

315092  
-03

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( ) 발간등록번호( O )  
첨단생산기술개발사업 제3차 연도 최종 보고서

11-1543000-002547-01

# 온실 구조 설계용 프로그램 개발 최종보고서

2019. 03. 20.

주관연구기관 / 경북대학교 산학협력단  
세부연구기관 / 경북대학교 산학협력단  
협동연구기관 / 한국건설기술연구원  
협동연구기관 / (주) 한길아이티  
협동연구기관 / 경희대학교 산학협력단

온  
실  
구  
조  
설  
계  
용  
프  
로  
그  
램  
개  
발  
최  
종  
보  
고  
서

2019

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

<제출문>

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “온실 구조 설계용 프로그램 개발”(개발기간 : 2015. 12. 28 ~ 2018. 12. 27)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 03. 20.

주관연구기관명 :	경북대학교 산학협력단	임 기 병
세부연구기관명 :	경북대학교 산학협력단	임 기 병
협동연구기관명 :	한국건설기술연구원	한 승 현
협동연구기관명 :	(주) 한길아이티	황 규 환
협동연구기관명 :	경희대학교 산학협력단	이 범 석

주관연구책임자 : 김 흥 진

세부연구책임자 : 이 현 우

협동기관책임자 : 최 기 선

협동기관책임자 : 황 규 환

협동기관책임자 : 김 대 진

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	315092-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2017.12.28 ~ 2018.12.27 (12개월)	단 계 구 분	3/3
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	온실 구조 설계용 프로그램 개발			
연구책임자	김 흥 진	해당단계 참여연구원 수	총: 39 명 내부: 38 명 외부: 1 명	해당단계 연구개발비	정부: 400,000 천원 민간: 135,000 천원 계: 535,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 114 명 내부: 113 명 외부: 1 명	총 연구개발비	정부: 1,200,000 천원 민간: 405,000 천원 계: 1,605,000 천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	경북대학교 산학협력단			참여기업명:	한길아이티
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위 탁 연 구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의 제1항에 따른 때, 본 과제는 제24조의 제1항 제1호 각 목의 어느 하나에도 해당하지 않는 과제이다. 따라서 보안과제로 지정되지 아니한 일반과제에 해당한다.
----------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정 보	생물자 원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합  
니다) 보고서 면수

- (1) 국내외 설계기준 확립 및 동적효과 고려 하중산정 기법 개발
  - 온실 설계기준의 현황을 검토하여 프로그램에 적용할 설계기준 확립
  - 프로그램에 적용 할 풍하중 및 적설하중 산정
- (2) 온실 설비하중 산정 및 구조설계용 프로그램 검증
  - 온실설비 및 작물하중의 산정
  - 설비하중 및 프로그램 검증을 위한 사용자 평가
- (3) 온실구조의 저항성능 실험적 평가
  - 온실구조의 요소별 구조성능, 동특성 및 파괴양상 DB화
  - 온실구조 지점조건 및 기본상세 사항 제시
- (4) 온실 구조 설계용 프로그램 개발
  - 상용 프로그램 분석
  - 온실 구조 설계용 프로그램 개발 완료
- (5) 온실구조해석에 적합한 요소 기법 개발
  - 온실구조의 최적 유한요소 모델 제시 및 업데이트
  - 비선형 구조해석을 통한 온실구조 물성치 DB화

P.414

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국내외 설계기준과 온실의 환경조절인자, ICT기자재의 설치 위치 및 효율적인 운영 등을 고려하고, 농업인 및 비전문가도 사용 가능한 신뢰성 있는 <b>온실 구조 설계용 프로그램을 개발</b>함. 개발 프로그램의 농업기술센터 연차별 보급(20/30/50%)을 통해 프로그램 비용 및 구조설계 의뢰비용 절감의 경제적 효과를 창출하고자 함.</li> <li>• <b>온실 설계기준 확립 및 동적효과 고려 하중산정 기법 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 하중기준을 고려한 설계법 확립</li> <li>- ICT융복합시스템의 동적효과를 고려한 하중산정 기법개발</li> <li>- 국내외 상용프로그램을 적용한 구조해석 및 표준도 D/B 구축</li> </ul> </li> <li>• <b>온실 설계기준 확립 및 프로그램 검증</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 온실 및 ICT융복합시스템 특성 분석</li> <li>- 설비하중의 산정 및 구조 설계용 프로그램의 사용성 평가</li> <li>- 온실구조 설계용 프로그램의 검증 및 사용 현장 적용성 평가</li> </ul> </li> <li>• <b>온실구조의 저항성능 실험적 평가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 구조 및 설비현황 파악을 통한 온실 구조안전성 요구사항 도출</li> <li>- 온실 접합부 및 기초부위 등 주요 부재 구조성능 실험 검증</li> <li>- 실험실 실험을 통한 동특성 계측 및 붕괴 특성 파악</li> </ul> </li> <li>• <b>온실 구조 설계용 프로그램 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계 편의성 향상을 위한 GUI 기술 개발</li> <li>- 온실 설계 신뢰성 확보 및 최적설계를 위한 솔버 엔진 개발</li> <li>- 온실구조 설계 자동화 프로그램 개발</li> </ul> </li> <li>• <b>온실구조해석에 적합한 요소 기법개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최적 유한요소 선정 및 해석 알고리즘 개발</li> <li>- 온실구조 접합부 및 지지부 모델링 기법 개발 및 최적화</li> <li>- 실험실 온실구조 실험결과를 이용한 유한요소 해석모델 업데이트</li> </ul> </li> </ul>
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>온실 설계기준 확립 및 동적효과 고려 하중산정 기법 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실 설계기준의 현황을 검토하여 프로그램에 적용할 설계기준 확립</li> <li>- ICT융복합시스템의 동적효과를 고려한 하중산정 기법개발</li> <li>- 프로그램에 적용 할 풍하중 및 적설하중 산정</li> </ul> </li> <li>• <b>온실 설계기준 확립 및 프로그램 검증</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실설비 및 작물하중의 산정</li> <li>- 설비하중 및 프로그램 검증을 위한 사용자 평가</li> </ul> </li> <li>• <b>온실구조의 저항성능 실험적 평가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실구조의 요소별 구조성능, 동특성 및 파괴양상 DB화</li> <li>- 온실구조 지점조건 및 기본상세 사항 제시</li> </ul> </li> <li>• <b>온실 구조 설계용 프로그램 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상용 프로그램 분석</li> <li>- 온실 구조 설계용 프로그램 개발 완료</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>온실구조해석에 적합한 요소 기법개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실구조의 최적 유한요소 모델 제시 및 업데이트</li> <li>- 비선형 구조해석을 통한 온실구조 물성치 DB화</li> </ul> </li> </ul>				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>기술적 측면 기대성과</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연직하중 및 하중 동적효과에 의한 구조안전성 평가법 개발</li> <li>- ICT융복합시스템의 적용이 가능한 온실 농촌시설물의 현대화</li> <li>- 국내 건설 산업의 기술 집약도 향상 및 국제 경쟁력 제고</li> </ul> </li> <li>• <b>경제·산업적 측면 기대성과</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실의 <b>최적화 구조시스템의 개발과 보급</b>에 의한 경제적 효과 창출 <ul style="list-style-type: none"> <li>☞ 전국 농업기술센터(약 150개소)에 과제 3차년도부터 보급(보급률 20%)하여 종료1차년도(30%), 종료2차년도(50%)에 걸쳐 보급</li> <li>☞ {프로그램 사용료(1백만원)×농업기술센터(150개소)×보급률}+{구조설계 의뢰비용(3백만원/회)×3회×농업기술센터(150개소)×보급률} = 3,000백만원 의 경제적 효과 창출</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• <b>기업화 방안</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- RFP상 제시된 목표성과와 같이, 연구개발 성과는 농촌진흥청에 일괄 이전하여 일반인에게 공개 및 서비스될 예정이므로 사업화/상품화/기업화는 해당사항이 없음</li> <li>- 다만 지속적인 프로그램의 업데이트 등을 위해서는 연구개발종료 이후에도 기업의 참여가 필수적이므로 농진청/농림수산식품부와 효과적인 방법을 찾기위한 노력을 기울일 예정</li> </ul> </li> <li>• <b>기술이전</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실 구조설계에 적합한 구조해석용 요소개발을 통해 기술이전 실시</li> <li>- ICT융복합시스템의 동적하중 산정 기법의 기술이전 실시</li> </ul> </li> </ul>				
국문핵심어 (5개 이내)	온실구조	설계기준	설계프로그램	정보통신기술융복합시스템	구조 안정성
영문핵심어 (5개 이내)	Greenhouse structure	Design code	Design program	ICT convergence and fusion system	Structural safety

\* 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 .....	1
2. 연구수행 내용 및 결과 .....	9
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	375
4. 연구결과의 활용 계획 등 .....	380
붙임. 참고 문헌 .....	383
[부록] AGreen 사용자 매뉴얼 .....	386

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발 목적

국내외 설계기준과 온실의 환경조절인자, ICT기자재의 설치 위치 및 효율적인 운영 등을 고려하고, 농업인 및 구조 비전문가도 사용 가능한 신뢰성 있는 국내최초 온실 구조 설계용 프로그램의 상용화를 목표로 함. 개발 프로그램의 농업기술센터 연차별 보급(20/30/50%)을 통해 프로그램 비용 및 구조설계 의뢰비용 절감의 경제적 효과를 창출하고자 함.

온실의 환경조절인자 및 ICT융복합시스템의 효율적인 운영을 위해 (1) 국내외 설계기준 확립과 (2) ICT융복합시스템 온실 특성분석을 수행하고 (3) 실대형 온실구조실험 및 (5) 온실구조해석에 적합한 요소개발을 실시하여 (4) 농업인 및 비전문가도 사용 가능한 신뢰성 있는 **온실 구조 설계용 프로그램을 개발**



그림 1. 연구개발의 최종목표 및 주요내용

## 1-2. 연구개발의 필요성

국내의 시설재배면적은 온실이 보급되기 시작한 1990년대 25,450ha에서 계속 증가하여 최근 2014년도 54,168ha를 차지하고 있음. 이러한 온실들이 대설, 강풍 등 **기상재해로 인한 피해를 최소화**하기 위해 농촌진흥청에서는 2007년부터 원예특작시설 내재해형 기준”(농림부 고시 제 2007-19호)을 마련하여 운영해 오고 있음. 하지만 기상이변으로 인한 원예특작시설의 피해는 계속 증가하여 2012년 태풍, 대설등으로 인한 **비닐하우스 피해의 경우 1,839억원**으로 나타남(그림1-2).



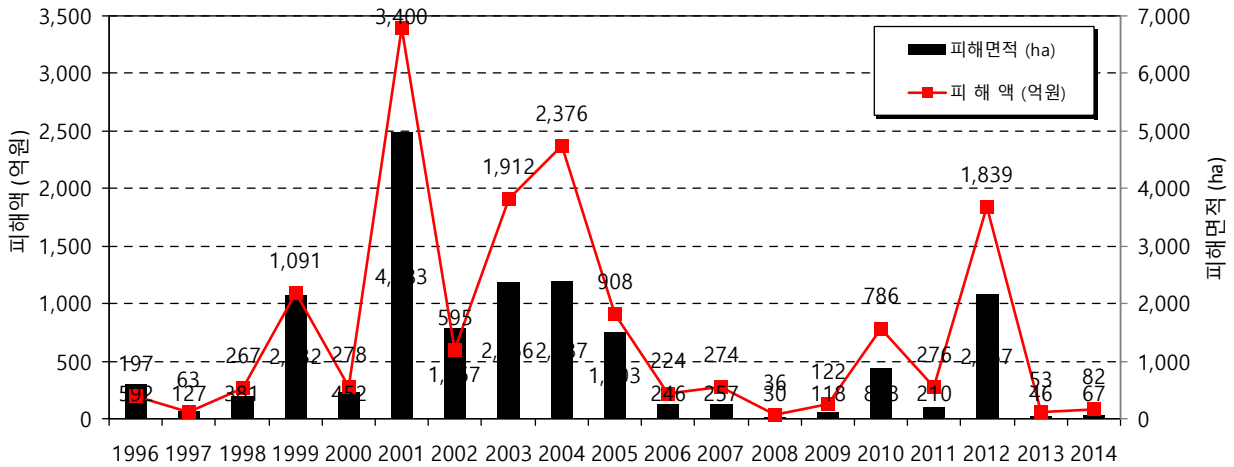


그림 2. 재해에 의한 비닐하우스 피해 현황

매년 반복적으로 원예시설이 파괴되어 막대한 피해를 입게 됨에 따라 **피해의 악순환을 끊을 수 있는 기술 개발이 필요함**. 매년 발생하는 피해를 방지하고자 지역별 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”(농림축산식품부 고시 제 2014-78호)를 제시하여 총 35종의 내재해형 비닐하우스 규격(연동 5종, 단동 19종, 광폭 8종, 과수 3종)을 농가에 보급함. 하지만 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에 제시된 표준설계의 경우 **지역별하중**(고정하중, 풍하중 및 적설하중 등)에 대한 세부적 고려가 어려워 구조 안전성이 지나치게 강조된 **과다설계 되거나, 또한 경우에 따라서는 과소설계 되어 붕괴 위험을 초래함**(그림1-3, 1-4).



그림 3. 풍하중에 의한 붕괴



그림 4. 적설하중에 의한 붕괴

따라서 최근 개발중인 ICT융복합시스템이 국내 시설원예 산업에서 종사인력의 고령화, 영세한 시설규모, 난방비 과다소요 등의 해결방안으로 점차 확대 적용되고 있음(그림1-5). 이러한 설비장치는 온실 구조물에 작용하는 하중을 증대시키며, 특히 차양막(그림1-6) 또는 방제시설은 하중의 **동적효과를 발생**시켜 구조설계 시 필수적으로 고려되어야 함.

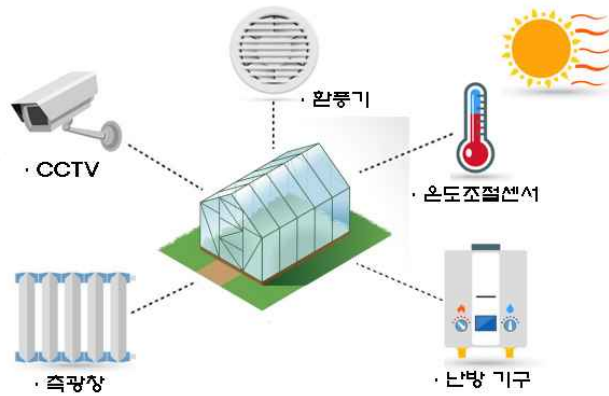


그림 5. ICT융복합시스템 개념



그림 6. 자동 차양막 (ICT기자재)

ICT융복합기술 기반의 내부 온·습도 유지를 위한 천창과 측창, 냉난방 설비, 양액 설비 등의 원격제어 장치가 온실 내부에 추가로 설치됨. 하지만, 농촌진흥청에서 제시하는 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”의 표준규격은 ICT기자재의 설치 현황과 사용자의 의견을 반영한 온실구조 설계 프로그램이 없음. 온실시설을 위한 구조 설계 프로그램 대다수가 외국의 프로그램이며(그림1-7) 국내의 건축, 토목분야의 구조해석 프로그램을 온실 시설 구조설계에 사용함.

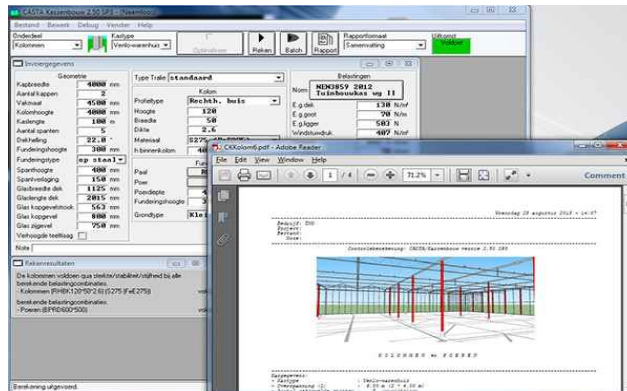


그림 7. 온실구조용 프로그램(CASTA)

따라서 기상이변으로 인한 피해를 방지하고 ICT융합시스템의 적용 및 신뢰성있는 구조해석 기술을 포함한 **국내 온실시설 구조 설계를 위한 프로그램의 개발이 필요함**. 국내의 뛰어난 구조설계 프로그래밍분야의 IT 기술력을 기반으로 국내시장뿐만 아니라 해외시장을 겨냥한 온실 구조 설계 프로그램이 개발된다면 국내 농가에 제공함과 동시에 해외시장 진출도 가능할 것임. 온실 구조설계에서 가장 중요하게 고려해야 할 하중은 풍하중과 적설하중임. 특히 **풍하중과 적설하중**은 국내외 설계기준에 따라 매우 상이하게 규정되어 있어 구조설계용 프로그램 개발을 위해서는 각 설계기준별 **하중 규정의 차이점**을 명확히 분석해야 할 필요가 있음. 그중에서도 온실 구조설계용 **풍하중은 적설하중에 비해 설계기준별 차이가 더욱 크게 두드러지므로** 구조설계 시 특별히 주의해야 함.

## 1-3. 연구개발 범위

### 가. 1차년도

#### (1). 국내외 하중기준을 고려한 설계법 확립

- 온실의 하중조절 인자를 고려한 구조 설계법
  - 온실의 하중조절 인자로는 고정하중, 풍하중, 적설하중, 설비하중 등이 있으며 각 구조 시설별(단동, 연동형, 유리온실 등) **하중조절 인자를 결정함**
- 국내외 하중 기준을 검토하여 온실 적용 가능성 확인
- 허용응력설계/한계상태설계법 적용 검토
  - 구조물 설계의 허용응력설계와 한계상태설계를 고려할 경우 온실 구조 설계에 적합한 **구조 설계기법을 검토 및 개발함**

#### (2). 국내외 온실 및 ICT융복합시스템 특성 분석

- 국내 및 온실산업 선진국의 온실 형태 및 설계기준 조사
  - 국내 하중기준으로는 내재해형 기준과 온실 구조 설계기준, 건축구조설계기준을 조사하고, **국외의 설계기준**(IBC, ISO, Eurocode, AISC 등)을 검토함
- 각국별 온실의 구조 및 설비 특성 분석
  - 현장조사, 관련 기업체, 각종 박람회 등을 통해 ICT융복합시스템의 온실 적용 현황을 파악함

#### (3). 온실 구조안전성 요구사항 도출

- 온실의 구조적 특성 분석
  - 국내외 **온실 패턴별 구조형식** 및 기둥, 보, 접합부, 지붕구조, 기초구조 등 구조 상세를 조사함
- 국내 온실 설계/시공 현황 분석
  - 국내 온실 현장조사를 통해 냉난방, 약액설비, 전기설비, 환기시스템 등 **설비장치에 대한 현황** 및 구조와 시공 상세 현황을 파악함
- 온실 구조 시스템 문제점 및 구조안전성 요구사항 도출
  - 주요 부재 내하력, 접합부 연결상세, 기초 지내력 등 온실 시스템 최소 안전 요구사항을 도출함

#### (4). 설계 편의성을 고려한 UI 프레임워크 개발

- 온실 설계 프로그램의 벤치마킹 분석
  - 기존의 상용화된 온실 설계 프로그램을 벤치마킹 분석하여 최적의 온실 설계를 위한

UI 프레임워크를 개발하고자 함

- 성과품에 대한 요구사항 도출 및 UI 프레임워크 개발
  - 성과품(설계도, 재료 내역서, 시방서, 구조 계산서)에서 입력부에 필요한 기능 요구사항을 도출
  - 온실 설계시 쉽고 빠르게 사용할 수 있도록 UI 프레임워크를 개발

#### (5). 최적 유한요소 선정 및 해석 알고리즘 개발

- 기존의 유한요소 성능 검토/비교를 통한 최적 유한요소를 선정
  - 온실구조는 일반적으로 강재 프레임으로 구성된 선형 부재, 프레임을 연결하는 접합부, 지면에 고정되는 지지부, 구조물의 횡강성을 증가시키기 위한 인장재 등으로 구성됨
  - 선형 프레임 부재의 구조해석을 위해 Euler-Bernoulli 보 이론, Timoshenko 보 이론 등 다양한 이론에 기반한 직선 보 및 곡선 아치 유한요소가 개발됨
  - 프레임 부재의 세장비, 물성치, 하중조건 등에 따라 **전체 구조의 거동**이 달라지기 때문에 이를 정확하게 **모사할 수 있는 유한요소**를 선정함
- 최적 유한요소를 이용한 온실구조 해석 알고리즘 개발 및 최적화
  - 온실구조 표준설계도 및 시방서에 제시된 부재의 종류에 따라 선정된 **최적 유한요소**를 **활용**해 구조해석을 수행할 수 있는 **알고리즘**을 개발함

### 나. 2차년도

#### (1). ICT융복합시스템의 동적효과를 고려한 하중산정 기법 개발

- ICT기자재의 동적하중 산정 기법 개발
  - 현장계측(가속도계 및 NI장비)을 통해 온실 동특성 및 ICT기자재의 동적효과를 분석
  - 온·습도 센서, 냉난방 설비, 환기장치 및 자동 차양막, 양액설비 등의 추가로 온실에 설치되는 장치를 하중으로 치환하는 기법을 개발함
  - **ICT기자재의 설치 위치에 따른 구조설계**를 고려함

#### (2). 설비하중의 산정 및 구조 설계용 프로그램의 사용성 평가

- 온실 설비하중의 산정
  - 온실의 하중은 고정하중, 풍하중, 적설하중, 설비하중 등이 있으며 각 구조시설별(단동, 연동형, 유리온실 등) **설비하중을 결정**함
- 구조설계 프로그램에 대한 수요자의 사용 용이성 평가
  - 농업인 및 비전문가들을 통한 온실 설계용 프로그램의 사용 용이성 평가

#### (3). 온실 접합부 및 지반 상호작용 평가 실험

- 온실구조 주요 구조부재 및 접합부 구조성능 실험
  - 지붕구조 재하실험을 통한 최대적설하중 저항성능을 검증함.
  - 온실 접합부 타입별(파이프 U형 클램프, T형 클램프 등) 휨강성 및 휨성능을 평가함.
- 온실구조 기초 및 주각부 구조성능 실험
  - 온실 주각부 형태별 수직하중에 의한 지내력, 침하량 실험을 실시함
  - 온실용 파이프 기초의 지반 매립 인발저항력 실험을 실시함
  - 수평하중에 대한 기초 수평저항력 및 변형능력 실험 및 검증함

#### (4). 온실 구조 설계 자동화를 위한 모듈 개발

- 온실 구조 설계도서 출력 모듈 개발
  - 설계도, 재료 내역서, 시방서, 구조계산서에 대한 출력 모듈을 개발하여 기존의 범용 Tool(CAD, 엑셀)에서 Export하여 성과물을 제공할 수 있는 모듈을 개발
- 온실 구조 설계의 솔버 연동기술 개발
  - 온실 구조 설계 프로그램과 솔버 간의 Input/Output 데이터 연동 관련 기술 개발.

#### (5). 온실구조 접합부 및 지지부 모델링 기법 개발 및 최적화

- 온실 구조 접합부 및 지지부의 해석 모델 개발
  - 온실구조는 다양한 형태 및 종류의 접합부를 지니며, 이들 접합부의 구조특성은 전체 구조물의 거동을 결정하는데 큰 영향을 미침
  - 또한, 태풍, 지진 등과 같은 자연재해 발생 시 구조물의 파괴가 대부분 접합부에서 발생함에 따라 **접합부의 종류 및 특성에 적합한 구조 모델링 기법을 개발함.**
- 접합부 및 지지부 해석 모델링에 필요한 물성치 최적화
  - 실험결과를 토대로 모델링에 필요한 **접합부의 물성치를 최적화**하고, 이들 접합부 모델링 기법 및 최적 물성치는 온실구조 해석 프로그램에 직접적으로 활용됨

### 다. 3차년도

#### (1). 국내외 상용프로그램을 적용한 구조해석 및 표준도 D/B 구축

- 온실 설계 프로그램을 활용한 구조설계
  - 국외 프로그램의 국내 적용의 가능성 확인 및 국내 프로그램과의 비교.
- **범용 구조 해석 프로그램**을 활용한 구조설계
  - 건축·토목분야의 신뢰성 높은 프로그램인 Midas, SAP2000, ETABS 활용한 온실 구조설계를 실시함.
- 비선형 유한요소해석 프로그램을 활용한 구조설계
  - 비선형 **유한요소 해석**이 가능한 ABAQUS 프로그램을 활용한 접합부 및 비선형 거동

설계.

## (2). 온실구조 설계용 프로그램의 검증 및 사용 현장 적용성 평가

- 구조 설계용 프로그램의 정확성 분석
  - 온실 구조 설계용 프로그램과 상용프로그램의 결과를 비교, 분석하여 **신뢰성을 확보**함
  - 실제 온실의 거동을 파악하기 위한 실험대형 온실실험의 결과와 비교하여 **프로그램을 검증**함
  - 온실 설계 및 시공 업체들을 통한 온실 설계용 프로그램의 사용 가능성 평가
- 온실구조 설계용 프로그램의 사용 현장 적용성 평가

## (3). 실험대형 실험을 통한 동특성 계측 및 붕괴 특성 파악

- 온실구조 실험대형 구조성능 실증 실험
  - 실험대형 온실 제작 및 수직/수평하중 재하 실험을 실시함
  - 주요구조부재 하중저항성능 및 구조해석의 접합부/지점 조건과 비교 검증에 사용함.
- 동특성 계측 및 붕괴 특성 파악
  - 가속도계를 통한 온실 구조의 동적특성을 파악하고 해석결과와 비교
  - 온실 구조의 하중인자들을 고려한 붕괴 모드를 실험에서 파악함
- 온실구조 기초/주각부 지점조건 및 기본상세 제안
  - 구조해석 시 지점조건을 만족할 수 있는 기초/주각부 구성형식(기둥 매립형 또는 주각부 기초형식), 앵커볼트 개수, 매립깊이 등 기본 상세를 제안함

## (4). 온실 구조 설계용 프로그램 개발

- 사용자 요구사항을 반영한 ICT 융복합 온실 구조 설계 자동화 프로그램 개발
  - 사용자 입력값 미리보기 기능을 통해 입력 오류를 최소화함
  - 사용자 요구사항을 반영한 설계 정보의 기본 값 적용으로 사용자 입력을 최소화함
- 프로그램 테스트 및 검증
  - 온실 구조 설계 자동화 프로그램의 테스트를 통하여 시스템 보완 및 검증

## (5). 실험대형 온실구조 실험결과를 이용한 유한요소 해석모델 업데이트

- 실험결과와 유한요소 해석결과를 비교하여 해석모델의 정확성 평가
  - 개발된 유한요소 해석모델을 이용한 해석결과를 실험대형 온실구조 실험결과와 비교하여 **정확성을 전반적으로 평가**함
  - 온실구조의 동특성 파악을 위한 모드해석을 수행하고 실험 및 해석에 의해 얻어진 고유진동수 값을 비교함
- 유한요소 해석모델 검증 및 보완

- 평가결과에 따라 접합부 모델링을 개선하고 최적 물성치 값을 조정하여 제안된 유한 요소 해석모델을 검증 및 보완

## 2. 연구수행 내용 및 결과

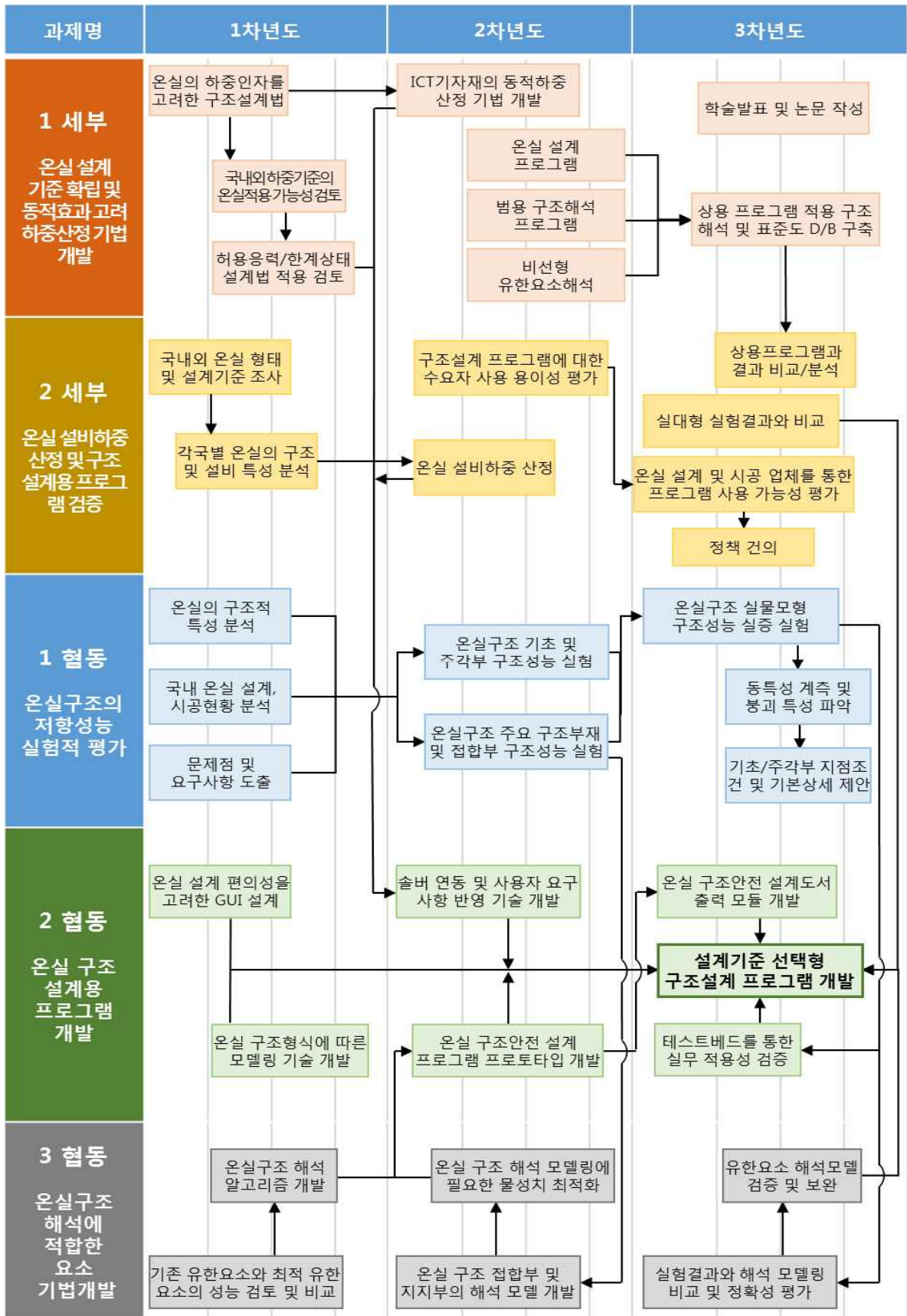
### 2-1. 연구개발 추진전략·방법 및 추진체계

#### 가. 연구개발 추진전략·방법

추진전략	구체적 추진방안
기술정보수집	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내외 설계기준 : 국내외 원예시설의 구조안전기준 및 건축기준을 포함한 국외 ISO, Eurocode, AISC 건축기준 조사</li> <li>- ICT융복합시스템 : 농림축산식품부의 과제 조사 및 관련연구원의 의견수렴</li> <li>- 국내외 관련 기관의 홈페이지 및 보고서를 통한 기술 개발 동향 파악</li> <li>- 온실 구조 설계기법 : 온실 구조해석 시 고려가능한 사항의 조사</li> <li>- 구조해석 프로그램 개발 기법 : 상용 설계 프로그램의 구조해석 기법 조사</li> </ul>
전문가 기술자문 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 매년 2회 전문가를 초청하여 자체평가 및 기술자문 실시</li> <li>- 국내외 온실 관련 박람회 및 학술회에 참가하여 전문가의 평가 실시</li> <li>- 농림축산식품부, 농촌진흥청, 구조기술사, 구조해석 프로그램 개발자 등의 자문 및 의견수렴</li> </ul>
타기관과의 협조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 농림축산식품부 : 연구개발의 접근방법 및 농가활용 적합성 등의 평가 협의</li> <li>- 구조기술사회 : 온실 구조 설계법의 기술개발 및 신뢰성 검토</li> <li>- 강구조학회 : 강구조 설계법의 활용과 적용을 위한 방안 제시</li> <li>- 중소기업청 : 온실 구조 설계 프로그램의 활용방안 및 홍보</li> </ul>
연구추진방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온실 구조 설계용 프로그램의 개발 목표치 설정               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 농업인 및 비전문가도 사용가능한 온실 설계용 프로그램</li> <li>· 설계기준 및 ICT기자재 선택형 프로그램</li> <li>· 구조설계와 최적설계를 단일화</li> <li>· 입력부, 구조해석 및 최적설계, 출력부로 구성</li> </ul> </li> <li>- 온실 구조 설계용 프로그램의 검증               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 상용 프로그램과의 비교, 분석</li> <li>· 실증 실험을 통한 온실 구조 설계 활용</li> <li>· 온실 구조 설계에 적합한 해석요소 개발</li> <li>· 구조기술사 및 전문가를 통한 신뢰성 평가</li> </ul> </li> <li>- 온실 구조 설계용 프로그램의 활용               <ul style="list-style-type: none"> <li>· 구조 설계 프로그램의 홍보를 통한 접근성 확보</li> <li>· 온실 구조 설계 프로그램의 활용성과 제시</li> <li>· ICT융복합시스템의 적용을 통한 스마트팜 온실 설계 가능성 제시</li> <li>· 온실 구조 설계용 프로그램의 지속적인 업데이트</li> </ul> </li> </ul>



나. 연구개발 추진체계



[2-1] 그림 1. 연구개발의 추진체계

## 2-2. 주요연구내용 (제1세부)

### 2-2-1. 1차 년도

#### 가. 비닐하우스 현장 계측을 통한 동특성 추정

농림축산식품부 산하 농촌진흥청에서는 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도 및 시방서<sup>1)</sup>”를 통해 지역, 규모 및 용도(작물)별 표준규격 비닐하우스를 공급하고 있으며 정부주도의 시설물 재해지원 및 민간 재해보험(풍수해 보험, 농작물 재해보험)의 적용기준으로 삼고 있다. 그러나 이와 같은 보급에도 불구하고 골조의 경량화 및 접합부 시공 상세에 따른 구조성능의 차이 등으로 인해 풍하중 및 설하중에 따른 다수의 비닐하우스 붕괴가 발생하고 있다. 전 세계적인 이상기후 현상의 영향으로 인해 국내의 태풍 발생과 그 피해 역시 빈번해지는 추세이며, 그에 따른 비닐하우스의 붕괴 또한 증가할 것으로 예상된다.

이러한 붕괴 피해에 대응하기 위해 비닐하우스의 구조 성능 분석에 관한 연구들이 진행되어 왔다. Moriyama 등은 유한요소해석을 통한 풍, 설하중 재하 시 비닐하우스의 붕괴 거동 분석, 풍동실험을 통한 풍력계수 산정 등의 연구를 수행하여 안전하고 경제적인 비닐하우스 디자인을 제안하고자 하였으며<sup>2),3)</sup>, S. Castellano 등은 수직 및 수평 하중을 재하했을 때 비닐하우스의 거동을 분석했고, 유한요소해석 결과와 비교해 실물 실험 결과 변위가 약 30% 더 크게 나타난다고 보고하였다<sup>4)</sup>. 또한 김보경 등은 적설하중에 의한 붕괴거동을 분석하고, pre-tension tie를 이용한 비닐하우스 구조보강을 제안하였다<sup>5)</sup>.

그러나 기존의 연구들은 정적하중 재하에 따른 비닐하우스의 붕괴 거동 및 그에 따른 구조보강에 집중되어 있다. 그러나 실제 비닐하우스는 단순 정적하중에 의해서만 붕괴하는 것이 아니며, 눈, 비, 바람을 동반한 실제 피해 환경을 고려하여 단순 정적하중 재하 시의 거동이 아닌 비닐하우스의 동특성 파악이 필요하다 판단된다. 또한 농림수산식품 기술기획 평가원에서 주관하여 추진 중인 온실구조 설계용 프로그램 개발과 관련하여서도 비닐하우스에 대한 구조적 동특성 식별이 필요한 실정이다.

제주 농업기술센터에서는 기존의 표준규격 비닐하우스 외에도 적용소재 개선(주 구조재 소재 변경 및 490MPa 소재 적용) 및 부재 위치 조정 등의 보완을 거친 대안형 비닐하우스를 갖추고 있으며, 본 연구에서는 표준 도면에 따라 시공된 기존형 비닐하우스와 더불어, 대안형 비닐하우스의 동특성 또한 파악해보았다.

가속도 현장계측을 통한 동특성 분석을 실시하였으며, 데이터로거를 통해 입력된 가속도 정보는 SSI법 및 안정화 도표를 이용한 동특성 식별에 활용하였다.

## (1). 비닐하우스 개요

### (가) 기존형 비닐하우스

계측 대상 비닐하우스(그림 1)는 원예특작시설 내재해형 규격 설계도 기준 중 제주도 지역에 설치되는 내재해형 감귤용 연동형 무가온 비닐하우스이며, 단위 동의 폭은 5.5m, 측고 3.3m, 중앙부 높이 4.5m 규모로 구성되어 있으며 길이는 36m로 구성되어 있다. 주요 구조부재는 항복강도 295MPa 이상 (인장강도 400MPa 이상)의 강관으로 규정되어 있으며 주기둥은 외경 60.5mm, 두께 3.65mm, 주서까래는 외경 48.1mm, 두께 2.1mm의 원형강관을 각각 적용하고 있다. 태풍 등의 강풍에 저항하기 위해 길이방향으로 시설물의 내외부에 다양한 브레이싱을 적용하고 있다. 건물의 외부에는 케이블을 적용한 브레이스가 설치되며 내부에는 케이블을 이용한 V형 브레이스와 파이프를 이용한 대각 브레이스 등 2종류의 가새가 적용되고 있다. 본 실험에서는 상기 비닐하우스를 기존형 비닐하우스라 명명하였다.

### (나) 대안형 비닐하우스

이상기후에 따른 영향으로 강풍 및 폭우, 폭설 등의 발생이 과거보다 빈번해졌으며, 추가적인 구조 성능이 요구되었다. 또한 구조 소재 및 온실설비 기술의 발달로 인해 보다 적은 물량으로도 요구수준의 구조·설비 성능을 발휘할 수 있게 되었다. 이와 같은 조건을 갖춘 비닐하우스를 앞선 기존형과 대비하여 대안형 비닐하우스라 명명하였으며, 아래의 그림 2에 대안형 비닐하우스의 전경이 나타나있다. 기존형 비닐하우스와 더불어 대안형 비닐하우스를 추가적인 실험 대상으로 선정하여 계측을 수행하였다.

대안형 비닐하우스는 적용 소재를 기존 아연도강관(SPVHS)에서 아연-알루미늄-마그네슘 합금 도금 강관(SPVHS-AZM)으로 변경하였으며, 구조재의 경량화 및 물량 최적화를 위해 인장강도 490MPa 소재를 적용하였다. 또한 기존의 외부기둥에 보조기둥을 추가하고 트러스를 형성하여 x축 방향의 강성을 증가시켰으며, 주 기둥 간격을 2m에서 4m로 조정하여 내부 작업공간의 확장 및 주 서까래 아치거동 확보 및 환기성능 향상 등의 개선을 거쳤다.



[2-2] 그림 1. 기존형 비닐하우스

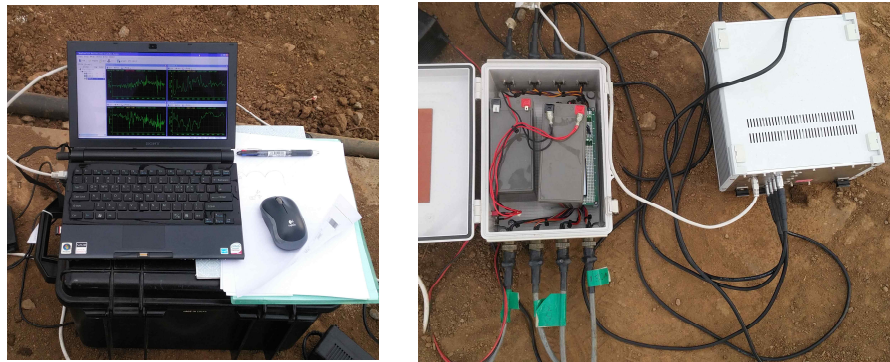


[2-2] 그림 2. 대안형 비닐하우스

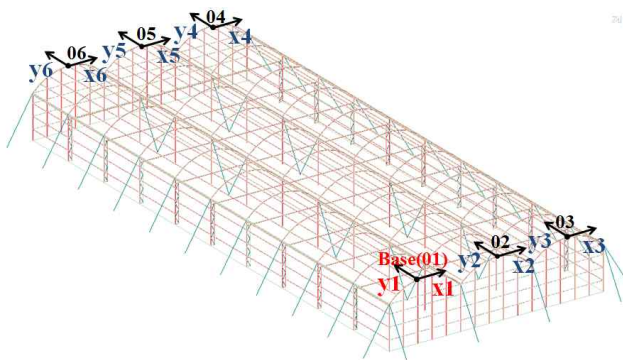
## (2). 현장계측 개요

현장계측에는 동시에 4개의 가속도계, 4개의 채널을 활용하였으며, 그림 3과 같이 가속도계로부터 받은 데이터를 데이터로거를 통하여 수집하였다. 계측에 사용한 가속도계는 미국 Kinemetrics사의 서보타입 ES-102 EpiSensor 가속도계<sup>6)</sup>이다. ES-U2 EpiSensor는 저주파 진동 계측에 적합한 가속도계로 최대 측정 가속도 값을 쉽게 조절할 수 있어 다양한 진폭의 진동계측에 적합하다. 데이터 로거는 24-bit 체제의 NetPod 4003을 사용하였다<sup>7)</sup>. 상시진동 계측은 이동지점 별 각 20분씩 수행하였으며, 200Hz의 Sampling Rate로 데이터가 수집되었다. 또한 고주파수의 노이즈 및 무의미한 신호의 제거를 위해 0.01Hz에서 10Hz에 해당하는 band-pass 필터의 적용을 계획하였다.

본 실험에서는 고유진동수 및 모드형상의 파악을 위해 다음의 그림 4와 같이 총 6개의 계측 지점 중 기준이 되는 계측 지점을 한 군데 설정하고, 동시에 나머지 5지점을 순차적으로 이동하며 5번의 계측을 수행하였으며, 준 계측지점 2개 채널, 이동 계측지점 2개 채널을 통해 x, y 축 가속도 데이터 4개 채널이 수집되었다. 계측 지점 별로 파악한 시스템식별 결과를 종합하여 전체 비닐하우스의 모드형상을 구하고자 계획하였다.



[2-2] 그림 3. 현장계측 시스템



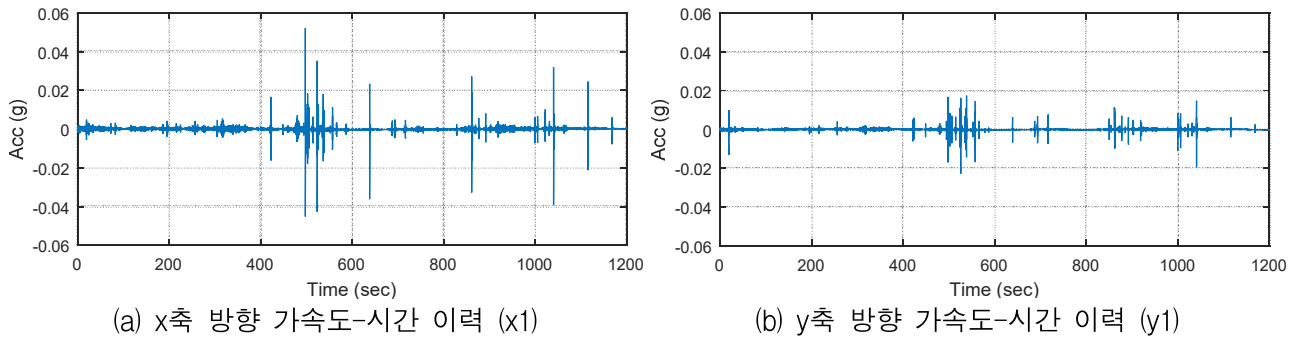
[2-2] 그림 4. 가속도계 설치 위치



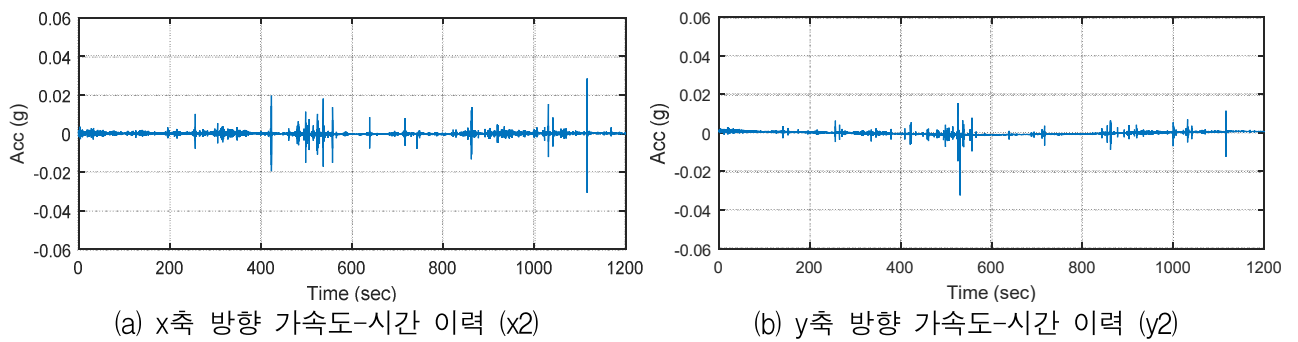
[2-2] 그림 5. 가속도 측정모듈 설치

그림 5과 같이 주 서까래와 파이프의 접합부 인근에 가속도계를 부착하는 방식으로 현장 계측을 수행하였으며, 가속도계의 수평 유지 및 비닐하우스 구조 부재와의 일체화를 위해 합판과 U볼트를 이용한 가속도계 세트를 제작하여 활용하였다.

### (3). 상시진동 계측 결과



[2-2] 그림 6. 측정 기준점의 가속도-시간 이력



[2-2] 그림 7. 측정 이동점의 가속도-시간 이력

그림 6과 7은 상시진동을 통한 가속도 계측을 수행한 결과이다. 최대 가속도응답은 대부분 2mg 내외의 작은 응답이었으며, 계측 과정에서 외부환경(새, 차량 주행에 의한 진동 및 충격)에 의한 영향 및 비닐하우스 내 온도 상승으로부터 따른 비닐 팽창에 의한 순간적 충격 등이 함께 기록되었음을 알 수 있다.

### (4). 동특성 식별 결과

강제적인 입력하중을 가하기 어려운 구조물에서 계측되는 Output data 만을 갖고 모드해석을 수행하는 Output-only modal identification 방법을 적용하였으며, 본 논문에서는 대표적인 기법 중 하나인 SSI법을 이용하여 모드해석을 수행하였다.

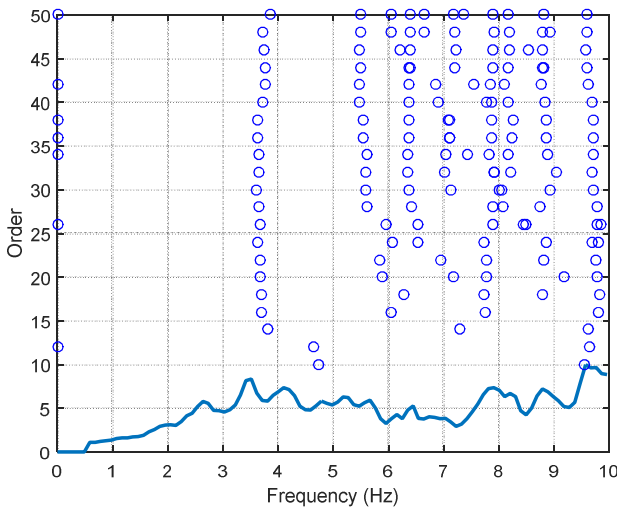
#### (가) SSI법

진동수영역 시스템식별기법이 스펙트럼밀도함수(power spectral density function, PSD 함수) 또는 진동수응답함수(frequency response function, FRF)을 이용하는 것과 달리, 시간영역 시스템식별기법은 푸리에변환과 같은 스펙트럼해석 과정을 제외하고 계측된 계측치를 직접 이용하여 이산 시간계(Discrete time domain)에서의 상태방정식을 추정한다<sup>8)9)</sup>. 이러한 시간영역 시스템식별기법 중, 본 논문에서 사용한 SSI법은 미래응답을 과거응답에 투영하고, 이를 특이치

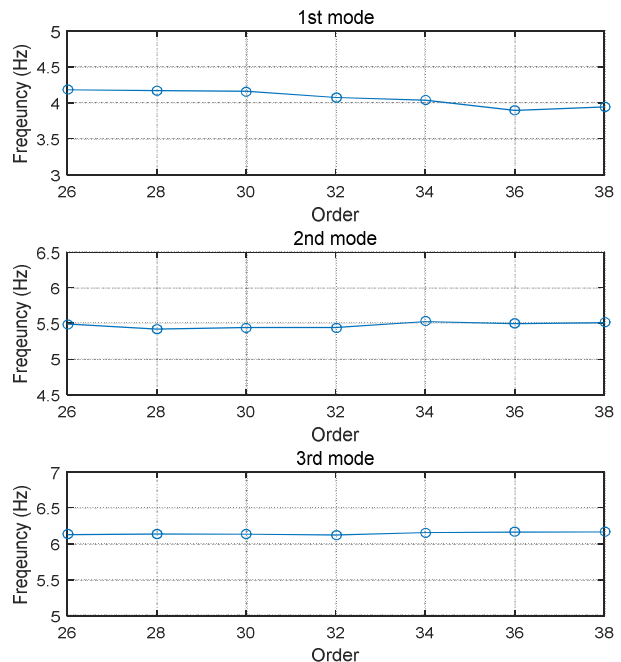
분해(SVD, singular value decomposition)하여 시스템 행렬을 구하고, 그 결과로부터 동특성을 산정할 수 있다.

(나) 동특성 식별 결과

시간영역 시스템식별 기법은 상태방정식의 차수에 따른 영향이 크기 때문에, 본 논문에서는 상태방정식의 차수를 10차에서 50차까지 변화시켜가며 안정화 도표에 나타나는 폴의 연속성을 분석하였다. 또한 안정화 도표와 더불어 계측데이터로부터 진동수영역의 스펙트럼밀도함수(PSD 함수)를 구하였으며, 안정화 도표 상에 나타난 폴의 연속성과 PSD 함수의 피크를 대비하여 고유진동수 구간을 설정하였다. 설정된 구간 내에서 상태방정식의 차수와 안정화 도표에 따른 고유진동수 변화 추이를 바탕으로 고유진동수를 추정하였으며, SSI법을 통해 구한 시스템 행렬로부터 모드형상을 파악하였다.



[2-2] 그림 8. 기존형 비닐하우스 계측데이터의 안정화도표



[2-2] 그림 9. 시스템 차수에 따른 고유진동수 추이

그림 8은 기존형 비닐하우스 계측지점 02의 가속도 데이터에 SSI법을 적용하여 구한 안정화 도표이고, 그림 9는 해당 데이터의 상태방정식 차수 변화에 따른 고유진동수의 추이를 나타낸다. 10-50차까지 상태방정식의 차수 구간 내에서 1차, 2차, 3차 모드의 고유진동수를 모두 일정하게 구해내는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 그림 9와 같이 안정화 도표로부터 폴의 연속성이 유지되는 차수 구간을 부분 설정하여 고유진동수를 추정하였다.

슬라브가 기둥을 구속하여 강막 작용을 나타내는 일반적인 건물과 달리, 비닐하우스는 주 서까래 및 곡부보 등이 주 기둥들을 완전히 구속하지 못하므로 일체화가 되지 않으며, 따라서 구조체의 전체적인 거동 내에서도 각 부재 별 독립적인 거동이 존재한다. 이와 같은 부재 간 상호

독립적인 거동은 그림 8에서와 같이 안정화 도표 상 폴의 연속성을 저하시키는 원인이 되며, 동특성 추정을 위한 차수 구간 설정에 어려움을 가져온다. 또한 비닐하우스는 일반 건물과는 달리 골조가 유연하며, 접합부 및 지점조건이 안정적이지 못하다. 이러한 어려움으로 인해 기존형 비닐하우스의 경우 각 계측지점 별로 추정된 1차 고유진동수 중 최소값과 최대값의 차이가 평균 고유진동수 대비 약 18%의 큰 오차를 나타냈으며, 계측지점 06의 경우는 동특성 식별이 불가능 정도로 데이터의 유효성이 떨어졌다.

기존형 계측지점 5곳, 대안형 계측지점 5곳, 총 10곳의 계측지점 별 가속도 데이터를 이용해 동특성 추정 과정을 수행하였다. 다음 표 1과 2에 SSI법을 이용한 기존형과 대안형 비닐하우스의 고유진동수 추정값을 정리하여 나타내었다.

[2-2] 표 1. 기존형 비닐하우스 식별 고유진동수

측정 지점		고유진동수 (Hz)		평균 고유진동수 (Hz)
01	02	1st mode	3.66	
		2nd mode	5.55	
		3rd mode	6.37	
	03	1st mode	4.07	
		2nd mode	5.48	
		3rd mode	6.15	
	04	1st mode	3.42	
		2nd mode	5.47	
		3rd mode	6.05	
	05	1st mode	3.47	
		2nd mode	5.44	
		3rd mode	6.27	
	06	1st mode	-	
		2nd mode	-	
		3rd mode	-	

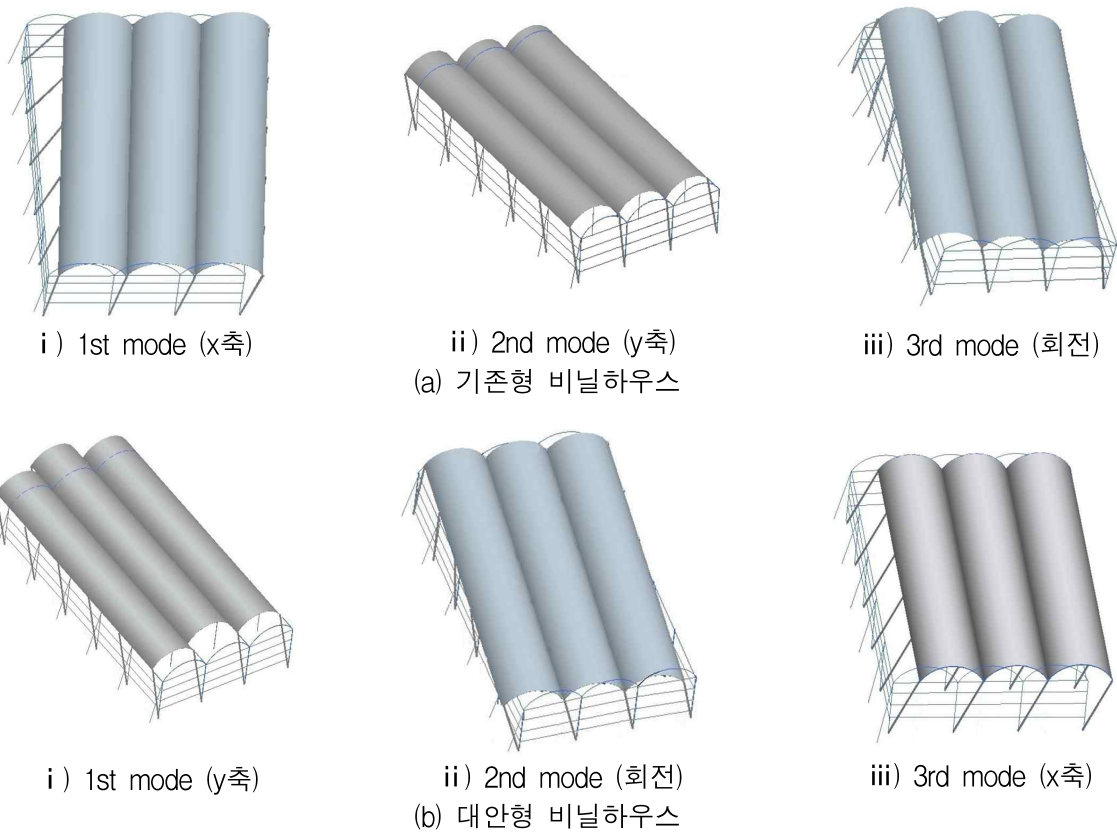
[2-2] 표 2. 대안형 비닐하우스 식별 고유진동수

측정 지점		고유진동수 (Hz)		평균 고유진동수 (Hz)
01	02	1st mode	3.13	
		2nd mode	3.99	
		3rd mode	4.73	
	03	1st mode	3.11	
		2nd mode	3.93	
		3rd mode	4.86	
	04	1st mode	3.26	
		2nd mode	3.95	
		3rd mode	5.03	
	05	1st mode	3.27	
		2nd mode	3.90	
		3rd mode	4.89	
	06	1st mode	3.28	
		2nd mode	3.71	
		3rd mode	5.14	

추정결과, 1차 모드 고유진동수는 기존형과 대안형 비닐하우스 각각 약 3.65 Hz, 약 3.21 Hz의 값을 나타냈으며, 주 기둥 간격을 2m에서 4m로 조정하여 주 기둥의 개수가 줄어든 대안형

비닐하우스의 강성이 기존형에 비해 작게 나타났다. 줄어든 구조체 전체의 강성으로 인해 대안형 비닐하우스가 상대적으로 작은 고유진동수를 보였다.

또한 계측지점 별로 시스템 행렬을 통해 모드벡터를 구할 수 있었으며, 계측지점 01을 기준으로 정리하여 다음의 그림 10, 11과 같은 모드형상을 구할 수 있었다. 모드형상 분석 결과, 1차, 2차, 3차 모드 순으로 기존형 비닐하우스는 x축, y축, torsion, 대안형 비닐하우스는 y축, torsion, x축 병진 방향의 모드형상이 파악되었다. 기존형 비닐하우스에서는 x축 병진 방향 이동이 1차 모드형상으로 나타났으나, 대안형 비닐하우스에서는 분석 대상 모드 중 가장 고차모드인 3차 모드형상으로 나타났다. 대안형 비닐하우스에는 x축 방향으로 트러스요소가 설치되었으며, 이로 인해 시스템 내 x축 방향 강성 증가가 발생한 영향으로 판단된다.



[2-2] 그림 10. 식별된 모드형상

## (5) 결론

본 실험에서는 제주 농업기술센터에 위치한 기존형 및 대안형 비닐하우스를 대상으로 가속도 현장계측을 통한 동특성 분석을 실시하였다.

동특성 식별 결과, 1차모드 고유진동수는 기존형과 대안형 비닐하우스 각각 약 3.65 Hz, 약 3.21 Hz 의 값을 나타냈으며, 주 기둥 간격을 2m에서 4m로 조정하여 주 기둥의 개수가 줄어든 대안형 비닐하우스의 강성이 기존형에 비해 작게 나타났다. 줄어든 구조체 전체의 강성으로 인해 대안형 비닐하우스가 상대적으로 작은 고유진동수를 가짐을 파악할 수 있었다.



1차, 2차, 3차 모드 순으로 모드형상 분석 결과, 기존형 비닐하우스가 x축, y축, torsion, 대안형 비닐하우스는 y축, torsion, x축 병진 방향의 모드형상이 파악되었다. 대안형 비닐하우스에는 x축 방향으로 트러스가 설치되었으며, 이로 인해 시스템 내에서 해당 축 방향의 강성 증가가 발생하였다. 대안형 비닐하우스의 x방향 강성 증가로 인해, 기존형 비닐하우스의 1차 모드형상이 x축 병진 방향을 나타냈음에 비해 대안형 비닐하우스에서는 분석 대상 모드 중 가장 고차모드인 3차 모드형상에서 x축 병진 방향을 보였다고 판단된다.

나. 국내외 온실 설계용 하중 비교

(1). 온실구조 설계기준(국내) - 온실구조 설계기준 및 해설(99.11.18 농림부 개정) : 허용  
응력법 적용

(가) 하중조합

[2-2] 표 5. 하중의 조합

하중의 종류	작용상태	일반지역	다설지역
장기하중	평상시	D+DM+LV	D+DM+LV+S
단기하중	적설시	D+DM+LV+S	D+DM+LV+S
	강풍시	D+DM+LV+W	D+DM+LV+W+0.35S

여기서  $D$  : 고정하중(자중)  
 $D_M$  : 설비하중  
 $L_V$  : 작물하중  
 $S$  : 적설하중  
 $W$  : 풍하중

① 고정하중

고정하중은 온실을 구성하는 실제상태에 따라 「건축구조물의 구조기준 등에 관한 규칙」에 의  
해 산정한다.

② 설비하중

난방, 차광, 냉방, 조명, 환기동에 대한 설비하중은 바닥면적당  $7\text{kgf}/\text{m}^2$ 이상으로 산정한다. →  
 $68.6\text{ N}/\text{m}^2$

③ 작물하중

일반작물에 대한 설계하중은 바닥면적당 최소  $15\text{kgf}/\text{m}^2$ 으로 산정한다. →  $147\text{ N}/\text{m}^2$

④ 적설하중

㉠ 평지붕의 경우

$$S = S_f \cdot A$$

㉡ 경사 및 곡면지붕의 경우

$$S = S_s \cdot A$$

여기서  $S_f$  : 평지봉면의 단위적설하중(kgf/m<sup>2</sup>)

$$\hookrightarrow S_f = 0.61 \cdot S_g \cdot C_e \cdot C_t$$

$S_g$  : 기준 지상적설하중 (kgf/m<sup>2</sup>)

$C_e$  : 노출계수

$C_t$  : 온도계수

$S_s$  : 경사 및 곡면지봉면의 단위적설하중(kgf/m<sup>2</sup>)

$$\hookrightarrow S_s = S_f \cdot C_s$$

$S_f$  : 평지봉면의 단위적설하중 (kgf/m<sup>2</sup>)

$C_s$  : 경사도계수

$A$  : 투영적설면적 (m<sup>2</sup>)

· 기준 지상적설하중( $S_g$ )

지 역	지상적설하중 (kgf/m <sup>2</sup> )
서울, 수원, 춘천, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 충무, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주, 울진, 이천	50
인천	80
속초	200
강릉	300
울릉도, 대관령	700

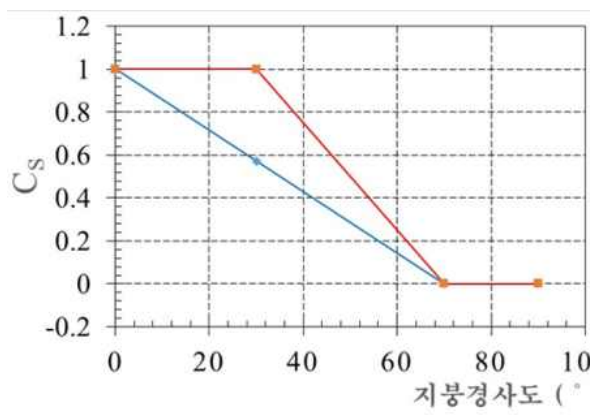
· 노출계수( $C_e$ )

주변환경	$C_e$
A. 지형, 높은 구조물, 나무등 주변환경에 의해 모든면이 바람막이가 없이 노출된 지붕이 있는 거센바람 부는 지역	0.8
B. 약간의 바람막이가 있는 거센바람 부는 지역	0.9
C. 바람에 의한 눈의 제거가 지형, 높은 구조물, 또는 근처의 높은 나무들 때문에 지붕하중의 감소를 기대할 수 없는 위치	1.0
D. 바람의 영향이 많지 않은 지역 및 지형과 높은 구조물 또는 몇몇 나무들에 의하여 지붕에 바람막이가 있는 지역	1.1
E. 바람의 영향이 거의 없는 조밀한 숲 지역으로서, 촘촘한 침엽수 사이에 위치한 지붕	1.2

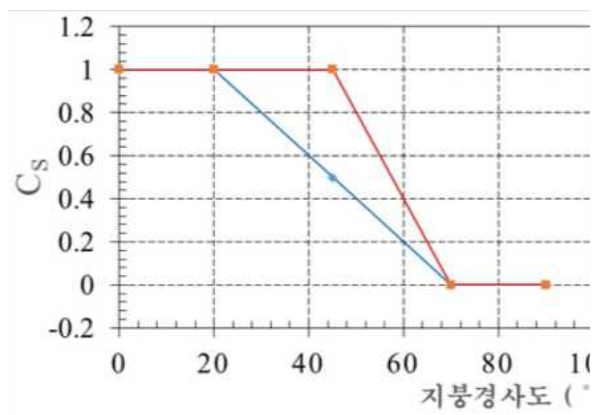
· 온도계수( $C_t$ )

난방상태	$C_t$
난방 온실(적설하중 제어구조)	1.0
비난방 온실(적설하중 비제어구조)	1.2

· 경사도계수( $C_s$ )



(a) 온실내부에 난방을 하는 경우



(b) 온실내부에 난방을 하지 않는 경우

경사지붕 : 상기 그림에 따름

곡면지붕 : 곡면 법선의 경사도에 의해 구분

$$\geq 70^\circ \quad C_s = 0$$

< 70° 70°미만인 지점과 지붕면 꼭대기를 이은 선의 각도에 의해 상기 그림에 따름

⑤ 풍하중

㉞ 벽면에 작용하는 풍하중 및 지붕면에 작용하는 풍하중 → 구조골조 설계용

㉞ 벽면에 작용하는 풍하중

i) 온실 벽면에 작용하는 풍하중

$$W_f = p_f A$$

여기서  $p_f$ : 온실의 구조골조용 설계풍압력 ( $kgf/m^2$ )

$A$ : 유효 수압면적 ( $m^2$ )

ii) 밀폐형 온실 벽면에 작용하는 구조골조용 설계풍압력

$$p_f = q_h \cdot G \cdot C_f$$

여기서  $q_h$ : 온실지붕면의 평균높이  $h$ 에 대한 설계속도압( $kgf/m^2$ )

$G$ : 가스트 영향계수

$C_f$ : 외압계수

$$C_f = C_{pe1} - C_{pe2}$$

$C_{pe1}$ : 풍상벽면의 외압계수

$C_{pe2}$ : 풍하벽면의 외압계수

㉞ 온실의 지붕면에 작용하는 풍하중

i) 온실 지붕면에 작용하는 풍하중

$$W_r = p_r A$$

여기서  $p_r$  : 온실의 지붕골조용 설계풍압력 (kgf/m<sup>2</sup>)

$A$  : 유효 수압면적(m<sup>2</sup>)

ii) 밀폐형 온실 지붕면에 작용하는 설계풍압력

$$p_r = q_h G (C_{pe} - C_{pi})$$

여기서  $q_h$  : 온실지붕면 평균높이  $h$  에 대한 설계속도압 (kgf/m<sup>2</sup>)

$G$  : 가스트 영향계수

$C_{pe}$  : 외압계수

$C_{pi}$  : 내압계수

㉞ 외장재용 풍하중 → 외장재, 마감재 및 그 바탕구조재와 그 접합부 설계용

㉠ 유리 외장재용 풍하중

i) 유리 외장재 설계용 풍하중

$$W_c = p_c A$$

여기서  $p_c$  : 온실의 외장재용 설계풍압력 (kgf/m<sup>2</sup>)

$A$  : 유효 수압면적 (m<sup>2</sup>)

ii) 유리 외장재 설계용 풍압력

$$p_c = q_h G (C_{pe} - C_{pi})$$

여기서  $q_h$  : 온실지붕면의 평균높이  $h$  에 대한 설계속도압 (kgf/m<sup>2</sup>)

$G$  : 가스트 영향계수

$C_{pe}$  : 외장재의 외압계수

$C_{pi}$  : 외장재의 내압계수

㉔ 설계속도압

㉑ 설계높이에서의 설계속도압은 다음식에 의해 산정한다.

$$q_h = \frac{1}{2} \rho V_h^2$$

여기서  $q_h$  : 높이  $h$ 에 대한 설계속도압 (kgf/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : 공기밀도 (0.125 kgf s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup> 적용).

$V_h$  : (2)에서 정하는 설계풍속 (m/s)

㉒ 설계풍속은 다음식에 의해 산정한다.

$$V_h = 0.87 V_0 K_{zr} K_{zt}$$

여기서  $V_h$  : 지표면으로부터 임의높이  $h$  (m)에 대한 설계풍속(m/s)

$V_0$  : 기본풍속 (m/s)

$K_{zr}$  : 풍속의 고도분포계수

$K_{zt}$  : 지형에 의한 풍속할증계수

㉓ 기본풍속 ( $V_0$ )

지 역		$V_0$ (m/sec)
서울 경기도	서울, 인천, 김포, 부천, 부평, 구리, 오산, 송탄, 평택, 시흥, 과천, 안양, 수원, 안산, 군포, 의왕, 안성, 강화	30
	양평, 성남, 하남, 용인, 의정부, 동두천, 포천, 파주, 광주, 기흥, 미금, 여주, 이천, 신갈, 장호원	25
강원도	속초, 강릉, 양양, 주문진	40
	거진, 간성, 동해, 삼척, 원덕	35
	춘천, 화천, 양구, 철원, 김화, 인제, 영월, 정선, 태백, 원주, 평창, 홍천	25
충청도	장항	40
	태안, 서산, 청주, 대천, 서천, 안면도, 조치원, 천안, 홍성, 광천, 아산	35
	대전, 당진, 합덕, 성환, 진천, 증평, 온양	30
	음성, 청양, 금산, 영동, 공주, 논산, 제천, 충주, 부여, 보은, 단양, 괴산, 옥천	25

경상도	포항, 울릉도, 구룡포, 오천, 흥해, 감포	45
	부산, 기장, 장안, 연일, 외동, 가덕도	40
	울산, 통영, 거제, 고성, 진해, 김해, 마산, 창원, 양산, 진영, 울진, 평해, 안강, 경주, 남해, 삼천포	35
	건천, 가야, 삼랑진, 영덕, 사천	30
	대구, 영주, 구미, 김천, 영천, 안동, 봉화, 풍기, 예천, 청송, 영양, 하양, 경산, 청도, 남지, 의령, 추풍령, 상주, 선산, 군위, 의성, 문경, 점촌, 함창, 진주, 거창, 함양, 산청, 고령, 창녕, 합천, 밀양	25
전라도	군산, 미성	40
	목포, 여수, 완도, 진도, 옥구, 노화, 익산, 금일, 해남, 관산, 대덕, 도양, 고흥	35
	광주, 나주, 화순, 영암, 일노, 강진, 장흥, 보성, 벌교, 순천, 광양, 무안, 함평, 영광	30
	전주, 함열, 진안, 무주, 삼례, 담양, 부안, 남원, 순창, 구례, 고창, 정주, 장수, 승주, 임실, 태인	25
제주도	전지역	40

㉔ 풍속의 고도분포계수 ( $K_{zr}$ )

[2-2] 표 6. 노풍도구분

노풍도 구분	주변지역의 지표면 상태
A	대도시 중심부에서 10층이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역.
B	높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역 중층건축물이 산재해 있는 지역
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 저층건축물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5m 이하인 지역 해안, 초원, 비행장

[2-2] 표 7.  $Z_b$ ,  $Z_g$ ,  $\alpha$ 값

노풍도구분	A	B	C	D
$Z_b$ (m)	20	15	10	5
$Z_g$ (m)	500	400	300	250
$\alpha$	0.33	0.22	0.15	0.10

[주]  $Z_b$  : 대기경계층의 시작높이(m)

$Z_g$  : 기준경도풍 높이(m)

$\alpha$  : 풍속의 고도분포지수



[2-2] 표 8. 노풍도구분에 따른 풍속의 고도분포계수( $K_{zt}$ )

지표면으로 부터의 높이 Z(m)	노풍도구분			
	A	B	C	D
$Z \leq Z_b$	0.58	0.81	1.0	1.13
$Z_b < Z \leq Z_g$	$0.22 Z^a$	$0.45 Z^a$	$0.71 Z^a$	$0.97 Z^a$

㉔ 지형에 의한 풍속할증계수 ( $K_{zt}$ )

지형에 의한 풍속할증계수 ( $K_{zt}$ )는 경사 산 언덕의 영향이 없는 지역에서는 기본적으로 1.0이다.

㉕ 가스트 영향계수

농업용 강구조 고정식 온실 설계용의 가스트 영향계수는 1.4로 한다.

㉞ 외압계수 ( $C_{pe}$ )

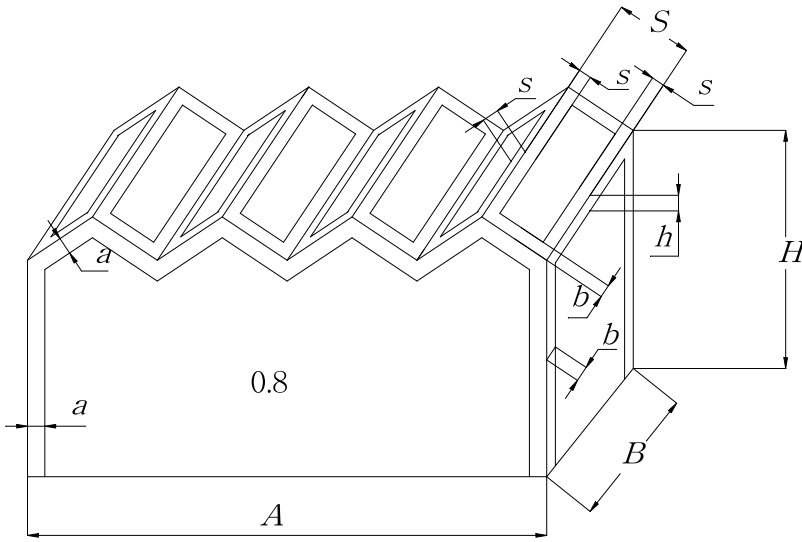
㉠ 온실벽면 및 지붕면의 외압계수

부위 풍향	지붕면, 풍상측벽면, 풍하측벽면
박공벽면에 평행한 경우	

※ 풍향 직각 벽면의 외압계수는 -0.5로 한다.

㉞ 온실 모서리부의 외압계수

온실벽면 및 지붕면 모서리에서 아래의 그림에 나타난 모서리 부분의 외압계수는 1.5로 한다.



- $a : A/10$  또는  $2m$        $A :$  온실장변 길이( $m$ )  
 $b : B/10$  또는  $2m$        $B :$  온실단변 길이( $m$ )  
 $h : H/10$  또는  $2m$        $S :$  지붕면폭( $m$ )  
 $s : S/10$  또는  $2m$        $H :$  벽면 높이( $m$ )

㉟ 내압계수 ( $C_{pi}$ )

농업용 강구조 고정식 온실의 지붕골조 및 외장재 설계용의 내압계수( $C_{pi}$ )는 -0.3으로 한다.

(2) 온실구조 설계기준(유럽) - NEN-EN 13031-1 (2001)

- : 온실 타입 및 구조부재의 종류에 따라 유럽의 타 구조기준을 따르도록 규정
- 주요 구조부재인 강재에 대해서는 한계상태설계법을 적용

(가) 하중조합

Table 5 - Combinations of actions

<b>a) Permanent actions + permanently-present Installation actions + wind actions + snow actions + crop actions</b>									
	Permanent actions		Permanently-present installation actions		Wind actions		Snow actions		Crop actions
a1)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{G2} G_{k2}$	+	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$	+	$\psi_{0Q2} \gamma_{Q2} Q_{k2}$	+	$\psi_{0Q3} \gamma_{Q3} Q_{k3}$
a2)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{G2} G_{k2}$	+	$\psi_{0Q1} \gamma_{Q1} Q_{k1}$	+	$\gamma_{Q2} Q_{k2}$	+	$\psi_{0Q3} \gamma_{Q3} Q_{k3}$
a3)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{G2} G_{k2}$	+	$\psi_{0Q1} \gamma_{Q1} Q_{k1}$	+	$\psi_{0Q2} \gamma_{Q2} Q_{k2}$	+	$\gamma_{Q3} Q_{k3}$
<b>b) Permanent actions + wind actions</b>									
	Permanent actions		Wind actions						
b1)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$						
<b>c) Permanent actions + permanently-present Installation actions + crop actions + concentrated vertical action + Incidentally-present Installation actions</b>									
	Permanent actions		Permanently-present installation actions		Crop actions		Concentrated vertical action		Incidentally-present installation actions
c1)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{G2} G_{k2}$	+	$\psi_{0Q3} \gamma_{Q3} Q_{k3}$	+	$\gamma_{Q4} Q_{k4}$	+	$\psi_{0Q5} \gamma_{Q5} Q_{k5}$
c2)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{G2} G_{k2}$					+	$\gamma_{Q5} Q_{k5}$
<b>d) Permanent actions + permanently-present Installation actions + snow actions + crop actions + seismic actions</b>									
	Permanent actions		Permanently-present installation actions		Snow actions		Crop actions		Seismic actions
d1)	$G_{k1}$	+	$G_{k2}$				$\psi_{2Q3} Q_{k3}$	+	$\gamma_{AE} A_{Ek}$
d2)	$G_{k1}$	+	$G_{k2}$	+	$\psi_{2Q2} Q_{k2}$	+	$\psi_{2Q3} Q_{k3}$	+	$\gamma_{AE} A_{Ek}$
<b>e) Permanent actions + permanently-present Installation actions + thermal actions</b>									
	Permanent actions		Permanently-present installation actions	Thermal actions					
e1)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{G2} G_{k2}$	+	$\gamma_{Q6} Q_{k6}$				
<b>f) Permanent actions + permanently-present Installation actions + crop actions + accidental snow actions</b>									
	Permanent actions		Permanently-present installation actions		Crop actions		Accidental snow actions		
f1)	$\gamma_{G1} G_{k1}$	+	$\gamma_{G2} G_{k2}$	+	$\psi_{1Q3} \gamma_{Q3} Q_{k3}$	+	$\gamma_A A_k$		
where									
$A_{Ek}$ is the characteristic value of the seismic actions, in accordance with 10.4.9;									
$A_k$ is the characteristic value of the accidental snow actions, in accordance with 10.4.10.									
$G_{k1}$ is the characteristic value of the permanent actions, in accordance with 10.4.1;									
$G_{k2}$ is the characteristic value of the permanently present installation actions, in accordance with 10.4.2;									
$Q_{k1}$ is the characteristic value of the wind actions, in accordance with 10.4.3;									
$Q_{k2}$ is the characteristic value of the snow actions, in accordance with 10.4.4;									
$Q_{k3}$ is the characteristic value of the crop actions, in accordance with 10.4.5;									
$Q_{k4}$ is the characteristic value of the concentrated vertical action, in accordance with 10.4.6;									
$Q_{k5}$ is the characteristic value of the incidentally present installation actions, in accordance with 10.4.7;									
$Q_{k6}$ is the characteristic value of the thermal actions, in accordance with 10.4.8;									
$\gamma$ is the partial factor, in accordance with 10.3.1;									
$\psi$ is the combination coefficient, in accordance with 10.3.2.									

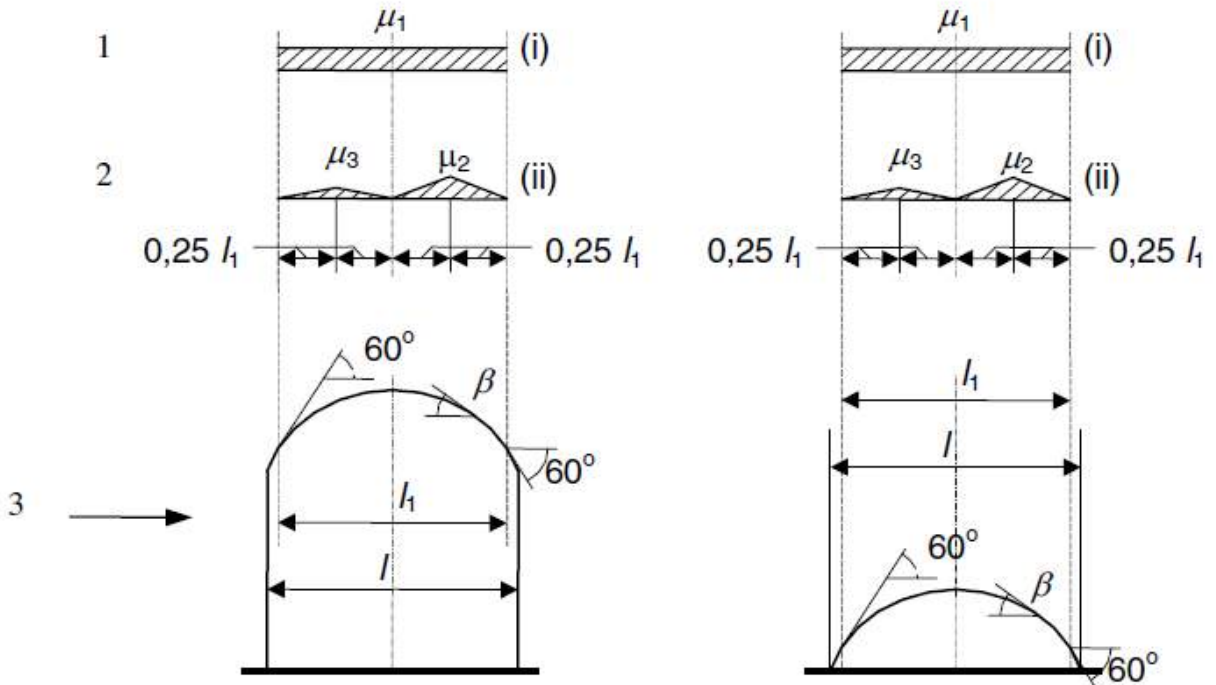
(나) 적설하중

① 단동형

▶ 지붕면의 경사도에 따른 적설 분포를 고려한 하중 산정

### C.3.3 Monospan arches

C.3.3.1 For monospan arches two cases of snow loads shall be considered as shown in Figure C.3.



#### Key

- 1 Uniform load
- 2 Asymmetric load
- 3 Wind direction

Figure C.3 - Snow load shape coefficients for monospan arches

C.3.3.2 The values of the snow load shape coefficients  $\mu_i$  for monospan arches shall be as given in Table C.2.

Table C.2 - Snow load shape coefficients for monospan arches

	Angle of pitch $\beta$	
	$0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$	$\beta > 60^\circ$
Shape coefficient $\mu_1$	0,8	0,0
Shape coefficient $\mu_2$	$\mu_2 = 0,2 + 10 h_f/l \leq 1,0$	
Shape coefficient $\mu_3$	$\mu_3 = 0,5 \mu_2$	

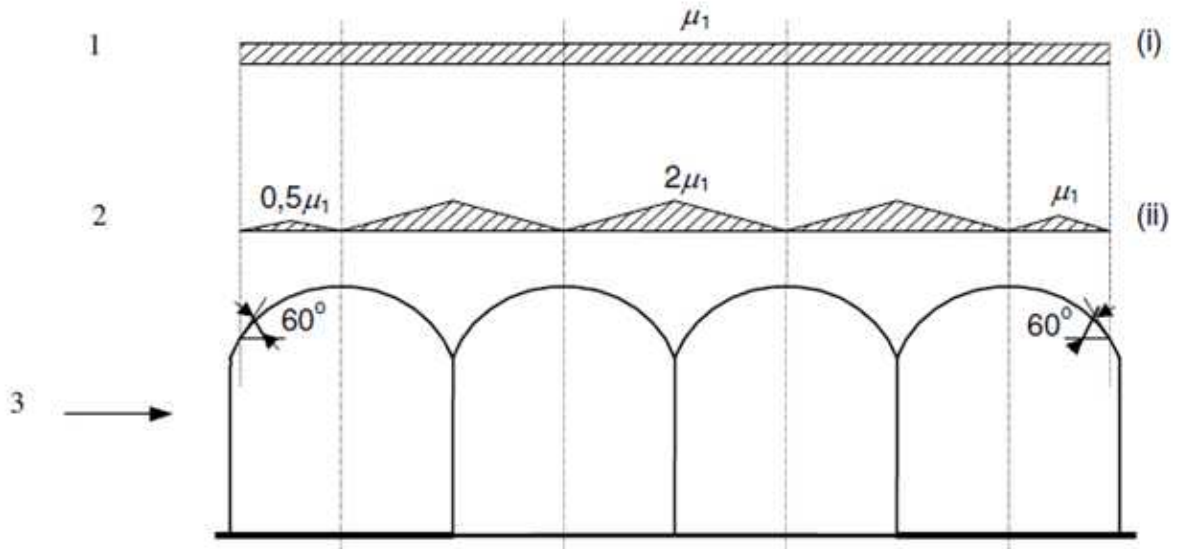
NOTE  $\beta$  is the angle of the arch tangent with the horizontal.

② 연동형

- ▶ 지붕면의 경사도에 따른 적설 분포를 고려한 하중 산정
- ▶ 각 동의 단부에 형성된 골에 발생하는 적설을 고려한 하중 산정 → 등분포하중의 최대 2배

**C.3.4 Multispan arches**

C.3.4.1 For multispan arches two cases of snow loads shall be considered as shown in Figure C.4.



**Key**  
 1 Uniform load  
 2 Non-uniform load  
 3 Wind direction

**Figure C.4 - Snow load shape coefficients for multispan arches**

C.3.4.2 The value of the snow load shape coefficient  $\mu_1$  for multispan arches shall be taken to be:

$$\mu_1 = 0,8$$

(다) 풍하중

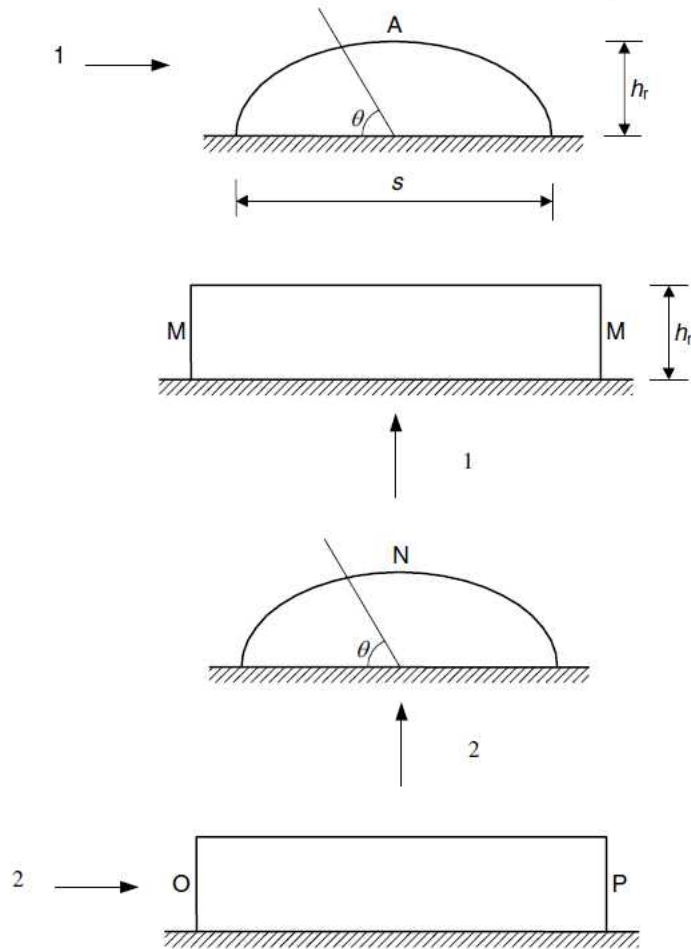
① 외압계수 ( $c_{pe}$ )

㉞ 단동형 비닐하우스

• without eaves

- ▶ 바람이 비닐하우스의 측면에서 불어올 때 :
  - 바람을 맞는 면의 35°이하 지붕면은 0.4의 정압
  - ” 35°이상 지붕면은 -0.1~-1.8 사이의 부압
- ▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 :
  - 바람을 맞는 면만 0.7의 정압, 지붕면과 비닐하우스 배면은 -0.3의 부압

**B.2.3.3** External pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roof and walls of single span greenhouses without eaves shall be as given in Table B.9. Zones A, M, N, O and P are defined in Figure B.16.



