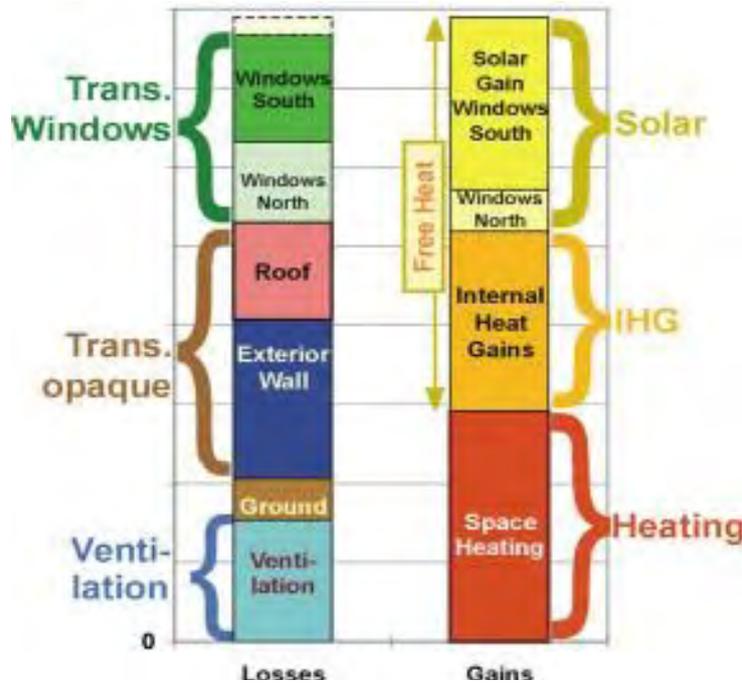
열관류율 측정기

유리 열관류율 측정, 벽체 열관류율 측정

## 2절 농어촌형 그린홈 성능 인증 가이드라인 구상

### 1. ISO 13790에 따른 계산법

열획득과 열손실관계에 의한 건물에너지 사용량계산 적용



에너지 계산을 위한 열손실과 열획득 관계

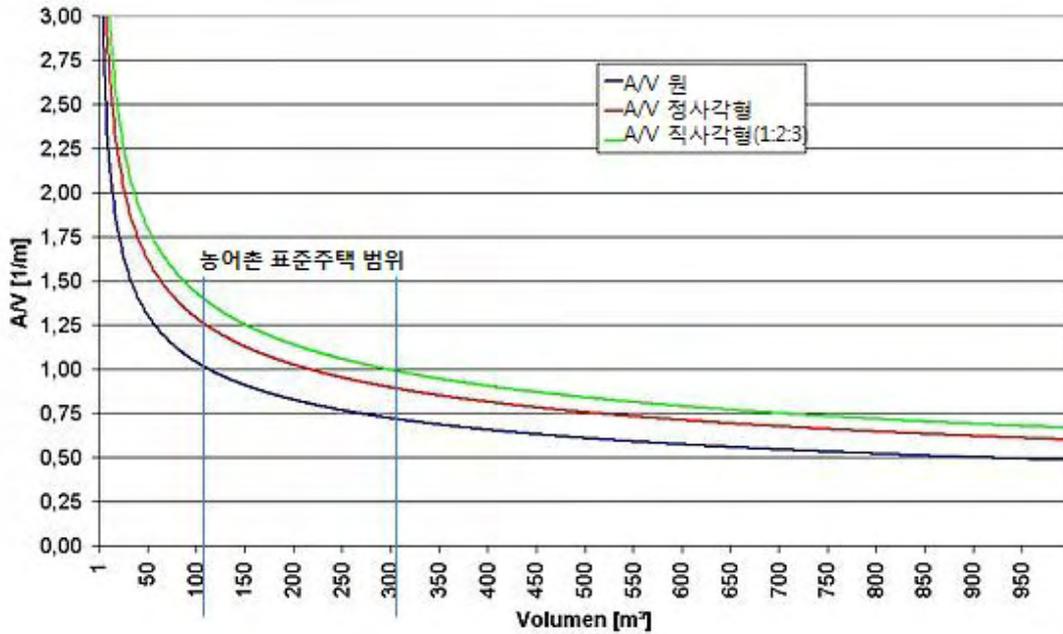
- 열손실은 크게 구조체 열손실( $Q_t$ )과 환기열손실( $Q_v$ )로 계산되며 구조체 열손실은 창호, 벽, 지붕, 바닥 그리고 열교부분의 열손실을 산정한다.

$$Q_{\text{loss}} = Q_t + Q_v$$

- 열획득은 크게 창호를 통한 태양열획득 ( $Q_s$ ) 와 내부발열에 의한 획득( $Q_i$ )으로 산정한다.

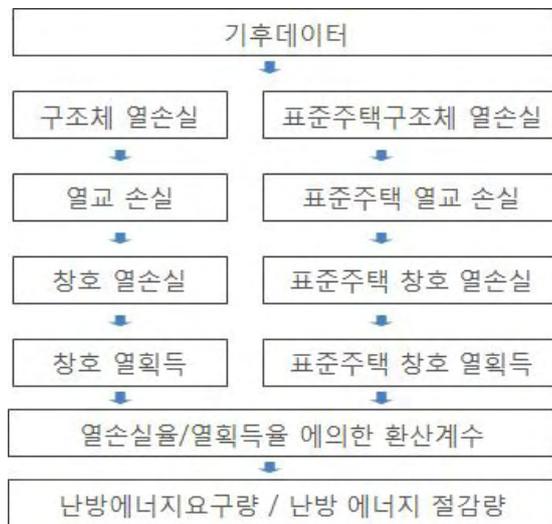
$$Q_{\text{gain}} = Q_s + Q_i$$

- 최종 난방에너지 요구량 산정은  $Q_{\text{gain}}$ 에 대한 이용환산계수를 설정하는데 이때 반영되어지는 값이 축열량과 시간지연에 대한 함수로 결정된다.
- 건물의 에너지 성능은 절대기준보다는 표준주택 대비 감축량에 대한 비율로 검토하였다. 농어촌 주거건물은 연면적이 작아 구조체 성능을 높게 하여도 에너지 소비량이 증가된다. 그림 3을 보면 건물의 크기가  $300\text{m}^3$ 인 것과  $100\text{m}^3$ 의  $A(\text{건물외피면적})/V(\text{건물볼륨})$ 값은 각각 0.75 와 1.0이다. 이 값은 동일한 성능대비 크기가  $100\text{m}^3$ 인 건물의 에너지 소요량이  $100\text{kWh}$ 이면  $300\text{m}^3$  건물은  $75\text{kWh}$ 의 소비량이 발생하게 된다.



건물 크기에 따른 외피면적비

- 건물의 규모가 적을수록 건물의 에너지 평가 시 불리하게 되어진다. 이를 보완하기 위해서 절대기준에 의한 에너지 계산보다는 절감량 기준에 의한 평가가 농어촌 주거환경에 더욱 효과적이다.



에너지 평가 절차

- 건물의 에너지 평가는 다음과 같은 순서로 진행한다. 먼저 기후데이터를 입력하고 건물의 외피디자인 검토를 진행한다. 이와 동시에 표준주택의 에너지 평가도 같이 이루어진다. 전체 열손실과 열 획득에 대한 관계를 ISO 13790 온도보정을 위한 함수값을 이용하여 난방에너지요구량을 산정하게 된다. 냉방, 조명, 급탕 및 신·재생에너지의 평가는 실증에 대한 연구가 더욱 필요하여 본 연구에서는 포함하지 못했다.



건물의 개요							
건물 위치	전주	건축물설비기준	남부지방	다락면적		건축주	
거실+부엌면적	45 m <sup>2</sup>			2층면적		주소	
냉난방면적	75 m <sup>2</sup>			1층면적	90 m <sup>2</sup>	연락처	
건물체적 (Ve)	315 m <sup>3</sup>			지하층면적		재실자 인원수	2 명
ISO 13790 기준				연면적		내부기준발열	6.60 W/m <sup>2</sup>
난방설정온도	20 °C			냉방설정온도	26 °C	ISO13790기준	Residential

구조체 해석 (외피열손실)							
번호	설명	면적(m2)	열관류율	온도계수	평균열관류율	2013기준열관류율	
1	지붕	90	0.2	1.0	0.20	0.22	
2	바닥	90	0.2	0.6	0.20	0.28	
3	외벽	144.75	0.2	1.0	0.20	0.34	
4	북측창호	2.91	2.1	1.0	2.10	2.40	
5	동측창호	1.44	2.1	1.0			
6	남측창호	4.25	2.1	1.0			
7	서측창호	0	1.0	1.0			
8	수평창	0	1.0	1.0			
9	출입문	3.15	2.1	1.0	2.10	2.4	

면적									
설명	번호	직접/간접	면적(m2)	가감면적(m2)	창호면적	계산면적	열관류율	2013년 기준열관류율	에너지 저감율
남외벽1	외벽	직접	35	-3.15	4.25	42.4	0.2	0.34	41%
북외벽2	외벽	직접	35		2.91	37.91	0.2	0.34	41%
동외벽3	외벽	직접	31.5		1.44	32.94	0.2	0.34	41%
서외벽4	외벽	직접	31.5		0.00	31.5	0.2	0.34	41%
바닥	바닥	직접	90		0.00	90	0.2	0.28	29%
지붕	지붕	직접	90		0.00	90	0.2	0.22	9%
출입문	출입문	직접	3.15		0.00	3.15	2.1	2.4	13%
합계					8.60	327.90	0.47	0.61	23%

창호열손실									
설명	번호	방위각	경사각	직접/간접	설치위치	면적	열관류율	2013년 기준열관류율	에너지 저감율
PW1	6	180	90	직접	남외벽1	2	2.1	2.4	13%
PW2	6	180	90	직접	남외벽1	2.25	2.1	2.4	13%
PW3	4	0	90	직접	북외벽2	2.1	2.1	2.4	13%
PW4	4	0	90	직접	북외벽2	0.81	2.1	2.4	13%
PW5	5	90	90	직접	동외벽3	1.44	2.1	2.4	13%

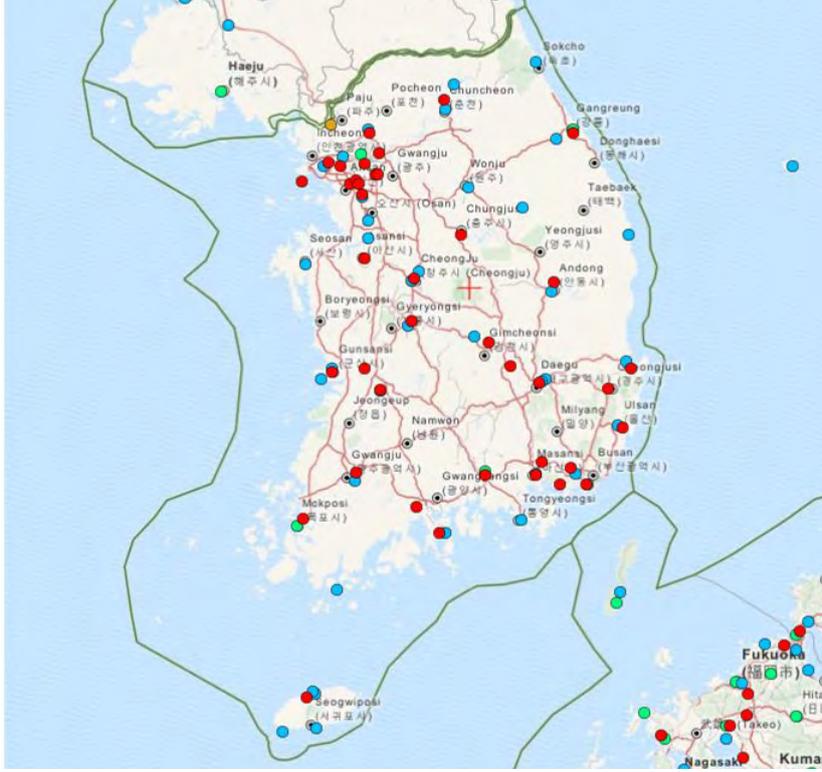
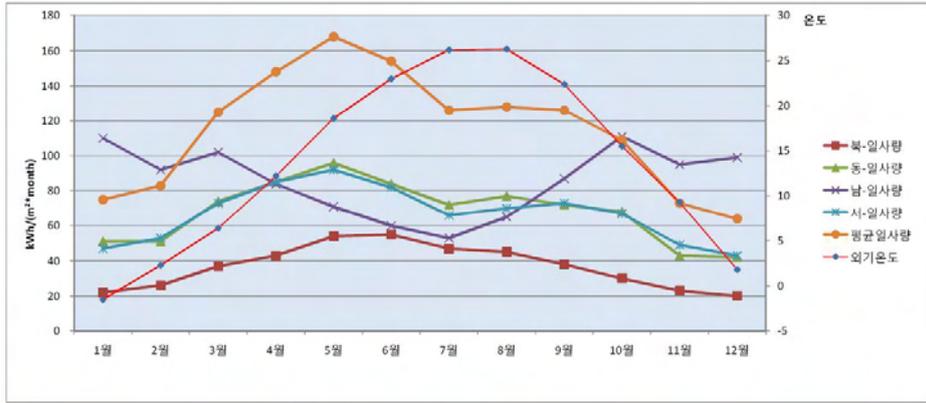
열손실 계산							
항목	열관류율(w/m <sup>2</sup> K)	면적(m <sup>2</sup> )	온도계수	Gt(kKh/a)		열손실량	단위면적당열손실량
지붕	0.20	90	1.00	62.44	=	1123.85 kWh	14.98
외벽	0.20	144.75	1	62.44	=	1807.52 kWh	24.10
바닥	0.20	90	0.6	62.44	=	674.31 kWh	8.99
창호	2.1	8.6	1	62.44	=	1127.59 kWh	15.03
출입문	2.10	3.15	1	62.44	=	413.01 kWh	5.51
열교 (표준)	목구조	0.04	1	62.44	=	187.31 kWh	2.50
						5333.60 kWh/a	71.11