**Key**

1 0° wind

2 90° wind

**Figure B.16 - Zones for the vaulted roof and walls of single span greenhouses without eaves**

**Table B.9 - External pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roof and walls of single span greenhouses without eaves**

Wind direction	$\theta$	A	A <sup>a</sup>	M
0°	0° to 35°	+0,4	+0,4	-0,3
	35° to 55°	-0,1	-0,1	
	55° to 75°	-0,8	-1,1	
	75° to 95°	-1,3	-1,8	
	95° to 115°	-0,8	-0,9	
	115° to 180°	-0,4	-0,4	
<sup>a</sup> For $h_r/s < 0,35$ and film plastic cladding unrestrained against uplifting over ridge.				
Wind direction	$\theta$	N	O	P
90°	All	-0,3	+0,7	-0,3

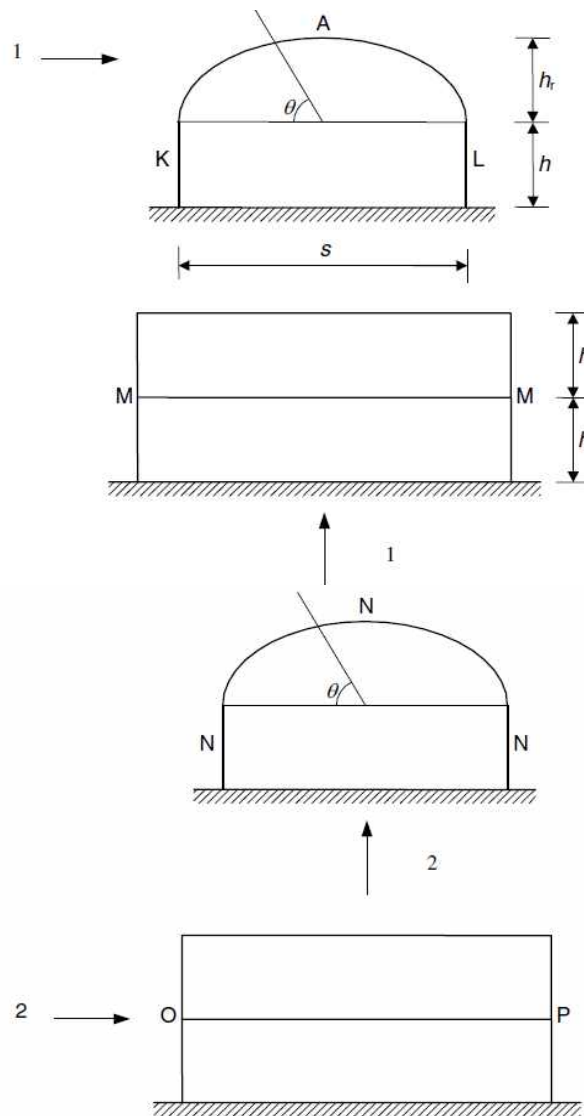
- with eaves ( $h/s \geq 0.2$ )

- ▶ 바람이 비닐하우스의 측면에서 불어올 때 : 비닐하우스의 (높이/폭) 값 0.4, 0.6 기준으로 분류  
바람을 맞는 면의 55°이하 지붕면은 0.3의 정압

” 55°이상 지붕면은 -0.4~-1.2 사이의 부압

- ▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 : 바람을 맞는 면만 0.7의 정압, 지붕면과 eave면은 -0.2의 부압, 비닐하우스 배면은 -0.3의 부압

**B.2.3.4** External pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roof and walls of single span greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0.2$  shall be as given in Table B.10, depending on the ratio  $h/s$ . Zones A, K, L, M, N, O and P are defined in Figure B.17. For intermediate values of  $h/s$  the values of the external pressure coefficients shall be interpolated linearly. Vaulted roofs of single span greenhouses with eaves and with  $h/s < 0.2$  shall be treated as greenhouses without eaves in accordance with B.2.3.3.



**Key**

- 1 0° wind
- 2 90° wind

**Figure B.17 - Zones for the vaulted roof and walls of single span greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0.2$**



Table B.10 - External pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roof and walls of single span greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0,2$

Wind direction	$\theta$	A	A <sup>a</sup>	
0°	0° to 55°	+0,3	+0,3	
	55° to 115°	-1,0	-1,2	
	115° to 180°	-0,4	-0,4	
<sup>a</sup> For $h_r/s < 0,2$ and film plastic cladding unrestrained against uplifting over ridge.				
Wind direction	$h/s$	K	L	M
0°	$\leq 0,4$	+0,6	-0,3	-0,3
	$\geq 0,6$	+0,6	-0,6	-0,4
Wind direction	$\theta$	N	O	P
90°	All	-0,2	+0,7	-0,3

㉞ 연동형 비닐하우스

• without eaves

▶ 바람이 비닐하우스의 측면에서 불어올 때 :

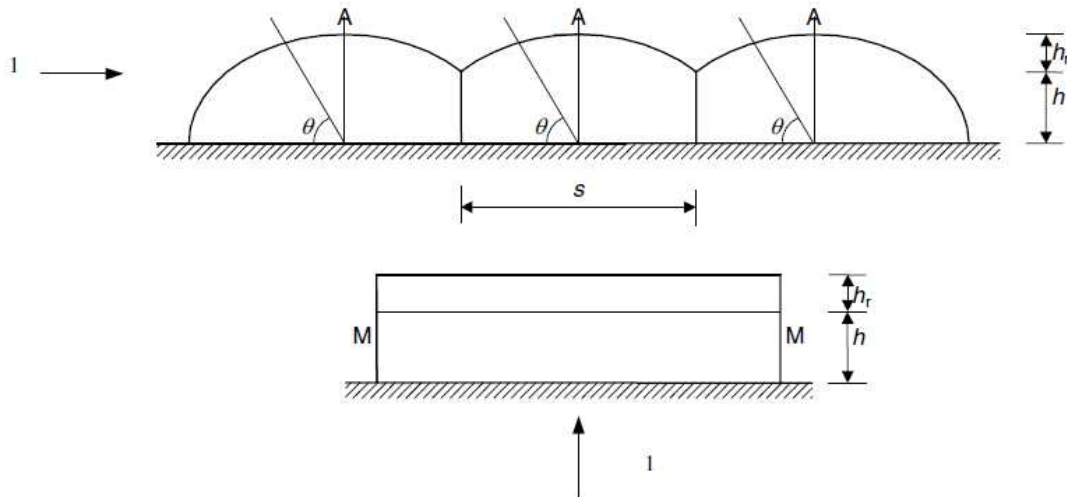
바람을 맞는 면의 첫 번째 동의 35°이하 지붕면은 0.4의 정압

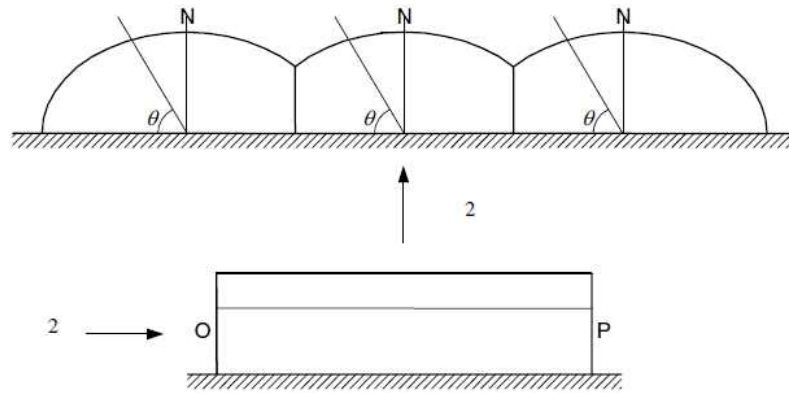
” 35°이상 지붕면은 -0.1~-1.8 사이의 부압

▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 :

바람을 맞는 면만 0.7의 정압, 지붕면과 비닐하우스 배면은 -0.3의 부압

B.2.3.5 External pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roofs and walls of multispan greenhouses without eaves shall be as given in Table B.11. Zones A, M, N, O and P are defined in Figure B.18.





**Key**  
 1 0° wind  
 2 90° wind

Figure B.18 - Zones for the vaulted roofs and walls of multispan greenhouses without eaves

Table B.11 - External pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roofs and walls of multispan greenhouses without eaves

Wind direction	Span	$\theta$	A	A <sup>a</sup>	M
0°	First	0° to 35°	+0,4	+0,4	-0,3
		35° to 55°	-0,1	-0,1	
		55° to 75°	-0,8	-1,1	
		75° to 95°	-1,3	-1,8	
		95° to 105°	-0,8	-0,9	
		105° to gutter	-0,4	-0,4	
	Second	gutter to 85°	-0,3	-0,3	
		85° to 100°	-0,9	-1,0	
		100° to gutter	-0,2	-0,2	
	Third and subsequent	gutter to 85°	-0,1	-0,1	
		85° to 100°	-0,7	-0,8	
		100° to gutter	-0,1	-0,1	
	Leeward <sup>b</sup>	gutter to 85°	0,0	0,0	
		85° to 100°	-0,6	-0,6	
		100° to 180°	-0,2	-0,2	
<sup>a</sup> For $h_r/s < 0,2$ and film plastic cladding unrestrained against uplifting over ridge. <sup>b</sup> For the leeward span of twin-span greenhouses the pressure coefficients of the second span shall be used for $\theta \leq 100^\circ$ . For $100^\circ < \theta \leq 180^\circ$ a pressure coefficient equal to -0,4 shall be used. For the leeward span of three-span greenhouses the pressure coefficients of the second span shall be used for $\theta \leq 100^\circ$ . For $100^\circ < \theta \leq 180^\circ$ a pressure coefficient equal to -0,4 shall be used.					
Wind direction	$\theta$	N	O	P	
90°	All	-0,3	+0,7	-0,3	

• with eaves ( $h/s \geq 0.2$ )

- ▶ 바람이 비닐하우스의 측면에서 불어올 때 : 비닐하우스의 (높이/폭) 값 0.4, 0.6 기준으로 분류
  - 바람을 맞는 면의 55°이하 지붕면은 0.3의 정압
  - ” 55°이상 지붕면은 -0.4~-1.2 사이의 부압

▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 :

바람을 맞는 면만 0.7의 정압, 지붕면과 eave면은 -0.2의 부압, 비닐하우스 배면은 -0.3의 부압

② 국부 압력 계수 ( $c_{pe}$ )

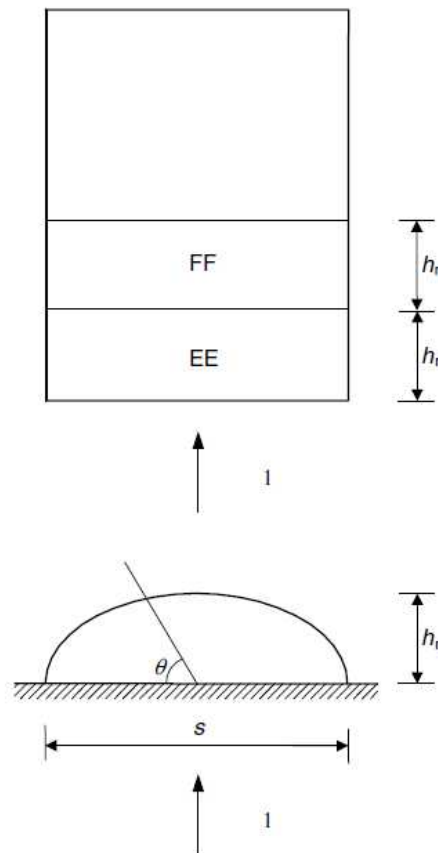
㉑ 단동형 비닐하우스

• without eaves

▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 :

비닐하우스의 지붕면을  $h_r$  간격 등분하였을 때, 가장 먼저 맞는 면은 -1.0, 두 번째 면은 -0.6

**B.2.3.7** Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roof of single span greenhouses without eaves shall be as given in Table B.13. Zones EE and FF are defined in Figure B.20. Local coefficients only apply to the covering, glazing bars and their connections.



**Key**  
1 90° wind

**Figure B.20 - Zones for the vaulted roof of single span greenhouses without eaves**

Table B.13 - Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roof of single span greenhouses without eaves

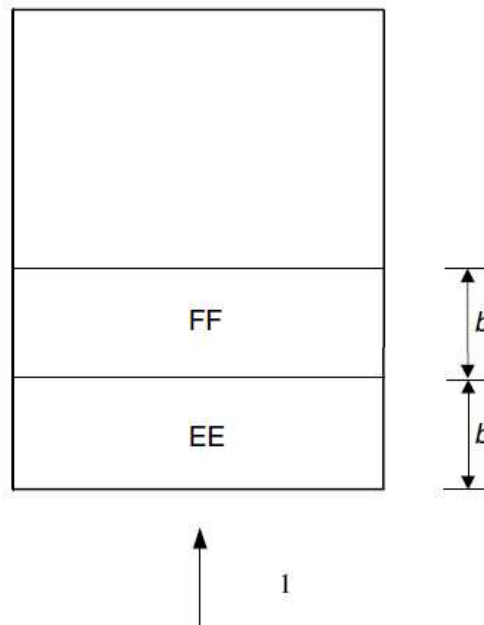
Wind direction	$\theta$	EE	FF
90°	All	-1,0	-0,6

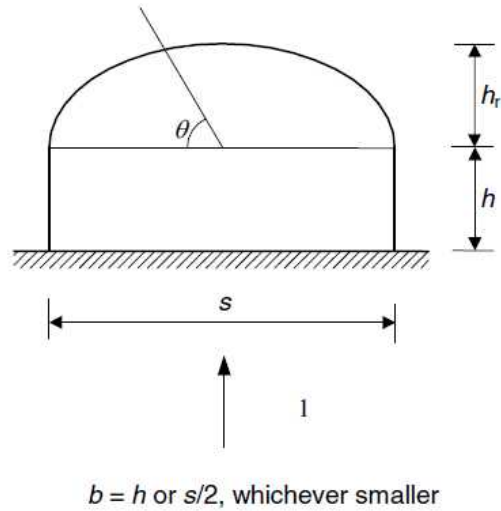
- with eaves

▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 :

비닐하우스의 지붕면을  $(h, s/2)_{\min}$  간격 등분하였을 때, 가장 먼저 맞는 면은 -1.2, 두 번째 면은 -0.5

**B.2.3.8** Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roof of single span greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0,2$  shall be as given in Table B.14. Zones EE and FF are defined in Figure B.21. Local coefficients only apply to the covering, glazing bars and their connections. Vaulted roofs of single span greenhouses with eaves and with  $h/s < 0,2$  shall be treated as greenhouses without eaves in accordance with B.2.3.7.





**Key**  
1 90° wind

Figure B.21 - Zones for vaulted roofs of single span greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0,2$

Table B.14 - Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roofs of single span greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0,2$

Wind direction	$\theta$	EE	FF
90°	All	-1,2	-0,5

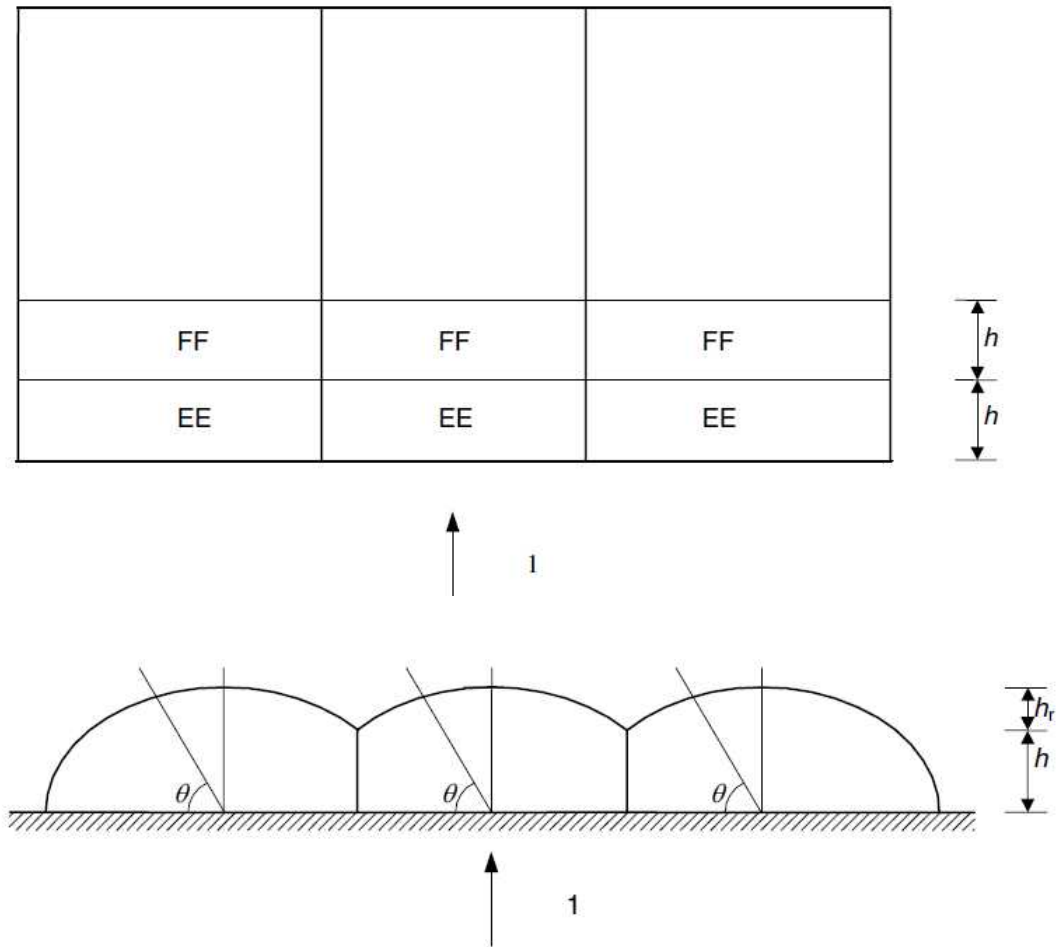
㉞ 연동형 비닐하우스

- without eaves

▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 :

비닐하우스의 지붕면을  $h_r$  간격 등분하였을 때, 가장 먼저 맞는 면은 -1.0, 두 번째 면은 -0.6

**B.2.3.10** Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roofs of multispan greenhouses without eaves shall be as given in Table B.15. Zones EE and FF are defined in Figure B.22. Local coefficients only apply to the covering, glazing bars and their connections.



**Key**  
1 90° wind

**Figure B.22 - Zones for the vaulted roof of multispan greenhouses without eaves**

**Table B.15 - Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roofs of multispan greenhouses without eaves**

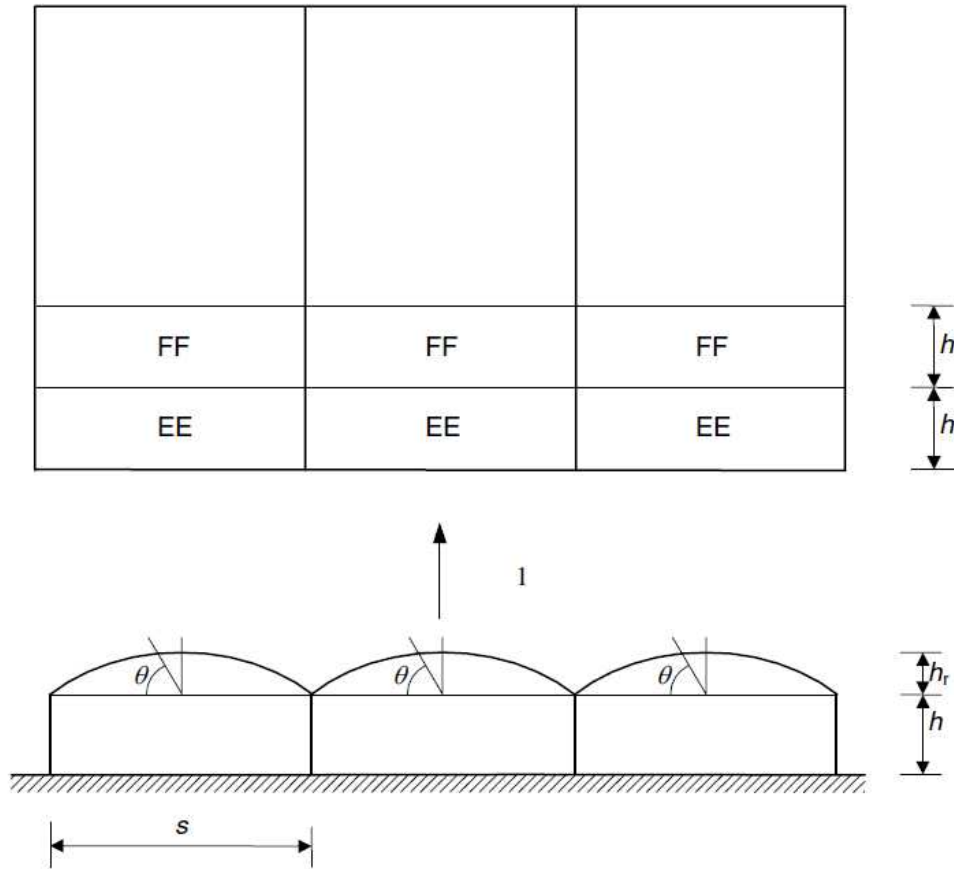
Wind direction	$\theta$	EE	FF
90°	All	-1,0	-0,6

- with eaves

▶ 바람이 비닐하우스의 정면에서 불어올 때 :

비닐하우스의 지붕면을  $h$  간격 등분하였을 때, 가장 먼저 맞는 면은 -1.3, 두 번째 면은 -0.6

**B.2.3.11** Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roofs of multispans greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0,2$  shall be as given in Table B.16. Zones EE and FF are defined in Figure B.23. Local coefficients only apply to the covering, glazing bars and their connections. Vaulted roofs of multispans greenhouses with eaves and with  $h/s < 0,2$  shall be treated as greenhouses without eaves in accordance with B.2.3.10.



**Key**  
1 90° wind

**Figure B.23 - Zones for the vaulted roof of multispans greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0,2$**

**Table B.16 - Local pressure coefficients  $c_{pe}$  for the vaulted roofs of multispans greenhouses with eaves and with  $h/s \geq 0,2$**

Wind direction	$\theta$	EE	FF
90°	All	-1,3	-0,6

③ 내압계수 ( $c_{pi}$ )

▶ 국내기준의 내압계수는 단순 -0.3인 것에 비해, 유럽기준에서는 투과/불투과면의 구분과 단동 및 연동 또한 분류해놓았으며, 내압계수 값 역시 정압과 부압 값이 모두 존재함.

B.2.3.13 Internal pressure coefficients  $c_{pi}$  for greenhouses with vaulted roofs shall be as given in Table B.17.

Table B.17 - Internal pressure coefficient  $c_{pi}$  for greenhouses with vaulted roofs

Wind direction	Single span		Multispan
	Impermeable sides <sup>a</sup>	Vented or permeable sides <sup>b</sup>	
0°	$c_{pi} = 0,2$ $c_{pi} = -0,4$	$c_{pi} = 0,2$ $c_{pi} = -0,2$ <sup>c</sup>	$c_{pi} = 0,2$ $c_{pi} = -0,3$
90°	$c_{pi} = 0,2$ $c_{pi} = -0,1$	$c_{pi} = 0,2$ $c_{pi} = 0,0$	$c_{pi} = 0,2$ $c_{pi} = -0,1$

<sup>a</sup> Greenhouses with closed vents and/or doors in end walls but impermeable side walls  
<sup>b</sup> Greenhouses with closed vents and/or doors in end walls and vented or permeable side walls  
<sup>c</sup> Where permanent ridge ventilation is present  $c_{pi} = -0,3$  should be used

- ▶ 풍 방향 면에 영구적인 개구부가 있을 경우의 내압계수는 0.6을 사용함.



## 2-2-2. 2차 년도

### 가. 국내 온실 설계용 하중 비교분석

온실 구조설계 기준(안)(2015)에 따르면 온실의 구조계산에 적용되는 설계하중은 고정하중, 설비하중, 작물하중, 풍하중 및 적설하중이며 이 중 풍하중 및 적설하중의 기준을 비교 하였다.

#### (1) 적설하중

##### (가) 설계기준별 하중조합 및 허용인장강도

국내 구조설계 기준을 비교하기 위하여 표 9에서와 같이 온실구조 설계기준 및 해석(1999) 과 온실 구조설계 기준(안)(2015), 건축구조기준(2016) 3가지의 국내기준으로 적설하중의 하중 조합 및 허용 인장강도를 비교분석 하였다.

[2-2] 표 9. 설계기준별 하중 조합 및 허용인장강도

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
설계법	허용응력 설계법(ASD)	허용응력 설계법(ASD)	한계상태 설계법(LRFD) 허용응력 설계법(ASD)
하중 조합	$D + DM + LV + S$ (단기하중)	$D + E + C + S$	LRFD : $1.2D + 1.3W + 1.0L + 0.5S$ $1.2D + 1.6S + 0.65W$ 또는 $1.2D + 1.3W + 1.0L + 0.5S$ ASD : $D + F + S$ (장단기하중 구분 X)
허용 인장 강도 ( $f_t$ )	$f_t = F_y / 1.5$ 에서 50%증가 따라서, $f_t = F_y$	$f_t = F_y / 1.5$	LRFD : $P_u \leq \phi_t P_n$ 인장저항계수 ( $\phi_t = 0.9$ ) ASD : $f_t = F_y / 1.5$
풍하중 비교	1.0 S	0.667 S	ASD: 0.667 S
1999 기준 대비 동일한 유효면적, 항복강도를 사용할 경우 견딜 수 있는 최대 적설하중			

##### (나) 설계적설하중

아래의 표 10.에서는 설계기준별 설계적설하중 산정기준을 보여준다.

[2-2] 표 10. 설계적설하중

구분	온실구조 설계기준 및 해석 1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
경사지붕 설계적설하중	0.25 kN/m <sup>2</sup> (난방 구조물 가정)	$S = C_s S_f$	$S = C_s S_f$
지상적설하중(S <sub>f</sub> )	-	$S_f = \rho Z_s C_e$ $= S_g C_e (N/m^2)$	$S_f = S_g C_e C_t I_s (N/m^2) \geq 0.5kN/m^2$
기본지상적설하중 (S <sub>g</sub> )	-	$S_g = 0.04 \sim 6.1 \text{ kN/m}^2$ (30년) $= 0.05 \sim 6.7 \text{ kN/m}^2$ (45년) $= 0.05 \sim 7.0 \text{ kN/m}^2$ (60년)	$S_g = 0.5 \sim 10.0 (kN/m^2)$ (100년 재현주기) 온실: $I_s = 0.8$ (25년 재현주기)
노출계수	-	$C_e = 1.0$	$C_e = 0.8$ (노출된 주변) ~ 1.2 (바람 영향 거의 없음)
온도계수	-	-	난방 구조물: $C_t = 1.0$ 비난방 구조물: $C_t = 1.2$
경사도계수	-	$C_s = 0 \sim 1.0$	$C_s = 0 \sim 1.0$

(2) 풍하중

(가) 설계기준별 하중조합 및 허용인장강도

아래의 표 11.은 풍하중의 설계기준별 하중 조합 및 허용인장강도를 보여준다. 아래의 풍하중 비교를 보면 1999년 기준 대비 동일한 유효면적, 항복강도를 사용할 경우 견딜 수 있는 최대 풍하중은 2015년 기준(안)에서 0.667배, 2016년 건축구조기준에서 허용응력 설계법일 때 0.784배, 한계상태 설계법일 때 0.69배 인 것을 확인 할 수 있다.

[2-2] 표 11. 설계기준별 하중조합 및 허용인장강도

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
설계법	허용응력 설계법(ASD)	허용응력 설계법(ASD)	한계상태 설계법(LRFD) 허용응력 설계법(ASD)
하중 조합	$D + DM + LV + W$ (단기하중)	$D + E + C + W$ 또는 $D + E + W$ 중 불리한 값 (장단기하중 구분 X)	LRFD : $1.2D + 1.3W + 1.0L + 0.5S$ 또는 $0.9D + 1.3W$ ASD : $D + F + 0.85W$ (장단기하중 구분 X)
허용 인장 강도 ( $f_t$ )	$f_t = F_y / 1.5$ 에서 50%증가 따라서, $f_t = F_y$	$f_t = F_y / 1.5$	LRFD : $P_u \leq \phi_t P_n$ 인장저항계수 ( $\phi_t = 0.9$ ) ASD : $f_t = F_y / 1.5$
풍하중 비교	1.0 W	0.667 W	LRFD: 0.69 W ASD: 0.784 W
1999 기준 대비 동일한 유효면적, 항복강도를 사용할 경우 견딜 수 있는 최대 풍하중			

(나) 기본풍속 및 설계풍속 산정

아래의 표 12.에서는 설계기준별 설계풍속 산정기준을 보여준다. 주요한 차이는 풍속기준을 지표면 10m에서 10분간 평균풍속을 사용하다가 2015년 기준안에서 3초간 최대순간풍속을 제안했었고 2016년 건축구조기준에서는 10분간 평균풍속으로 풍속기준을 잡은 것이다.

[2-2] 표 12. 기본풍속 및 설계풍속 산정

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준 (안)_2015	건축구조기준_2016				
풍속 기준	지표면 10m에서 <b>10분간 평균풍속</b>	지표면 10m에서 <b>3초간 최대순간풍속</b>	지표면 10m에서 <b>10분간 평균풍속</b>				
기본 풍속 ( $V_0$ )	재현기간 : 100년	재현기간 : 8 - 100년	재현기간 : 100년				
시설물 재현기간	온실 : 22년 (환산계수 0.87)	비닐하우스 단동: 30년 비닐하우스 연동 : 45년 온실 : 60년	농업시설물(중요도 3) : 약 34년 $hw = 0.9$				
설계 풍속 ( $V_h$ )	$V_h = 0.87 V_0 K_{zr} K_{zt}$	$V_h = V_0 (h/h_0)^\alpha K_{zt}$	$V_h = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w = 0.9 V_0 K_{zr} K_{zt}$				
*지표면 조도구분 ( $K_{zr}$ )	구분	A	B	C	D	없음 (대략 B에 해당) $(h/h_0)^\alpha = (h/10)^{0.25}$	온실_1999와 동일
	$\alpha$	0.33	0.22	0.15	0.10		
	$z_b$	20m	15m	10m	5m		
	$K_{zr}$	0.58	0.81	1.0	1.13		

(다) 설계속도압 및 풍하중 산정

표 13.에서는 설계기준별 설계속도압 및 풍하중 산정방식을 비교 하였다. 건축구조기준을 제외한 다른 기준에서는 설계풍압 산정 시 가스트영향계수를 상수화하여 고정된 수치로 제시했지만 건축구조기준에서는 형태에 따라 변동하여 산정하도록 하였다.

[2-2] 표 13. 설계속도압 및 풍하중 산정

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016	
설계 속도압 ( $q_h$ )	$q_h = \rho V_h^2 / 2$			
풍 하 중 * ( $W$ )	설계 풍압 ( $p$ )	벽면 : $p_f = q_h G (C_{pe1} - C_{pe2})$ 지붕면: $p_r = q_h G (C_{pe} - C_{pi})$	공통 : $p_f = q_h G_f (C_{pe} - C_{pi})$	벽면 : $p_f^* = q_h G_D (C_{pe1} - C_{pe2})$ 지붕면: $p_r^* = q_h (G_{pe} C_{pe} - G_{pi} C_{pi})$
	가스트 영향계수 ( $G$ )	$G = 1.4$ (고정)	$G_f = 1.0$ (고정)	$G_D, G_{pe}$ =형태에 따라 변동(2.0~2.6) $G_{pi} = 1.3$ (고정)
	외압 계수 ( $C_{pe}$ )	단동, 연동의 경사지붕, 아치지붕 제시	다양한 형태의 지붕에 따른 외압계수 제시	단동의 경사지붕, 아치지붕 제시
	내압 계수 ( $C_{pi}$ )	$C_{pi} = - 0.3$	$C_{pi} = - 0.2$	$C_{pi} = 0$ 또는 $- 0.4$ (불리한 값 사용)

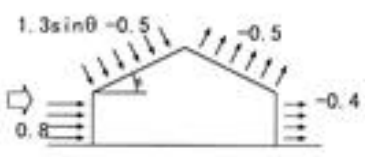

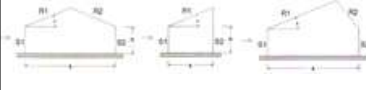

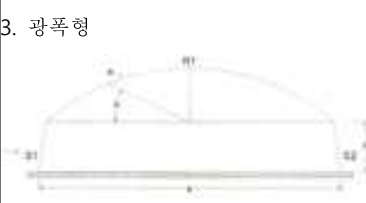
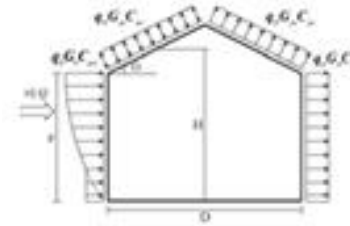
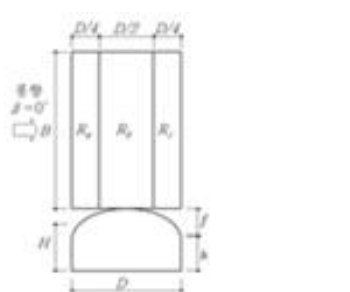
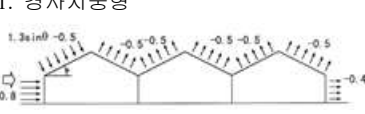
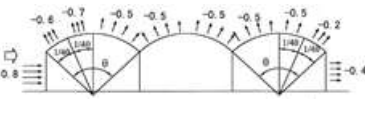
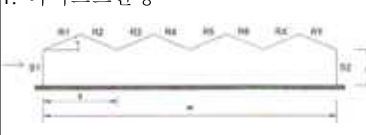

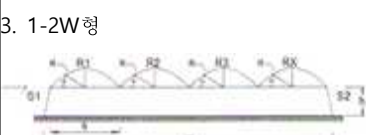
\* 단,  $500N/m^2$  보다 작아서는 안된다.

\* 풍하중(W) = 설계풍압 (p)×유효면적(A)

(라) 외압계수의 비교

아래의 표 14.은 설계기준별 외압계수 산정방식 비교를 하였다. 일반적인 구조물을 포괄하는 건축구조기준에서는 연동형의 외압계수 산정방법이 없다.

[2-2] 표 14. 외압계수의 비교

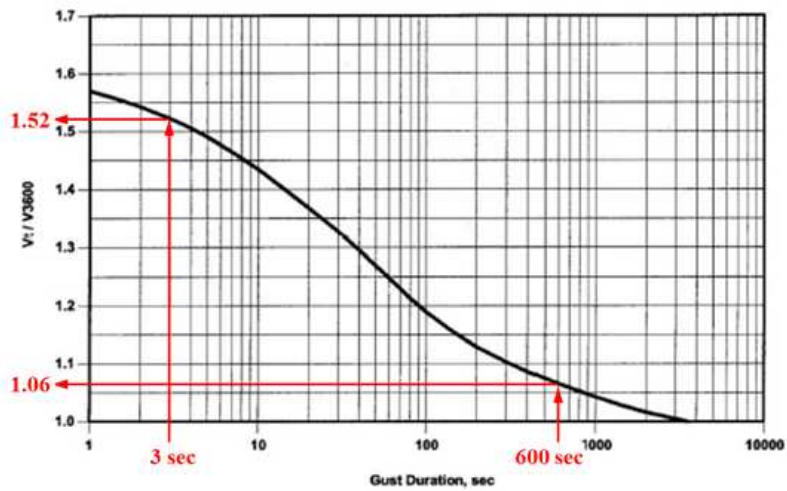
구분	온실구조 설계기준 _1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
외압계수 (단동)	<p>1. 경사지붕형</p>  <p>2. 아치형 및 타원형</p> 	<p>1. 양지붕/ 편지붕/ 쓰리쿼터형</p>  <p>2. 아치형/ 복숭아형</p>  <p>3. 광폭형</p> 	<p>1. 경사지붕형</p>  <p>2. 아치형</p> 
외압계수 (연동)	<p>1. 경사지붕형</p>  <p>2. 아치형</p> 	<p>1. 와이드스판형</p>  <p>2. 벤로형</p>  <p>3. 1-2W형</p> 	<p>&lt;없음 &gt;</p>

(마) 1999년 기준 대비 기준풍속 비교

표 15.에서 1999년 기준에 대비한 기준풍속을 보여준다. 측정풍속 기준을 3초 평균 풍속으로 하는 온실 구조 설계 기준(안)에서 1999년 기준 대비 기본풍속이 1.57배차이가 났고 같은 10분 평균 풍속을 기준으로 하는 건축구조기준에서는 1.03배의 차이가 났다. 시설물재현기간에서 건축구조기준에서 중요도를 3단계로 구분한 점에서 비교된다.

[2-2] 표 15. 1999년 기준 대비 기준풍속 비교

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준 (안)_2015	건축구조기준_2016
풍속 재현기간	100년	온실 : 60년 (환산계수 0.95)	100년
측정 풍속	10분 (600초)	3초 (1.52 / 1.06 = 1.434)	10분 (600초)
시설물 재현기간	22년 (환산계수 0.87)	60년 (환산계수 1.0)	약 34년 (환산계수 0.9) - 중요도( $I_w$ )3 구분
기본 풍속 ( $V_0$ )	<b>1.0 <math>V_0</math></b>	<b>1.57 <math>V_0</math></b>	<b>1.03 <math>V_0</math></b>

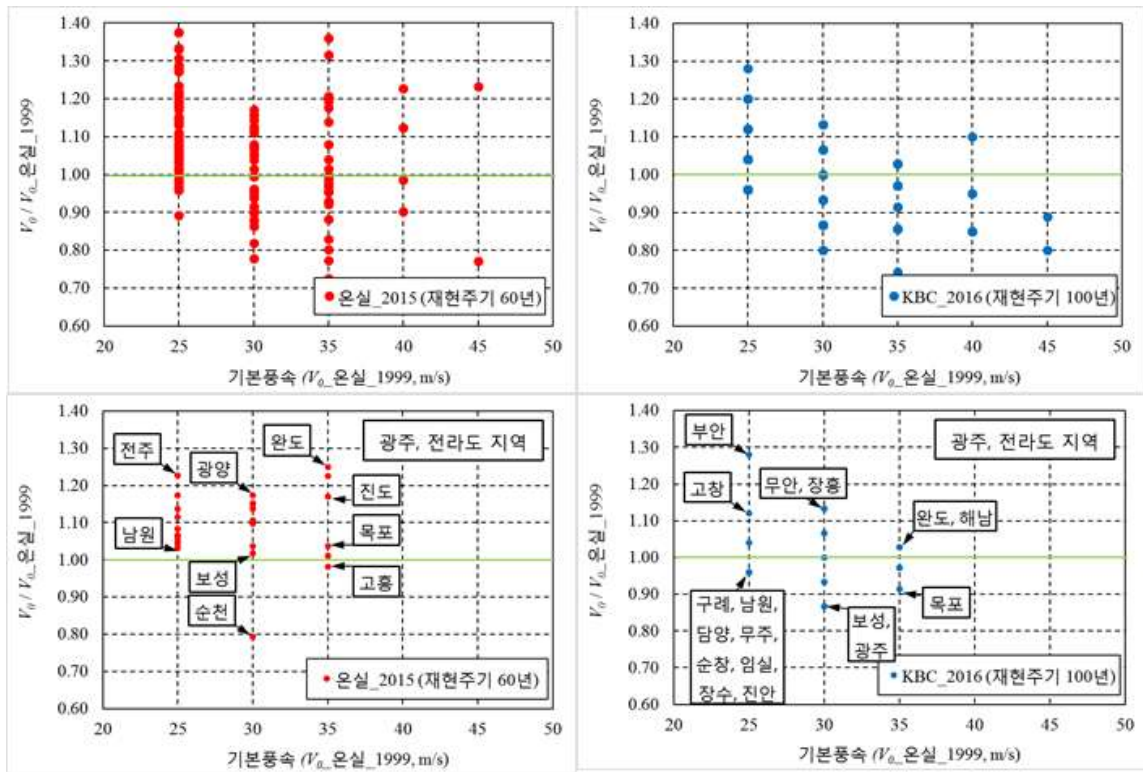


[2-2] 그림 11. Maximum Speed Averaged over t s to hourly mean Speed

(바) 지표면 조도구분에 따른 기준높이별 설계풍속 비교

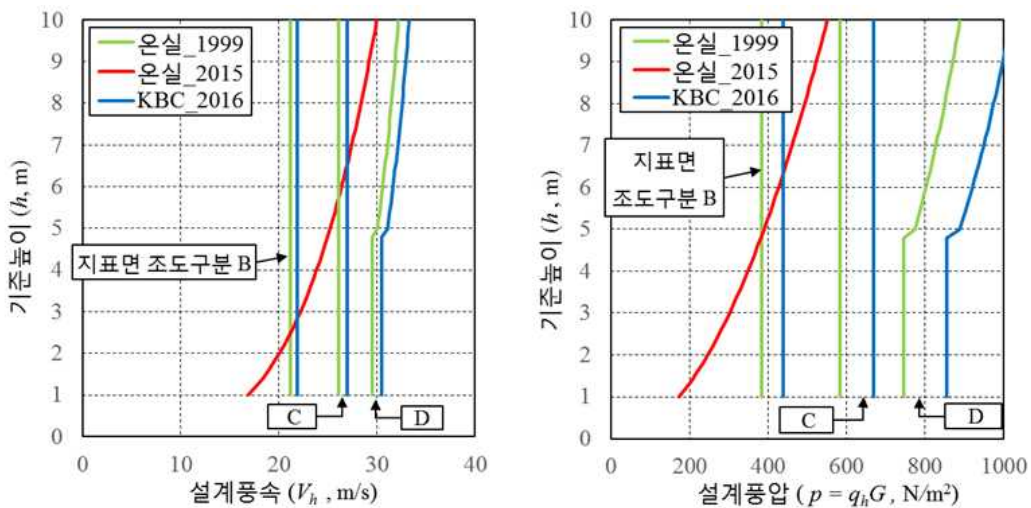
그림 11.에서 1999년 기준 대비 2015년 온실구조 기준(안)과 2016년 건축구조기준의 기준풍속을 비교하고 있다. 그래프에 보이는 것처럼 표 15.에서의 기본 풍속비에 따라 무조건 그 배

수만큼 큰 것이 아니라 지역 조건에 따라 풍속이 클 수도 작을 수도 있다는 것을 보여준다.



[2-2] 그림 12. 1999년 기준 대비 기준풍속 비교

아래의 그림 13.의 그래프를 보면 동일한 기준풍속( $V_0$ ) 30m/s를 대상으로 지표면 조도 구분에 따라 설계풍속( $V_h$ )과 외압, 내압계수를 제외한 설계풍압(p)을 나타낸다. 온실의 지붕 층 높이에 따라 온실구조설계기준(안)은 지표면 조도구분과는 무관하게 서로 다른 설계풍속과 설계풍압으로 나타났다.



[2-2] 그림 13. 지표면 조도 구분에 따른 기준 높이별 설계풍속 비교

(사) 설계풍압 산정 비교 예제

다음 항목에서는 4가지 사례들을 1999년 온실구조 설계기준 및 해석, 2015년 온실구조 기준 (안)과 2016년 건축구조기준의 설계풍압을 산정해 비교한다.

① Case 1 [단동비닐하우스 (07-단동-1형)]

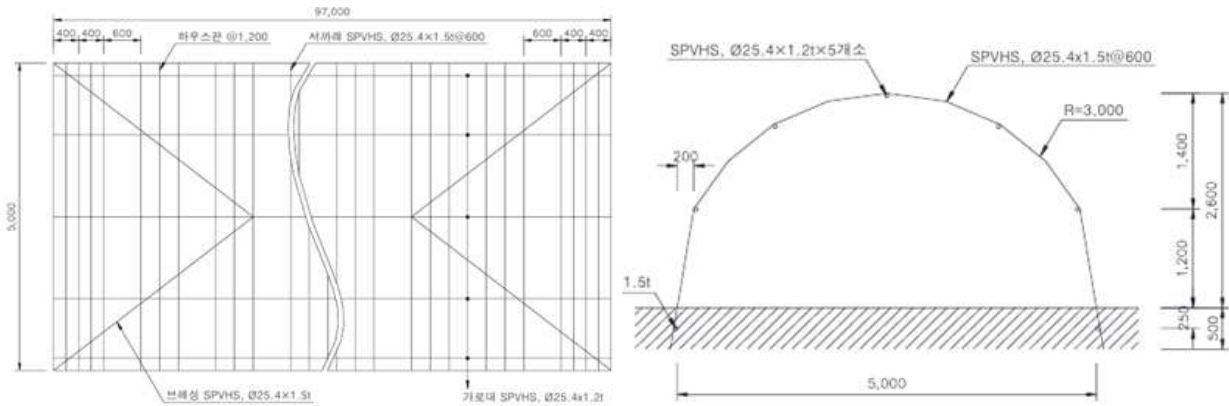
지역 : 전라도 목포, 지표면 조도구분 (C)

온실 폭 (B) : 97 m

온실 길이 (D) : 5 m

처마 높이 (h1) : 1.2 m

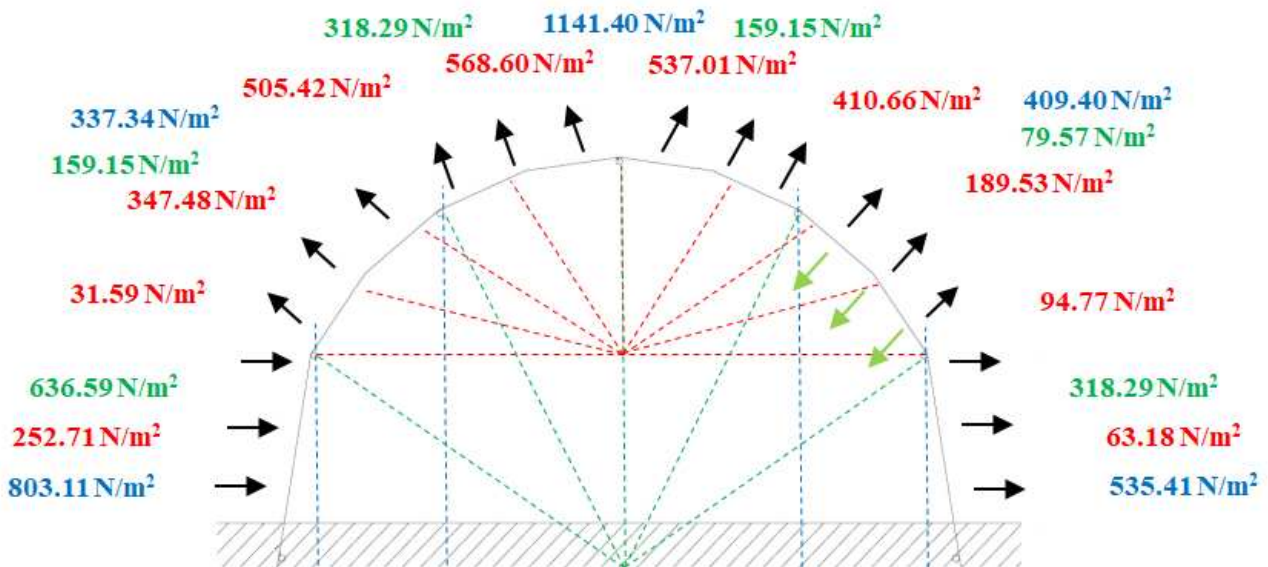
지붕 높이 (f) : 1.4 m



[2-2] 그림 14. 단동비닐하우스 (07-단동-1형)

[2-2] 표 16. 각 기준별 설계풍압 산정 과정

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
기준풍속	35 m/s	34.4 m/s	32 m/s
설계풍속	$V_h = 0.87 V_0 K_{zr} K_{zt}$ = $0.87 \times 35 \times 1.0 \times 1.0 = 30.45 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 (h / h_0)^{\alpha} K_{zr}$ = $34.4 \times (1.9/10)^{0.25} \times 1.0 = 22.71 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w$ = $32 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.9 = 28.8 \text{ m/s}$
설계 속도압	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.226 \times (30.45)^2 / 2$ = $568.38 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.225 \times (22.71)^2 / 2$ = $315.89 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.22 \times (28.8)^2 / 2$ = $505.96 \text{ N/m}^2$ ( $> 500 \text{ N/m}^2$ )
설계 풍압	$p_f = q_h G (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_r = q_h G (C_{pe} - C_{pi})$	$p_f = q_h G_f (C_{pe} - C_{pi})$	$p_f = q_h G_D (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_r = q_h (G_{pe} C_{pe} - G_{pi} C_{pi})$
	$G = 1.4$ (고정)	$G_f = 1.0$ (고정)	$G_D = 2.1164, G_{pe} = 1.6183$ $G_{pi} = 1.3$ (고정)
	$q_h G = 795.73 \text{ N/m}^2$	$q_h G_f = 315.89 \text{ N/m}^2$ (39.7%)	$q_h G_D = 1070.81 \text{ N/m}^2$ (134.6%)
	$C_{pe1} = 0.8, C_{pe2} = -0.4$ $C_{pe} = -0.5, -0.7, -0.5, -0.2$	$C_{pe} = 0.6, -0.4$ $C_{pe} = -0.4 \sim -2.0$	$C_{pe1} = 0.75, C_{pe2} = -0.5$ $C_{pe} = -0.412, -1.394, -0.5$
	$C_{pi} = -0.3$	$C_{pi} = -0.2$	$C_{pi} = 0$ 또는 $-0.4$



[2-2] 그림 15. 기준별 설계풍압



[2-2] 표 17. 기준별 설계풍압

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
설계풍압 (벽면)	636.59 N/m <sup>2</sup>	252.71 N/m <sup>2</sup>	803.11 N/m <sup>2</sup>
	- 318.29 N/m <sup>2</sup>	- 63.18 N/m <sup>2</sup>	- 535.41 N/m <sup>2</sup>
설계풍압 (지붕면)	- 159.15 N/m <sup>2</sup>	- 31.59 N/m <sup>2</sup> , - 347.48 N/m <sup>2</sup>	- 337.34 N/m <sup>2</sup>
	- 318.29 N/m <sup>2</sup>	- 505.42 N/m <sup>2</sup> , - 568.60 N/m <sup>2</sup>	- 1141.40 N/m <sup>2</sup>
	- 159.15 N/m <sup>2</sup>	- 537.01 N/m <sup>2</sup> , - 410.66 N/m <sup>2</sup>	
	79.57 N/m <sup>2</sup>	- 189.53 N/m <sup>2</sup> , - 94.77 N/m <sup>2</sup>	- 409.40 N/m <sup>2</sup>

② Case 2 [연동비닐하우스 (12-연동-1형)]

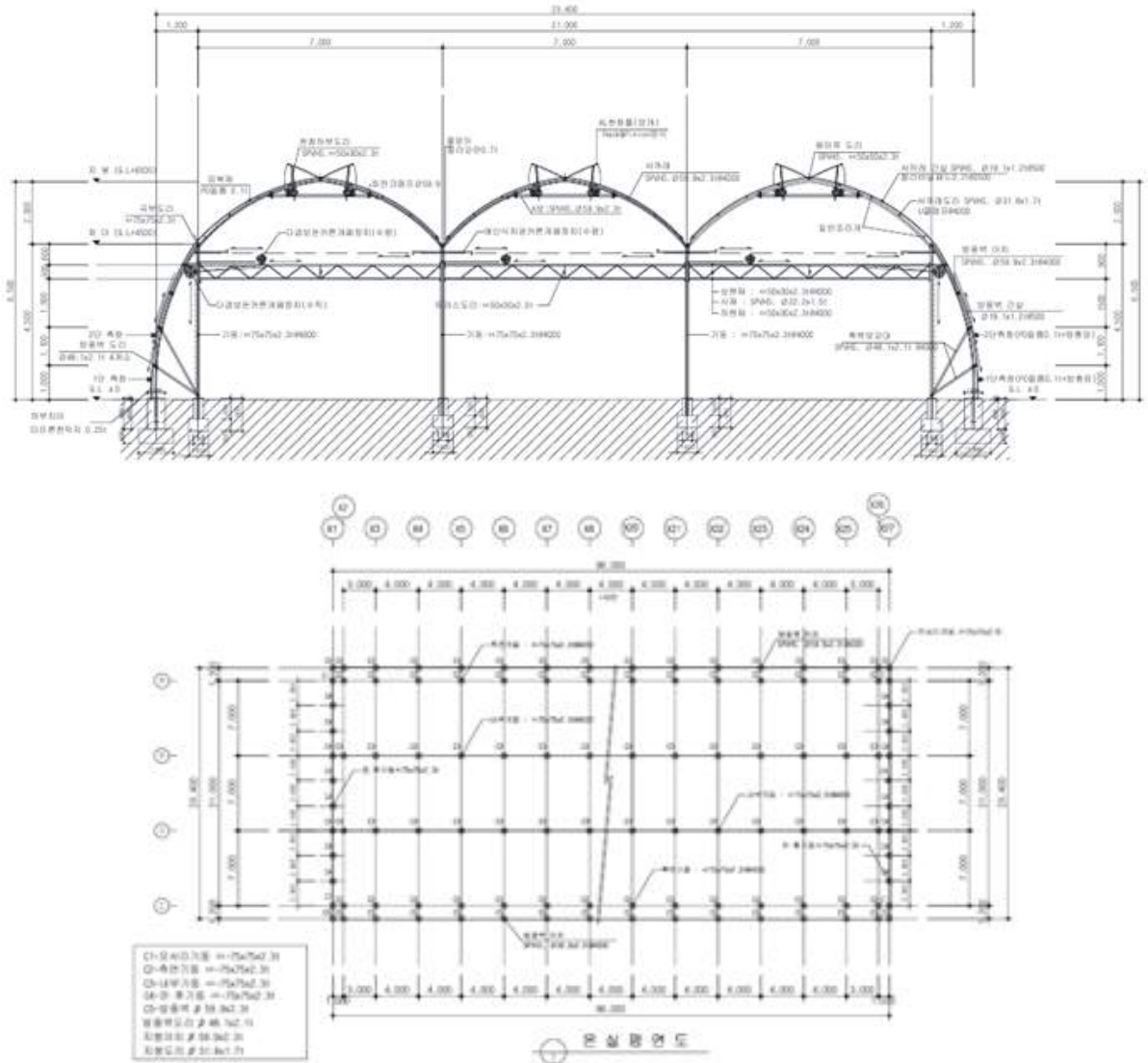
지역 : 전라도 목포, 지표면 조도구분 (C)

온실 폭 (B) : 96 m

온실 길이 (D) : 23.4 m

처마 높이 (h1) : 4.5 m

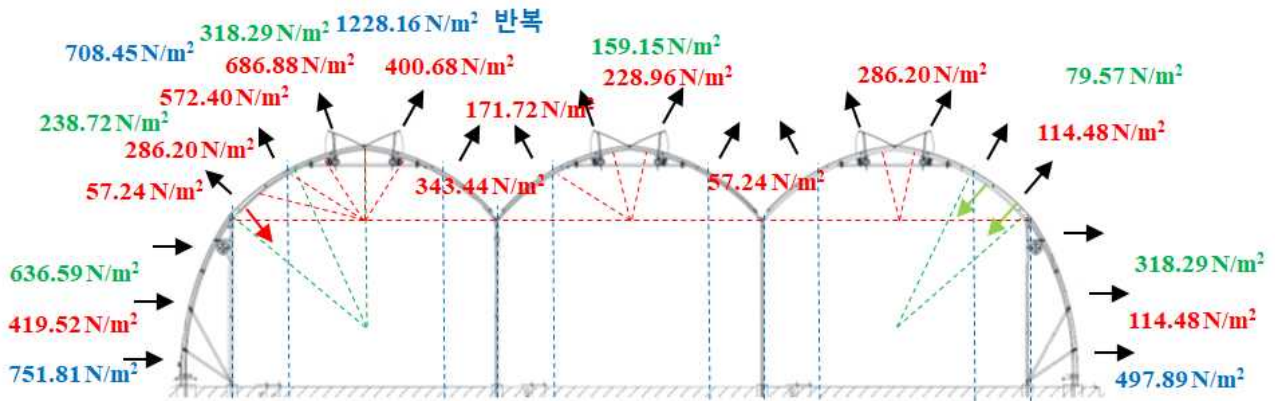
지붕 높이 (f) : 2.0 m



[2-2] 그림 16. 연동비닐하우스 (12-연동-1형)

[2-2] 표 18. 기준별 설계풍압 산정 과정

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
기준풍속	35 m/s	35.5 m/s	32 m/s
설계풍속	$V_h = 0.87 V_0 K_{zr} K_{zt}$ = $0.87 \times 35 \times 1.0 \times 1.0 = 30.45 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 (h / h_0)^\alpha K_{zt}$ = $35.5 \times (5.5/10)^{0.25} \times 1.0 = 30.57 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w$ = $32 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.9 = 28.8 \text{ m/s}$
설계 속도압	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.226 \times (30.45)^2 / 2$ = $568.38 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.225 \times (30.57)^2 / 2$ = $572.40 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.22 \times (28.8)^2 / 2$ = $505.96 \text{ N/m}^2$ (> 500 N/m <sup>2</sup> )
설계 풍압	$p_f = q_h G (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_r = q_h G (C_{pe} - C_{pi})$	$p_f = q_h G_f (C_{pe} - C_{pi})$	$p_F = q_h G_D (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_R = q_h (G_{pe} C_{pe} - G_{pi} C_{pi})$
	$G = 1.4$ (고정)	$G_f = 1.0$ (고정)	$G_D = 1.9681, G_{pe} = 1.6729$ $G_{pi} = 1.3$ (고정)
	$q_h G = 795.73 \text{ N/m}^2$	$q_h G_f = 572.40 \text{ N/m}^2 (71.9\%)$	$q_h G_D = 995.78 \text{ N/m}^2 (125.1\%)$
	$C_{pe1} = 0.8, C_{pe2} = -0.4$ $C_{pe} = -0.6, -0.7, -0.5, -0.2$	$C_{pe} = 0.6, -0.4$ $C_{pe} = -0.1 \sim -1.4$	$C_{pe1} = 0.755, C_{pe2} = -0.5$ $C_{pe} = -0.873, -1.451, -0.5$
	$C_{pi} = -0.3$	$C_{pi} = -0.2$	$C_{pi} = 0$ 또는 $-0.4$



[2-2] 그림 17. 기준별 설계풍압

[2-2] 표 19. 기준별 설계풍압

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
설계풍압 (벽면)	636.59 N/m <sup>2</sup>	457.92 N/m <sup>2</sup>	751.81 N/m <sup>2</sup>
	- 318.29 N/m <sup>2</sup>	- 114.48 N/m <sup>2</sup>	- 497.89 N/m <sup>2</sup>
설계풍압 (지붕면)	- 238.72 N/m <sup>2</sup>	57.24 N/m <sup>2</sup> , - 286.20 N/m <sup>2</sup>	- 708.45 N/m <sup>2</sup>
	- 318.29 N/m <sup>2</sup>	- 572.40 N/m <sup>2</sup> , - 686.88 N/m <sup>2</sup>	- 1228.16 N/m <sup>2</sup>
	- 159.15 N/m <sup>2</sup>	- 400.68 N/m <sup>2</sup> , - 343.44 N/m <sup>2</sup> - 171.72 N/m <sup>2</sup> , - 228.96 N/m <sup>2</sup> - 57.24 N/m <sup>2</sup> , - 286.20 N/m <sup>2</sup>	- 409.40 N/m <sup>2</sup> , - 708.45 N/m <sup>2</sup> - 1228.16 N/m <sup>2</sup> , - 409.40 N/m <sup>2</sup> - 708.45 N/m <sup>2</sup> , - 1228.16 N/m <sup>2</sup>
	79.57 N/m <sup>2</sup>	- 114.48 N/m <sup>2</sup>	- 409.40 N/m <sup>2</sup>

③ Case 3 [한국형 유리온실 (벤로형-농진 · 97-나-Ⅱ)]

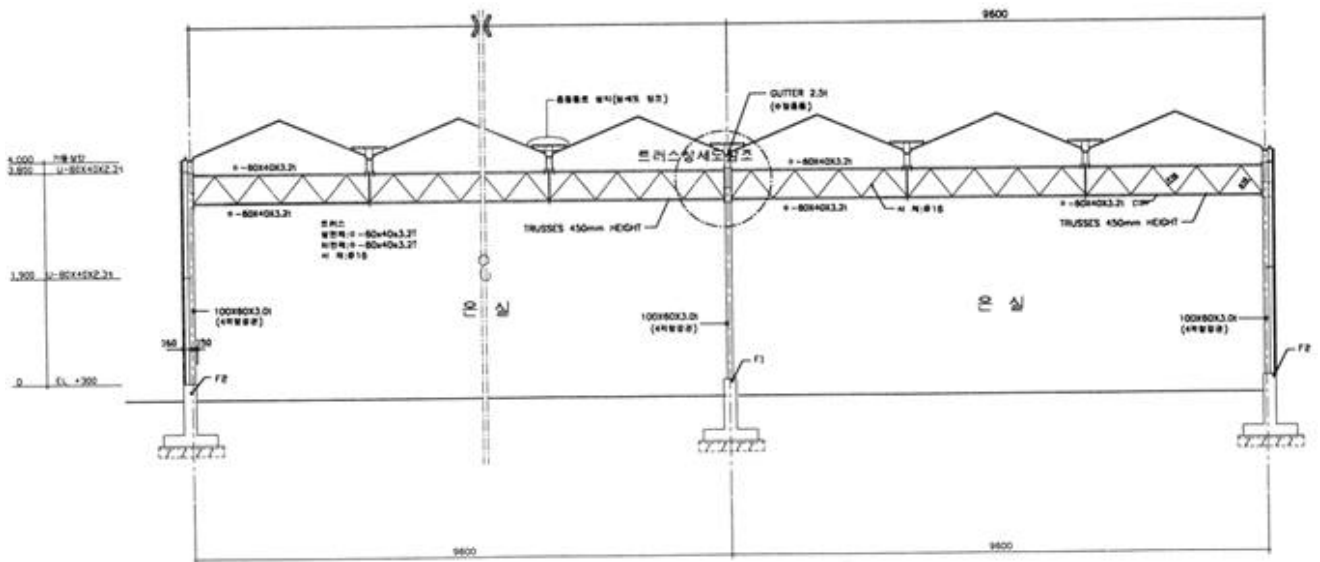
지역 : 전라도 목포, 지표면 조도구분 (C)

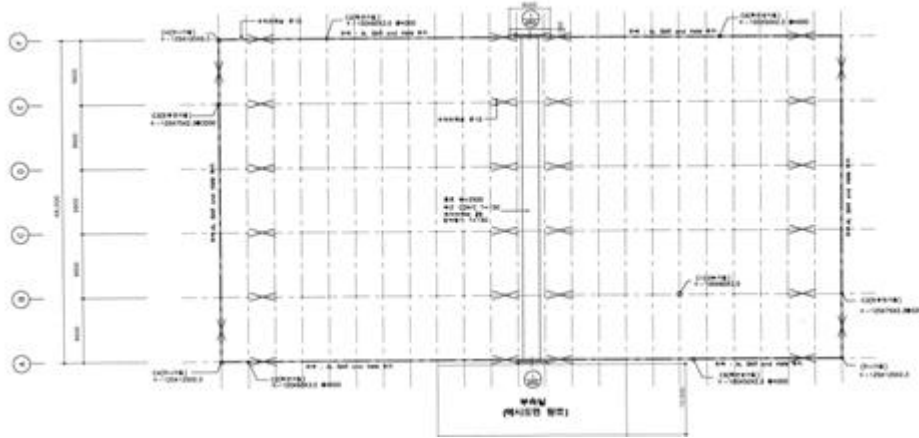
온실 폭 (B) : 92.065 m

온실 길이 (D) : 48 m

처마 높이 (h1) : 4.3 m

지붕 높이 (f) : 0.78 m

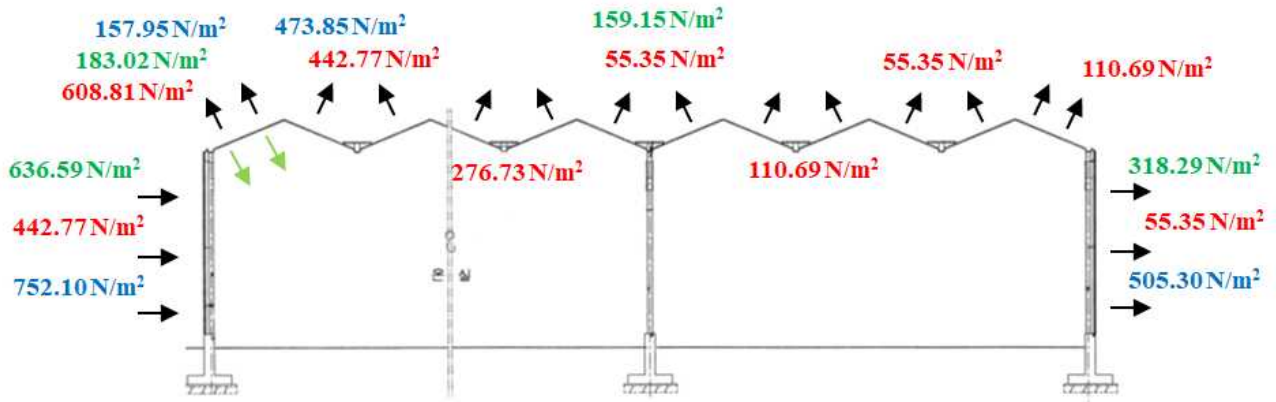




[2-2] 그림 18. 한국형 유리온실 (벤로형-농진 · 97-나-II)

[2-2] 표 20. 기준별 설계풍압 산정

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
기준풍속	35 m/s	36.3 m/s	32 m/s
설계풍속	$V_h = 0.87 V_0 K_{zr} K_{zt}$ = $0.87 \times 35 \times 1.0 \times 1.0 = 30.45 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 (h / h_0)^{\alpha} K_{zt}$ = $36.3 \times (4.7/10)^{0.25} \times 1.0 = 30.06 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w$ = $32 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.9 = 28.8 \text{ m/s}$
설계 속도압	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.226 \times (30.45)^2 / 2$ = $568.38 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.225 \times (30.06)^2 / 2$ = $553.46 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.22 \times (28.8)^2 / 2$ = $505.96 \text{ N/m}^2 (> 500 \text{ N/m}^2)$
설계 풍압	$p_f = q_h G (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_r = q_h G (C_{pe} - C_{pi})$	$p_f = q_h G_f (C_{pe} - C_{pi})$	$p_f = q_h G_D (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_R = q_h (G_{pe} C_{pe} - G_{pi} C_{pi})$
	$G = 1.4$ (고정)	$G_f = 1.0$ (고정)	$G_D = 1.9974, G_{pe} = 1.5609$ $G_{pi} = 1.3$ (고정)
	$q_h G = 795.73 \text{ N/m}^2$	$q_h G_f = 553.46 \text{ N/m}^2 (69.6\%)$	$q_h G_D = 1010.60 \text{ N/m}^2 (127.0\%)$
	$C_{pe1} = 0.8, C_{pe2} = -0.4$ $C_{pe} = -0.07, -0.5$	$C_{pe} = 0.6, -0.3$ $C_{pe} = -0.2 \sim -1.3$	$C_{pe1} = 0.764, C_{pe2} = -0.5$ $C_{pe} = -0.2 \text{ or } 0.3, -0.6$
	$C_{pi} = -0.3$	$C_{pi} = -0.2$	$C_{pi} = 0 \text{ 또는 } -0.4$



[2-2] 그림 19. 기준별 설계풍압

[2-2] 표 21. 기준별 설계풍압

구분	온실구조 설계기준 및 해석 1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
설계풍압 (벽면)	636.59 N/m <sup>2</sup>	442.77 N/m <sup>2</sup>	772.10 N/m <sup>2</sup>
	- 318.29 N/m <sup>2</sup>	- 55.35 N/m <sup>2</sup>	- 505.30 N/m <sup>2</sup>
설계풍압 (지붕면)	183.02 N/m <sup>2</sup>	- 608.81 N/m <sup>2</sup>	- 157.95 N/m <sup>2</sup>
		- 442.77 N/m <sup>2</sup>	- 473.85 N/m <sup>2</sup>
	- 159.15 N/m <sup>2</sup>	- 276.73 N/m <sup>2</sup>	반복
		- 55.35 N/m <sup>2</sup>	
		- 110.69 N/m <sup>2</sup>	

④ Case 4 [한국형 유리온실 (와이드 스판형-농진 · 97-가-1)]

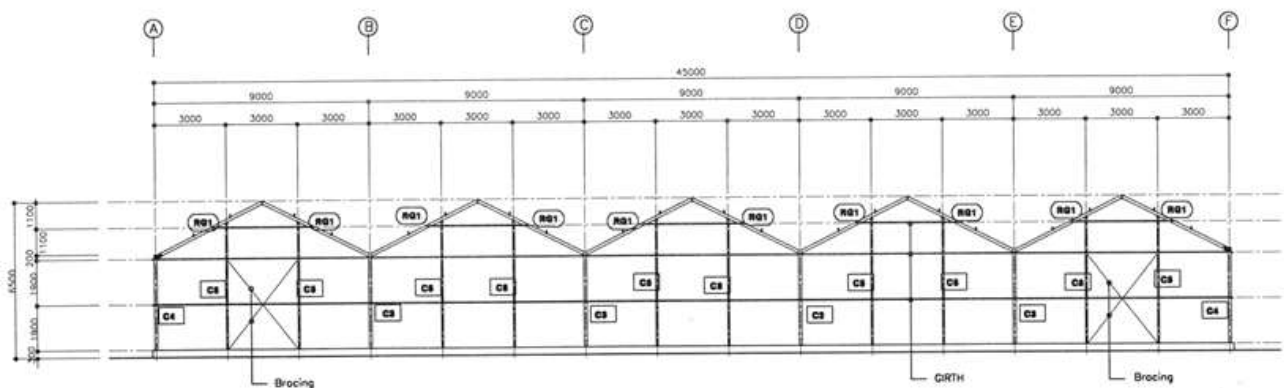
지역 : 전라도 목포, 지표면 조도구분 (C)

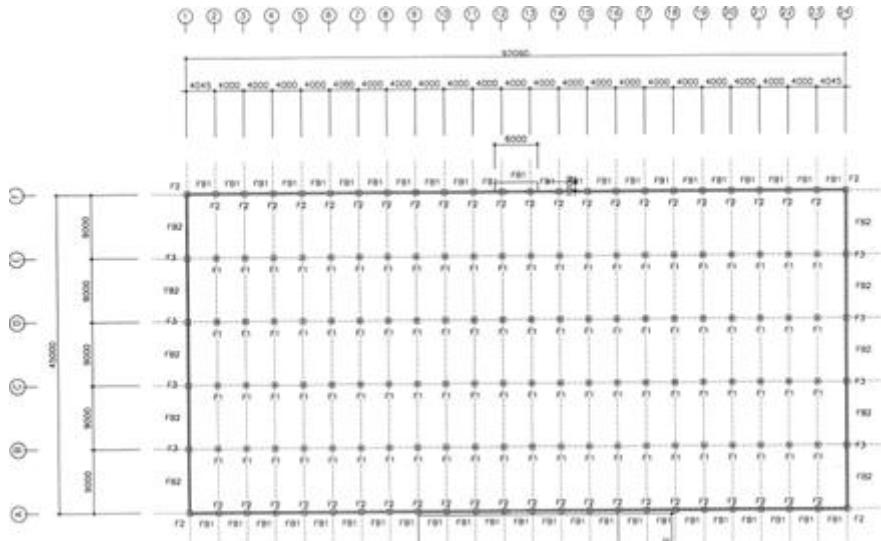
온실 폭 (B) : 92.090 m

온실 길이 (D) : 45 m

처마 높이 (h1) : 4.3 m

지붕 높이 (f) : 2.2 m

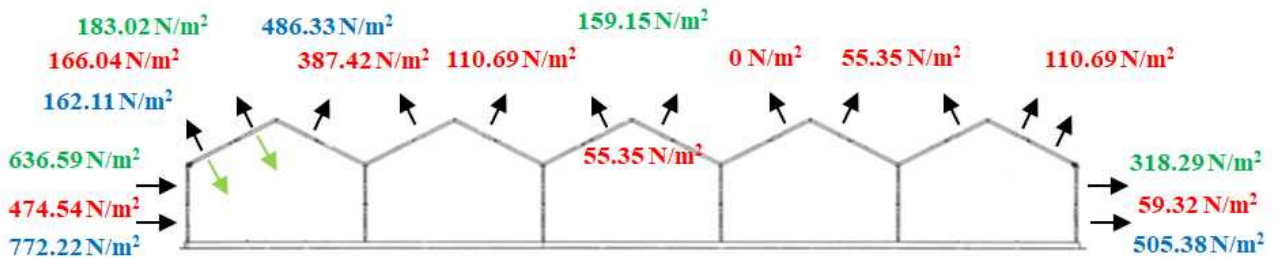




[2-2] 그림 20. 한국형 유리온실 (와이드 스팬형-농진 · 97-가-1)

[2-2] 표 22. 기준별 설계풍압 산정

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
기준풍속	35 m/s	36.3 m/s	32 m/s
설계풍속	$V_h = 0.87 V_0 K_{zr} K_{zt}$ = $0.87 \times 35 \times 1.0 \times 1.0 = 30.45 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 (h / h_0)^{\alpha} K_{zr}$ = $36.3 \times (5.4/10)^{0.25} \times 1.0 = 31.12 \text{ m/s}$	$V_h = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w$ = $32 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.9 = 28.8 \text{ m/s}$
설계 속도압	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.226 \times (30.45)^2 / 2$ = $568.38 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.225 \times (31.12)^2 / 2$ = $593.18 \text{ N/m}^2$	$q_h = \rho V_h^2 / 2 = 1.22 \times (28.8)^2 / 2$ = $505.96 \text{ N/m}^2 (> 500 \text{ N/m}^2)$
설계 풍압	$p_f = q_h G (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_r = q_h G (C_{pe} - C_{pi})$	$p_f = q_h G_f (C_{pe} - C_{pi})$	$p_f = q_h G_D (C_{pe1} - C_{pe2})$ $p_R = q_h (G_{pe} C_{pe} - G_{pi} C_{pi})$
	$G = 1.4$ (고정)	$G_f = 1.0$ (고정)	$G_D = 1.9977, G_{pe} = 1.6020$ $G_{pi} = 1.3$ (고정)
	$q_h G = 795.73 \text{ N/m}^2$	$q_h G_f = 553.46 \text{ N/m}^2 (69.6\%)$	$q_h G_D = 1010.60 \text{ N/m}^2 (127.0\%)$
	$C_{pe1} = 0.8, C_{pe2} = -0.4$ $C_{pe} = -0.07, -0.5$	$C_{pe} = 0.6, -0.3$ $C_{pe} = -0.2 \sim -1.0$	$C_{pe1} = 0.763, C_{pe2} = -0.5$ $C_{pe} = -0.2 \text{ or } 0.3, -0.6$
	$C_{pi} = -0.3$	$C_{pi} = -0.2$	$C_{pi} = 0 \text{ 또는 } -0.4$



[2-2] 그림 21. 기준별 설계풍압

[2-2] 표 23. 기준별 설계풍압

구분	온실구조 설계기준 및 해석_1999	온실 구조설계 기준(안)_2015	건축구조기준_2016
설계풍압 (벽면)	636.59 N/m <sup>2</sup>	474.54 N/m <sup>2</sup>	772.22 N/m <sup>2</sup>
	- 318.29 N/m <sup>2</sup>	- 59.32 N/m <sup>2</sup>	- 505.38 N/m <sup>2</sup>
설계풍압 (지붕면)	183.02 N/m <sup>2</sup>	- 166.04 N/m <sup>2</sup>	- 162.11 N/m <sup>2</sup>
	- 159.15 N/m <sup>2</sup>	- 387.42 N/m <sup>2</sup>	- 486.33 N/m <sup>2</sup>
		- 110.69 N/m <sup>2</sup>	반복
		- 55.35 N/m <sup>2</sup>	
0 N/m <sup>2</sup>			
	- 55.35 N/m <sup>2</sup>		
	- 110.69 N/m <sup>2</sup>		

나. 과제활용 담당관 업무협의

(1) 과제 진행 문제점 검토

(가) 설계기준관련 문제점 현황

- ① RFP에서 규정한 온실구조설계프로그램에 반영해야하는 설계기준은 건축구조설계기준 (국토부, 2009)와 온실설계구조기준(농림부, 1999)이었음.
- ② 과제가 진행되는 도중 건축구조설계기준은 개정되었으며, 특히 적설하중이 마우나리조트사건이 폭설에 의한 사고였음을 반영하여 대폭 상향되었음
- ③ 또한 온실설계구조기준(농림부, 1999)는 규제개혁완화의 일환으로 고시에서 폐기되었음을 확인함
- ④ 따라서, RFP에서 규정한 설계기준은 전혀 반영할 수 없는 상황임
- ⑤ 다만, 농진청에서 2012년~2015년에 진행한 연구과제에서 새로운 온실설계기준(안)이 2015년에 발간되었음

(나) 설계기준 별 적설하중/풍하중 비교

- ① 건축구조설계기준(2016), 온실설계기준 (1999), 온실설계기준(안) (2015)에서 규정한 적설하중과 풍하중을 반영하여 가장 일반적으로 사용되는 온실 4가지에 대해 설계하중을 산정하여 비교하였음
- ② 건축구조설계기준(2016)에서 규정한 적설하중과 풍하중은 온실에 적용하기에는 매우 커서 현실적이지 못함

③ 온실설계기준(1999)과 온실설계기준(안) (2015)는 상당히 유사한 하중을 산정하는 부분과 상당히 상이한 하중을 산정하는 부분이 혼재함

## (2) 2차년도 및 3차년도 연구과제 진행방향 결정

(가) 건축구조설계기준(2016)은 국내 온실 환경에 적합하지 못하다는 결론을 도출하여 추후 과제에서 반영하지 않기로 결정

(나) 온실설계구조기준(1999)는 국내 완공된 온실에 적용된 하중과 유사한 결과를 나타내며, 본 과제에 적용할 기준으로 결정

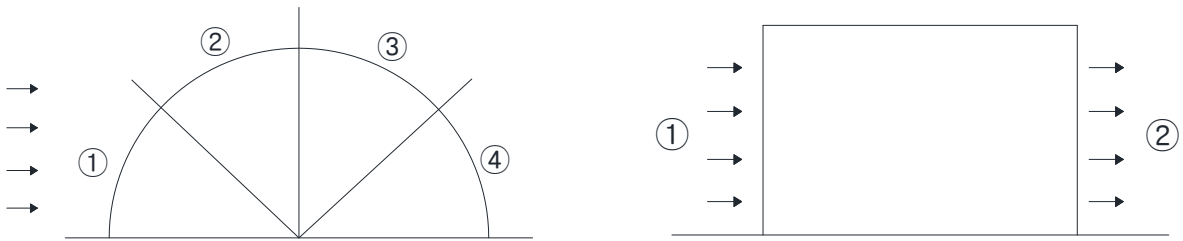
(다) 온실설계기준(안) (2015)는 3년간의 연구결과를 바탕으로 국내에 적합한 온실설계하중을 산정하도록 하였기에 추후 과제에서 적용하기로 결정. 다만 아직 미비한 부분이 있기 때문에 농진청과 농림축산식품부에서 본 기준이 정부고시로 결정되기 전에 충분한 보완작업을 진행하기로 함.