환기열손실							
환기량 산정	배열회수환기효율	75%			Vi	239.4 m <sup>3</sup>	DIN 4109
배기용환	환기열손실	Vi	*	Cp	*	n	=
		239.4		0.33		0.70	
							3452.80 kWh/a
							46.04 kWh/m <sup>2</sup> a

열 획득							
내부발열 획득							
	내부기준발열(W/m <sup>2</sup> )	*	면적(m <sup>2</sup> )	*	난방도시(kWh/a)	=	0.00 kWh/a
	6.6		75		0.00		0.00 kWh/m <sup>2</sup> a
태양복사 획득							
	Ag (유리면적)	*	SHGC	*	차양계수	*	일사량
북측창	2.04		북측창	0.75	In-어	0.9	175.45 241.24
동측창	1.01		로이창	0.5	Out-배	0.3	360.45 54.50
남측창	2.98		로이창	0.5	Out-배	0.3	624.75 278.79
서측창	0.00		로이창	0.5	Out-도	0.5	363.80 0.00
							574.53 kWh/a
열 획득의 이용율							
	축열용량 (Cw)		시간지연계수		온도계수		
	목구조+R	11025	τ = C <sub>w</sub> / (H <sub>v</sub> + H <sub>s</sub> )	1.255	a = 1 + τ/16h		1.08

그린홈 인증 프로그램

기후데이터		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
전주	남부지방	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
2007-2011	전주	전주											
평균온도* C	외기온도	1.5	2.3	6.4	12.2	18.6	23	26.2	26.3	22.4	15.5	9.3	1.8
kWh/(m <sup>2</sup> ·month)	북쪽 일사량	22	26	37	43	54	55	47	45	38	30	23	20
kWh/(m <sup>2</sup> ·month)	동쪽 일사량	51	51	74	85	96	84	72	77	72	68	43	42
kWh/(m <sup>2</sup> ·month)	남쪽 일사량	110	92	102	84	71	60	53	65	87	111	95	99
kWh/(m <sup>2</sup> ·month)	서쪽 일사량	47	53	73	85	92	82	66	70	73	67	49	43
kWh/(m <sup>2</sup> ·month)	일사량	75	83	125	146	168	154	126	126	126	109	79	64
난방시간	kkh/년	666.5	495.6	421.6	132.6	0	0	0	0	0	0	321	564.2
	활용계수	1	1	1	0.65	0	0	0	0	0	0.65	1	1
냉방시간	kkh/년	852.5	663.6	607.6	414	229.4	90	-6.2	-9.3	108	325.5	501	750.2

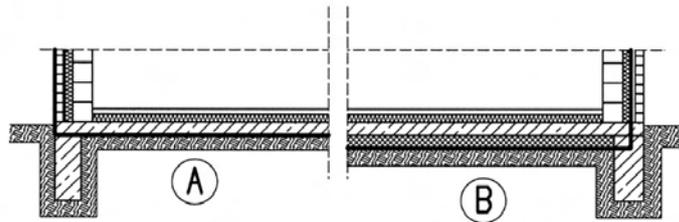


METEONORM7 기후데이터

**가. 기후데이터 작성**

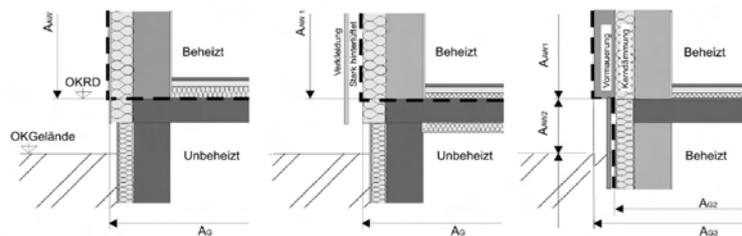
기후데이터는 “건축물에너지 절약설계기준 별표6”에 따른 지역의 기후데이터 2007년부터 2011년기상방재센터의 측정값의 평균값으로 작성 후 시뮬레이션을 위한 변환툴 METEONORM 프로그램 (ISO 15927기준)을 활용하여 지역별 기후데이터 생성

**나. 건물의 외피검토**



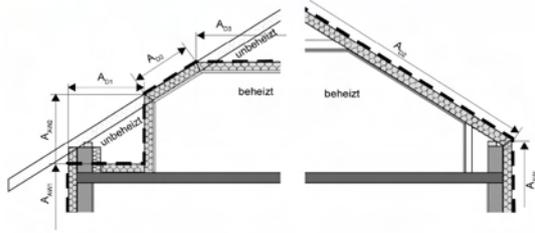
지면에 접하는 냉난방공간은 굵은선이 건물의 외피라인이다. B: 외단열일 경우 단열재까지를 포함하여 계산한다.

그림 429처럼 건물의 외피는 ISO 13789에 따라 외각선기준으로 작성한다. 외각선 기준시 지붕파라펫부분은 제외하며 기초바닥부분은 구조용 슬라브를 기준으로 산정하되 외단열부분일 경우 단열재까지를 포함하여 계산한다. 단, 자갈이나 버림콘크리트등은 제외한다. 지하층이 있는 기초부분은 아래 ‘그림 ENEV 기준에 의한 건물외피라인 계산방법’과 같은 방법으로 건물의 외피라인을 설정한다.

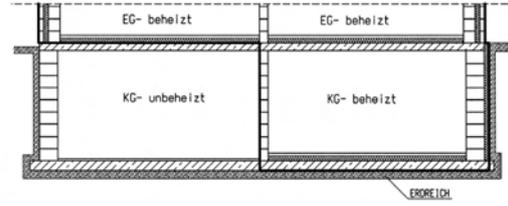


ENEV 기준에 의한 건물외피라인 계산방법  
(Beheizt : 냉난방공간/ unbeheizt : 비냉난방공간)

목구조는 다음 ‘그림 DIN V 18599 기준에 의한 건물의 외피라인 계산’과 같이 계산하여 외피라인을 산정한다. 지붕밑 비냉난방인 빈 공간이 있을 경우 건물의 외피라인은 내부측벽을 기준으로 산정하며 이때 단열조치가 있어야한다. 이에 해당하는 건물의 외피는 온도보정계수를 0.8로하여 계산에 반영할 수 있다.