### 2-2-3. 3차 년도

#### 가. 표준도면 마이더스 구조해석

##### (1) 풍하중 입력



##### (가) 단동형일 경우

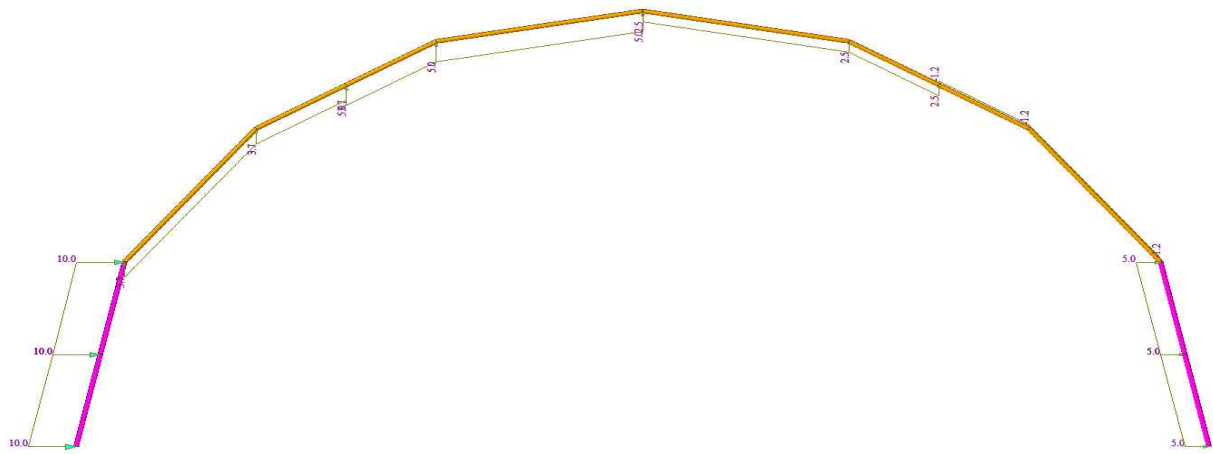
(kgf/m<sup>2</sup>)

V <sub>o</sub>	K <sub>zr</sub>	K <sub>zt</sub>	V <sub>h</sub>	q <sub>h</sub>	G	온실지붕하중				벽면	
						①	②	③	④	①	②
25	1	1	21.75	29.6	1.4	-12.4	-16.6	-8.3	4.1	-33.2	-16.6
30	1	1	26.1	42.6	1.4	-17.9	-23.9	-11.9	6	-47.7	-23.9
35	1	1	30.45	58	1.4	-24.4	-32.5	-16.2	8.1	-65	-32.5
40	1	1	34.8	75.7	1.4	-31.8	-42.4	-21.2	10.6	-84.8	-42.4
45	1	1	39.15	95.8	1.4	-40.2	-53.6	-26.8	13.4	-107.3	-53.6

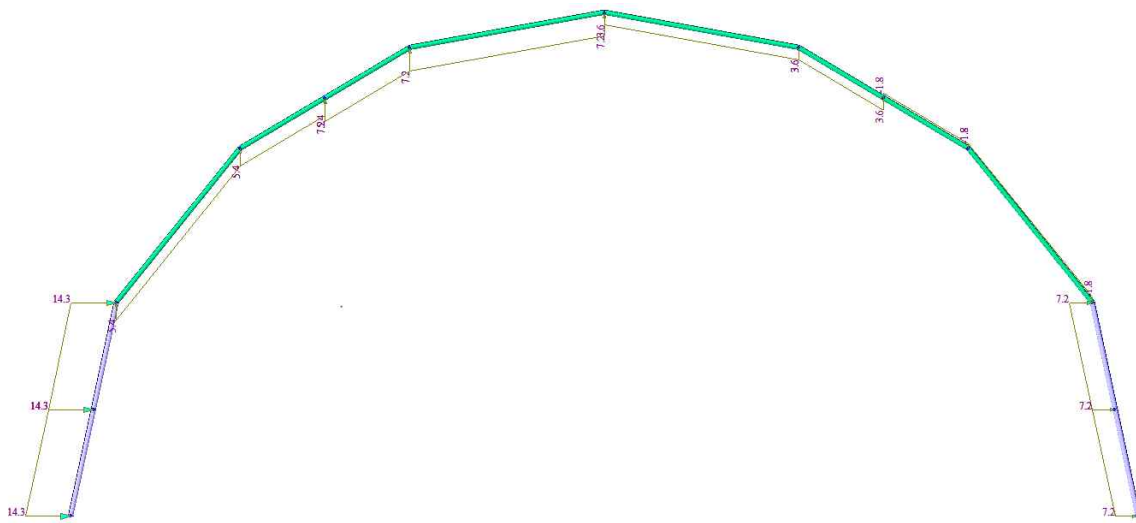
##### (나) 연동형일 경우

(kgf/m<sup>2</sup>)

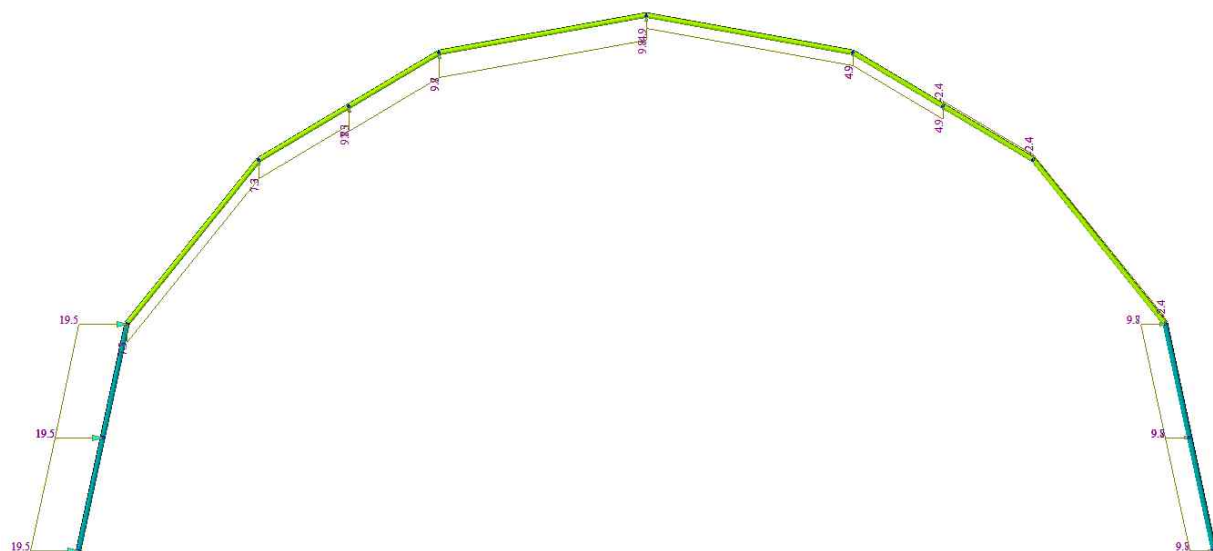
V <sub>o</sub>	K <sub>zr</sub>	K <sub>zt</sub>	V <sub>h</sub>	q <sub>h</sub>	G	온실지붕하중				벽면	
						①	②	③	④	①	②
25	1	1	21.75	29.6	1.4	-12.4	-16.6	-8.3	4.1	-33.2	-16.6
30	1	1	26.1	42.6	1.4	-17.9	-23.9	-11.9	6	-47.7	-23.9
35	1	1	30.45	58	1.4	-24.4	-32.5	-16.2	8.1	-65	-32.5
40	1	1	34.8	75.7	1.4	-31.8	-42.4	-21.2	10.6	-84.8	-42.4
45	1	1	39.15	95.8	1.4	-40.2	-53.6	-26.8	13.4	-107.3	-53.6



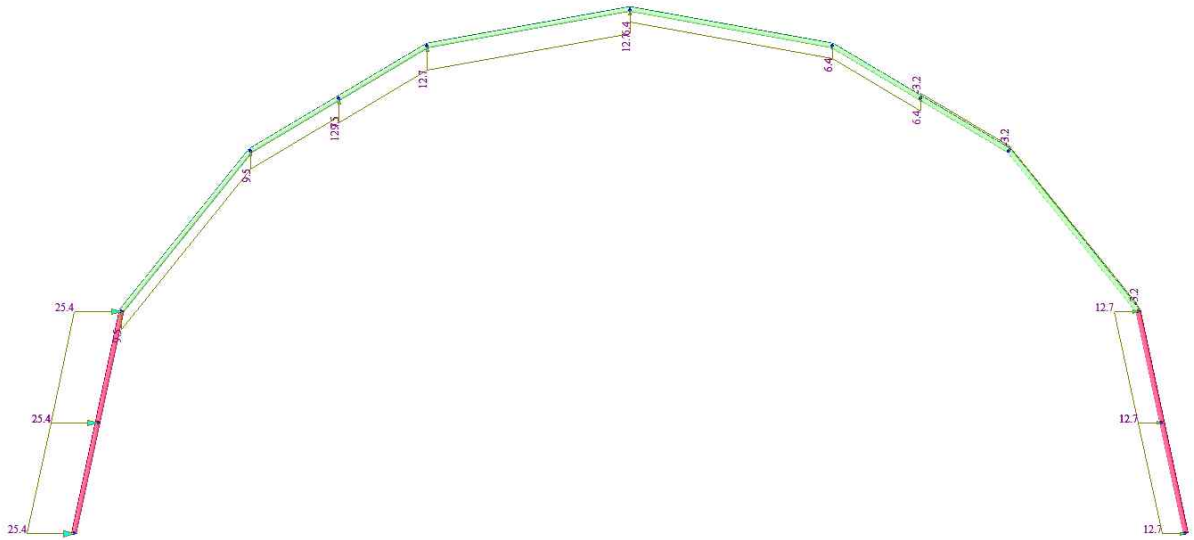
(a) 25 m/s



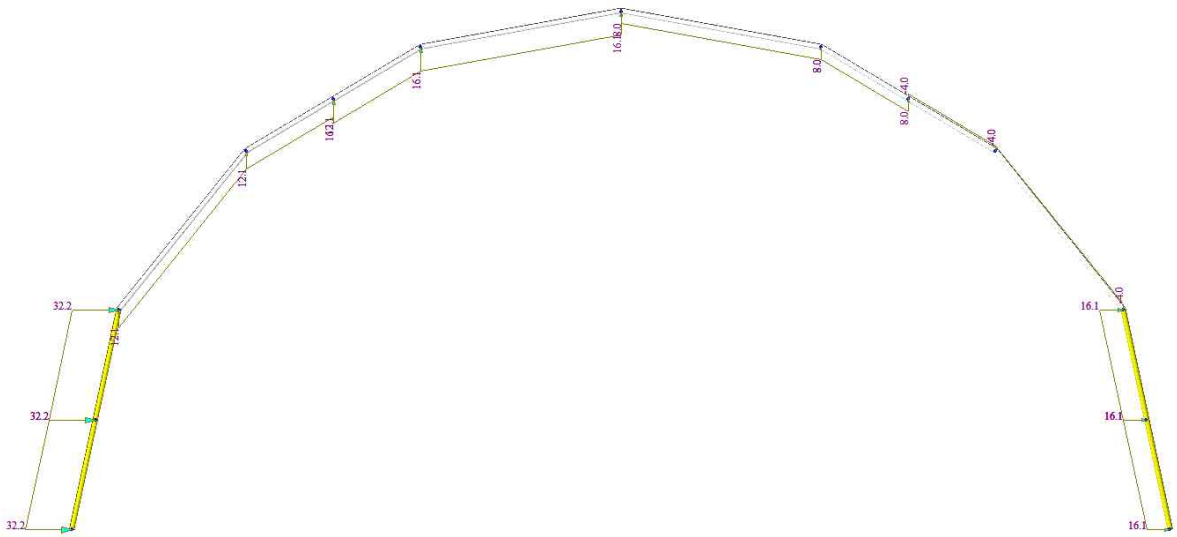
(b) 30 m/s



(c) 35 m/s



(d) 40 m/s

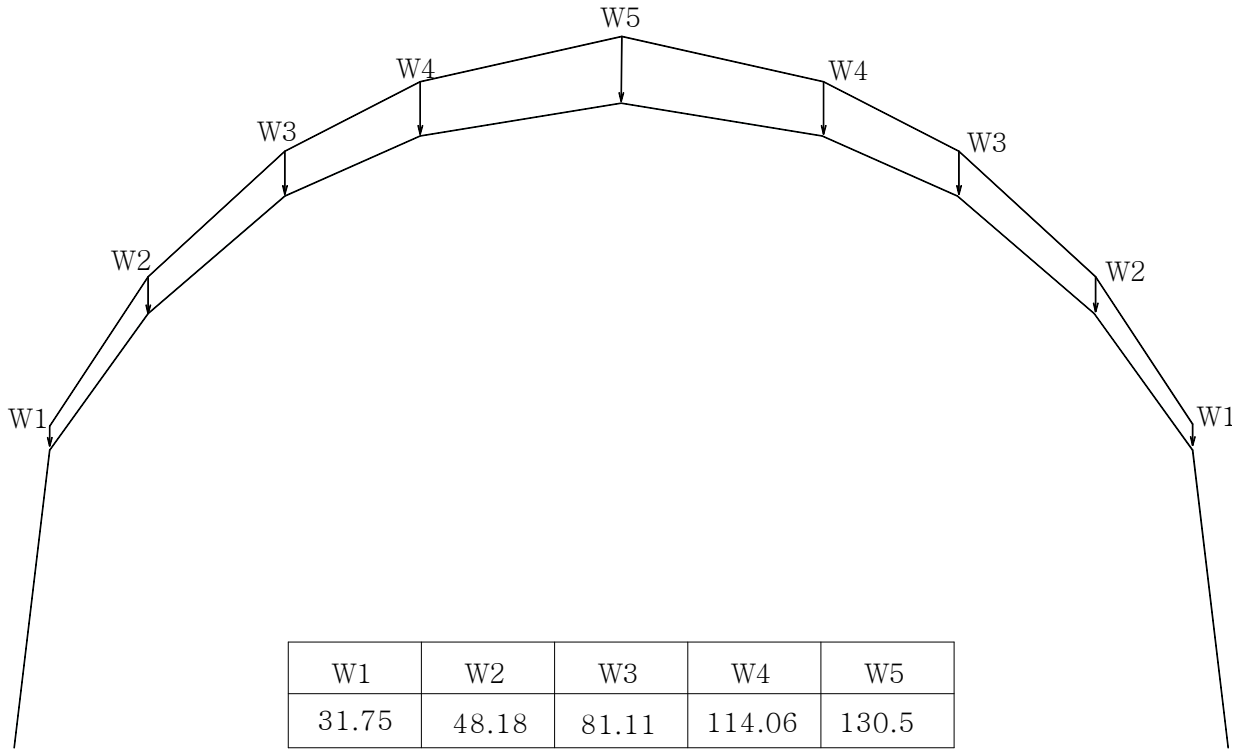


(e) 45 m/s

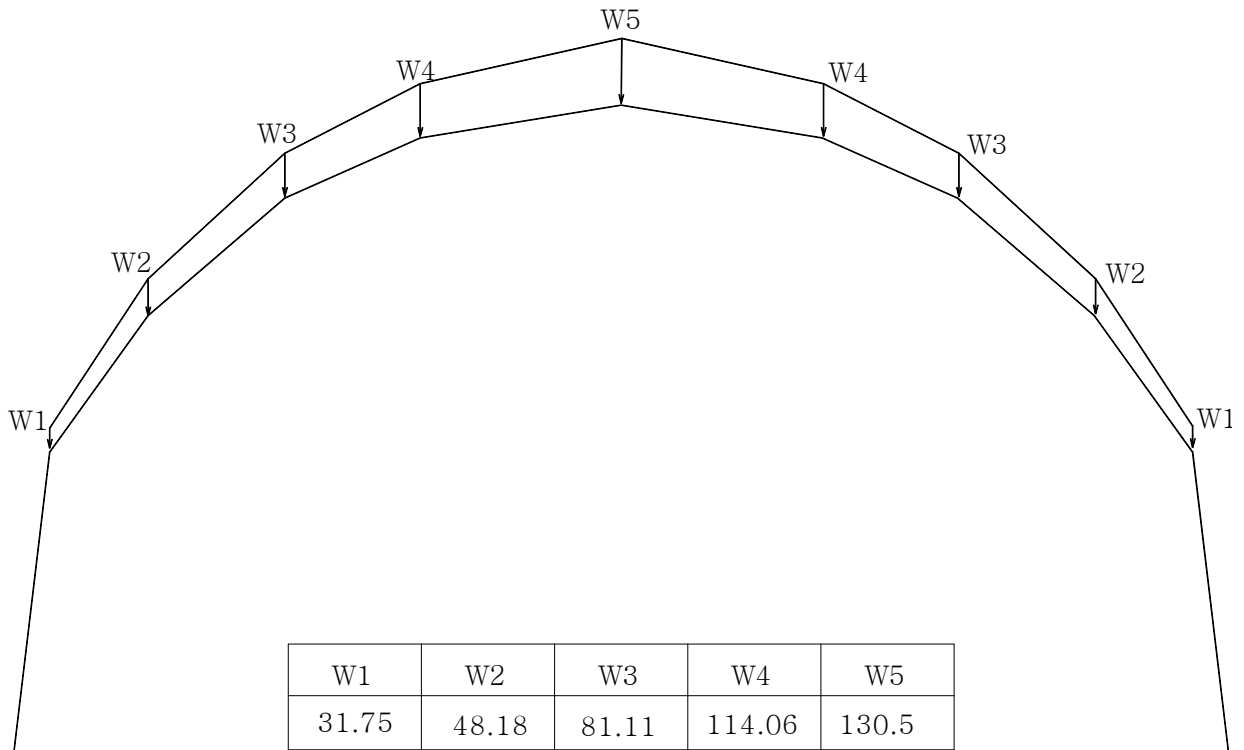
[2-2] 그림 22. 단동형 전산입력 풍하중



(2) 적설하중 입력

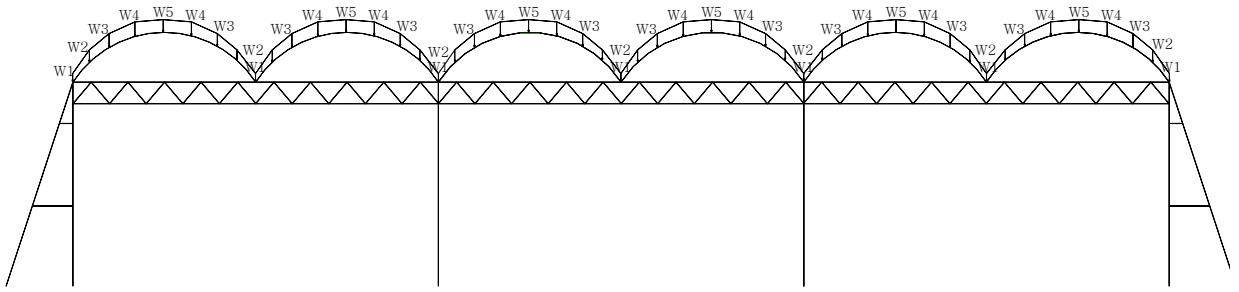


(a) 단동 1형



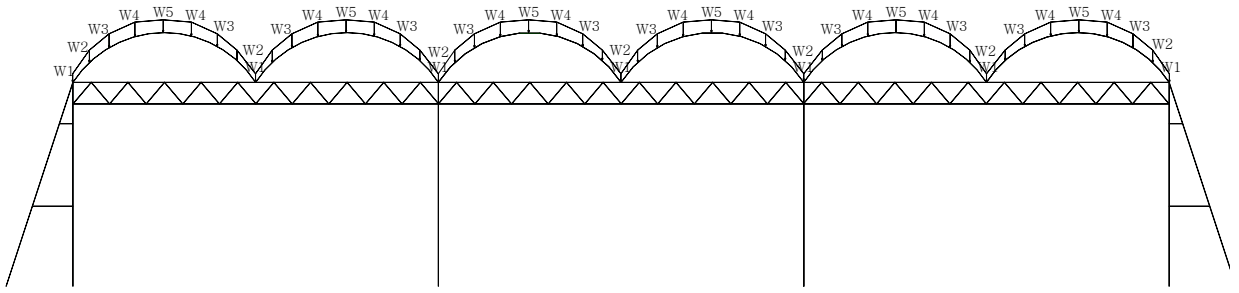
(b) 단동 2형

[2-2] 그림 24. 단동형 전산입력 적설하중



W1	W2	W3	W4	W5
235.2	341.83	554.49	769.15	834.77

(a) 연동 8형

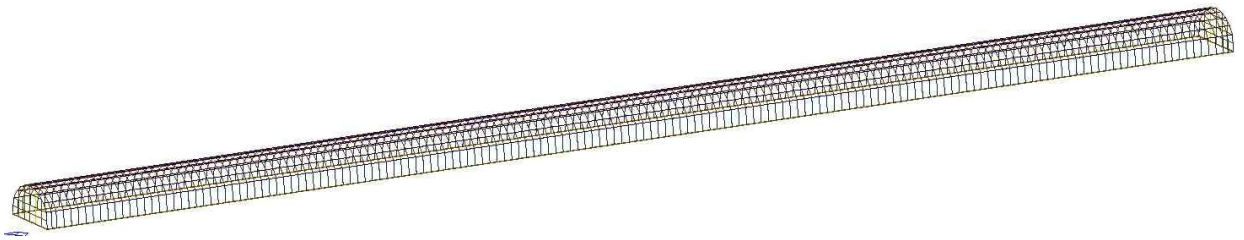


W1	W2	W3	W4	W5
235.2	341.83	554.49	769.15	834.77

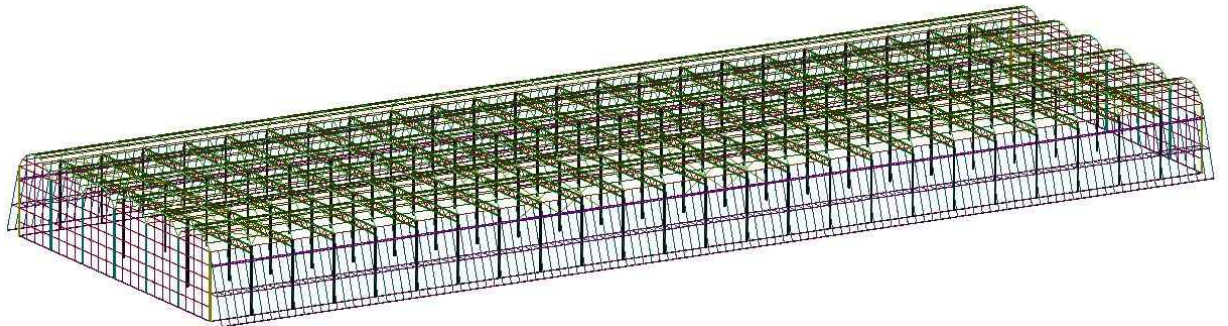
(b) 연동 10형

[2-2] 그림 25. 연동형 전산입력 적설하중

(3) 전산해석



(a) 단동 비닐하우스



(b) 연동 비닐하우스

[2-2] 그림 26. 해석 모델

(가) 단동형 비닐하우스 전산해석 결과

[2-2] 표 24. 07-단동-1형

풍속	MEMBER	하중조합		
		D+DM+LV	D+DM+LV+S	D+DM+LV+W
25	AR1(Φ25.4x1.5)	0.60	0.92	0.35
	C1(Φ25.4x1.5)	0.87	1.37	0.61
30	AR1(Φ25.4x1.5)	0.60	0.92	0.36
	C1(Φ25.4x1.5)	0.87	1.37	0.99
35	AR1(Φ25.4x1.5)	0.60	0.92	0.54
	C1(Φ25.4x1.5)	0.87	1.37	1.16
40	AR1(Φ25.4x1.5)	0.60	0.92	0.98
	C1(Φ25.4x1.5)	0.87	1.37	2.22
45	AR1(Φ25.4x1.5)	0.60	0.92	1.36
	C1(Φ25.4x1.5)	0.87	1.37	2.97

[2-2] 표 25. 07-단동-3형

풍속	MEMBER	하중조합		
		D+DM+LV	D+DM+LV+S	D+DM+LV+W
25	AR1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.05	0.63
	C1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.07	0.64
30	AR1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.05	1.07
	C1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.07	1.07
35	AR1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.05	1.58
	C1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.07	1.58
40	AR1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.05	2.17
	C1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.07	2.17
45	AR1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.05	2.84
	C1(Φ31.8x1.7)	0.46	1.07	2.83

(나) 연동형 비닐하우스 전산해석 결과

[2-2] 표 26. 08-연동-1형

풍속	MEMBER	하중조합		
		$D+DM+LV$	$D+DM+LV+S$	$D+DM+LV+W$
25	AR1(Φ25.4x1.5)	0.04	1.40	0.85
	H1(B60x30x2.3)	0.36	0.72	0.26
	C1 (B75x75x2.3)	0.36	0.53	0.55
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.03	1.07
	C3 (Φ31.8x1.5)	0.01	0.09	1.65
30	AR1(Φ25.4x1.5)	0.04	1.40	1.30
	H1(B60x30x2.3)	0.36	0.72	0.24
	C1 (B75x75x2.3)	0.36	0.53	0.78
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.03	1.52
	C3 (Φ31.8x1.5)	0.01	0.09	2.35
35	AR1(Φ25.4x1.5)	0.04	1.40	1.83
	H1(B60x30x2.3)	0.36	0.72	0.23
	C1 (B75x75x2.3)	0.36	0.53	1.06
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.03	2.06
	C3 (Φ31.8x1.5)	0.01	0.09	3.19
40	AR1(Φ25.4x1.5)	0.04	1.40	2.45
	H1(B60x30x2.3)	0.36	0.72	0.24
	C1 (B75x75x2.3)	0.36	0.53	1.38
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.03	2.67
	C3 (Φ31.8x1.5)	0.01	0.09	4.14
45	AR1(Φ25.4x1.5)	0.04	1.40	2.98
	H1(B60x30x2.3)	0.36	0.72	0.33
	C1 (B75x75x2.3)	0.36	0.53	1.74
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.03	3.37
	C3 (Φ31.8x1.5)	0.01	0.09	5.23



[2-2] 표 27. 10-연동-1형

풍속	MEMBER	하중조합		
		$D+DM+LV$	$D+DM+LV+S$	$D+DM+LV+W$
25	AR1(Φ59.9x1.5)	0.11	0.11	0.09
	H1(B60x40x2.3)	0.24	0.26	0.18
	C1 (B75x75x2.3)	0.29	0.37	0.44
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.02	0.13
	C3 (Φ59.9x1.5)	0.11	0.14	1.36
30	AR1(Φ59.9x1.5)	0.11	0.11	0.02
	H1(B60x40x2.3)	0.24	0.26	0.16
	C1 (B75x75x2.3)	0.29	0.37	0.63
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.02	0.19
	C3 (Φ59.9x1.5)	0.11	0.14	1.93
35	AR1(Φ59.9x1.5)	0.11	0.11	0.16
	H1(B60x40x2.3)	0.24	0.26	0.16
	C1 (B75x75x2.3)	0.29	0.37	0.85
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.02	0.25
	C3 (Φ59.9x1.5)	0.11	0.14	2.62
40	AR1(Φ59.9x1.5)	0.11	0.11	0.21
	H1(B60x40x2.3)	0.24	0.26	0.16
	C1 (B75x75x2.3)	0.29	0.37	1.10
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.02	0.32
	C3 (Φ59.9x1.5)	0.11	0.14	3.40
45	AR1(Φ59.9x1.5)	0.11	0.11	0.26
	H1(B60x40x2.3)	0.24	0.26	0.19
	C1 (B75x75x2.3)	0.29	0.37	1.37
	C2 (B75x45x2.3)	0.02	0.02	0.38
	C3 (Φ59.9x1.5)	0.11	0.14	3.92

나. 구조설계용 프로그램 적용

개발 중인 구조설계용 프로그램을 통한 지역별 적설심 및 풍속 강도를 입력 값으로 지정하고 서까래 규격을 결과 값으로 하는 해석 결과와 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에서 제시된 서까래 규격 조정시공에 따른 적설심 및 풍속 강도를 비교하여 프로그램 해석 결과의 적절성을 파악한다.

(1) 지역별 설계기준 적설심 및 풍속 강도

(가) 지역별 설계기준 적설심

“원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에서 제시된 지역별 설계기준 적설심은 30년 빈도를 기준으로 하고 그 세부 내용은 아래의 표 28.과 같다.

[2-2] 표 28. 지역별 설계기준 적설심(30년 빈도)

적설기준 (cm)	강원도	경기권 (서울, 인천)	경상권 (부산, 울산, 대구)	전라권 (광주)	충청권 (대전, 세종)	제주도
20	-	-	거제, 고성, 김해, 남해, 마산, 밀양, 사천, 양산, 울산, 의령, 진주, 진해, 창녕, 창원, 통영, 하동, 함안, 울주, 경산, 경주, 대구, 영천, 의성, 청도, 포항	고흥, 광양, 보성, 여수, 완도	-	고산, 서귀포, 제주
22	철원	강화, 포천, 동두천	안동, 고령, 군위, 함천, 청송, 칠곡	순천, 장흥, 해남, 강진, 진도	-	성산
24	-	가평, 고양, 구리, 군포, 과천, 광명, 광주, 남양주, 부천, 김포, 성남, 시흥, 수원, 안산, 안양, 양평, 양주, 의정부, 의왕, 오산, 인천, 용인, 하남, 화성, 파주	부산, 구미, 성주, 산청, 봉화, 영양	구례	-	-
26	원주	서울, 안성, 인천, 용진, 여주, 평택	예천	전주, 완주	금산, 단양, 부여, 보령, 아산, 예산, 홍성, 청양, 천안, 충주, 제천	-
28	화천	이천	김천, 영주	영암, 익산, 곡성	논산, 공주, 당진, 음성, 태안	-
30	인제, 영월, 양구, 홍천	-	거창, 상주, 함양	화순, 남원, 무주, 신안	서산, 대전, 세종, 영동, 옥천, 괴산, 진천	-
32	춘천	-	추풍령	목포	계룡, 보은, 서천, 중평	-

34	횡성	-	문경, 영덕	군산, 나주, 진안	청주, 청원	-
36	-	-	-	광주, 무안, 순창, 함평	-	-
38	-	-	울진	장수	-	-
40 이상	속초, 대관령, 강릉, 동해, 삼척, 태백, 평창, 고성, 정선, 양양	-	울릉	담양, 김제, 영광, 임실, 장성, 부안, 정읍, 고창	-	-

(나) 지역별 설계기준 풍속

“원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에서 제시된 지역별 설계기준 풍속은 30년 빈도를 기준으로 하고 그 세부사항은 아래의 표 29와 같다.

[2-2] 표 29. 지역별 설계기준 풍속(30년 빈도)

풍속기준 (m/s)	강원도	경기권 (서울, 인천)	경상권 (부산, 울산, 대구)	전라권 (광주)	충청권 (대전, 세종)	제주도
22	홍천	-	-	-	-	-
24	횡성	여주, 이천	봉화	순천	보은, 금산	성산
26	삼척, 원주	광주, 안성, 양평, 오산, 용인, 평택	의성, 거창, 함양	구례, 곡성, 남원, 무주, 순창, 임실, 장수, 정읍, 진안	괴산, 음성, 제천, 증평, 진천, 충주	-
28	인제, 태백	강화, 과천, 구리, 군포, 남양주, 성남, 수원, 안양, 연천, 의왕, 하남	경산, 고령, 군위, 대구, 문경, 산청, 안동, 합천	부안	공주, 논산, 부여, 아산, 세종, 영동, 옥천, 천안, 청원, 청주	-
30	양구, 영월, 평창	이천	거제, 밀양, 상주, 성주, 영양, 영천, 예천, 청도, 청송, 창녕, 칠곡	고창, 김제, 담양, 보성, 완주, 익산, 장흥, 전주	단양, 예산, 청양	-
32	철원, 춘천, 화천	-	구미, 경주, 김천, 영주, 울주, 울산, 진주, 의령, 하동, 추풍령	고흥, 광주, 영암, 장성, 화순	계룡, 당진, 대전, 홍성	-
34	정선	-	김해, 남해, 사천, 영덕, 양산, 진해, 창원, 함안, 포항	강진, 광양, 나주, 무안, 영광, 함평, 해남	보령, 서산, 태안	-
36	-	-	마산, 부산	목포	서천	-
38	동해, 강릉	-	고성	군산, 신안	-	성산
40 이상	고성, 양양, 대관령, 속초	-	통영, 울릉, 울진	진도, 여수, 완도	-	고산, 서귀포, 제주

(2) 단동비닐하우스의 서까래 규격 조정시공에 따른 적설심 및 풍속 강도

[2-2] 표 30. 단동비닐하우스의 서까래 규격 조정시공에 따른 적설심 및 풍속 강도

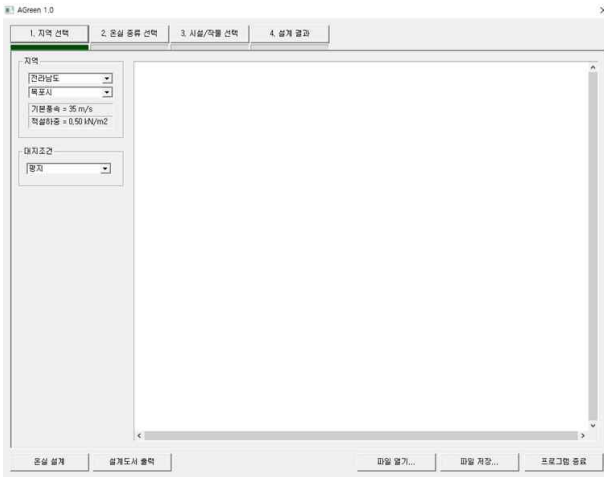
• 단동비닐하우스(10-단동-1~5)의 서까래 규격 조정시공에 따른 적설심 및 풍속 강도

서까래 규격		10-단동-1		10-단동-2		10-단동-3		10-단동-4		10-단동-5	
$\phi(\text{mm}) \times t(\text{mm})$	설치간격 (cm)	적설심 (cm)	풍속 (%)	적설심 (cm)	풍속 (%)	적설심 (cm)	풍속 (%)	적설심 (cm)	풍속 (%)	적설심 (cm)	풍속 (%)
$\phi 31.8 \times 1.7t$	50	52	37	50	38	45	36	41	35	30	32
	60	45	34	42	35	37	33	34	32	25	30
	70	38	31	36	32	32	31	29	30	22	27
	80	33	29	31	30	28	29	25	28	-	-
	90	30	28	28	29	24	27	22	26	-	-
$\phi 31.8 \times 1.5t$	50	49	35	46	37	41	34	37	34	28	31
	60	41	32	38	33	34	31	31	31	23	28
	70	35	29	33	31	29	29	26	28	20	26
	80	30	27	28	29	25	27	23	26	-	-
	90	27	26	25	27	22	26	20	25	-	-
$\phi 25.4 \times 1.7t$	50	33	27	30	32	28	28	22	29	-	-
	60	27	25	24	29	23	26	-	-	-	-
	70	23	23	21	27	-	-	-	-	-	-
	80	20	22	-	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\phi 25.4 \times 1.5t$	50	30	26	26	30	24	27	-	-	-	-
	60	25	23	22	28	20	24	-	-	-	-
	70	21	22	-	-	-	-	-	-	-	-
	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

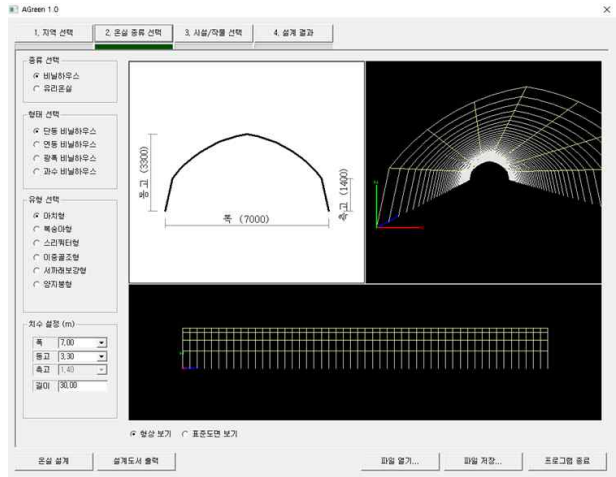
※ 서까래 규격 조정 이외의 내재해형 규격 고시사항(시설제원, 파이프 규격, 조리기개 등)은 변경되지 않은 조건에서의 조건표임

### (3) 지역별 프로그램 해석 결과

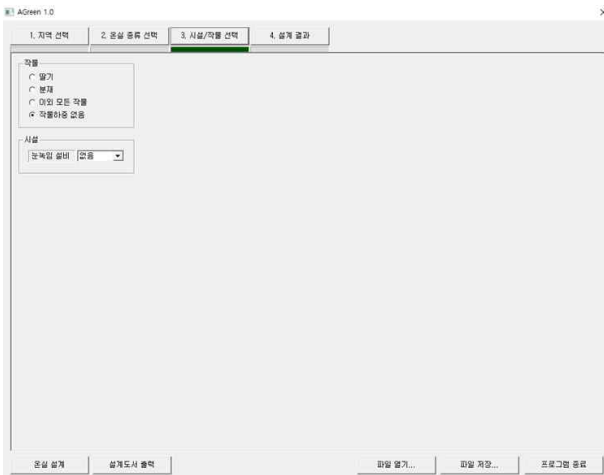
#### (가) 전라남도 목포



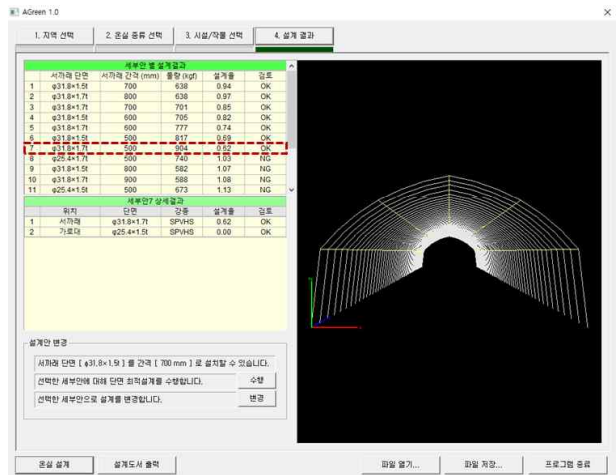
(a) 지역 선택



(b) 온실 종류 선택



(c) 시설/작물 선택

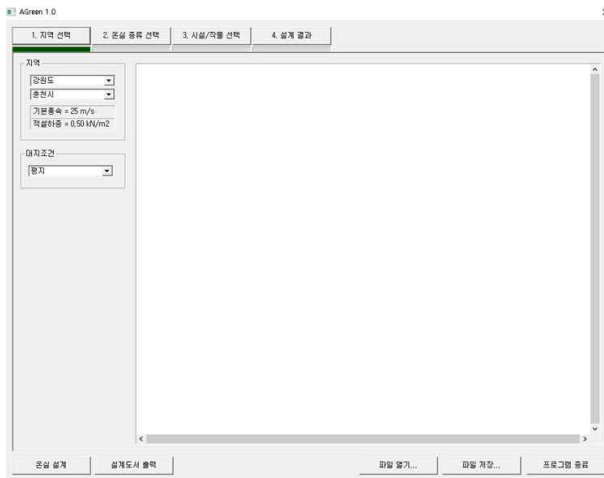


(d) 설계 결과

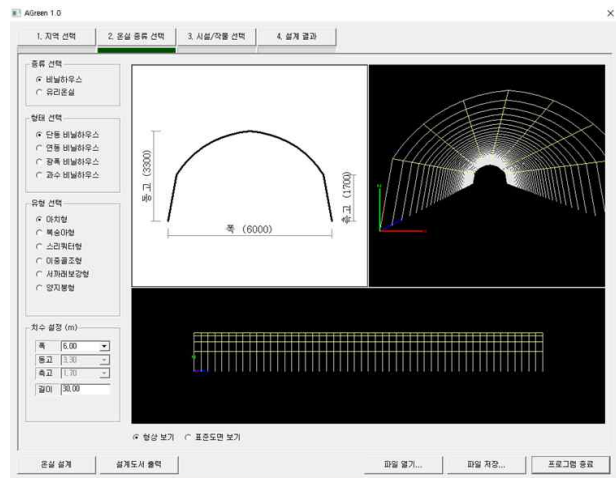
[2-2] 그림 27. 전라남도 목포

그림 27.는 프로그램을 통한 설계과정이다. 지역과 온실의 종류, 시설/작물을 선택하면 그림 27.(d)에서 서까래의 단면과 서까래 간격을 제시하고 설계결과를 검토한다. “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에서 제시된 서까래의 규격과 비교해 보면 표 30.에서 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 600mm를 제시하였고 프로그램에서는 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 600mm의 경우 설계율이 0.74로 나타난다. 그 외에도 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.5t$ , 서까래 간격 700mm으로 설계하였을 때 설계율이 0.94로 나타남을 알 수 있다.

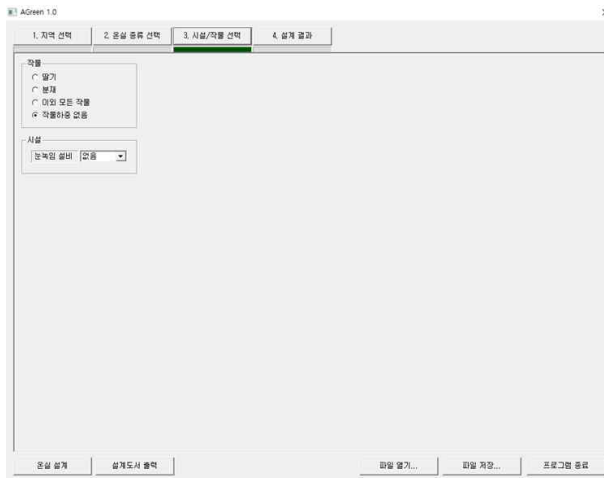
(나) 강원도 춘천



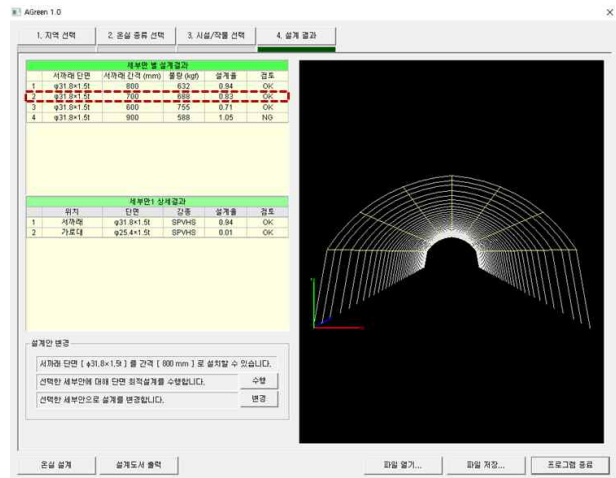
(a) 지역 선택



(b) 온실 종류 선택



(c) 시설/작물 선택

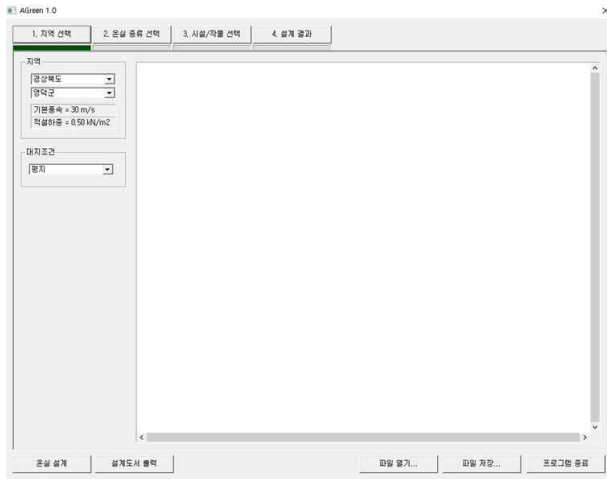


(d) 설계 결과

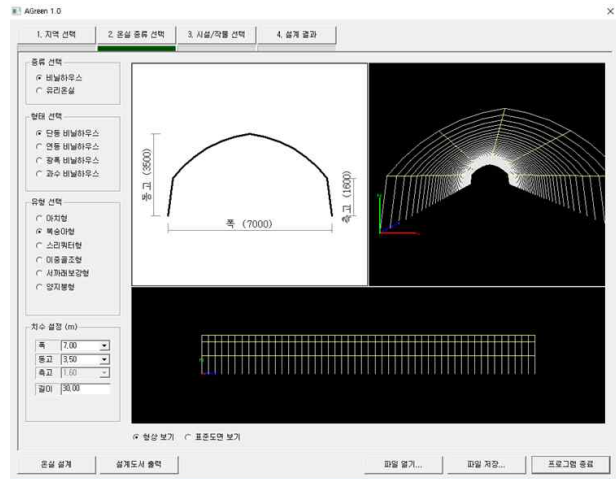
[2-2] 그림 28. 강원도 춘천

강원도 춘천의 경우 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에서 제시된 서까래의 규격은 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 500mm이다. 반면 프로그램에서는 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 500mm의 경우 설계율이 0.78으로 나타난다. 또한 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 600mm 안이 설계율 0.92으로 설계가 가능하다고 나타남을 알 수 있다.

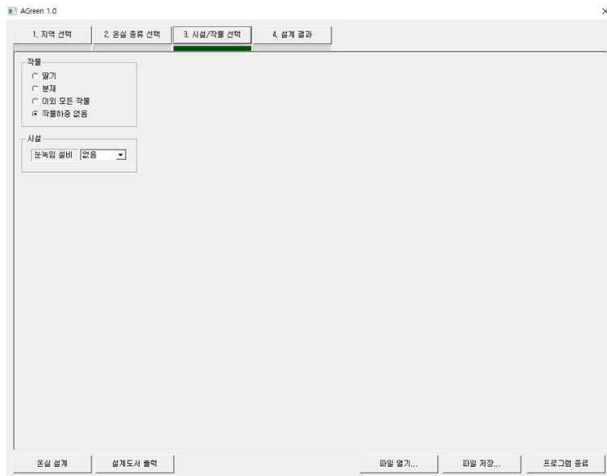
(다) 경상북도 영덕



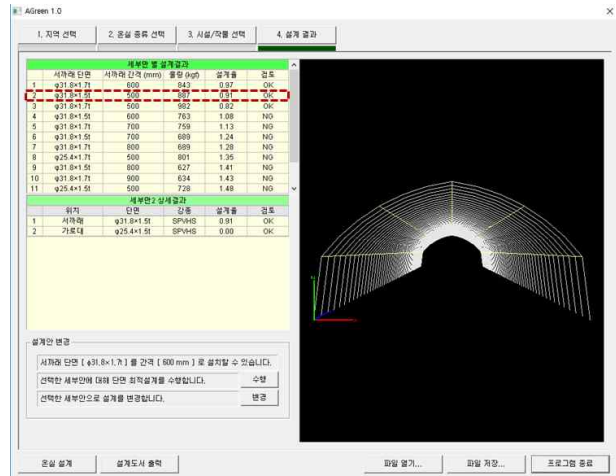
(a) 지역 선택



(b) 온실 종류 선택



(c) 시설/작물 선택

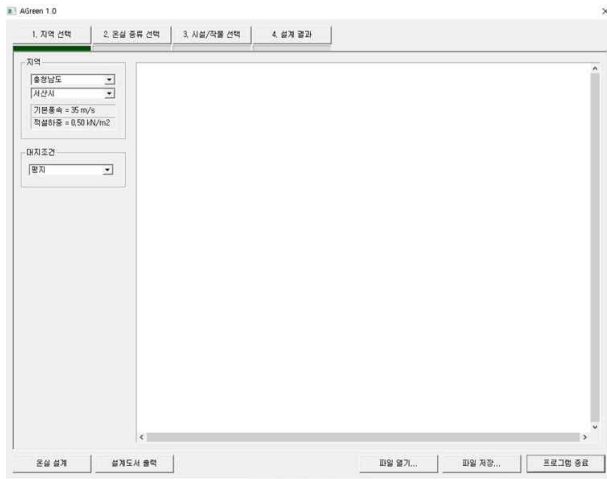


(d) 설계 결과

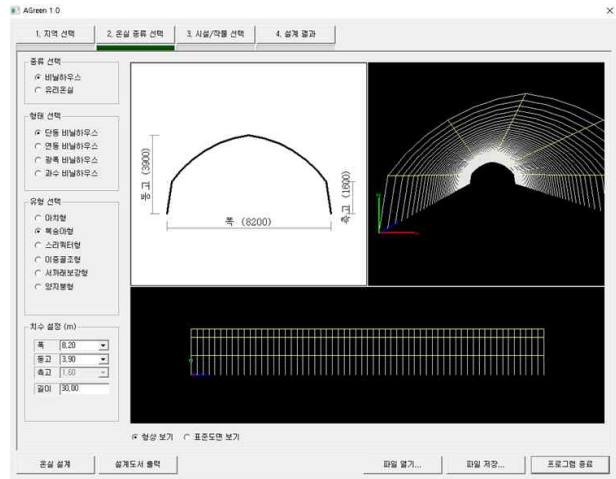
[2-2] 그림 29. 경상북도 영덕

그림 29.(d)에서 검토결과 만족이 되는 안이 3종류가 나타남을 알 수 있다. 1번 안의 경우 설계율이 0.97로 나타나고 2번 안의 경우 0.91로 나타났다. 3번 안은 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에서 제시된 서까래의 규격 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 500mm과 같다. “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에 제시된 안의 경우 설계율이 0.82로 나타남을 알 수 있다.

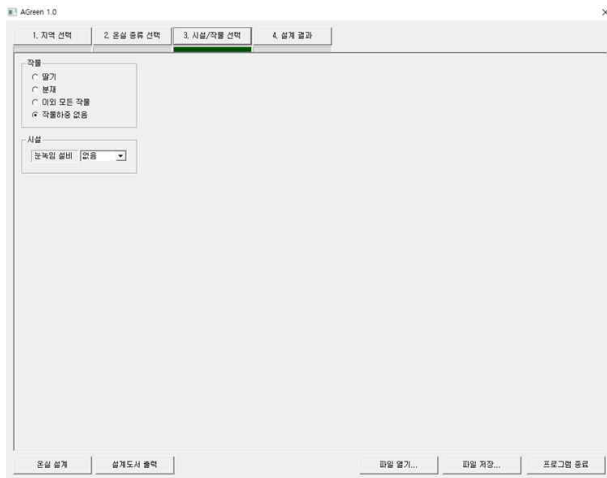
(라) 충청남도 서산



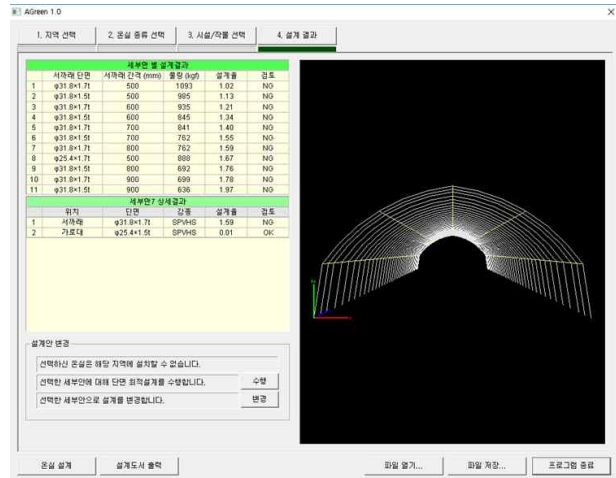
(a) 지역 선택



(b) 온실 종류 선택



(c) 시설/작물 선택



(d) 설계 결과

[2-2] 그림 30. 충청남도 서산

충청남도 서산의 경우 “원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서”에서 제시된 서까래의 규격은 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 500mm이다. 그러나 그림 30.(d)의 해석 결과의 경우 서까래 단면  $\Phi 31.8 \times 1.7t$ , 서까래 간격 500mm는 설계율이 1.02로 조건을 만족하지 못하는 것으로 나타나 “해당지역에 온실을 설치할 수 없다”라고 표기됨을 알 수 있다.

충청남도 서산의 경우 프로그램이 더 불리한 결과를 도출하였다.



## 2-3. 주요연구내용 (제2세부)

### 2-3-1. 1차 년도

#### 가. 국내 및 온실산업 선진국의 온실 형태

국내 및 온실산업 선진국의 온실종류 및 형태를 분석하고 온실의 구조설계 시 고려해야할 사항들을 도출하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

우리나라 시설원예 산업은 70년대 양적확대기, 80년대 성장발전기, 1990년대 정부의 지원에 힘입어 5만ha 이상으로 크게 성장하였다. 온실의 대부분이 채소재배온실이며 단동형태이다(표 1). 그러나 최근 대규모 연동온실과 난방온실의 면적이 점차 증대되고 시설이 현대화가 진행되면서 생산성이 크게 증가되고 있다. 첨단온실 신축지원 사업, 농업용 에너지 이용 효율화 사업, 원예시설 현대화 사업, 과수 고품질 시설현대화 사업, 시설원예품질개선사업 등 다양한 사업들이 온실산업의 성장에 크게 기여하였다. 앞으로는 장기적인 관점에서 한국형 온실의 수출확대를 위하여 온실구조설계 기준 및 프로그램의 개발이 필요하며, 이를 위해 시설자재의 규격화 및 표준화, 국내 자재산업의 경쟁력 강화, 스마트 온실 개발, 한국형 온실의 표준화 설계도 확립 등이 선행되어야 할 것이다.

[2-3] 표 1. 주요 국가별 원예시설 현황 (농림축산식품부, 2016)

구분	한국	일본	네덜란드	캐나다	중국
재배면적	51,787ha	49,049ha	10,311ha	2,075ha	3,522,300ha
재배작물	채소 : 94% 화훼 : 6%	채소 : 93.9% 화훼 : 6.1%	채소 : 49% 화훼 : 51%	채소 : 50% 화훼 : 43%	
온실유형	단동 : 89% 연동 : 11% 유리 : 0.6%(329ha) 플라스틱 : 99.2% 경질판 : 0.2%	철골 : 20% 파이프 : 80% 유리 : 4.2%(2,039ha) 플라스틱 : 95.8%	유리 : 99% (벤로형 : 87%)	유리 : 32% 플라스틱 : 58%	일광 : 24.9% 연동 : 0.3% 터널 : 74.8%
기준년 : 한국(2014년), 일본(2011년), 네덜란드(2011년), 캐나다(2009년), 중국(2010년)					

일본은 온실면적이 우리나라와 비슷하며 채소 및 화훼 재배면적도 비슷하다. 일본은 온화한 지역을 중심으로 온실면적이 증가하고 있으며, 생산성과 효율성을 증대시키기 위한 연중생산에 많은 관심을 두고 있는 실정이다. 또한 대규모 연동온실의 면적확대, 온실높이 인상, 환기면적 증대, 피복재 수명연장, 방충망, 공기주입온실, 초기비용 절감, 안전한 온실구조 확립 등에 많은 관심을 두고 있다. 최근 일본은 간척지에 조성된 대규모 온실단지(가고매)는 지진 등에 의한 피복재의 이탈을 방지하기 위하여 유리보다는 불소필름을 피복재로 이용하고 있다.

네덜란드 온실면적은 2000년대까지 지속적으로 증가하다가 최근 약 10,000ha 정도를 안정적으로 유지하고 있다. 유리온실 및 가온재배면적이 각각 99%, 92%로 매우 높으며 Agriport와 Greenport 지역을 중심으로 대규모화 추세에 있다. 특히 대부분 정밀환경조절이 가능하여 규격화된 고품질 상품 생산이 가능한 수경재배 방식의 비중이 높다.

캐나다는 에너지 절감형 플라스틱온실 개발 및 구조안전성 향상 기술 개발에 관한 연구가 오래전부터 활발히 진행되어 현재 보급 중에 있다. 특히, 영하 40℃까지 내려가는 악조건에서도 저비용의 에너지 절감형 플라스틱온실과 천연가스를 이용한 CHP로 현재 파프리카 생산량은 25kg/m<sup>2</sup>(250톤/ha, 네덜란드 300톤/ha)로 네덜란드 제품과 경쟁을 하고 있다.

중국은 온실산업의 선진국은 아니나 온실면적이 350만 ha 이상으로 세계에서 가장 넓다. 중국의 고유모델인 일광온실의 면적이 25%를 차지하고 대부분 터널형 온실이다. 현대화된 온실은 1990년대에 네덜란드와 이스라엘 등으로부터 수입하여 사용하기 시작하였다. 2006년부터 온실의 자동화와 에너지절감에 관심을 가지고 본격적인 연구가 시작되었다.

온실산업 선진국에서는 다양해진 고품질의 소비요구와 작업자의 쾌적한 환경에 대한 요구가 증가하고 있고 재배 기술의 발전으로 인해 높은 환경조절기술이 필요하여 높이가 높은 대규모 온실의 수요가 증대되고 있다. 피복재는 다기능 플라스틱 필름 소재들이 개발되고 이상기후가 속출하면서 유리보다는 설치가 편하고 다양한 응용성을 가지면서도 가벼운 장기성 필름이 선호되고 있다. 또한, 열에너지 효율을 극대화시키기 위한 방법과 기술들이 원예시설에 경쟁적으로 도입되고 있다.

국내 및 온실산업 선진국들에 설치되어 있는 온실의 형태를 살펴보면 다음과 같다.

## (1) 국내 온실 형태

### (가) 국내온실의 종류

국내 온실 중 연동플라스틱온실은 전체면적 중 11.4%인 5,897ha이며 유리온실은 0.6%인 329ha를 차지하고 있으나, 1995년 이전에 시공된 온실은 이 가운데 약 80%정도인 4,700ha 정도가 온실의 측고가 2.7m 또는 4.3m인 온실이며, 최근 유리온실과 플라스틱온실의 중간 형태를 취한 신개념 온실이 36.9ha, 건축비 400억 원 규모로 빠르게 보급되고 있다.

1992년부터 시작된 정부의 시설원예 현대화 지원사업의 일환으로 국내 유리온실 표준설계도가 1997년에 작성되어 지금까지 시행되어져 왔으며, 2001년 농가보급형 자동화하우스(1-2W형) 표준설계서가 작성된 후 수정·보완되어 2014년에는 원예·특작시설 내재해형 비닐하우스 35종과 민간전문업체 개발규격 10종이 보급되고 있다. 1990년대 초 시설 현대화 사업의 일환으로 시행된 성장작목종합시범단지 조성보조사업 때 유리온실과 경질판온실 등이 많이 시공되었었으며, 특히 경질판 온실은 주로 PC판을 피복재로 하였다. 이러한 경질판의 내구년한이 15년이라고 하였으나 실제 사용시 3년 경과 후 광투과율 감소 등에 의해 5년 이상 사용이 불가능하였으며, 부속자재 개발부진과 부실시공으로 바람 등에 의한 파손이 많이 일어남과 동시에 기밀성의 저하로 보온력이 급격히 떨어지는 현상이 발생하였다.(농림축산식품부, 2016)

그림 1은 우리나라의 연질플라스틱으로 피복된 온실 형태들에 대한 사진이다. 단동온실의 형태에는 터널형, 아치형, 복숭아형, 무기동 광폭형, 아치 광폭형, 양지붕 광폭형, 편지붕형, 3/4형 등이 있고, 연동온실의 형태에는 광폭형, 1-2W형, 아치형 등 다양한 온실의 형태가 있다. 그림 2는 우리나라의 경질피복재 온실 형태들에 대한 사진이다. 경질판 온실에는 아치형과 양지붕형이 있다. 단동 유리온실에는 양지붕형과 3/4형이 있으며, 연동 유리온실에는 양지붕형과 벤로형이 있다. 이와 같이 우리나라는 온실의 종류가 매우 다양하기 때문에 온실의 구조설계기준을 작성할 때나 구조계산 프로그램을 개발할 때에 이러한 다양한 온실형태들에 대한 고려 방안을 신중히 검토할 필요가 있다고 판단된다.

온실의 피복재 종류를 플라스틱필름, 유리, 경질판으로 구분하여 각 피복재별로 온실의 형태별 비율을 분석한 결과는 그림 3~5와 같다. 그림 3은 플라스틱온실의 형태별 비율을 도시한 것이다. 플라스틱온실의 경우 단동온실이 88%로 대부분을 차지하고 있다. 단동온실의 경우 터널형이 54%이고 아치형이 45%로 터널형태가 약간 더 많았다. 반면에 연동온실의 경우에는 아치형이 60%이고 터널형이 38%로 아치형태가 훨씬 더 많은 것으로 나타났다. 그림 4는 유리온실의 형태별 비율을 도시한 것이다. 유리온실의 경우는 연동온실이 99.4%로 거의 대부분이다. 연동온실의 경우 벤로형이 56%이고 양지붕형이 42%로 벤로형 온실이 더 많은 것으로 나타났다. 그림 5는 경질판온실의 형태별 비율을 도시한 것이다. 경질판온실의 경우 단동온실이 46%이고 연동온실이 54%로 면적이 거의 비슷하였다. 단동온실의 경우 아치형태가 83%로 대부분을 차지한 반면에 연동온실의 경우에는 양지붕형이 71%로 아치형에 비해 훨씬 더 많은 것으로 나타났다.



터널형 단동온실



아치형 단동온실



복숭아형 단동온실



광폭형 단동온실



광폭형 단동온실



아치 광폭형 단동온실



무기둥 광폭형 단동온실



밀양식 광폭형 단동온실



양지붕 광폭형 단동온실



편지봉형 단동온실



편지봉형 단동온실



3/4형 단동온실



광폭형 연동온실



1-2W형 연동온실



아치형 연동온실

[2-3] 그림 1. 우리나라의 연질 플라스틱피복 온실 형태



아치형 연동경질판온실



양지붕형 연동경질판온실



양지붕형 단동유리온실



양지붕형 연동유리온실

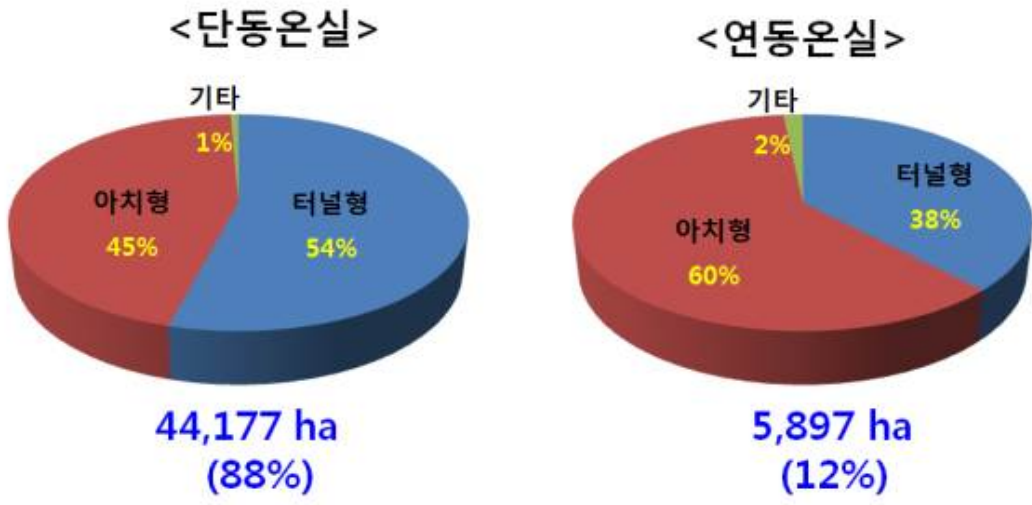


벤로형 연동유리온실

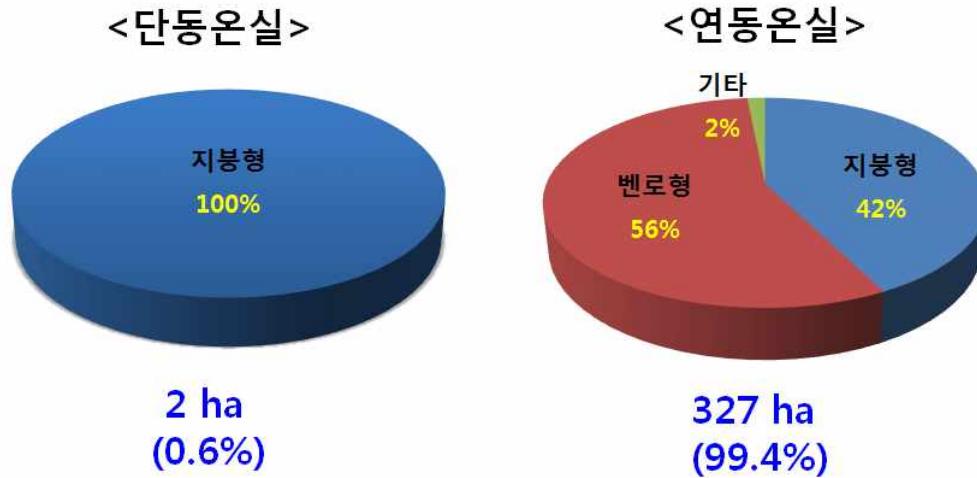


3/4형 단동유리온실

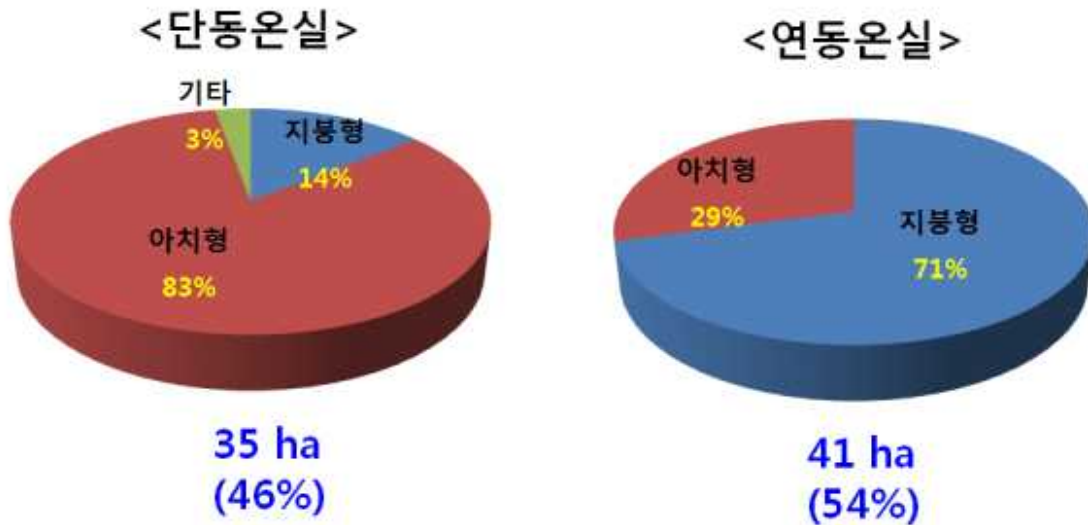
[2-3] 그림 2. 우리나라의 경질피복재 온실 형태



[2-3] 그림 3. 플라스틱온실의 형태별 비율



[2-3] 그림 4. 유리온실의 형태별 비율



[2-3] 그림 5. 경질판온실의 형태별 비율

앞에서 살펴본 바와 같이 우리나라 온실의 형태는 매우 다양할 뿐만 아니라 세부적인 구조도 온실마다 상당히 차이가 있기 때문에 온실설계기준이나 온실구조설계 프로그램의 개발 시 적용대상 온실을 어떻게 구분해야 할지를 신중히 검토할 필요가 있다.

우선 온실의 설계하중 산정용 재현기간의 결정에 필요한 온실의 종류를 분류하기 위하여 각국의 재현기간 적용에 대한 기준을 살펴보았다. 또한 각국의 재현기간에 대한 초과확률을 계산하고 분석하였다. 초과확률은 다음 식들을 사용하여 계산하였다.(김문기 등, 2000)

재현기간은 어떤 기상현상의 년최대치의 확률분포함수(F(V))를 알고 있을 때, 어떤 값  $V_T$ 를 초과할 확률 즉 초과확률의 역수로 정의되며 다음 식으로 표시된다.

$$P(V > V_T) = 1 - F(V_T) \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{1 - F(V_T)} \quad (2)$$

여기서, P : 년초과확률

V : 풍속(m/s) 또는 적설심(m)

F : 기상현상의 년최대치 확률분포함수

T : 재현기간(년)

즉, 설계지점에서  $V_T$  이상의 강풍이나 적설심이 평균 T년에 한번의 비율로 발생할 것으로 기대된다고 할 수 있으며 이 T년이라고 하는 값을 풍속 또는 적설심,  $V_T$ 에 대한 재현기간이라고 한다.

시설물의 내용년수를 R년이라 하고 설계용 풍속을  $V_T$ 라고 하면, R년 동안에  $V_T$ 를 초과하지 않을 확률(비초과 확률) q는 다음식으로 표시된다.

$$q = (F_T)^R = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^R \quad (3)$$

이것은 설계에 이용한  $V_T$ 를 초과하는 강풍이나 적설이 시설물의 내용기간 중에는 발생하지 않을 확률로서 시설물의 구조안전성에 대한 하나의 척도가 되기 때문에 이 확률의 백분율을 안전도 Q(%)라고 부른다.

$$\frac{Q}{100} = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^R \quad (4)$$

이 관계식에서 시설물의 내용년수와 안전도를 정하면 그에 대응하는 재현기간이 결정된다.

각국별 온실설계를 위한 재현기간, 년초과확률 및 초과확률은 표 2~5와 같다. 유럽기준에서는 온실의 종류를 피복재가 골조재의 변위를 허용하지 않는 온실과 허용하는 온실로 나누고 허용하지 않는 온실에 대해서는 최소재현기간을 15년과 10년의 2가지로 제시하고 허용하는 온실은 15년, 10년 및 5년의 3가지로 제시하고 있다. 유럽기준은 최소재현기간을 제시하여 실제 설계를 실시할 때에 적용할 재현기간을 결정하도록 한 것이 특징적이다.(표 2) 미국기준에서는 온실의 종류를 학교 등 군중이 밀집된 곳에 설치될 온실, 상업용 온실, 비태풍 지역과 태풍 지역에 설치될 재배용 온실로 나누고 각각 100년, 50년, 25년, 15년으로 재현기간을 제시하고 있다. 일반적인 재배용 온실은 25년의 재현기간을 사용하도록 되어 있다.(표 3) 일본기준에서는 온실 종류를 내용연수 10년과 15년의 플라스틱온실과 내용연수 20년의 유리온실로 나누고 있다. 소규모 온실에는 각각 15년, 22년 및 30년의 재현기간을 제시하고 있고 대규모 온실에는 각각 30년 43년 및 57년의 재현기간을 제시하고 있으며, 온실종류 및 규모별로 다양하게 재현기간을 제시하고 있는 것이 특징이다(표 4). 우리나라기준에서는 농업용 고정식 온실에 대하여 22년의 재현기간만을 제시하고 내용연수를 15년으로 제한한 것이 특징이다(표 5). 4개국의 온실설계기준에서 제시된 재현기간을 비교분석한 결과 우리나라의 경우 온실의 종류가 매우 다양하기 때문에 다양한 온실종류별로 재현기간을 제시할 필요가 있으며, 최소재현기간보다는 직

접 적용이 가능한 재현기간을 제시할 필요가 있다고 판단된다.

[2-3] 표 2. 유럽기준의 최소재현기간, 년초과확률 및 초과확률(NEN, 2004)

온실의 종류	aA15 및 bB15	A10 및 B10	B5
최소재현기간(년)	15	10	5
년초과확률	0.07	0.1	0.2
초과확률 (최소재현기간=내용년수)	0.64	0.65	0.67

<sup>a</sup>A는 피복재가 골조재의 변위가 허용되지 않는 온실

<sup>b</sup>B는 피복재가 골조재의 변위를 허용하는 온실

[2-3] 표 3. 미국기준의 재현기간, 년초과확률 및 초과확률(NGMA, 2004)

온실종류	학교 등 군중이 많은 지역에 설치되는 온실	상업용 온실	재배용 온실 (비태풍 지역)	재배용 온실 (태풍지역)
재현기간(년)	100	50	25	15
년초과확률	0.1	0.02	0.04	0.67
초과확률 (내용년수 50년)	0.39	0.64	0.87	0.97
초과확률 (재현기간=내용년수)	0.63	0.64	0.64	0.64

[2-3] 표 4. 일본기준의 재현기간, 년초과확률 및 초과확률(일본시설원에협회, 1997)

온실종류 (내용연수)		플라스틱온실 (10)	플라스틱온실 (15)	유리온실 (20)
재현기간(년)	소규모	15	22	30
	대규모	30	43	57
년초과확률		0.067	0.045	0.033
		0.033	0.023	0.018
초과확률		0.5	0.5	0.5
		0.3	0.3	0.3



[2-3] 표 5. 우리나라기준의 재현기간, 년초과확률 및 초과확률(농림축산식품부, 1999)

온실종류	농업용 고정식 온실
재현기간(년)	22
년초과확률	0.045
초과확률 (내용년수 15년)	0.5

### (나) 국내온실의 분류

온실종류별 설계하중 산정용 재현기간을 결정하기 위해 우리나라에서 사용하고 있는 다양한 온실들을 구조적 특성에 따라 기초가 없는 플라스틱온실, 기초가 있는 플라스틱온실 및 유리온실 등 3가지로 분류해 보았다.

#### ① 기초가 없는 플라스틱온실

그림 6은 우리나라에 설치되어 있는 콘크리트기초가 설치되지 않은 대표적인 플라스틱온실의 사진이다. 일반적으로 내용연수를 5~10년 정도로 보고 사용하고 있다. 표 6은 농림축산식품부에서 고시한 원예특작시설내재해형규격설계도에서 제시하고 있는 기초가 없는 플라스틱온실의 종류이며 현재 대부분의 농가에서 사용하고 있는 온실 형태이다.



[2-3] 그림 6. 기초가 없는 플라스틱온실

[2-3] 표 6. 기초가 없는 플라스틱온실의 종류

규격명	폭 (m)	높이 (m)	서까래 φ(mm)×t(mm)@cm	가로대 φ(mm)×t(mm)
07-단동- 1	5.0	2.6	φ25.4×1.5t@60	7개(φ25.4×1.2t)
07-단동- 2	6.0	3.3	φ31.8×1.5t@60	9개(φ25.4×1.5t)
07-단동- 3	7.0	3.3	φ31.8×1.7t@60	9개(φ25.4×1.5t)
07-단동- 4	8.0	3.6	φ31.8×1.7t@50	9개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 1	6.0	3.3	φ31.8×1.5t@60	5개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 2	7.0	3.3	φ31.8×1.7t@60	5개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 3	7.0	3.5	φ31.8×1.7t@60	5개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 4	8.2	3.9	φ31.8×1.7t@50	5개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 5	8.2	3.5	φ31.8×1.7t@50	5개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 6	7.6	3.7	φ31.8×1.5t@50	7개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 7	8.9	3.9	φ42.2×2.1t@90	7개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 8	7.6	3.7	φ42.2×2.1t@80	7개(φ25.4×1.5t)
10-단동- 9	8.9	3.9	φ48.1×2.1t@70	7개(φ25.4×1.5t)
10-단동-10	5.4	2.6	φ25.4×1.5t@80	5개(φ25.4×1.5t)
10-단동-11	5.6	2.4	φ31.8×1.5t@100	5개(φ31.8, φ25.4)
10-단동-12	5.6	2.4	φ25.4×1.5t@65	5개(φ25.4×1.5t)
10-단동-13	5.8	2.6	φ31.8×1.5t@90	5개(φ31.8, φ25.4)
07-단동-18	7.0	2.8	φ31.8×1.7t@50	9개(φ25.4×1.5t)

② 기초가 있는 플라스틱온실

그림 7은 우리나라에 설치되어 있는 콘크리트기초가 설치된 다양한 형태의 플라스틱온실들의 사진이다. 일반적으로 내용연수를 15년 정도로 보고 사용하고 있다. 표 7은 농식품부에서 고시한 원예특작시설내재해형규격설계도 등에서 제시하고 있는 콘크리트 기초가 설치된 플라스틱온실의 다양한 종류들을 수록한 것이며 현재 대부분의 농가에서 많이 사용하고 있는 형태들이다.



[2-3] 그림 7. 콘크리트 기초가 있는 단동 및 연동 플라스틱온실

[2-3] 표 7. 콘크리트 기초가 있는 연동 플라스틱온실의 종류

온실명칭	년도	규격(m)			주요부재(mm)
		폭	측고	지붕높이	
1-2W형('95)	1995	7.0	2.7	1.85	기둥 $\Phi 48.1 \times 2.1t @ 2000$ 서까래 $\Phi 25.4 \times 1.5t @ 600$
1-2W 서까래보강형	2001	7.0	2.7	1.85	기둥 $\Phi 48.1 \times 2.1t @ 2000$ 서까래 $\Phi 25.4 \times 1.5t @ 600$ 보강서까래 $\Phi 48.1 \times 2.1t @ 2000$
1-2W 각관A형	2001	7.0	3.0	1.80	기둥 $\square 60 \times 60 \times 2.3t @ 3000$ 서까래 $\Phi 31.8 \times 1.5t @ 600$
1-2W 각관B형	2001	7.5	3.0	2.00	기둥 $\square 60 \times 60 \times 2.3t @ 3000$ 서까래 $\Phi 31.8 \times 1.5t @ 600$
1-2W 보완형	2003	7.5	3.0	1.80	기둥 $\square 60 \times 60 \times 2.3t @ 3000$ 서까래 $\Phi 25.4 \times 1.5t @ 600$
07-자동화-1형(1-2W형)	2007	7.0	2.8	1.90	기둥 $\square 60 \times 60 \times 2.3t @ 3000$ 서까래 $\Phi 31.8 \times 1.7t @ 3000$ 보조서까래 $\Phi 31.8 \times 1.5t @ 600$
08-자동화-1형(벤로형)	2008	8.0	4.5	1.20	기둥 $\square 75 \times 75 \times 2.3t @ 4000$ 서까래 $\Phi 25.4 \times 1.5t @ 600$
10-자동화-1형	2010	8.0	5.4	2.00	기둥 $\square 75 \times 75 \times 2.3t @ 3000$ 서까래 $\Phi 59.9 \times 3.2t @ 3000$ 보조서까래 $\Phi 19.1 \times 1.2t @ 1000$

③ 유리온실

그림 8은 우리나라에 설치되어 사용되고 있는 대표적인 연동 및 단동 유리온실의 형태이다. 일반적으로 내용연수를 20년 이상으로 보고 사용하고 있다. 표 8은 우리나라에서 사용하고 있는 대표적인 연동온실의 종류들을 수록한 것이다.



[2-3] 그림 8. 유리온실

[2-3] 표 8. 연동 유리온실의 종류

규격명	년도	규격(m)			주요부재(mm)	
		폭	측고	지붕 높이		
와이드스판(화란수입)	1997	9.0	4.3	2.25	기둥	□125×75×4.0t@4000
와이드스판(한국형)	1997				기둥	□100×60×3.5t@4000
와이드스판(화란수입)	1997	12.8	4.3	2.25	기둥	□125×75×4.0t@4000
와이드스판(한국형)	1997				기둥	□125×75×3.2t@4000
벤로형(화란수입)	1997	6.4 (9.6)	3.5	0.65	기둥	□100×50×3.2t@4000 (□100×60×3.0t@4000)
벤로형(한국형)	1997		4.0			

(다) 온실 종류별 구조설계용 재현기간 결정

앞 절에서 온실의 형태에 따른 종류를 분류한 결과 앞으로 우리나라 온실의 구조설계용 하중을 결정할 때 온실을 3가지 종류로 분류하여 재현기간을 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 따라서 표 9와 같이 온실을 콘크리트 기초가 없는 플라스틱온실, 콘크리트 기초가 있는 플라스틱온실 및 유리온실 3가지로 구분하고 각각의 내용연수를 10년, 15년 및 20년으로

하고 안전도를 70%로 하여 재현기간을 산정하였다. 그 결과 재현기간은 각각 30년, 45년 및 60년으로 결정되었으며 구조설계용 설계하중 결정시 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

[2-3] 표 9. 온실 종류별 구조설계용 재현기간

구 분	콘크리트 기초가 없는 플라스틱온실	콘크리트 기초가 있는 플라스틱온실	유리온실
내용연수 (년)	10	15	20
안전도 (%)	70 이상		
재현기간 (년)	30	45	60

## (2) 국외 온실 형태

### (가) 일본의 온실 형태

그림 9와 10은 각각 일본의 플라스틱온실과 유리온실을 보여주는 사진이다. 일본의 플라스틱 온실과 유리온실 모두 우리나라의 온실과 대체적으로 형태가 비슷한 것으로 분석되었다. 플라스틱 단동온실은 아치형과 복숭아형태의 온실이 대부분이었으며, 우리나라에서는 거의 찾아보기 힘든 지붕형 플라스틱온실도 발견할 수 있었다.

플라스틱 연동온실도 대부분 아치형과 복숭아 형태의 온실이었으며, 온실 높이는 저축고형과 고축고형이 상존하고 있어 우리나라처럼 재배환경 개선을 위해 온실의 높이를 점점 높여가고 있는 추세임을 간접적으로 알 수 있었다. 유리온실은 우리나라처럼 대부분 지붕형 단동온실과 연동온실 그리고 벤로형 온실이었으며 3/4형 단동온실이 재배에 사용되고 있었다.

일본의 온실형태를 분석한 결과 온실의 형태가 우리나라와 아주 비슷하기 때문에 온실구조 설계와 관련된 일본의 자료들을 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.



아치형 단동온실



복숭아형 단동온실



지붕형 단동온실



아치형 연동온실



복숭아형 연동온실

[2-3] 그림 9. 일본의 플라스틱온실



지붕형 단동온실



3/4형 단동온실



지붕형 연동온실



외부차광 벤로형 온실



벤로형 온실

[2-3] 그림 10. 일본의 유리온실

### (나) 네덜란드의 온실 형태

그림 11은 네덜란드의 온실형태를 보여주는 사진이다. 네덜란드의 온실은 벤로형 유리온실이 가장 흔한 형태로서 전체 온실의 87%를 차지하고 있으며, 12%는 광폭형 유리온실, 1%는 플라스틱온실이다. 온실의 피복재로 유리가 대부분을 차지하고 있어 플라스틱이 99%로 온실 피복재의 대부분을 차지하고 있는 우리나라와는 상황이 반대이다. 또한 온실의 형태가 모두 연동이고 그 종류가 아주 단순하여 온실설계 관련 기술개발에 있어서 대단히 유리한 조건을 갖추었다고 볼 수 있다. 우리나라도 구조 및 환경관련 기술개발 측면에서 앞으로 온실 형태의 종류를 단순화 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



벤로형 유리온실



광폭형 온실



플라스틱온실

[2-3] 그림 11. 네덜란드 온실

### (다) 스페인의 온실 형태

그림 12는 스페인에서 운영하고 있는 온실 사진이다. 최근에 시공하여 작물을 재배하고 있는 온실들은 대부분 아치형 연동 플라스틱온실이였다. 신형온실의 환기는 지붕 전체를 들어 올려 곡부에서 주로 환기가 이루어지는 시스템을 사용하였으며, 구형온실은 지붕 능선에 환기창을 설치하여 환기를 실시하였다. 스페인은 매우 고온 지역이기 때문에 온실의 측창을 완전히 개방하고 방충망을 설치하여 병충해 방지와 함께 환기가 잘 이루어지도록 하였다. 더운 지역임에도 냉방시설(패드-팬 시스템)을 갖춘 온실에서는 외부에서 유입되는 열을 차단하기 위하여 이중 에어 피복시스템을 갖추고 있는 온실도 볼 수 있었다.

스페인인 기상환경이 우리나라와 많이 다르기 때문에 온실 형태에 많은 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 온실내의 온도 상승을 억제하는데 가장 주안점을 두고 온실설계가 이루어졌음을 알 수 있었다. 또한 풍하중이나 적설하중에 대한 구조적 안전성을 고려하여 설계할 필요가 없기 때문에 적설하중에 취약한 완만한 지붕 경사를 가졌고, 골조가 풍하중에 취약한 구조로 되어 있고 골조율로 비교적 작았다.





아치형 연동 플라스틱온실(신형)



아치형 연동 플라스틱온실(구형)



아치형 연동 플라스틱온실(공사중)



이중에어온실



지붕형 연동 플라스틱온실



평지붕형 온실

[2-3] 그림 12. 스페인 온실

### (라) 미국 및 캐나다의 온실 형태

그림 13은 미국의 온실 사진이다. 미국은 대부분 아치형 연동 플라스틱 이중에어 온실이였다. 복숭아형 단동 플라스틱 이중에어 온실, 벤로형 연동 플라스틱 이중에어 온실, 풀오픈 연동 플라스틱 이중에어온실도 흔히 볼 수 있는 형태이다. 온실형태는 달라도 모든 온실에서 이중에어 시스템을 갖추고 있었다. 그림 14는 캐나다 온실의 사진이다. 대부분 아치형 연동 플라스틱 이중에어온실이며 벤로형 연동 플라스틱 이중에어 온실도 볼 수 있었다. 캐나다의 경우도 대부분의 온실이 미국과 마찬가지로 이중에어온실이었다. 미국은 플라스틱온실의 약 65%가 이중에어온실이며 캐나다에서는 온타리오주 등에 많이 보급되어 있다. 그리고, 일본, 인도, 중국 등에서도 많은 연구가 수행되고 있으며 점차 보급면적이 늘어나고 있는 추세이다.

그림 15는 이중에어온실의 구조를 도시한 것이다. 이중에어온실은 온실의 지붕면 및 측면

의 피복재를 이중으로 피복하여 송풍기를 이용하여 두 피복재 사이에 공기막을 형성하여 보온력을 증대시키는 구조의 온실이다. 이중에어온실은 보온효과가 우수하고 장치가 간단하여 설치비가 저렴하며 유지관리도 비교적 용이하다. 그리고 난방에너지 절감율은 30~50% 범위이며 강풍이나 적설에 대한 구조적인 안전성이 기존 온실보다 높은 장점이 있다. 한편, 이중에어온실은 피복재의 물방울 맺힘 현상 등으로 인한 광투과율의 저하, 자연환기성능 저하 등의 문제점을 가지고 있다. 그러나 최근에는 자연환기성능을 개선한 이중에어온실이 개발되어 보급되고 있으며 지중축열을 이용한 삼중에어온실이 개발되고 있는 실정이다.



복숭아형 단동 플라스틱 이중에어온실



아치형 연동 플라스틱 이중에어 온실



벤로형 플라스틱 이중에어 온실



지붕형 플라스틱 이중에어온실

[2-3] 그림 13. 미국 온실

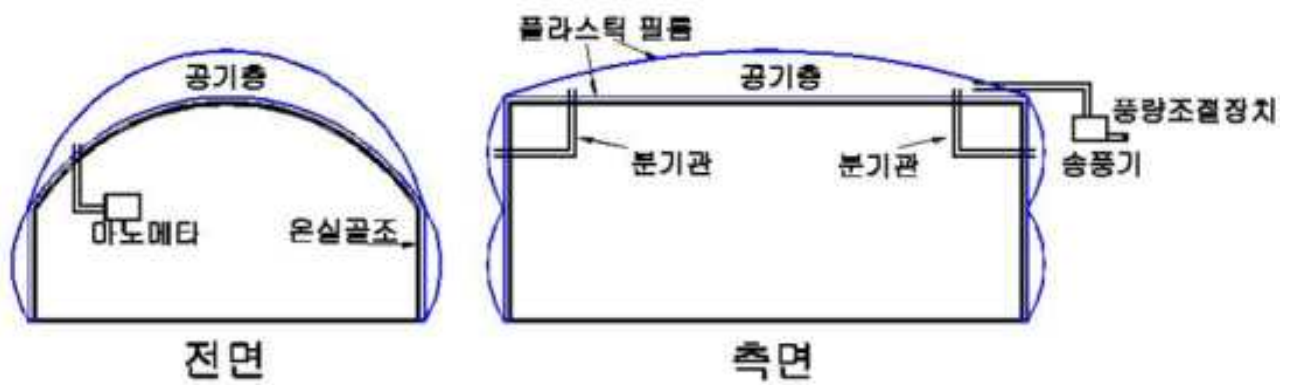


아치형 연동 플라스틱 이중에어 온실



벤로형 플라스틱 이중에어 온실

[2-3] 그림 14. 캐나다 온실



[2-3] 그림 15. 이중에어온실의 구조

(마) 중국의 온실 형태

그림 16은 중국의 온실 사진이며, 그림 17은 중국 온실의 형태별 비율을 나타낸 것이다. 중국도 우리나라보다 비율은 작지만 터널형 및 아치형 단동 플라스틱 온실이 75%로 대부분을 차지하였고 나머지 25% 정도가 중국의 고유모델인 일광온실이다. 아치형 연동 플라스틱온실과 벤로형 유리온실도 극히 작은 양이지만 국가기관에서 관리하는 곳을 중심으로 운영되고 있었다. 매우 넓은 면적의 벤로형 유리온실이 오랜 기간 방치된 경우도 있었으며 이는 운영경비에 따른 경제성 문제로 운영을 포기한 것으로 판단된다.



아치형 단동 플라스틱 온실



터널형 단동 플라스틱 온실



연동 플라스틱 온실



일광온실



벤로형 유리온실



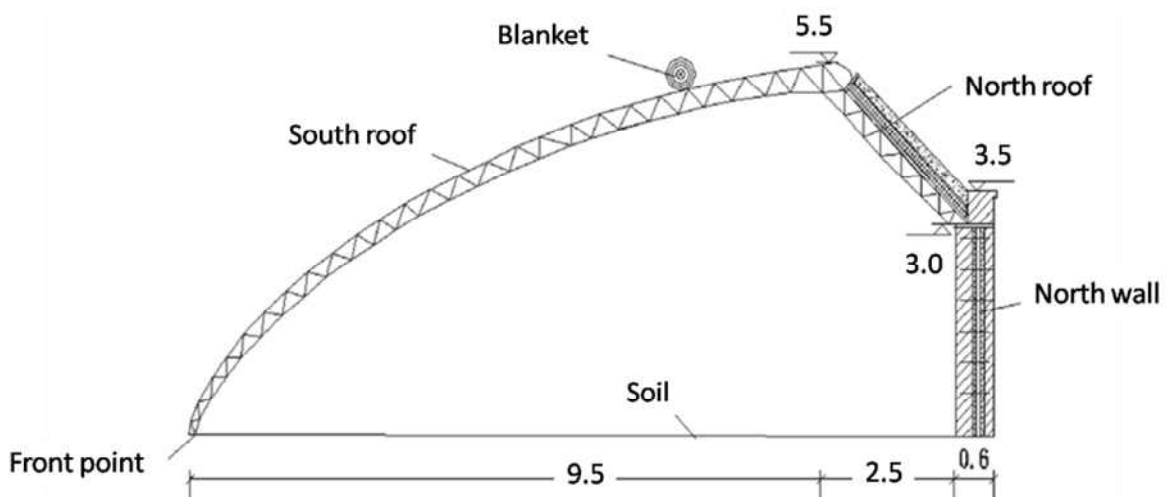
방치된 벤로형 유리온실

[2-3] 그림 16. 중국 온실



[2-3] 그림 17. 중국의 온실형태별 비율

일광온실은 중국의 전통적인 에너지 절약형 온실 시스템으로 그림 18과 같이 온실의 북쪽면을 황토 등으로 단열처리하고 남쪽면에 비닐로 피복한 편지붕형 온실로 피복재 외부에 보온커튼으로 보온력을 증대시킨 구조이다. 주간엔 온실내로 입사되는 태양에너지는 북쪽면의 단열재에 저장되었다가 야간에 3,000~50,000nm의 장파인 열에너지를 방사함으로써 온실 내부의 기온을 높게 한다. 이러한 원리에 의해 일광온실의 난방에너지 절감율은 약 20%정도 인 것으로 보고되고 있다.



[2-3] 그림 18. 일광온실의 구조

## 나. 국내외 온실의 설계하중 산정을 위한 구조 및 설비 특성 분석

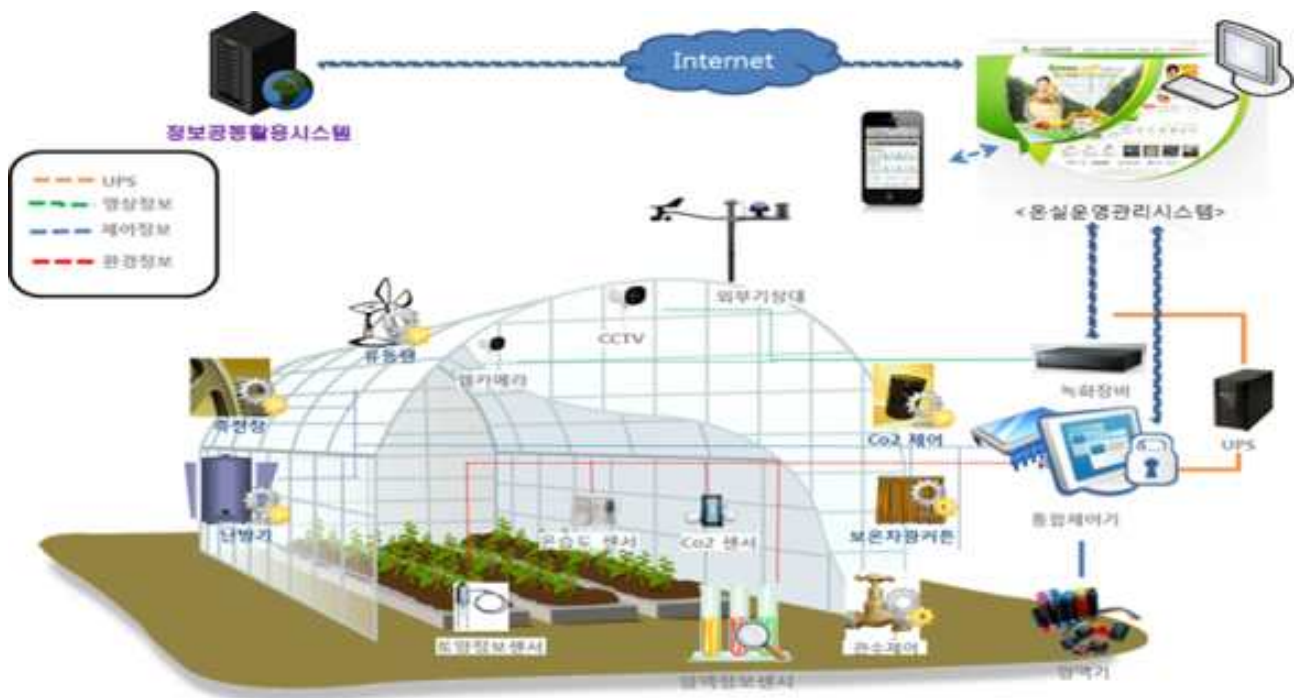
표 10은 각국의 온실구조설계용 설계하중의 종류들 중 고정하중, 설비하중 및 작물하중을 비교한 것이다. 한국기준의 고정하중은 일본의 기준과 동일하였으며 구조체의 하중은 서까래 간격에 따라 변화되고 피복재의 하중은 단위두께당의 값으로 제시하고 있다. 미국기준의 고정하중은 특정두께의 유리 및 PE피복재에 대한 설계하중을 제시하고 있다. 한국기준의 설비하중은 유럽의 기준과 유사하게 차광시스템과 관수장비에 대하여 설계하중을 제시하고 있으나 구체적인 값은 다르게 제시하고 있어 이에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 일본의 설비하중 기준에서는 가장 불리한 조건과 동적영향을 고려하도록 규정하고 있다. 미국의 설비하중기준에서는 작물하중을 포함한 최대 설비하중을 제시하고 있다. 한국기준의 작물하중은 유럽의 기준과 동일한 값을 제시하고 있으며 토마토, 오이, 딸기, 분화에 대해서만 구체적인 값을 제시하고 있다. 일본의 기준에서는 모든 작물에 대하여 동일한 값을 제시하고 있으나 최근 재배시스템의 많은 변화가 있기 때문에 이러한 변화를 고려한 작물하중에 대한 규명이 필요할 것으로 판단된다.

[2-3] 표 10. 온실구조설계용 고정하중, 설비하중 및 작물하중

국가 내용	한 국	일 본	유 럽	미 국
각 국 기준서	온실구조 설계기준 및 해설	園藝用施設安全構造基 準	Greenhouses - Design and construction (BS EN 13031-1)	Structural Design Manual
고정하 중 (kgf/m <sup>2</sup> )	구조체: 10.0+0.4×서까래 간격 피복재(1mm 두께 당): 유리 2.5 PE필름 1.4	구조체: 10.0+0.4×서까래 간격 피복재(1mm 두께 당): 유리 2.5 PE필름 1.4	-	유리(3.1mm) 7.9 유리(6.2mm)15 .9 PE필름 0.2
설비하 중 (kgf/m <sup>2</sup> )	7이상 (해설) 차광시스템: 지지와이어 50kgf/와이어 당김와이어 100kgf/와이어 관수장비: 지지와이어 250kgf/와이어	가장 불리한 조건을 고려 동적영향을 고려	차광시스템: 지지와이어 25kgf/와이어 당김케이블 50kgf/와이어 관수장비: 지지와이어 125kgf/와이어	최대 73 작물하중 포함
작물하 중 (kgf/m <sup>2</sup> )	최소 15 (해설) 토마토, 오이 15 딸기 30 분화 100	15	토마토, 오이 15 딸기 30 분화 100	-

## (1) 국내 온실의 구조 및 설비 특성

그림 19는 스마트 온실의 구조, 환기조절장치, ICT융복합시스템 및 재배장치의 구성을 개략적으로 나타낸 구성도의 예시이다. 온실구조설계를 위한 하중산정 시 고려되어야 할 구조 및 설비 특성을 분석한 결과 설계하중은 구조재의 하중인 고정하중과 유동팬, 커튼, 관수장치, 탄산가스공급장치 등의 중량인 설비하중 및 작물재배시스템 및 작물의 중량인 작물하중 등으로 구분할 수 있었다. 설계하중의 구분은 위에서 살펴본 각국의 설계기준에서 제시된 항목과 유사하나 구체적으로 고려되어야 할 하중의 요소들은 기존의 설계기준에서 제시된 것보다 더 다양한 것으로 나타났다.



[2-3] 그림 19. 스마트 온실의 구조 및 설비 구성도(예시)

### (가) 설계하중의 항목별 구성요소

#### ① 구조재 - 고정하중

그림 20은 온실의 고정하중을 보여주기 위한 플라스틱온실과 유리온실의 사진이다. 그림에서 고정하중은 구조재, 물받이 및 피복재의 중량으로 산정될 수 있음을 알 수 있다.



플라스틱온실



유리온실

[2-3] 그림 20. 온실의 고정하중

② 설비 - 설비하중

그림 21은 온실의 설비하중을 보여주기 위한 플라스틱온실과 유리온실의 사진이다. 그림에서 설비하중은 보온커튼, 차광커튼, 순환팬, 냉난방 설비, 조명설비, 관수설비 등의 중량으로 산정될 수 있음을 알 수 있다.



플라스틱온실



유리온실

[2-3] 그림 21. 온실의 설비하중

③ 재배베드 - 작물하중

그림 22는 온실의 작물하중을 보여주기 위한 플라스틱온실과 유리온실의 사진이다. 그림에서 작물하중은 바닥에 설치된 재배베드에서 재배될 경우에는 유인되는 작물하중만을 고려해야 하며 행잉 재배베드에서 재배될 경우 작물하중과 베드의 하중을 동시에 고려해야 할 것이다.





바닥에 설치된 재배베드



행잉 재배베드

[2-3] 그림 22. 온실의 작물하중

④ 설계하중 적용 예

표 11은 최근 온실구조설계 시 적용한 온실의 설계하중에 대한 예를 나타낸 것이다. 장비하중과 작물하중의 경우 서로 큰 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 온실의 설비조건, 재배작물 및 재배방법에 따라 하중조건을 명확히 구명하여 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

[2-3] 표 11. 온실 설계하중 예

온실종류	하중조건	
와이드스팬형 유리온실 (온실구조 설계기준 및 해설)	유리	11.0
	glass bar	1.0
	purlin	3.0
	트러스& 타이	5.0
		20.0 kgf/m <sup>2</sup>
	물받이	7.0 kgf/m <sup>2</sup>
	작물하중	15.0 kgf/m <sup>2</sup>
벤로형 유리온실 (온실구조 설계기준 및 해설)	유리	11.0
	glass bar	1.0
	트러스& 타이	2.0
		14.0 kgf/m <sup>2</sup>
	물받이	7.5 kgf/m <sup>2</sup>
	작물하중	15.0 kgf/m <sup>2</sup>
벤로형 플라스틱 온실	0.15mm PO필름	0.2
	가로대(φ25.4mm×1.5t)	0.6
		0.8 kgf/m <sup>2</sup>
	물받이	7.5 kgf/m <sup>2</sup>
	장비하중 (커튼+유동팬+행잉커터 등)	27.0 kgf/m <sup>2</sup>
	작물하중(딸기+배지)	23.2 kgf/m <sup>2</sup>
	*배지는 가장 무거운 피트모스를 기준으로 함	

## (나) 온실 유형별 구조, 설비 및 작물하중 적용조건 분석

온실의 고정하중, 설비하중 및 작물하중을 산정하는 관점에서 볼 때 온실의 유형이 매우 다양한 것으로 분석되었다. 따라서 온실의 유형별로 구조설계하중을 산정할 때 고려되어야 할 요소들을 구조, 설비 및 재배방식을 중심으로 분석하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

### ① 베로형 연동 유리온실 - 공중에 매달린 재배베드

그림 23은 행잉거터 재배시스템을 갖춘 베로형 연동 유리온실의 사진으로 구조계산을 위한설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 유리, 물받이, 트러스 중방
- ㉡ 설비하중: 차광커튼, 보온커튼, 순환팬, 냉난방 장치, 조명장치
- ㉢ 작물하중: 유인작물, 재배장치



천정에 설치된 각종 설비



행잉 재배베드

[2-3] 그림 23. 베로형 연동 유리온실(행잉 재배베드)

### ② 베로형 연동 유리온실 - 바닥에 설치된 재배베드

그림 24는 재배시스템이 바닥에 설치되어 있는 베로형 연동 유리온실의 사진으로 설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다. 행잉거터 재배시스템 온실에서는 재배장치의 무게를 고려해야 하지만 이 온실에서는 재배장치의 무게를 고려할 필요가 없다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 유리, 물받이, 트러스 중방
- ㉡ 설비하중: 차광커튼, 보온커튼, 순환팬, 냉난방 장치, 조명장치
- ㉢ 작물하중: 유인작물



천정에 설치된 각종 설비



바닥에 설치된 재배베드

[2-3] 그림 24. 벤로형 연동 유리온실(바닥에 설치된 재배베드)

③ 벤로형 연동 유리온실 - 2층 트러스 중방

그림 25는 바닥에 설치된 재배시스템을 갖춘 벤로형 연동 유리온실로 특별히 중방구조가 2층 트러스 구조로 되어 있고 천정에 설치된 설비는 커튼만 있다. 설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 유리, 물받이, 2층 트러스 중방
- ㉡ 설비하중: 차광커튼, 보온커튼
- ㉢ 작물하중: 유인작물



2층 트러스 중방



커튼 설비

[2-3] 그림 25. 벤로형 연동 유리온실(2층 트러스 중방)

④ 베로형 연동 플라스틱온실

그림 26은 바닥에 설치된 재배시스템을 갖춘 베로형 연동 플라스틱온실로 설비로는 다겹보온커튼과 순환팬이 설치되어 있다. 설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 플라스틱피복재, 물받이, 트러스 중방
- ㉡ 설비하중: 보온커튼, 순환팬
- ㉢ 작물하중: 유인작물



플라스틱 피복



다겹보온커튼

[2-3] 그림 26. 베로형 연동 플라스틱온실

⑤ 아치형 연동 플라스틱온실 - 트러스 중방

그림 27은 바닥에 설치된 재배시스템을 갖춘 아치형 연동 플라스틱온실로 중방은 트러스 구조로 되어 있고 천정에 설치된 설비는 커튼만 있다. 또한 천정에 유인된 작물이 없기 때문에 작물하중은 고려될 필요가 없다. 설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 플라스틱피복재, 물받이, 트러스 중방
- ㉡ 설비하중: 차광커튼, 보온커튼
- ㉢ 작물하중: 없음



바닥재배



트러스 중방

[2-3] 그림 27. 아치형 연동 플라스틱온실(트러스 중방)

⑥ 아치형 연동 플라스틱온실 - 강관 중방

그림 28은 바닥에 설치된 재배시스템을 갖춘 아치형 연동 플라스틱온실로 중방은 강관 구조로 되어 있고 설비로는 커튼과 팬코일유니트가 있다. 또한 작물은 천정에 유인되어 있기 때문에 작물하중이 고려되어야 한다. 설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 플라스틱피복재, 물받이, 강관 중방
- ㉡ 설비하중: 차광커튼, 보온커튼, 냉난방 장치
- ㉢ 작물하중: 유인작물



유인재배



강관 중방

[2-3] 그림 28. 아치형 연동 플라스틱온실(강관 중방)

⑦ 아치형 단동 플라스틱온실 - 강관 중방

그림 29는 바닥에 설치된 재배시스템을 갖춘 아치형 단동 플라스틱온실로 중방은 강관 구조로 되어 있고 설비로는 커튼이 있다. 또한 작물은 천정에 유인되어 있기 때문에 작물하중이 고려되어야 한다. 설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 플라스틱피복재, 강관 중방
- ㉡ 설비하중: 차광커튼, 보온커튼, 냉난방 장치
- ㉢ 작물하중: 유인작물



유인재배



강관 중방

[2-3] 그림 29. 아치형 단동 플라스틱온실(강관 중방)

⑧ 아치형 단동 플라스틱온실 - 보온 덮개

그림 30은 고설재배시스템을 갖춘 아치형 단동 플라스틱온실로 중방은 없고 설비나 견인되는 작물도 없다. 다만 연동온실과는 달리 온실외부에 보온 덮개가 설치되어 있다. 설계하중의 항목별 하중산정에 고려되어야 할 요소는 다음과 같다.

- ㉠ 고정하중: 구조재, 플라스틱피복재
- ㉡ 설비하중: 보온 덮개
- ㉢ 작물하중: 없음



고설재배



보온 덮개

[2-3] 그림 30. 아치형 단동 플라스틱온실(보온 덮개)

(다) 고정, 설비 및 작물하중 값 검토

① 고정하중

고정하중은 구조재, 피복재 및 거터의 하중으로 구성됨을 알 수 있었으며, 이들 하중의 크기를 검토한 결과는 다음과 같다.

온실의 폭을 0.5m 간격으로 변화시켜 산정한 폭에 따른 플라스틱온실 및 유리온실 구조재의 단위면적당 하중은 각각 표 12 및 표 13과 같다. 플라스틱온실의 단위면적당 구조재의 하중이 6.0~8.5kgf/m<sup>2</sup>이고 유리온실의 단위면적당 구조재의 하중은 17~57kgf/m<sup>2</sup> 로 범위가 매우 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다.

[2-3] 표 12. 플라스틱 온실의 형태별 단위면적당 작용하중(농촌진흥청, 2015)

구분	폭 (m)	단위면적당 하중(kgf/m <sup>2</sup> )				
		-1 (m)	-0.5 (m)	기준폭 (m)	0.5 (m)	1.0 (m)
07-자동화-1	7.0	7.6	7.9	8.0	8.1	8.3
08-자동화-1	8.0	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3
10-자동화-1	8.0	8.0	8.1	8.2	8.4	8.5

[2-3] 표 13. 유리온실 형태별 단위면적당 작용하중(농촌진흥청, 2015)

구분	폭 (m)	단위면적당 하중(kgf/m <sup>2</sup> )				
		-1 (m)	-0.5 (m)	기준폭 (m)	0.5 (m)	1.0 (m)
농진·97-가-1	9.0	30.2	32.1	34.0	35.9	37.8
농진·97-가-2	12.8	48.5	50.6	52.6	54.7	56.7
농진·97-나-1	6.4	17.1	18.7	20.3	21.9	23.4
농진·97-나-2	9.6	28.2	29.8	31.5	33.1	34.7

표 14는 간척지 온실의 구조설계 기준 연구(농촌진흥청, 2015), 일본원예용시설안전구조기준(일본시설원예협회, 1997) 및 온실구조 설계기준 및 해설(농식품부, 1999)에 제시된 구조재의 중량을 비교한 것이다. 간척지 온실의 구조설계 기준 연구는 실제 계산한 값이고, 일본원예용시설 안전구조기준은 고정하중 계산식(10.0+0.4×서까래 간격)을 사용하여 계산한 값으로 고정하중의 값이며, 온실구조 설계기준 및 해설은 구조설계 실례에서 제시된 값이다. 일본원예용시설안전구조 기준은 고정하중의 값이기 때문에 피복재와 거터의 무게를 포함한 값이며 이를 감안하여 비교할 필요가 있다. 비교결과 온실구조 설계기준 및 해설과 일본원예용시설안전구조기준과는 온실의 종류에 따라 비교적 큰 차이가 나는 경우가 있으며, 간척지 온실의 구조설계 기준 연구와는 아주 큰 차이가 있었다. 따라서 기존의 기준에서 제시된 구조하중을 그대로 사용하는 것은 문제가 있으며 구조재의 하중을 적절히 적용할 수 있는 방법이 새롭게 제시될 필요가 있을 것으로 판단된다.

피복재의 하중은 한국, 일본 및 미국 등 모든 나라의 기준에서 염화비닐(PE필름)은 두께 1mm당 1.4kgf/m<sup>2</sup>, 유리는 2.5kgf/m<sup>2</sup>의 값을 동일하게 제시하고 있으며, 적절하게 사용이 가능한 값으로 판단되었다.

거터의 하중은 온실구조 설계기준 및 해설(농식품부, 1999)의 구조설계 실례에서 7.0kgf/m<sup>2</sup>으로 제시되고 있으나 검토가 필요하다고 판단된다.

[2-3] 표 14. 단위면적당 구조재 하중의 비교(kgf/m<sup>2</sup>)

구분	플라스틱온실			유리온실			
	07-자 동화-1	08-자 동화-1	10-자 동화-1	농진·97 -가-1	농진·97 -가-2	농진·97 -나-1	농진·97 -나-2
간척지 온실의 구조설계 기준 연구 (농촌진흥청, 2015)	8.0	6.1	8.2	34.0	52.6	20.3	31.5
일본원예용시설안전구조기준 (일본시설원예협회, 1997)	10.3	10.3	10.4	11.6	11.6	11.6	11.6
온실구조 설계기준 및 해설 (농식품부, 1999)	-	-	-	8.0	11.0	2.0	3.0



② 설비하중

㉠ 공중 설비

앞에서 설비하중은 보온커튼, 차광커튼, 순환팬, 냉난방 설비, 조명설비, 관수설비 등의 중량으로 구성됨을 알 수 있었다. 그림 31~35는 각종 커튼, 순환팬, 난방 설비, 조명설비, 관수설비들의 사진이다. 이들의 하중을 조사한 결과 커튼의 단위면적당 하중은  $1.0\text{kgf}/\text{m}^2$ , 순환팬은  $0.2\text{kgf}/\text{m}^2$ , 냉난방 설비는  $0.5\text{kgf}/\text{m}^2$  인 것으로 조사되었으며(표 15), 조명설비와 관수설비의 하중은 추가적인 계산이 필요하다. 각각의 하중이 결정되면 온실의 설비조건에 따라 하중들을 조합하여 설계 하중을 결정할 수 있을 것이다.



2중 커튼



3중 커튼



보온덮개

[2-3] 그림 31. 각종 커튼



공기유동

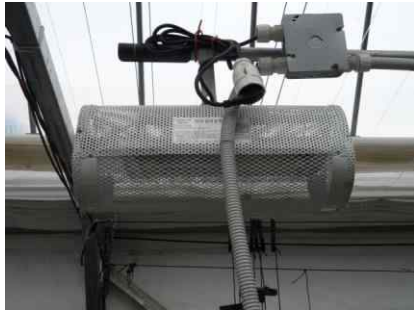


제습



교반

[2-3] 그림 32. 각종 순환팬



전기난방기

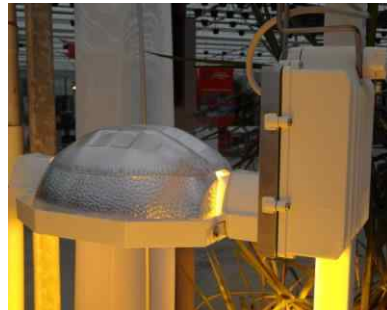


팬코일유닛



가스난방기

[2-3] 그림 33. 각종 난방설비



[2-3] 그림 34. 각종 조명설비



[2-3] 그림 35. 관수설비

[2-3] 표 15. 팬의 종류에 따른 단위면적당 작용하중(농촌진흥청, 2015)

종류 및 재질		작용하중 (kgf/m <sup>2</sup> )	
순환팬	스테인리스	0.20~0.22	
	플라스틱	단동 온실	0.08
		연동 온실	0.21
	알루미늄	0.12	
공기교반 제습기	스테인리스	0.24	
팬코일	스테인리스	0.48	

㊤ 바닥 설비

그림 36은 바닥에 설치된 각종 설비를 보여주는 사진이다. 온실 바닥에 작용하는 설비하중들을 산정할 때에는 이러한 각종 설비들의 중량을 고려하여 산정할 필요가 있다.



난방시스템



양액공급시스템



작물재배시스템



환경조절시스템

작업기계

탄산가스탱크

[2-3] 그림 36. 바닥에 설치된 각종 설비

㊤ 계측 및 제어장비

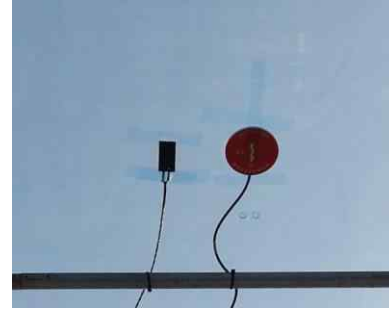
그림 37은 온실에 설치되는 각종 환경요소 측정용 센서와 제어용 장비들의 사진이다. 센서들의 중량은 비교적 가볍기 때문에 설비하중을 산정할 때 무시해도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 제어장치는 설치 위치 및 중량을 고려하여 적용여부를 결정할 필요가 있다.



온습도 센서



데이터로거



표면온도 센서



전천일사 센서



광량자 센서



탄산가스 센서



풍향풍속 센서



토양수분 센서



EC 센서



창 개폐기



탄산가스 조절장치



컨트롤 패널

[2-3] 그림 37. 계측 및 제어 장비

① 작물하중

앞에서 작물하중은 바닥에 설치된 재배베드에서 재배될 경우에는 유인되는 작물하중만을 고려하며 행잉 재배베드에서 재배될 경우에는 작물하중과 베드의 하중을 동시에 고려할 필요가 있는 것으로 분석되었다. 그림 38은 각종 재배설비들의 사진이다.

표 16은 한국(온실구조 설계기준 및 해설) 및 유럽(Greenhouses -Design and construction) 기준의 작물하중을 나타낸 것이고, 표 17은 최만권 등(2013)이 실험을 통해 제시한 행잉베드 재배방식의 파프리카 및 토마토 작물하중을 나타낸 것이다. 토마토의 경우 설계기준의 값과 실험값이 각각  $15.0\text{kgf/m}^2$  및  $16.7\text{kgf/m}^2$ 로 약간의 차이를 보여주고 있다. 또한 설계기준에는 행잉거터에 대한 고려가 없으나 거터를 고려하게 되면 작물하중이 훨씬 더 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 최근 재배방식의 개선에 따른 작물의 중량 증가와 재배장치 중량 등이 고려된 작물하중에 대한 새로운 정립이 필요할 것으로 판단된다.



[2-3] 그림 38. 각종 재배설비

[2-3] 표 16. 한국 및 유럽 기준의 작물하중

작물종류	토마토	오이	딸기	분화
작물하중(kgf/m <sup>2</sup> )	15	15	30	100

[2-3] 표 17. 행잉베드 재배방식의 파프리카 및 토마토 작물하중(최만권 등, 2013)

구분	단위면적당 작물하중 (kgf/m <sup>2</sup> )	단위면적당 행잉베드 하중	행잉베드 설치시 단위면적당 최대 작물하중 (kgf/m <sup>2</sup> )
파프리카	15.9	11.0	26.9
토마토	16.7	13.0	29.7

## (2) 국외 온실의 구조 및 설비 특성

앞에서 온실구조설계를 위한 하중산정 시 고려되어야 구조 및 설비 특성을 분석한 결과 설계하중은 구조재의 하중인 고정하중과 유동판, 커튼, 관수장치, 탄산가스공급장치 등 설비하중 및 작물재배장치 및 작물하중 등으로 구분할 수 있었다. 따라서 각국의 온실에 대해서 고정하중, 설비하중 및 작물하중 관점에서 구조 및 설비 특성들을 분석하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

### (가) 일본 온실의 구조 및 설비 특성

#### ① 구조재 - 고정하중

그림 39는 온실의 고정하중을 분석하기 위한 플라스틱온실과 유리온실의 사진이다. 우리나라에 비해 설하중, 풍하중, 지진하중 등이 훨씬 크고 이에 따른 재해의 규모도 대단히 크기 때문에 구조재의 단면이 우리나라 온실에 비해 대체적으로 큰 것으로 분석되었다.



플라스틱온실



유리온실

[2-3] 그림 39. 일본 온실의 구조재

#### ② 설비 - 설비하중

그림 40은 일본 온실의 설비하중을 분석하기 위한 플라스틱온실과 유리온실의 사진이다. 그림에서 설비하중은 보온커튼, 차광커튼, 순환팬, 조명설비 등이 주요한 하중요인이 되고 있으며 추가적으로 냉난방 설비, 관수설비 등의 중량이 설비하중으로 산정될 수 있을 것이다. 전체적으로 설비하중의 조건은 우리나라와 거의 동일하게 산정될 수 있을 것으로 판단되었다.



플라스틱온실



유리온실

[2-3] 그림 40. 일본 온실의 설비하중

### ③ 재배베드 - 작물하중

그림 41는 일본 온실의 작물하중을 분석하기 위한 유인재배가 되고 있는 오이와 토마토 재배온실 사진이다. 그림에서와 같이 작물하중은 바닥에 설치된 재배베드에서 재배될 경우 유인되는 작물하중만이 고려되어야 하며 행잉 재배베드에서 재배될 경우 작물하중과 베드의 하중이 동시에 고려되어야 한다.



오이 유인재배 온실



토마토 유인재배 온실

[2-3] 그림 41. 일본 온실의 작물하중

구조설계용 관점에서 일본 온실의 구조재, 설비, 작물재배시스템을 분석한 결과 설비하중과 작물하중에 대한 고려는 우리나라와 거의 동일하게 적용될 수 있을 것으로 판단되나 구조재의 하중은 우리나라보다 비교적 더 큰 하중으로 작용될 것으로 판단된다.



## (나) 네덜란드 온실의 구조 및 설비 특성

### ① 구조재 - 고정하중

그림 42는 네덜란드 온실의 고정하중을 분석하기 위한 벤로형 유리온실의 사진이다. 우리나라에 서와 같이 고정하중은 구조재, 물받이 및 피복재의 중량으로 산정될 수 있음을 알 수 있으나, 골조재 및 커튼의 크기를 고려할 때 대체로 구조재의 하중이 다소 가벼울 것으로 판단된다.



벤로형 유리온실

[2-3] 그림 42. 네덜란드 온실의 구조

### ② 설비 - 설비하중

그림 43은 네덜란드 온실의 설비하중을 분석하기 위한 벤로형 유리온실의 사진이다. 그림에서 설비하중은 일반적으로 설비하중 산정 시 고려되고 있는 보온커튼, 차광커튼, 순환팬, 냉난방 설비, 조명설비, 관수설비 등의 중량 외에 벤치의 이송장치, 공중 난방배관 및 행잉 바스켓 등의 설비가 추가적으로 설비하중으로 고려될 수 있음을 보여주고 있다.



벤치 이송장치



인공광



공중 난방배관



행잉 바스켓

[2-3] 그림 43. 네덜란드 온실의 설비

### ③ 재배베드 - 작물하중

그림 44는 네덜란드 온실의 작물하중을 분석하기 위한 행잉재배시스템의 사진이다. 네덜란드의 경우 행잉재배시스템이 비교적 많이 사용되고 있었다. 따라서 재배시스템에 의한 하중이 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.

네덜란드의 베로형 유리온실은 다른 형태의 유리온실에 비해 구조재 및 커튼의 단면 크기를 고려할 때 대체로 구조재의 하중이 다소 가벼울 것으로 판단되었다. 설비하중은 일반적으로 설비하중 산정 시 고려되고 있는 보온커튼, 차광커튼, 순환팬, 냉난방 설비, 조명설비, 관수설비 등의 중량 외에 벤치의 이송장치, 공중 난방배관 및 행잉 바스켓 등의 설비가 추가적으로 설비하중으로 고려될 수 있음을 보여주었다.



토마토 행잉재배 시스템



딸기 행잉재배 시스템

[2-3] 그림 44. 네덜란드 온실의 재배 시스템

(다) 스페인 온실의 구조 및 설비 특성

① 구조재 - 고정하중

그림 45는 스페인의 아치형 온실과 평탄형 온실의 지붕구조를 보여주는 사진이다. 풍하중이나 적설하중의 크기가 작기 때문에 우리나라 온실과 비교해서 골조율이 매우 낮은 것으로 판단된다. 특히 평탄형 온실에서는 골조하중이 거의 무시될 수 있는 구조이다. 아치형 온실에서 고려되는 고정하중은 구조재, 물받이 및 피복재의 중량이다.



아치형 온실 지붕구조



평탄형 온실 지붕구조

[2-3] 그림 45. 스페인 온실의 구조

② 설비 - 설비하중

그림 46은 스페인 온실의 각종 설비 사진이다. 스페인 온실의 경우 공중에 매달린 설비는 사진에서 볼 수 있는 바와 같이 거의 없는 상태이다. 고온 극복을 위해 차광설비가 대부분 갖추어져 있으나 차광설비를 전혀 갖추지 않은 온실도 볼 수 있었다. 관수시설을 공중에 설치한 온실도 있었다.



차광설비



차광설비



무차광 온실



관수설비

[2-3] 그림 46. 스페인 온실의 설비

### ③ 재배베드 - 작물하중

그림 47은 스페인 온실에서 재배되고 있는 작물들을 보여주고 있다. 토마토와 피망이 많이 재배되고 있으며 주로 토양재배로 이루어지고 있었으며 대부분 유인재배 방식으로 재배되고 있기 때문에 스페인 온실에서는 작물하중이 중요한 설계하중이 될 것으로 분석되었다.

스페인의 온실은 풍하중이나 적설하중의 크기가 작기 때문에 우리나라 온실과 비교해서 골조율이 매우 낮은 것으로 판단된다. 특히 평탄형 온실에서는 골조하중이 거의 무시될 수 있는 구조이다. 대부분의 온실이 고온 극복을 위해 차광설비를 갖추고 있었으며 관수시설을 공중에 설치한 온실도 있었다. 대부분 유인재배 방식으로 재배되고 있기 때문에 스페인 온실에서는 작물하중이 중요한 설계하중이 될 것으로 분석되었다.



토마토 토양재배온실



피망 토양재배온실



피망 수경재배온실



오이 토양재배온실

[2-3] 그림 47. 스페인 온실의 재배 시스템

(라) 미국 및 캐나다 온실의 구조 및 설비 특성

① 구조재 - 고정하중

그림 48은 미국 및 캐나다의 대표적인 온실형태인 지붕형 유리온실과 아치형 플라스틱온실의 지붕구조를 보여주는 사진이다. 우리나라 온실과 비교해서 형상이나 골조율이 비슷한 것으로 판단된다. 고정하중은 구조재, 물받이 및 피복재의 중량으로 구성된다.



지붕형 유리온실 지붕구조



아치형 플라스틱온실 지붕구조

[2-3] 그림 48. 미국 및 캐나다 온실의 지붕구조

## ② 설비 - 설비하중

그림 49는 미국 및 캐나다 온실의 각종 설비 사진이다. 미국 및 캐나다 온실의 경우 스페인 온실과 비교했을 때 공중에 매달린 설비가 대단히 많은 것으로 나타나 광투과율이 상당히 줄어들 것으로 분석되었다. 이는 대부분 분화 재배온실이기 때문에 광투과율이 큰 문제가 되지 않기 때문인 것으로 판단되며, 토마토 재배온실의 경우는 분화 재배온실에 비해 광투과를 방해하는 공중에 설치된 설비가 훨씬 적었다. 분화 재배온실의 경우 두상 난방배관, 인공광, 보온커튼, 관수설비, 행잉 바스켓 이송시스템 및 점적관수시스템 등이 공중에 설치되어 온실의 광투과를 방해하는 것으로 분석되었다. 따라서 설비하중에는 두상 난방배관, 인공광, 보온커튼, 관수설비, 행잉 바스켓 이송시스템 및 점적관수시스템 등의 중량이 포함되어야 할 것이다.



두상 난방배관 및 인공광



보온커튼



관수설비



이중에어온실 공기주입시스템



공중 점적관수시스템



행잉 바스켓 이송 시스템

[2-3] 그림 49. 미국 및 캐나다 온실의 설비

### ③ 재배베드 - 작물하중

그림 50은 미국 및 캐나다 온실의 작물재배시스템을 보여주고 있다. 대부분의 분화재배온실들이 바닥에서 재배하고 있었고 공간의 유용한 활용을 위해 공중에서도 재배를 하였으며, 벤치에서도 재배가 이루어지고 있었다. 반면에 토마토 등 유인재배시스템을 사용하는 온실도 있었다. 따라서 분화재배온실에서는 공중재배를 하는 경우에만 행잉 바스켓의 중량을 작물하중으로 고려하여야 할

것이며 유인재배시스템을 사용하는 온실에서는 작물의 중량을 작물하중으로 고려해야 할 것이다.



벤치 재배시스템



바닥 재배시스템



공중 재배시스템



토마토 유인재배시스템



장미 재배온실



상업용 온실

[2-3] 그림 50. 미국 및 캐나다 온실의 재배 시스템

미국 및 캐나다의 온실은 우리나라 온실과 비교해서 형상이나 골조가 비슷하여 고정하중은 구조재, 물받이 및 피복재의 중량으로 구성된다. 미국 및 캐나다 온실의 경우 대부분 분화를 재배하고 있었기 때문에 공중에 매달린 설비가 대단히 많은 것으로 나타나 광투과율이 상당히 줄어들 것으



로 분석되었다. 분화 재배온실의 경우 두상 난방배관, 인공광, 보온커튼, 관수설비, 행잉 바스켓 이송시스템 및 점적관수시스템 등이 공중에 설치되어 온실의 광투과를 방해하는 것으로 분석되었다. 따라서 설비하중에는 이들의 중량들이 포함되어야 할 것이다. 분화재배온실에서는 공중재배를 하는 경우에만 행잉 바스켓의 중량을 작물하중으로 고려할 필요가 있다.

(마) 중국 온실의 구조 및 설비 특성

① 구조재 - 고정하중

그림 51은 중국의 대표적인 온실인 일광온실 및 아치형 플라스틱온실과 중국에서 주로 국가기관에 설치되어 있는 벤로형 유리온실의 지붕구조를 보여주는 사진이다. 아치형 플라스틱온실은 우리나라 온실과 비교해서 형상이나 골조율이 비슷한 것으로 판단된다. 일광온실의 지붕구조골조는 트러스 구조로 되어 있어 서까래의 간격이 매우 넓게 배치되어 있다. 벤로형 유리온실의 지붕구조는 다른 나라의 벤로형 온실들과 구조가 동일하다.



아치형 플라스틱온실 지붕구조



아치형 플라스틱온실 이중지붕구조



일광온실 지붕구조



벤로형 유리온실 지붕구조

[2-3] 그림 51. 중국 온실의 지붕구조

## ② 설비 - 설비하중

그림 52는 중국 온실의 각종 설비 사진이다. 일광온실의 경우 공중에 설치된 내부시설은 전혀 없었으나 온실 외부에 보온덮개가 설치되어 하중산정 시 고려할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 아치형 플라스틱온실도 커튼외에는 다른 시설들은 없었다. 수입된 벤로형 유리온실의 경우도 커튼과 유동팬만이 설치되어 있었다. 따라서 설비하중에는 주로 커튼의 중량이 고려되어야 할 것으로 판단되었다.



일광온실의 내부



일광온실의 보온덮개



아치형 플라스틱온실의 보온커튼



벤로형 유리온실의 보온커튼 및 유동팬

[2-3] 그림 52. 중국 온실의 설비

## ③ 재배베드 - 작물하중

그림 53은 중국 온실의 작물재배시스템을 보여주고 있다. 아치형 플라스틱온실, 일광온실 및 벤로형 온실 모두 유인재배시스템과 벤치재배시스템을 사용하고 있었다. 따라서 유인재배시스템을 사용하는 온실에서는 작물의 중량을 작물하중으로 고려해야 할 필요가 있으며, 벤로형 온실에서는 행잉거터시스템을 사용하는 경우도 있기 때문에 이 경우 거터의 하중도 고려되어야 할 것이다.



아치형 플라스틱온실 유인재배시스템



아치형 플라스틱온실 벤치재배시스템



일광온실 유인재배시스템



일광온실 벤치재배시스템



벤로형 유리온실 행잉거더 재배시스템



벤로형 유리온실 벤치재배시스템

[2-3] 그림 53. 중국 온실의 재배 시스템

중국의 아치형 플라스틱온실은 우리나라 온실과 비교해서 형상이나 골조율이 비슷하였으며, 일광 온실의 지붕구조골조는 트러스 구조로 되어 있어 서까래의 간격이 매우 넓게 배치되어 있었다. 일 광온실의 경우 공중에 설치된 내부설비는 전혀 없었으나 외부에 보온덮개가 설치되어 있어 하중산 정 시 이를 고려할 필요가 있을 것으로 판단되었다. 아치형 플라스틱온실과 벤로형 유리온실의 경

우도 커튼의 하중이 주된 설비하중이 될 것으로 판단되었다. 아치형 플라스틱온실, 일광온실 및 벤로형 온실 모두 바닥재배, 유인재배시스템과 벤치재배시스템을 사용하고 있었기 때문에 유인재배시스템을 사용하는 온실에서는 작물의 중량을 작물하중으로 고려해야 할 것이다.

## 2-3-2. 2차 년도

### 가. 온실의 작물하중 및 설비하중 산정

농산물 생산에서 시설농업의 비중이 점차 높아지고 있으나 온실을 세부적으로 설계하고 시공하는 데 있어서 단일화된 공통적인 기준이 적용되지 않고 있는 실정이다. 특히, 최근 늘어나고 있는 대규모 유리온실도 외국 설계기준이 그대로 적용되어 설계 시공되는 사례라고 할 수 있다. 특히, 국내는 플라스틱온실이 시설면적의 98% 이상으로 대부분을 차지하고 있지만 국내의 환경 특성을 제대로 반영한 설계기준이 적용되지 못하고 있는 실정이다(RDA, 2016).

우리나라에서는 온실의 구조설계기준과 관련하여 원예시설의 구조 안전기준(RDC, 1995), 온실구조 설계기준 및 해설(MAFRA, 1999), 원예·특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서(MIFAFF & RDA, 2010), 건축구조 설계기준 및 해설(AIK, 2009) 등이 제정 되어 현재까지 적용되고 있지만 설계결과들이 기준들 간에 많은 차이가 있는 실정이다(Choi 등, 2014; Kim 등, 2014). 외국의 경우에도 온실의 구조설계와 관련하여 일본의 Standard for structural safety of greenhouse(JGHA, 1997), 일본의 Recommendations for loads on buildings(AIJ, 2004), 네덜란드의 Greenhouses-Design and Construction(NEN, 2004) 및 미국의 National Greenhouse Manufactures Association Structural Design Manual(NGMA, 2004) 등이 각국에서 오래 전부터 설계기준으로 정립되어 일정기간을 두고 개정되면서 사용되어 오고 있는 실정이다(Jung 등, 2015).

온실 구조에 작용하는 하중에는 고정하중, 적설하중, 풍하중, 작물하중 및 설비하중 등이 있으며, 우리나라에서 사용하고 있는 온실설계기준에서는 이들에 대한 각각의 작용하중이나 적용방법 등이 제시되어 있고, 작물하중이나 설비하중도 일정 값을 적용하도록 되어 있다(RDC, 1995; MAFRA, 1999). 그렇지만 온실 구조설계시 많은 경우 작물하중이나 설비하중을 무시하고 풍하중이나 적설하중 중심으로 구조의 안전성을 검토하고 있는 실정이다. 농림수산식품부와 농촌진흥청에서 개정 고시한 원예·특작시설 내재해형 규격도·시방서도 풍하중과 적설하중을 고려하여 설계하고 있다(MIFAFF와 RDA, 2010). 그러나 최근 토마토나 파프리카의 경우 단수나 품질을 고려하여 측고가 높은 온실을 선호하는 경향이 있고, 온실의 측고를 높게 하여 재배 단수를 증가시키게 되면 온실 증방으로 유인되는 작물의 하중도 증가하게 되므로 작물하중의 중요성도 점차 증대되고 있다(Yu 등 2012; Choi 등, 2013).

또한, 최근 행잉거터를 사용한 재배방식이 도입되고 있고 이를 고려하게 되면 작물하중이 훨씬 더 증가하게 되나 현재 우리나라의 온실설계기준에서는 이를 고려하도록 되어 있지 않다(MIFAFF와 RDA, 2010). 따라서 최근 재배방식의 개선에 따른 작물의 증량 증가와 재배설비 증량 등 다양한 현실조건이 고려된 작물하중에 대한 새로운 정립이 필요할 것으로 판단된다.

이를 위해서는 실제로 작물하중을 측정하여 설계값을 제시할 필요가 있지만 현재까지는 국내에서 보고사례가 많지 않은 실정이다. RDA(1994)에서 토마토, 오이, 방울토마토, 참외 및 수

박에 대해 온실 구조체에 걸리는 작물하중을 제시하였으나 실험방법이 구체적으로 제시되지 않았다. 또한 Choi 등(2013)이 파프리카 및 토마토의 유인 줄을 push and pull gauge와 연결하여 작물하중을 측정하여 제시한 바 있다. 토마토 작물하중의 경우 RDA(1994)에서 제시한 평균값  $9.94\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$  및 표준편차  $2.79\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 Choi 등(2013)이 제시한 최대값  $7.05\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 과는 많은 차이가 있다. 따라서 이러한 차이에 대한 검토와 함께 현재 우리나라에서 재배되고 있는 다양한 유인 작물들의 작물하중에 대한 측정과 분석을 통해 재배온실에 실제 적용 가능한 설계 자료를 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한 재배설비를 포함한 다양한 온실설비의 하중에 대한 검토도 필요하다.

본 연구에서는 온실의 구조설계용 작물하중을 산정하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 각국의 온실구조설계용 작물하중 기준들을 비교분석하고 여러 가지 온실작물들에 대하여 작물하중을 직접 측정하고 분석하였다. 또한 재배설비를 포함한 각종 설비의 하중에 대해서 문헌조사를 통해 분석하였다.

## (1) 작물하중

### (가) 각국의 작물하중 설계기준 비교 및 작물하중 측정 방법

#### ① 각국의 작물하중 설계기준 비교

각국의 온실구조설계용 작물하중을 비교하기 위하여 표 18에서와 같이 우리나라의 온실구조 설계기준 및 해설(MAFRA, 1999)과 원예시설의 구조안전기준(RDC, 1995), 네덜란드의 Greenhouses-Design and Construction(NEN, 2004), 일본의 Standard for structural safety of greenhouse(JGHA, 1997) 및 미국의 Structural Design Manual(NGMA, 2004) 등 4개국의 온실설계기준을 대상으로 비교분석을 실시하였다.

[2-3] 표 18. 각국의 온실구조설계용 작물하중

Nations	Standards	Publisher(year)
Netherlands	Greenhouses- Design and Construction	Netherlands Standards Institution(2004)
Japan	Standard for structural safety of greenhouse	Japan Greenhouse Horticulture Association(1997)
Korea	Greenhouse structure design standards and explanations	Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(1999)
	Greenhouse structural requirements	Rural Development Corporation(1995)
USA	Structural Design Manual	National Greenhouse Manufacturers Association(2004)

② 작물하중 측정 실험

품종이 각각 “데프니스”, “신동가시오이”, “축양”, “설향”인 “토마토, 오이, 가지, 딸기 등 4가지 작물에 대하여 작물하중을 측정하였으며, 측정을 위한 실험온실의 종류는 표 19와 같고 그림 54은 각 실험온실의 내·외부 전경 및 설치된 작물하중 측정장치를 보여주는 사진이다. 딸기의 작물하중은 행잉베드 재배시스템을 이용하여 재배한 실험용 온실에서 측정하였으며, 그 외의 작물들은 상업용 온실에서 측정하였다. 표 20은 각 작물별 정식일, 재식밀도, 총 주수 및 측정기간을 나타낸 것이다. 토마토의 재식밀도는  $2.35\text{plant}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 Choi 등(2013)이 제시한  $2.13\text{plant}\cdot\text{m}^{-2}$ 보다 약간 더 큰 것으로 나타났다.

[2-3] 표 19. 작물하중 측정용 실험온실

Experimental greenhouses	Shapes	Dimensions (m)	Floor area (m <sup>2</sup> )	Covering material
Tomato-A	11-span peach	7(W) X 75(L)	5,785	PO film
Tomato-B	10-span arch	7(W) X 47(L)	3,290	PO film
Cucumber	9-span arch	7(W) X 68(L)	4,284	PE film
Eggplant	4-span arch	5.7(W) X 62(L)	1,413	PE film
Strawberry	1-span arch	7.5(W) X 21(L)	157	PE film

토마토온실-A(경상북도 군위)



(a) 위치



(b) 온실 외부



(c) 온실 내부



(d) 작물하중 측정장치

토마토온실-B(경상북도 군위)



(a) 위치



(b) 온실 외부



(c) 온실 내부



(d) 작물하중 측정장치

오이온실(경상북도 군위)



(a) 위치



(b) 온실 외부



(c) 온실 내부



(d) 작물하중 측정장치



가지온실(대구)



(a) 위치



(b) 온실 외부



(c) 온실 내부



(d) 작물하중 측정장치

딸기온실(대구)



(a) 위치



(b) 온실 외부



(c) 온실 내부



(d) 작물하중 측정장치

[2-3] 그림 54. 작물하중 측정 온실 및 장치

[2-3] 표 20. 정식일, 재식밀도, 측정기간.

Crops	Planting date	Distance of bed (m)	Distance of planting (m)	Planting density (plant·m <sup>-2</sup> )	Measuring period
Tomato-A	Sep. 15. 2016	1.7	0.25	2.35	Jan. 14. 2017~ Jun. 09. 2017
Tomato-B	Sep. 13. 2016	1.7	0.25	2.35	Jan. 27. 2017~ Apr. 23. 2017
Cucumber	Dec. 05. 2016	1.4	0.25	2.86	Jan. 14. 2017~ Apr. 06. 2017
Eggplant	Aug. 04. 2016	2.0	0.4	1.25	Jan. 27. 2017~ Apr. 23. 2017
Strawberry	Dec. 03. 2016	0.5	0.2	10.0	Jan. 11. 2017~ Mar. 28. 2017

작물하중은 그림 55 (a)와 같은 하중측정 범위가 0~5kgf 및 0~50kgf인 디지털 푸쉬풀게이지(TRIPOD, 중국)를 사용하여 측정을 하였다. 이때 측정 게이지를 작물의 유인 줄 상부 끝에 연결하여 고정장치에 매단 후 작물하중을 측정하였으며, 1시간 간격으로 자동으로 데이터가 저장 되도록 하였다. 또한 측정 오류의 발생여부를 확인하기 위하여 주기적으로 현장을 방문하여 그림 55 (b)와 같은 0~50kgf 측정범위의 휴대용 하중측정기(EBalance, 한국)를 사용하여 작물하중을 직접 측정하였다. 각각의 재배작물마다 디지털 푸쉬풀게이지를 사용하여 작물하중을 2회 측정하고 휴대용 하중측정기를 사용하여 1~2회 측정하여 총 3회 이상 반복 측정하였다.



(a) 디지털 푸쉬풀게이지



(b) 휴대용 하중측정기

[2-3] 그림 55. 작물하중 측정장치

## (나) 각국의 작물하중 설계기준 비교 및 작물하중 측정 결과

### ① 각국의 작물하중 설계기준 비교 결과

표 21는 각국의 온실구조설계용 작물하중을 비교한 것이다. 네덜란드의 NEN(2004) 기준에서는 작물별로 작물하중의 최소기준을 제시하였으며, 토마토 및 오이는 재배 베드의 무게는 고려하지 않고 유인된 작물하중만 고려하여  $15\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$  으로 제시하였고, 딸기는 경량 재배용기를 포함한 값으로  $30\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$  있다. 일본의 JGHA(1997) 기준에서는 모든 작물에 대하여 동일한 값인  $15\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$  으로 제시하고 있다. 우리나라의 MAFRA(1997) 기준에서는 딸기에 대한 기준이 없는 것 외에는 네덜란드의 기준과 동일한 값을 제시하고 있어 기준 작성 시 네덜란드 기준의 설계 작물하중을 인용한 것으로 판단된다. 또한, 우리나라의 RDC(1995) 기준에서는 일본의 기준과 동일한 값을 제시하고 있어 일본 기준의 설계 작물하중을 그대로 인용한 것으로 판단된다. 미국의 NGMA(2004) 기준에서는 모든 작물에 대해 최소  $10\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$  의 작물하중을 적용하도록 제시하고 있다.

설계 작물하중에 대한 각국의 기준들을 비교분석한 결과 나라마다 많은 차이를 보여주고 있으며, 우리나라 기준들은 외국의 기준들을 그대로 인용하고 있는 것으로 나타나 우리나라 실정에 맞는 작물하중 기준이 제시될 필요가 있다고 판단된다. 최근 작물에 따라 재배방식이 다양하기 때문에 작물별로 기준이 정립될 필요가 있다. 특히 최근 우리나라에서는 파프리카나 토마토 재배에도 행잉 베드를 많이 사용하고 있기 때문에 이에 대한 작물하중 기준도 추가될 필요가 있다고 판단된다.

[2-3] 표 21. 각국의 온실구조설계용 작물하중 비교.

Nations	Standard	Design crop load
Netherlands	Greenhouse Design and construction	<Minimum values for crop actions> Crops, such as tomatoes and cucumbers: 15 kgf·m <sup>-2</sup> Crops in lightweight containers, such as strawberries: 30 kgf·m <sup>-2</sup> Crops in heavy containers, such as pot plants: 100 kgf·m <sup>-2</sup>
		Standard for structural safety of greenhouse 15 kgf·m <sup>-2</sup>
		Greenhouse structure design standards and explanations Minimum value: 15 kgf·m <sup>-2</sup> Crops, such as tomatoes and cucumbers: 15 kgf·m <sup>-2</sup> Crops in heavy containers, such as pot plants: 100 kgf·m <sup>-2</sup>
Korea	Greenhouse structural requirements 15 kgf·m <sup>-2</sup>	
	Structural Design Manual Hanging plants, 10 kgf·m <sup>-2</sup> minimum , applied as a concentrated load at the truss panel points.	

② 작물하중 측정 결과

그림 56은 장기간에 걸친 작물종류별 작물하중의 변화를 도시한 것으로, 기호 1과 2는 디지털 푸쉬풀게이지를 사용하여 자동으로 측정한 결과이고 3과 4는 휴대용 하중측정기를 사용하여 직접 측정한 결과이다. 휴대용 하중측정기로 직접 측정한 결과는 자동으로 측정한 결과에 대한 검증용으로 사용하였고, 최대작물하중의 산정은 딸기를 제외하고는 자동으로 연속 측정한 결과만을 사용하였다.

그림 56 (a)와 (b)는 각각 A온실과 B온실의 토마토 작물하중의 변화를 도시한 것으로 T-A-1과 T-A-2 및 T-B-1과 T-B-2 등 디지털 푸쉬풀게이지를 사용하여 자동으로 측정한 결과와 T-A-3과 T-A-4 및 T-B-3과 T-B-4 등 휴대용 하중측정기를 사용하여 직접 측정한 결과의 경향이 유사하게 나타나 자동으로 측정된 작물하중이 정확하게 측정되었음을 확인할 수 있었다. 다만 B온실에서 2월 25일경에 자동측정값보다 직접측정값이 훨씬 작은 것은 많은 수확이 이루어진 줄기에서 측정된 값이기 때문이다. 전체적으로 작물하중이 1월부터 서서히 증가하여 3~4월에 최대값을 나타내었으며 시기별로 많은 차이가 있었다. 두 온실 간에 하중의 차이가 있었으며, 동일한 온실 안에서도 측정위치에 따라 주당 중량이 다소 차이를 보여주었다. 최대작물하중의 산정은 딸기를 제외하고는 자동으로 연속 측정한 결과만 사용하였으며, A온실에서는 3.5와 3.1kgf·plant<sup>-1</sup>(평균 3.3kgf·plant<sup>-1</sup>), B온실은 4.2와 3.6kgf·plant<sup>-1</sup>(평균 3.9kgf·plant<sup>-1</sup>)로 나타나 B온실이 평

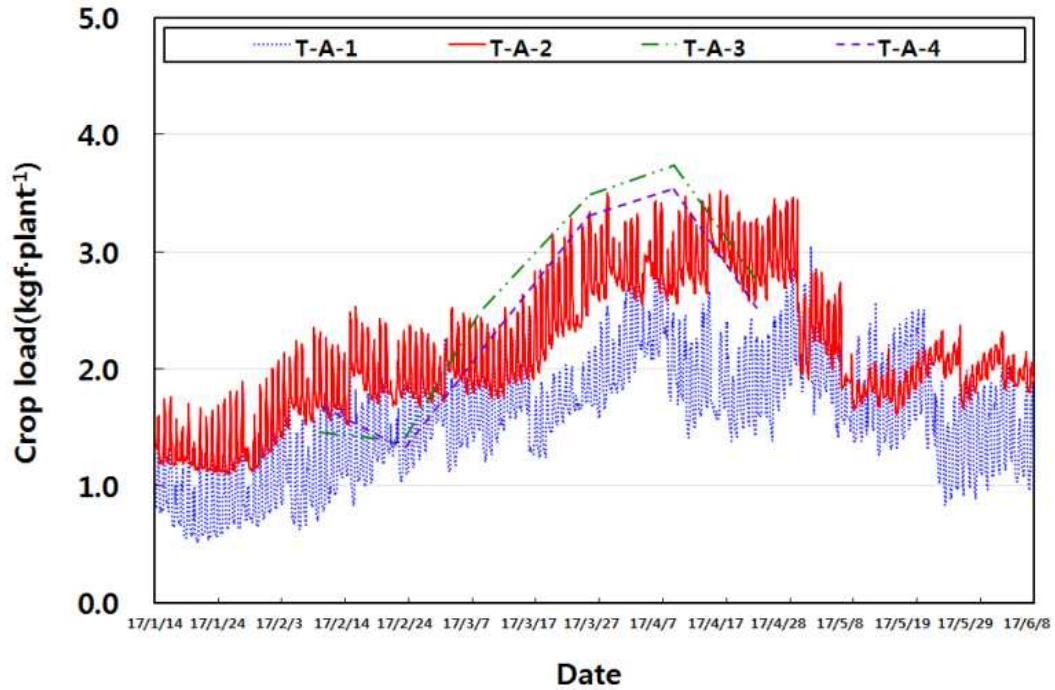
균 0.6kgf·plant<sup>-1</sup> 정도 더 높았다. A온실의 경우 작물하중이 평균 3.3kgf·plant<sup>-1</sup>로 나타나 Choi 등(2013)이 측정한 최대 3.3kgf·plant<sup>-1</sup>과 동일한 결과를 보여주고 있다. 또한 토마토의 수확 및 적엽으로 작물하중은 증가와 감소가 반복되는 패턴을 보이고 있으며, 1월의 작물하중 증감 폭 보다 3, 4월의 작물하중 증감 폭이 크게 나타나고 있는데 이것은 토마토 수확량이 많이 증가했기 때문이다.

그림 56 (c)는 오이의 작물하중 변화를 도시한 것이다. 오이는 전 기간에 걸쳐 수확 및 적엽으로 작물하중은 증가와 감소의 반복된 패턴을 보이고 있으나 기간에 따른 최대하중의 큰 변화는 없었다. 또한 측정위치에 따른 비교결과 시기에 따라서는 작물하중이 다소 차이가 있었지만 최대하중은 각각 0.7과 0.8kgf·plant<sup>-1</sup>(평균 0.75kgf·plant<sup>-1</sup>)로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

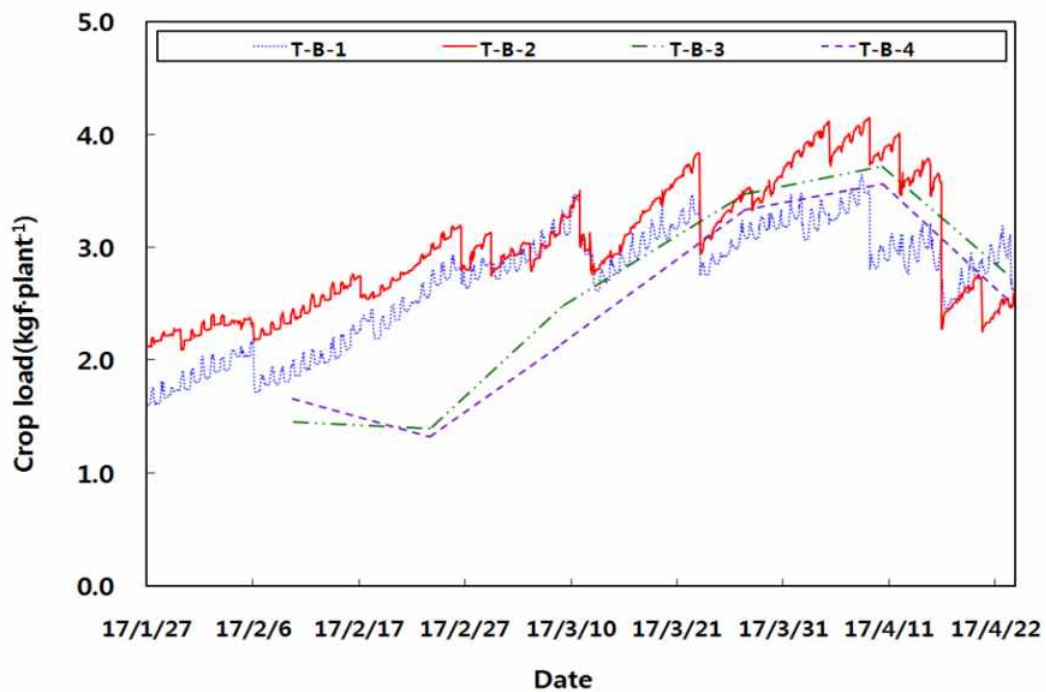
그림 56 (d)는 가지의 작물하중 변화를 도시한 것이다. 가지는 뿌리에서 한 줄기로 올라와 V자 형태로 2줄기로 견인하여 재배하고 있다. 실제로 가지는 토마토나 오이와 같은 넝쿨 작물의 줄기에 비해 줄기 자체가 강성이 있어 완전하게 견인되지 않아 다른 작물 보다 작물하중은 훨씬 작게 측정되었다. 작물하중은 한 줄기만을 측정하였고 주 당 2줄기가 견인재배 되고 있어 측정값의 두 배로 주당 작물하중을 산정하였으며, 두 온실의 작물하중 최대값은 각각 2.0과 1.8kgf·plant<sup>-1</sup>(평균 1.9kgf·plant<sup>-1</sup>)로 나타났다.

그림 56 (e)는 행잉베드 재배시스템에서 재배되고 있는 딸기의 작물하중 변화를 도시한 것이다. S-1 및 S-2는 디지털 푸쉬플게이지를 사용하여 측정한 결과이고 S-3는 휴대용 하중측정기를 사용하여 직접 측정한 결과이다. 작물하중은 최대값이 1.9, 2.1 및 2.3kgf·plant<sup>-1</sup>(평균 2.1kgf·plant<sup>-1</sup>)으로 나타나 재배베드간에 다소 차이를 보여주고 있다. 이는 딸기 정식 전에 베드에 채우는 인공배지(코코피트)의 양에 따른 차이로 판단된다. 1월의 경우 양액 공급 시간을 1회 4분으로 하여 총 5회 공급하였기 때문에 그림에서 보는 바와 같이 배지가 양액을 충분히 흡수하여 작물하중이 지속적으로 최대값을 일정하게 유지하였다. 그러나 2월부터는 양액 공급 시간을 1회 3분으로 줄여 5회 공급하였기 때문에 양액 공급량이 줄었고, 또한 일사량의 증가로 증발산량이 많아져서 배지의 수분 함유량이 낮아 하중이 감소하였다. 그리고 작물하중이 약 보름 간격으로 감소하다가 증가하는 패턴을 보여주고 있다. 이는 양액 탱크의 수위변화에 따른 결과로 양액 탱크를 완전히 채웠을 때는 수압이 커져 펌프가동이 중단된 상태에서도 양액이 계속 공급되어 하중이 최대치에 도달하게 되기 때문이다. 작물하중 최대값은 전 기간 동안 초기의 딸기 정식 때의 작물하중과 거의 동일하게 유지되는 것으로 나타났다. 이는 행잉재배 딸기의 작물하중은 행잉베드(베드, 배지, 수분)의 하중이 대부분을 차지하여 작물의 무게는 큰 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 2월부터는 작물하중이 약 보름 간격으로 감소하다가 증가하는 패턴을 보여주고 있다. 하중의 감소는 양액 공급 시간을 1회 3분으로 줄여 5회 공급하였기 때문에 양액 공급량이 줄었고, 또한 일사량의 증가로 증발산량이 많아져서 배지의 수분 함유량이 낮아졌기 때문이다. 하중의 증가는 양액 탱크를 완전히 채웠을 때 탱크의 수위와 점적기의 수두차에 의해 수압이 커져 펌프가동이

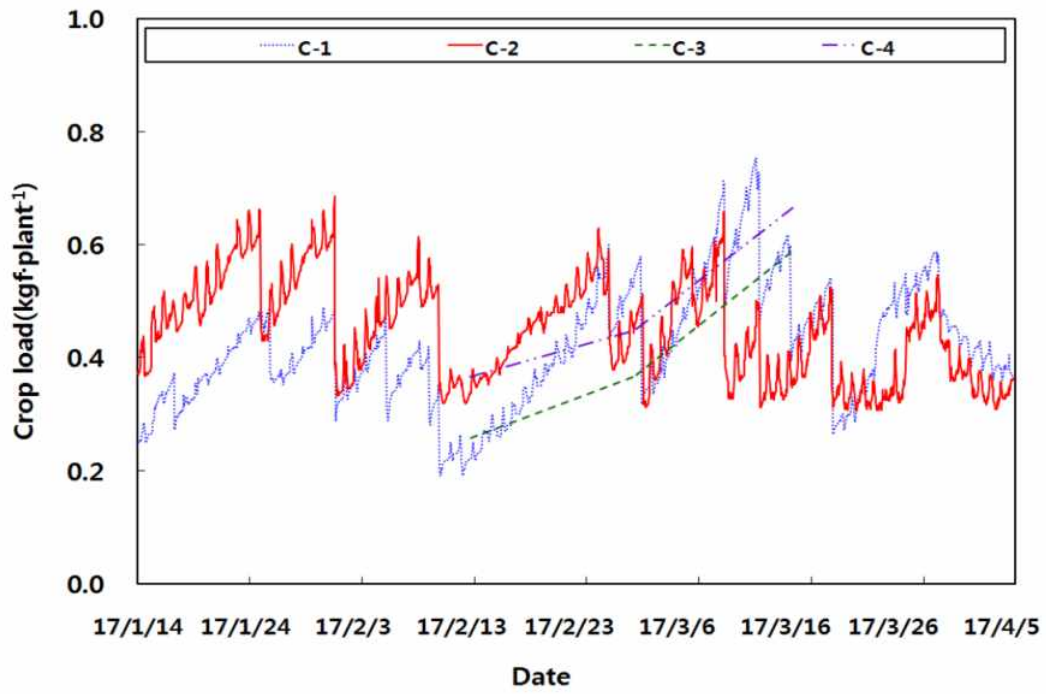
중단된 상태에서도 양액이 계속 공급되어 하중이 증가했기 때문이다. 작물하중 최대값은 전 기간 동안 미미하게 증가하였다. 이는 행잉베드에서 재배되는 딸기의 작물하중은 행잉베드(베드, 배지, 수분)의 하중이 대부분을 차지하기 때문이다.



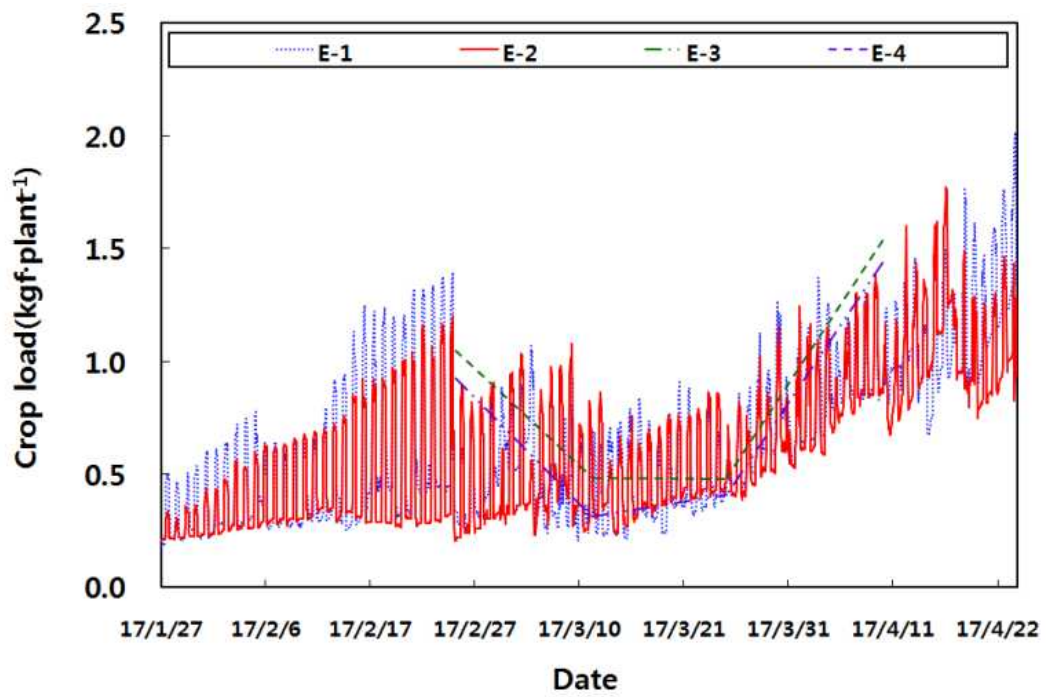
(a) 토말토-A



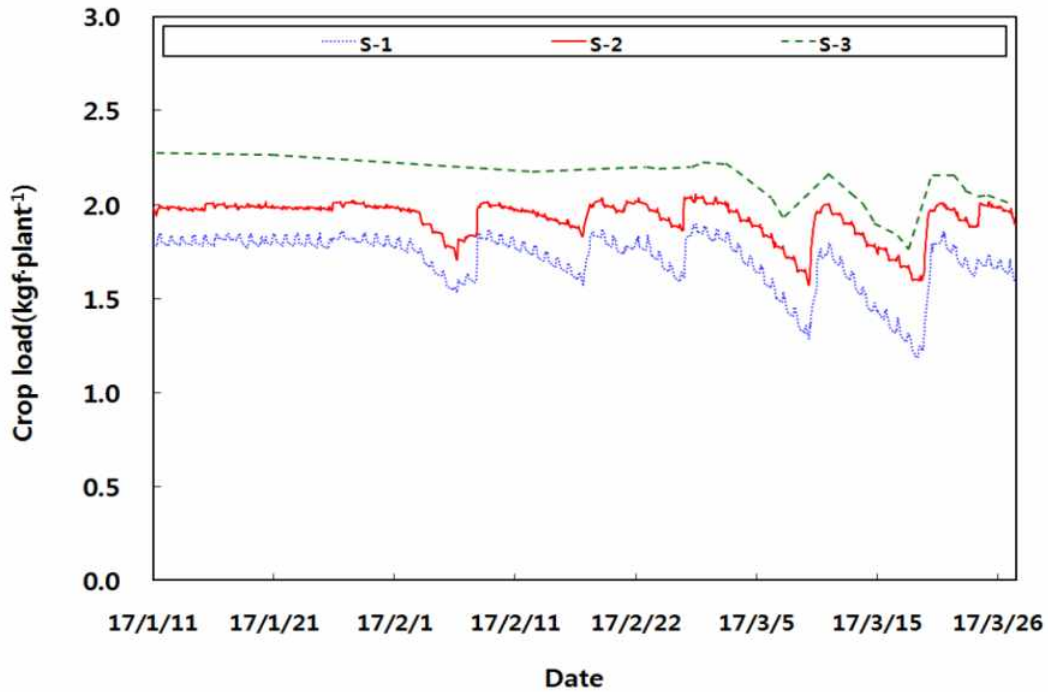
(b) 토마토-B



(c) 오이



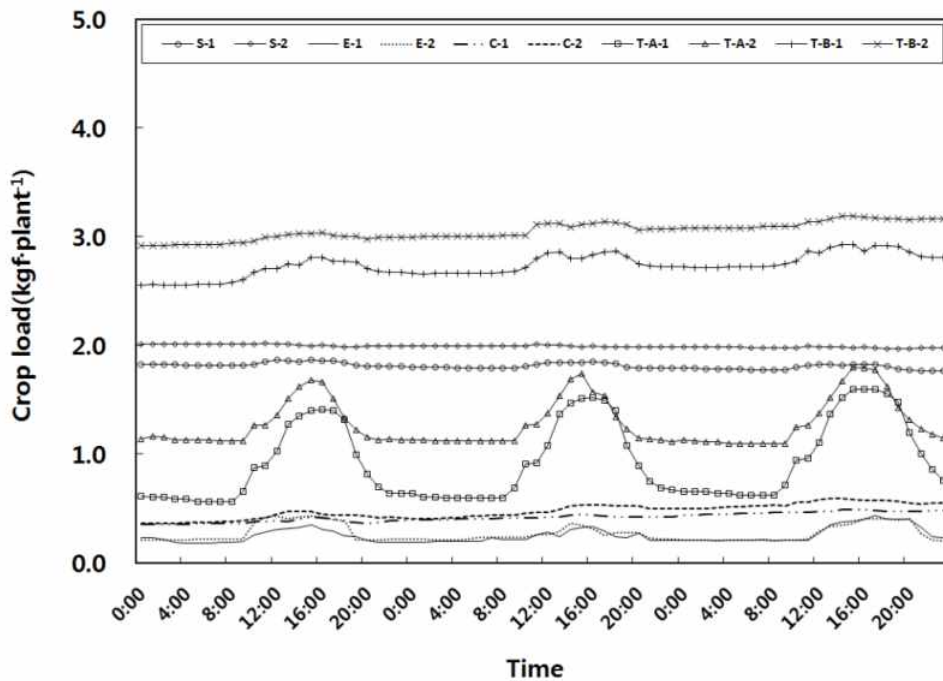
(d) 가지



(e) 딸기

[2-3] 그림 56. 장기간에 걸친 작물하중의 변화

그림 57는 작물별 작물하중의 시간에 따른 변화를 도시한 것이다. 작물하중은 하루를 주기로 하여 오전에는 하중이 증가하고 오후에는 감소하는 경향을 반복하는 것으로 나타났다. 이는 오전에 작물이 증산을 시작하면서 양액을 흡수하게 되어 하중이 증가하다가 오후에는 증산속도가 감소하면서 양액흡수가 줄어들게 되어 하중이 감소하는 것으로 판단된다.(JGHA, 1994)

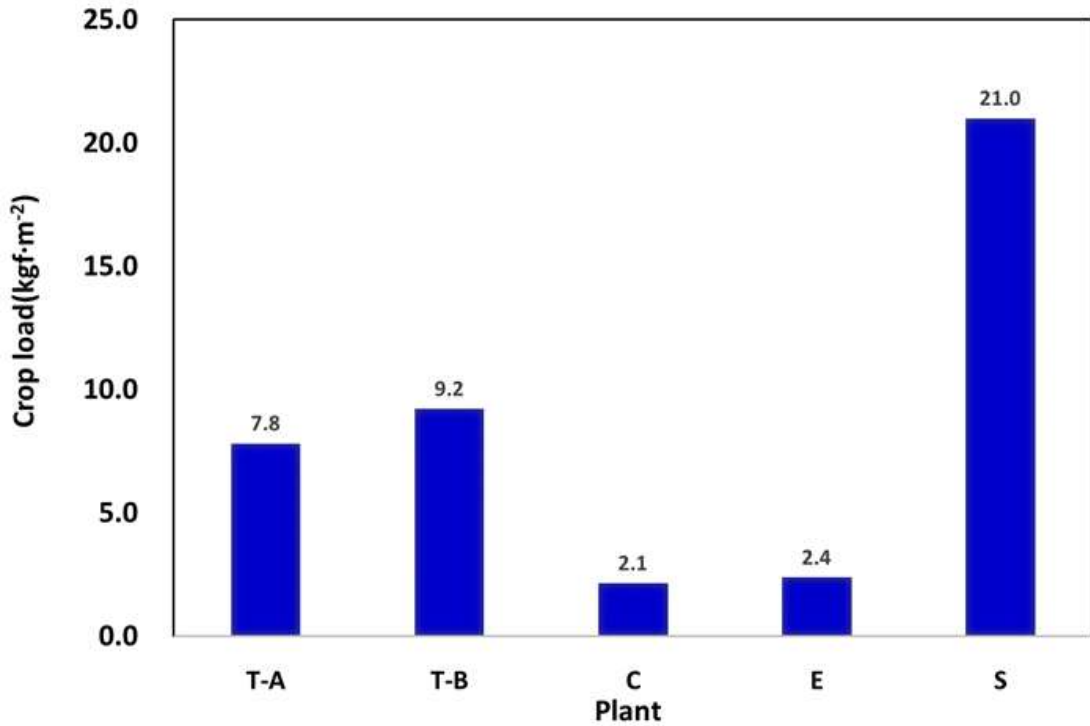


[2-3] 그림 57. 작물하중의 일변화



### ③ 단위면적당 작물하중 비교

그림 58는 기존의 작물하중에 대한 설계기준과 비교를 위해 각 작물별로 단위면적당 최대하중을 나타낸 것이다. 토마토는 두 온실에 대해 최대 작물하중이 각각  $7.8\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 과  $9.2\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 나타나 평균  $8.5\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 Choi 등(2013)이 제시한  $7.05\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 보다 약간 높게 나타났다. 그러나 RDA(1994)에서 제시한 값은 평균값  $9.94\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$  및 표준편차  $2.79\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 를 고려할 때 최대값은 훨씬 더 크게 나타날 것으로 예상되기 때문에 본 연구의 결과와 큰 차이가 있는 것으로 판단되나 실험방법이 명시되어 있지 않아 정확한 원인은 규명하기 어려웠다. 오이와 가지는 각각  $2.1\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 과  $2.4\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 토마토의 하중보다 훨씬 낮게 나타났다. 우리나라 MAFRA(1997)의 온실설계기준에 제시된 작물하중은 토마토와 오이의 경우  $15\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 본 연구에서 측정된 값보다 훨씬 높았다. 우리나라의 설계기준이 네덜란드의 기준을 그대로 인용한 것으로 판단되기 때문에 이러한 차이를 고려하여 우리나라의 작물하중 설계기준에 대한 재검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 딸기의 작물하중은 행잉베드를 포함한 중량이  $21.0\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 네덜란드의 설계기준인  $30\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 보다 훨씬 작았다. 이러한 차이는 주로 국가별 재배방식에 따른 차이 때문으로 판단되고, 특히 본 연구에서 사용된 중량이 약  $0.6\text{kgf}\cdot\text{m}^{-1}$ 인 플라스틱 재질의 거터가  $2.5\text{kgf}\cdot\text{m}^{-1}$  내외의 네덜란드에서 사용되는 거터들(Metro Systems, 2017)보다 훨씬 가볍기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 국내외의 차이점들을 고려할 때 본 연구의 결과와 우리나라의 온실재배현황을 고려하여 작물하중 설계기준에 대한 체계적인 재검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구의 결과는 제한된 지역과 온실에서 측정된 작물하중이기 때문에 설계기준으로 제시하기 위해서는 국내의 다양한 지역과 온실에서 작물하중을 측정하고 동일한 온실에서도 여러 개의 줄기에서 측정된 작물하중들의 피크값들을 채택하여 통계분석을 통해 온실구조설계용 작물하중을 제시할 필요가 있다고 판단된다.



[2-3] 그림 58. 단위면적당 작물하중

(다) 행잉베드의 무게

작물 재배형태에 따라 바닥 거치형의 경우는 온실내 중방에 작물하중 및 재배베드에 의한 구조적인 하중이 작용하지 않지만 행잉베드 재배의 경우는 온실 골조에 재배 슬라브, 근권부, 베드의 하중이 온실 골조에 작용하게 된다. 벤로온실의 트러스형태 중방과 연동형 비닐하우스의 파이프 중방에 행잉식으로 재배베드를 매달아 작물을 재배할 경우 베드의 무게가 온실 구조체에 작용하게 되므로 작물하중에 포함하여 고려해야 할 필요가 있다. 재배작물이 구조물에 지지되어 매달리거나 재배용 받침이 구조체에 고정되는 경우 등과 같이 재배방식이 다양하므로 재배 형태를 고려하여 작물하중을 산정해야 한다.

그림 59은 행잉 재배 베드의 구성을 보여주는 그림이며 작물하중을 산정할 때 이들의 무게를 고려할 필요가 있다.

	상부 후크	거터지지대	삼각 후크(Φ8)
행잉 와이어(Φ 2.5)	거터 후크(Φ4)	행잉베드 거터	

[2-3] 그림 59. 행잉 재배 베드 구성(농촌진흥청, 2015)

표 22는 생산되고 있는 거터의 종류를 나타낸 것으로 거터는 재배작물의 종류에 따라 다양한 형태가 생산되고 있다. 그림 60은 GM-03모델의 상세한 치수를 도시한 그림으로 중량을 개략적으로 산정하면 다음과 같다.

$$620\text{mm}(\text{총길이}) \times 0.6\text{mm}(\text{두께}) \times 1,000\text{mm}(\text{단위길이}) \times 7.85\text{kgf/mm}^3(\text{비중}) \times 1/1,000,000 = 2.9\text{kgf}$$

이와 같은 계산 방법을 사용하여 다양한 종류의 거터들에 대한 중량을 산정할 수 있으며 작물하중 산정시 거터의 무게를 포함하여야 한다. 이외에도 그림 61과 같은 후크, 지지대 및 와이어도 설치 간격에 따라 중량을 산정하여 작물하중 산정 시 포함하여야 한다.

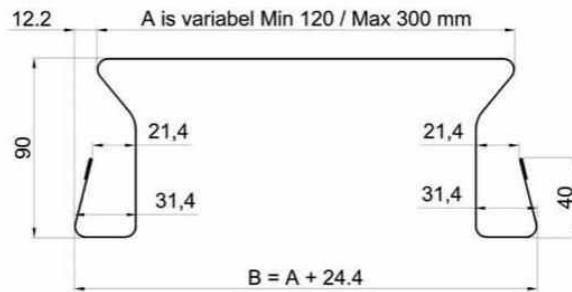
그림 62는 암면배지로 크기가 1,000×200×120(mm)라고 한다면 중량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$1,000\text{mm}(\text{총길이}) \times 200\text{mm}(\text{폭}) \times 120\text{mm}(\text{두께}) \times 0.7\text{kgf/mm}^3(\text{비중}) \times 1/1,000,000 = 16.8\text{kgf}$$

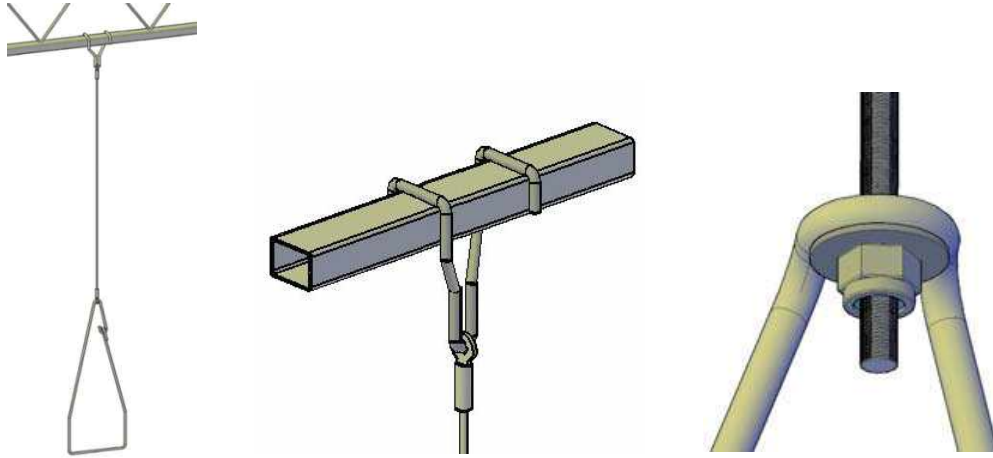
이와 같은 방식으로 계산된 중량을 총합하여 행잉베드 시스템의 총 무게를 계산하고 여기에 양액 및 순수 작물의 중량을 합하여 작물하중을 산정할 수 있다.

[2-3] 표 22. 거터의 종류(Meteor Systems. 2017)

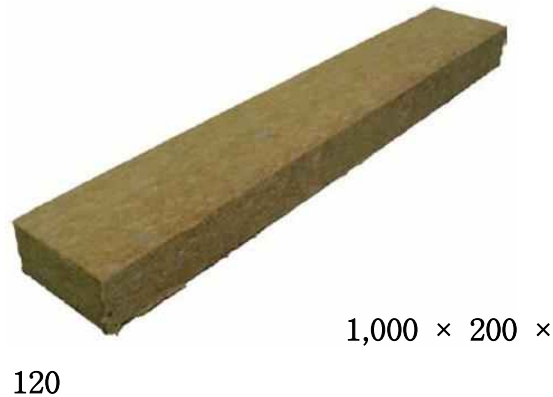
Gutter type	Model	Gutter type	Model
GM-01		GM-11	
GM-02		GM-12	
GM-02S		GM-14	
GM-03		GM-15	
GM-04L		GM-16	
GM-04H		GM-17	
GM-05		GM-18	
GM-06		GM-19	
GM-07HD		GM-20	
GM-07XHD		GM-21	
GM-08		GM-22	
GM-10L		GM-23	



[2-3] 그림 60. 거터의 크기(Meteor Systems. 2017)



[2-3] 그림 61. 후크, 지지대, 와이어 등(Meteor Systems. 2017)



[2-3] 그림 62. 암면배지

(라) 요약

온실의 구조설계용 작물하중을 산정하는데 필요한 기초자료를 제공하기 위하여 각국의 온실 구조설계용 작물하중 기준들을 비교분석하고 여러 가지 온실작물들에 대하여 작물하중을 직접 측정하고 분석하였다. 설계 작물하중에 대한 각국의 기준들을 비교분석한 결과 나라들 마다 서로 많은 차이를 보여주고 있으며, 우리나라 기준들은 외국의 기준들을 그대로 인용하고 있는 것으로 나타나 우리나라 실정에 맞는 작물하중 기준이 제시될 필요가 있다고 판단된다. 최대 주당 작물하중이 토마토는 두 가지 온실에서 각각  $3.3\text{kgf}\cdot\text{plant}^{-1}$ 와  $3.9\text{kgf}\cdot\text{plant}^{-1}$ 로 나타났고, 오이는  $0.75\text{kgf}\cdot\text{plant}^{-1}$ , 가지는  $1.9\text{kgf}\cdot\text{plant}^{-1}$ , 딸기는 재배베드를 포함하여  $2.1\text{kgf}\cdot\text{plant}^{-1}$ 으로 나타났다. 단위면적당 작물하중은 토마토가 평균  $8.5\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 나타났고, 오이와 가지는 각각  $2.1\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 과  $2.4\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 토마토의 하중보다 훨씬 낮게 나타났다. 우리나라 온실설계기준에 제시된 작물하중은 토마토와 오이의 경우  $15\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 본 연구에서 측정된 값보다 훨씬 높았다. 우리나라의 설계기준이 네덜란드의 기준을 그대로 인용한 것으로 판단되기 때문에 이러한 차이를 고려하여 우리나라의 작물하중 설계기준에 대한 재검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 딸기의 작물하중은 행잉베드를 포함한 중량이  $21.0\text{kgf}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 네덜란드의 설계기준인

30kgf·m<sup>-2</sup>보다 훨씬 작았다. 행잉베드 재배의 경우는 온실 골조에 재배 슬라브, 근권부, 베드의 하중이 온실 골조에 작용하게 되며, 재배방식이 다양하므로 재배 형태를 고려하여 작물하중을 산정해야 한다.

## (2) 설비하중

### (가) 각국의 설비하중 설계기준 비교

표 23은 각국의 온실구조설계용 설계하중의 종류들 중 설비하중을 비교한 것이다. 한국기준의 설비하중은 유럽의 기준과 유사하게 차광시스템과 관수장비에 대하여 설계하중을 제시하고 있으나 구체적인 값은 다르게 제시하고 있어 이에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 일본의 설비하중 기준에서는 가장 불리한 조건과 동적영향을 고려하도록 규정하고 있다. 미국의 설비하중기준에서는 작물하중을 포함한 최대 설비하중을 제시하고 있다.

[2-3] 표 23. 온실구조설계용 설비하중

Nations Contents	Korea	Japan	Netherlands	USA
Standard	Greenhouse structure design standards and explanations	Standard for structural safety of greenhouse	Greenhouses - Design and construction	Structural Design Manual
Equipment load (kgf/m <sup>2</sup> )	7이상 (해설) 차광시스템: 지지와이어 50kgf/와이어 당김와이어 100kgf/와이어 관수장비: 지지와이어 250kgf/와이어	가장 불리한 조건을 고려 동적영향을 고려	차광시스템: 지지와이어 25kgf/와이어 당김케이블 50kgf/와이어 관수장비: 지지와이어 125kgf/와이어	최대 73 작물하중 포함

### (나) 설비하중의 구성요소 및 크기

#### ① 설비하중의 구성요소

그림 63은 온실의 설비하중을 보여주기 위한 플라스틱온실과 유리온실의 사진이다. 그림에서 설비하중은 보온커튼, 차광커튼, 순환팬, 냉난방 설비, 조명설비, 관수설비, 탄산가스공급장치 등의 중량으로 산정될 수 있음을 알 수 있다. 구체적으로 고려되어야 할 설비하중의 요소들은 기존의 설계기준에서 제시된 것보다 더 다양한 것으로 나타났다.



[2-3] 그림 63. 온실의 설비하중

② 설비의 구성요소별 하중

설비는 보온커튼, 차광커튼, 순환팬, 냉난방 설비, 조명설비, 관수설비, 탄산가스공급장치 등으로 구성되며 각각의 하중을 조사한 결과는 다음과 같다.

㉠ 커튼 하중

그림 64은 각종 커튼들의 사진이다. 하중을 조사한 결과 부직포 등 일반보온커튼은  $0.7\text{kgf/m}^2$ , 다겹보온커튼은  $1.0\text{kgf/m}^2$  인 것으로 조사되었다(농촌진흥청, 2015).



2중 커튼



3중 커튼



보온덮개

[2-3] 그림 64. 각종 커튼

㉔ 각종 팬

표 24는 팬의 종류에 따른 중량 및 작용하중을 조사한 결과이며, 그림 65는 비교를 위해 몇 가지 종류의 팬에 대해 중량을 측정된 결과이다. 조사된 팬의 중량과 측정된 중량이 대체로 잘 일치하는 것으로 나타났다. 단위면적당 작용하중은 그림 66에 예시된 팬의 설치간격을 고려하여 산정할 수 있다. 예를 들면 그림에서는 약 140m<sup>2</sup>당 팬 1대가 설치되어 있기 때문에 공기순환팬(ACF-400)를 설치한다고 가정하면 단위면적당 작용하중은 0.05kgf/m<sup>2</sup>로 산정이 된다. 이러한 결과는 표 24의 내용과 다소 차이가 있으며, 이는 팬의 배치간격의 차이 때문으로 판단된다. 이와 같이 온실의 기능에 따라 팬의 배치간격 및 대수가 달라질 수 있기 때문에 단위면적당 작용하중은 온실마다 차이가 날 수 있으나 일반적으로 고려되고 있는 단위면적당 작용하중 표 24과 같다.

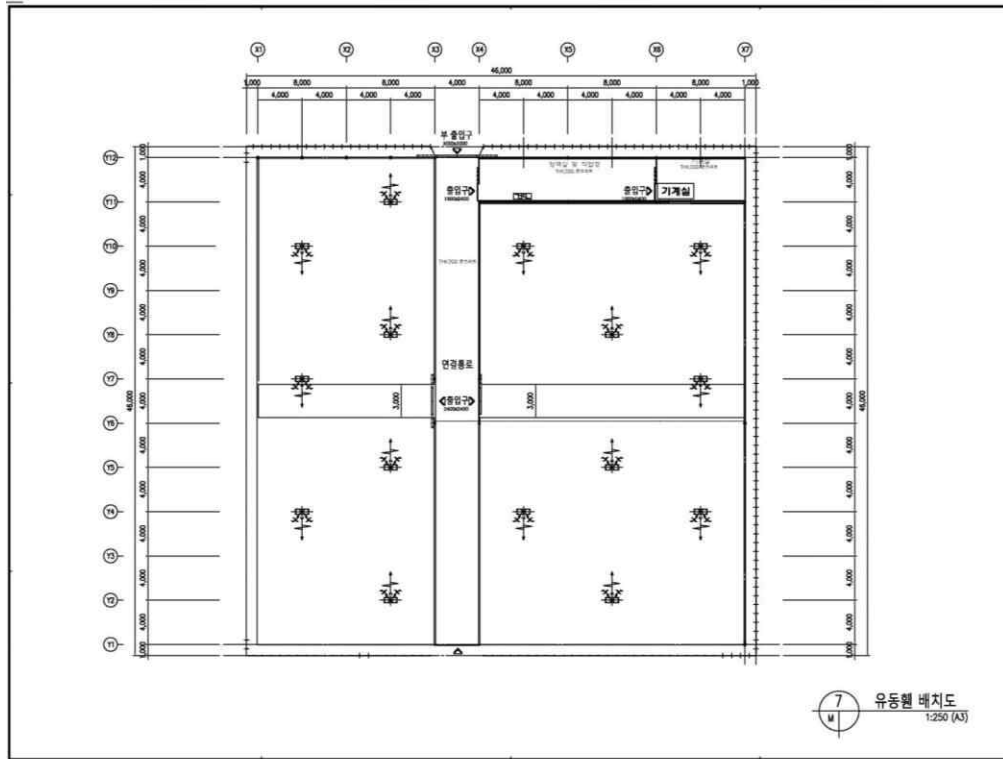
[2-3] 표 24. 팬의 종류에 따른 중량 및 작용하중(농촌진흥청, 2015)

종류 및 재질		중량 (kgf)	작용하중 (kgf/m <sup>2</sup> )	환기팬 종류	
순환팬	스테인리스		6.7~7.5	0.20~0.22	
	플라스틱	단동 온실	1.9	0.08	
		연동 온실	5.0	0.21	
	알루미늄		1.9	0.12	
공기교반 제습기	스테인리스		24	0.24	
팬코일	스테인리스		16	0.48	



		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환풍기(유압식고압환기팬 /DR-DF20ASA)</li> <li>• 재원</li> <li>날개지름 : 20cm</li> <li>최대풍량 : 1,060m<sup>3</sup>/hr</li> <li>소비전력 : 30W</li> <li>제조사 : 대륜산업(주)</li> <li>무게 : 3.5kgf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기순환팬(ACF-400)</li> <li>• 재원</li> <li>날개지름 : 40cm</li> <li>최대풍량 : 47m<sup>3</sup>/min</li> <li>소비전력 : 130W</li> <li>제조사 : 대동기업사</li> <li>무게 : 7.0kgf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환풍기(유압식고압환기팬 /DR-DF40DSA)</li> <li>• 재원</li> <li>날개지름 : 40cm</li> <li>최대풍량 : 4,320m<sup>3</sup>/hr</li> <li>소비전력 : 120W</li> <li>제조사 : 대륜산업(주)</li> <li>무게 : 8.5kgf</li> </ul>
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기순환팬(ACF-250SN)</li> <li>• 재원</li> <li>날개지름 : 23cm</li> <li>최대풍량 : 25m<sup>3</sup>/min</li> <li>소비전력 : 35W</li> <li>제조사 : 대동기업사</li> <li>무게 : 3.2kgf</li> <li>(전선 및 체인 포함)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공기순환팬(ACF-250SN)</li> <li>• 재원</li> <li>날개지름 : 23cm</li> <li>최대풍량 : 25m<sup>3</sup>/min</li> <li>소비전력 : 35W</li> <li>제조사 : 대동기업사</li> <li>무게 : 2.0kgf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전자동 지붕형 환풍기 (ARV-400)</li> <li>• 재원</li> <li>날개지름 : 40cm</li> <li>최대풍량 : 160m<sup>3</sup>/min</li> <li>소비전력 : 130W</li> <li>제조사 : 대동기업사</li> <li>무게 : 7.3kgf</li> </ul>
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 코일팬(제작품)</li> <li>• 재원</li> <li>무게 : 8.0kgf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업공기교반제습기(GD-11S)</li> <li>• 재원</li> <li>제습량 : 2.5L/h</li> <li>최대풍량 : 30m<sup>3</sup>/min</li> <li>소비전력 : 130W</li> <li>제조사 : 신안그린텍</li> <li>무게 : 23.3kgf</li> </ul>	

[2-3] 그림 65. 각종 팬의 중량 측정



[2-3] 그림 66. 유동팬 배치도 예시

㉔ 냉난방 설비

그림 67는 각종 난방 설비들의 사진이다. 이들의 하중을 조사한 결과 팬코일유닛 냉난방 설비의 하중은 약  $0.5\text{kgf/m}^2$  인 것으로 조사되었다.



전기난방기



팬코일유닛



가스난방기

[2-3] 그림 67. 각종 난방설비

㉕ 조명설비

그림 68는 각종 조명설비들의 사진이며, Fig. 16은 몇 가지 종류의 전등에 대한 중량을 측정 한 결과이다. 온실에 이용되는 HID전등에는 금속할로겐 전등과 고압나트륨 전등이 있다. HID전등은 반드시 전류 제어장치인 안정기를 구비하여 전등으로 입력되는 전기량을 조절해야 하고, 적절히 설계된 반사장치를 사용하여 최대의 효율을 얻을 수 있게 해야 하므로 안정기와 반사장치에 의해 조

명설비의 하중이 많이 증가하게 된다. 설치 전등의 무게와 목표 광강도에 따라 결정되는 설치간격이 결정되면 단위면적당 설비하중을 산정할 수 있다.



[2-3] 그림 68. 각종 조명설비

			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 나트륨 등</li> <li>• 재원</li> </ul> 무게 : 5.8kgf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LED 사각 투광기 (MT-LED30)</li> <li>• 재원</li> </ul> 소비전력 : 30W 제조사 : Yiguang 무게 : 1.1kgf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LED 투광등(KFL50)</li> <li>• 재원</li> </ul> 소비전력 : 50W 제조사 : (주)에스에스라이트 무게 : 2.1kgf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LED 등</li> <li>• 재원</li> </ul> 무게 : 1.1kgf

[2-3] 그림 69. 각종 전등의 중량 측정

㉞ 관수설비

그림 69은 관수설비들의 사진이다. 관수설비의 살수장치는 이동하면서 살수하기 때문에 다른 설비하중들과는 달리 집중하중이 이동하면서 작용하는 조건을 고려하여 설비하중을 작용시켜야 한다.



[2-3] 그림 70. 관수설비

### ③ 설비하중의 적용

지금까지 각종 온실설비 구성요소들의 하중에 대하여 살펴보았다. 온실에서 이러한 각종 설비하중들은 온실의 여러 가지 조건에 따라 몇 가지가 조합되어 작용하기 때문에 온실의 설비조건, 재배작물 및 재배방법에 따라 하중조건을 명확히 구명하여 설비하중을 산정하여 적용할 필요가 있다.

## 나. 구조설계 프로그램에 대한 수요자의 사용 용이성 검토

구조설계 프로그램의 구성에 대하여 사용자 관점에서 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다. 검토한 결과는 프로그램 개발 관련 연구자들과 상의하여 차년도 연구에서 검토하여 반영할 수 있도록 할 계획이다.

### <일반인용>

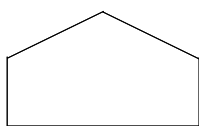
- 형상설정, 규격설정, 재배작물, 설치지역만을 입력하면 자동으로 설계되고 보고서가 출력되도록 할 필요가 있음.

### <전문가용>

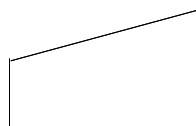
#### (1) 온실 구조 슬베 연동기술 개발

#### (2) 형상설정

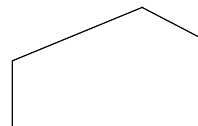
(가) 유형 선택에서 필요한 유형 : 양지붕형, 편지붕형, 쓰리쿼터형, 반원형터널, 아치형, 베로형, 복숭아형, 기타 등으로 구성될 필요가 있음.