DIN V 18599기준에 의한  
건물의 외피라인 계산



기초부위 비냉난방과 냉난방 혼합시  
건물외피라인

이상 건물의 외피라인은 기본적으로 ISO 13789 기준에 의해 각 열성능별, 방위별 그리고 구조체 종류별로 구분하여 건물의 외피를 결정할 수 있다.

### 다. 창호 검토

창호는 열손실과 열획득값으로 구분하여 검토하며 이때 사용되어지는 값은 열교를 고려한 창호의 열관류율값과 유리의 열획득값에 대한 입력데이터다.

### 라. 환기 검토

환기에 의한 열손실값은 3가지로 구분하여 명시하였다. 배기용 환기에 의한 3종환기, 3종환기시 기밀성능이 3h-1이하인 경우, 그리고 배기열 회수 환기 유닛에 의한 1종환기 방식인 경우로 구분하여 입력한다. 시공 후 풍압테스트 실시할 경우 측정값을 입력할 수 있다.

#### 건축물의 열 손실 및 획득

구분	내용
	$Q_t = U_w \times A \times ft \times G_t$ <p>Qt: 구조체 열손실(kWh/년)    <math>U_w</math>: 열관류율 (W/m²K)  A: 외피 면적(m²)                ft :온도 보정계수</p>
구조체 열손실	<p>창호열관류율(<math>U_w</math>)= <math display="block">\frac{U_g A_g + U_f A_f + PSI_g \cdot \ell_g + PSI_{inst} \cdot \ell_{insta.}}{A_w}</math></p> <p><math>U_g</math> : 유리의 열관류율 (W/m²K)  <math>A_g</math> : 유리면적 (m²)  <math>U_f</math> : 프레임의 열관류율 (W/m²K)  <math>A_f</math> : 프레임 면적(m²)</p> <p><math>PSI_g</math> : 프레임+유리선형열관류율 (W/mK)  <math>\ell_g</math> : 프레임+유리 접합길이 (m)  <math>PSI_{inst}</math> : 창호+벽 선형열관류율 (W/mK)  <math>\ell_{insta.}</math> : 창호+벽 접합길이 (m)</p>
열교	$Q_t = PSI \times \ell \times ft \times G_t$ <p>Qt: 구조체 열손실(kWh/년)    PSI: 선형열관류율 (W/mK)  <math>\ell</math>: 길이(m)                        ft :온도 보정계수  Gt: 연간 해당되는 시간을 반영한 실내외 온도차(kKh/년)  (실내온도기준20°C/ 난방시작온도12°C)</p>
환기열손실	$Q_v = V_v \times [ nL \times \{ 1 - (1-\eta_{HR}) \times (1-\eta_{SHX}) \} + nL_{inf} ] \times C_p \times G_t$ <p><math>V_v</math> : TFA(냉난방면적) x 천정고(최고2.5m임)    nL: 환기횟수  <math>\eta_{HR}</math>: 폐열회수 환기유닛 온도효율                <math>\eta_{SHX}</math> : 쿨튜브 시스템 열효율  nLinf : 침기횟수    Cp: 공기의 정압비열: 0.33Wh/m³K</p>

태양열획득	$Q_s = r \times g\text{-value} \times A_g \times G$	
	r: 일사량 감소계수(음영계수)	g-Value: 일사량 획득계수
	A <sub>g</sub> : 유리면적 (m <sup>2</sup> )	G: 각방위별 일사량 (kWh/m <sup>2</sup> 년)

내부발열획득	$Q_i = 0.024\text{h/day} \times \text{HDD} \times q_i \times \text{ATFA}$		
	HDD: 난방도일(day/년)	q <sub>i</sub> : 내부발열량 (W/m <sup>2</sup> )	ATFA: 냉난방면적 (m <sup>2</sup> )

\* G<sub>t</sub>: 연간 해당되는 시간을 반영한 실내외 온도차(kKh/년), (실내온도기준20℃/ 난방시작온도12℃) 기후데이터는 G<sub>t</sub>에 대한 정보를 제공한다. G<sub>t</sub>값은 난방시작온도를 12℃로 하며 실내온도20℃ 기준에 대한 연간 시간별 외기온도에 대한 데이터이다. 예를 들면 1월평균온도가 0℃이면 실내외 온도차는 20K가되고 1월은 31day이므로 31x20K.day가된다. day = 24h = 0.024kh 이므로 31x20Kx0.024kh가되며, 1월의 총 Heating degree hours = 14.88kKh가 된다.



표준건축대비 월별 난방에너지 요구량과 감축량

## 2. 시공 후 평가에 의한 그린홈 인증

### 가. 기밀 테스트

ISO기준에 의한 블로어 도어 테스트 실행 (실내외 압력차50Pa에서 침기량산정)

### 나. 열화상카메라

블로어도어테스트 실행시 구조체의 열교부위 검토 (ISO 10211에 따른 구조체 경로 및 곰팡이 발생 부위 성능검토)

### 다. 열관류율측정

창호의 실제 열관류율 측정

### 라. 유리성능 측정

유리의 자외선, 가시광선, 적외선 영역의 획득량을 평가함

### 마. 소음측정

환기장치 및 유리의 소음성능을 측정함

### 3절 인증제도의 운영 및 추진 체계 구상

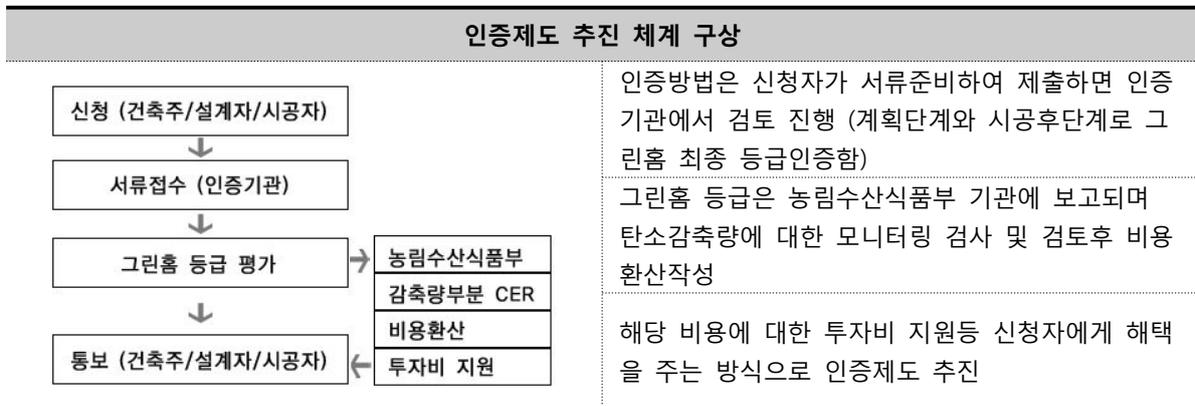
#### 1. 인증제도 운영

인증제도의 단계별 운영

인증제도의 운영	
<b>계획 단계</b>	
건축물의 완공 전에 설계도서 등을 통하여 그린홈 V1.0으로 평가된 결과를 토대로 그린홈 등급을 인증	
<b>시공 후 단계</b>	
건축물의 준공 승인 전에 최종설계도서 및 현장확인을 거쳐 최종적으로 평가된 결과를 토대로 그린홈 등급을 인증	
<b>사용 후 단계</b>	
건축물 사용후 매년 발생되어지는 에너지 사용량을 평가하는 것	
<b>인증 기관</b>	
그린홈을 인증하기 위해 지정한 기관	

#### 2. 인증제도의 추진체계 구상

인증제도 체계



## 4절 연구결과를 토대로 한 농어촌형 그린홈 보급을 위한 지원방안

본 연구에서는 농어촌형 그린홈 보급을 위한 지원방안을 제안하고 국내외 지원체계 및 인센티브제도를 고찰하여 보다 효율적 지원방안을 제시하고자 한다. 또한 농어촌 지역의 국한적 상황을 고려하여 단독주거시설에 대한 지원방안을 위주로 제시하며 친환경 건축물에 대한 추가적인 신·재생에너지 지원방안도 병행하여 제시하고자 한다.

### 1. 제도적 지원방안

#### 가. 국내 정책 동향

- 현재 국내의 문제점은 외국 인증제도의 성능규정에 비해 낮은 기준과 정부의 다소 많은 인증제도의 중복 운영이다. 녹색건축물 조성을 지원하는 제도는 친환경 건축물인증, 주택성능등급표시, 에너지효율등급, 에너지목표관리제 등이 대표적이다. 공공건축물을 대상으로 친환경건축물인증이 확대되고 있지만 에너지와 탄소배출에 대한 기준이 외국과 비교해 적다.
- 주택의 표준에너지 사용량 및 탄소배출 제로 등의 기준이 외국에 비해 낮으며 법적 기반이 필요하다. 현재 주택에 관한 에너지 관리는 시범사업 이외에는 시도되지 않았다.

#### · 신·재생에너지 보급 정책

- 정부는 08년 제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용보급 기본계획을 수립하여 30년까지 1차 에너지의 11% 수준까지 공급한다는 목표로 일반보급사업, 그린홈 100만호 보급사업, 지방보급사업 등을 추진하고 있다.
- 태양광발전 이용을 '07년 대비 44배, 풍력 이용을 37배, 바이오연료 이용을 19배, 지열이용을 51배로 증대할 예정이다.

그린홈 로드맵

연도별	내 용
2010	에너지소비 초량제 도입 친환경건축물 인증·에너지효율등급인증 받은 민간건물 세제 감면
2011	친환경건축물·에너지효율등급인증제 기존건축물까지 확대
2012	연간 에너지소비량 현 수준대비 30%(냉·난방에너지 50%)감축 건축물의 매매·임대시 에너지 소비 증명서 제출 창호·외벽·외부 단열기준강화
2017	연간 에너지 소비량 현 수준 대비60% 감축
2018	보급자리 주택100만가구이상 그린홈으로 건설 기존 주택100만가구 그린홈으로 개보수
2025	Zero-Energy Building 의무화

출처: Zero-Energy Buildig 의무화에 따른 정부지원정책 개선방안, 2011춘계학술, 2011.04.30

· 신·재생에너지 설치 의무화 제도

- 공공기관이 신·증·개 축하는 연면적 1,000㎡이상의 건축물에 대하여 예상에너지 사용량의 10%이상을 신·재생에너지 설비를 설치하여 이용하도록 의무화하는 제도이다.

· 저탄소 녹색마을

- 에너지 효율이 불리한 농어촌지역의 에너지 자립율을 위해 20년까지 600개 저탄소 녹색 마을 조성 계획이다.  
(음식물 폐기물, 분뇨, 농업부산물의 바이오 가스화, 유희농경지 유체재배 등 바이오매스 이용을 확대하여 에너지 자립율 제고)

· 태양광 주택 100만호 보급사업

- 기존의 ‘태양광주택 10만호 보급사업’을 09년부터 확대 개편하여 20년까지 100만호 보급계획으로 단독주택이나 공동주택에 태양광발전설비를 설치 시, 설치비용의 일부를 국비로 보조하며 지자체에 따라 지방비 추가 지원하는 사업이다.

개별주택 대상

구분	지원 대상
단독주택	단독주택 소유자 또는 소유예정자로서 기존 및 신축주택에 모두 가능
공동주택	1.기존의 공동주택 입주자의 동의후 신청이 가능하며, 신청자는 입주자 대표로 함 2.신축중인 공동주택 연내에 준공이 가능한 공동주택을 대상으로 하며, 신청자는 건축중인 공동주택의 시공사, 시 행사 대표 또는 입주자 대표 등으로 하여야 함

출처: 에너지관리공단 그린홈 백만호 프로젝트 안내 가이드, 2013.04.13

· 그린빌리지 조성사업

- 각 지역의 활용 못하고 있는 대체에너지를 단지 내에 필요한 열 및 전기 에너지로 사용하여 자립하는 개념으로, 그린빌리지의 규모 및 설계범위가 확대할 경우 제로에너지타운, 솔라시티, 생태마을, 환경친화단지 등으로 확대 될수 있는 개념이다.

2. 경제적 지원방안 수립

가. 국내·외 지원방안 고찰

(1) 국내 인센티브제도 사례

· 일반 보급보조 사업

정부에서 설치비의 일정 부분을 무상 보조, 지원함으로 신·재생에너지의 기술의 상용화를 유도하고 기술의 보급 활성화를 유도하여 신·재생에너지 시장 창출하는 제도이다.

· 지방보급 사업

지역의 경제 발전을 도모하고자 지방자치단체가 지역의 특성에 맞는 신·재생에너지를 보급하는 제반 사업이다.

· 융자지원(분기별 변동금리)

신·재생에너지를 설치하여 이용하고자 하는 소비자와 설비를 생산하는 제조업자를 대상으로 초기 투자비를 경감하고 경제성을 확보하여 신·재생에너지 설비 보급과 설비 설치 및 관련 사업을 육성하는 제도이다.

· 2020그린홈 100만호 보급사업

2020년까지 신·재생에너지주택 100만호 보급을 목표로 추진하는 사업으로 신·재생에너지자

원을 일반주택 및 공동주택에 설치 시 설치비의 일부를 무상 지원하는 사업이다.

· 발전차액지원제도

정부가 일정기간 동안 신·재생에너지 설비를 이용 생산 된 전력을 정해진 기준 가격으로 전력을 매입하는 방법으로 신·재생에너지 설비의 투자 경제성 확보를 위해 차액을 지원하는 제도이다.