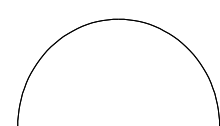
(양지붕형)



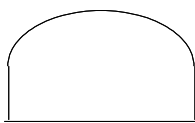
(편지붕형)



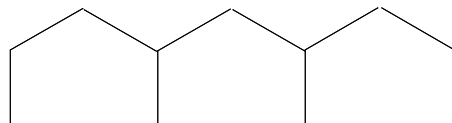
(쓰리쿼터형)



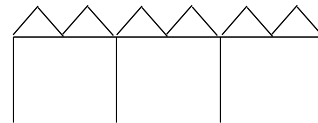
(반원형터널)



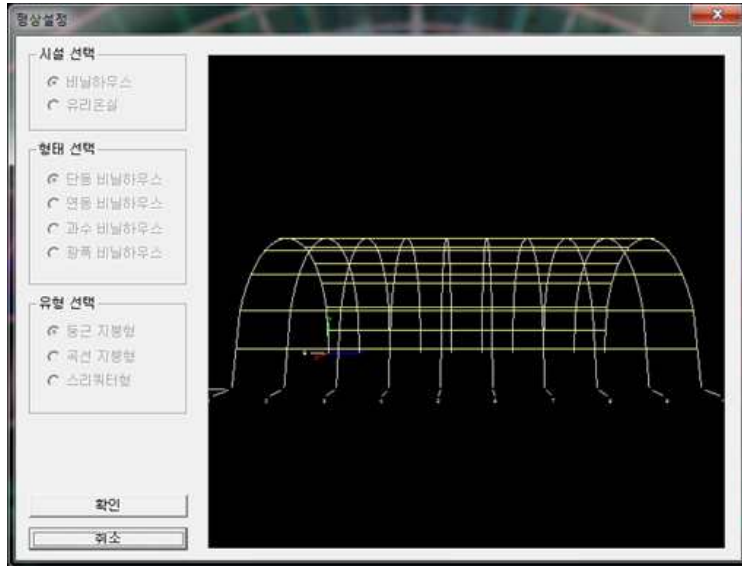
(아치형)



(연동형)



(베로형)

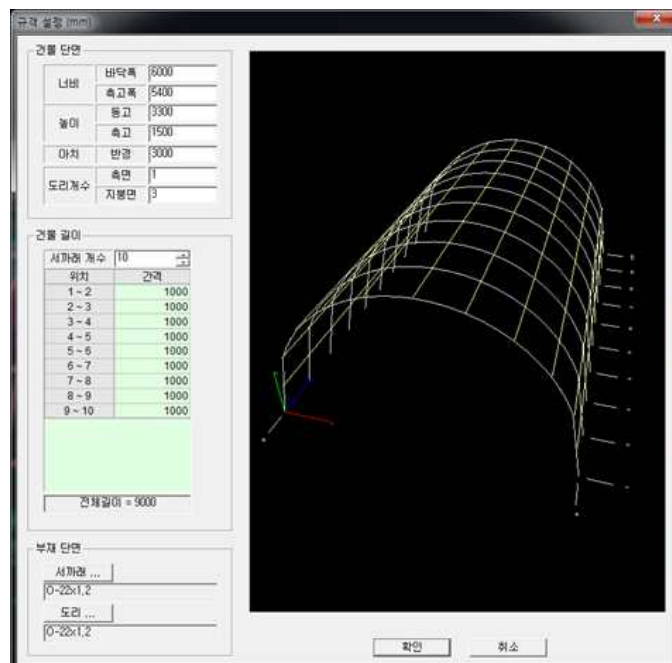


### (3) 규격 설정

(가) 건물을 온실로 변경

(나) 동근 지붕형(아치형)의 경우 동고와 측고가 입력되면 아치반경의 입력은 불필요할 것으로 판단됨.

(다) 흔히 온실 전후 지붕면에는 보강을 위해 서까래 간격을 더 좁게 하는 경우가 있기 때문에 이 부분에만 간격을 입력토록 하고 중간 부분은 일정한 간격으로 자동 입력되는 방안에 대한 검토가 필요함.



(4) 설비시스템

(가) 하중단위 검토

(나) 각 하중 종류별 기본하중은 설계기준상의 내용으로 변경



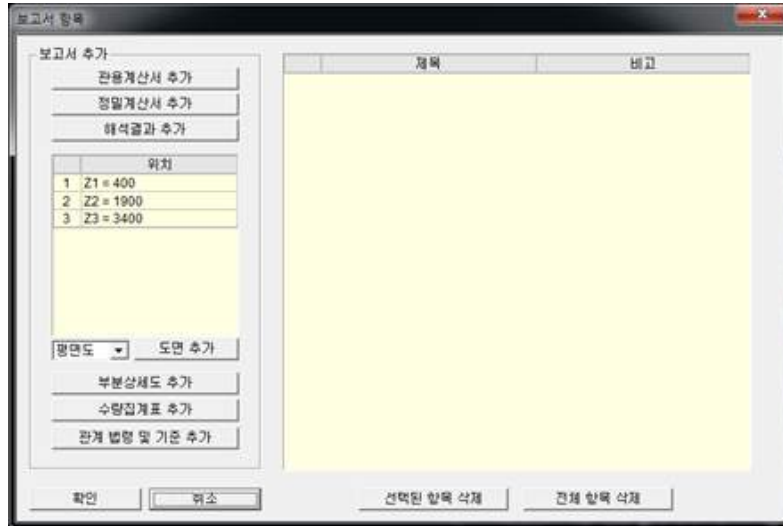
(5) 설하중

(가) 중요도계수는 온실에만 적용되므로 선택창이 필요 없이 0.8로 고정하는 것이 타당하다고 판단됨.



(6) 온실 구조 설계도서 출력 모듈 개발

- 보고서 내용도 일반인용과 전문가용으로 구분하여 출력되도록 구성함. 일반인들에게는 보다 이해하기 쉽게 작성된 보고서가 자동으로 출력되도록 할 필요가 있다고 판단됨.





## 2-3-2. 3차 년도

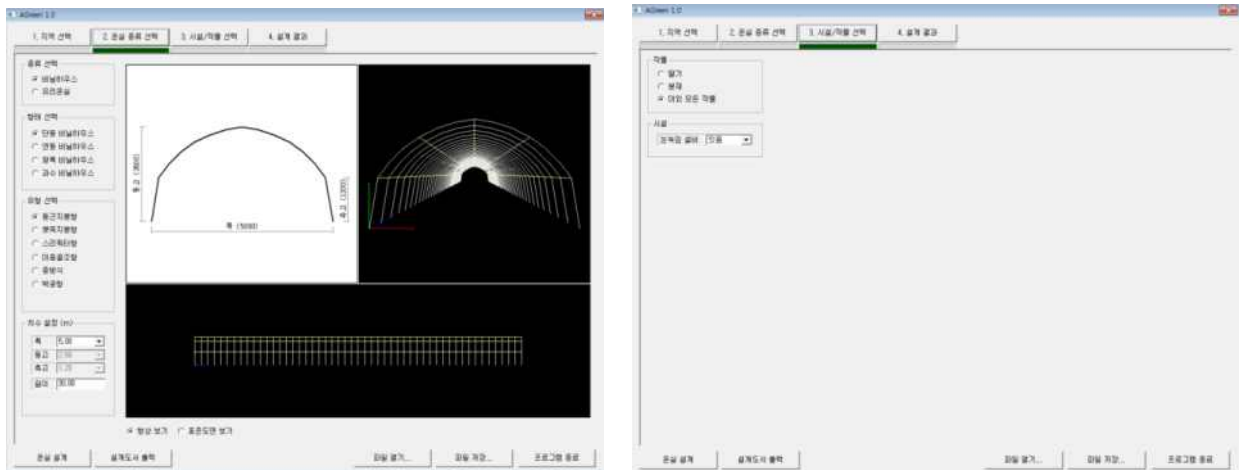
개발 중인 구조설계용 프로그램에 대하여 사용현장에 대한 적용성을 평가하고 정확성을 분석하였으며 결과를 요약하면 다음과 같다.

### 가. 구조설계용 프로그램의 사용현장 적용성 평가

개발 중인 구조설계용 프로그램을 온실구조설계를 수행하고 있는 현장 경험자가 비전문가 및 전문가용 프로그램 전체를 직접 사용하면서 도출한 수정의견들을 요약하면 다음과 같다.

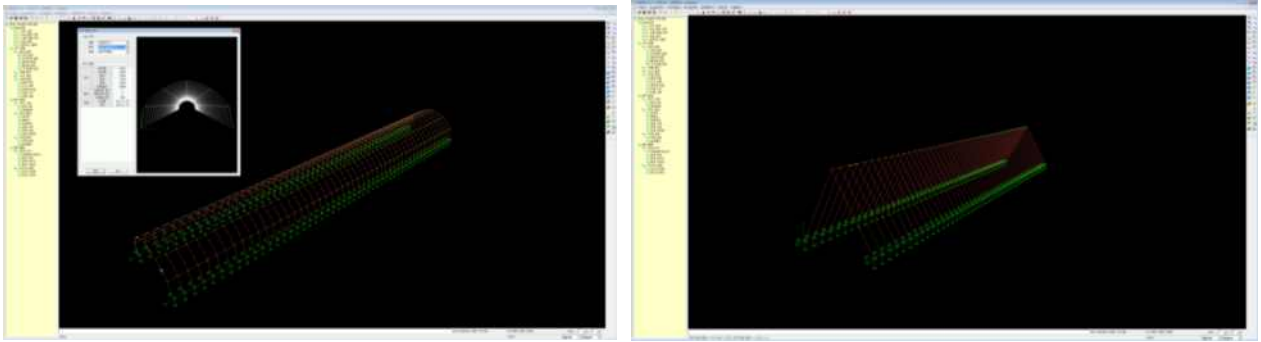
#### (1) 비전문가용 프로그램

- (가) 온실종류선택 메뉴에서 온실의 구분, 각종 명칭, 비닐하우스와 유리온실의 형태선택 및 유형선택과 관련하여 사용현장의 여건에 맞도록 수정 의견을 제시하였음.
- (나) 중방의 적용 여부 및 설치 위치에 관하여 수정 의견을 제시하였음.
- (다) 단동비닐하우스의 경우 폭과 높이를 현장 수요에 맞게 가능하면 더 다양하게 선택할 수 있도록 하는 수정 의견을 제시하였음.
- (라) 작물하중 선택 메뉴에서 작물하중이 없는 경우를 추가하도록 수정의견을 제시하였음.



#### (2) 전문가용

- (가) 구조계산을 위한 온실모델을 모델링 할 때 치수설정 등 미비한 부분에 대한 수정 및 추가 의견을 제시하였음.
- (나) 온실을 모델링 할 때 아이콘 사용 등 편집기능의 개선 사항에 대해 의견을 제시하였음.

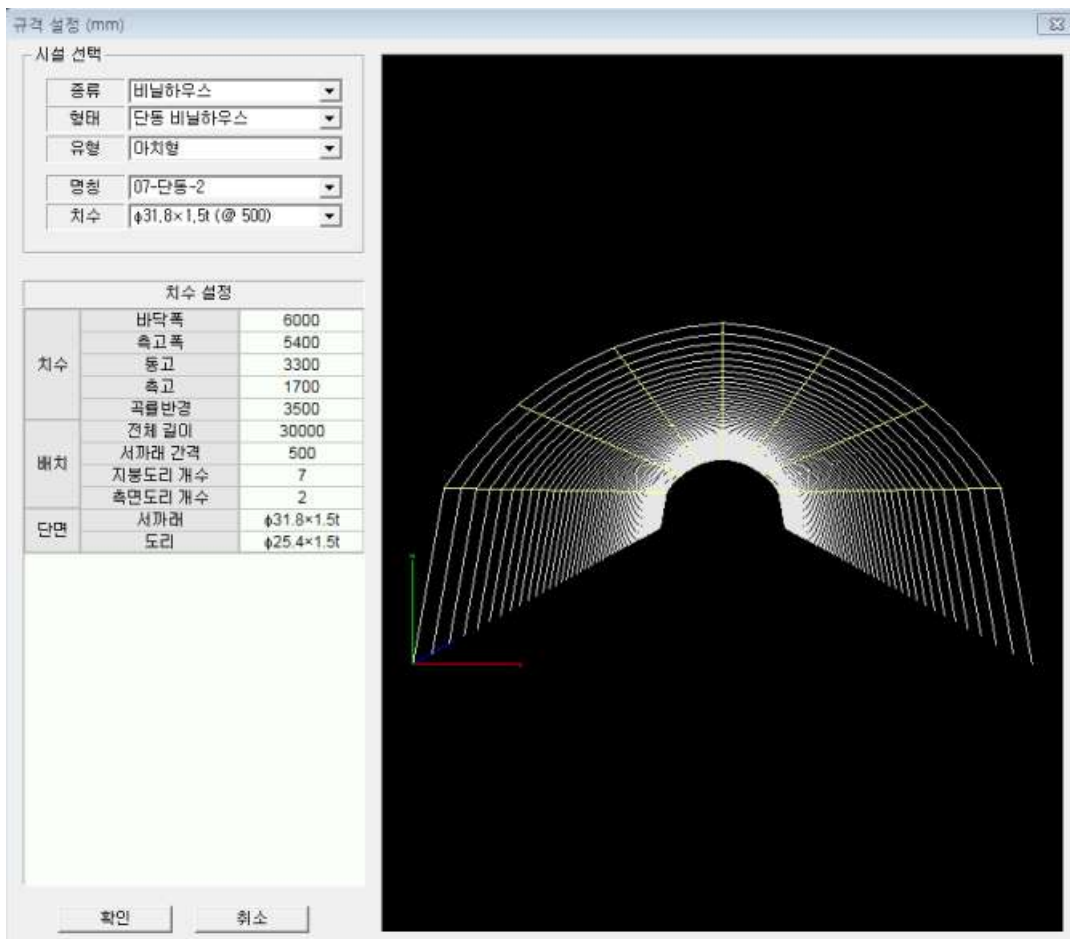


### 나. 구조설계용 프로그램의 정확성 분석

개발 중인 프로그램의 정확성을 분석하기 위하여 범용 구조해석 프로그램 중의 하나인 SAP2000과 동일한 입력조건에서 얻어진 구조해석 결과를 비교분석하였고, 다양한 하중산정조건들에 따른 하중변화 및 구조해석 결과를 비교하였으며, 결과를 요약하여 예시하면 다음과 같다.

#### (1) 비교 분석용 온실의 규격

비교분석할 온실모델의 형태 및 규격은 그림 71과 같다.



[2-3] 그림 71. 온실모델의 형태 및 규격

## (2) 하중조건

하중조건은 연직하중은 작용하지 않고 풍하중과 적설하중만 작용한다고 가정하고 각각의 하중조건에 대한 구조해석 결과를 비교하였다.

### (가) 풍하중 조건

동일한 하중조건에서 비교하기 위하여 AGreen 구조해석 프로그램에 Fig 2의 풍하중 조건을 입력하여 생성된 표 25과 같은 하중 크기를 표 26과 같이 SAP2000에 동일하게 입력하여 구조해석을 실시하고 결과를 비교하였다.

풍하중 (kN/m<sup>2</sup>)

설계기준: 온실구조 설계기준 (1993)

적용 조건

기본풍속 (m/sec): 30

노풍도: C

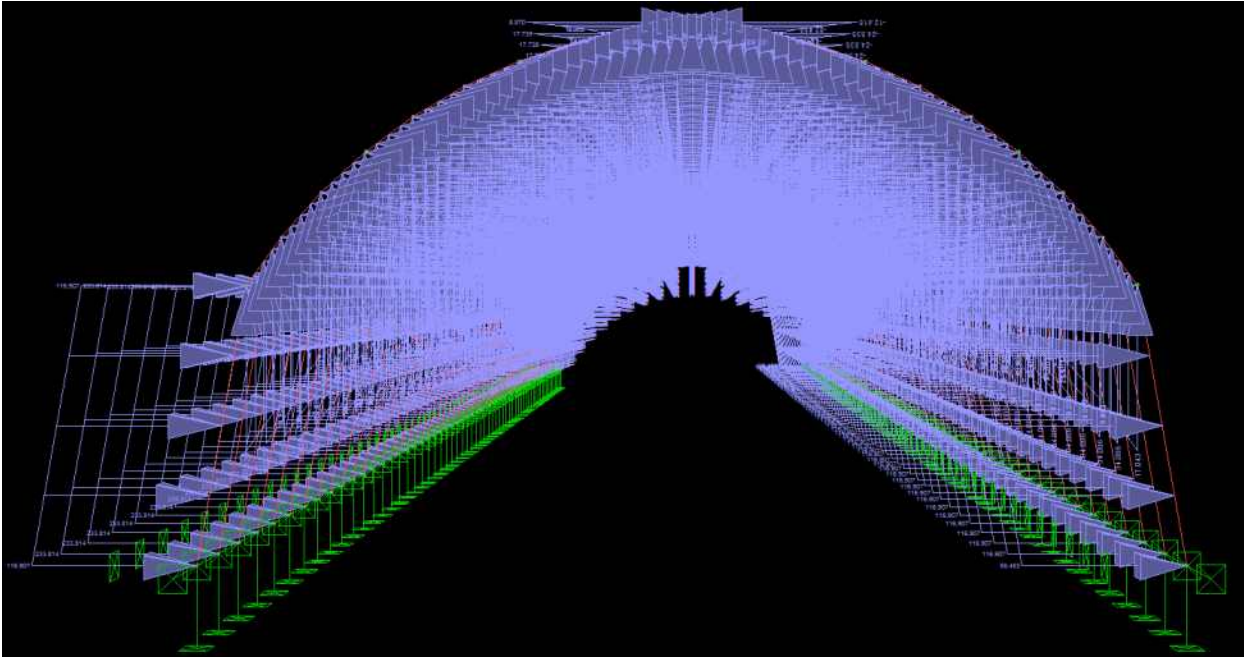
지형에의한 풍속감증계수: 1

방향	적용면	설계 속도압	가스트 열합계수	외압 계수	설계 풍압력
X	풍상벽 (좌측)	0.42	1.40	0.80	0.47
	풍하벽 (우측)	0.42	1.40	-0.40	-0.23
	측벽 (정면)	0.42	1.40	-0.50	-0.29
	측벽 (배면)	0.42	1.40	-0.50	-0.29
	풍상면 지붕 (1/4)	0.42	1.40	-0.60	-0.35
	풍상면 지붕 (2/4)	0.42	1.40	-0.70	-0.41
	풍하면 지붕 (3/4)	0.42	1.40	-0.50	-0.29
	풍하면 지붕 (4/4)	0.42	1.40	-0.20	-0.12
Y	풍상벽 (정면)	0.42	1.40	0.90	0.53
	풍하벽 (배면)	0.42	1.40	-0.30	-0.18
	측벽 (좌측)	0.42	1.40	-0.50	-0.29
	측벽 (우측)	0.42	1.40	-0.50	-0.29
	지붕 (좌측)	0.42	1.40	-0.50	-0.29
	지붕 (우측)	0.42	1.40	-0.50	-0.29

[2-3] 그림 72. 풍하중 입력조건

[2-3] 표 25. AGREEN 입력 풍하중 예시

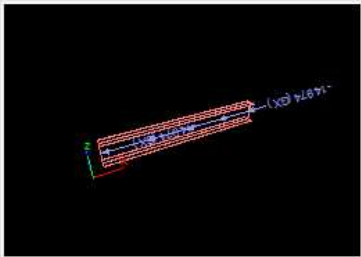
AGREEN



프레임 하중 목록

현재 하중종류: WL

번호	프레임	유형	참조축	투영	절대값	갯수	F1	F2	F3	F4	D1	D2	D3	D4
1	1	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	116,9068	116,9068	---	---	0	1,7262677	---	---
2	2	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-71,22941	-71,22941	---	---	0	0,3614451	---	---
3	3	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	51,128974	51,128974	---	---	0	0,3614451	---	---
4	4	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-65,57654	-65,57654	---	---	0	0,3614451	---	---
5	5	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	58,202387	58,202387	---	---	0	0,3614451	---	---
6	6	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-59,22432	-59,22432	---	---	0	0,3614451	---	---
7	7	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	64,655089	64,655089	---	---	0	0,3614451	---	---
8	8	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-52,24049	-52,24049	---	---	0	0,3614451	---	---
9	9	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	70,418264	70,418264	---	---	0	0,3614451	---	---
10	10	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-52,14945	-52,14945	---	---	0	0,3614451	---	---
11	11	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	88,002191	88,002191	---	---	0	0,3614451	---	---
12	12	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-42,7955	-42,7955	---	---	0	0,3614451	---	---
13	13	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	92,911224	92,911224	---	---	0	0,3614451	---	---
14	14	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-32,98516	-32,98516	---	---	0	0,3614451	---	---
15	15	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	96,829386	96,829386	---	---	0	0,3614451	---	---
16	16	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-22,82303	-22,82303	---	---	0	0,3614451	---	---
17	17	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	99,714892	99,714892	---	---	0	0,3614451	---	---
18	18	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	-12,41751	-12,41751	---	---	0	0,3614451	---	---
19	19	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	101,53697	101,53697	---	---	0	0,3614451	---	---
20	20	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	8,8696485	8,8696485	---	---	0	0,3614451	---	---
21	21	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	72,526406	72,526406	---	---	0	0,3614451	---	---
22	22	GPAR	Global-X	Real	Absolute	---	16,302166	16,302166	---	---	0	0,3614451	---	---
23	23	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	71,224923	71,224923	---	---	0	0,3614451	---	---



프레임 하중 설정...

선택된 프레임에 추가

선택된 프레임 수정

선택된 프레임 삭제

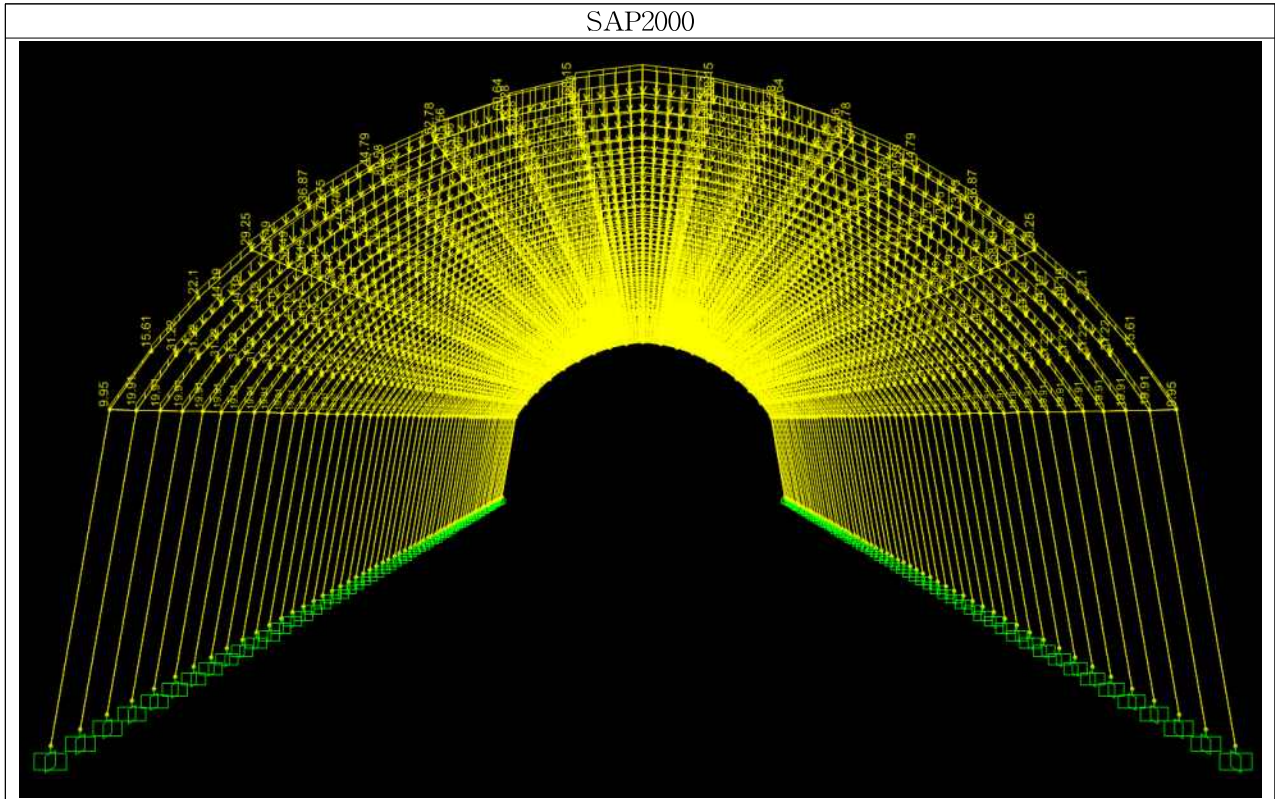
입력된 프레임에 추가

프레임 번호

확인

취소

[2-3] 표 26. SAP2000 입력 풍하중 예시



	프레임	전후면 서까래	프레임	서까래
Global-X	1	116.91	21	233.81
Global-X	2	-71.23	22	-142.46
Global-Z	2	51.13	22	102.26
Global-X	3	-65.58	23	-131.15
Global-Z	3	58.2	23	116.4
Global-X	4	-59.22	24	-118.45
Global-Z	4	64.66	24	129.31
Global-X	5	-52.24	25	-104.48
Global-Z	5	70.42	25	140.84
Global-X	6	-52.15	26	-104.3
Global-Z	6	88	26	176
Global-X	7	-42.8	27	-85.59
Global-Z	7	92.91	27	185.82
Global-X	8	-32.99	28	-65.97
Global-Z	8	96.83	28	193.66
Global-X	9	-22.82	29	-45.65
Global-Z	9	99.71	29	199.43
Global-X	10	-12.42	30	-24.84
Global-Z	10	101.54	30	203.07
Global-X	11	8.87	31	17.74
Global-Z	11	72.53	31	145.05
Global-X	12	16.3	32	32.6
Global-Z	12	71.22	32	142.45

(나) 적설하중 조건

동일한 하중조건에서 비교하기 위하여 AGreen 구조해석 프로그램에 그림 73의 적설하중 조건을 입력하여 생성된 표 27과 같은 하중 크기를 표 28와 같이 SAP2000에 동일하게 입력하여 구조해석을 실시하고 결과를 비교하였다.

설하중 (kN/m<sup>2</sup>)

설계기준: 온실구조 설계기준 (1999)

적용조건

지상적설하중 (Sg): 0.50

노출계수 (Ce): C (1.0)

온도계수 (Ct): 난방 (1.0)

지붕표면 유형: 미끄러운 표면

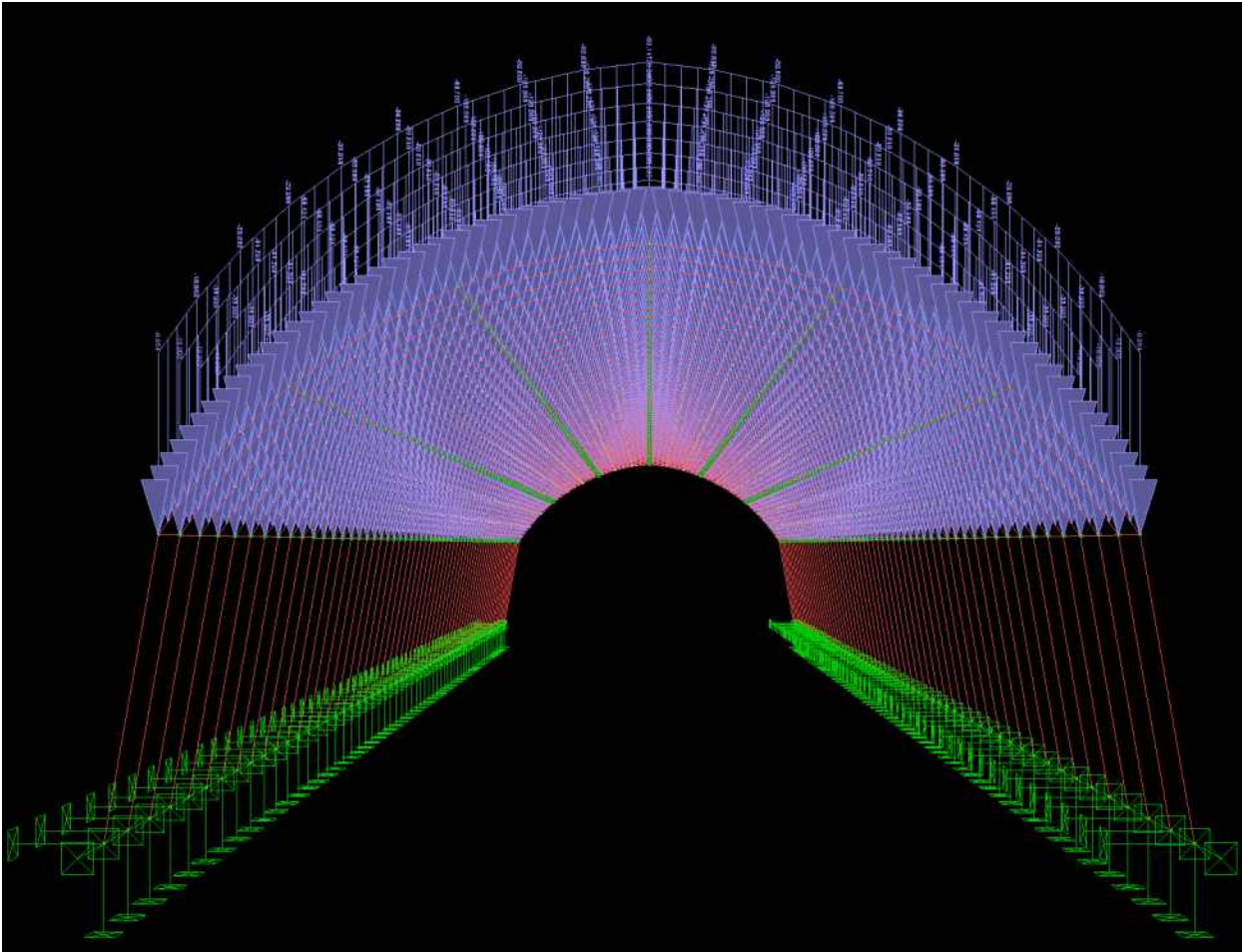
위치	경사각	적설하중
지상	0.0	0.30
지붕 단부	54.3	0.07
지붕 1/3 지점	36.6	0.15
지붕 2/3 지점	18.8	0.22
지붕 상부	7.0	0.27

확인      취소

[2-3] 그림 73. 적설하중 입력조건

[2-3] 표 27. AGREEN 입력 적설하중 예시

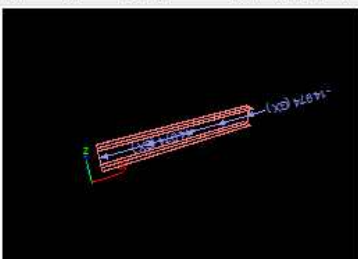
### AGREEN



프레임 하중 목록 ✖

현재 하중종류: SL

번호	프레임	유형	참조축	투영	절대값	갯수	F1	F2	F3	F4	D1	D2	D3	D4
1	2	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-9,954193	-9,954193	---	---	0	0,3614451	---	---
2	3	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-15,61158	-15,61158	---	---	0	0,3614451	---	---
3	4	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-22,09719	-22,09719	---	---	0	0,3614451	---	---
4	5	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-29,24552	-29,24552	---	---	0	0,3614451	---	---
5	6	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-36,87439	-36,87439	---	---	0	0,3614451	---	---
6	7	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-44,78805	-44,78805	---	---	0	0,3614451	---	---
7	8	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-52,78048	-52,78048	---	---	0	0,3614451	---	---
8	9	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-60,63889	-60,63889	---	---	0	0,3614451	---	---
9	10	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-68,14735	-68,14735	---	---	0	0,3614451	---	---
10	11	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-68,14735	-68,14735	---	---	0	0,3614451	---	---
11	12	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-60,63889	-60,63889	---	---	0	0,3614451	---	---
12	13	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-52,78048	-52,78048	---	---	0	0,3614451	---	---
13	14	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-44,78805	-44,78805	---	---	0	0,3614451	---	---
14	15	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-36,87439	-36,87439	---	---	0	0,3614451	---	---
15	16	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-29,24552	-29,24552	---	---	0	0,3614451	---	---
16	17	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-22,09719	-22,09719	---	---	0	0,3614451	---	---
17	18	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-15,61158	-15,61158	---	---	0	0,3614451	---	---
18	19	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-9,954193	-9,954193	---	---	0	0,3614451	---	---
19	22	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-19,90839	-19,90839	---	---	0	0,3614451	---	---
20	23	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-31,22315	-31,22315	---	---	0	0,3614451	---	---
21	24	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-44,19439	-44,19439	---	---	0	0,3614451	---	---
22	25	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-58,49104	-58,49104	---	---	0	0,3614451	---	---
23	26	GPAR	Global-Z	Real	Absolute	---	-73,74878	-73,74878	---	---	0	0,3614451	---	---



프레임 하중 설정...

선택된 프레임에 추가

선택된 프레임 수정

선택된 프레임 삭제

입력된 프레임에 추가

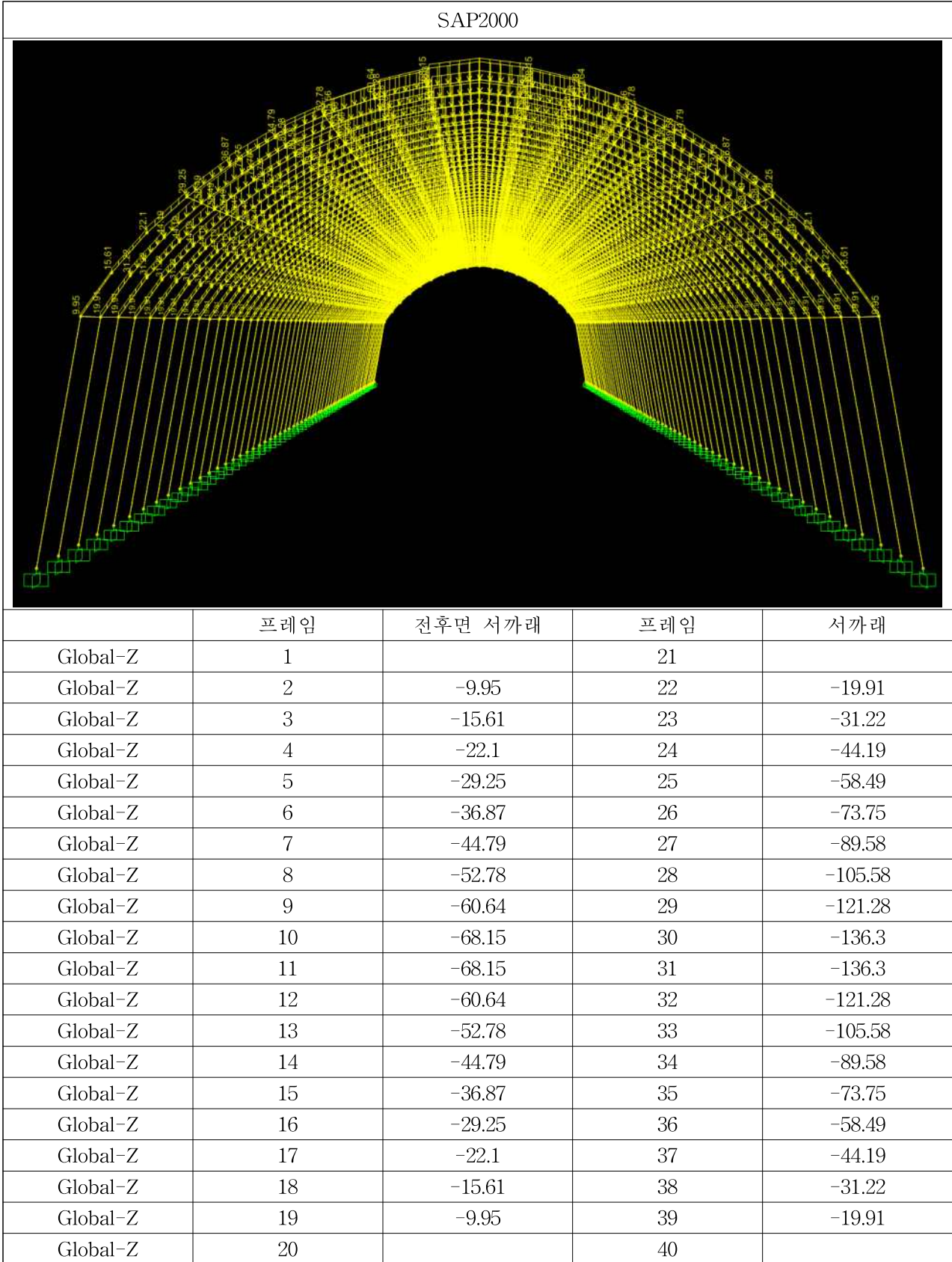
프레임 번호

1306

확인

취소

[2-3] 표 28. SAP2000 입력 적설하중 예시





### (3) 결과 비교

풍하중 및 적설하중 조건에 대하여 각각 동일하게 하중을 작용시켜 구조해석한 결과를 비교하면 다음과 같다.

#### (가) 풍하중

풍하중 작용 시 SAP2000과 AGreen의 구조해석 결과가 표 29와 표 30에서 보는 바와 같이 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

[2-3] 표 29. 풍하중 작용 시 서까래의 최대 정모멘트 및 부모멘트(SAP2000 결과)

	P (N)	V2 (N)	V3 (N)	T (N-m)	M2 (N-m)	M3 (N-m)
COMB1 (자중+풍하중)	311.46	126.8	18.21	5.57	9.66	87.4
COMB1 (자중+풍하중)	81.6	-261.73	-18.21	-5.57	-9.66	-133.71

[2-3] 표 30. 풍하중 작용 시 서까래의 단면력(AGreen 결과)

Sort	L.C.	Frame	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx-Max	D+DM+LV+W	181	311.28	0	261.573	0	-133.465	0
Fx-Min	D+DM+LV+W	1220	72.994	0	2.909	0	-30.933	0
Fy-Max	D+DM+LV+W	1	137.18	0	133.394	0	-66.272	0
Fy-Min	D+DM+LV+W	1	137.18	0	133.394	0	-66.272	0
Fz-Max	D+DM+LV+W	581	311.28	0	261.573	0	-133.465	0
Fz-Min	D+DM+LV+W	22	247.098	0	-130.718	0	85.97	0
Mx-Max	D+DM+LV+W	1	137.18	0	133.394	0	-66.272	0
Mx-Min	D+DM+LV+W	1	137.18	0	133.394	0	-66.272	0
My-Max	D+DM+LV+W	122	249.496	0	-126.814	0	87.349	0
My-Min	D+DM+LV+W	81	311.276	0	261.531	0	-133.493	0
Mz-Max	D+DM+LV+W	1	137.18	0	133.394	0	-66.272	0
Mz-Min	D+DM+LV+W	1	137.18	0	133.394	0	-66.272	0

#### (나) 적설하중

적설하중 작용 시에도 풍하중 작용 시와 마찬가지로 SAP2000과 AGreen의 구조해석 결과가 표 31과 표 32에서 보는 바와 같이 서로 잘 일치하는 것으로 나타났다.

[2-3] 표 31. 적설하중 작용 시 서까래의 최대 정모멘트 및 부모멘트(SAP2000 결과)

	P (N)	V2 (N)	V3 (N)	T (N-m)	M2 (N-m)	M3 (N-m)
COMB2 (자중+적설하중)	-46.42	84.37	10.99	2.57	5.83	79.57
COMB2 (자중+적설하중)	-228.83	-62.85	-10.99	-2.57	-5.83	-64.18

[2-3] 표 32. 적설하중 작용 시 서까래의 단면력(AGreen 결과)

Sort	L.C.	Frame	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx-Max	D+DM+LV+S	10	-70.888	0	-7.941	0	31.162	0
Fx-Min	D+DM+LV+S	399	-228.804	0	-15.789	0	-64.17	0
Fy-Max	D+DM+LV+S	1	-134.084	0	-48.768	0	48.387	0
Fy-Min	D+DM+LV+S	1	-134.084	0	-48.768	0	48.387	0
Fz-Max	D+DM+LV+S	600	-215.919	0	84.356	0	-64.17	0
Fz-Min	D+DM+LV+S	561	-215.919	0	-84.356	0	-64.17	0
Mx-Max	D+DM+LV+S	1	-134.084	0	-48.768	0	48.387	0
Mx-Min	D+DM+LV+S	1	-134.084	0	-48.768	0	48.387	0
My-Max	D+DM+LV+S	561	-228.383	0	-82.157	0	79.553	0
My-Min	D+DM+LV+S	659	-228.804	0	-15.789	0	-64.17	0
Mz-Max	D+DM+LV+S	1	-134.084	0	-48.768	0	48.387	0
Mz-Min	D+DM+LV+S	1	-134.084	0	-48.768	0	48.387	0

풍하중과 적설하중 작용 시 모두 SAP2000과 AGreen의 구조해석 결과가 서로 잘 일치하는 것으로 나타나 AGreen 구조해석 프로그램이 구조해석을 정확하게 수행하고 있음을 확인할 수 있었다.

#### (4) 기타

적설하중과 풍하중을 산정할 때 고려하는 다양한 하중산정조건들에 따른 하중변화 및 구조해석 결과를 비교하였으며, 결과를 예시하면 다음과 같다.

##### (가) 적설하중

적설하중의 하중산정 조건(지역, 노출계수, 온도계수 등)들을 변경하면서 구한 다양한 적설하중에 대해 최대부재력을 산정하고 변화를 비교분석하여 계산 결과의 정확성을 검증하였다. 예를 들면 표 33와 34은 각각 노출계수가 1.0과 0.8일 때의 적설하중이 작용하는 경우의 구조해석 결과를 나타낸 것으로 계수변화에 따라 다른 해석결과가 얻어졌다. 이와 같이 모든 조건들이 달라짐에 따라 구조해석 결과도 입력조건에 맞게 잘 도출되는 것으로 나타났다.



[2-3] 표 33. 적설하중 작용 시 구조해석 결과 예시(노출계수 1)

Sort	L.C.	Frame	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx-Max	D+DM+LV+S	707	-84.977	0	-6.969	0	47.592	0
Fx-Min	D+DM+LV+S	321	-290.39	0	-7.518	0	-89.314	0
Fy-Max	D+DM+LV+S	351	-258.501	152.859	0	0	0	139.974
Fy-Min	D+DM+LV+S	53	-230.707	0	-57.153	0	-15.645	0
Fz-Max	D+DM+LV+S	19	-213.215	0	96.143	0	-21.786	0
Fz-Min	D+DM+LV+S	696	-213.215	0	-96.143	0	-21.786	0
Mx-Max	D+DM+LV+S	109	-230.869	0	-57.035	0	-16.426	0
Mx-Min	D+DM+LV+S	102	-250.159	0	83.465	0	-59.395	0
My-Max	D+DM+LV+S	358	-153.18	0	3.335	0	80.194	0
My-Min	D+DM+LV+S	352	-290.39	0	7.518	0	-89.314	0
Mz-Max	D+DM+LV+S	351	-258.501	152.859	0	0	0	139.974
Mz-Min	D+DM+LV+S	364	-258.501	152.859	0	0	0	-139.974

[2-3] 표 34. 적설하중 작용 시 구조해석 결과 예시(노출계수 0.8)

Sort	L.C.	Frame	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx-Max	D+DM+LV+S	708	-70.288	0	5.643	0	39.008	0
Fx-Min	D+DM+LV+S	321	-237.967	0	-6.668	0	-73.023	0
Fy-Max	D+DM+LV+S	351	-214.186	124.84	0	0	0	114.236
Fy-Min	D+DM+LV+S	53	-188.376	0	-46.613	0	-12.519	0
Fz-Max	D+DM+LV+S	19	-173.908	0	77.971	0	-17.452	0
Fz-Min	D+DM+LV+S	696	-173.908	0	-77.971	0	-17.452	0
Mx-Max	D+DM+LV+S	109	-188.505	0	-46.519	0	-13.147	0
Mx-Min	D+DM+LV+S	102	-204.354	0	68.234	0	-48.241	0
My-Max	D+DM+LV+S	358	-125.119	0	2.53	0	65.212	0
My-Min	D+DM+LV+S	352	-237.967	0	6.668	0	-73.023	0
Mz-Max	D+DM+LV+S	351	-214.186	124.84	0	0	0	114.236
Mz-Min	D+DM+LV+S	364	-214.186	124.84	0	0	0	-114.236

(나) 풍하중

풍하중의 하중산정 조건(지역, 노풍도 등)들을 변경하면서 구한 다양한 풍하중에 대해 최대 부재력을 산정하고 변화를 비교분석하였다. 예를 들면 표 35과 36는 각각 기본풍속이 30 m/s인 지역과 45 m/s인 지역의 풍하중을 고려한 구조해석 결과를 나타낸 것으로 풍속이 달라져도 최대부재력이 변화되지 않고 동일한 값을 나타내었다. 검토 후 조건의 변화에 따라 정확한 결과를 도출할 수 있도록 수정하였다.

The screenshot shows a software window with a left-hand control panel and a right-hand data table. The control panel includes fields for '설계기준' (Design Standard) set to 'FBC-2018', '지역' (Region) set to '강원도', '기본풍속 (m/s)' (Basic Wind Speed) set to '30', and other parameters. The data table on the right lists structural members (e.g., '상단벽 (압력)', '중단벽 (압력)', '측벽 (우측)') and their corresponding load values for different wind directions (e.g., '0°', '45°', '90°', '135°', '180°').

[2-3] 표 35. 풍하중 작용 시 구조해석 결과 예시(기본풍속이 30 m/s인 지역)

Sort	L.C.	Frame	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx-Max	D+DM+LV+W	1191	31.165	0	21.673	0	18.358	0
Fx-Min	D+DM+LV+W	1200	-160.02 5	0	89.546	0	46.367	0
Fy-Max	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Fy-Min	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Fz-Max	D+DM+LV+W	620	-159.97 5	0	90.504	0	46.184	0
Fz-Min	D+DM+LV+W	761	-81.664	0	-89.967	0	-10.05	0
Mx-Max	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Mx-Min	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
My-Max	D+DM+LV+W	1180	-159.96 2	0	90.287	0	46.369	0
My-Min	D+DM+LV+W	1159	-109.87 8	0	-43.718	0	-38.623	0
Mz-Max	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Mz-Min	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0

[2-3] 표 36. 풍하중 작용 시 구조해석 결과 예시(기본풍속이 45 m/s인 지역)

Sort	L.C.	Frame	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Fx-Max	D+DM+LV+W	1191	31.165	0	21.673	0	18.358	0
Fx-Min	D+DM+LV+W	1200	-160.02 5	0	89.546	0	46.367	0
Fy-Max	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Fy-Min	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Fz-Max	D+DM+LV+W	620	-159.97 5	0	90.504	0	46.184	0
Fz-Min	D+DM+LV+W	761	-81.664	0	-89.967	0	-10.05	0
Mx-Max	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Mx-Min	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
My-Max	D+DM+LV+W	1180	-159.96 2	0	90.287	0	46.369	0
My-Min	D+DM+LV+W	1159	-109.87 8	0	-43.718	0	-38.623	0
Mz-Max	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0
Mz-Min	D+DM+LV+W	1	-56.911	0	39.909	0	2.582	0

## 2-4. 주요연구내용 (제1협동)

### 2-4-1. 1차 년도

#### 가. 온실 구조안전성 요구사항 도출

##### (1) 온실 구조적 특성 분석

###### (가) 국내 온실 규격

비닐하우스는 사람이 거주하는 건축물과 달리 작물재배를 위한 시설로, 인명피해에 관한 우려가 없기 때문에 최소 외력에 대해 구조재가 내력을 보유하며 저항하도록 비교적 단순하고 저비용 재료로 제작되는 시설물이다. 이 시설물은 건축구조기준보다 완화된 별도의 비닐하우스 구조물 설계기준이 1995년에 제정되고 1999년에 개정·운영 되었다. 그러나 현재 관련 고시가 소멸되었다. 한편, 농림축산식품부(농림부)는 2007년부터 대설이나 강풍 등 기상재해로 인한 원예시설물의 비용 손실 등을 줄이는 것을 목적으로 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서(이하 '내재해형 규격')를 마련하였다. 2014년 개정된 내재해형 규격에서는 단동 비닐하우스 24종, 연동 비닐하우스 7종 등 총 45종의 내재해형 비닐하우스를 시설 규모에 따라 제원, 기둥, 결속재 등 부재 규격에 대하여 규정되어 있다. 또한, 각 지역 설계강도를 산정하기 위해 적설심과 풍속자료를 30년 빈도로 계측하며 정보를 제공한다. 단동 비닐하우스의 시공과 관련하여 골조·피복 공사 및 재해 발생시 유지 관리법에 대해 규정되어 있다. 그리고 내재해형 규격은 단동 비닐하우스가 동간거리를 1.5m이상 확보할 경우 동간(폭)을 줄여 시공할 수도 있는 방법이 제시되어 있다.

특히, 내재해형 규격 도서에 제시된 구조기준에 따라 조리개의 경우 인장시험 및 미끄럼 시험으로 검증된 조리개를 내재해형 (결속)조리개로 규정하고, 내재해형 강도기준은 시험체의 하중-변위 곡선에서 2mm강도를 검토하게 되어있다. 여기서 미끄럼강도는 1,390N이상, 인장강도는 900N이상으로 규정 되어있다. 조리개의 크기 및 종류에 따라 강도는 다른 것으로 조사되었다. 내재해형 단동 비닐하우스에서 주로 사용되는 조리개는 강선조리개, 강판조리개와 선판조리개로 이 중 강선조리개는 초기 개발된 모델로 저렴하고 간단히 조립할 수 있지만, 장기 사용에 따른 결속력 저하가 발생된다. 강판조리개 및 선판조리개는 강선조리개의 단점을 보완하기 위해 개발되었으며 체결방식이 보다 효율적이다.

###### (나) 단동 비닐하우스 구조적 특성

###### ① 단동 비닐하우스 구성

2014년 농림축산식품부 고시 원예특장시설 내재해형 규격 설계도·시방서를 분석한 결과 단동 비닐하우스는 아래 표에 19종의 시설 규모에 따라 서까래 및 가로대의 파이프 규격/간격, 기초형식과 내재해/일반 조리개 형태 및 간격 등이 규정되어 있다.

단동비닐하우스는 상부에서 외력이 발생될 경우 먼저 서까래로부터 직교하는 가로대와 서까래로 외력을 분담하여 기초까지 전달하는 구조이다. 서까래·가로대는 적설심과 풍속이 높을수록 파이프 직경과 두께를 크게하고, 배치간격 또한 조밀하도록 규정되어 있다. 또한 측고나 동고가 커질 경우 가로대의 수도 증가하며, 서까래가 받는 외력을 가로대로 하중 경로가 분담 되도록 필요한 가로대 수가 증가하며, 이 때 결속조리개가 접합재 역할을 하므로, 결속재의 구조성능을 위해 최소치가 규정되어 있다.

[2-4] 표 1. 단동비닐하우스 19종 규격

규격명	폭	측고	동고	서까래	가로대	설계강도	
						적설심	풍속
07-단동-1	5.0	1.2	2.6	φ25.4×1.5t@60	5개(φ25.4×1.2t)	50	35
07-단동-2	6.0	1.7	3.3	φ31.8×1.5t@60	9개(φ25.4×1.5t)	50	35
07-단동-3	7.0	1.4	3.3	φ31.8×1.7t@60	9개(φ25.4×1.5t)	50	36
07-단동-4	8.0	1.5	3.6	φ31.8×1.7t@50	9개(φ25.4×1.5t)	48	37
10-단동-1	6.0	1.7	3.3	φ31.8×1.5t@60	5개(φ25.4×1.2t)	41	32
10-단동-2	7.0	1.4	3.3	φ31.8×1.7t@60	5개(φ25.4×1.2t)	42	35
10-단동-3	7.0	1.6	3.5	φ31.8×1.7t@60	5개(φ25.4×1.2t)	37	33
10-단동-4	8.2	1.6	3.9	φ31.8×1.7t@50	5개(φ25.4×1.2t)	41	35
10-단동-5	8.2	1.6	3.5	φ31.8×1.7t@50	5개(φ25.4×1.2t)	30	32
10-단동-6	7.6	1.7	3.7	φ31.8×1.5t@50	7개(φ25.4×1.5t)	28	39
10-단동-7	8.9	1.7	3.9	φ42.2×2.1t@90	7개(φ25.4×1.5t)	27	41
10-단동-8	7.6	1.7	3.7	φ42.2×2.1t@80	7개(φ25.4×1.5t)	25	33
10-단동-9	8.9	1.7	3.9	φ48.1×2.1t@70	7개(φ25.4×1.5t)	26	36
10-단동-10	5.4	1.2	2.6	φ25.4×1.5t@80	3개(φ25.4×1.5t)	30	28
10-단동-11	5.6	1.2	2.4	φ31.8×1.5t@100	3개(φ31.8, φ25.4)	29	27
10-단동-12	5.6	1.2	2.4	φ25.4×1.5t@65	3개(φ25.4×1.5t)	27	27
10-단동-13	5.8	1.3	2.6	φ31.8×1.5t@90	3개(φ31.8, φ25.4)	30	28
07-단동-18	7.0	1.3	2.8	φ31.8×1.7t@50	9개(φ25.4×1.7t)	50	40
12-단동-1	7.0	2.0	3.9	φ42.2×2.1t@90	5개(φ25.4×1.5t)	55	42





[2-4] 표 2. 구조용 파이프 기계적 성질

종류		항복강도(N/mm <sup>2</sup> )	인장강도(N/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)
SPVHS	아연도 강관	295 이상	400 이상	18 이상
SPVHS-AZ	55%알루미늄-아연합금도금강관	295 이상	400 이상	18 이상

또한 표와 같이 원예특장시설 내재해형 규격 설계도·시방서에서는 서까래 설치 간격 및 규격에 따라 적설 높이와 풍속을 규정한다.

원예특장시설 내재해형 규격 설계도·시방서에서 서까래 간격 및 가로대 배치 개수는 온실 종류별로 규정되어 있으나, “온실의 자재절감 및 안전성 향상을 위한 최적모델 및 설계시스템 개발(2007)” 연구에 따르면 실제 현장에서 서까래 간격 및 가로대 개수는 시공성, 비용문제로 규격보다 감소시켜 시공하는 경우가 발생하는 것으로 조사되었다.

[2-4] 표 3. 서까래 간격 조정시공에 따른 적설심 및 풍속강도

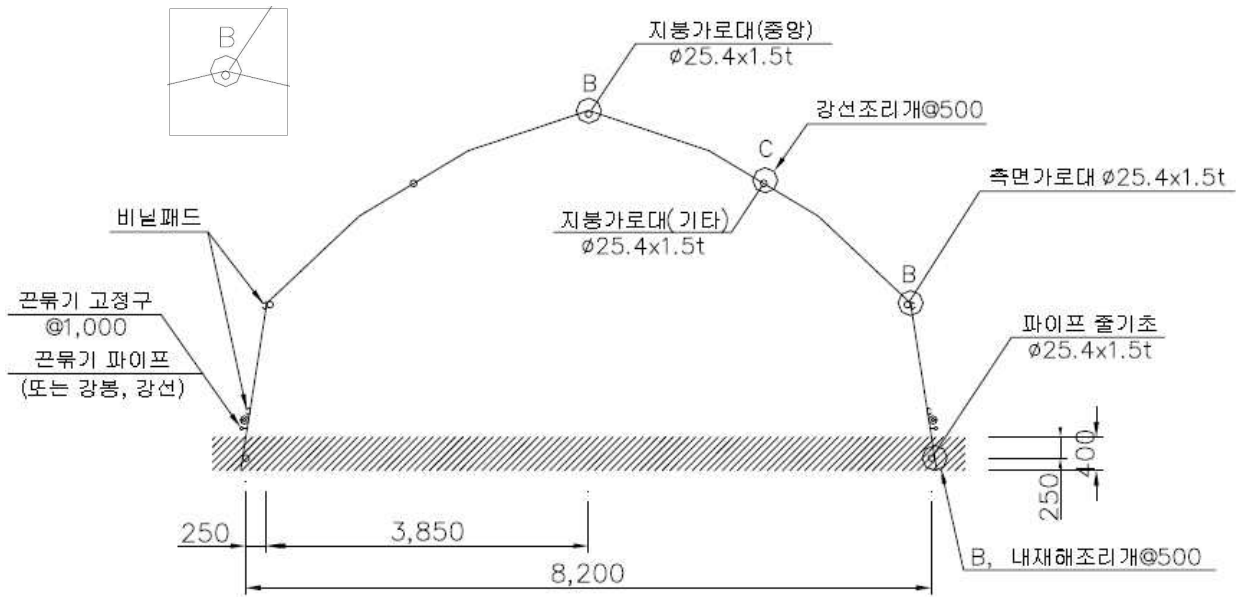
서까래 설치간격	07-단동-1		07-단동-2		07-단동-3		07-단동-4	
	적설심	풍속	적설심	풍속	적설심	풍속	적설심	풍속
50	-	-	-	-	-	-	48	37
60	50	35	50	35	50	36	38	33
70	45	34	43	32	42	34	32	31
80	40	31	38	30	37	32	28	29
90	35	30	34	28	33	30	25	27

[2-4] 표 4. 서까래 규격 조정시공에 따른 적설심 및 풍속강도

서까래		10-단동-1		10-단동-2		10-단동-3		10-단동-4		10-단동-5	
규격	설치간격	적설심	풍속	적설심	풍속	적설심	풍속	적설심	풍속	적설심	풍속
φ31.8×1.7t	50	52	37	50	38	45	36	41	35	30	32
	60	45	34	42	35	37	33	34	32	25	30
φ31.8×1.5t	50	49	35	46	37	41	34	37	34	28	31
	60	41	32	38	33	34	31	31	31	23	28
φ25.4×1.7t	50	33	27	30	32	28	28	22	29	-	-
	60	27	25	24	29	23	26	-	-	-	-
φ25.4×1.5t	50	30	26	26	30	24	27	-	-	-	-
	60	25	23	22	28	20	24	-	-	-	-

### ③ 단동 비닐하우스 접합부

단동 비닐하우스에서 서까래와 가로대, 파이프 줄기초의 결속은 조리개로 시공되며, 일반조리개와 내재해형 조리개로 구분되며 위치별 조리개 유형을 규정하고 있다. 결속조리개는 상부 구조의 서까래와 가로대를 구속하여 적설하중 및 풍하중에 대한 유효면적을 확보하고, 기초구조의 파이프 줄기초를 형성하여 지지력을 확보하는 부재이다. 조리개는 구조부재인 서까래, 가로대, 줄기초를 접합하여 재하되는 하중에 대해 시스템적 거동으로 저항할 수 있도록 하고 있으며, 단동의 결속조리개는 작용하는 하중 및 시공성을 고려하여 비교적 단순한 형태로 제작된 것으로 조사되었다. 단순한 형태로 제작된 조리개는 기계적 성능이 불확실할 수 있기 때문에 이에 대한 성능 검증이 필요하다. 특히 조리개의 결속력에 따라서 시스템 거동의 특성이 변화할 수 있고, 결속방법이 정밀하지 못하면 각 절점자유도에 대한 구속효과가 낮아질 수 있다. 그러므로 조리개 유형별 발생하는 응력조건에 대한 실험적 검증이 필요하다.



[2-4] 그림 3. 단동 비닐하우스 단면도

그림과 같이 국내에서 사용되고 있는 온실 조리개는 다음의 4종이 주로 사용되며, 수지조리개는 내재해형 조리개로서는 규격을 만족하지 않는 것으로 조사되었다.



(a) 강선조리개



(b) 선판조리개



(c) 강판조리개



(d) 수지조리개

[2-4] 그림 4. 접합부 조리개의 종류

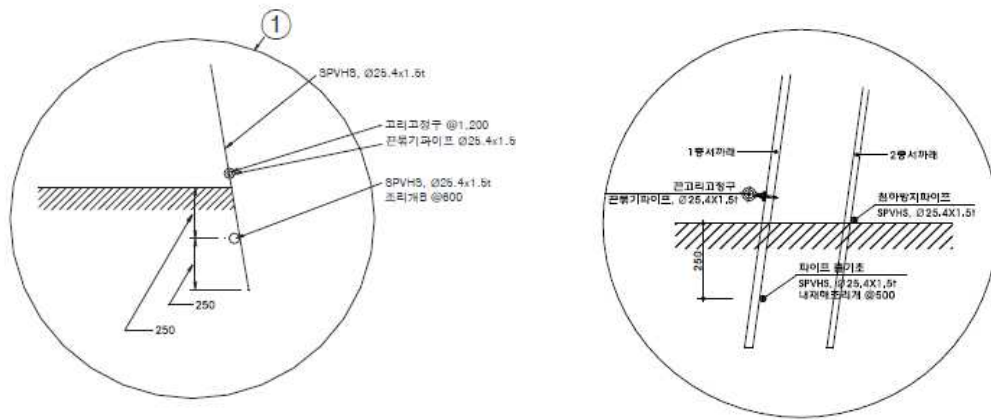
내재형 온실 조리개는 원예특장시설 내재해형 규격 설계도·시방서에서 강도기준 및 시험방법이 규정되어 있으며 요구강도는 아래 표와 같다. 현행 설계도·시방서에서 제시하고 있는 내재해형 조리개의 강도기준에 대한 실험적 검증과 온실구조의 한계상태에 대한 분석이 본 보고서에서 수행되었다.

[2-4] 표 5. 비닐하우스용 결속조리개 내재해 강도기준

구분	종류	미끄럼강도(kgf)		인장강도(kgf)	
		시험값	내재해 기준	시험값	내재해 기준
비닐하우스용	강선조리개	16	139이상	192	90이상
	강선조리개+ABS	53		209	
	강판조리개	290		245	
	수지조리개	141		210	
	선판조리개	150		220	

#### ④ 단동 비닐하우스 기초구조

단동 비닐하우스의 기초형식은 서까래를 연장하여 지표층 하부에 최대 500mm 깊이로 매설하며, 지지력을 확보하기 위하여 250mm 위치에 가로대를 내재형 조리개로 결속하여 파이프 줄기초를 형성하는 것으로 구성된다. 파이프 줄기초는 삽입깊이가 500mm로 얇기 때문에 서까래의 주면 마찰력 보다는 가로대 파이프의 상부 토사에 대한 지지력으로 저항하므로 상부 토사의 다짐도는 기초저항력과 관련 있다. 기초부에서 파이프 줄기초는 주요 저항요소인 가로대의 깊이가 표층으로부터 250mm로 시공되며, 해당 깊이는 낮을뿐만 아니라, 통상 현장에서 발다짐 또는 붕다짐 등으로 시공되어 다짐도가 불균일하고, 불충분하여 시공성에 의한 영향을 크게 받는 것으로 조사되었다.



(a) 기본 기초부

(b) 2중 온실 기초부

[2-4] 그림 5. 단동비닐하우스의 기초부 상세



[2-4] 그림 6. 단동비닐하우스의 기초부 상세

(다) 연동 비닐하우스 구조적 특성


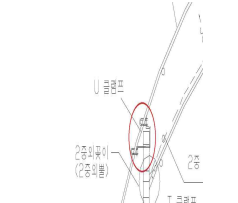

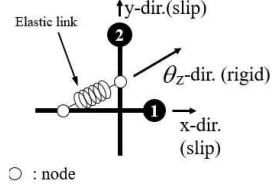

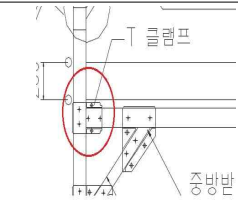

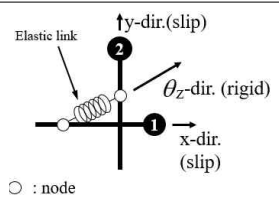

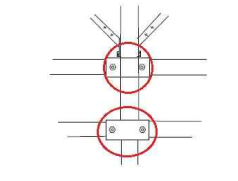

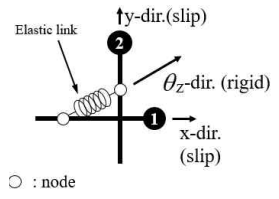

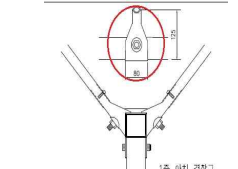

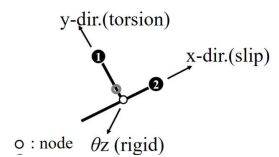
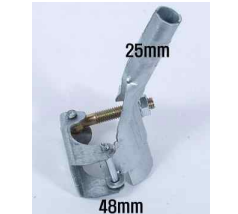
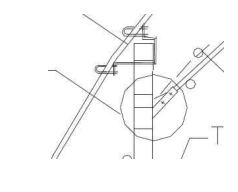

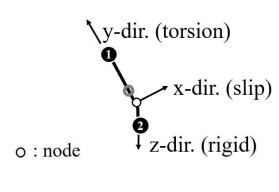

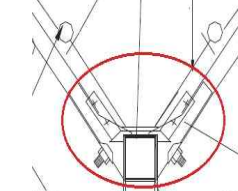

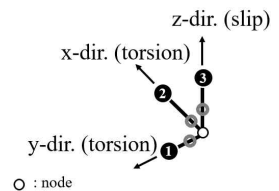

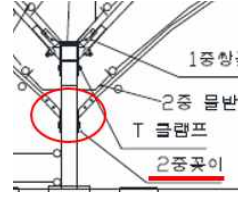
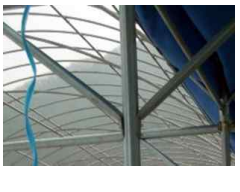
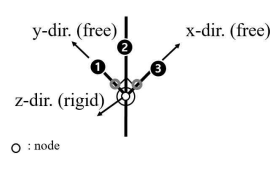

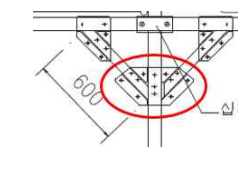

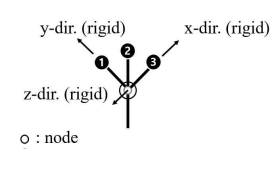
① 연동 비닐하우스 구성

2014년 농림축산식품부 고시 원예특작시설 내지해형 규격 설계도·시방서에 따라 아래 표처럼 연동비닐하우스 5종에 관한 내재해형 규격 및 높이와 폭에 대한 시설 규모에 따라 시설제원, 파이프 규격, 조리개 등에 대하여 규정되어 있다. 연동비닐하우스는 단동비닐하우스와 달리 접합재/결속재가 다양하여 외력으로부터 저항하는 구조부재와 직접적으로 관여되는 접합재에 한정하여 상세 제원을 검토하고 해석과 실제거동에 따른 절점조건을 분석해야 한다. 이를 위해 내재해형 규격에 제시된 설계도면·상세제원과 현장(실무)에 설치되어 사용되는 접합부재 규격을 조사하였다. 조사 결과, 내재해형 규격에 제시되어 있는 접합재 중 일부는 규격/크기에 관한 상세 정보가 없거나 구조성능에 관한 기준이 언급되어 있지 않았다. 이에 따라 현장에서 다양한 규격과 혼합된 접합철물이 사용되고 있음이 확인되었다. 또한, 단동비닐하우스에서 내재해형 조리개는 인장 강도나 미끄럼 강도에 관한 기준치가 있으나, 연동비닐하우스는 접합재의 저항성능 확보를 위한 접합철물의 구조 성능이나 기계적 성능에 관한 최소 강도 등, 규정 기준





[2-4] 표 7. 연동 비닐하우스 접합재 종류 및 절점조건 분석

타입	제품사진	설계도	적용예	절점조건
U 클램프				 <p>○ : node</p>
T 클램프				 <p>○ : node</p>
십자판				 <p>○ : node</p>
1중 외꽃이				 <p>○ : node</p>
2중 외꽃이				 <p>○ : node</p>
1중 쌍꽃이				 <p>○ : node</p>
2중 쌍꽃이				 <p>○ : node</p>
Y 클램프				 <p>○ : node</p>

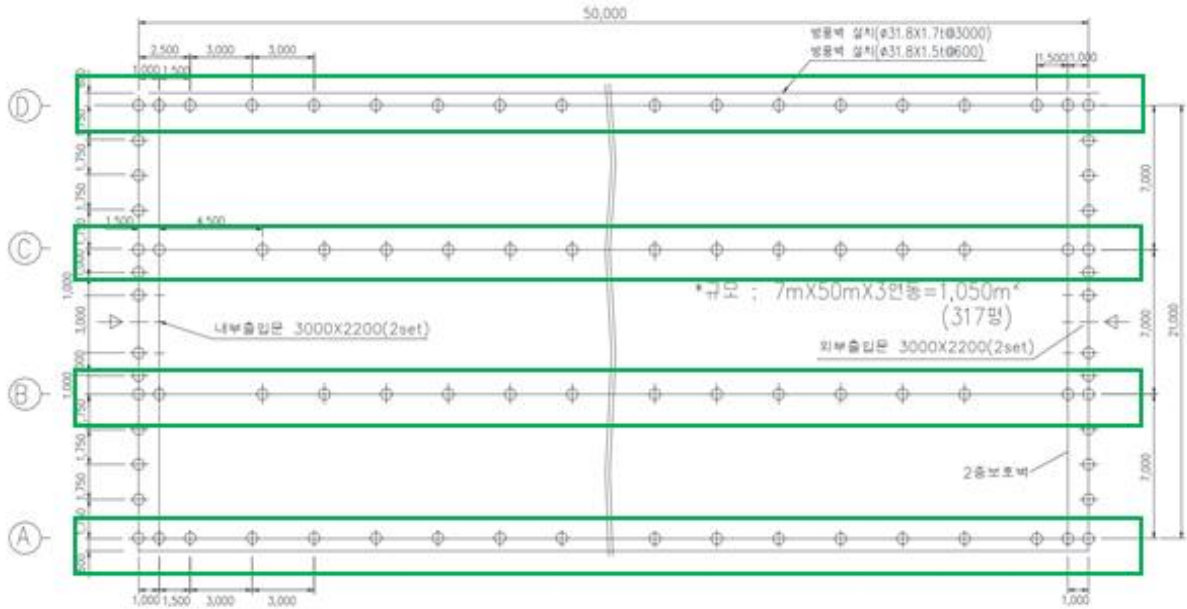
45클램프				<p>o : node</p>
조리개		<p>1중 지붕서까래 교차점 B(내제허조리개)@3,000 1중 지붕서까래 교차점 C(일반조리개)@600</p>		<p>o : node</p>
새들 고정구				<p>o : node</p>
고정 클램프				<p>o : node</p>
회전 클램프				<p>o : node</p>
각T클립				<p>o : node</p>
고정구				



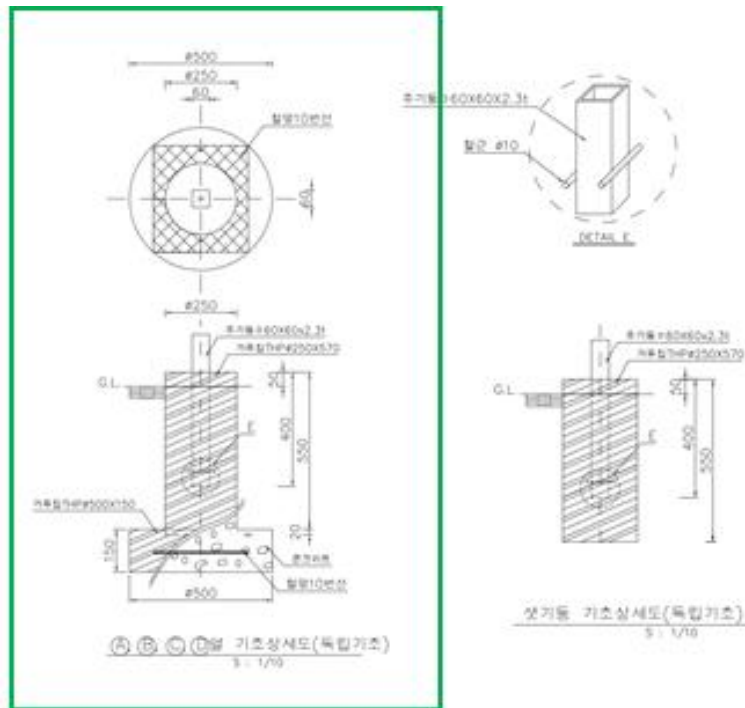
④ 연동 비닐하우스 기초구조

㉞ 07-연동-1형 기초형식

- 07-연동-1형 기초는 원형의 독립기초이며, 길이방향 주 기둥열과 주기둥열 사이에 위치한 셋 기둥의 형식에 차이가 있다.



(a) 07-연동-1형 기초평면도

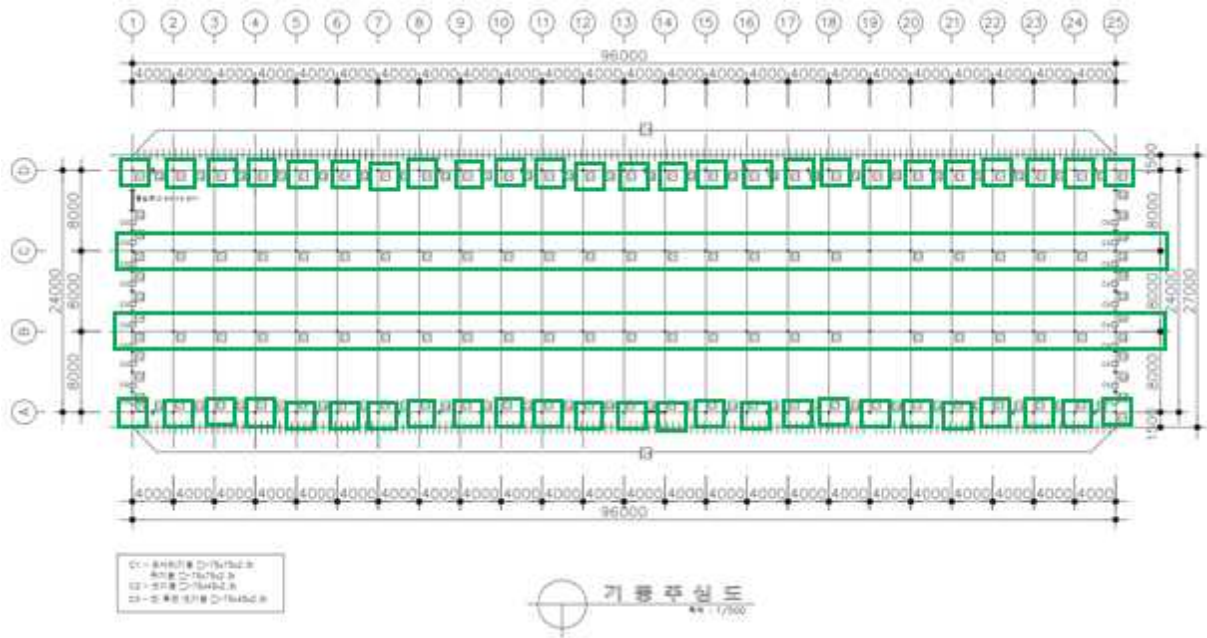


(b) 07-연동-1형 기초 상세도

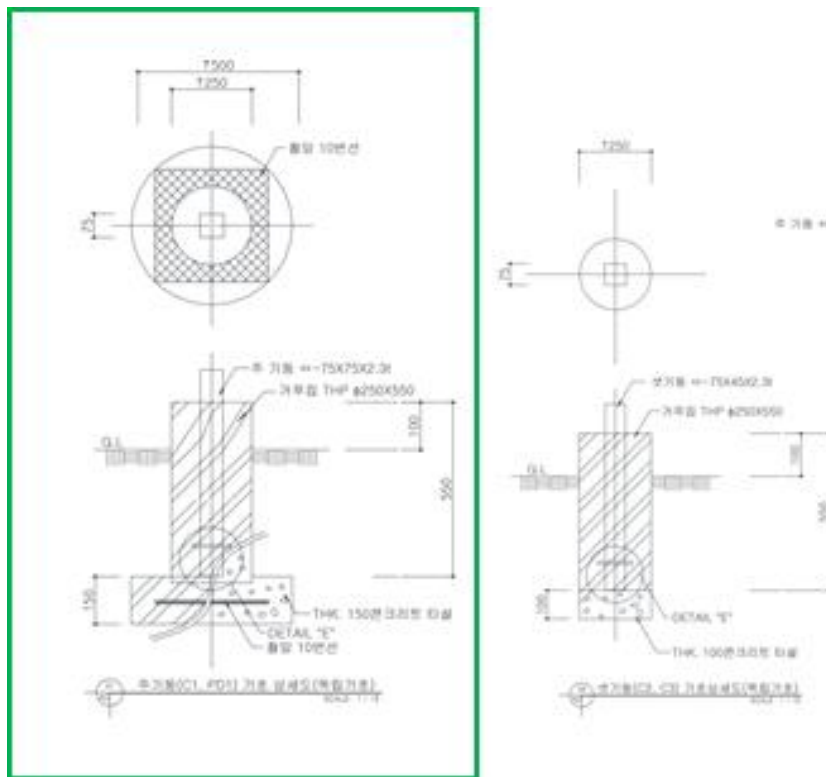
[2-4] 그림 9. 07-연동-1형 기초형식

㉔ 08-연동-1형 기초형식

08-연동-1형의 기초는 원형의 독립기초이며, 길이방향 주기동열과 주기동 사이에 위치한 셋기동의 형식에 차이가 있다.



(a) 08-연동-1형 기동주심도



(b) 08-연동-1형 기초상세도

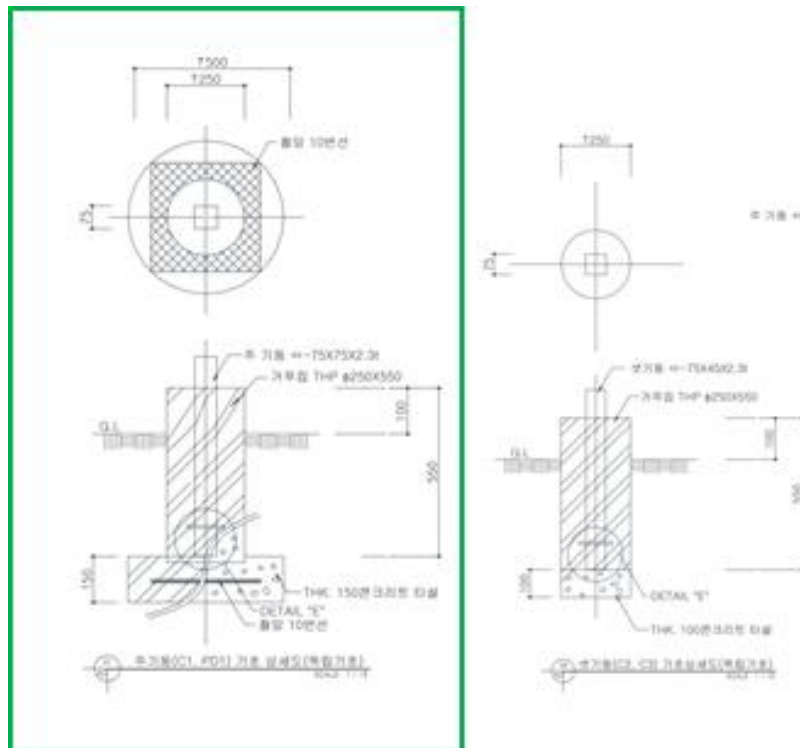
[2-4] 그림 10. 08-연동-1형 기초형식

㉔ 10-연동-1, 2형 기초형식

10-연동-1, 2형의 기초는 원형의 독립기초이며, 외부영역과 내부영역의 기초 크기에 차이가 있다.



(a) 10-연동-1, 2형 기둥주심도

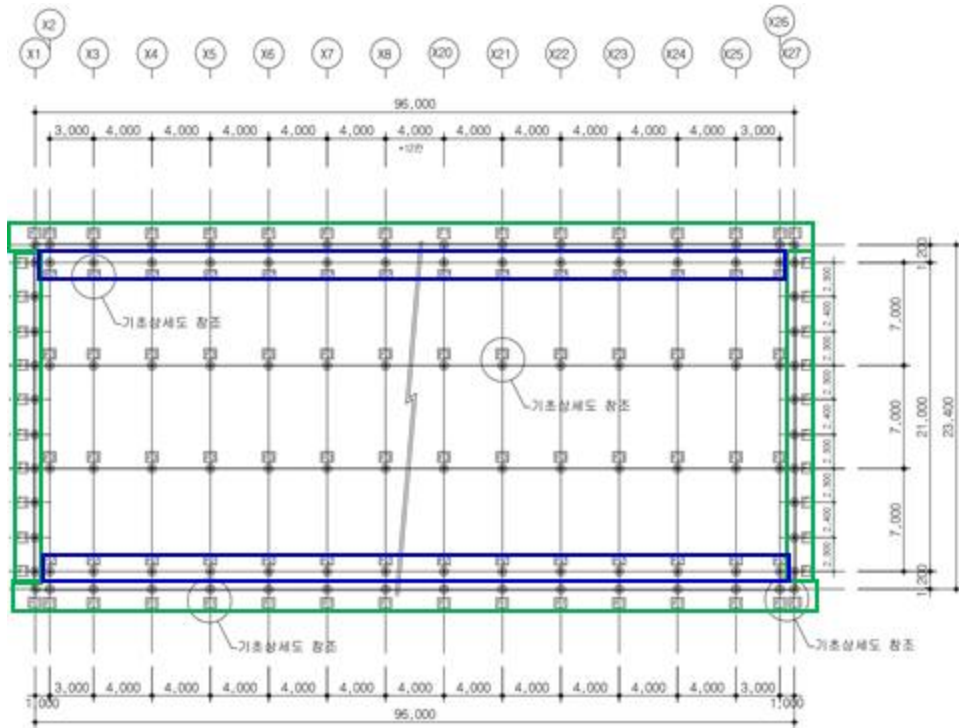


(b) 10-연동-1, 2형 기초상세도

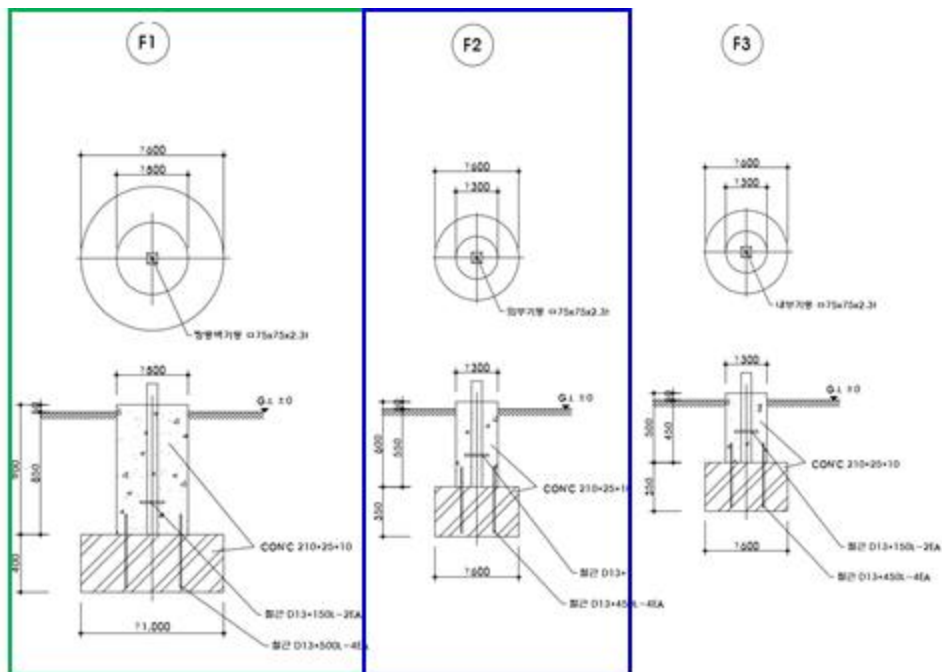
[2-4] 그림 11. 10-연동-1, 2형 기초형식

㉔ 12-연동-1형 기초형식

12-연동-1형의 기초는 원형의 독립기초이며, 외부영역과 내부영역의 기초 크기에 차이가 있다. 10-연동-1, 2형과 비교하여 내 외부 영역의 기초 사이즈를 한 단계 더 세분화하였다.



(a) 12-연동-1형 기둥주심도



(b) 12-연동-1형 기초상세도

[2-4] 그림 12. 12-연동-1형 기초형식

## (2) 국내 온실의 시공 현황

원예특작시설 내재해형 규격 설계시방서의 내재해형 비닐하우스는 총 35종이며 이 중 단동은 19종으로 2014년 기준 전체 온실 유형 중 단동비닐하우스의 비율은 85%인 것으로 조사되었다<sup>1)</sup>.

[2-4] 표 8. 유형별 온실 설치 면적 (2014년 기준)

구분	계	비닐하우스		유리온실	경질판온실	기타
		단동	연동			
면적 (단위 : ha)	51,787	44,177	5,897	329	76	1308

내재해형 규격 시설의 비닐하우스는 이 중 37%에 불과하여 비규격 시설은 재해복구 및 농업융합자금지원사업 등 지원 대상에서 제외되기 때문에 규격시설의 적용 및 활성화가 필요한 상황이다.

[2-4] 표 9. 규격별 온실 설치 면적 (2014년 기준)

구분	비닐하우스							
	계	내재해용 규격시설				기존 규격시설		
		소계	단동	연동	광폭	소계	농가지도형 (단동)	농가보급형 (연동)
면적 (ha)	44,667	16,371	13,654	2,466	251	28,296	29,362	2,934

원예시설의 구조안전성 향상 방안 및 최적설계(2006)” 연구에서 국내 15,864동의 온실 현황을 조사한 결과, 원예특장시설 내재해형 규격 설계도·시방서에서 온실 규격별 서까래 간격 및 가로대 배치 개수, 기초 깊이 등이 규정되어 있으나, 실제 현장에서 시공되는 온실의 규격은 많은 차이가 있는 것으로 보고되었다. 따라서 국내 비닐하우스 규격별 적설하중 및 풍하중에 대한 부재의 구조적 안전한계에 대한 검토가 요구된다.

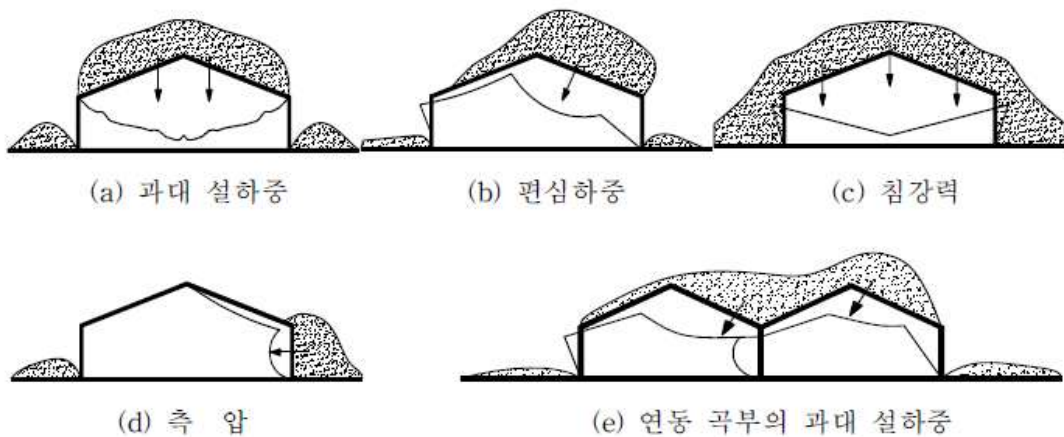
[2-4] 표 10. 국내 온실 구조실태 조사

구분	폭	서까래 간격	가로대 수	기초 깊이
기준	5~8.9m	500~1000mm	5~9개	500mm
현장조사	7m 미만(92%)	500~1300mm	1~3개 이하	300~490mm

1) 2014년도 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적 (농림축산식품부, 2015)

### (3) 온실의 피해사례 및 파괴 양상

비닐하우스의 대표적인 피해는 주로 적설심과 풍속이 원인이다. 외력에 의해 발생하는 대표적 파괴유형은 아래와 같이 적설하중에 의한 서까래의 붕괴이다. 폭설로 인하여 상부 구조물(지붕)에 과대하중이 실리거나 편심하중이 작용하게 되면 원예시설이 파괴되거나 변형되고, 수분이 많은 습설이 지붕에 쌓이면 서까래의 중앙부가 아래로 꺾이며 M자 형태로 붕괴된다. 설하중에 의해 구조부재에 가장 큰 응력이 작용하는 곳은 지붕 부재로 경사지붕의 경우 불균형 설하중이 작용할 경우 평지붕에 2배에 해당하는 응력이 발생된다<sup>2)</sup>.



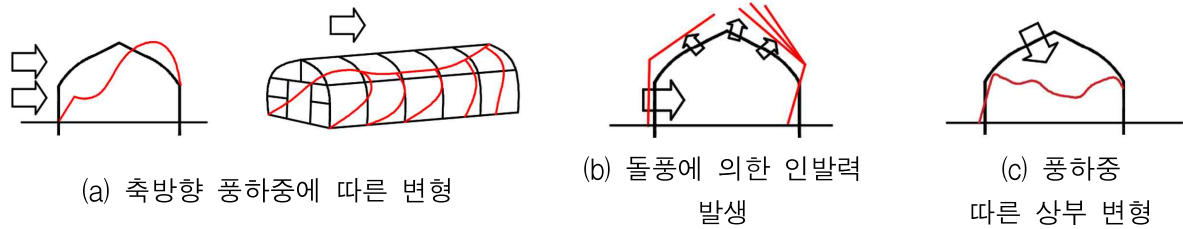
[2-4] 그림 13. 풍하중에 의한 파괴유형

강풍으로 인한 피해의 경우 등속의 풍속보다 난류성 풍속과 일시적인 돌풍으로 인한 피해가 크며, 다양하고 복잡한 양상으로 파손된다. 돌풍으로 인한 풍압을 받는 경우 회복이 훼손되면서 비닐하우스의 부양력이 증가하여 기초가 인발되는 파괴유형이 나타난다. 또한 강풍으로 인한 온실의 파괴유형은 아래 그림<sup>3)</sup>과 같이 수평방향 풍하중의 작용에 의해 상부구조(서까래 등)의 변형, 전도 또는 기초의 인발파괴가 발생할 수 있다. 특히 균등한 풍속의 바람보다 불균등한 풍속과 풍량으로 작용하는 난류성 바람에 의해 순간적인 돌풍이 발생할 수 있으며, 설계 기준보다 높은 풍압이 작용할 경우 온실의 부양력이 증가하여 기초부의 인발 파괴가 발생한다. 실제 피해사례<sup>4)</sup>와 같이 경우 전남 나주(2012), 충북 제천(2016)의 경우 강풍으로 인해 하우스의 지중에 삽입된 기초가 파이프 인발파괴 발생되었다.