· 투자확대 및 금융지원

ESCO사업 활성화 등 (ESCO- 개인이나 기업을 대신, 에너지절약전문기업이 에너지 절약형 시설에 선투자한 뒤 에너지 절감액으로 투자비를 회수하는 제도)

· 지역별 친환경 건축물 인센티브제도

국내에서는 대도시를 중심으로 친환경 건축물 인증 시 인센티브를 부여하는 제도를 실시하고 있다. 본 인증 인센티브는 세금감면과 건축규모 일정부분 증가시켜주는 내용으로서 개별사업자 및 단독주택 건축주들에게는 해당이 없는 제도가 대부분이다

서울특별시 친환경 건축물 인센티브제도

구분	인센티브 종류	주요 내용		지원대상 및 범위
서울시 친환경 건축기준	세금 감면	서울시 친환경 건축기준에 의한 지원		I (Platinum):20% II(Gold):15% III(Silver):10% IV(Bronze):5%
	보조금 지원 입찰시 가점 부여 인증			최우수 등급 100%,우수등급 50% 시공사,설계자에 대한 서울시 사업 참가 시 가점 부여 인증표시 부착
	분양가 추가 보전		친환경 건축물 인증 시 공동주택 분양가격 산정시 가산비용 적용	최우수 등급 2%, 우수등급 1% 주택성능등급에 따른 가산비용을 2% 범위 안에서 추가인정
친환경 지구단위 계획 실현 조성	용적률 완화	친환경 계획	자연지반보존	기준용적률x(보존면적/대지면적)x2%이내
			옥상녹화	기준용적률x(보존면적/대지면적)x5%이내
			녹색주차장, 투수성 포장	기준용적률x(보존면적/대지면적)으로서 기준용적률x 5%이내
			중수도 시설설치	기준용적률x 4%이내
			빗물이용 시설설치	기준용적률x 4%이내
			신·재생에너지사용	기준용적률x 5%이내
	에너지 절약계획	1등급	에너지절감을 33.5% 이상, 에너지성능지표 81점 이상, 친환경 건축물 인증 85점 이상: 기준용적률x8%이내	
2등급	에너지절감을, 23.5% 이상, 에너지성능지표 74점 이상, 친환경 건축물 인증 75점 이상: 기준용적률x5%이내			

인천광역시 친환경 건축물 인센티브 제도

구분	인센티브 종류	주요 내용	지원대상 및 범위
에너지 절약형 설계	용적률 완화	건물에너지 효율 1등급 인증(에너지 성능지표(EPI)90점 이상)	6.0% 이하
		건물에너지 효율 2등급 인증(에너지 성능지표(EPI) 80점 이상~90점 미만)	0.4% 이하
		건물에너지 효율 1등급인증(에너지 성능지표(EPI) 70점 이상~80점 미만)	2.0% 이하
지능형 건축물		1등급	3% 이하
		2등급	2% 이하
		3등급	1% 이하
건축물 녹화설계	사업비 지원	건축물 녹화 설계 및 바람길을 고려한 주동배치	최대 1억원 이하, 소요사업비의 50% 규모 지원
빛물이용시설 설치	설치자금	빛물이용시설의 설치	소요자금 100% 용자
	용자지원 환경개선 부담금		환경개선부담금 25% 감면

대전 광역시 친환경 건축물 인센티브제도

구분	인센티브 종류	주요 내용	지원대상 및 범위
그린빌딩 인증기준	용적률 완화	건물의전 생애를 고려한 그린빌딩에 대하여 등급에 따라 용적률 인센티브 제공	그린빌딩 인증점수 60점 이상 : 2% 그린빌딩 인증점수 65점 이상 : 3% 그린빌딩 인증점수 70점 이상 : 4% ※빛물저장시설 설치의무

출처: 이재준 저 녹색 도시의 꿈 04. 녹색도시 계획기법 적용을 위한 인센티브

(2) 국외 인센티브제도 사례

○ 미국

- 오바마 행정부는 에너지 효율화와 신·재생에너지 보급 확대 정책을 추진하여 녹색성장과 일자리 창출 등을 목표로 하고 있다. 2009~2018년 중 청정에너지, 그린홈 정책에 1,500억 달러를 투자할 계획이다.
- 기존의 빌딩의 에너지 효율향상 하는 프로그램과 신규빌딩에 대한 효율 규제를 실시하여 2030년까지 신규 빌딩의 탄소배출을 “0”으로 낮추는 정책을 추진할 것이다.
- 신·재생에너지 보급 확대를 위해 설비를 의무화하여 신·재생에너지 비중을 2010년 까지 10%, 2023년까지 25%로 확대할 것이다.

미국의 친환경 건축물 인센티브제도

구분	인센티브 종류	주요내용
New York	Green Building Tax Credit Program	세금 감면 에너지, 기기 효율성 실내 공기 질, 기타 법률 등에 대한 충족 여부 판단 20,000ft <sup>2</sup> 이상 주택, 오피스, 판매시설 교육시설, 집회시설 대상 대상건물에 대해 \$25,000,000까지 감면
	New Construction Program	저금리 용자제공 친환경 건물 및 LEED 인증 건물에 대해 저금리 4% 용자 제공 전기소비를 줄일 수 있는 에너지 방안이 계획된 건물에 대해 10% 보조금 추가 지급
LOS ANGELES	LADWP Green Building Incentive	보조금 지급 LEED 기준을 충족한 건물에 대해 최대 \$250,000보조금 지급
	Private Sector Green Building Plan	LEED 인증 의무화 50,000ft <sup>2</sup> 이상개별 건축물에 대해 LEED Certified 이상 획득 요구
SEATTLE	LEED Seattle Incentive Program	보조금 지급 2002년부터 기존 및 신축 건물에 대해 LEED Certified 최소 \$15,000, Silver 최소 \$20,000 보조금 지급
	Zoning Legislation	용적률 완화 (Higher density or bonus) 2006년 4월부터 LEED Silver 이상 건물에 대해 높이 또는 밀도 완화
Oregon	Business Energy Tax Credit	세금 감면 LEED 등급 수준에 따라 세금감면 LEED Silver는 \$5.71/ft <sup>2</sup> , Platinum 은\$14.29/ft <sup>2</sup> 감면
Dallas	Green Building Ordinance	LEED 인증의무화 2009년~2011년까지 모든 거주용 건축물에 대해 LEED for Homes등이 친환경 체크리스트 제출 의무화 50,000ft <sup>2</sup> 이상 상업 건축물에 대해 일정 LEED 점수를 획득 의무화 2011년 이후 모든 거주용 및 상업 건축물은 LEED 등급 획득 의무화
Arlington Country	Green Building Incentive Program	용적률 완화 (Higher density bonus) 1999년 채택, 2003년 확대 LEED Silver 이상을 획득한 상업건축물에 대해 용적률 완화
		LEED 인증 의무화 모든 프로젝트는 Geeen Building Fund를 내야하며, LEED를 획득한 경우 반환 사업허가 시, 상업건축물은 LEED 등급 및 LEED 전문가를 보유 의무화
EI Paso	Green Building Grant Program	보조금 지급 2007년 채택 LEED를 획득한 상업건물, 다세대, 공동주택에 대해 보조금 지급 단, 에너지 및 대기환경 대항목에서 반드시 10~17점을 받아야만함