2) 염성현, 김승희, 이상봉, 김민영, & 김철수. (2010). 단동하우스에서의 보강지주 설치 효과. 시설원예·식물공장, 19(2), 63-69.

3) 김민선, 최기선, & 이현지. (2017). 현장 다짐을 고려한 단동 온실 파이프 줄기초의 인발 및 수평저항성능에 관한 실험적 연구. 대한건축학회 연합논문집, 19(6), 113-120.

4) 연합뉴스



[2-4] 그림 14. 풍하중에 의한 파괴유형



(a) 전남 나주 (2012)

(b) 충남 태안 (2012)

(c) 충북 제천 (2016)

[2-4] 그림 15. 강풍으로 인한 피해 현황

#### (4) 기존연구 분석

국내 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서에 제시된 연동 비닐하우스 규격(설계도면 및 상세제원)을 참고하여 구조물 외력으로부터 저항하는 구조 부재, 그리고 이와 직접적으로 관련 있는 연결재를 대상으로 상세 제원을 검토하였으며, 해석과 실제거동에 따른 경계조건 분석을 위해 국내외 지침과 연구논문을 살펴보고, 현장 실무에 규격과는 달리 설치되어 사용되는 연결재 제원을 포함하여 비교·분석하였다. 그 결과 내재해형 규격에 제시되는 접합부재 규격 일부가 시방서 규격에 상세히 표기되어 있지 않거나 이와 관련된 구조성능에 대한 기준이 언급되어 있지 않음을 확인하였다(비닐하우스/온실 관련 시공업체의 현장 청취조사 결과). 이는 의뢰주 요청에 따라 비닐하우스를 보다 견고히 짓기 위한 방편으로 기준 규격외이거나 가시설 물에 사용되는 연결재/접합철물이 함께 사용되는 것으로 판단된다.

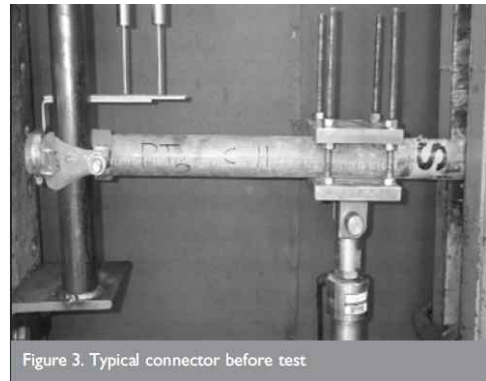
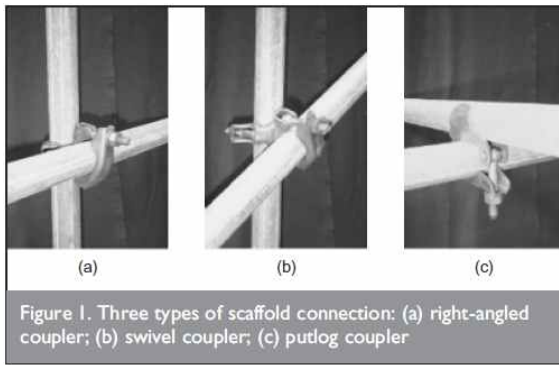
Lee et al.(2014)<sup>5)</sup>은 내재해형 조리개의 종류, 설치 방향에 따른 미끄럼강도시험을 수행하였으며, 24개의 실험체 제작 및 실험결과, 조리개의 체결 상태에 따라 내재해형 기준을 만족하는 강도에 미달할 수 있음을 제시하였으며, 미끄럼성능이 가장 우수한 강판조리개의 경우 내재해형 규격에서 규정한 미끄럼강도의 91~136%임을 확인하였다. Koo et al.(2016)<sup>6)</sup>은 내재해형 조리개의 종류별 인장강도시험을 수행하였으며, 시중에 판매되는 내재해형 조리개는 모두 규격에서 정하는 인장강도 기준을 상회하는 것으로 보고하였다. 그러나 상기 두 연구에서 단동 온실

5) Lee, Swoo-Heon, Shin, Kyung-Jae. (2014). Slip Test of Pipe Connector for Greenhouse Frame. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 30(8), 9-17.

6) Koo, Hye Jin, Choi, Ki-Sun. (2016). A Study on Tensile Test of Crossing Pipe Clip for Boundary Conditions Analysis of Greenhouse Connections. Journal of the Architectural Institute of Korea conference, , 1519-1520.

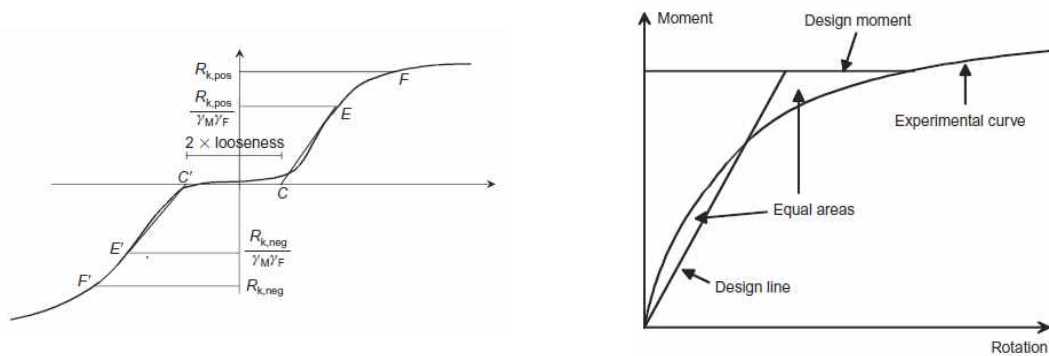
의 내재해형 조리개는 시공자의 숙련도나 시공방법에 따라 성능 편차가 약 60%까지 발생하는 것으로 나타나고 있다.

국내 논문 및 지침을 조사한 결과 내재해형 결속조리개의 인장강도와 미끄럼강도는 최소 기준 강도가 있었으나 연동 비닐하우스에서 사용되는 연결재의 구조성능/저항성능에 관한 기준 성능/강도는 없는 것을 확인하였으며, 이와 관련된 실험적 연구 사례 또한 없음을 확인하였다. 그러나 국외 연구를 조사한 결과 M.S.Abdel-Jaber<sup>7)</sup>는 가시시설물 안전에 직결되는 연결재를 대상으로 회전강성 실험을 수행하였다. 실험은 연결재의 내구성능을 검증하기 위해 경계조건을 구분하여 3가지 변수로 각각 10회씩 반복가력을 수행하여 연결재의 경도와 회전강성 및 에너지 소산능력을 국외지침인 British Standard Institution(이하 BSI)을 참고하여 수행되었다.



[2-4] 그림 16. 실험 변수(좌측) 및 실험체 세팅(우측)

해당 연구는 가력면의 강관의 경계조건이 명확하지 않고, 가력부의 강관과 직교하는 강관의 미소변형에 대한 고려가 없다는 점에서 회전강성 결과에 오차가 있음을 제시하였다. Godley M H R.<sup>8)</sup>는 연결재 경계조건(모멘트, 핀)에 따른 저항구조와 그 차이를 설명하였다.



[2-4] 그림 17. 연결재의 강성 산정(좌측) 및 모멘트-회전 곡선 계산(우측)

7) Abdel-Jaber, M. S., Beale, R. G., Godley, M. H. R., & Abdel-Jaber, M. (2009). Rotational strength and stiffness of tubular scaffold connectors. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, 162(6), 391-403.

8) Godley M H R. (2013). Structural tests on Readylock transoms. Oxford Brookes University report OBU 404 for the National Access & Scaffolding Confederation



국의 지침인 BSI(2002)<sup>9)</sup>는 가시설물에 쓰이는 연결재의 구조성능을 축방향별 가력을 통한 저항성능과 회전저항성능(회전강성), 에너지 소산능력 등으로 검토할 수 있도록 규정되어 있다. 그리고 이를 검토하기 위한 구조성능 검증 시험을 수행할 경우 가력속도는 1mm/min으로 수행할 것을 제시하고 있으며, 이는 연결재와 강관 연결 부위에 발생 가능한 슬립을 고려해야 하기 때문이다. BSI(2005)<sup>10)</sup>는 국외에서 가설공사에 사용되는 강관에 공통적으로 사용되는 연결재를 저항구조에 따라 분류하여 연결재 외력에 대한 저항성능 산정방법과 최소 강도에 대하여 규정하고 있다. CADs(2013)<sup>11)</sup>는 연결재의 2축 방향에 관한 구조성능 시험 방법을 제안하는 BSI와 달리 3축 방향에서 발생될 수 있는 비틀림과 연결재 외형이나 결속형태에 따른 비대칭성을 고려하여 연결재 저항구조를 검토하도록 각 시험 방법과 이에 따른 최소 요구 강도를 제시하고 있다.

상기 연구를 분석한 결과, 국내 연동 비닐하우스에 사용되는 연결재가 모멘트접합과 핀접합, 그 중간인 모멘트-핀접합 범주로 분류될 수 있으므로 각 연결재의 구조성능을 검증할 연구가 필요하다. 또한 연동비닐하우스의 내력을 담당하는 경량철물과 연결재는 언급된 국외 문헌이 가시설물의 강관과 연결재를 다루고 있으므로, 강관 규격, 연결재 크기가 작고 이로 인해 구조성능도 보다 낮을 것이다.

## (5) 온실 구조안전성 요구사항

온실구조의 주요 구조부재의 규격은 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서에서 규정하고 있으며, 단동 온실의 구성부재는 상부구조를 형성하는 서까래, 가로대와 기초구조로 파이프 줄기초가 사용되고 주요 구조부재를 접합하는 결속조리개로 구성되어 있다.

기존 연구에서 국내 15,864동의 온실 현황을 조사한 결과, 원예특장시설 내재해형 규격 설계도·시방서에서 온실 규격별 서까래 간격 및 가로대 배치 개수, 기초 깊이 등이 규정되어 있으나, 실제 현장에서 시공되는 온실의 규격은 많은 차이가 있는 것으로 보고되었다. 단동 비닐하우스의 파이프 줄기초는 주요 저항요소인 가로대의 깊이가 매우 낮게 시공되며, 통상 현장에서의 다짐도에 의한 영향을 크게 받을 것으로 예상되고 있다. 또한 단동 비닐하우스의 결속조리개는 비교적 단순한 형태로 제작되고 있으며, 기계적 성능은 높지 않을 것으로 예상되지만 성능 검증은 명확하게 이루어지고 있지 못한 실정이다. 따라서 온실구조의 결속조리개에 의한 접합성능, 기초구조 저항성능에 대한 내재해 기준 적합성 검토 및 시스템 거동에 미치는 경계조건 특성치 규명이 필요하다.

9) BSI (British Standards Institution), (2002), BS EN 12811-3 : Temporary works equipment, part 3: load testing, BSI, London, UK.

10) BSI (British Standards Institution), (2005), BS EN 74-1 : Couplers, spigot pins and baseplates for use in falsework and scaffolds. couplers for tubes. requirements and test procedures., BSI, London, UK.

11) CADs (Computer and Design Services), (2016), Minimum structural properties and test procedures for TG20 compliant prefabricated structural transom units, 4th edn, NASC, London, UK.

## 나. 단동 비닐하우스 구조성능 실험

### (1) 결속조리개 기본성능 실험

#### (가) 실험계획

##### ① 실험목적

최근 단동 비닐하우스는 작물생산의 효율성 향상을 위해 긴 동간 거리를 보유하도록 개발되고 있다. 하지만, 동간/경간 거리 증가는 집합부에서 응력 부담을 크게 하므로, 각 결속재는 발생하는 응력으로부터 충분히 저항할 수 있어야 한다. 따라서 현재 사용되고 있는 결속조리개에 기본성능 실험을 통해 집합부가 구조적으로 안정한지 검토될 필요가 있다.

##### ② 사용재료

연구에 사용된 파이프 직경은 두 종류를 사용하였으며, 결속 방법에 따라 가력 위치를 2가지로 하고 총 4회의 시험을 수행하였다(서까래 직경×가로대 직경:  $\phi 25 \times \phi 25$ ,  $\phi 25 \times \phi 32$ ,  $\phi 32 \times \phi 25$ ,  $\phi 32 \times \phi 32$ ). 조리개는 국내에서 단동비닐하우스에 사용되는 3종의 조리개를 사용하였다(강선조리개, 선판조리개, 강판조리개).



(a) 강선조리개



(b) 선판조리개



(c) 강판조리개

[2-4] 그림 18. 결속조리개 형상

### (나) 결속조리개 미끄럼 실험

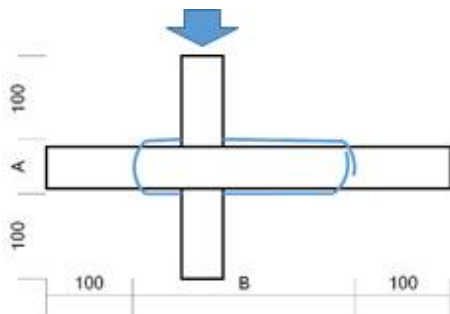
#### ① 실험체 계획

결속조리개 미끄럼시험에 사용된 조리개 종류와 파이프 직경, 시험 방법은 상기 언급한 재료와 동일하다. 시험은 조리개 기계적 결속력 저하와 시공오차를 고려하여 각 변수에 따라 3개씩 수행하였다. 실험체 형상 및 치수는 내재해 규격에 따라 결속된 파이프의 길이는 조리개를 체결한 상태에서 조리개 부분을 제외한 길이가 각각 100 mm 이상 확보하였다.

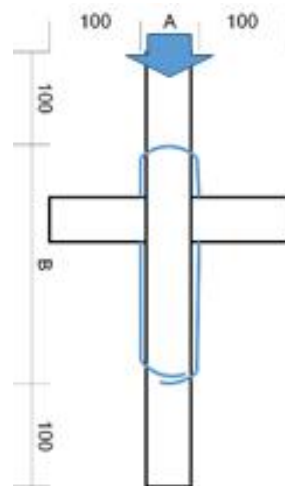
[2-4] 표 11. 미끄럼 실험용 실험체 규격 및 가력방향 일람표

(단위 : mm)

No.	구분	조리개종류	파이프 직경 (서까래×가로대)	가력방향	조리개 사이즈		
					직경 (A)	길이 (B)	
1	W-25x25-H	강선조리개 (W)	φ25×φ25	횡방향 (H)	48	124	
2	W-25x25-V			종방향 (V)			
3	W-25x32-H		φ25×φ32	횡방향 (H)	48	131	
4	W-25x32-V			종방향 (V)			
5	W-32x25-H		φ32×φ25	횡방향 (H)	59	139	
6	W-32x25-V			종방향 (V)			
7	W-32x32-H		φ32×φ32	횡방향 (H)	58	165	
8	W-32x32-V			종방향 (V)			
9	P-25x25-H	강판조리개 (P)	φ25×φ25	횡방향 (H)	48	76	
10	P-25x25-V			종방향 (V)			
11	P-32x25-H		φ32×φ25	횡방향 (H)	43	100	
12	P-32x25-V			종방향 (V)			
13	P-32x32-H		φ32×φ32	횡방향 (H)	43	100	
14	P-32x32-V			종방향 (V)			
15	WP-25x25-H		선관조리개 (WP)	φ25×φ25	횡방향 (H)	58	85
16	WP-25x25-V				종방향 (V)		
17	WP-32x25-H	φ32×φ25		횡방향 (H)	60	100	
18	WP-32x25-V			종방향 (V)			
19	WP-32x32-H	φ32×φ32		횡방향 (H)	60	100	
20	WP-32x32-V			종방향 (V)			



(a) 조리개 횡방향 실험



(b) 조리개 종방향 실험

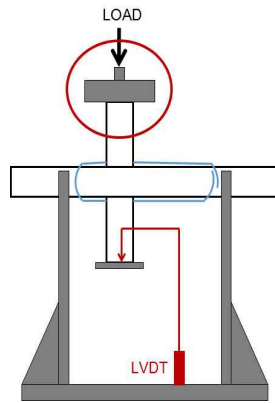
[2-4] 그림 19. 실험체 체결 형상

## ② 가력 및 측정

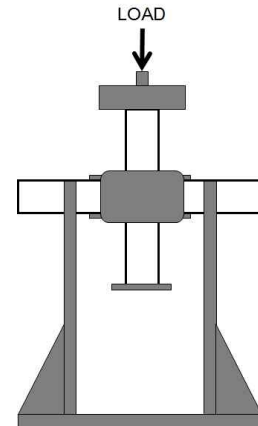
직교하는 두 파이프와 결속조리개는 대칭성에 따라 횡방향 및 종방향으로 체결하였으며, 가력은 파이프 중심을 가력하되, 강선조리개는 좌우 비대칭 형상이므로 편심가력을 하였다. 가력속도는 내재해형 기준 시험방법에 따라 5 mm/min으로 하였으며, 변위제어방식으로 수행하였다. 강도 측정을 위해 조리개 미끄럼강도 값은 각 방향의 시험에서 변위가 2mm일 때의 하중 값과 추가 가력 후 최대하중을 기록하였다.



(a) 가력



(b) 강선조리개



(c) 강판, 선판조리개

[2-4] 그림 20. 미끄럼 시험용 실험체 설치도

[2-4] 표 12. 가력계획

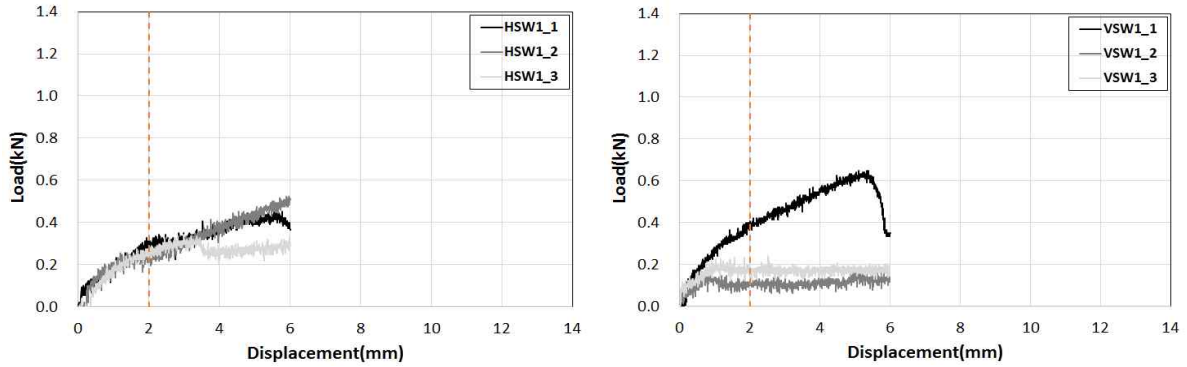
Type	가력방법	가력진폭 (mm)	가력속도 (mm/min)	시험항목
일본 Shimadzu AG-250kNX	monotonic	-	5	변위제어방식

## ③ 실험결과 및 분석

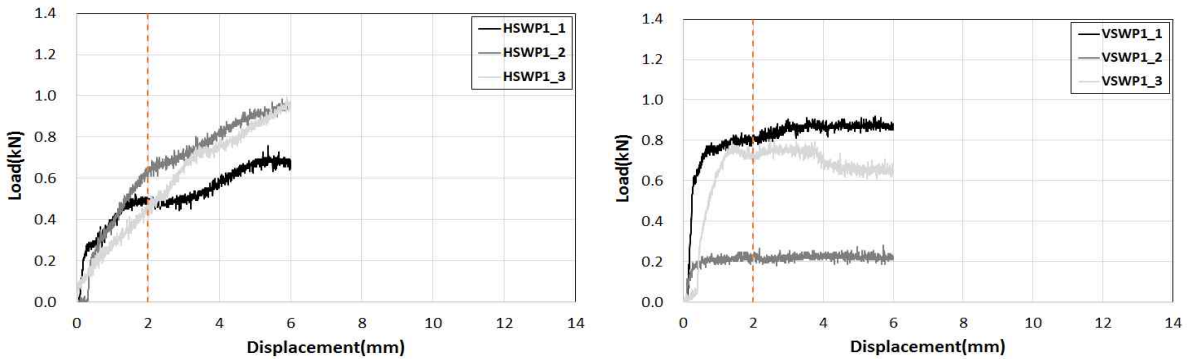
### ㉑ 하중-변위 관계

원예특작시설 내재해형 규격에서 내재해형 결속조리개의 미끄럼강도 기준은 시험변위 2mm일 때의 하중값이 1,390N 이상인 것으로 규정되어 있다. 그러나 본 시험결과 모든 시험변수에서 내재해형 미끄럼강도 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 조리개 종류별로는 강판조리개>선판조리개>강선조리개가 우수한 미끄럼강도를 보유한 것으로 나타났다. 이 중 강판조리개는 파이프 접합면이 넓고 끼움쇠에 의해 결속되므로 췌기작용에 의해 결속력 증가하나, 선판 및 강선조리개는 강선의 구부림 형상에 의해 접합되므로 접합면이 결속력이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 결속 방향에 따른 영향은 횡방향 결속이 종방향 결속에 비하여 대체로 증가하는 경향을 나타내는 것으로 조사되었다.

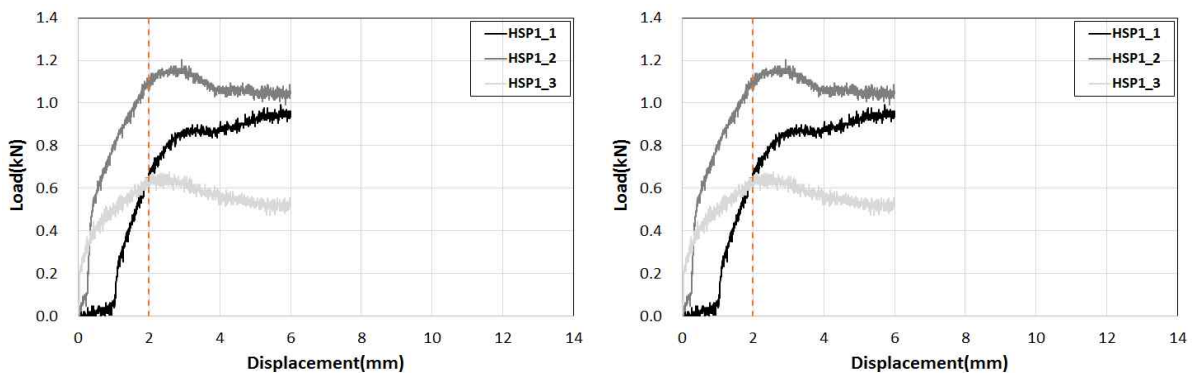
최대 미끄럼강도는 2mm 강도에 비하여 약 1.5배 증가하는 것으로 나타났다. 각 조리개 종류별 최대 미끄럼강도는 2mm강도와 동일한 경향으로 강판조리개>선판조리개>강선조리개 순으로 미끄럼강도가 우수한 것으로 나타났으며, 서까래 및 가로대 파이프 직경별로 최대 미끄럼강도는 2mm 강도와 동일한 경향으로 직경이 증가할수록 미끄럼강도는 감소되는 경향을 보였다. 결속방향에 따른 영향은 횡방향 결속이 종방향 결속에 비하여 대체로 증가하는 경향을 보이는 것으로 조사되었다.



[2-4] 그림 21. 강선조리개의 미끄럼 하중-변위 곡선(좌: 횡방향, 우: 종방향)



[2-4] 그림 22. 선판조리개의 미끄럼 하중-변위 곡선 (좌: 횡방향, 우: 종방향)



[2-4] 그림 23. 강판조리개의 미끄럼 하중-변위 곡선 (좌: 횡방향, 우: 종방향)

[2-4] 표 13. 조리개별 미끄럼강도 (횡방향)

조리개	규격	시험 차수	2mm강도 (N)	최대강도 (N)	내재해형 기준 강도비 (%)
강선 조리개	25 x 25	1	406	453	29
		2	117	594	8
		3	172	461	12
	32 x 25	1	250	266	18
		2	288	266	21
		3	375	258	27
	32 x 32	1	109	172	8
		2	78	164	6
		3	54	141	4
선판 조리개	25 x 25	1	828	1,234	60
		2	227	1,172	16
		3	727	1,336	52
	32 x 25	1	508	648	37
		2	602	602	43
		3	422	852	30
	32 x 32	1	109	398	8
		2	234	398	17
		3	297	219	21
강판 조리개	25 x 25	1	234	1,070	17
		2	930	1,203	67
		3	938	680	67
	32 x 25	1	922	1,039	66
		2	1,055	891	76
		3	930	836	67
	32 x 32	1	406	523	29
		2	188	805	13
		3	125	531	9

[2-4] 표 14. 조리개별 미끄럼 시험강도 (종방향)

조리개	규격	시험 차수	2mm강도 (N)	최대강도 (N)	내재해형 기준 강도비 (%)
강선 조리개	25 x 25	1	297	648	21
		2	250	227	18
		3	258	313	19
	32 x 25	1	148	313	11
		2	164	539	12
		3	195	477	14
	32 x 32	1	23	305	2
		2	86	172	6
		3	63	117	4
선판 조리개	25 x 25	1	500	1,078	36
		2	617	320	44
		3	477	805	34
	32 x 25	1	461	633	33
		2	484	1,023	35
		3	500	1,039	36
	32 x 32	1	359	242	26
		2	289	773	21
		3	148	680	11
강판 조리개	25 x 25	1	672	336	48
		2	1,102	1,063	79
		3	625	1,117	45
	32 x 25	1	789	977	57
		2	578	1,195	42
		3	516	992	37
	32 x 32	1	375	477	27
		2	609	203	44
		3	445	172	32

㉞ 파괴양상

조리개 미끄럼강도 시험의 파괴양상은 가력초기에는 파이프와 조리개 접합면의 마찰저항에 의해 급격한 기울기를 보이며, 초기마찰력을 초과하는 시점부터는 기울기가 저하되고 변형이 증가하는 경향이 나타났다. 강선조리개의 경우 초기마찰저항 이후 강선의 변형으로 하중이 증가하는 경향이 나타나며, 선판조리개 및 강판조리개는 비교적 결속부분의 변형이 크지 않기 때문에 초기마찰저항 이후 미끄럼에 의해 변위만 증가하는 경향으로 조사되었다.

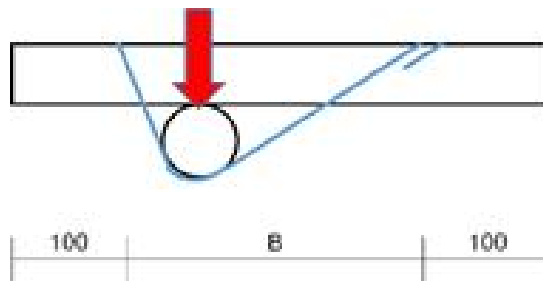
④ 소결

단동 비닐하우스에 사용되는 결속조리개를 대상으로 미끄럼시험을 확인한 결과, 현행 국내에서 사용되고 있는 내재해형 규격은 미끄럼강도를 모두 만족하지 못하는 것으로 나타난 것으로 조사되었다. 이는 내재해형 규격 조리개의 기계적/물리적 성질이 기준치 미만인 것으로 판단된다. 사양설계에 따라 단동 비닐하우스에 사용되는 결속조리개는 단순한 제작 공정으로 제작오차 및 시공성의 영향이 결속 강도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나므로 세부적인 규격의 제정이 필요하다.

(다) 결속조리개 인장시험

① 실험체 계획

파이프 직경과 조리개 종류, 시험 회수와 형상 및 치수 조건은 상기 미끄럼시험과 동일한 조건으로 하였다.



[2-4] 그림 24. 실험체 체결 형상

[2-4] 표 15. 인장시험용 실험체 규격 및 가력방향 일람표

(단위 : mm)

No.	조리개종류	파이프 규격 (서까래×가로대)	사이즈	
			A	B
1	강선 조리개	φ25×φ25	48	124
2		φ25×φ32	48	131
3		φ32×φ25	59	139
4		φ32×φ32	58	165
5	강판 조리개	φ25×φ25	48	76
6		φ32×φ25	43	100
7		φ32×φ32	43	100
8	선판 조리개	φ25×φ25	58	85
9		φ32×φ25	60	100
10		φ32×φ32	60	100

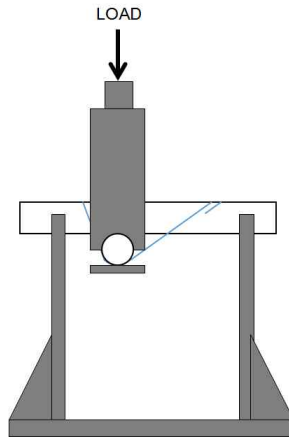


## ② 가력 및 측정

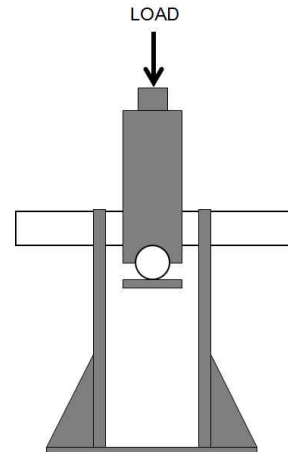
직교하는 두 파이프와 결속조리개는 대칭성에 따라 아래와 같이 면외방향으로 가력하였다. 인장시험시 가력 및 측정과 관련된 조건(가력 위치, 가력 속도, 강도 측정 변위)은 상기 미끄럼 시험과 동일하다.



(a) 인장시험 모습



(b) 강선조리개



(c) 강판, 선판조리개

[2-4] 그림 25. 인장 시험용 실험체 설치도

[2-4] 표 16. 가력계획

Type	가력방법	가력진폭 (mm)	가력속도 (mm/min)	시험항목
일본Shimadzu AG-250kNX	monotonic	-	5	변위 제어방식

## ③ 실험결과 및 분석

### ㉞ 하중-변위 관계

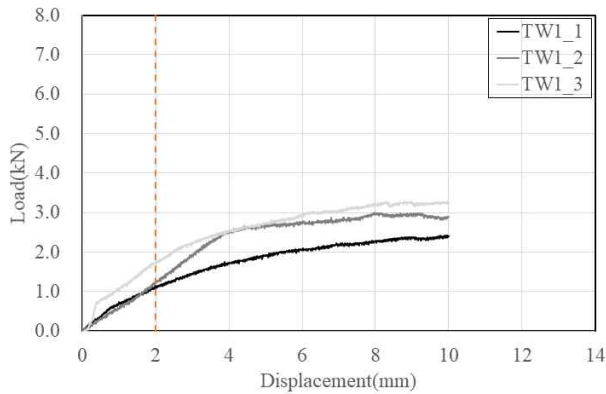
원예특작시설 내재해형 규격에 따라 내재해형 결속조리개의 인장력 기준은 시험변위 2mm일 때의 900N 이상이어야 한다. 실험 결과 사용된 결속조리개 3종 모두 내재해형 규격에서 제시하는 인장강도를 상회하는 것으로 확인되었다.

조리개 종류별로는 강판조리개>선판조리개>강선조리개 순으로 인장강도 우수한 것으로 조사되었다. 이는 조리개 기구학적 구성에 따라 인장저항 메커니즘이 다른 것으로 판단된다. 강판조리개는 썰기를 고정하는 강판면으로 저항메커니즘을 확보하고 있으나, 선판조리개는 강선단부의 구부림으로 저항 메커니즘을 보유하고 있으며, 강선조리개는 파이프를 감싸는 강선의 곡률에 의해 저항하고 있는 것으로 조사된다.

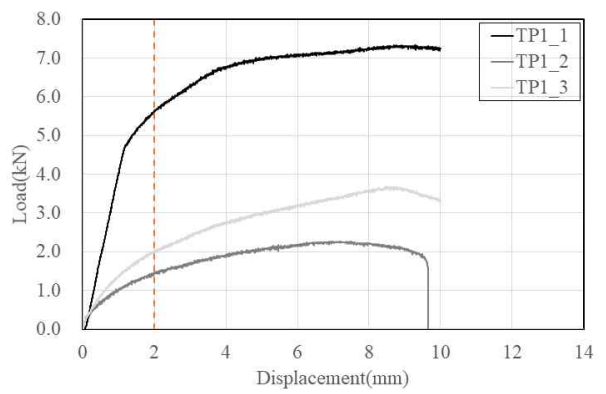
서까래 및 가로대 파이프 직경에 따른 분석을 통해 강선조리개의 경우 제작오차 등으로 직경이 증가할수록 인장강도가 감소되는 경향을 보였으며, 선판조리개·강판조리개는 파이프 직경에 관계

없이 비교적 일정한 값을 나타내는 것으로 조사되었다.

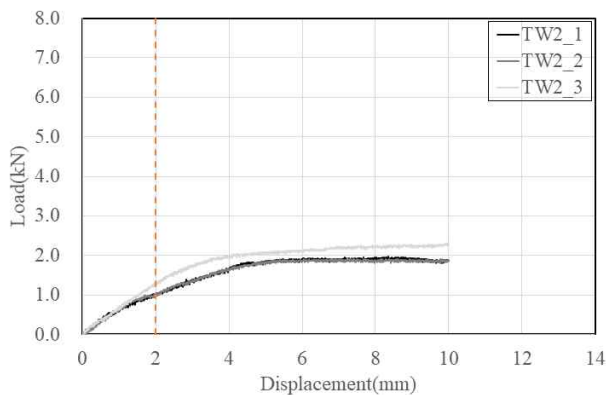
결속조리개 최대 인장강도는 2mm 강도 대비 약 150% 이상 증가하는 것으로 조사되었다. 조리개 종류별 최대 인장강도는 2mm강도와 동일한 경향으로 강판조리개>선판조리개>강선조리개 순으로 인장강도 우수한 것으로 조사되었다. 서까래 및 가로대 파이프 직경별로 최대 인장강도는 2mm강도와 동일한 경향으로 강선조리개의 경우 직경이 증가할수록 인장강도는 감소되는 경향으로 조사되었다.



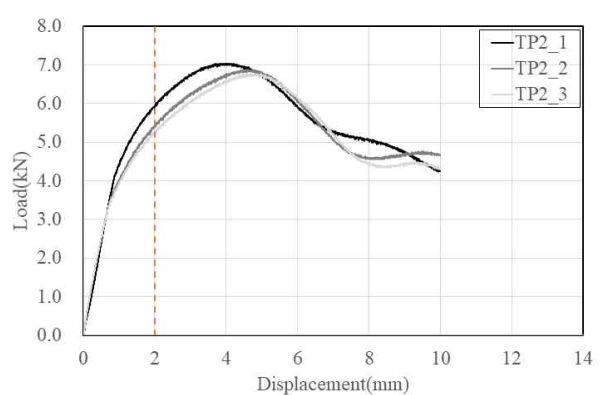
(a) 25x25



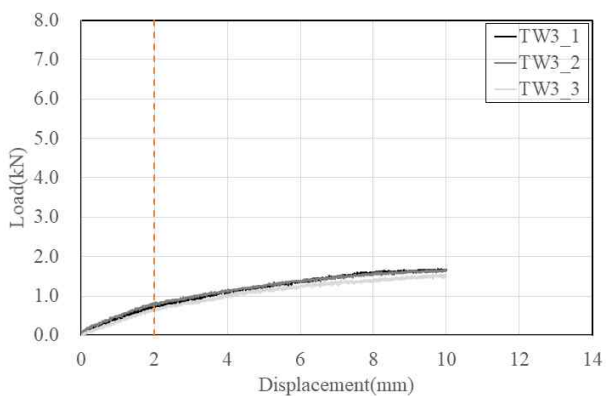
(a) 25x25



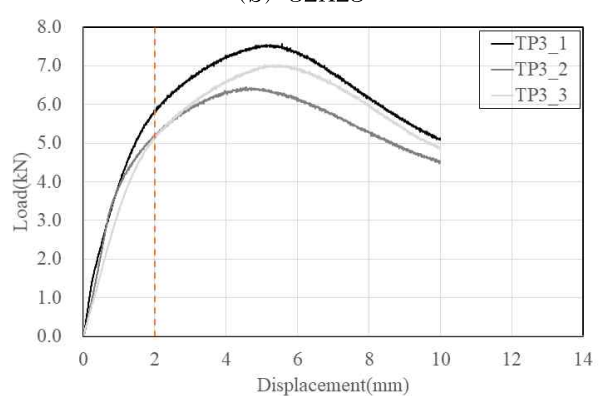
(b) 32x25



(b) 32x25



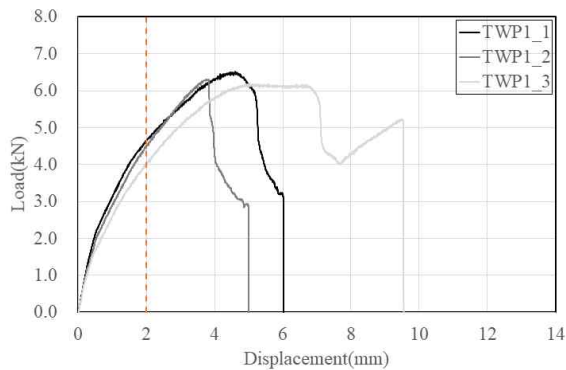
(c) 32x32



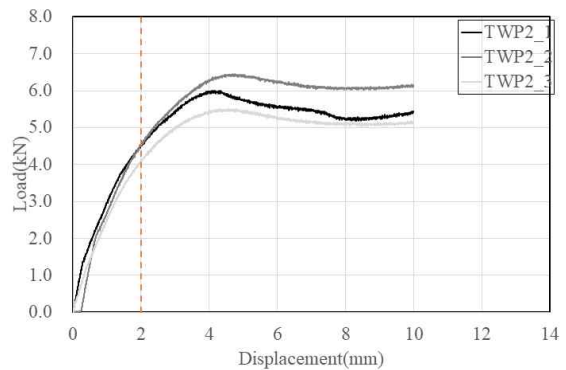
(c) 32x32

[2-4] 그림 26. 강선조리개 규격별 인장강도-변위 곡선

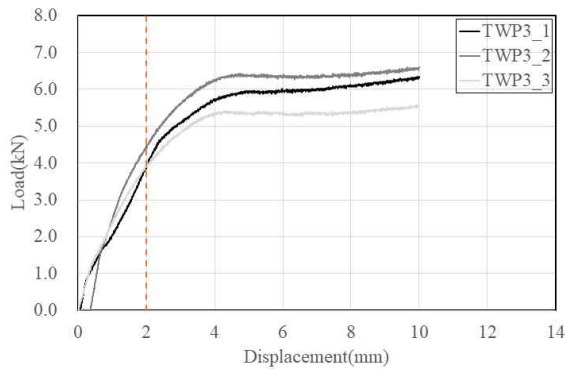
[2-4] 그림 27. 선판조리개 규격별 인장강도-변위 곡선



(a) 25x25



(b) 32x25



(c) 32x32

[2-4] 그림 28. 강판조리개 규격별 인장강도-변위 곡선

#### ㉠ 파괴양상

강선조리개는 초기강성 및 최대강도가 다른 두 조리개보다 약한 것으로 나타났으며, 모든 시험체가 변위 10mm 이후 파손되었다. 이는 강선조리개를 체결하는 강선이 풀리며 파손된 것으로 나타났다. 선판조리개는 초기강성 및 최대강도가 크지만, 변위 5mm 이후 체결된 부속품이 외력이 견디지 못하고 튕겨나가며 파손되었다. 반면 강판 조리개는 10mm이상 까지 강판이 휘어지면서 힘을 받은 후 파손되었다. 강선조리개와 선판조리개는 결속마감 부위가 강선을 구부려 고정하도록 구성되어 있으므로, 강선의 풀림현상이 최종파괴에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

#### (다) 소결

단동 비닐하우스에 사용되는 결속조리개를 대상으로한 미끄럼시험에서 기준대비 낮은 강도로 조리개의 기계적/물리적 성질이 기준치 미만인 것으로 분석되었으나, 인장력은 내재해형 기준강도를 상회하는 것으로 확인되었다.

특히 2mm변위에서 가장 좋은 결속력을 보인 강판조리개는 5900N 정도의 인장력을 보이며, 7000N 정도의 최대 내력도 보유한 것으로 확인되었으며, 선판조리개는 인장력 4500N 정도이나, 최대 내력 8000N 정도를 보이며, 시공성과 안전성을 모두 확보한 것으로 조사되었다.

시험과정과 결과로부터 결속조리개 인장성능은 내재해형 강도기준을 만족하고 있으나, 미끄럼강도도 함께 만족해야 내재해형 조리개로 규정할 수 있으므로, 다각도에서 비닐하우스 접합부의 결속조리개 성능을 확인하고 지점조건을 분석해야 한다<sup>12)</sup>.

[2-4] 표 17. 조리개별 인장실험 강도

조리개	규격	시험 차수	인장 강도 (N)	최대강도 (N)	기준 강도비 (%)
강선조리개	25 x 25	1	1,125	2,461	125
		2	1,234	3,000	137
		3	1,734	3,383	193
	32 x 25	1	977	2,055	109
		2	1,000	1,922	111
		3	1,281	2,438	142
	32 x 32	1	734	1,773	82
		2	820	1,789	91
		3	672	1,602	75
선판조리개	25 x 25	1	4,633	6,516	515
		2	4,469	6,313	497
		3	4,023	6,180	447
	32 x 25	1	4,531	8,195	504
		2	4,547	9,234	505
		3	4,094	8,031	455
	32 x 32	1	3,898	8,063	433
		2	4,469	832	497
		3	3,914	7,461	435
강판조리개	25 x 25	1	5,625	7,336	625
		2	1,445	2,266	161
		3	1,992	3,680	221
	32 x 25	1	5,945	7,039	661
		2	5,430	6,883	603
		3	5,258	6,789	584
	32 x 32	1	5,828	7,563	648
		2	5,188	6,438	576
		3	5,133	7,031	570

12) 구혜진, 최기선, & 광명근. (2016). 온실 접합부의 지점조건 분석을 위한 결속조리개 인장시험 연구. 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 36(2), 1519-1520.

## (2) 기초구조 성능실험

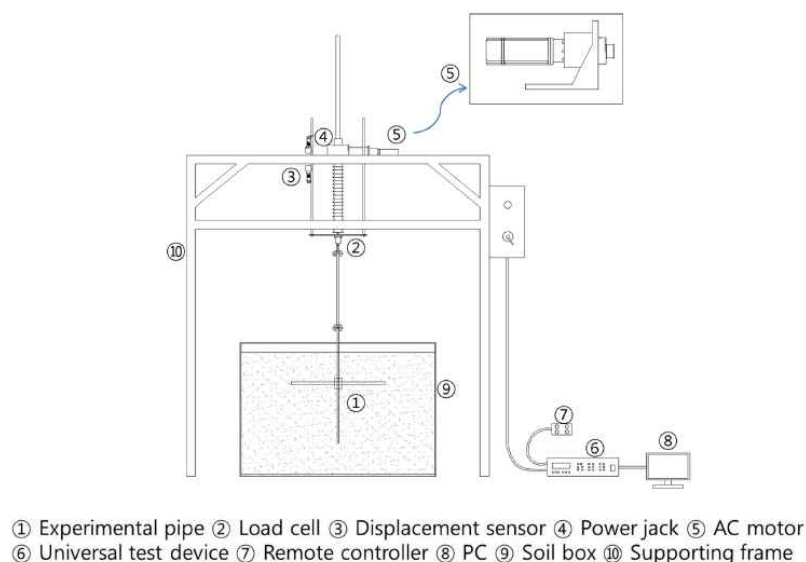
### (가) 기존 연구 분석

단동 비닐하우스 골조를 구성하는 구조 부재로 원형 강관 파이프가 사용되는데, 이 파이프와 접합부간 결속으로 외력에 저항하도록 구성된다. 이 구조물은 접합부의 결속재가 외력이상의 미끄럼 강도가 발생되거나 기초 인발 저항력을 초과하는 강도의 돌풍이나 적설 하중이 발생되면 안전성이 불확실해지므로 이와 관련하여 개선된 기준이 필요하다.

기초부 성능은 흙의 다짐도와 기초 파이프의 매입깊이, 결속조리개의 종류에 따라 다양한 성능을 보유할 수 있다. 일반 농가에서 구입 가능한 조리개/내재해형 조리개는 구매시 강도에 대한 제원이 제시되어 있지 않다.

원예시설물 시공시 다짐도에 관하여 청취조사한 결과 온실 구조 시공자와 농업기술기관 등에서 다양한 방법을 이용하고 있으므로 유효한 다짐 기준 제시가 필요하다. 비닐하우스 기초는 다짐 기준/다짐법 선정과 파이프 기초가 매립여부, 강우 발생 등으로 지반 조건이 변경되므로 지내력이 약해질 수 있고 이는 비닐하우스 구조 안전성으로 직결되는 것으로 조사되었다. 즉, 기초 파이프는 인발력과 지내력의 영향으로 외력에 대해 저항할 수 있는 경우가 고려되어야 하는데 이와 관련된 연구로, 흙의 다짐도와 조리개 종류에 관한 기초 연구 결과가 부족한 상황이다<sup>13)</sup>.

최만권<sup>14)</sup>은 U클램프를 결속재로 사용한 단동 온실 파이프 줄기초 실험에서 농경지 흙과 간척지 흙에서의 매입깊이와 다짐도에 따른 인발저항력을 비교하였으며, 매입깊이와 다짐도가 인발저항력과 비례관계에 있음을 확인하였다.



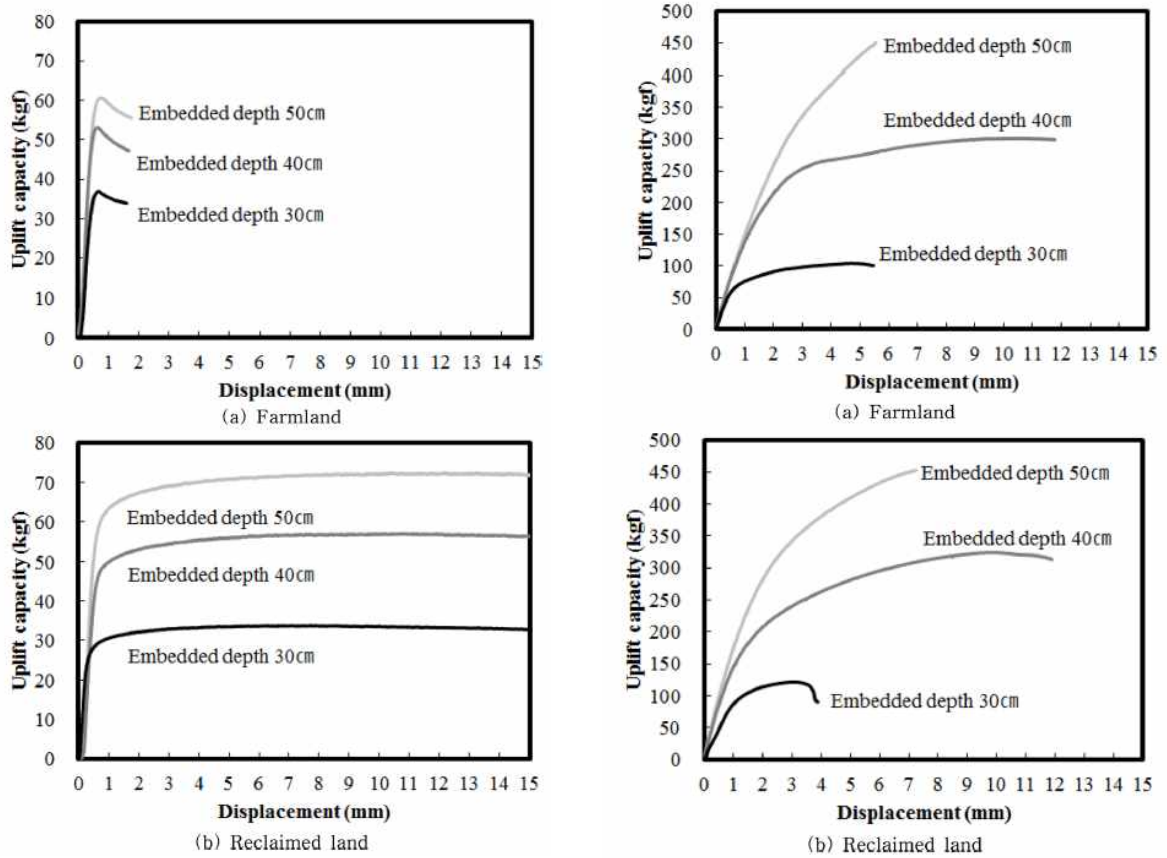
[2-4] 그림 29. 인발저항력 측정 장치 개요도

13) 김민선, 최기선, 유영찬, & 이현지. (2017). 단동 온실의 현장 다짐을 고려한 기초 파이프의 인발저항성능 실험. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 29(1), 285-286.

14) 최만권, 윤성욱, 김하늘, 이시영, 유찬, & 윤용철. (2015). 단동 온실용 파이프 기초의 인발저항력 검토. 시설원에· 식물공장, 24(2), 69-78.

Parameters	Farmland	Reclaimed land
$w_n$ (%)	29.9	22.5
$G_s$	2.65	2.64
Consistency		
LL (%)	NP	NP
PL (%)	NP	NP
Soil texture (%)		
Sand	58.9	34.5
Silt	39.1	57.5
Clay	2.0	8.0
USDA	Sandy loam	Silt loam
$(g \cdot cm^{-3})$	1.77	1.69
OMC (%)	16.2	15.8

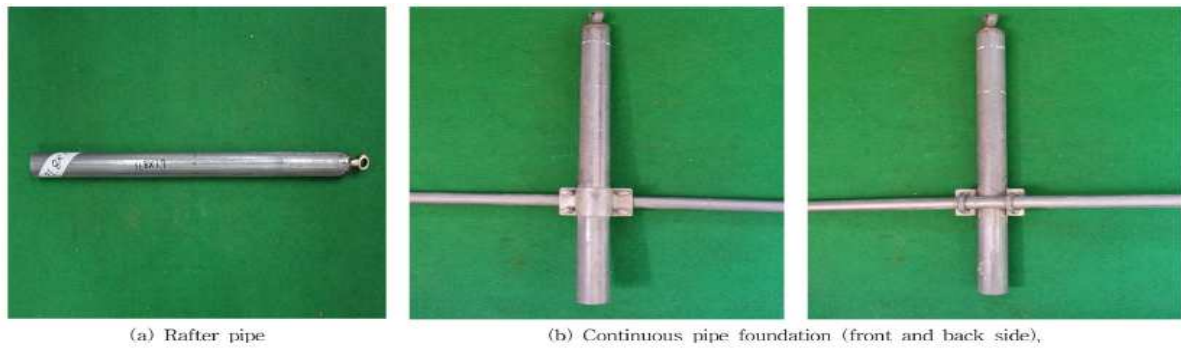
[2-4] 그림 30. 간척지와 농경지의 물성 정보



(a) 서까래 파이프의 인발 결과

(b) 줄기초 파이프 인발 결과

[2-4] 그림 31. 파이프에 따른 인발 결과 그래프



[2-4] 그림 32. 실험용 파이프

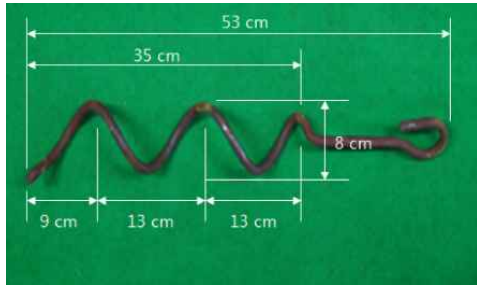
Degree of compaction (%)	Depth (cm)	Farmland(F)		Reclaimed land(R)		F/R	
		Rafter pipe (kgf)	Conti. pipe foun. (kgf)	Rafter pipe (kgf)	Conti. pipe foun. (kgf)	Rafter pipe	Conti. pipe foun.
65	30	1.5	18.1	1.1	12.4	1.36	1.46
	40	2.0	39.2	1.7	27.6	1.18	1.42
	50	2.3	59.4	2.6	49.1	0.88	1.21
75	30	20.8	94.8	19.6	84.0	1.06	1.13
	40	22.0	182.4	25.1	152.6	0.88	1.20
	50	29.2	278.5	32.8	261.8	0.89	1.06
85	30	38.6	104.3	33.6	121.7	1.15	0.86
	40	53.2	301.3	56.3	329.7	0.94	0.91
	50	60.7	450.3	72.8	452.7	0.83	0.99

[2-4] 그림 33. 시료조건에 따른 극한인발 강도 비교

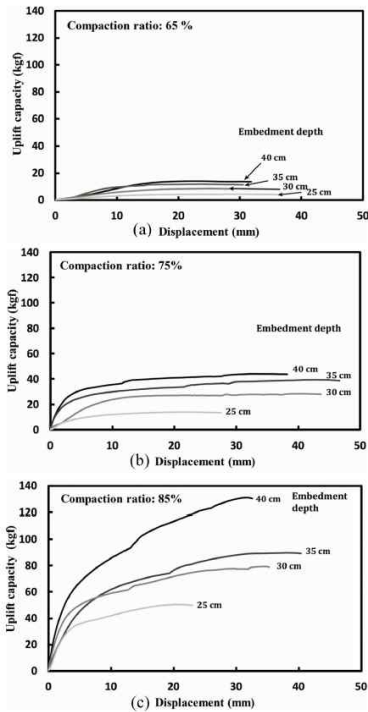
이봉국<sup>15)</sup>은 온실용 나선철항의 인발저항력 검토 연구를 통해 모형지반을 조성하였으며, 지반 다짐도와 매입깊이가 극한인발저항력에 영향을 미치는 관계가 있음을 제시하였다. 이에 따라 얇은 기초의 온실 기초에서도 지반 매입 깊이가 증가함에 따라 인발저항력이 증가하는 것으로 나타났으며, 다짐도가 증가할수록 인발저항력도 증가하는 것으로 나타났다.

상기 기존 연구 분석을 통해 단동비닐하우스에서 파이프 줄기초 관련 연구가 부족한 것으로 조사되었으며, 수평방향 외력에 대한 파이프 줄기초 저항성능에 관하여 현장 시공조건을 고려한 실험은 이루어지지 않은 것으로 조사되었다

15) 이봉국, 윤성욱, 최만권, 이시영, 문선동, 유찬, & 윤용철. (2014). 온실용 나선철항의 인발저항력 검토. 시설원예·식물공학, 23(2), 109-115.

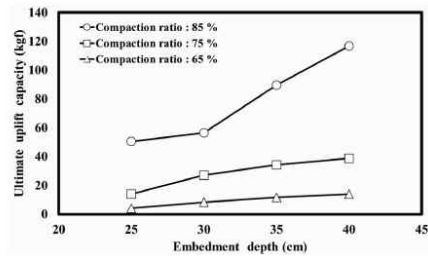


(a) 나선철항



(b) 모형지반조성

Compaction ratio (%)	Embedment depth (cm)	Ultimate uplift bearing capacity (kgf)	Maximum displacement (mm)
85	40	116.65	35.54
	35	86.23	38.26
	30	57.95	23.76
	25	48.93	29.52
75	40	40.38	40.61
	35	36.83	44.03
	30	25.38	47.70
	25	13.13	30.75
65	40	13.48	31.92
	35	11.35	30.76
	30	8.55	32.11
	25	4.40	33.44



(c) 다짐률과 매립깊이에 따른 인발저항력

(d) 매립깊이에 따른 극한인발저항력

[2-4] 그림 34. 온실용 나선철항 인발저항력 검토 연구(이봉국, 2014)

(나) 실험계획

① 실험목적

상기 기존 연구 분석을 통해 현장 시공 조건에 따라 줄기초가 다양한 다짐도를 보유함을 검증하기 위해 단동비닐하우스 파이프 줄기초에 영향을 미치는 현장 다짐방법과 다짐도 (compaction ratio)를 실험 변수로 하여, 파이프 줄기초 인발저항성능을 확인하여 단동 비닐하우스의 기초구조 성능특성 규명과 경계조건을 규명한다. 또한 풍하중과 같이 수평방향 외력을 현장 시공조건을 고려하여 수행한 실험이 없으므로, 파이프 줄기초 수평저항성능에 관한 실험을 통해 기초구조 성능특성을 규명한다.

② 사용재료

㉠ 파이프 줄기초

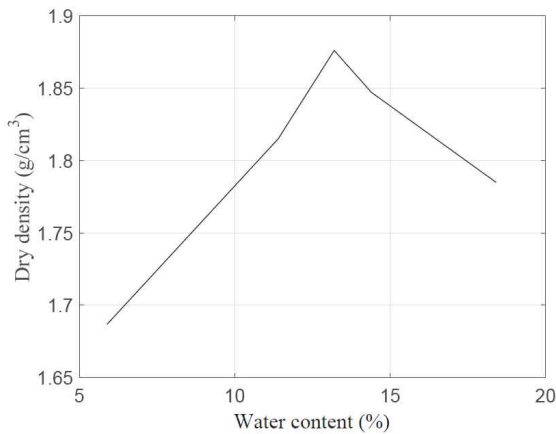


파이프 파이프 직경은 한 종류이다(서까래 직경×가로대 직경:  $\phi 32 \times \phi 25$ ). 본래 4종류의 직경에 대한 실험을 계획하였으나, 다짐을 위한 시간 소요가 큰 문제가 발생하여 파이프 직경을 한 종류로 축소하였다. 조리개는 미끄럼·인장시험에서 가장 우수한 저항성능을 보인 강판조리개를 활용하였다.

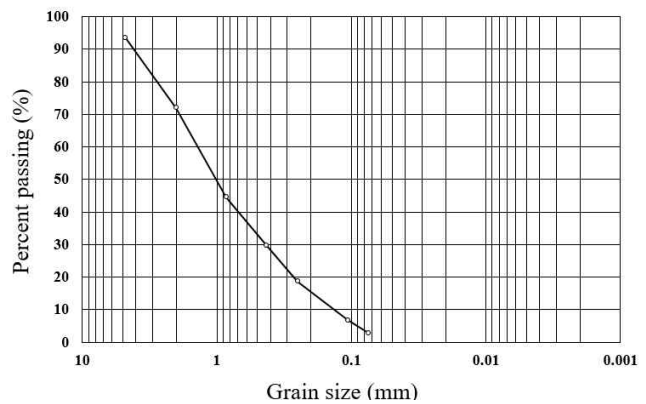
㉠ 토사

㉠ 기본 물성시험

기초실험에 적용된 토사는 체친 황토로 흙의 함수비, 비중, 입도분포, 다짐시험(KS F 2312)을 수행하였다. 시료 건조밀도입도와 함수비 관계를 표기하였으며, 입도시험 분포 곡선을 나타내었다. 흙시료의 최대건조밀도 및 최적함수비는 표에서 나타난 바와 같이 각각  $1.877 \text{ g/cm}^3$ , 13.3%이며, 비중은 2.668이다. 입도분포는 자갈 6.6%, 모래 90.6%, 실트 2.8%로 실트-모래 성질의 입도 분포를 갖는다. 실트-모래 성질의 흙시료는 모래-실트 성분의 시료 대비 다짐도 향상이 지내력 향상에 더 많은 영향을 준다.



(a) 시료 건조밀도입도-함수비



(b) 입도시험 분포 곡선

[2-4] 그림 35. 시료 물성시험 결과

[2-4] 표 18. 흙의 물리적 성질

함수비	비중	입도 분포(%)				최적함수비	최대건조밀도
		자갈	모래	실트	점토		
8.9 %	2.66	6.6	90.6	2.8		13.3 %	1.87 (g/cm <sup>3</sup> )

㉠ 현장들밀도시험

매회 흙의 다짐조건을 확인하기 위하여 현장들밀도시험을 수행하였으며, A 다짐법에 의한 발다짐의 다짐율은 다짐층수에 따라 79~86% 수준으로 나타났으며, 봉다짐의 경우 82%~90% 수

준으로 나타났다. 이와 관련하여 상세한 정보는 아래에 정리하였다.

[2-4] 표 19. 흙의 다짐 결과

다짐방법	다짐층수	함수비	현장건조밀도	최대건조밀도	다짐율
발다짐	2 (Layer)	8.8%	1.54 (g/cm <sup>3</sup> )	1.939 (g/cm <sup>3</sup> )	79%
	5 (Layer)		1.69 ((g/cm <sup>3</sup> )		86%
봉다짐	2 (Layer)		1.59 ((g/cm <sup>3</sup> )		82%
	5 (Layer)		1.75 ((g/cm <sup>3</sup> )		90%



[2-4] 그림 36. 현장들밀도 실험

③ 실험체 제작

㉠ 모형토조 제작

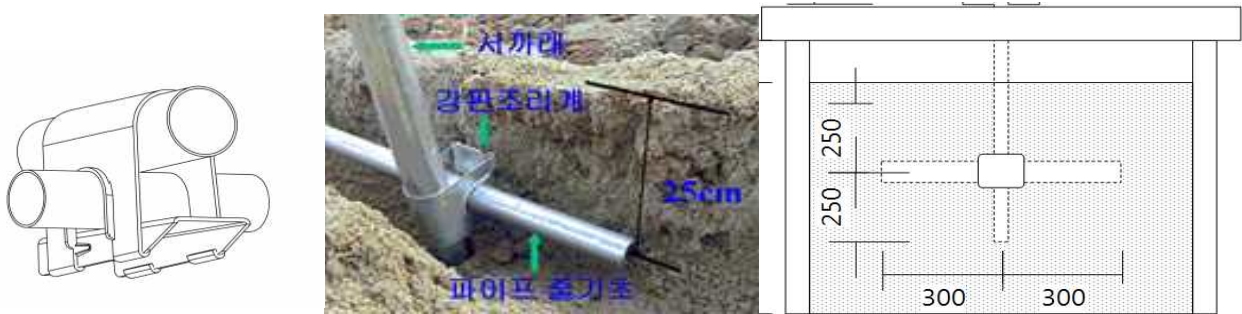
모형토조 치수는 2000x1000x1000(L x W x H)mm로 제작하였다. 모형 토조내 흙의 성토 양 및 다짐깊이를 확인할 수 있도록 토조 측면에 치수표기하였다..



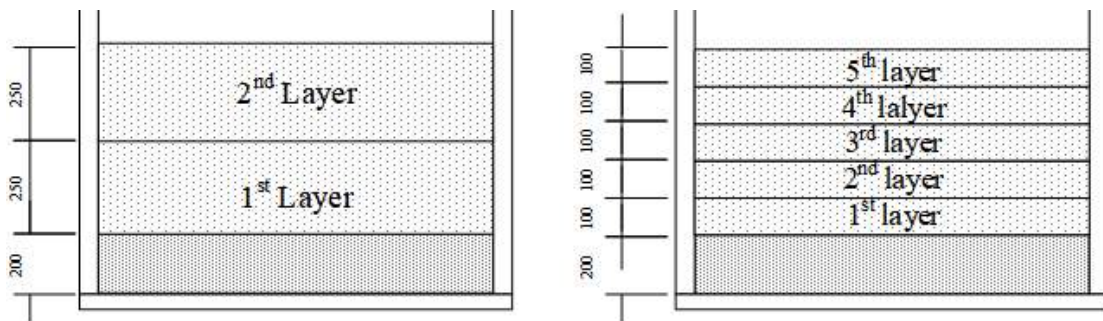
[2-4] 그림 37. 토조 단면도 및 실 사진

㊤ 파이프 줄기초 설치

파이프 줄기초는 내재해 규격에서 제시하는 파이프 및 조리개로 서까래 파이프는 직경 31.8mm, 길이 1,500mm, 두께 1.5mm, 가로대는 직경25.4mm, 길이 600mm, 두께 1.5mm, 조리개는 강판 조리개를 사용하였다. 파이프 줄기초 형성을 위하여 서까래 파이프와 가로대 파이프를 강판조리개로 체결하였으며, 설치 깊이는 내재해형 규격에 규정된 깊이를 적용하여 총깊이 500mm으로 하였다.



[2-4] 그림 38. 기초 파이프 체결



[2-4] 그림 39. 다짐층별 깊이

단동비닐하우스 파이프 줄기초는 토사 마찰력과 전단력에 의해 저항한다. 인접 토사 다짐도는 중요 변수가 된다. 기초 실험시 모형 토조에 흙시료를 채우고 다짐을 수행할 경우 하부 층은 다짐도가 저하될 수 있으므로 층을 구분하여 다짐하였다. 다짐은 현장에서 예상되는 최소, 최대 다짐조건으로 고려하여 계획하였다. 파이프 줄기초의 매립깊이 500mm 중 250mm 위치에 가로대를 형성하기 위해 2개 층으로 토사층을 분할하였다. 토사층 깊이는 최대 100mm 를 넘지 않을 것으로 예상하여 5개 층으로 하였다. 지반 다짐은 모형 토조내 기초저면 지반에 기계다짐을 수행하고, 하중 작용시 지반내 기초 영향범위인 500mm 이내로 고려하여 토사층을 2개 층과 5개 층으로 수행하였다.

또한 흙의 다짐도는 다짐방법 및 다짐시간에 의해서도 영향을 받는다. 본 연구에서는 단동 온실의 파이프 줄기초 시공시 현장에서 통상적으로 시공되는 방법인 발다짐과 붓다짐에 대하여 토사층별 5분간 다짐을 수행하도록 하였다.



(a) 파이프 매립 전



(b) 파이프 매립 후

[2-4] 그림 40. 인발 파이프 매립전후 모습

#### (다) 파이프 줄기초 인발실험

##### ① 실험체 계획

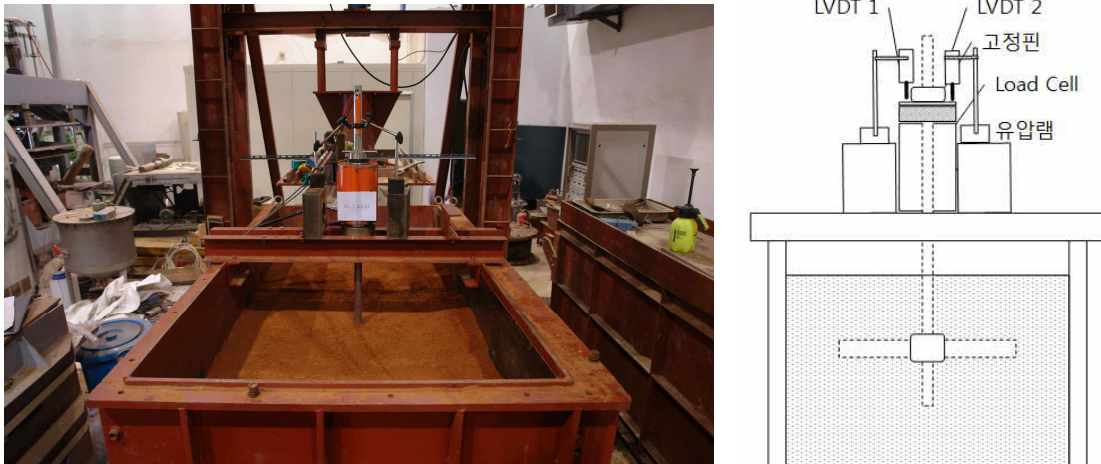
지반 다짐방법은 단동비닐하우스의 현장시공 조건을 고려하여 발다짐 및 붓다짐 조건을 계획하였으며, 다짐층수는 현장시공 조건을 고려한 최대 깊이(2 layer) 및 최소 다짐깊이(5layer)로 설정하였다. 조리개는 강판조리개를 사용하였는데, 기초접합 조리개는 내재해형 조리개를 적용하도록 규정되어 있고, 본 실험에서 모든 조리개가 내재해형 미끄럼강도를 만족하지 못하므로, 이 중 최대값을 보유한 강판조리개를 적용하였다. 실험은 시공성 및 실험 오차를 고려하여 3회 평균으로 수행하였다.

[2-4] 표 20. 파이프 줄기초 인발실험 변수

구분	다짐 방법	다짐시간 (min.)	다짐층수 (layer)	실험 횟수
인발실험	발다짐	5	5	3
		5	2	3
	봉	5	5	3
		5	2	3

② 가력 및 측정

인발저항 시험시 유압램이 상승함에 따라 발생하는 변위계의 오차를 줄이기 위해 양측에 2개의 변위계를 설치하였으며, 내재해형 규격의 원예특작시설 기준에 인발저항력 산정 관한 기준은 없으므로 인장시험과 미끄럼시험에 대한 기준(변위 2mm 강도 기준)을 참고하여 인발력을 규정하고, 50mm 변위 내에서 발생한 최대 하중을 최대 인발강도로 규정하였으며, 기초 저항 실험의 설계 변수별 반복 횟수(최소 3회)와 가력 하중 속도(5mm/min 이내) 등을 참고하여 하중-변위 구간을 계측하였다.



[2-4] 그림 41. 인발실험 상세도

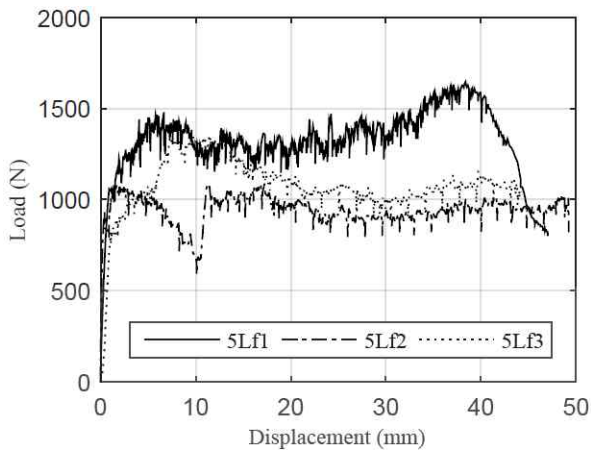
③ 실험결과 및 분석

㉞ 하중-변위 관계

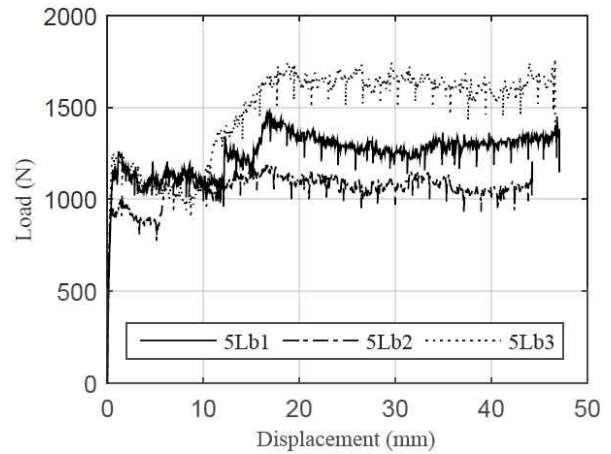
기초의 저항기구는 줄기초 지지력과 결속조리개의 미끄럼 파괴 중 취약한 저항기구에서 파괴가 나타나는 것으로 분석되었다. 상기 결속조리개 미끄럼시험 결과를 참고하면, 강판조리개의 초기미끄럼강도는 515~789N이므로, 이를 기준으로 줄기초의 지지력이 상회할 경우 미끄럼강도에 지배되며, 지지력이 낮을 경우 줄기초의 인발하중에 의해 지배될 것으로 판단하였다. 토사의 다짐도가 높을수록 저항성능은 증가하는 것으로 나타났으며, 5layer 다짐이 2layer 다짐 대비 최대인발저항성능을 200% 이상 확보하는 것으로 나타났다.

[2-4] 표 21. 인발실험 결과

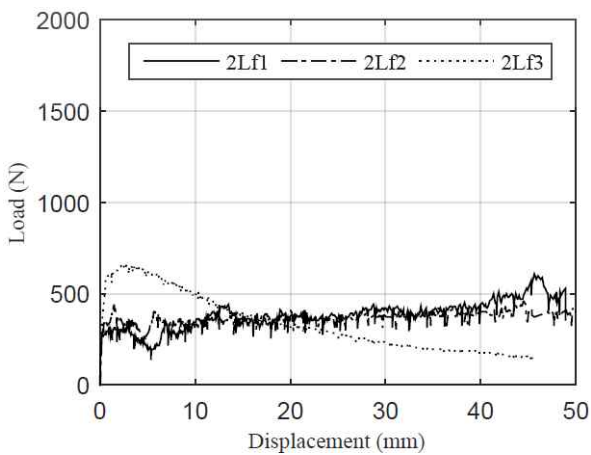
구분	다짐 방법	다짐층수 (layer)	시험횟수	인발저항력 (N)	최대 강도 (N)
인발실험	발다짐	5	1	1,156	1,646
			2	882	1,087
			3	1068	1,354
		2	1	284	607
			2	352	460
			3	637	656
	봉다짐	5	1	1087	1176
			2	1166	1251
			3	960	1764
		2	1	382	480
			2	578	793
			3	891	999



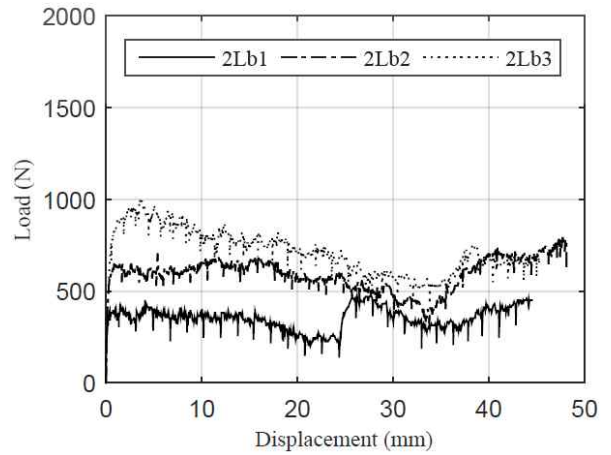
(a) 5 층 발다짐



(b) 5 층 봉다짐



(c) 2 층 발다짐



(d) 2 층 봉다짐

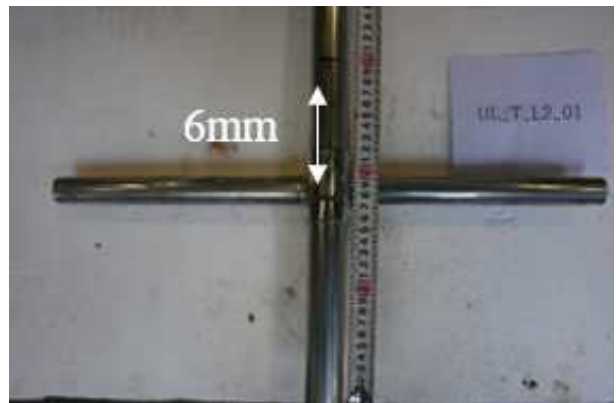
[2-4] 그림 42. 다짐층별 인발하중-변위 곡선

㉔ 파괴양상

파이프 줄기초의 파괴유형은 결속조리개의 미끄럼파괴와 토사의 전단파괴로 인한 줄기초 인발파괴로 나타났다. 결속조리개 미끄럼파괴는 조리개 종류에 따라 다르게 나타났다(515~789N). 이에 따라 줄기초 지반과 가로대 전단저항력이 결속조리개 미끄럼강도보다 낮은 경우 파이프 인발파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 다짐층이 5layer인 경우 토사의 밀도가 높게 나타났다. 이는 지반 지지력 향상에 영향을 주어 최대하중시 토사의 균열이 관측되지 않는 것으로 조사되었다. 실험 후 줄기초를 확인한 결과 결속조리개의 미끄럼파괴가 지배적인 것으로 나타났다. 반면 다짐층 2layer에서는 줄기초의 인발에 의한 파괴양상이 지배적으로 나타났기 때문에 미끄럼강도 이하에서 지반 균열을 확인할 수 있었다.



(a) 2개 층



(b) 5개 층

[2-4] 그림 43. 인발력에 따른 파괴 양상

(라) 파이프 줄기초 수평저항성능 실험

① 실험체 계획

실험체 계획은 상기 파이프 줄기초 인발저항성능 실험과 동일한 조건으로 하였다.

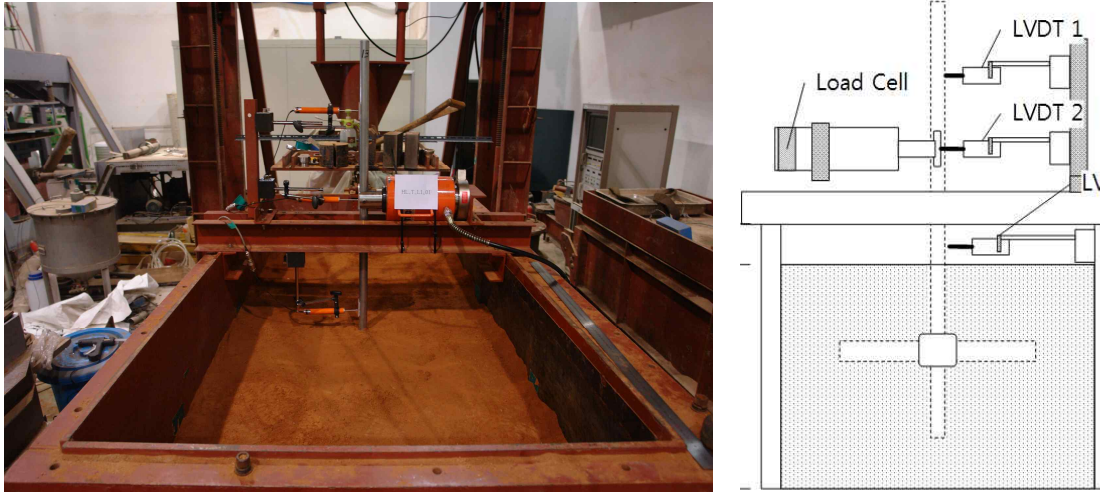
[2-4] 표 22. 파이프 줄기초 수평저항성능실험 변수

구분	다짐 방법	다짐시간 (min.)	다짐층수 (layer)	실험횟수
수평저항성능 실험	발다짐	5	5	3
		5	2	3
	봉	5	5	3
		5	2	3

② 가력 및 측정

내재해형 규격의 원예특작시설 기준에 기초 수평저항력 산정 관한 기준은 없으므로 인장시

험과 미끄럼시험에 대한 기준(변위 2mm 강도 기준)을 참고하여 변위 2mm 기준에서 수평내력으로 규정하고, 50mm 변위 내에서 발생한 최대 하중을 최대 수평내력으로 규정하였다. 기초 저항 시험의 설계 변수별 반복 횟수(최소 3회)와 가력 하중 속도(5mm/min 이내) 등을 참고하여 하중-변위 구간을 계측하였다. 변위계는 줄기초의 수평변형 및 회전각을 측정하기 위해 3개를 설치하였다. 위치는 지반표면으로부터 각각 100mm, 500mm, 800mm이다.



[2-4] 그림 44. 수평가력 시험 세팅

### ③ 실험결과 및 분석

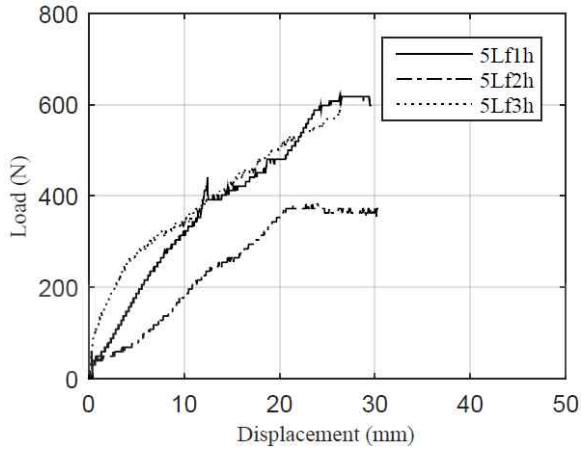
#### ㉔ 하중-변위 관계

최대하중은 유압램이 밀수 있는 최대 지점(75mm)까지를 계측하였으며, 각 시험체의 경우에 파괴양상이 달라 평균값으로 비교하지 않았다. 최대수평저항력은 다짐 5층이 다짐 2층 대비 약 110~120% 이상(발다짐=617N/441N, 봉다짐=686N/470N) 증가하였다. 수평저항성능 또한 인발시험과 같이 층 분할 다짐으로 토사 밀도가 조밀하게 되면, 기초 지압력·전단저항력 증가로 줄기초 수평저항성능이 향상되는 것으로 조사되었다.

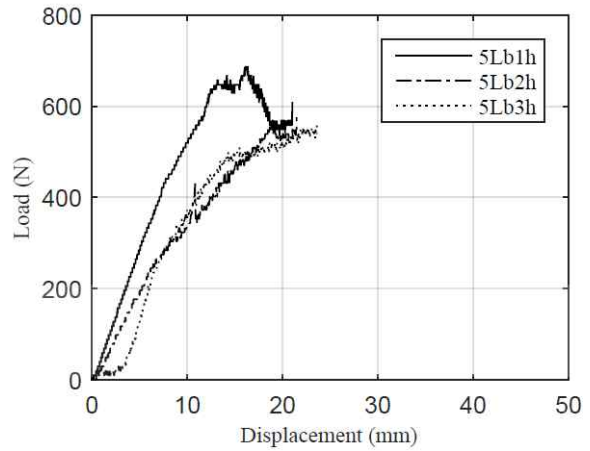


[2-4] 표 23. 수평가력실험 결과

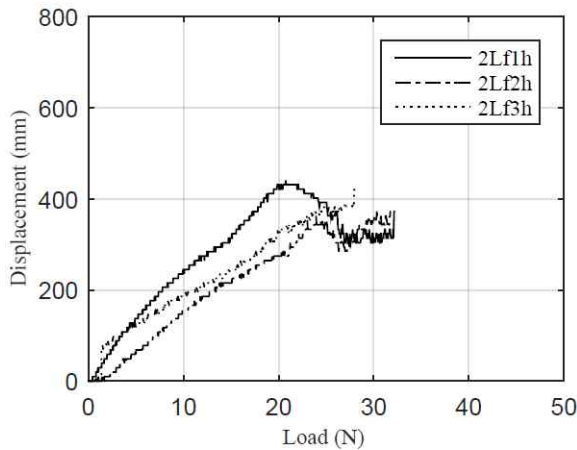
구분	다짐 방법	다짐층수 (layer)	시험횟수	수평저항력 (N)	최대 강도 (N)	K (kN-m/rad)
수평가 력실험	발다짐	5	1	78	617	12.15
			2	50	382	7.57
			3	166	588	61.82
		2	1	49	441	16.45
			2	58	372	12.63
			3	88	421	19.48
	봉다짐	5	1	107	686	11.33
			2	68	578	8.22
			3	68	558	7.26
		2	1	88	470	11.85
			2	68	617	14.84
			3	68	392	8.98



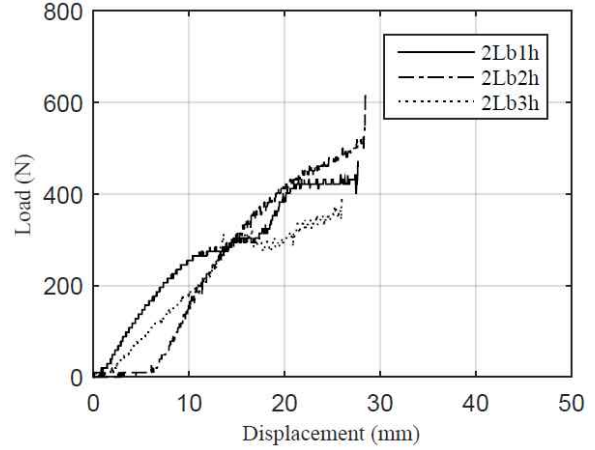
(a) 5 층 발다짐



(b) 5 층 봉다짐



(c) 2 층 발다짐



(d) 2 층 봉다짐

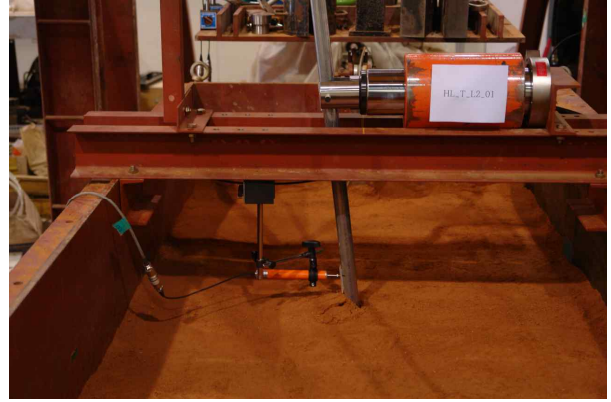
[2-4] 그림 45. 다짐층별 수평하중-변위 곡선(LVDT#1, 지표면 100mm 지점)

#### ㉞ 파괴양상

실험에서 측정한 수평가력-하중 곡선은 모든 변위계에서 10mm지점까지 선형으로 증가하는 경향을 보였다. 서까래(수직파이프)와 가로대는 조리기 변형에 따라 회전이 발생할 수 있으나, 매립 깊이가 500mm로 얇은 지반이고, 이에 해당하는 파이프 줄기초에서는 조리의 회전저항력 영향이 없는 것으로 조사되었다. 위 그림은 지표면에 근접한 LVDT에서 측정한 변위와 다짐층별 수평하중 관계를 나타낸다. 다짐 2층과 다짐 5층에서 발생한 지표면 균열을 확인한 결과 다짐 2층의 경우 지표면에서 소수의 폭이 넓고 긴 균열이 발생되었으나, 다짐 5층의 경우 지표면에서 다수의 균열이 좁은 폭과 짧은 길리로 발생되었다. 이는 상기 인발실험과 유사하게 다짐층 증가가 토사 밀도를 높이므로, 결과적으로 기초 지지력이 향상되는 것으로 조사되었다.



(a) 다짐 5층



(b) 다짐 2층

[2-4] 그림 46. 수평가력 실험

#### ㉔ 회전강성

단동비닐하우스 파이프 줄기초의 수평가력 크기에 따른 파이프 변형 형상을 아래 그림에 제시하였다. 이 결과를 분석하면 수평가력에 따른 서까래 회전이 발생할 때 하단 지점이 흠이 균열/파괴되며 반력 작용 지점이 조금씩 아래로 내려가는 경향이 나타났다. 이는 각 실험체/실험에서 유압램 가력으로 반력 모멘트가 작용하는 수직 길이 증분 지점이 변한다. 따라서 실험체별 모멘트는 이를 고려하여 산출된 기울기로부터 증분되는 모멘트 팔길이를 포함하여 계산하였으며, 회전각은 수평방향에 설치된 LVDT 3개 중 2개의 변위를 이용하여, 모멘트-회전각을 산정하였다. 회전강성 산정은 모멘트-회전 곡선에서 나타나는 초기강성을 회전강성으로 하였으나, 일부는 초기 유압램 가력시 미끄럼이 발생되어, 슬립이후 발생한 강성으로 하였다.

#### ④ 소결

단동 비닐하우스의 파이프 줄기초에 대한 구조성능 검토를 위해 현장다짐 조건을 고려하여 줄기초의 인발·수평저항성능을 실험적으로 도출하였으며, 이를 통해 얻은 결론은 아래와 같다.

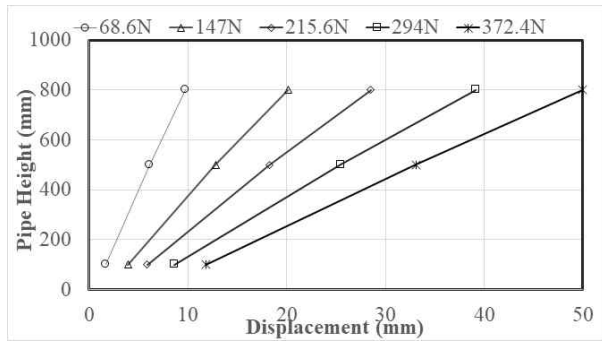
내재해형 단동 비닐하우스의 파이프 줄기초는 발다짐·봉다짐으로 최대한 동일 실험 조건을 두었으나 시공성의 영향으로 최대 67%까지 줄기초 저항능력의 편차가 발생되었다.

현장 시공되는 파이프 줄기초의 인발저항성능은 최소 다짐층(다짐 2층) 조건 대비 최대 다짐층(다짐 5층)에서 220%, 수평저항성능은 129% 향상되었다. 이는 다짐 층을 분할하여 다짐을 할 경우 지반의 마찰력·전단저항력이 증가하므로 기초 저항성능을 향상시킨 것으로 조사되었다.

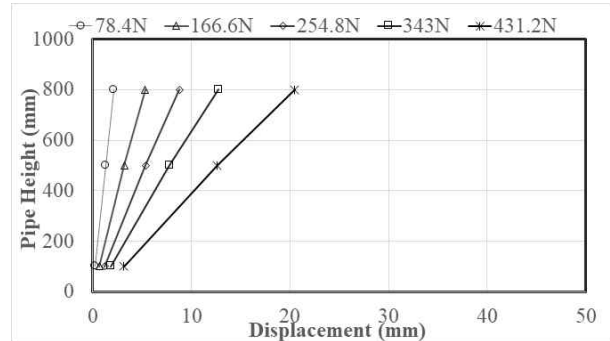
파이프 줄기초 파괴유형은 인발의 경우 서까래와 가로대를 결속하는 조리개 미끄럼파괴나 토사 전단파괴에 의해 줄기초 뽑힘 파괴가 발생되었다. 지반 다짐도가 일정 기준 이상일 경우 지반 전단 저항강도가 조리개 미끄럼강도를 상회하므로 미끄럼파괴가 먼저 발생한 것으로 조사되었다.

현 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서(2014)에서 단동 비닐하우스 기초를 결속하는 조리개에 대한 성능 규정이 제시되어 있지 않은 상황이다. 기초구조는 다짐층 등 시공방법에 따라

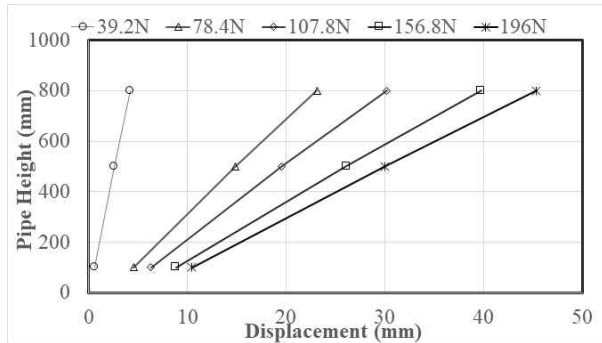
기초저항성능에서 차이가 발생되므로, 최소 규정 마진이 필요하다.



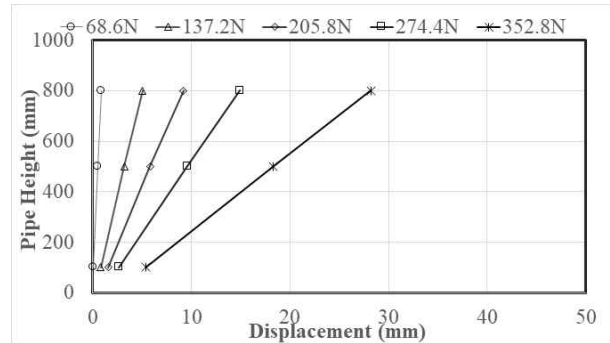
(a) 다짐 5층 1회차



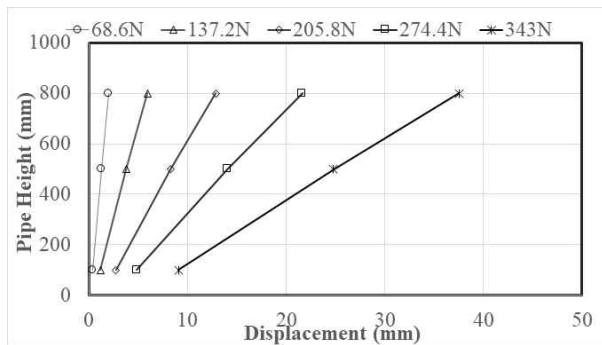
(d) 다짐 2층 1회차



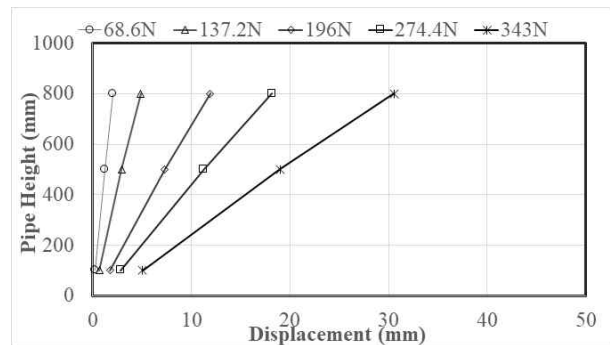
(b) 다짐 5층 2회차



(e) 다짐 2층 2회차

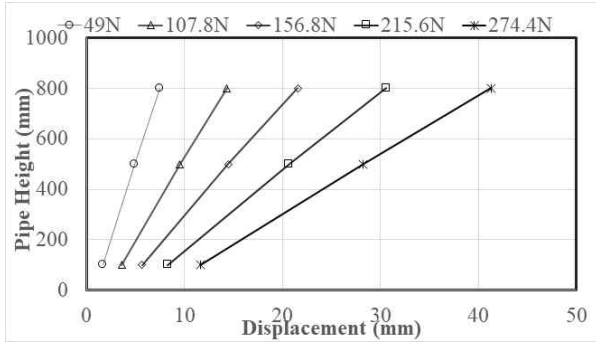


(c) 다짐 5층 2회차

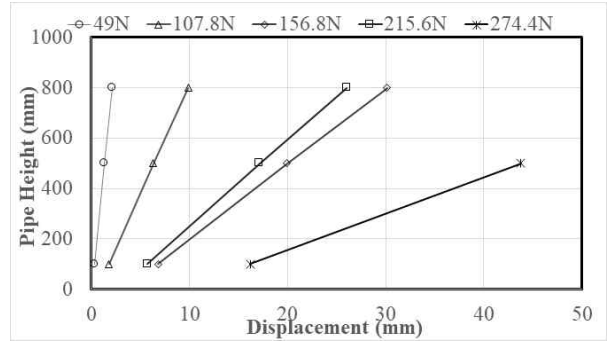


(f) 다짐 2층 2회차

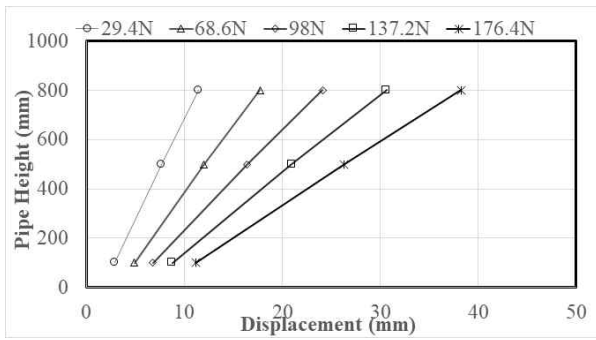
[2-4] 그림 47. 발다짐시 수평가력-변위 곡선



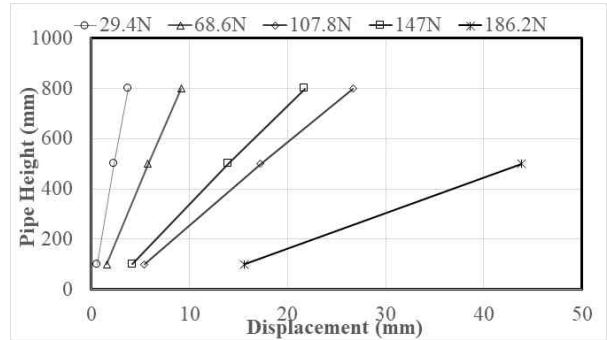
(a) 다짐 5층 1회차



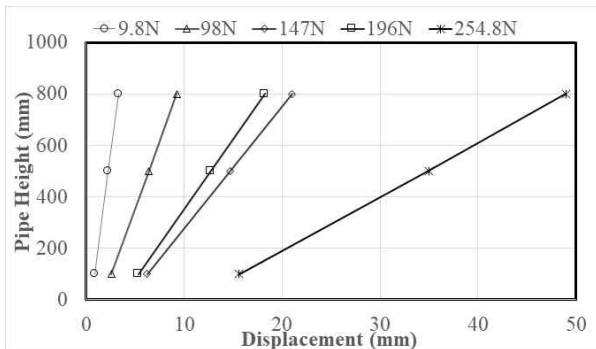
(d) 다짐 2층 1회차



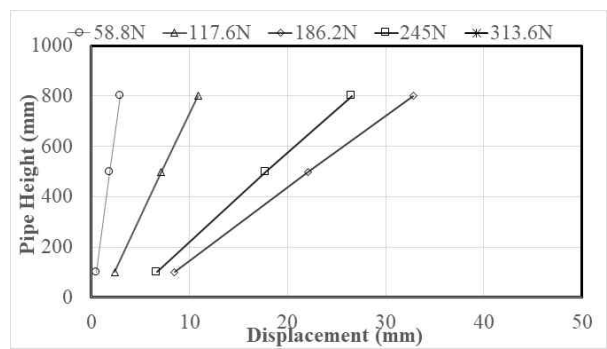
(b) 다짐 5층 2회차



(e) 다짐 2층 2회차

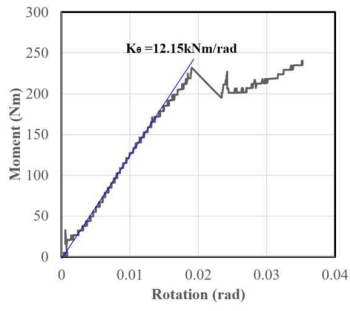


(c) 다짐 5층 2회차

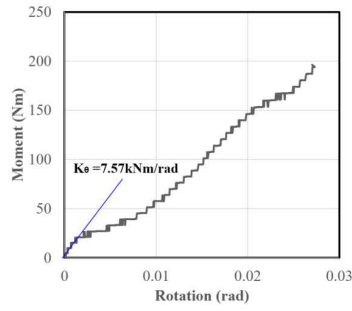


(f) 다짐 2층 2회차

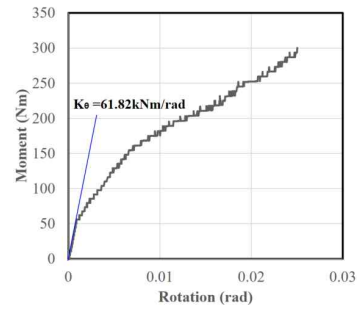
[2-4] 그림 48. 봉다짐시 수평가력-변위 곡선



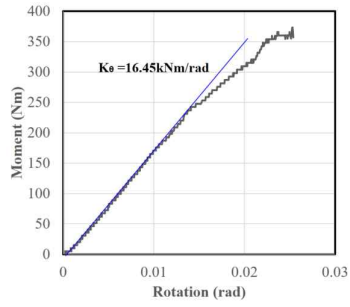
(a) 발다짐 5층 1차



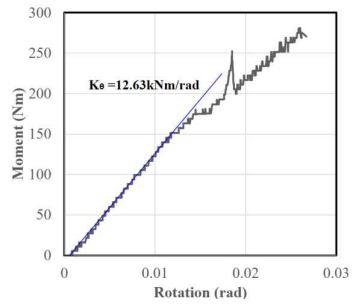
(b) 발다짐 5층 2차



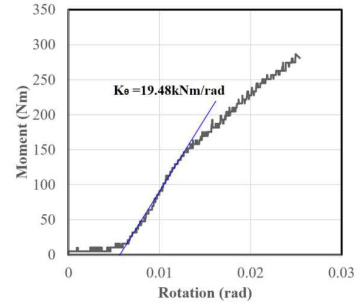
(c) 발다짐 5층 3차



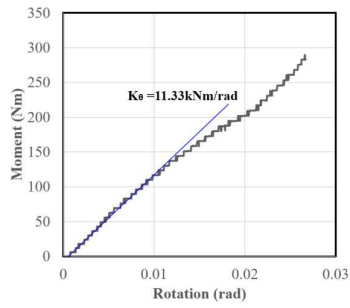
(d) 발다짐 2층 1차



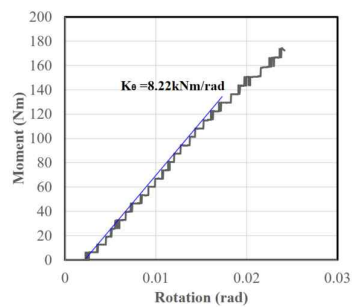
(e) 발다짐 2층 2차



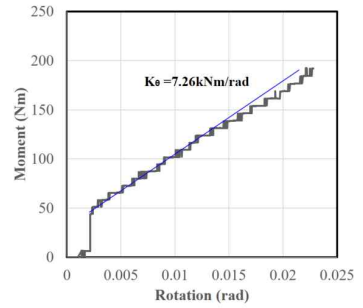
(f) 발다짐 2층 3차



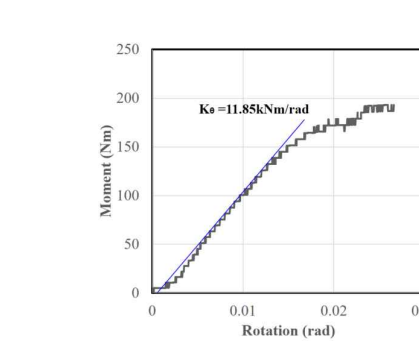
(g) 봉다짐 5층 1차



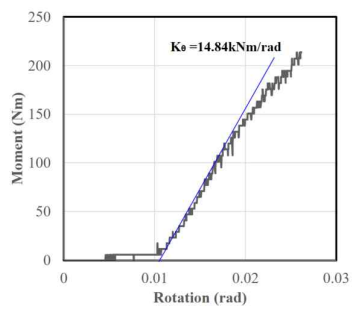
(h) 봉다짐 5층 2차



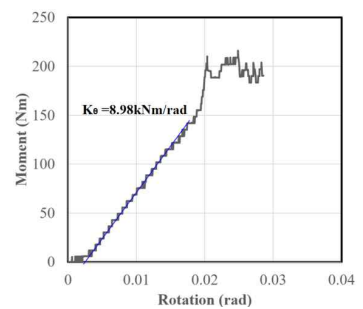
(i) 봉다짐 5층 3차



(j) 봉다짐 2층 1차



(k) 봉다짐 2층 2차



(l) 봉다짐 2층 3차

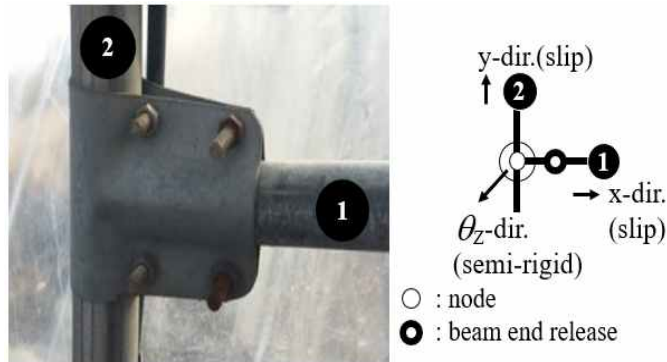
[2-4] 그림 49. 다짐별 모멘트-회전 곡선



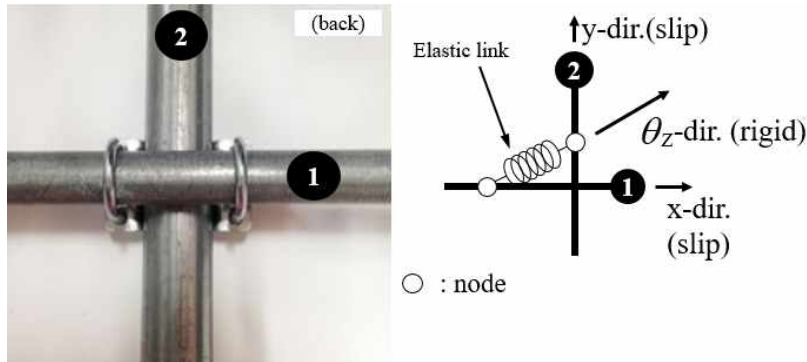
[2-4] 표 24. 경계조건에 따른 연결재 분류

연결재	T판	U 클램프	고정 클램프	십자판
사진				
자유도 (θz)	Semi-rigid	Rigid	Semi-rigid	Pin
연결재	Y형 클램프	T클립	회전 클램프	새들 고정구
사진				
자유도 (θz)	Pin	Pin	Pin	Pin
연결재	1중 외꽃이	2중 외꽃이	1중 쌍꽃이	2중 쌍꽃이
사진				
자유도 (θz)	Pin	Pin	Pin	Pin
연결재	45도 클램프	강판조리개		
사진				
자유도 (θz)	Pin	Pin		

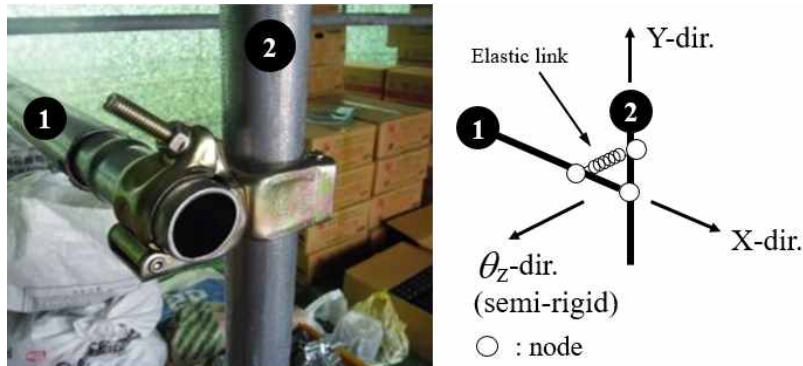




(a) T관



(b) U클램프



(c) 고정 클램프

[2-4] 그림 51. 접합부 구조성능을 보유한 연결재 및 절점조건 분석

(나) 접합부실험

① 실험목적

현행 사양중심설계는 지역별 특성 및 변화하는 기상재해에 대해 충분한 안전성을 확보하는 것에 한계가 있다. 연동 비닐하우스의 성능 한계를 극복하기 위해 기존 연동형 비닐하우스 구조성능 검증 및 특성치 도출이 필요하다. 이를 위해 연동 비닐하우스에 이용되는 연결재의 회전강성을 실험적으로 검증하였다.

② 실험체 계획

접합부 특성치 도출을 위해 연결재별 회전강성 유효성이 검증되어야 한다. 접합부 구조성능이 유효할 것으로 기대되는 연결재를 실험 변수로 정하였다. 연결재 중 고정 클램프(이하 C클

램프)는 가시설물에 사용되는 연결재이나 국내 비닐하우스 시공시 사용되는 규격의 제품으로 결정하였다. 1차년도 연구에서 비닐하우스 접합부에 쓰이는 접합재로 결속조리개를 연구한 결과에 따르면, 조리개가 동일 규격에서도 제작 정밀도에 편차가 존재하고, 시공자에 따라 일부 오차가 발생하는 것으로 나타난 점을 고려하여 실험은 각 3회씩 반복 수행하였다.

### ③ 사용재료

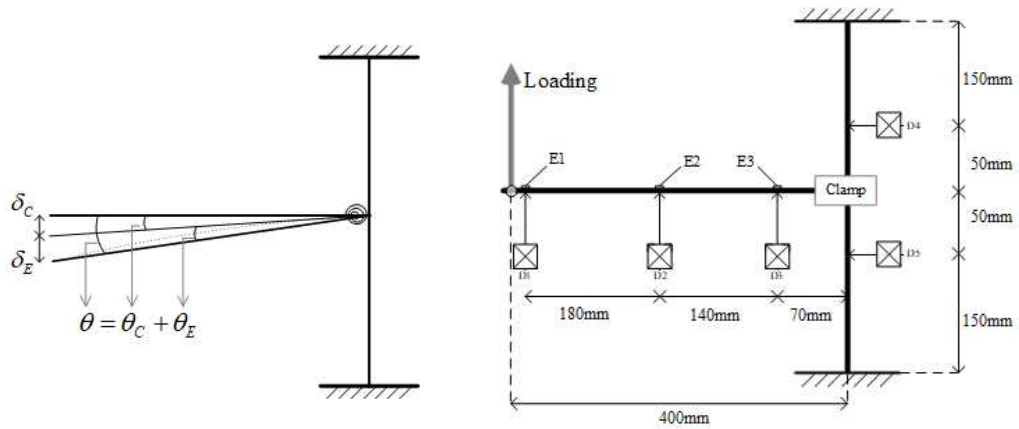
아래와 같이 사용된 부재 제원을 정리하였다. 파이프 강관은 접합부의 종류에 따라 직경 25.4mm와 48.1mm를 사용하였으며, 각 파이프가 체결될 때 체결 깊이와 체결된 파이프와 연결재 면적으로 표기하였다.

[2-4] 표 25. 인장실험용 실험체 규격 및 가력방향 일람

No.	시험체	연결재 두께(mm)	체결볼트	체결길이 (mm)	체결 면적(mm <sup>2</sup> )	파이프 규격 (서까래×가로대)
1	T판	1	M6	40	1,016	φ25.4×φ25.4
2						
3						
4	U클램프	2	M10	70	1,778	
5						
6						
7	고정클램프	2	M8&10	45	2,164	φ48.1×φ48.1
8						
9						

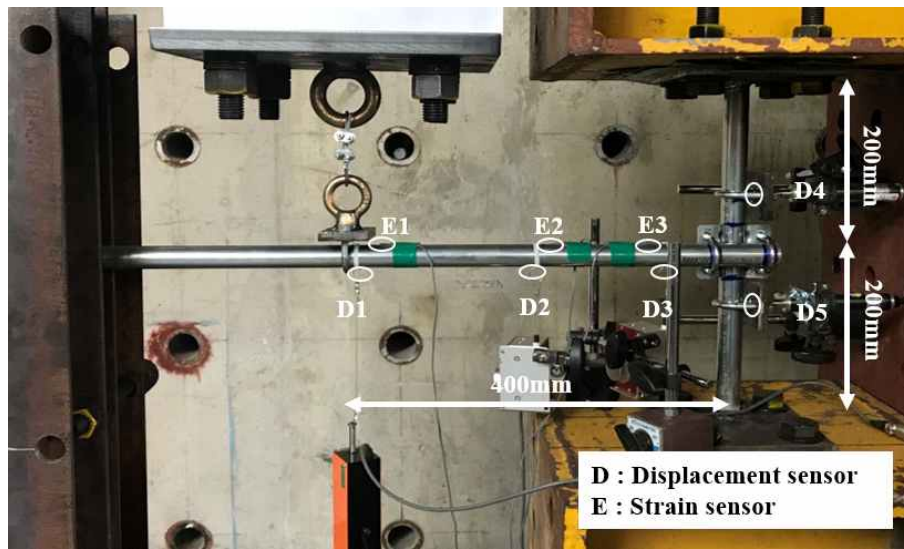
### ④ 실험체 제작

실험체는 아래 그림과 같이 수직·수평 파이프 교차 지점에 연결재가 결속되도록 설치되었다. 가력지점에서 수직 파이프까지 수평 거리는 400mm이며, 수평 파이프 단부 지점을 자유단 조건이 되도록 가력기와 연결하여 연결재에 휨이 발생되도록 하였으며, 수평 파이프 변위와 따라 회전각을 계산하도록 하였다. 수직 파이프 중심에서 상하 200mm의 양방향 단부 지점을 고정단 조건이 되도록 용접하여 연결재 굽힘이 발생될 때 부재내 휨이 발생되지 않도록 하였다. 교차하는 두 파이프와 연결재를 체결하기 위해 3개의 연결재 모두 볼트가 사용되었으며, 연결재에 쓰인 모든 볼트는 동일한 조임력(100kgf-cm)을 갖는다.



(a) 연결재의 회전각

(b) 변형률 및 변위 센서 설치도



(c) U클램프의 설치도

[2-4] 그림 52. 실험체 체결 형상

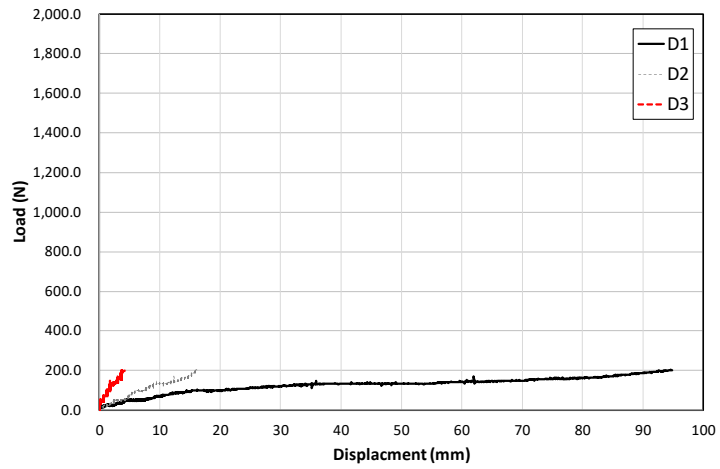
⑤ 가력 및 측정 방법

단부 가력시 가력속도는 국외 기준의 가력규격(1mm/min)과 국내 내재해 기준의 시험방법 (5mm/min)을 혼용하여 초기 15mm구간은 1mm/min으로 수행하였으며 이후, 30mm까지 2 mm /min로 수행하고, 100mm까지 5mm/min으로 수행하였다.

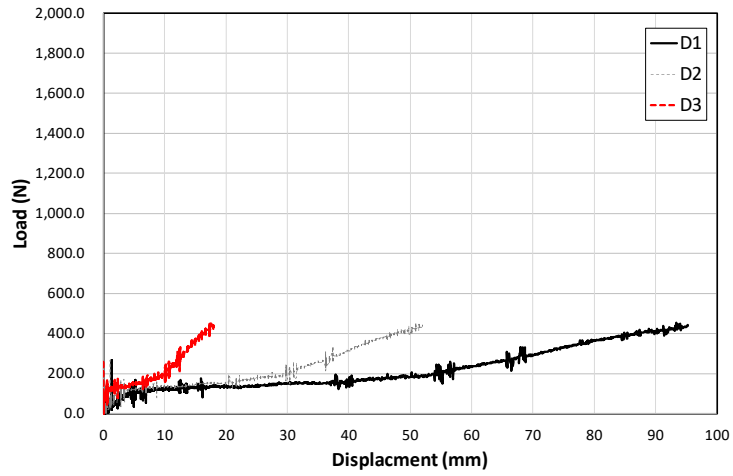
⑥ 실험결과 및 분석

㉞ 하중-변위 관계

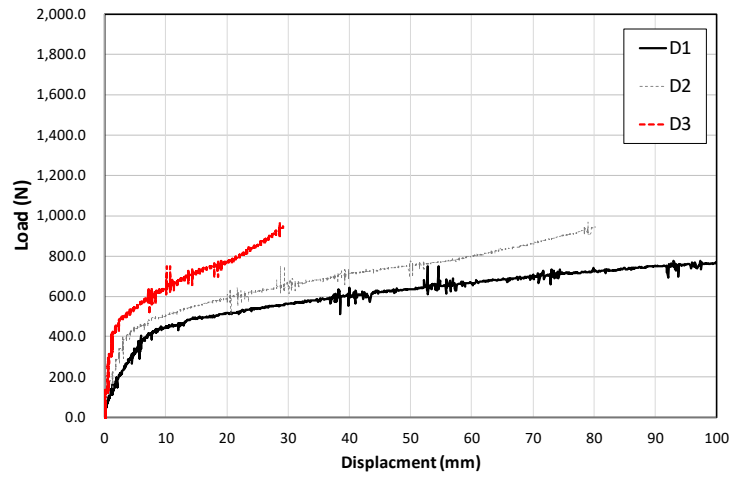
수평 파이프 단부에 부착한 3개의 변위계로부터 연결재별 하중-변위 관계를 계측하였다. 세 연결재는공통적으로 하중 가력이전지점부터 초기변위 10mm 사이에서 하중이 증가할 때 D1이 증가하며 일정 기울기가 나타나는 것을 확인할 있었다. 이후 연결재별로 다른 방식으로 기울기가 전개되었다. T판의 경우 20~70mm까지 일정한 기울기를 유지하다가 이후 기울기가 일부 변하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 유사하게 U클램프는 10~50mm 영역에서 일정한 기울기로 증가하다가, 기울기가 변하는 것이 확인되었으며, 고정클램프는 초기 기울기 변형 후 일정하게 기울기가 계속 증가하는 것으로 나타났다.



(a) T판



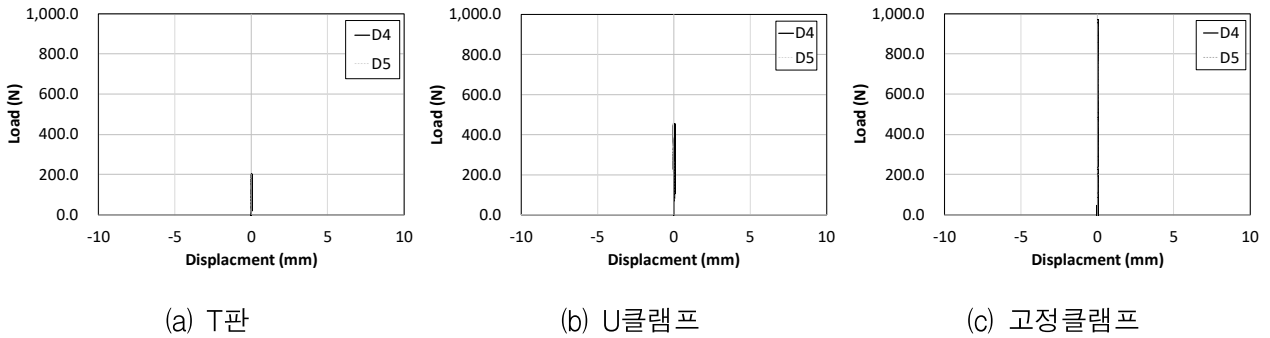
(b) U클램프



(c) 고정클램프

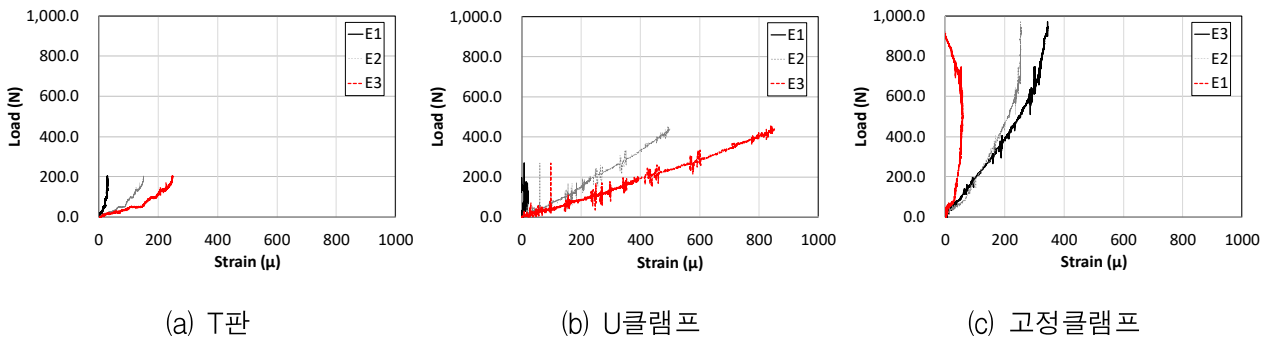
[2-4] 그림 53. 가력 하중별 수평파이프 변위 검토

아래 그림은 각 연결재 상하 50mm로부터 간격을 두어 설치한 2개의 변위계로부터 하중-변위 관계를 계측한 결과이다. 아래의 계측 결과는 수평파이프 단부에 발생된 굽힘력에 따라 수직파이프가 변형하는 것을 확인하기 위해 사용하였다. 세 연결재 모두 0.1mm이내의 변위가 발생되어 무시할 수 있을 만큼 작은 변형량이나, 연결재의 회전강성을 계산할 때 활용하였다.



[2-4] 그림 54. 수직파이프 변형 검토를 위한 가력 하중단계별 수직파이프 변위(변위계 D4, D5)

아래 그래프는 수평파이프에 부착된 변형률계로부터 가력 하중이 변함에 따라 변형률 추이를 계측한 결과이다. 수평파이프 단부에서 발생하는 굽힘력이 강재의 변형을 유도하여 영구 변형 될 경우 연결재 회전강성 산출 오류가 있을 수 있는 점을 고려하기 위해 변형률계를 설치하였다. 계측 결과 T판은 최대변형률은 250 $\mu$  이내, U클램프는 850 $\mu$ 이내, 고정클램프는 400 $\mu$  이내로 모든 수평파이프가 탄성변형 내에 수 있음 확인하였다.



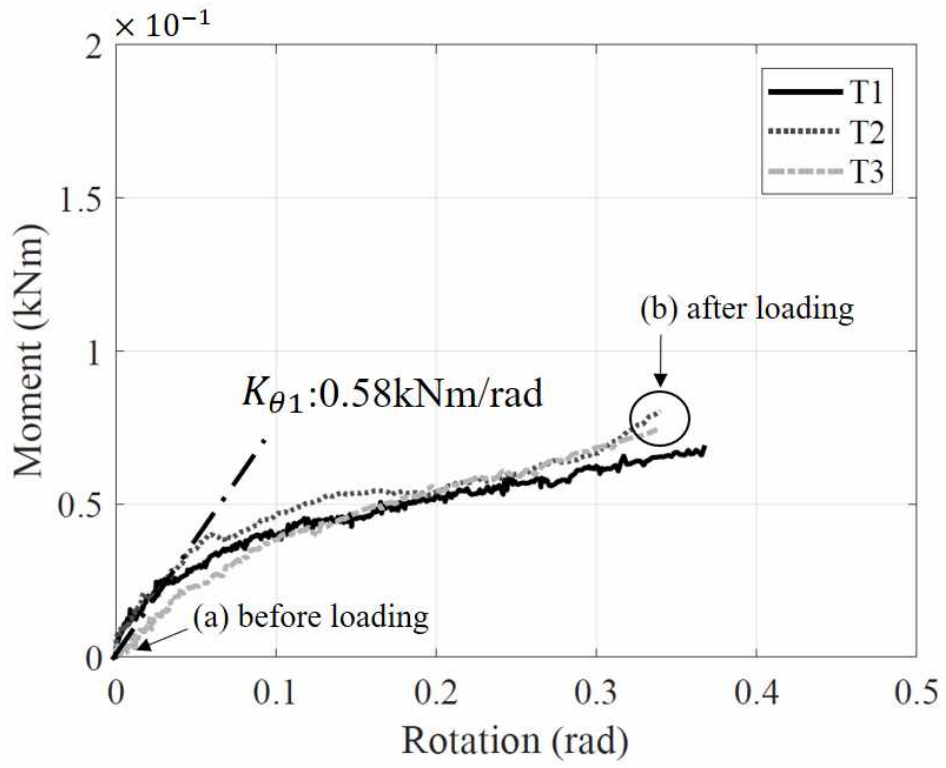
[2-4] 그림 55. 가력 하중별 수평파이프 변형률 검토(변형률계 E1, E2, E3)

#### ㊦ 파괴양상

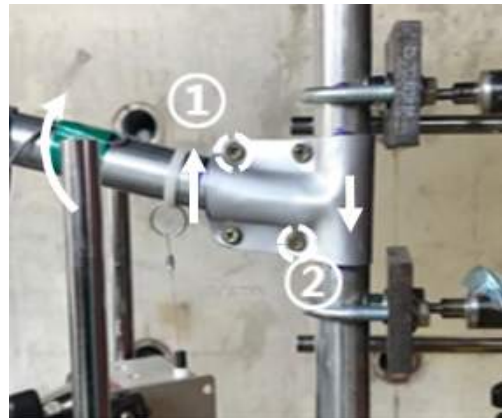
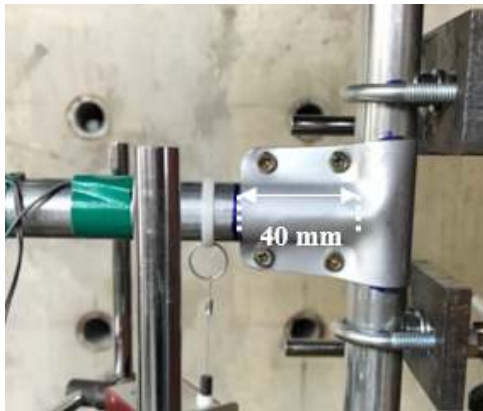
아래 그림에 따라 실험체별 휨모멘트-회전 관계와 가력 전후 사진을 표기하였으며, 제시된 각 연결재의 회전강성을 BSI규격에 따라 산출하였다. 1차 회전강성 이후 큰 변화가 발생된 강성을 2차 강성과 3차 강성으로 표기하고, 각 연결재 제작오차에 따른 차이를 반영하기 위해 평균값을 계산

하였다. 세 연결재 모두 수직·수평파이프와 슬립은 발생되지 않은 것을 육안으로 확인하였다.

T판은 1차 회전강성 이후 회전각이 0.1~0.2rad인 구간에서 회전강성이 감소하는 양상을 보였다. 이는 연결재 형상 및 결속조건인 것으로 분석되었다. 즉, T판의 판재 두께가 약 1mm로 파이프 체결 저항력이 다른 연결재에 비해 상대적으로 작으므로 낮은 휨저항성능이 나타난다. 또한 T판을 감싸는 양면의 박판에 M6 볼트 4개가 설치되나, 이는 이격되어 설치되어 있기 때문에 액츄에이터 초기 가력시 이에 따라 발생하는 굽힘 외력에 대한 볼트내 전단 저항을 기대할 수 없다. 그러므로 T판은 초기 외력으로부터 주로 판재의 굽힘성능에 따라 저항 하지만, 판재 소성변형으로 이어져 회전강성이 감소하였다.



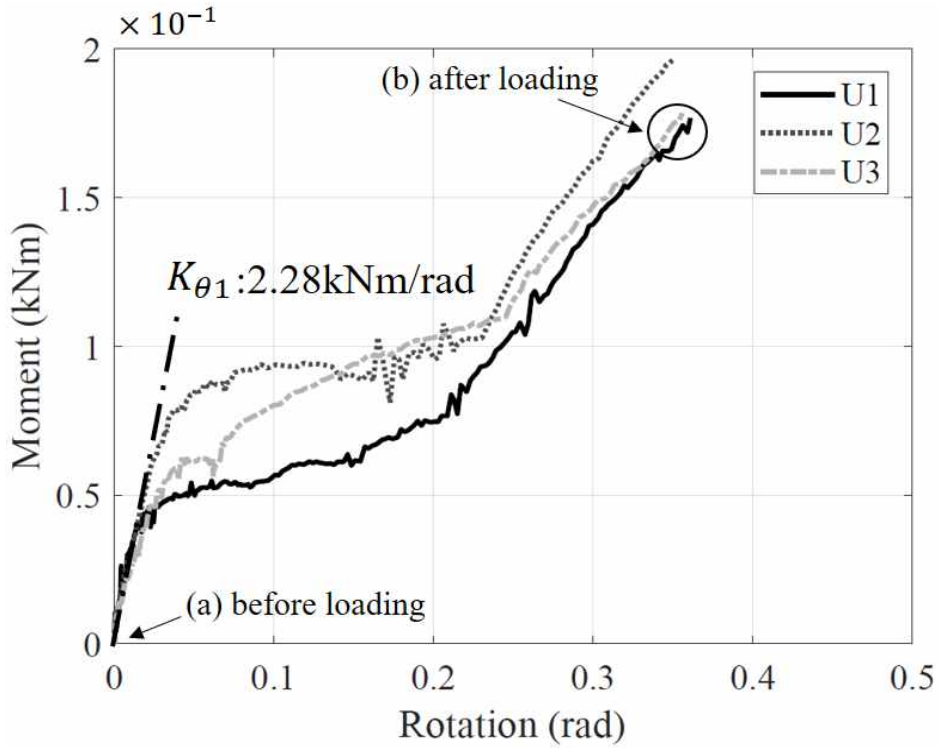
(a) T판



(a.1) 가력 전

(a.2) 가력 후

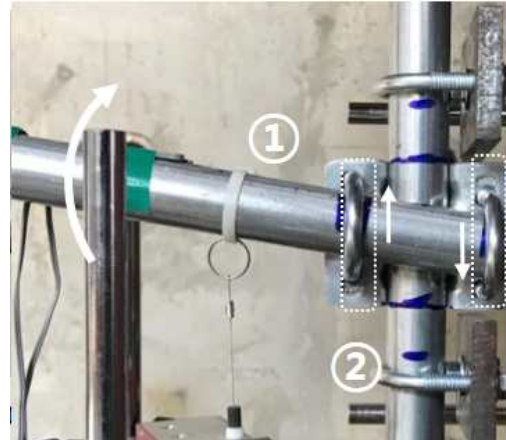
[2-4] 그림 56. 연결재 휨모멘트-회전각 관계 및 가력 전후 형상



(b) U클램프



(b.1) 가력 전

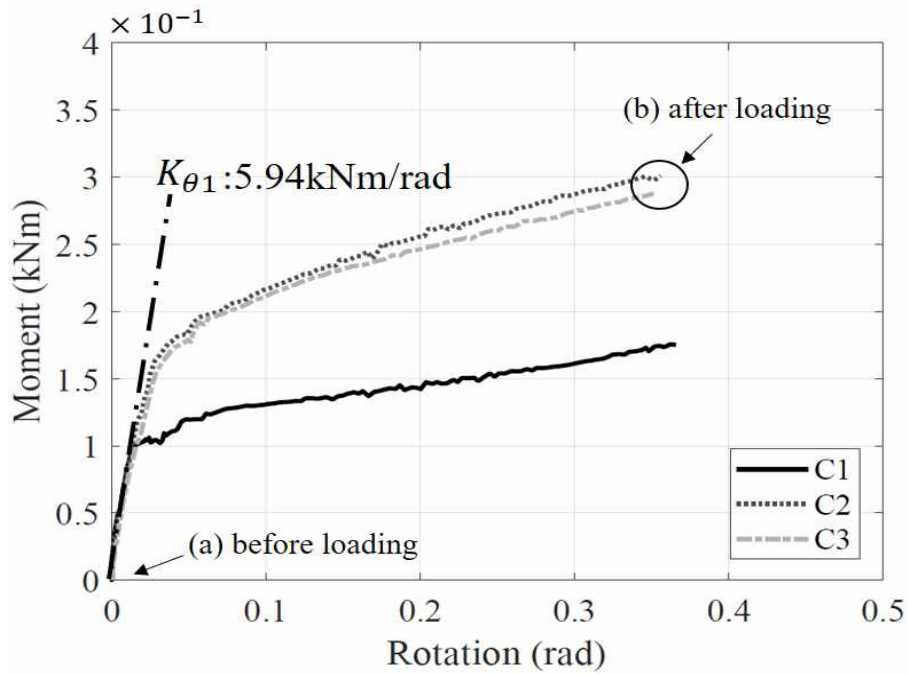


(b.2) 가력 후

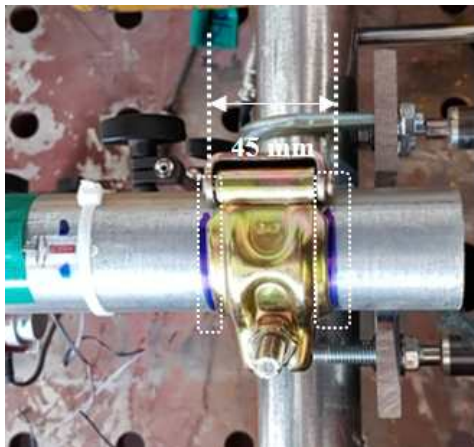
[2-4] 그림 57. 연결재 휨모멘트-회전각 관계 및 가력 전후 형상

U클램프는 3번의 강성변화가 나타났다. 초기 1차 회전강성이 평균 2.28kNm/rad으로 나타난 이후 회전강성이 크게 감소하였다. 이는 연결재 두께가 2mm인 박판과 M10 규격의 U볼트와 너트로 결속하는 방식으로 결속조건이 구성되어 있는 것과 관련있는 것으로 분석하였다. 해당 연결재는 U볼트를 넣는 체결 홀에 상하로 일정 공간이 존재하는데 이는 연결재마다 약 2mm로 조금씩 달랐으며, 이 공간은 파이프가 상하로 움직일 때 볼트-연결재 간 전단력이 발생하기 이전에 너트 체결력에 의한 마찰력을 발생시켜 양측 U볼트에서 슬립을 유도하였다. 마찰저항으로 슬립이 발생한 후, 가로강관이 변형하며 ①U볼트가 상단으로, ②U볼트가 하단으로 맞물리면서, 볼트-연결재간 전단저항이 발생되어 최대 가력구간까지 3차 회전강성이 나타났다.

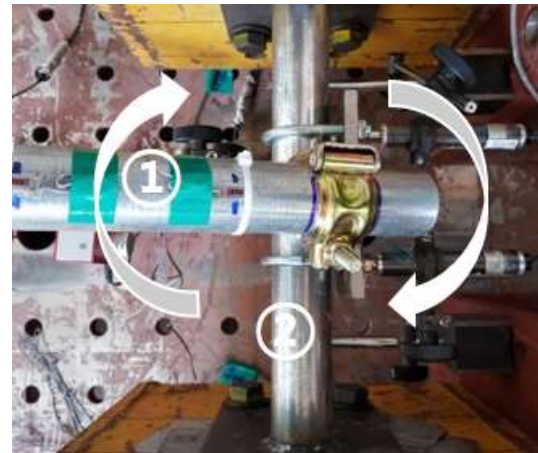




(c) 고정클램프



(c.1) 가력 전



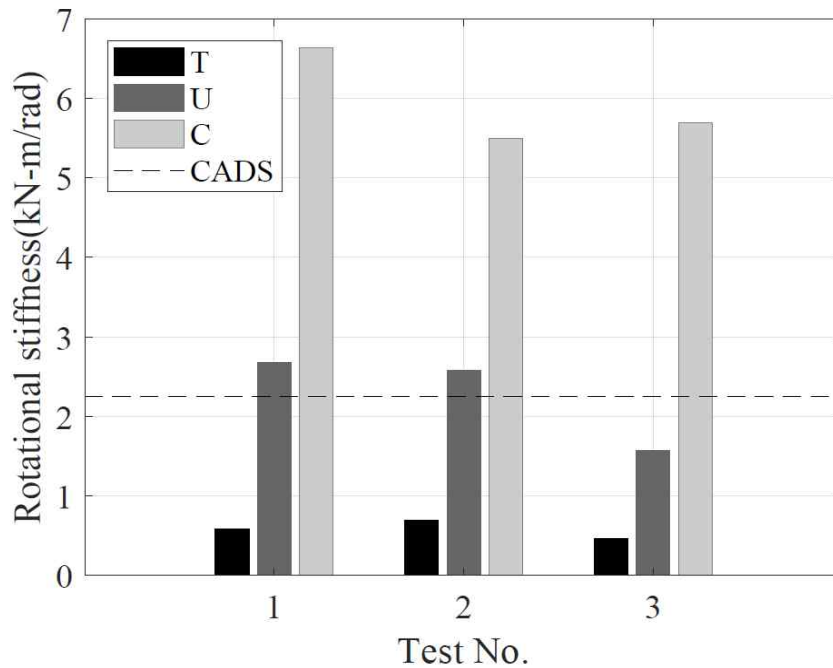
(c.2) 가력 후

[2-4] 그림 58. 연결재 휨모멘트-회전각 관계 및 가력 전후 형상

고정클램프는 약 5.96kNm/rad의 평균값이 1차 회전강성으로 나타났으며, 회전각 0.01~0.05rad 이후 회전강성이 감소하였다. 본 연결재는 두 파이프를 고정할 수 있도록 각각의 고정구로 감싸서 체결하는 구조이며, 서로 교차하는 강관을 M8·M10 볼트로 고정한다. 이러한 저항구조에 따라 3축 방향으로부터 저항가능 하다. 파이프 변형 형상이 T관 및 U클램프와 달리 부속 철물과 맞물림을 통해 볼트로 인한 전단력이 유도되는 등 다른 외력이 발생하지 않았다. 계측 장치의 가력 변위 한계로 100mm까지 가력이 실시되었으나 2차 회전강성 이후 추가적인 회전강성은 없는 것으로 판단된다.

㊤ 회전저항 성능

1차 회전강성 결과와 각 클램프의 기구학적 특성을 바탕으로, 온실 구조물 설계시 연결재에 대한 경계조건을 제시하였다. T판은 초기 회전강성이 다른 클램프에 비해 비교적 작은 회전저항성능을 보유하고 있다(U클램프/고정클램프 회전강성 10배 이상 차이). U·고정클램프는 강관을 1축 또는 2축으로 구속하고 있으며, 회전강성이 T판에 비해 약 4배에서 10배의 차이를 보였다.



[2-4] 그림 59. 접합재별 회전저항성능 비교

[2-4] 표 26. 연결재 회전 강성 요약

실험체	실험 번호	회전강성 (kNm/rad)		
		1차	2차	3차
T판	1	0.58	0.13	-
	2	0.70	0.12	-
	3	0.47	0.18	-
	평균	0.58	0.14	-
U클램프	1	2.68	0.19	0.67
	2	2.58	0.20	0.85
	3	1.57	0.24	0.68
	평균	2.28	0.21	0.73
고정클램프	1	6.64	0.14	-
	2	5.50	0.28	-
	3	5.69	0.38	-
	평균	5.94	0.29	-

위 표는 접합재별 회전강성을 나타낸 것이다. T판은 초기(1차) 회전강성 0.59kNm/rad이며,

다른 실험체 중 가장 낮은 성능으로 조사되었다. 같은 강관이 사용된 U클램프 대비 연결재인 박판/판재 두께가 얇고(T판 = 1mm, U클램프 = 2mm), 연결재가 강관에 삽입되는 길이(T판 = 40mm, U클램프 = 70mm)가 짧았다. 한편, 고정클램프는 CADS(2016)에서 제시한 최소 회전강성인 2.50kNm/rad을 상회하는 것으로 나타났다. 고정클램프는 사용가능한 강관 직경이 48mm부터 시작되어 T판/U클램프와 직접적인 비교는 불가능하다. 그러나, 고정클램프는 다른 접합재와 비교하면, 강관을 구속하는 조임력이 발휘되는 면적이 넓다(T판 = 1,016mm<sup>2</sup>, U클램프 = 1,778mm<sup>2</sup>, 고정 클램프 = 2,164mm<sup>2</sup>). 그리고 T판은 두 개의 강관이 교차되도록 직접 구속하지 않는 구조이고, U클램프는 1축 방향만 강관을 고정하는 구조인 반면, 고정클램프는 고정구 두 개가 교차하는 강관을 동시에 고정하므로, 3축 방향으로부터 저항한다.

#### (다) 소결

본 연구는 내재해형 연동 비닐하우스에 사용되는 14종의 접합재를 분석하고, 이 중 경계조건이 핀/힌지가 아닌 것으로 예상되는 3개의 접합부재에 대한 회전저항성능을 도출하기 위하여 정적가력 실험을 실시하고, 이를 바탕으로 연동 비닐하우스 구조 접합부의 경계조건을 도출하였다.

T판, U클램프, 고정클램프의 평균 1차 회전강성(kNm/rad)은 각각 0.59, 2.28, 5.95로 나타났다. 이 중 고정클램프만 국외 지침인 CADS(2016)의 최소 회전강성 규격( $\geq 2.50$ kNm/rad)에 상회하는 회전저항성능을 보유한 것으로 조사되었다.

U클램프는 T판보다 우수한 회전저항성능(1차 회전강성에서 약 390%)을 보유한 것으로 조사되었다. 그 이유는 접합부재를 구성하는 박판/판재 두께, 접합재-강관의 결속/체결 깊이와 관련 있는 것으로 분석하였다.

고정클램프는 강관 구속시 체결/접촉면적이 실험에 사용된 다른 접합재 보다 최대 200%정도 넓었으며, 교차하는 강관을 각 고정구로 구속하므로, 3축 방향에 저항할 수 있는 것으로 조사되었다.

결과적으로 상부 연동 비닐하우스를 대상으로 구조해석 모델링이나 구조설계시 각 접합부재에 경계조건 설정은 회전저항성능·기구학적 특성을 바탕으로 T판은 핀접합, U클램프·고정클램프는 반강접 경계조건이 타당한 것으로 조사되었다.

(2) 연동 비닐하우스 기초의 구조성능 실험

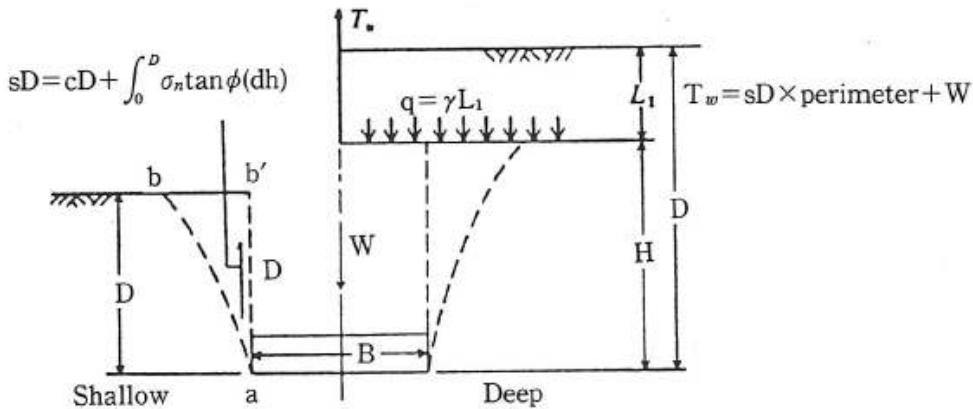
(가) 실험 계획을 위한 기존 연구 분석

① 기초 구조성능의 이론적 산정법

㉞ 얽은기초의 인발저항력 및 수평저항력<sup>17)</sup>

- 기초의 인발저항력

장스팬의 공장 구조물 등의 기초에는 풍하중에 의한 인발하중이 작용할 수 있다. 따라서 기초의 구조설계시 인발력을 고려해야 한다. 기초의 인발저항력은 기초의 둘레 및 깊이, 주변 토사의 물리·역학적 성질에 따라 다르며, Balla(1961)는 기초 인발에 따른 토사의 파괴면(그림에서 점선 ab)을 원형으로 가정하여 그림과 같이 수학적으로 표현하였다.



[2-4] 그림 60. 기초에서의 인발저항

또한 Meyerhof and Adams(1968)는 원형과 사각형의 얽은 기초를 가정하여 원형기초에 대하여 모델과 실제크기의 시험을 시행하여 이론값과 비교하여 안전율 2.0~2.5 범위의 아래와 같은 식을 얻었다. 이 방정식은 인발구역(그림에서 점선 ab)을 무시하고 전단저항을 ab만으로 약산하며, 형상요소가 제한깊이비 D/B 또는 H/B와 같이 사용되어 설계시 적합하게 아래와 같이 간략화 하였다.

· 원형의 얽은 기초:  $T_u = \pi CBH + S_f \pi B_r (2D - H) \frac{H}{2} K_u \tan \phi + W$

· 직사각형의 얽은 기초:  $T_u = 2CH(B + L) + \gamma(2D - H)(2S_f B + L - B)HK_u \tan \phi + W$

이 때,  $S_f = 1 + mH/B$  이며, 정사각형 기초는  $L=B$ 를 사용하며  $S_f$ 와  $m$ 은 다음 표에서  $\phi$ 값을 기본으로 한다.

17) 얽은기초, 한국지반공학회, 1997

[2-4] 표 27. 내부마찰각에 의한 거리제한비

	$\phi$	20°	25	30°	35°	40°	45°	50°
Limiting	H/B	2.5	3	4	5	7	9	11
	m	0.05	0.05	0.15	0.25	0.35	0.50	0.60
Maximum	Sf	1.12	1.30	1.60	2.25	4.45	5.50	7.60

횡토압계수는 다음중 하나를 선택할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \cdot K_u = \tan^2(45 + \phi/2) = K_p \quad \cdot K_u = \tan(45 + \phi/2) = K_p \quad \cdot K_u = \tan^2(45 - \phi/2) = K_a \\ & \cdot K_u = 0.65 + 0.5\phi \quad \cdot K_u = K_0 = 1 - \sin\phi \end{aligned}$$

- 기초의 수평저항력

기초에 작용하는 횡하중은 기초저면과 지반저면, 지반간의 마찰력 및 점착력과 기초측면의 수동 토압에 의해 저항된다. 기초 저면에서의 수평저항력은 기초저면과 지반사이 접촉면의 넓이인 유효 재하면적( $A'$ ), 점착력( $C_b$ ) 및 마찰계수( $\mu$ ), 연직하중( $N$ )에 대한 함수로 다음 식과 같이 나타내었다.

$$H_u = C_b A' + N\mu$$

기초저면과 지반간의 점착력 및 마찰계수는 다양한 접촉면에 대하여 표 28과 같이 주어진다. 결과적으로, 지반 및 접촉면의 조건이 같은 경우 제시한 식에 따른 수평저항력은 유효재하면적과 연직하중에 의해 영향을 받는다.

[2-4] 표 28. 접촉면에 따른 마찰계수

접촉면의 종류	마찰계수	점착력
흙과 콘크리트	0.35~0.55	0
암반과 콘크리트	0.6	0
흙과 흙	0.4	0

또한 기초 측면의 수동토압은 다음 식으로 구할 수 있으며,  $P_p$  는 수동토압,  $K_p$  는 수동토압계수이다.

$$P_p = \frac{1}{2} K_p W h^2$$

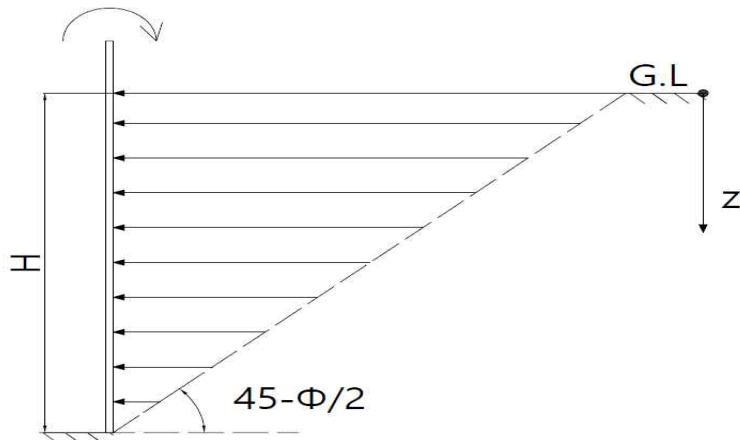
㉔ 수동토압이론에 따른 수평저항력<sup>18)</sup>

- 기초의 인발저항력

Rankine의 수동토압 이론에 따르면 지중에 매설되어 수평하중에 저항하는 기초는 하중과 반대 방향의 토압 즉, 수동토압에 의하여 수평저항력을 발휘한다(Lee, 2008). 수평하중의 증가에 따라 수동토압이 증가하여 흙 입자가 소성상태에 이르면 Fig. 와 같이 기초 주변 지반은 썩기 형태로 파괴되며 이 때, 토압의 합력은 다음 식과 같다.

$$P_p = 0.5 K_p \gamma H^2 + 2 c \sqrt{K_p} H$$

여기서,  $K_p$ 는 수동토압,  $\gamma$ 은 흙의 밀도,  $c$ 는 흙의 점착력,  $H$ 는 기초의 매설 깊이를 나타낸다. 또한  $K_p$ 는 흙의 내부마찰각  $\phi$ 에 대한 함수이며, 지중의 토압은 일반적으로 지표면으로부터 깊이가 깊어질수록 커진다. 따라서 수동토압에 의한 수평저항력은 지반조건이 같을 경우 기초 깊이 및 형상에 따른 주변 토양의 파괴양상에 따라 다르게 나타난다.



[2-4] 그림 61. 깊이에 따른 수동토압 및 지반파괴형태

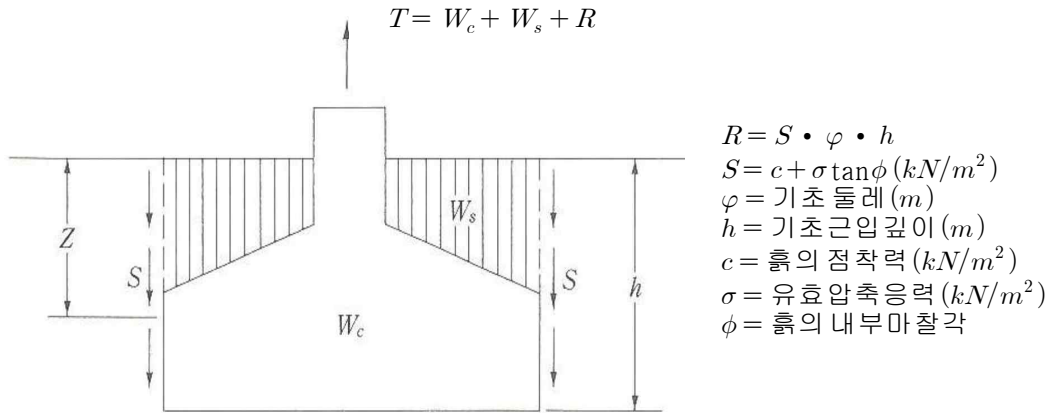
㉕ 지반 종류에 따른 기초인발저항력<sup>19)</sup>

- 점성토지반에서의 기초인발저항력

온실기초의 인발저항력( $T$ )은 기초의 자중( $W_c$ ), 기초 상부 흙의 자중( $W_s$ ), 기초와 접하는 흙의 전단저항력( $R$ )의 합으로 계산하며, 점성토 지반인 경우에는 다음 그림과 같다.

18) 토질역학, 이상덕, 새문, 2008

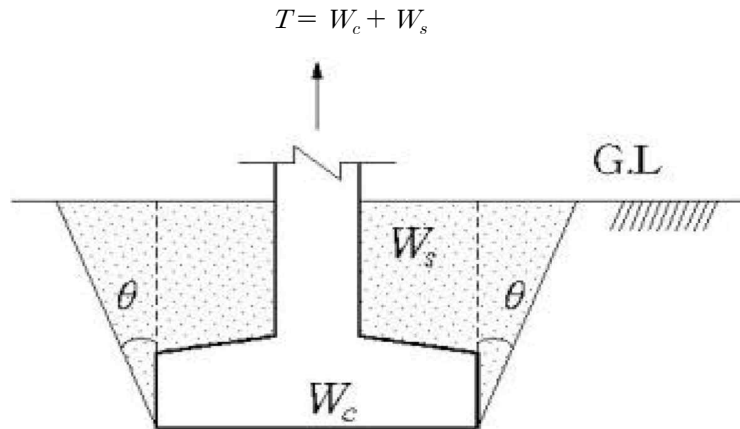
19) 온실용 얇은기초의 인발저항력 검토, 윤성욱 외 6인, 시설원예식물공장, 2015



[2-4] 그림 62. 점성토 지반에서의 기초인발저항력

- 사질토 지반에서의 기초인발저항력

사질토 지반의 경우, 그림에서  $\theta = 15^\circ$ 인 사다리꼴을 가정하여 해당 범위의 흙 중량을 고려하며, 인발저항력을 다음 그림과 같이 산정한다.



[2-4] 그림 63. 사질토 지반에서의 기초인발저항력

① 유사 연구의 분석<sup>20)</sup>

㉔ 온실 고정하중 및 기상하중 조합에 따른 기초 작용하중 해석

내재해형 규격 자동화 비닐하우스 3종을 대상으로 상시하중(고정하중 및 작물하중) 및 풍하중에 대한 정적 해석을 수행하였다. 실제 데이터에 근거한 간척지역의 설계 풍속 및 적설심을 고려하여 상시하중과 적설하중 및 풍하중을 산정하였으며, 원예시설의 구조안전기준 작성(농어촌공사, 1995), 원예특작시설 내재해형 기준(농림축산식품부, 2007), 온실구조 설계기준 및 해설(농림축산식품부, 1999)에 따라 풍력계수를 산정하였다. 구조해석프로그램으로는 SAP 2000을 사용하였다. 인발하중 해석 결과, 08-자동형-1형의 인발하중이 현저히 큰 값을 보인다. 기초의 형태와 관계없이 지점을 fix 조건으로 가정하여 해석했을 경우, 08-자동형-1형의 인발하중이 큰 값을 보이는 것은 상부구조물의 스패의 차이 및 풍력을 받는 면적의 차이 때문인 것으로 보인다.

20) 간척지 적용 온실기초 설계 및 지반특성 연구, 국립농업과학원, 2015

[2-4] 표 29. 지역별 인발하중의 해석결과

지역명	인발하중(kgf)		
	07-자동화-1형	08-자동화-1형	10-자동화-1형
시화지구(안산)	208	1052	189
화옹지구(화성)	168	957	141
석문지구(당진)	293	1258	293
이원지구(태안)	456	1653	494
군내지구(진도)	846	2595	969
남포지구(보령)	366	1433	381
새만금(군산)	585	1968	651
영산강지구(해남)	396	1510	419
삼산지구(장흥)	255	1166	246
고흥지구(고흥)	316	1316	322

또한 기초 자중 및 토피 하중의 합을 인발하중 해석값과 비교한 결과, 검토 대상 3가지 온실 유형 모두 자중에 의한 인발저항력이 외력에 따른 최대인발하중을 상회하는 것으로 나타났다.

[2-4] 표 30. 인발에 대한 안정성 검토

온실 TYPE	최대인발하중(kN)	자중에 의한 저항하중(kN)
07-자동화-1형	8.3	25.7
08-자동화-1형	25.4	25.7
10-자동화-1형	9.5	239.6

㉔ 비닐하우스 기초의 기존 실험연구 분석

다양한 형태의 온실 기초를 대상으로 토양 조건에 따른 인발저항력 및 지지력 실험을 수행한 기존 연구사례를 분석하였으며, 그 분석 내용은 표 31에 나타내었다.



[2-4] 표 31. 기존실험연구의 분석

기초타입	평가값	변수 및 조건	연구내용 분석
콘크리트 독립기초	인발 저항력	· 변수: 비닐하우스 타입 · 조건: 사질토, 현장다짐도 80~85% 유지, 대상지역 토양의 기본 물성치 적용	· 인발하중에 의한 변위거동 연구 · 연구 대상 토양의 종류가 제한적임.(사질토)
스파이럴기초		· 변수: 다짐률(65-85%), 매입깊이(30-50cm), 토양종류(간척지/일반), 스파이럴 규격 · 조건: 모형토조실험, 최적함수비 조건 유지, 대상지역 토양의 기본 물성치 적용, 재하속도 1mm/min, 인발저항 최대치를 지나 softening 경향을 나타내거나 일정 값으로 수렴될 때 측정 종료	· 다짐률과 무관하게 일반토양의 극한인발저항력이 간척지 토양(실트질 함량이 상대적으로 높음)의 약 1.2~1.3배임.
파이프 매립기초 (단동)		· 변수: 다짐률, 매립깊이, 토양 종류(간척지/일반) · 조건: 모형토조실험	· 인발저항력 값이 극히 낮음. 비효율적인 기초방식인 것으로 보임.
파이프 줄기초(단동)		· 변수: 조리개 형태 · 조건: 대상지역 토양 기본 물성치 적용	· U클램프가 인발저항력 (336.8kgf) 확보에 효과적임.
콘크리트 독립기초	지지력	· 변수: 기초크기(30X30, 50X50cm), 근입깊이(30, 50cm), 지반종류	-

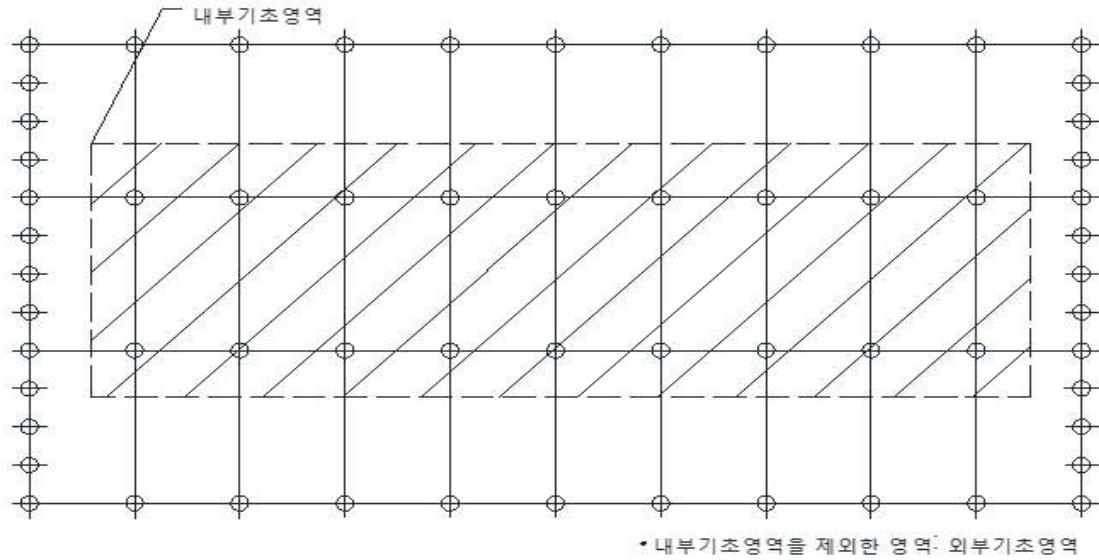
(나) 실험 상세 계획

① 실험 목적 및 범위

내재해형 규격 연동 비닐하우스는 기둥열의 간격 차이와 같이 구조적 상이점이 있는 총 5종 구조가 제시되었다. 규격 온실에서 각 기둥을 지지하는 규격 기초는 예상 하중의 크기에 따라 형상이 다르며 모두 동일한 재료 및 거푸집을 사용한다. 이와 같이 기초-흙 접촉면의 성질과 기초 주변 흙의 역학적 성질이 동일한 경우 앞서 기술한 고전 토압이론 및 관련식을 통하여 알 수 있듯이 기초의 저항력은 깊이 및 유효재하면적 즉, 형상에 따라 변한다. 또한 기존연구의 분석에 따라 온실기초의 저항성능에 영향을 미치는 변수를 표 32와 같이 도출하였다. 따라서 본 연구는 이론식 및 유사 실험연구 분석을 바탕으로 규격기초를 형상에 따라 분류하여 3개의 대표 유형을 선정하였으며, 실제 시공조건을 모사하여 제작한 대상 기초에 인발 및 수평 하중 가력 실험을 수행하고 그 변위를 측정·분석하여 기초 유형에 따른 구조저항성능을 평가함으로써 내재해형 규격 연동 비닐하우스 기초의 안전성 확보 연구의 기초자료를 제시하고자 한다.

[2-4] 표 32. 영향변수 및 연구계획

영향변수		연구계획
상부구조	연동/단동	·연동은실구조물을 대상으로 수행함.
매립깊이	-	·규격 기초의 매립깊이로 특정함.
토양타입	사질토, 점성토 등	·토양은 입도, 밀도(다짐도) 및 함수비 조건에 따라 다양한 역학적 특성을 가짐. ·대표토양타입을 선정하여 물리 및 역학적 검증시험(실내토질시험)을 수행 ·대표토양타입에 대한 규격 기초의 저항성능 실험 및 해석을 수행함. ·실내토질시험을 바탕으로 실험토의 강도정수를 결정, 기초의 저항력을 해석적으로 평가함.
기초위치	내부기초/ 외부기초	·기초평면에서 온실의 외부에 위치한 기초는 내부에 위치한 기초와 비교하여 환경 변화의 영향을 많이 받음. ·기초 위치에 따른 작용하중, 토양조건 및 거동 특성을 분석 -> 기초 설계시 반영 -연동 full scale 실험(3차년도)의 변수로 고려 가능함.
기초타입	직접기초-원형, 사각형	·규격기초의 형상으로 특정함.
	말뚝기초-나무, PC 등	
하중타입	수직하중(고정/적설)	-
	인발하중(바람)	·풍하중에 의한 인발력에 대하여 기초의 인발강성을 평가함.
	수평하중	·풍하중에 의한 수평가력에 대하여 기초의 회전강성을 평가함.
	수평반복하중	-
하중재하속도	-	-

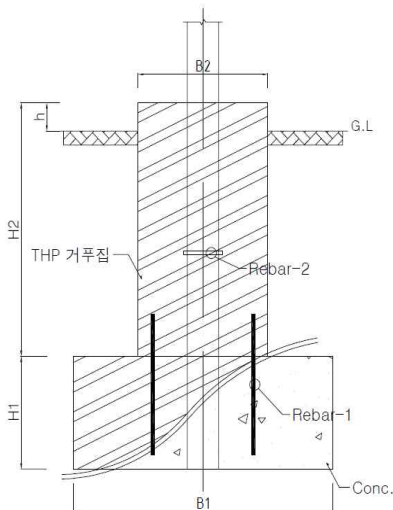


[2-4] 그림 64. 기초위치의 구분(내부기초영역 및 외부기초영역)

② 실험 재료 및 실험체

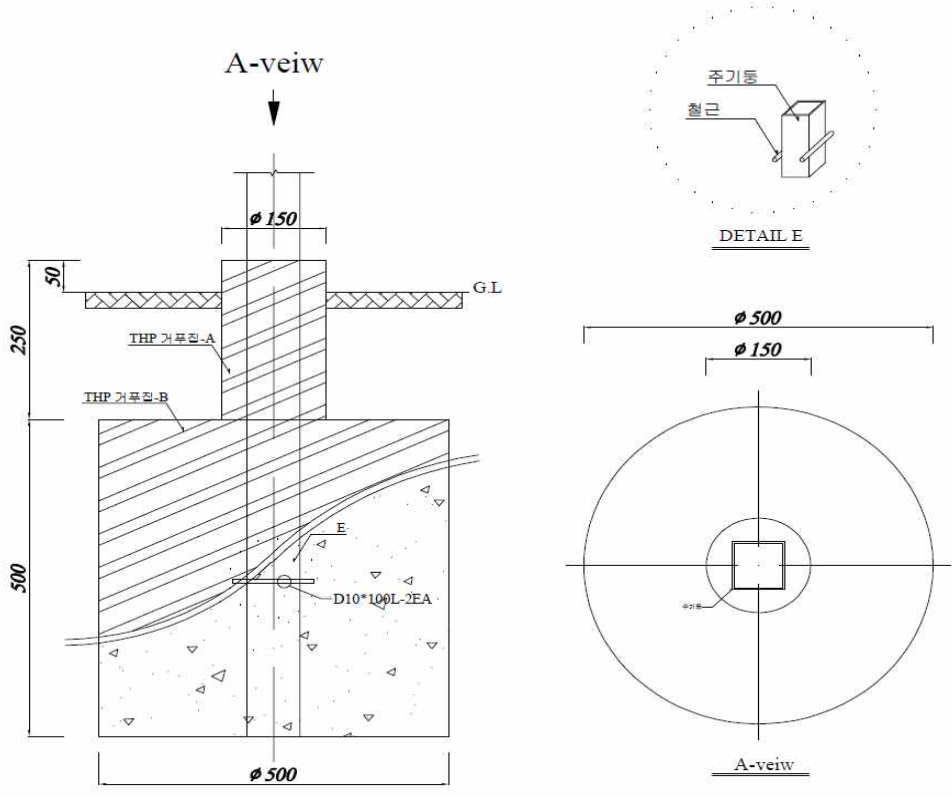
㉠ 기초 실험체

3개 타입의 기초 실험체는 크기가 한정된 모형토조 내에서 기초의 가력실험을 수행하기 위하여 실제 규격에서 제시된 크기의 1/2로 축소하여 제작하였다. 기초 실험체의 재료는 내재해형 규격에 따라 강도 24 MPa의 콘크리트와 SS400(KS규격,  $F_y=235\text{MPa}$ )의 각형강관을 사용하였다. 또한 비탈형의 영구 거푸집(THP, T-type high-density pipe)을 사용하였다. 3개 대표유형의 기초 실험체 정보는 표 33과 같고, 상세 형상은 그림 65에 나타내었다.

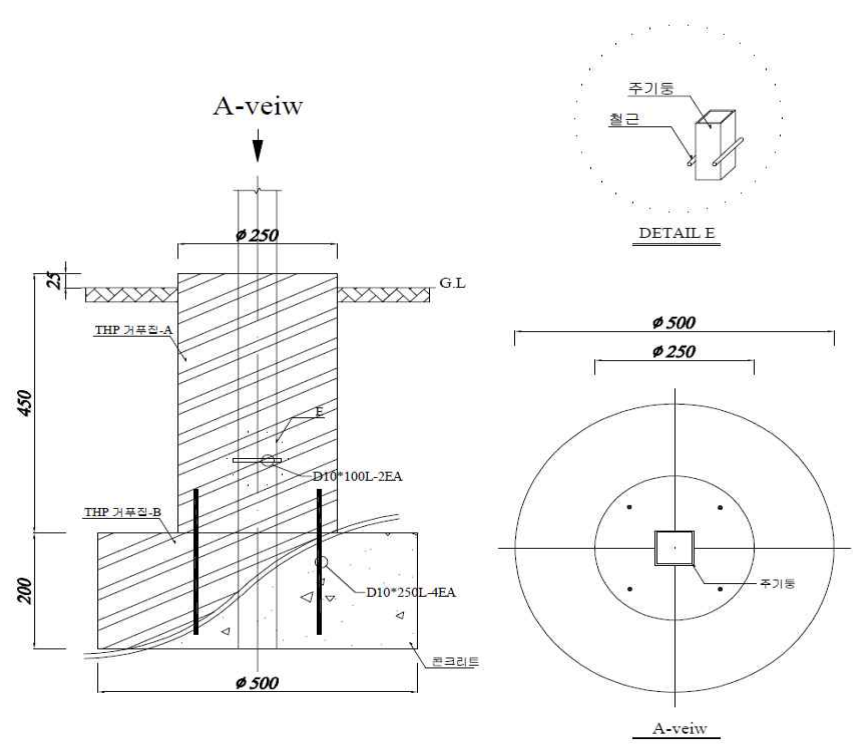


[2-4] 표 33. 타입별 기초실험체 상세 규격

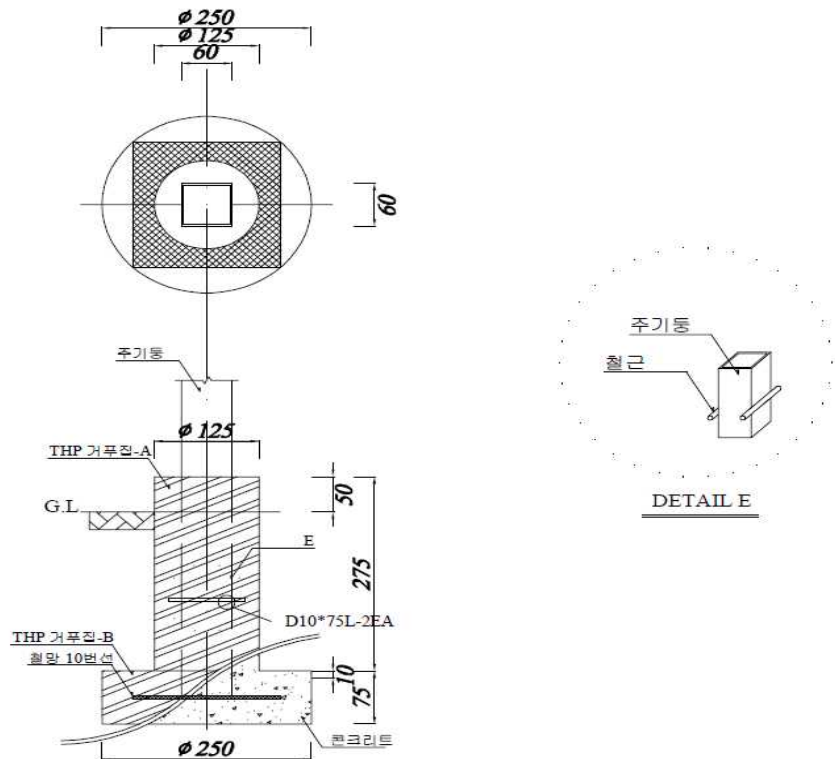
실험체	10-연동-1	12-연동-1	08연동-1
	A-Type	B-Type	C-Type
H1/H2/h(mm)	500/250/50	200/450/25	75/275/50
B1/B2(mm)	ø500/ø150	ø500/ø250	ø250/ø125
Rebar-1	-	D10*250L-4EA	-
Rebar-2	D10*100L-2EA	D10*100L-2EA	D10*75L-2EA
Pipe	□ -75×75×3.2t L=900mm	□ -75×75×3.2t L=900mm	□ -50×50×3.2t L=500mm



(a) A-Type 기초실험체



(b) B-Type 기초실험체



(c) C-Type 기초실험체

[2-4] 그림 65. 타입별 기초실험체의 형상

#### ㉞ 실험토의 특성

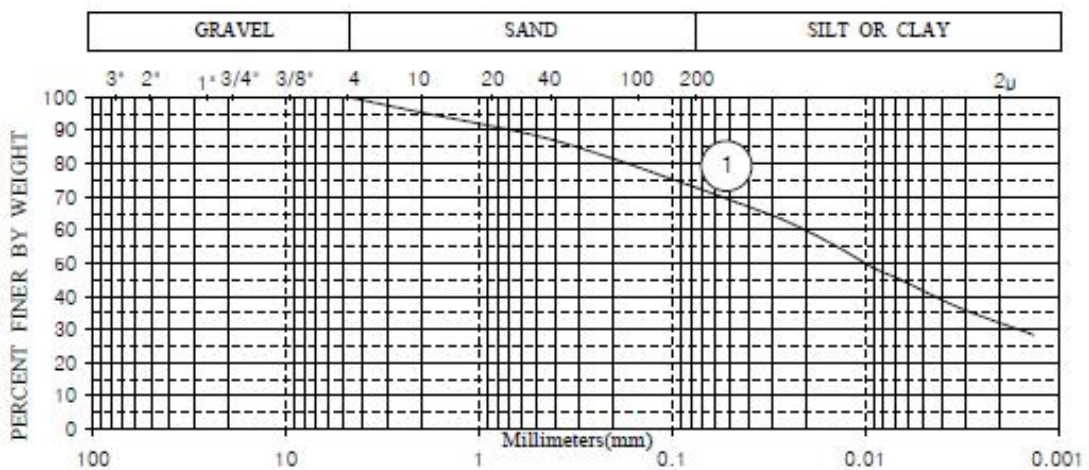
Kang(1998)<sup>21)</sup>과 Cho(1999)<sup>22)</sup>에 의하면 온실단지 주변 지반의 현장다짐은 83%~85% 범위 내에 있는 것으로 볼 수 있으며, 이러한 실제 시공조건이 본 연구의 실험시 적절하게 모사되었는지 확인하기 위하여 매 실험마다 토조 내 실험토의 다짐도를 측정하였다. 따라서 실내토질시험을 선수행하여 다짐도 산정을 위한 토양의 기본 물성치를 확인하였다. 실험토는 임야지역 자연토사를 사용하였으며 시험 결과는 Table 에 나타내었다. 실험토는 모래를 포함한 실트질 점토(Lean Clay with Sand)이며 통일분류법(USCS, Unified soil classification system)에 의한 분류로는 저압축성 무기질 CL, AASHTO 분류법에 의한 분류로는 A-7-6의 점토질 흙으로 나타났다.

21) A study on the uplift capacity of plane and corrugated pile foundations for pipe frame greenhouse, Cho, J. H., 1999

22) A experimental study on uplift capacity of cylindrical concrete foundation for pipe frame greenhouse, Kang, M. H., 1998

[2-4] 표 34.. 실내토질시험 수행항목 및 규격

시험종목	관련규격	비고
함수비시험	KS F 2306	시험환경 - 온도: 13~22 °C - 상대습도: 35~70% R.H.
입도시험(체가름시험)	KS F 2302	
다짐시험	KS F 2312	
밀도시험	KS F 2308	
액성한계시험	KS F 2303	
소성한계시험	KS F 2304	
직접전단시험	KS F 2343	



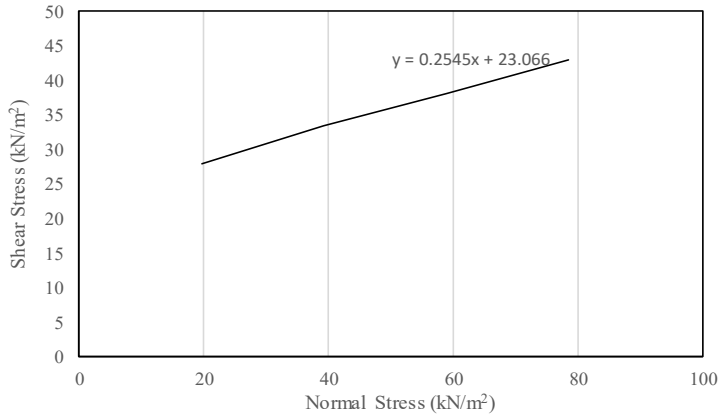
체 번호 (No.)	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	2 $\mu$
체 크기 (mm)	4.75	2.0	0.425	0.075	0.002
통과율 (%)	100	95.4	87.2	72.6	32.0

[2-4] 그림 66. 입도(체가름) 시험 결과

[2-4] 표 35.. 기본 물성시험 결과

Depth	토질분류	MC (%)	LL (%)	PI	ps (g/cm <sup>3</sup> )	USCS	rd (kN/m <sup>3</sup> )	OMC (%)
0.0~0.5	Lean Clay with Sand	25.1	48.7	27.5	2.714	CL	13.43	30.8

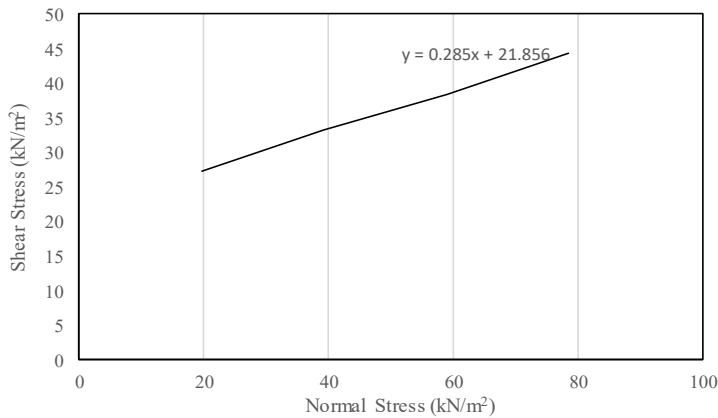
한 편, 제작된 기초 실험체는 실험토로 채워진 모형토조 내에 매립되며, 실험토의 물리·역학적 성질은 기초 저항성능에 영향을 미친다. 따라서 직접전단시험을 수행하여 기초실험체의 저항성능을 이론적으로 평가하기 위한 역학적 성질을 확인하였다.



- C: 23.0kN/m<sup>2</sup> / ϕ: 14.4°

Test NO.	1	2	3	4
시료 중량 (g)	78.60	78.60	78.60	78.60
습윤밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	13.62	13.62	13.62	13.62
함수량 (%)	35.3	35.3	35.3	35.3
건조밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	10.07	10.07	10.07	10.07
공극비	1.642	1.642	1.642	1.642
포화도 (%)	58.4	58.4	58.4	58.4
변형속도 (mm/min)	1.0	1.0	1.0	1.0
수직응력 (kN/m <sup>2</sup> )	19.64	39.28	58.92	78.57
최대전단응력	27.91	33.32	38.02	43.01

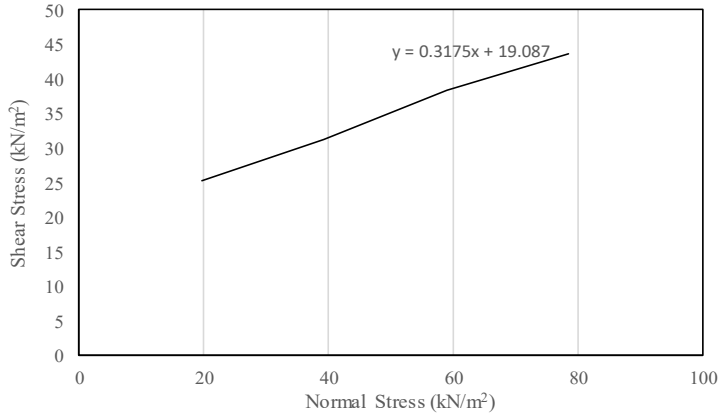
(a) 직접전단시험결과 - 최대건조밀도의 75%



- C: 22.0kN/m<sup>2</sup> / ϕ: 16.0°

Test NO.	1	2	3	4
시료 중량 (g)	83.85	83.85	83.85	83.85
습윤밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	14.53	14.53	14.53	14.53
함수량 (%)	35.3	35.3	35.3	35.3
건조밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	10.74	10.74	10.74	10.74
공극비	1.476	1.476	1.476	1.476
포화도 (%)	64.9	64.9	64.9	64.9
변형속도 (mm/min)	1.0	1.0	1.0	1.0
수직응력 (kN/m <sup>2</sup> )	19.64	39.28	58.92	78.57
최대전단응력	27.34	33.32	38.45	44.29

(b) 직접전단시험결과 - 최대건조밀도의 80%



- C: 19.5kN/m<sup>2</sup> / φ: 17.3°

Test NO.	1	2	3	4
시료 중량 (g)	94.40	94.40	94.40	94.40
습윤밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	16.36	16.36	16.36	16.36
함수량 (%)	35.3	35.3	35.3	35.3
건조밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	12.09	12.09	12.09	12.09
공극비	1.200	1.200	1.200	1.200
포화도 (%)	80	80	80	80
변형속도 (mm/min)	1.0	1.0	1.0	1.0
수직응력 (kN/m <sup>2</sup> )	19.64	39.28	58.92	78.57
최대전단응력	25.35	31.19	38.45	43.72

(c) 직접전단시험결과 - 최대건조밀도의 90%

[2-4] 그림 67. 건조밀도에 따른 직접전단시험결과

#### ㉔ 모형 토조

실험에 사용된 모형 토조는 크기가 가로×세로×높이가 1800×2900×1500(단위: mm)인 철골 구조물이며 그림 68과 같이 외곽 프레임은 C 및 L형강, 상부 1면을 제외한 5면은 격자형 철판 및 아크릴판으로 구성되어있다. 기초 실험체 타입 중 가장 큰 크기의 A-Type 기초 형상을 대상으로 앞서 분석한 기존 이론에 따라 수평 및 인발하중에 대한 토양의 영향범위를 검토한 결과, 모형 토조의 크기는 실험에 적합하며 실험 결과에 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다.





[2-4] 그림 68. 모형 토조의 형상

③ 가력 및 측정계획

㉔ 실험 공통사항

- 가력 및 측정장비

기초 실험체에 인발하중을 가력하기 위하여 최대 하중용량이 250 kN인 유압기계(Actuator)를 사용하였다. 또한 실험 결과의 측정을 위하여 구조물의 거동 측정을 일반적으로 사용 되는 정적 전 기저항식 데이터로거(TML사 TDS, 주신산업 JSM-350)를 사용하였다.