			신축 LEED Platinum건물은 최대 \$200,000지급, 기존 건물로세 LEED Platinum을 획득한 경우 최대 \$400,000지급
Honolulu	2004 ordinance Ordinance #06~06	세금 우대	LEED 인증을 받은 신축 공공건물, 리조트, 호텔, 산업건물에 대해 1년간 재산세 감면
		LEED 인증 의무화	5,000ft <sup>2</sup> 이상 신축 공공 건축물에 대해서 LEED Silver 이상 획득 의무화

○ 영국

- 영국의 2009년 예산안은 2020년까지 탄소배출량 34% 감축을 목표로 하고 있으며 기후 변화법에서 요구하는 최초의 탄소예산안으로 평가된다. 2009년 예산인상 주요 정책은 신·재생에너지 확대, 에너지효율화, 저탄소 기술개발, 쓰레기 온실가스 배출감축 지원 등으로 구성하였다.
- 영국 지방 자치단체인 런던에서는 2025년까지 이산화탄소 총배출량 60% 저감을 목표로 잡고 가정에서 쉽게 실천할 수 있는 지구온난화 방지대책 정보를 시민에게 제공하기 위해 ‘런던 녹색가정 만들기 정보센터’(London Green Homes)를 개소하였다.

영국의 녹색건축물 인센티브제도

구분	인센티브 종류	주요내용	지원대상 및 범위
green deal(2012)	용자 지원	에너지 효율을 위해 투자된 민간자본을 선투자금 없이 저금리 할부로 기존 에너지 요금고지서를 통해 납부하는 자금조달 메커니즘	에너지 효율 향상을 위해 투자된 민간자본
salix fund		공공부문 금융지원기관인 salix finance와 온실가스 종합대책 이행기관인 Carbon Trust를 통하여 공공부문의 기술 및 재정지원 에너지 절약으로 회수된 비용을 해당기관에서 재투자순환하는 방식인 무이자 순환형 매칭펀드	상공부문의 기술 및 재정지원
SCHRI(Scottish Community and Householder Renewables Incentive)	보조금 지원	정부 자금을 지원 EST(Energy Saving Trust)와 HIE(Highlands and Islands Enterprise) 공동운영 주택에 신규 신·재생에너지 시스템 설치하는 것에 자금 지원 어드바이스 및 프로젝트 지원 서비스 제공	설치비의 30%, 최대 £4,000지원
LCBP (Low Carbon Building Program)		에너지절약재단과 영국환경농촌식품부의 합동펀드 신·재생에너지를 설치하는 주택의 건축주에게 보조금을 지급하는 프로그램	계획기술에 따라 설치비의 30~50% 태양열발전 :최대£4,000 풍력터빈 :최대£2,500 소수력 :최대£1,000 태양열 온수 :최대£400 지열펌프 :최대£1,200 공기열 펌프 :최대£900

○ 독일

· 독일은 에너지 공급 및 기후변화에 대한 종합적 대응책으로 2007년 29개의 개별 정책을 포함하는 프로그램 중심 계획을 수립하였다.

1차 통합 에너지·기후대책은 2010년까지 전기와 난방 생산에 재생에너지 사용을 2배 이상 증가시키는 것이 목적이다. 재생에너지 전력생산 비중을 25~30%(2020년)로 하고 재생 에너지 난방 공급 및 열병합 발전소 전력 생산비율을 증대시킬 수 있다.

2차 통합 에너지 기후대책은 기존에 설정된 목표 달성을 위해 고압송전시스템 구축과 기타 에너지효율화 대책 등을 포함한다.

독일 친환경 건축물 인센티브제도

구 분	인센티브 종류	주요 내용	지원대상 및 범위
독일 CO <sub>2</sub> 건물보수 프로그램	설치비 용자	기존주택 및 신축주택에서 재생 가능에너지에 대한 투자 시 용자 비용 (열펌프, 태양열설비, 태양광설비, 바이오매스, 바이오가스 설비)	최대 500만 유로, 투자금액의 100%까지 지원
독일 패시브 하우스		냉난방 부하가 최대 10W/m <sup>2</sup> 를 넘지 않는 주택 건축	세대 당 5만유로 장기 저리 지원

○ 일본

· 일본정부는 Cool Earth 에너지 혁신기술 계획과 저탄소사회구축 행동계획을 통해 중장기 계획과 실천계획을 마련하였다.

Cool Earth 에너지혁신기술 계획은 2050년까지 세계 온실가스 배출량 50% 축소를 목표로 태양광발전, 연료전지 자동차, 초고효율 열펌프 등을 중점과제로 선정하였다.

저탄소사회구축 행동계획은 2050년까지 가스배출량을 현재보다 60~80% 감축하는 목표를 제시하였다. 태양광발전, CCS, 연료전지 등 혁신적 기술개발에 향후 5년간 300억 달러를 투입할 것이다. 태양광발전 도입량을 2020년까지 10배, 2030년까지 40배로 증대시킬 것이다. 에너지 절약형 건축물과 가전제품을 보급할 것이다.

조세정책에서도 세제의 그린화를 추진한다. 에너지 절약주택 보수공사 비용 세액공제, 에너지 수급 구조개혁 설비투자 및 자원생산성 설비투자 즉시 상각할 것이다.

출처: Carbon-free 그린홈의 건설을 위한 LCCO<sub>2</sub> 데이터베이스 구축 및 DB활용에 관한 연구 2009. 12

일본 친환경 건축물 인센티브제도

구분	인센티브 종류	주요 내용	지원대상 및 범위
환경공생 주택모델사업	보조금 지원	환경부하를 줄이는 일정요건을 만족하는 주택단지나 정비	사업비의 1/3 지원
		일정한 두께 이상의 단열재를 넣는 경우	1호당 50만엔 용자
주택용 태양광 발전 시스템	보조금 지원	태양에너지 주택 설치시 고단열화 사양 채용	1호당 150만엔 용자 1호당 10만엔 보조
		현에서 생산된 목재 사용	1m <sup>2</sup> 당 2만엔 보조 40만엔 한도
Iwate현 환경친화 주거조성 프로젝트	보조금 지원	태양광발전, 태양열 이용, 지중열이용 히트펌프 시스템을 도입하는 주택의 경우	1건당 15만엔 보조
빗물이용 시스템	설치비 용자	태양광발전을 도입하는 개인에 대해 설치비 보조	85만엔
		빗물이용설비 공사 할증 용자	1호당 최대 50만엔 용자

출처 : 녹색건축물 활성화를 위한 제도 기반 구축 방안 연구, 2011.09

나. 친환경 건축물의 경제적 지원방안 소결 및 제안

(1) 국내·외 경제적 지원방안 분석

· 국내

- 국내의 경우 서울특별시와 인천광역시, 대전광역시 사례가 있다. 국외 사례와 달리 우리나라는 용적률 완화를 통한 인센티브 적용이 큰 비중을 차지하며 다른 인센티브로는 보조금 지원 및 세금감면, 입찰 시 인센티브 부여 등의 경제적 지원이 있다.
- 서울시는 친환경 건축기준에 만족할 경우 건축주에 대한 취득세, 등록세, 재산세 등의 지방세를 최대 20%까지 감면하고 있으며, 친환경 지구단위계획을 통해 옥상녹화, 녹색주차장 및 투수성포장, 중수도시설 설치, 빗물이용시설, 신·재생에너지 도입 등에 5% 이내의 용적률 완화 인센티브를 주고 있다.
- 인천광역시는 에너지 절약형 건물을 도입할 경우 용적률 최대 6%까지 완화해주고 있으며, 건축물 녹화설계 시 소요사업비의 50% 규모(최대 1억원 이하)를 지원해 주고 있다. 대전광역시는 그린빌딩 인증기준에 의해 등급에 따라 2~4%의 용적률 인센티브를 제공하고 있다.

## · 국외

- 선진 국가에서 유럽의 경우 주로 보조금과 용자제도를 통해 지원하고 있다. 영국의 경우 저탄소건물 프로그램(Low Carbon Building Program)을 통해 신·재생에너지를 설치하는 건축주에게 계획기술에 따라 차등으로 설치비를 지원한다.
- 독일의 경우 CO<sub>2</sub> 건물보수 프로그램을 통해 기존주택 및 신축주택에서 재생에너지에 대한 투자 시 최대 100%까지 용자지원을 하고 있다.
- 미국은 보조금 및 세금을 공제하는 방안을 도입하였다. 미국의 시애틀은 LEED 등급에 따라 최소 \$15,000~ \$30,000을 지원하며, 메릴랜드는 Maryland's Green Building Tax Credit 제도를 통해 세금공제 혜택을 부여하고 있다.

## · 소결

- 국내와 국외의 친환경건축물 인증에 대한 인센티브는 크게 두 가지로 나뉘지는 것을 볼 수 있다.
- 첫째 국내는 국외와 다르게 단지개념 또는 지구단위 측면에서 접근하고 있으며 인센티브 역시 개별 주거건물에서의 보조보다 공동주택건물에서 지원하는 양상을 보이고 있다. 이러한 원인으로는 단독주택의 증가수요가 아직까지 확연히 나타나지 않으며 대다수의 건축물이 대도시의 공동주택에 밀집되어 있는 현상으로 발생된 인센티브 형태라고 볼 수 있다. 그러나 이러한 인센티브제도는 단독주거가 대부분인 농어촌 지역에서는 효용가치가 크게 떨어지며 단독주택의 지원체계는 거의 없는 실정이다. 따라서 단독세대의 지원방안 및 경제적 지원체계를 구축하는 것이 시급한 실정이다.
- 둘째, 지원항목의 제한이 가장 큰 문제점으로 판단된다. 친환경 건축물의 지원대상도 제한적인 반면 지원 항목 역시 대부분 비용적 지원보다는 용적을 완화와 약간의 세금감면을 토대로 인센티브제도가 보완되고 있다. 따라서 이러한 소극적 지원방안은 공동주택의 사업자에게만 국한되어 일정부분 이득이 되는 제도이므로 시급한 개편이 요구된다.

- 결과적으로 국내의 인센티브 제도를 국외에 비교했을 때 많은 단점을 가지고 있는 실정이다. 즉 친환경 건축물의 정의에 포함되는 단독건축물에 대한 지원체계가 부족하고, 지원항목 및 경제적 지원체계를 가지고 있지 않다는 중요한 문제점을 안고 있다. 따라서 이러한 지원문제를 개선할 필요가 있으며 농어촌 지역의 주택에 대한 지원방안을 부분적으로 단독주거에 포함하여 개선할 필요가 있다.

## (2) 친환경 건축물 경제적 지원방안 제안

- 국내외 사례 고찰을 통하여 국내의 제한적 지원체계를 확대하기 위한 경제적 인센티브 지원방안을 다음과 같이 제안한다.
- 지원대상은 공동주택을 포함한 단독주택으로 확장하고 친환경 건축물 인증방법이 개선된 이후 적용할 수 있는 제도로 개선한다.
- 주요 지원방안으로는 인센티브의 지원폭을 확대하고 세제혜택 및 세제감면을 통하여 친환경 건축물 인증을 활성화 시킨다.
- 또한 신·재생에너지 설치 시 일반주거건물보다 인증을 받은 주거건물에서 더 큰 시너지 효과를 발휘하므로 인증 시 추가적인 신·재생에너지 설비 투자비를 지원하도록 한다.
- 이러한 지원제도는 결론적으로 국가적인 이득으로 되돌아오므로 적극적 지원방안을 마련한다.

경제적 경제적 지원방안 제안

구분	인센티브 종류	주요 내용
단독주택 및 공동주택	보조금 지원 및 세제혜택	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단독주거건물 친환경 인증을 획득한 주택에 한하여 취득세, 등록세 감면 실시</li> <li>· 친환경 건축물 인증서 발급 시 건축물 거래 시 양도소득세, 이자소득세 일정부분 감면</li> <li>· 단독주거건물 건축 일반주택에서 추가되는 비용에 대한 투자비용 일부 지원 및 저리장기 융자 실시</li> <li>· 각 지방자치단체의 추가 보조금 지원 실시</li> </ul>
신·재생에너지 적용 건축물 (단독/공동주택 공통)	보조금 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 친환경 주택 인증 시 신·재생에너지 설비 적용 정부보조금 + <math>\alpha</math> 지원</li> <li>· 신·재생에너지 적용 시 단독주거건물의 기계실면적을 건축면적에서 제외 (현재 신·재생에너지 적용 시 부족한 기계실 공간을 추가적으로 산정해야하므로 비용적 측면 상승유발)</li> </ul>
리모델링 및 증축, 개축 건축물 적용	보조금 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일반주택에서 리모델링 및 증개축을 통한 친환경 건축물 인증 시 리모델링 비용의 지원               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 성능 단계별 지원방안</li> <li>- 성능별 에너지 목표지 제안하여 장기저리 융자 실시</li> </ul> </li> <li>· 리모델링과 신·재생에너지 통합 설치 시 상기 신축과 동일한 조건으로 보조금 및 세제혜택</li> </ul>
빗물이용 건축물 (모든 건축물 공통사항)	설치비 융자	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 빗물이용설비 공사 할증 융자</li> <li>· 빗물이용설비 설치 비용 지원 (용량에 따라 50~80%)</li> </ul>