(a) 실험에 사용된 Actuator



(b) 인발실험 계측장비: TDS-302

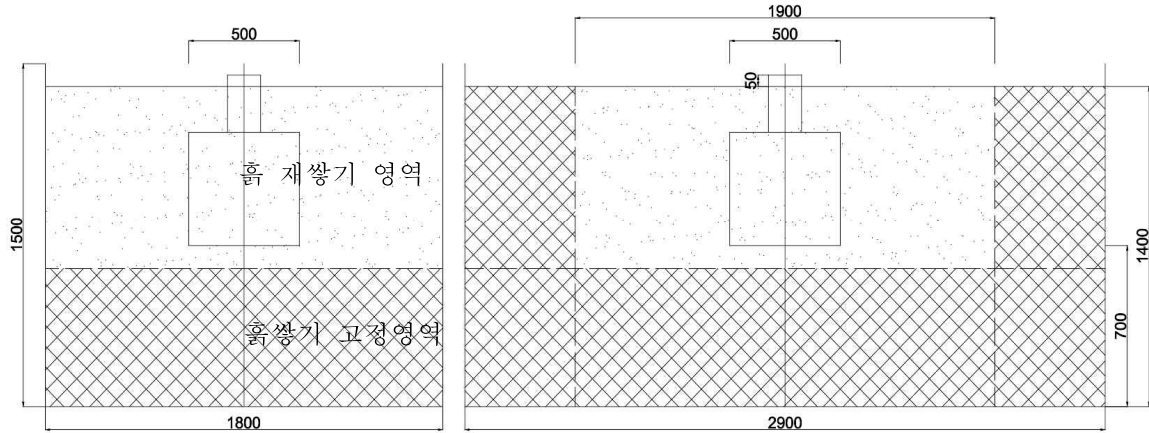


(c) 수평실험 계측장비: JSM-350

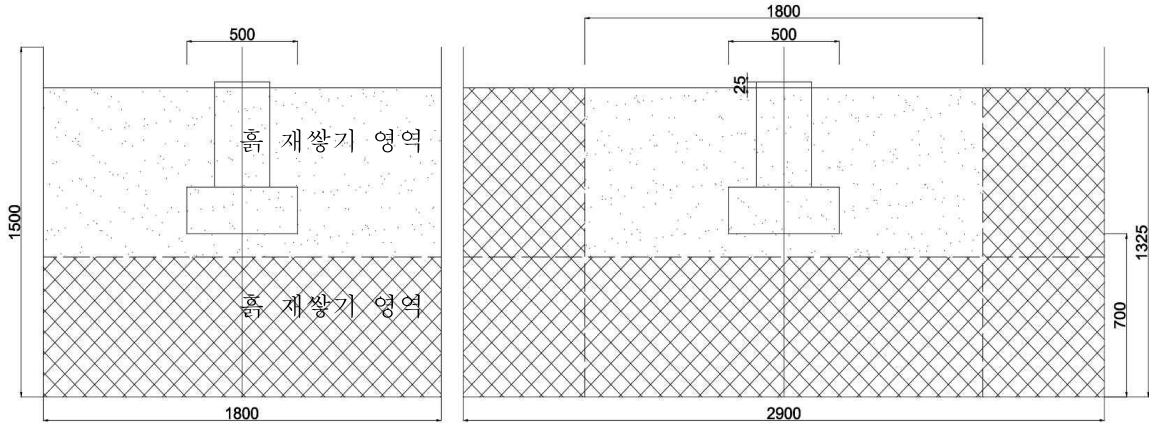
[2-4] 그림 69. 가력 및 계측장비

- 기초 매설 및 다짐계획

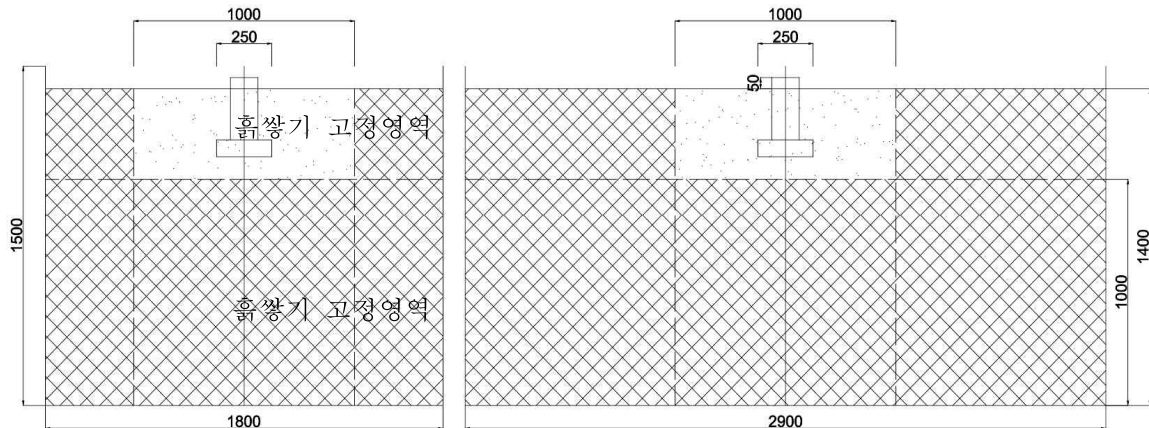
한개 타입의 기초 가력 실험이 완료된 후 실험토 내에 매설된 기초실험체를 제거하고 영향 범위 내에 위치한 실험토를 걷어낸 후 다음 차례로 실험을 수행할 기초실험체와 함께 실험토를 다짐계획에 따라 토조 내에 채우는 과정을 반복하여 실험을 수행하였다. 그림 70에서 나타난 바와 같이 흙쌓기 고정영역의 실험토는 실험 반복에 따른 제거가 필요 없으며, 흙 재쌓기 영역 즉, 하중영향범위의 실험토에 한하여 제거 및 재쌓기를 수행하였다. 흙의 다짐은 실제 시공조건을 고려하여 기초 최하단부 접지면 이하는 기계다짐을 5분 이상 실시하고, 접지면 상부는 높이 100mm 간격으로 5분 이상 발다짐을 실시하였다.



(a) A-Type 기초실험체의 매설계획



(b) B-Type 기초실험체의 매설계획



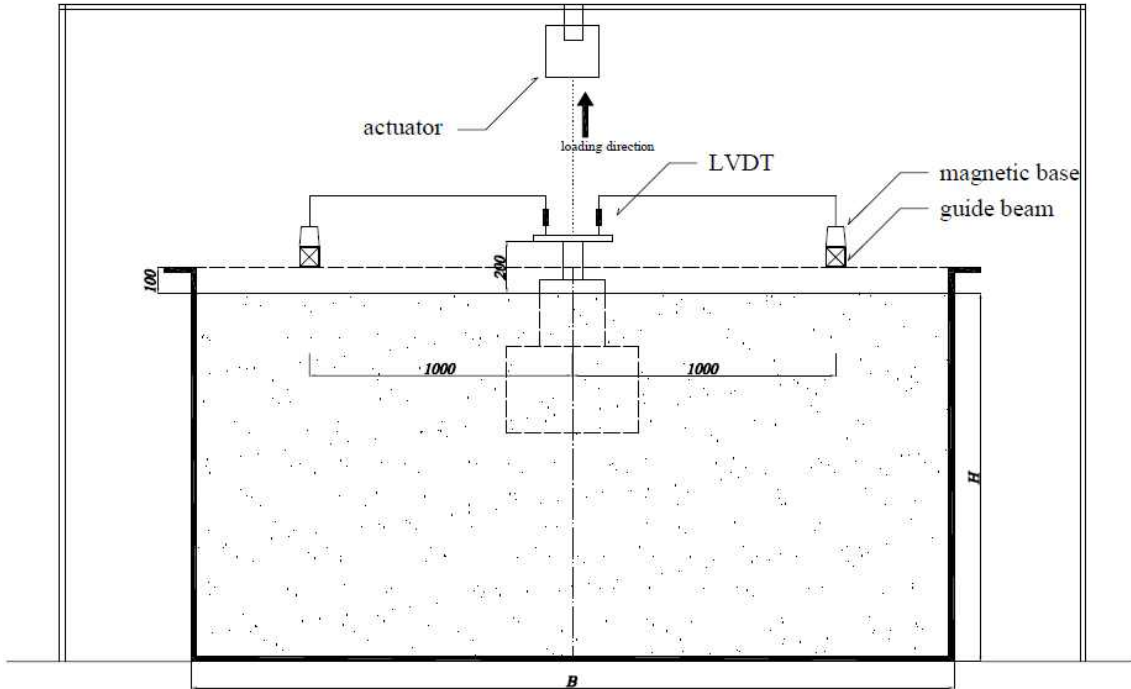
(c) C-Type 기초실험체의 매설계획

[2-4] 그림 70. 타입별 기초실험체의 매설계획

㉞ 기초 인발저항성능 실험의 가력 및 측정계획

기초실험체와 가력장치의 연결을 위해 기초실험체 파이프 상부 끝단면에 강판을 용접하고, 해당 강판을 가력장치(Actuator)에 직접 연결(볼트체결)하여 가력속도에 대한 영향이 없도록 최대한 저속(1mm/1min)으로 가력하였다. 하중 변화에 따른 수직 변위를 측정하기 위하여 LVDT를 이

용하였으며, 토조 상부에 가이드빔을 설치하여 LVDT를 고정하였다. 또한 가력 시험시 재료간(지반-콘크리트) 미끄러짐 및 주각부 강재 항복의 영향을 결과 분석에 고려하기 위하여 기초 콘크리트와 인접한 파이프 주각부에 변형률 센서(strain gauge)를 부착하여 변형률을 측정하였다.

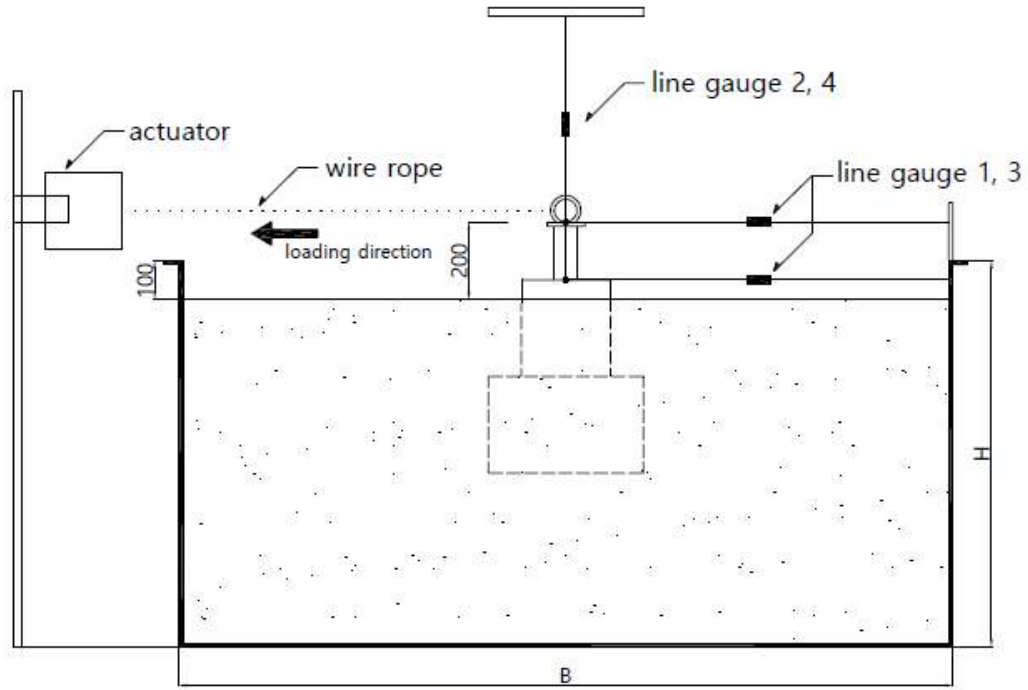


[2-4] 그림 71. 인발가력장치 및 측정장치의 세팅 개념도

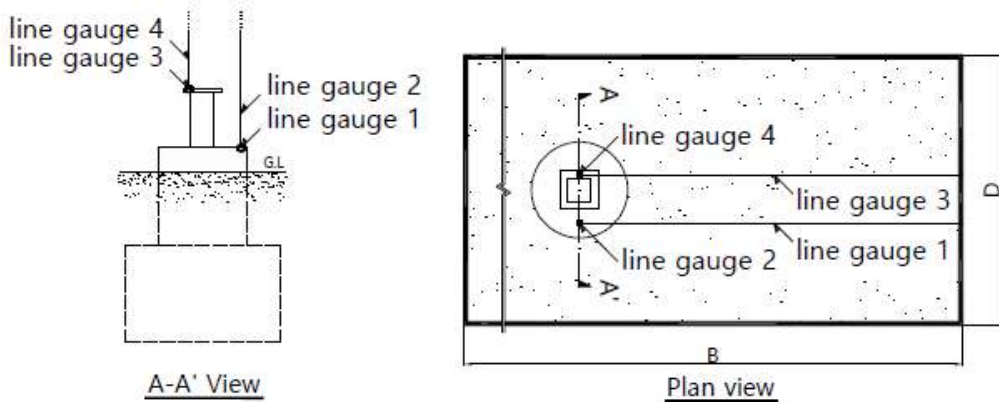
㊤ 기초 수평저항성능 실험의 가력 및 측정계획

지면 위로 150mm이상 노출된 기초실험체와 가력장치의 연결을 위해 기초실험체 파이프 상부 끝단면과 아이 너트를 삽입한 강관을 용접하였다. 와이어로프를 사용하여 아이너트(기초실험체)와 가력장치를 연결하고 가력속도에 대한 영향이 없도록 최대한 저속(1mm/1min)으로 가력하여 하중 변화에 따른 줄변위계(line gauge)의 길이 변화량을 측정하였다. 와이어로프는 허용 하중이 2 ton이상인 직경 16mm 사용하였고, 관련 기준<sup>23)</sup>에 따라 클립을 사용하여 와이어로프를 체결하였다. 줄변위계는 타이를 이용하여 움직이지 않게 고정하였다. 또한 가력 시험시 재료간(지반-콘크리트) 미끄러짐 및 주각부 회전의 영향을 결과 분석에 고려하기 위하여 기초 콘크리트와 인접한 파이프 주각부에 변형률 센서(strain gauge)를 부착하여 변형률을 측정하였다.

23) 줄걸이용 와이어로프의 사용에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE M-81-2011), 안전보건공단, 2011



Sectional view



A-A' View

Plan view

[2-4] 그림 72. 수평가력장치 및 측정장치의 세팅 개념도

(다) 기초 인발저항성능 실험

① 현장 다짐도 확인

3개 타입 기초 실험의 세팅이 완료된 이후 현장밀도시험을 수행하였다. 실험 측정값 및 실내 토질시험 결과에 따라 산정한 각 실험의 다짐도를 Table 에 나타내었다. 실험토의 채취 등과 같이 절대 판단이 불가능한 현장밀도시험 및 함수비 측정 실험에서 발생 가능한 다양한 오차를 고려하였을 때, 81.1%~88.0%범위에 있는 실험토의 다짐도는 실제 온실단지의 현장다짐 (83%~85%) 조건을 유사하게 모사한 것으로 판단하였다.

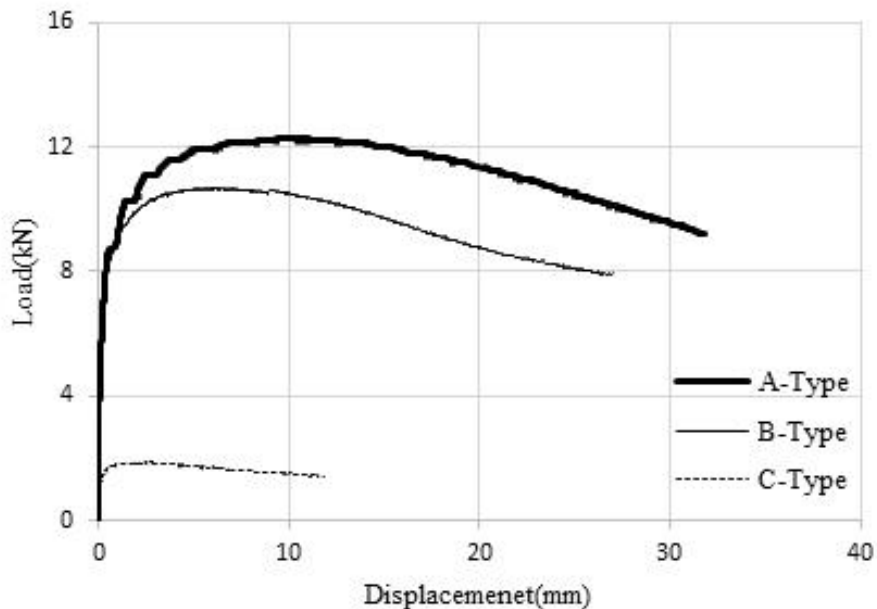
[2-4] 표 36.. 기초 인발가력시험의 현장밀도시험 결과

측정항목	기초 타입		
	A-Type	B-Type	C-Type
실험토(g)	1225.69	977.76	949.96
표준사(g)	1334.66	1132.95	1016.41
표준사와 실험토의 비율	0.918	0.863	0.935
표준사 단위체적중량(g/cm <sup>3</sup> )	1.531	1.531	1.531
습윤밀도(g/cm <sup>3</sup> )	1.406	1.321	1.431
함수량(%)	18.523	18.922	18.685
건조밀도(g/cm <sup>3</sup> )	1.186	1.111	1.206
최대건조밀도(g/cm <sup>3</sup> )	1.370	1.370	1.370
다짐도(%)	86.6	81.1	88.0

② 실험 결과 및 분석

㉠ 파괴양상 확인(작성중)

㉡ 최대 저항하중 및 수직강성의 산정(작성중)



Mechanical capacities	A-Type	B-Type	C-Type
Maximum load(kN)	12.26	10.70	1.95
Displacement(mm)	10.61	7.29	2.33
Pullout Stiffness(kN/m)	1.156	1.468	0.834

[2-4] 그림 73. 인발가력에 따른 하중-변위 관계도

㉔ 주각부 변형률 확인(작성중)

각 실험체의 변형률은 단위구간에서는 일정하지 않은 증감을 보이거나, 전 하중구간에서 일정한 기울기로 증가하는 경향성 가지므로 실험시 가력장치 체결부 및 지반과 기초 사이의 미끄러짐 현상이 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 주각부 최대변형률은 모든 실험체에 대하여 파이프 재료의 항복시( $F_y=235\text{MPa}$ ) 변형률( $1.15 \times 10^{-3}$ ) 이하이므로 파이프 변형에 따른 수직변위의 변화는 무시할 수 있는 것으로 보인다.

(라) 기초 수평저항성능 실험

① 현장 다짐도 확인

3개 타입 기초 실험의 세팅이 완료된 이후 현장밀도시험을 수행하였으며, 각 실험의 다짐도를 산정하여 표 37에 나타내었다. 인발저항성능 실험시와 마찬가지로 실험토의 채취 등과 같이 절대 판단이 불가능한 현장밀도시험 및 함수비 측정 실험에서 발생 가능한 다양한 오차를 고려하였을 때, 79.5%~84.7%범위에 있는 실험토의 다짐도는 실제 온실단지의 현장다짐(83%~85%) 조건을 유사하게 모사한 것으로 판단하였다.

[2-4] 표 37.. 기초 인발가력시험의 현장밀도시험 결과

측정항목	기초 타입		
	A-Type	B-Type	C-Type
실험토(g)	865.61	1048.70	1095.52
표준사(g)	944.62	1246.00	1227.52
표준사와 실험토의 비율	0.916	0.842	0.892
표준사 단위체적중량( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.531	1.531	1.531
습윤밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.403	1.288	1.366
함수량(%)	20.828	18.206	18.861
건조밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.161	1.090	1.149
최대건조밀도( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.370	1.370	1.370
다짐도(%)	84.7	79.5	83.9

② 실험 결과 및 분석

㉕ 파괴양상 확인

수평가력 진행에 따라 수동토압이 발생하는 위치의 포트에 방사형으로 얇은 균열이 발생하였고, 기초 B 및 C 실험에서는 가력 반대방향의 주변 토사가 덩어리진 형태로 파괴되는 양상을 보였다. 이를 통하여 실험토는 토립자 사이 점착력을 가진 점성토인 것으로 추정할 수 있다. 그러나 기초 A의 실험은 가력 반대방향의 주변 지면이 다소 상승하였으나, 수동토압이 발생하는 면의 흙이 먼저 소성파괴상태에 도달하여 가시적인 파괴의 양상이 나타나지 않아 기초 B 및 C 실험과 파괴양상이 상이한 것으로 나타났다.

기초 실험체에 따라 파괴양상이 상이한 원인을 상세히 분석하기 위하여 실험체의 형상을 비교·분석 하였다. 여기서, H1은 기초실험체의 하부층 높이, H2는 그 상부층의 높이이며 H는 실험체 전체의 높이이다. 또한 A1은 가력 반대방향 지반과 기초실험체 하부층의 접촉면적, A2는 그 상부층의 접촉면적이며 A는 실험체 전체의 접촉면적을 의미한다.

[2-4] 표 38.. 기초실험체 형상 분석

Specimen	H1(m)	H2(m)	H(m)	H1/H2	A(m <sup>2</sup> )	A1/A2
A	0.5	0.2	0.7	2.5	0.44	8.3
B	0.2	0.425	0.625	0.5	0.32	0.9
C	0.075	0.225	0.3	0.3	0.07	0.7

기초 유형별 파괴양상의 분석 결과, 동일한 파괴 양상을 보인 기초 B와 C 및 이와 파괴 양상이 다른 기초 A 간의 H1/H2 및 A1/A2의 값이 현저한 차이를 보인다. 이 사실로부터 기초의 전체 매설 길이 및 토양-기초의 전체 접촉면적보다는 H1과 H2의 비율 및 A1과 A2의 비율이 파괴양상에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, H1/H2 및 A1/A2의 값이 작을수록 가력 반대방향 토사의 저항력은 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 파이프 주각부는 육안상으로 휨 변형이 발생하지 않은 것으로 보인다.

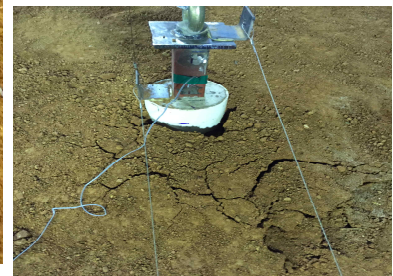
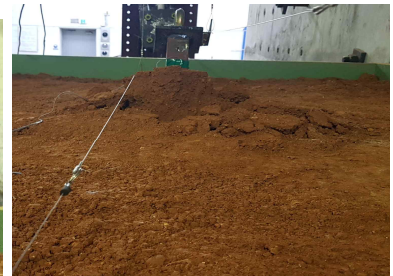


(a) A-Type 기초실험체의 파괴형상





(b) B-Type 기초실험체의 파괴형상



(c) C-Type 기초실험체의 파괴형상

[2-4] 그림 74. 수평가력에 따른 기초실험체별 파괴 형상

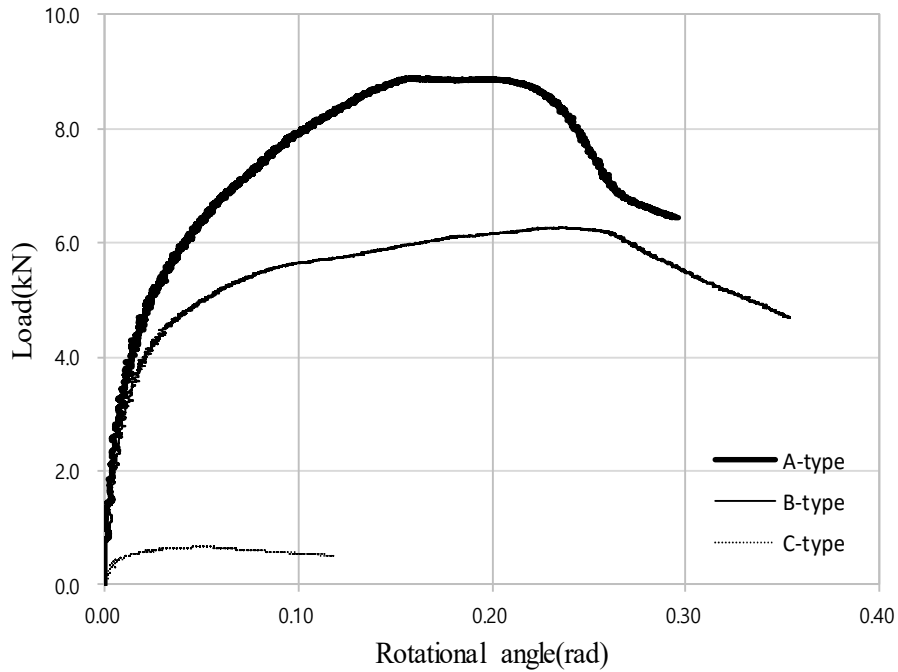
㊤ 최대 저항하중의 산정

- 회전각 및 모멘트의 산정

기초실험체는 평면상 x, y축에 대칭이며 재료 성질을 등방성으로 가정할 수 있으므로 단면상의 거동 즉, x축 및 z축 방향의 거동만을 고려하였다. 실험을 통하여 측정된 각 하중단계에 따른 라인게이지의 길이 증가량 데이터로부터 기초 실험체의 회전각과 그 때의 모멘트 팔의 길이를 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\frac{e}{\sin\lambda} = \frac{f}{\sin\gamma}$$





Mechanical capacities	A-Type	B-Type	C-Type
Maximum load(kN)	8.88	6.26	0.67
Rotation angle(rad)	0.16	0.23	0.05

[2-4] 그림 76. 수평가력에 따른 하중-회전각 관계도

- 이론식에 따른 수평저항력 평가

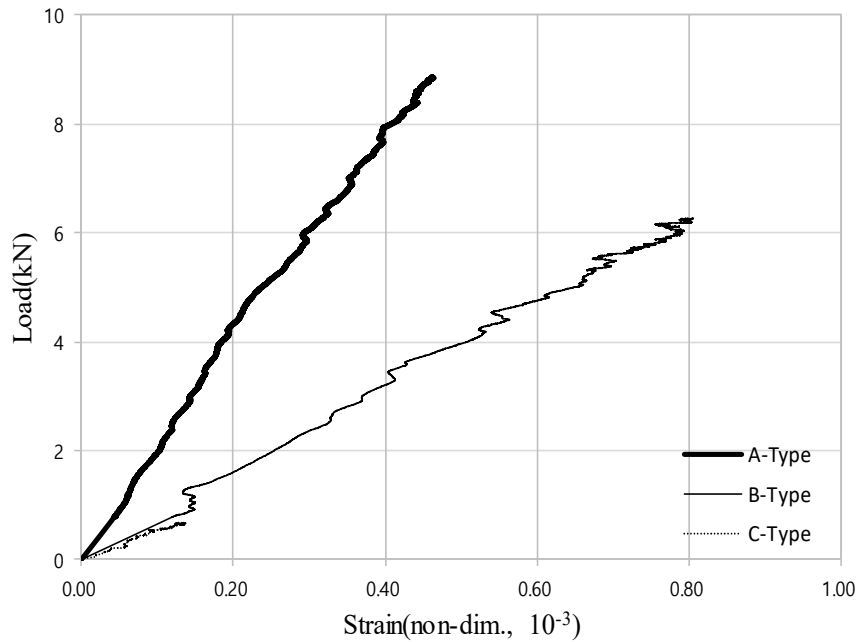
이론적 수평저항력을 계산한 결과, 기초 A, 기초 B, 기초 C의 순서로 그 값이 작아진다. Rankine의 수동토압식은 토질을 사질토와 점성토로 구분하며, 기초 측면 토사의 저항력만을 수평저항력으로 고려한다. 이와 다르게 지반공학회(Korea Geotechnical Society, KGS)의 식은 토립자 사이의 점착력이 없는 흙의 수평저항력을 계산하며, 기초 측면 토사의 저항력뿐만 아니라 기초 저면에서의 마찰력도 함께 고려하므로 Rankine의 식과 차이가 있다. 수평저항력은 평면상 기초의 투영길이에 대하여 산정하였고, 기초 저면의 마찰력 계산시 기초의 자중을 연직하중으로 고려하였으며, 흙과 콘크리트의 접측면의 점착력 및 마찰계수는 표 72에서 주어진 값을 사용하였다.

[2-4] 표 39.. 이론식에 따른 수평저항력의 해석(kN)

이론 분류		A-Type	B-Type	C-Type
Rankine's passive earth pressure	Sand	2.51	1.65	0.18
	Clay	18.86	13.69	2.92
standard(KGS, 1997)		3.83	2.71	0.31

㉔ 주각부 변형률 확인

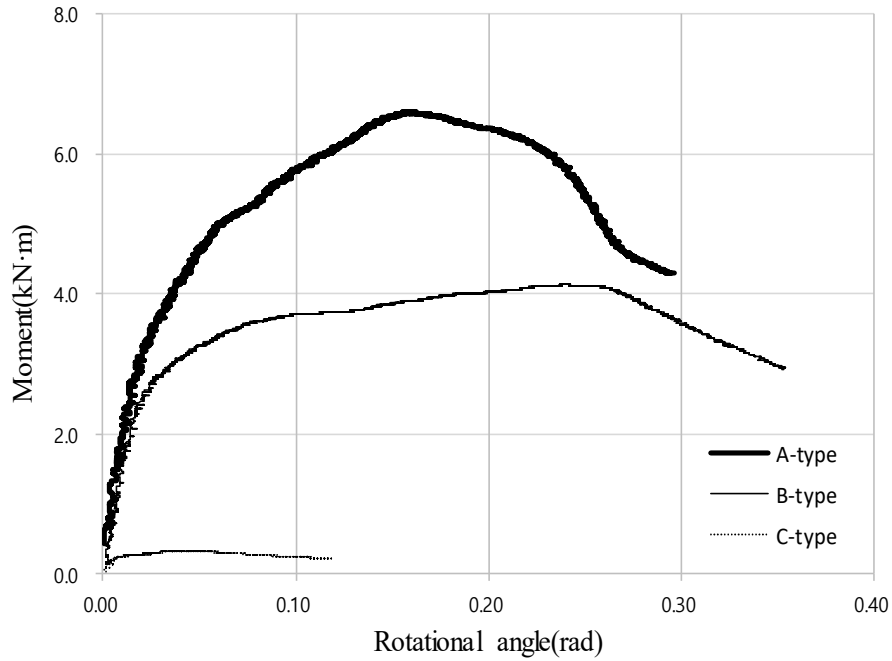
가력하중과 파이프 주각부 변형률의 관계를 도식화하면 그림 77과 같다. 각 실험체의 변형률은 단위구간에서는 일정하지 않은 증감을 보이나, 전 하중구간에서 일정한 기울기로 증가하는 경향성 가지므로 실험시 가력장치 체결부 및 지반과 기초저면 사이의 미끄러짐 현상이 크지 않은 것으로 나타났다. 또한 주각부 최대변형률은 모든 실험체에 대하여  $0.80 \times 10^{-3}$  이하이며, 파이프 재료의 항복시( $F_y = 235\text{MPa}$ ) 변형률( $1.15 \times 10^{-3}$ )의 70% 이하에서 가력을 종료하였으므로 파이프 변형에 따른 주각부 회전은 무시할 수 있는 것으로 보인다.



[2-4] 그림 77. 수평가력에 따른 주각부 변형률

㉕ 회전강성의 산정

물체의 회전강성은 단위회전량에 대한 휨모멘트의 크기로 결정된다. 앞서 기술한 절차에 따라 산정된 회전각과 모멘트의 관계를 도식화하면 그림 78과 같다. 그림 76의 하중-회전각 관계 그래프와 그 양상이 일치하므로 모멘트 팔의 길이가 전체 하중단계에서 일정한 것을 알 수 있다. 즉, 가력시 와이어로프의 연결부 또는 기초 저면에서의 미끄러짐의 영향이 미미한 것으로 판단된다. 기초의 최대 모멘트에서 평균회전강성은 기초 A, 기초 B, 기초 C의 순서로 작아진다.



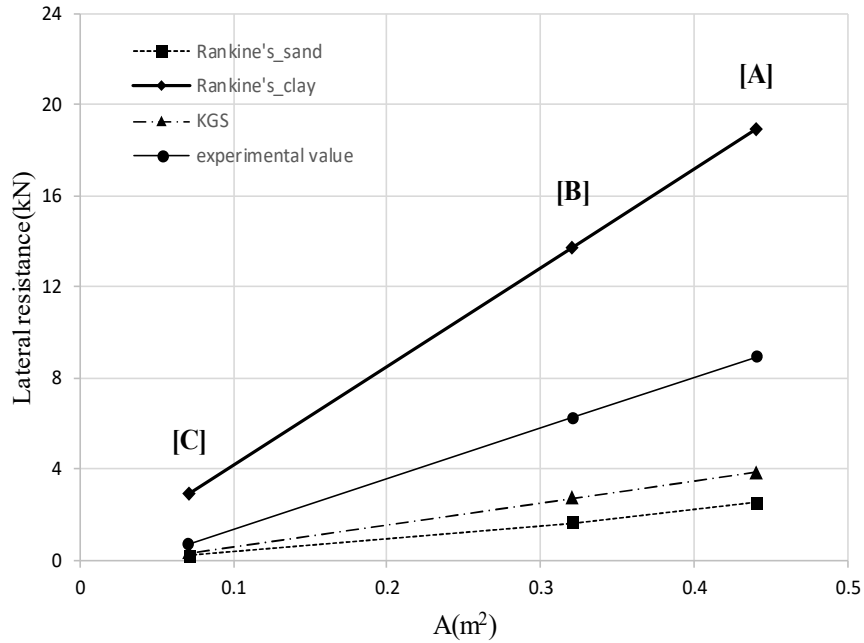
Mechanical capacities	A-Type	B-Type	C-Type
Maximum load(kN)	6.6	4.1	0.3
Rotation angle(rad)	0.16	0.23	0.05

[2-4] 그림 78. 수평가력에 따른 모멘트-회전각 관계도

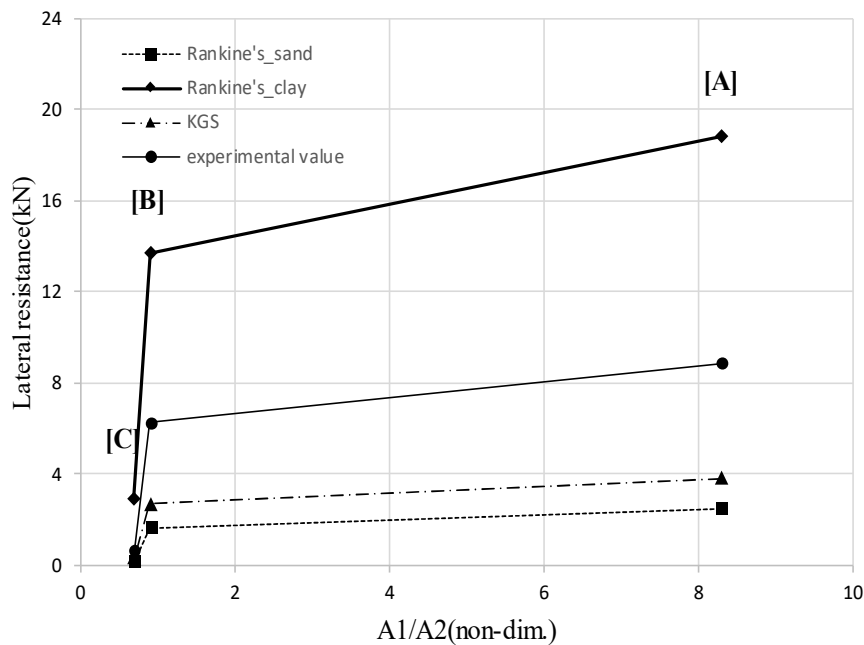
이론적 해석과 실험을 통해 산정한 기초-지반 접촉면적(A)와 수평저항력의 관계를 그림 79에 나타내었다. 이론과 비교하여 실험 결과는 그 경향성의 측면에서 일치하는 것으로 보이며, 실험에 따른 수평저항력은 지반공학회(KGS)에서 제시한 식과 사질토에 대한 Rankine의 이론식으로 산정한 값(Rankine's\_sand)보다 크다. 사질토는 토립자간 점착력이 존재하지 않으므로 점착력에 따른 수평저항력을 발휘하지 못하며, 따라서 점성토인 실험토는 사질토와 비교하여 큰 수평저항력을 가지기 때문이다. 그러나 실험토의 균등성을 신뢰할 수 없고, 실내토질시험을 통해 결정된 점착력 등의 토질정수는 불확실성을 가지므로 실험에 따른 수평저항력은 점성토에 대한 Rankine의 이론식으로 산정한 값(Rankine's\_clay)보다 작게 나타날 수 있다. 또한 기초-지반 접촉면적과 수평저항력은 선형비례하며, 실험 및 해석에 대한 각 그래프 기울기의 비교를 통해 점성토 지반의 경우 사질토 지반과 비교하여 상대적으로 접촉 면적이 수평저항력에 미치는 영향이 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 80은 접촉면적비(A1/A2)와 수평저항력의 관계를 도식화한 것이며 위와 마찬가지로 이론 해석 및 실험 결과는 그 경향성의 측면에서 일치하는 것으로 보인다. 그래프의 분석 결과, A1/A2가 수평저항력에 미치는 영향은 그 범위에 따라 차이가 있었다. 즉, A1/A2가 약 0.9 이상일 때 그래프의 증가율은 평균 0.3 kN(최대 0.7 kN)이며, A1/A2가 약 0.9 이하일 때 그 증가율은

평균 25.3 kN(최대 53.9 kN)로 나타나  $A_1/A_2$ 가 0.9 이하인 범위에서 수평저항력에 미치는 영향이 큰 것으로 보인다. 또한 그림과 비교하여 기초 B는 최대수평저항력을 발휘하기까지 A가 약 4.6배,  $A_1/A_2$ 가 약 1.3배 증가해야하며, 이에 따라 제한된 실험연구의 결과 내에서 기초 B는 타 실험체와 비교하여 효율성이 우수한 것으로 나타났다.



[2-4] 그림 79. 회전저항성과 접촉면적 관계도



[2-4] 그림 80. 회전저항성과 접촉면적비 관계도

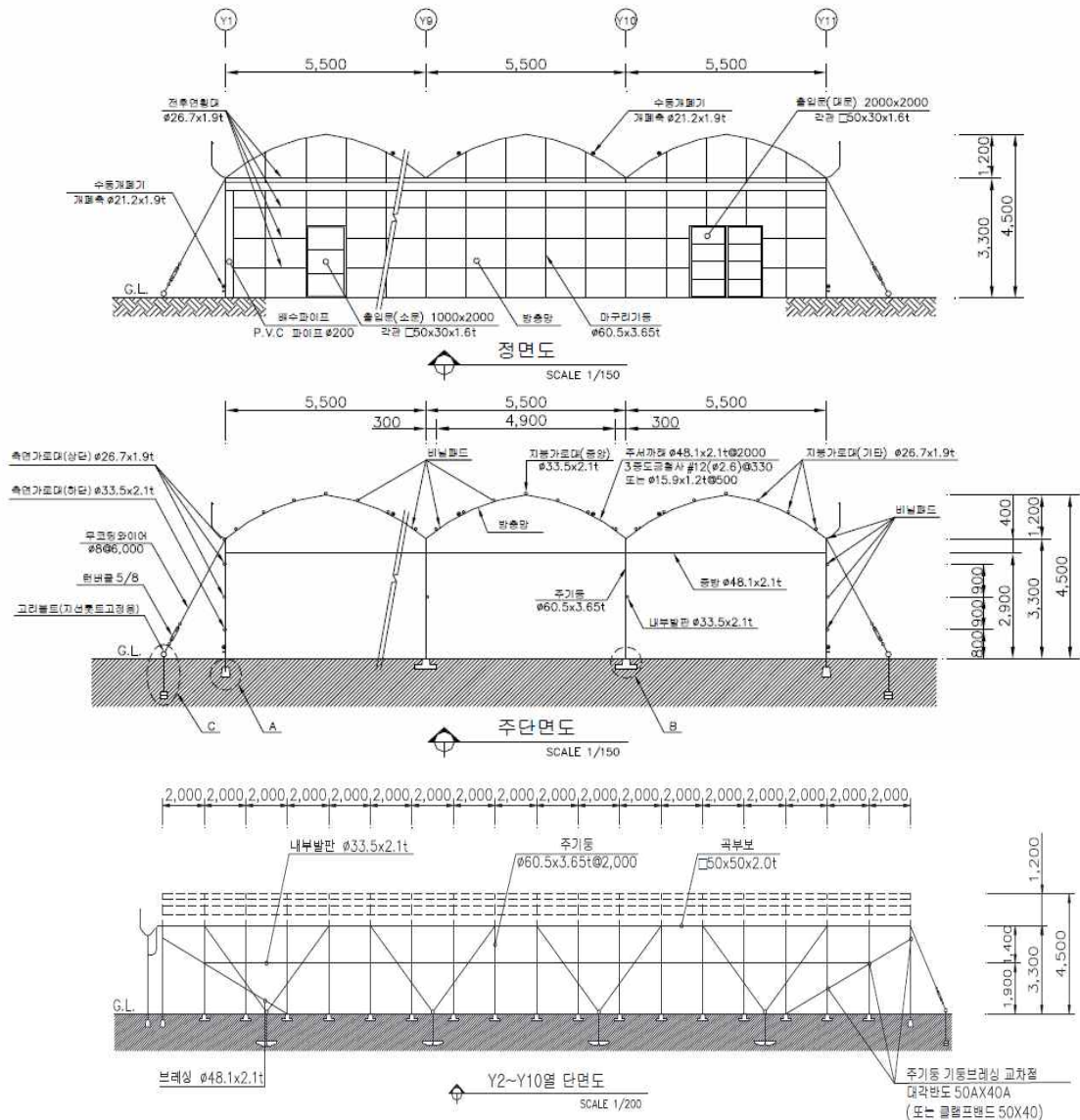
### 2-4-3. 3차 년도

#### 가. 연동 비닐하우스 실물모형 실험

##### (1) 감굴 비닐하우스 실물모형 실험계획

##### (가) 실험대상

연동 비닐하우스의 실물모형 실험은 현행 비닐하우스 설계규격을 정하고 있는 농림축산식품부 고시 제2014-78호 「원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서」의 감굴비닐하우스 08-감굴-1호를 대상으로 하였다. 감굴비닐하우스는 아래에 나타난 바와 같이 최소 3연동 이상으로 소요 규모에 따라 스패ンを 증가시킬 수 있다. 본 연구에서는 기초형식, 접합부 형상 등 감굴비닐하우스 구조부재의 특성과 실험실 재하 규모를 고려하여 측면 1개 스패ンを 대상으로 실물모형 실험을 수행하였다.



[2-4] 그림 81. 감굴 비닐하우스 설계도(2018 내재해형 규격)

(나) 사용재료

① 파이프

감귤 비닐하우스의 골조용 파이프는 2014년 내재해형 규격에서 한국산업규격 KS D 3760의 비닐하우스 구조용 강관(SPVHS, SPVHS-AZ)을 사용하며, 용융 일반구조용 탄소강관 SPS는 KS D 3566, 배관용 탄소강관 SPP는 KS D 3507을 따르되 기계적 성질은 KS D 3760을 준용하도록 규정하고 있다.

[2-4] 표 40. 감귤 비닐하우스 파이프 규격

명칭	규격	항복강도	길이	비고
가로대	φ33.5×2.1t		2600	지붕 중앙 가로대
	φ26.7×1.9t		2600	지붕 측면 가로대
곡부보	□50×50×2.0t		2600	
서까래	φ48.1×2.1t		6000	
중방	φ48.1×2.1t		5500	
측면기둥	φ60.5×3.65t		3730	
주기둥	φ60.5×3.65t		3500	

② 조립구

조립구는 기둥, 서까래, 중방 등 주골조를 상호 결속하는데 사용된다. 감귤 비닐하우스에 적용되는 조립구는 2014년 내재해형 규격에 따라 위치별 같은 규격제품이 사용된다. 한편, 현행 기준에서 조립구에 대한 강도규정은 제시하고 있지 않다. 따라서 국내 비닐하우스 전용 자재 사이트에서 조립구 규격을 조사한 후 적합한 규격 제품을 사용하였다.

[2-4] 표 41. 감귤 비닐하우스 접합부 결속자재 제원

명칭	호칭 규격	제품 규격	위치
U밴드	40A×25A	φ48.1×φ33.5	주서까래+중앙가로대
	40A×20A	φ48.1×φ26.7	주서까래+지붕가로대
	50A×40A	φ60.5×φ48.1	주기둥+중방
	50A×25A	φ60.5×φ33.5	주기둥+측면가로대 하단
	50A×20A	φ60.5×φ26.7	주기둥+측면가로대 상단
Y클램프	50A×40A	φ60.5×φ48.1	주서까래+기둥
스타트밴드	50A	φ60.5×φ48.1	주기둥+중방





(a) U형 클램프



(b) Y형 클램프



(c) 스타트밴드

[2-4] 그림 82. 감굴 비닐하우스 조립구

③ 토사

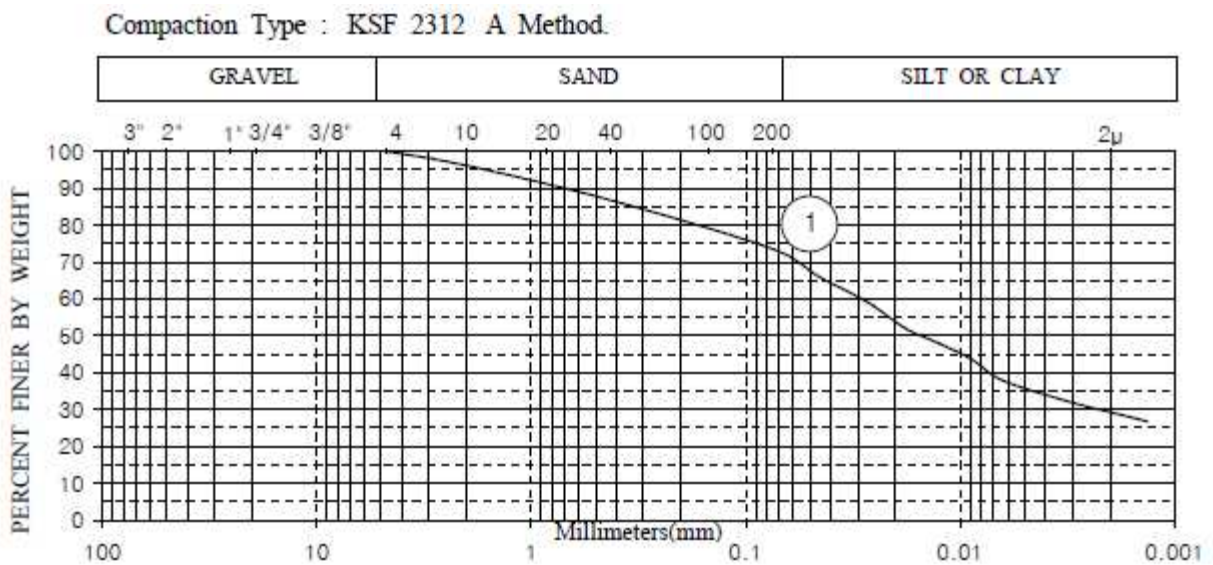
㉔ 기본 물성실험

· 입도분포

실험에 사용된 토사는 시중에서 판매하는 체친황토를 사용하였다. 흙시료의 입도 구성을 분석하기 위하여 입도분포 실험을 실시하였으며, 아래 표 및 그림과 같이 흙시료는 Lean Clay with Sand로 분류할 수 있으며 통일분류법(USCS)에 의한 분류로는 저압축성 무기질 CL이다.

[2-4] 표 42. 토사의 입도분포

체 번호 (No.)	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	2 $\mu$
체 크기 (mm)	4.75	2.00	0.425	0.075	0.002
통과율 (%)	100	96.1	86.6	73.4	29.0



[2-4] 그림 83. 토사의 입도분포 곡선

- 액·소성한계(Atterbarg Limit) 분석

- 세립토의 판별 분류 및 공학적 성질을 판단하기 위해 에터버그 한계 시험 수행.

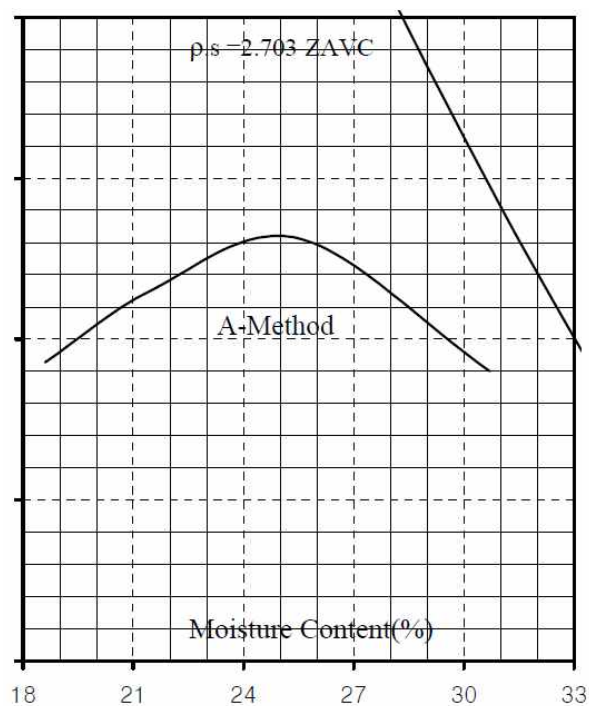
- AASHTO 분류법에 의한 흙시료의 분류

- 액성한계 LL = 47.9%, 소성지수 PI = 26.5, 군지수 GI = 12

- A-7-6, 점토질 흙

- 최대건조밀도

함수량과 건조밀도의 관계 그래프로부터 최대건조밀도와 최적함수비를 산정하였다. 최대건조밀도는  $14.32\text{kN/m}^3$ 이며, 최적함수비(OMD)는 30.8%로 나타났다.

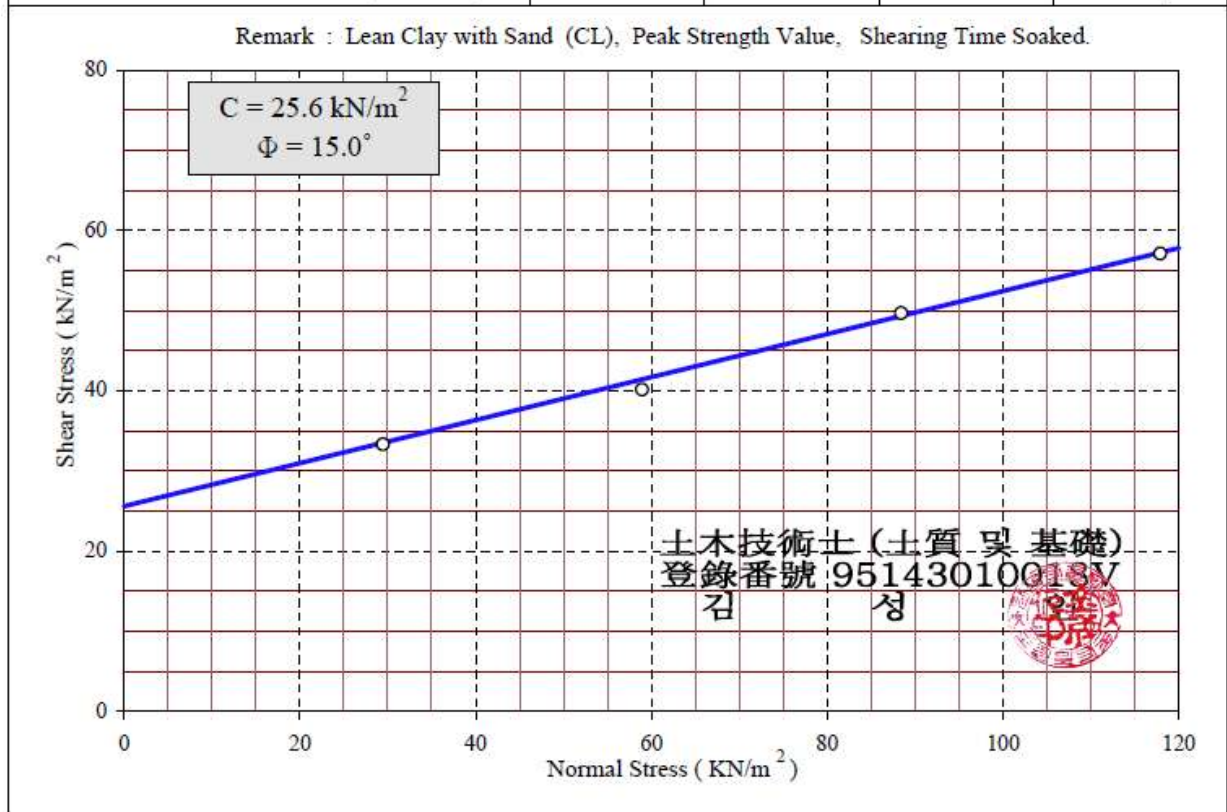


[2-4] 그림 84. 최대건조밀도

- 점착력 및 내부마찰각

최대건조밀도 75%의 점착력  $C = 25.6\text{kN/m}^2$ , 내부마찰각  $\phi = 15.0^\circ$ 로 나타났다.

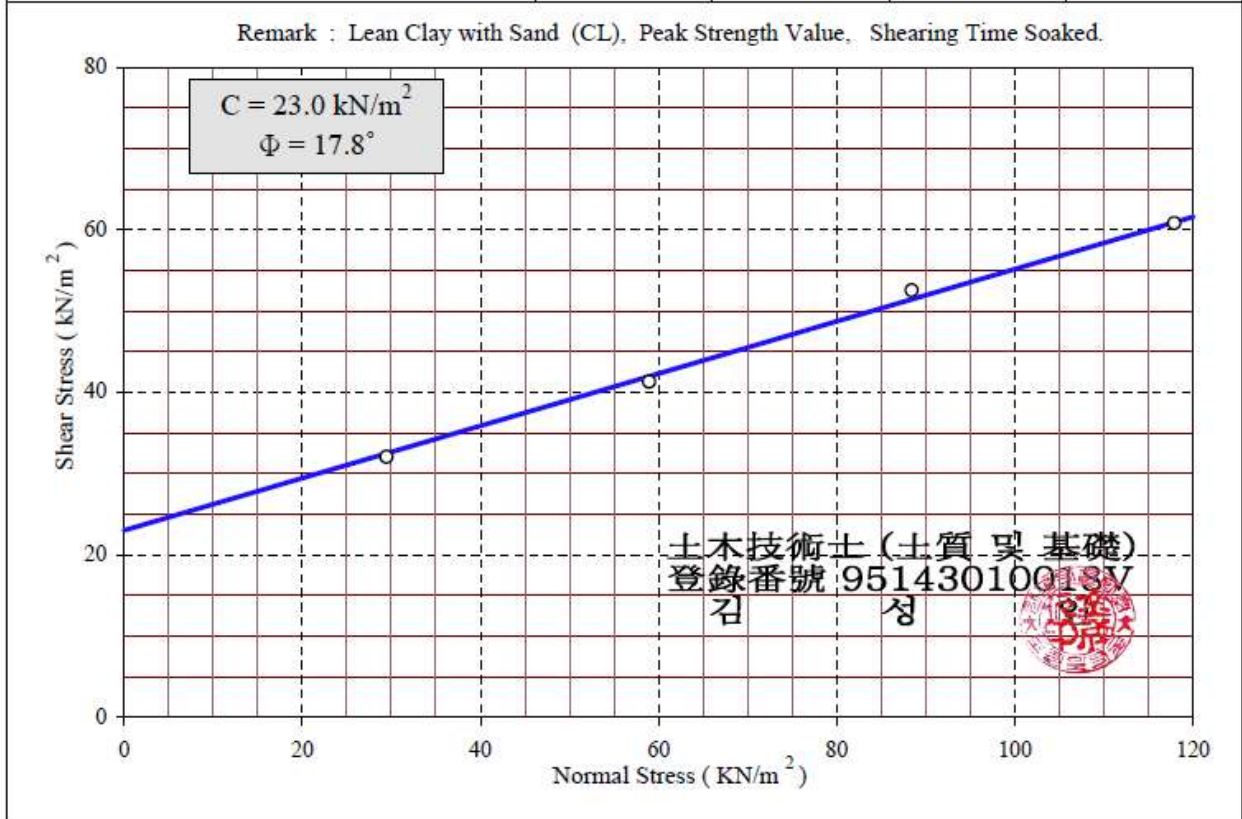
TEST No.		1	2	3	4
Sample Weight	Wt (g)	81.00	81.00	81.00	81.00
Wet Density	$r_t$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	14.04	14.04	14.04	14.04
Water Content	w (%)	30.7	30.7	30.7	30.7
Dry Density	$r_d$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	10.74	10.74	10.74	10.74
Void Ratio	e	1.466	1.466	1.466	1.466
Saturation	S (%)	56.6	56.6	56.6	56.6
Deformation Rate	(mm/min)	1.0	1.0	1.0	1.0
Normal Load	( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	<b>29.46</b>	<b>58.92</b>	<b>88.39</b>	<b>117.85</b>
Maximum Shear Stress	( $\text{kN}/\text{m}^2$ )	<b>33.32</b>	<b>40.16</b>	<b>49.70</b>	<b>57.11</b>



[2-4] 그림 85. 최대건조밀도의 75%의 직접전단시험결과

최대건조밀도 80%의 점착력  $C = 23.0\text{kN}/\text{m}^2$ , 내부마찰각  $\phi = 17.8^\circ$

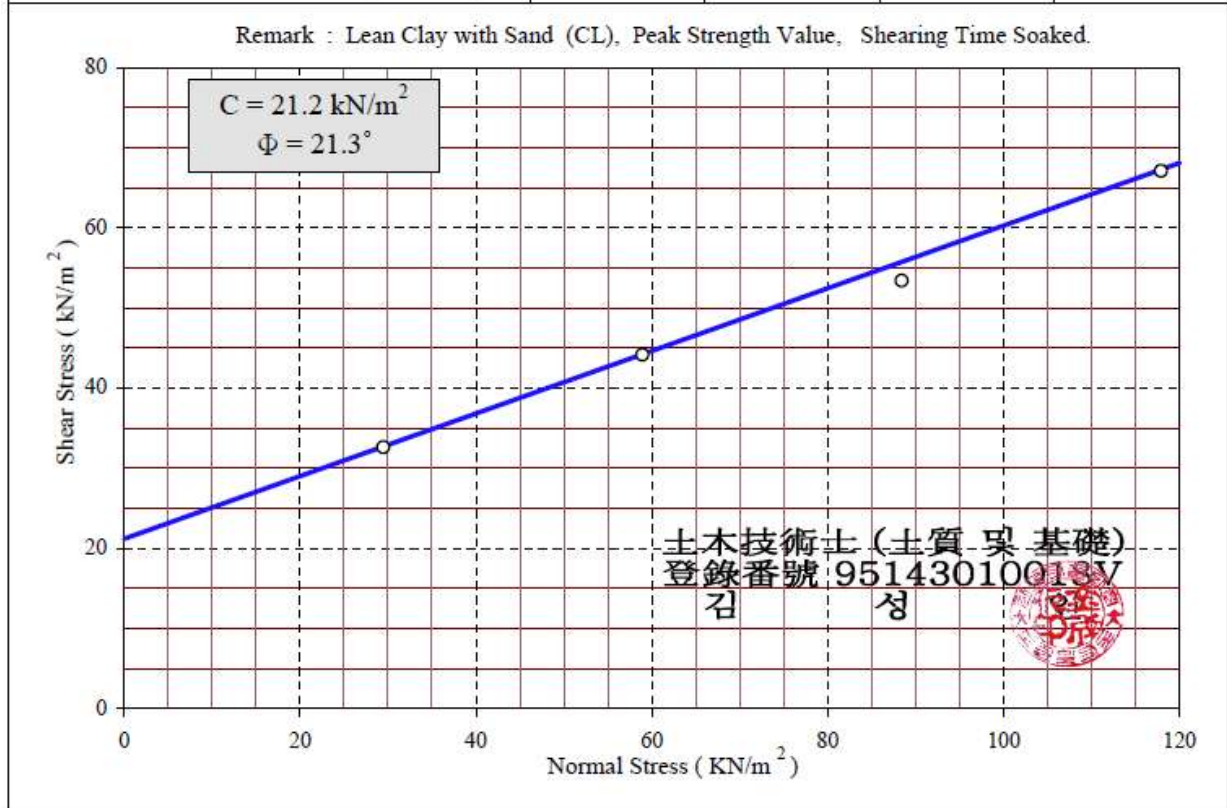
TEST No.		1	2	3	4
Sample Weight	Wt (g)	86.45	86.45	86.45	86.45
Wet Density	$r_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	14.98	14.98	14.98	14.98
Water Content	w (%)	30.7	30.7	30.7	30.7
Dry Density	$r_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	11.46	11.46	11.46	11.46
Void Ratio	e	1.311	1.311	1.311	1.311
Saturation	S (%)	63.3	63.3	63.3	63.3
Deformation Rate	(mm/min)	1.0	1.0	1.0	1.0
Normal Load	(kN/m <sup>2</sup> )	29.46	58.92	88.39	117.85
Maximum Shear Stress	(kN/m <sup>2</sup> )	32.04	41.30	52.55	60.81



[2-4] 그림 86. 최대건조밀도의 80%의 직접전단시험결과

최대건조밀도 90%의 점착력  $C = 19.5 \text{ kN/m}^2$ , 내부마찰각  $\phi = 17.3^\circ$

TEST No.		1	2	3	4
Sample Weight	Wt (g)	97.20	97.20	97.20	97.20
Wet Density	$r_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.85	16.85	16.85	16.85
Water Content	w (%)	30.7	30.7	30.7	30.7
Dry Density	$r_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	12.89	12.89	12.89	12.89
Void Ratio	e	1.055	1.055	1.055	1.055
Saturation	S (%)	78.6	78.6	78.6	78.6
Deformation Rate	(mm/min)	1.0	1.0	1.0	1.0
Normal Load	(kN/m <sup>2</sup> )	<b>29.46</b>	<b>58.92</b>	<b>88.39</b>	<b>117.85</b>
Maximum Shear Stress	(kN/m <sup>2</sup> )	<b>32.61</b>	<b>44.15</b>	<b>53.40</b>	<b>67.08</b>



[2-4] 그림 87. 최대건조밀도의 90%의 직접전단시험결과

[2-4] 표 43. 단일기초 실험의 현장들밀도시험결과

측정번호	인발저항실험		수평저항실험	
	측면기초	내부기초	측면기초	내부기초
⑥(구멍속의흙+용기)무게(g)	2015.50	1862.84	1911.28	1736.90
⑦용기의무게(g)	429.60	429.60	429.60	429.60
⑧구멍속의흙무게(g)	1585.90	1433.24	1481.68	1307.30
①(시험전모래+병)무게(g)	3917.48	5119.98	4532.40	4491.10
②(시험후모래+병)무게(g)	925.74	2240.18	1693.33	1470.53
③사용된모래무게(g)	2991.74	2879.80	2839.07	3020.57
④갈대기속모래무게(g)	1481.88	1481.88	1481.88	1481.88
⑤구멍속모래무게(g)	1509.86	1397.92	1357.19	1538.69
⑨모래와흙무게비율	1.050	1.025	1.092	0.850
⑩모래의단위체적중량(g/cm <sup>3</sup> )	1.393	1.393	1.393	1.393
⑪습윤밀도(g/cm <sup>3</sup> )	1.463	1.428	1.521	1.184
⑫함수량(%)	214.88	210.09	229.10	227.02
⑬건조밀도(g/cm <sup>3</sup> )	196.19	191.92	209.38	208.49
⑭최대건조밀도(g/cm <sup>3</sup> )	9.526	9.467	9.418	8.888
⑮다짐도(%)	1.336	1.305	1.390	1.087

[2-4] 표 44. 실물모형 시스템 실험의 현장들밀도시험결과

측정번호	적설하중실험		반복하중실험		풍하중실험	
	측면기초	내부기초	측면기초	내부기초	측면기초	내부기초
⑥(구멍속의흙+용기)무게(g)	2116.60	1946.57	1310.44	1480.07	2128.50	2335.25
⑦용기의무게(g)	429.60	429.60	429.60	429.60	429.60	429.60
⑧구멍속의흙무게(g)	1687.00	1516.97	880.84	1050.47	1698.90	1905.65
①(시험전모래+병)무게(g)	5015.05	5167.24	3591.46	4298.88	4474.33	5094.05
②(시험후모래+병)무게(g)	1609.08	2239.42	1264.30	1748.02	960.07	1803.04
③사용된모래무게(g)	3405.97	2927.82	2327.16	2550.86	3514.26	3291.01
④갈대기속모래무게(g)	1481.88	1481.88	1481.88	1481.88	1481.88	1481.88
⑤구멍속모래무게(g)	1924.09	1445.94	845.28	1068.98	2032.38	1809.13
⑨모래와흙무게비율	0.877	1.049	1.042	0.983	0.836	1.053
⑩모래의단위체적중량(g/cm <sup>3</sup> )	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393	1.393
⑪습윤밀도(g/cm <sup>3</sup> )	1.221	1.461	1.452	1.369	1.164	1.467
⑫함수량(%)	239.91	242.54	226.81	229.58	213.44	227.88
⑬건조밀도(g/cm <sup>3</sup> )	222.29	224.79	210.63	210.63	198.09	211.30
⑭최대건조밀도(g/cm <sup>3</sup> )	7.927	7.896	7.682	8.997	7.749	7.847
⑮다짐도(%)	1.132	1.354	1.348	1.256	1.081	1.361

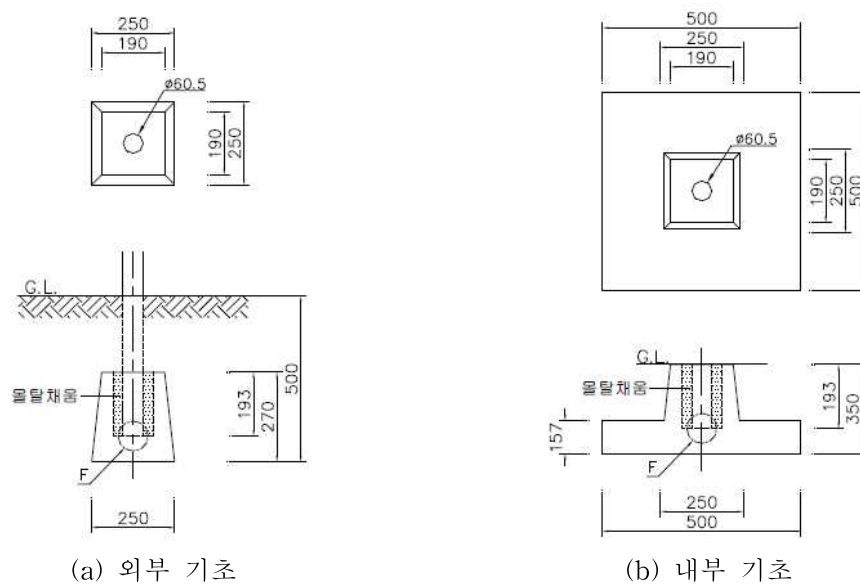


[2-4] 그림 88. 현장들밀도시험

### (다) 실험체 제작

#### ① 기초 제작

감굴비닐하우스는 내재해 규격에서 2종의 기초형식이 적용되고 있다. 아래 그림에 나타난 바와 같이 감굴비닐하우스 최외곽의 기초는 마름모형태의 독립기초로 형성되며, 내부기초는 모두 방석형태의 기초로 형성된다. 본 실험에서는 내재해 규격과 동일한 규격 및 치수를 갖도록 콘크리트 기초를 제작하였다.



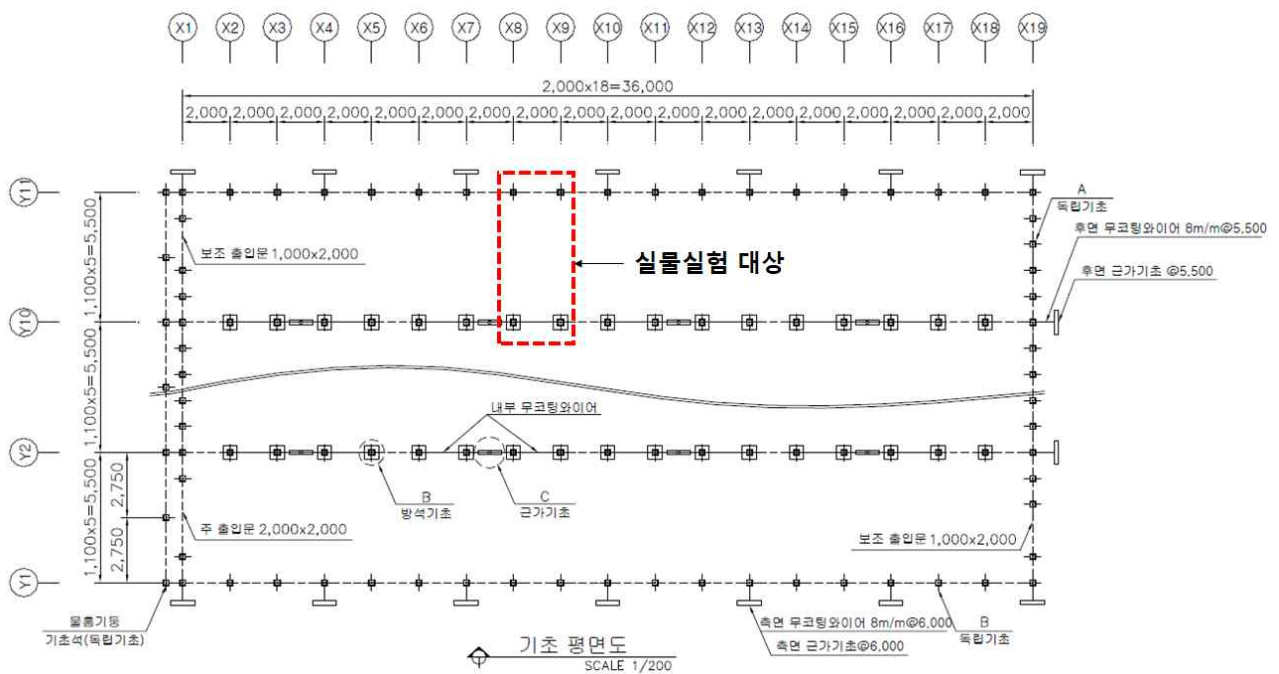
[2-4] 그림 89. 감굴 비닐하우스 실물실험 모형토조

#### ② 실물 감굴비닐하우스 실험체 제작

감굴비닐하우스 실물모형 실험체는 연동 비닐하우스 중 외측 Y방향 1개 스팬, X방향 1개 스팬을 대상으로 실시하였다. 실험체는 모든 부재의 치수가 내재해 규격과 동일하게 제작되었으며, 토양에 매립된 기초를 구현하기 위하여 기초 위치에 모형틀 제작하고 규격에서 제시하는 깊이로 매립하였다.

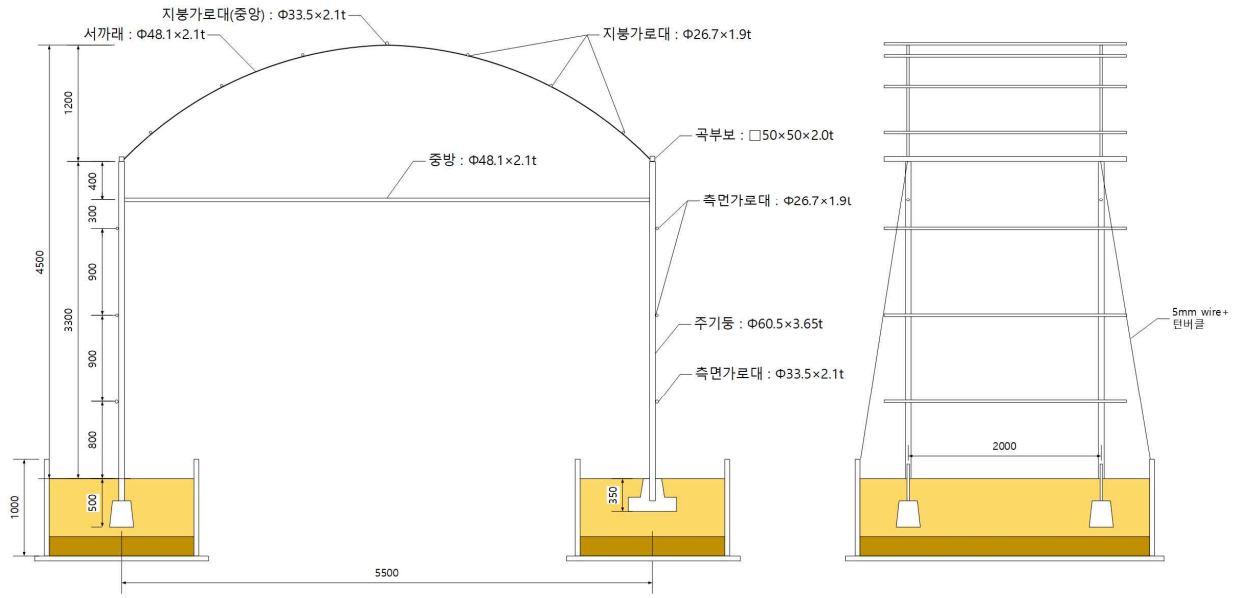
감굴비날하우스 실물모형 실험체의 기초는 토양 표면 350~500mm 깊이로 매립된다. 이때 토양의 다짐도에 따라 기초의 회전저항성능에 영향을 미치므로 현장시공조건을 고려하여 200mm 간격으로 토사층을 나누고 발다짐으로 5분간 동일하게 다짐을 실시하였다. 적설하중, 수평반복가력실험, 풍하중 실험 등 모든 실험 후에는 기초부위에서 토사의 변형이 발생되므로 매 실험 후 기초 영향범위의 토사를 제거하고 초기조건과 같이 200mm 간격으로 다짐을 다시 실시하였다. 또한, 각 실험시마다 토사의 다짐도를 측정하기 위하여 현장들밀도실험을 실시하였다.

기초구조와 주기둥 파이프가 설치된 이후 서까래와 가로대, 중방을 규격제품의 조립구로 결속하고, 측면 와이어를 설치하였다. 측면 와이어는 X방향 전도방지를 위하여 매3개 스캔마다 설치되어 있는 것으로 와이어 튜버클을 사용하며 파이프 구조에 영향을 미치는 사전응력이 발생되지 않도록 초기 긴장만을 도입하였다.

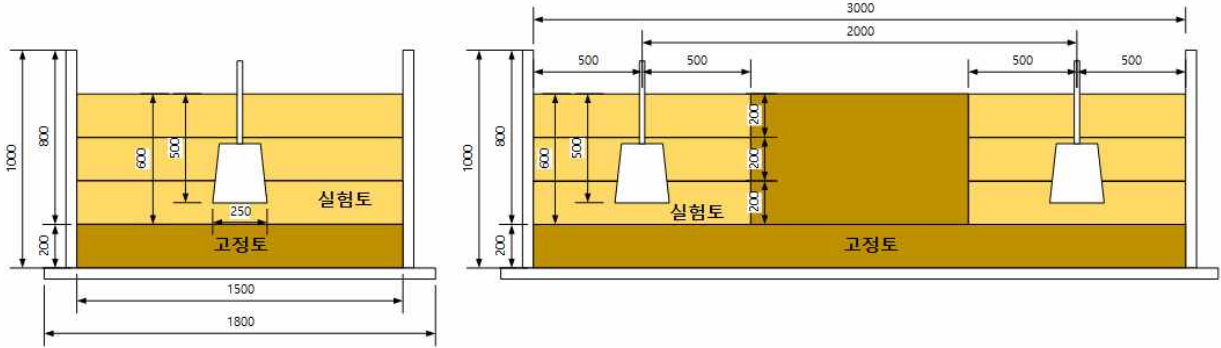


[2-4] 그림 90. 실험 대상





(a) 실험체 형상

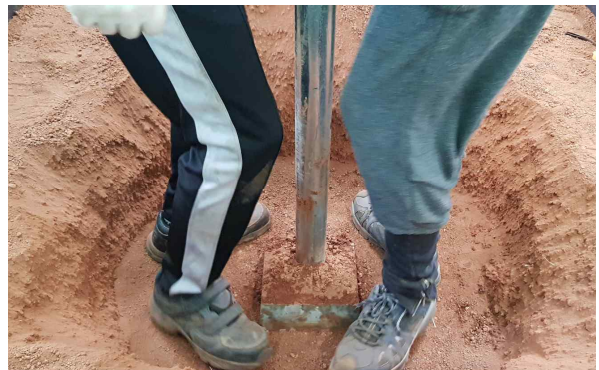


(b) 기초 매립

[2-4] 그림 91. 실험체 제원



(a) 기초설치



(b) 기초 훑 다짐



(c) 서까래·가로대 조립



(d) 중방조립



(e) 와이어 체결



(f) 완성

[2-4] 그림 92. 실험체 설치상황

#### (라) 실험 변수

감귤비닐하우스의 실물모형 실험은 표에 나타난 바와 같이 총 8종의 실험을 계획하였다. 감귤비닐하우스의 콘크리트기초의 인발저항 및 회전저항성능을 검증하기 위한 단위기초 실험 4종과 전체 시스템에 대한 적설하중, 풍하중, 수평반복하중 및 동특성을 계측하기 위한 실험을 계획하였다. 적설하중 및 풍하중 실험은 현행 온실에 적용되는 하중에 대한 안전성을 검증하고자 하며, 수평반복하중 실험은 풍하중과 같이 반복되는 하중에 대한 접합부, 기초의 안전성을 확인하고자 한다. 또한, 하중 재하 전·후의 동특성변화를 계측하여 비닐하우스 경계조건 변화를 분석하고자 하였다.

[2-4] 표 45. 감골 비닐하우스 실물모형 실험 계획

구분	대상	실험종류	비고
단위기초 실험	측면기초	인발저항실험	감골비닐하우스 실물 기초
		수평저항실험	
	내부기초	인발저항실험	
		수평저항실험	
연동하우스 시스템 실험	1Bay-1Span	적설하중실험	감골비닐하우스 실물 시스템
		수평반복가력실험	
		풍하중실험	
		동특성계측실험	

(2) 감굴 비닐하우스 기초 인발저항성능 실험

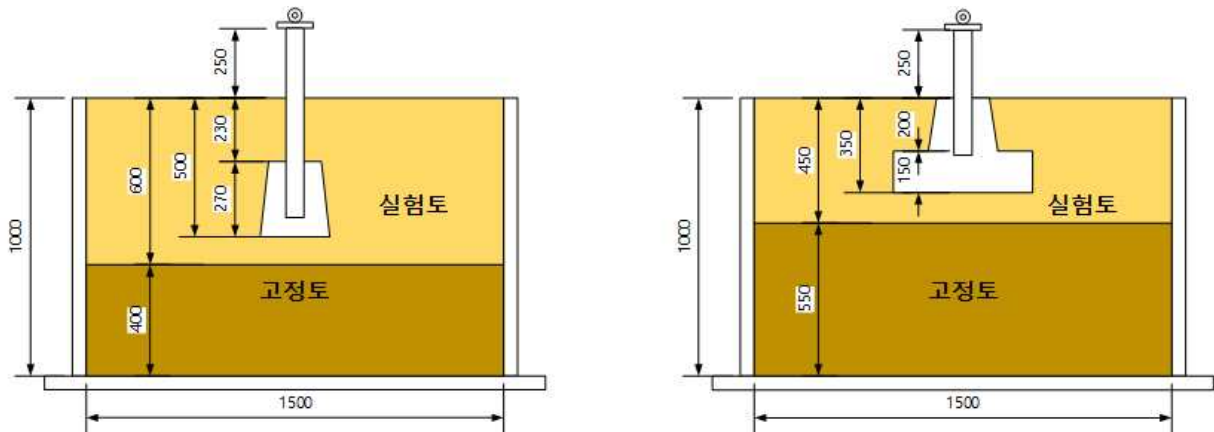
(가) 실험 계획

① 실험체

감굴 비닐하우스 콘크리트 독립기초의 인발저항성능을 검증하기 위하여 2종의 실험체를 제작하였다. 감굴 비닐하우스는 내재해형 규격에서 최외곽 측면기초와 내부기초의 형상이 다르다. 측면기초는 밑면 길이×밑면 폭×높이가 250×250×270mm로 마름모꼴의 기초이며, 내부기초는 밑면 길이×밑면 폭×높이가 500×500×350로 2단의 방석형 기초 형태를 갖는다. 인발저항성능 실험체는 토양에 매립된 기초의 축방향 저항성능으로 선행연구에서 토양의 다짐도가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 감굴 비닐하우스 현장시공 여건을 고려하여 모형토조를 제작하고 토사 매입시 200mm 두께로 3개층을 구분하고 발다짐으로 5분간 다짐을 실시하였다.

[2-4] 표 46. 감굴 비닐하우스 기초 인발실험

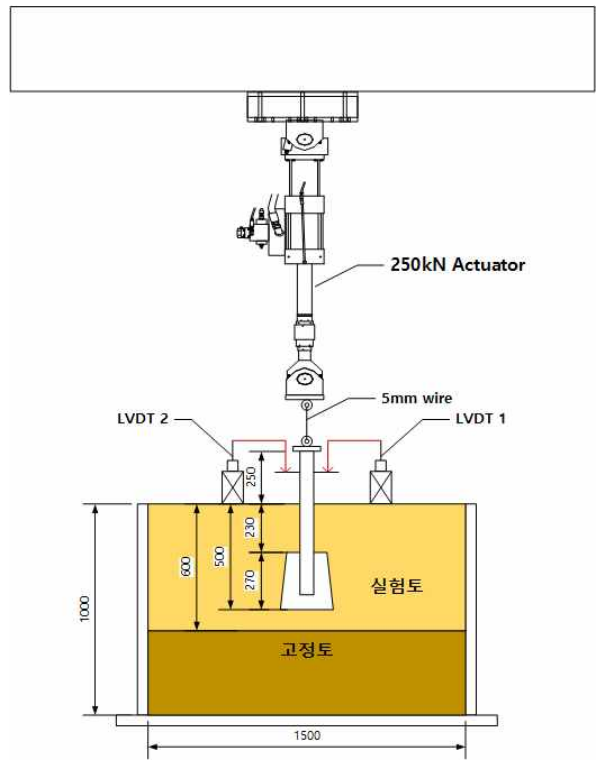
기초형식	규격	다짐 방법	다짐시간 (min.)	다짐층수 (layer)
측면기초	250×250×270	발다짐	5	3
내부기초	500×500×350	발다짐	5	3



[2-4] 그림 93. 감굴 비닐하우스 기초 기본성능 실험체

② 가력 및 측정

감굴 비닐하우스 기초구조의 인발저항성능 실험을 위하여 모형토조에 기초를 매립하고 250kN Actuator를 이용하여 인발하중을 점증적으로 가력하였다. 기초의 수직변위는 200mm LVDT 2개를 각각 파이프 양측면에 기준점에 설치하여 하중에 따른 변위관계를 측정하도록 하였다. 가력시간은 분당 2mm로 가력하며, 토사의 저항이 급격히 저하된 이후에는 인발성능에 영향이 없는 범위에서 표에 나타난 바와 같이 점차 가력속도를 증가시켰다.



[2-4] 그림 94. 기초 인발성능 실험체 설치상황

[2-4] 표 47. 기초 인발저항성능 실험 가력계획

step	loading speed	가력시간	비고
0~10mm	2mm/min	5min	
10~50mm	5mm/min	8min	
50~150mm	10mm/min	10min	

(나) 실험결과 및 분석

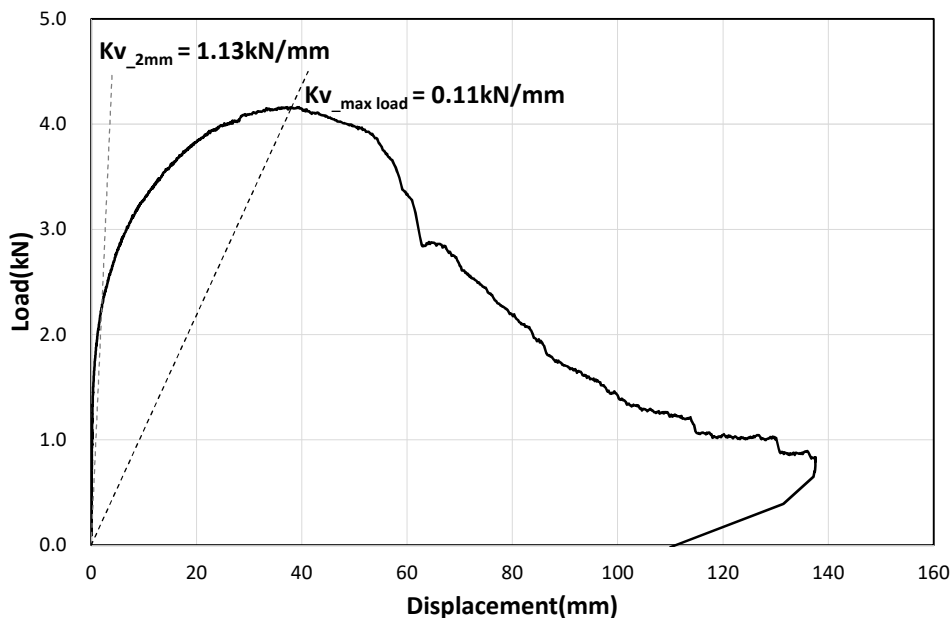
① 하중-변위 관계

감굴 비닐하우스 콘크리트 독립기초의 인발저항성능 실험결과, 기초 종류별 하중-변위 관계에서 측면기초는 가력 초기 2mm 변위 시점의 축방향 강성이 1.13kN/mm이며 최대하중 시점에서는 변위가 증가하여 축방향 강성이 0.11kN/mm로 초기강성의 약 10% 수준으로 저하된다. 이에 대하여 내부기초는 초기 2mm 변위 시점의 축방향 강성이 1.43kN/mm으로 측면기초와 유사한 수준이나 최대하중 시점에서 축방향 강성은 0.53kN/mm으로 측면기초에 비하여 강성 저하가 크지 않음을 알 수 있다. 한편 최대하중은 측면기초가 4.16kN으로 내부기초의 3.06kN에 비하여 증가하는 것으로 나타났다.

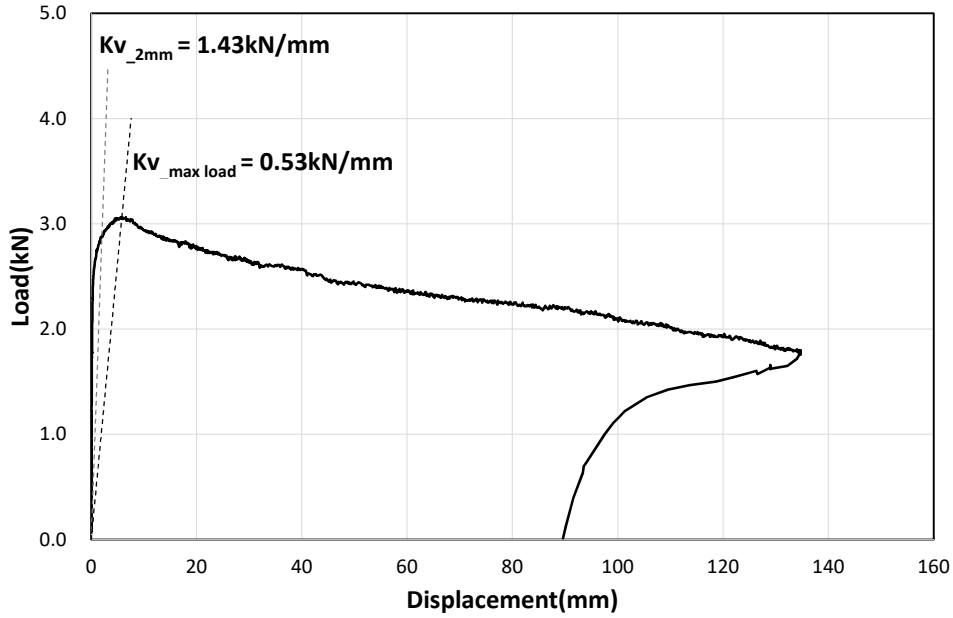
내부기초는 측면기초에 비하여 토사에 매립되는 깊이가 감소하여 최대 인발하중은 감소하지만 2단으로 형성된 기초판 구조에 의해 축방향 강성은 증가하는 것으로 나타났다.

[2-4] 표 48. 감굴 비닐하우스 인발저항성능 실험 결과

구분	기초형태	2mm 변위시			최대하중시		
		하중 (kN)	변위 (mm)	강성 (kN/mm)	하중 (kN)	변위 (mm)	강성 (kN/mm)
인발저항 성능실험	측면기초	2.25	2.0	1.13	4.16	38.06	0.11
	내부기초	2.89	2.0	1.43	3.06	5.8	0.53



[2-4] 그림 95. 측면기초 인발저항성능실험 하중-변위곡선



[2-4] 그림 96. 내부기초 인발저항성능시험 하중-변위곡선

② 파괴양상

감굴 비닐하우스 기초구조의 인발가력시 파괴양상을 비교하면, 측면기초는 기초판 매립깊이가 깊으나 면적이 좁기 때문에 가력초기에는 토사 표면에서 나타난 균열면적이 좁고 점차로 전단저항면적이 증가하는 경향을 보인다. 반면, 내부기초는 기초판 매립깊이가 낮고 면적이 크기 때문에 가력초기와 최대하중 시점의 토사 표면 균열면적 변화가 크지 않다. 즉, 토사 내부의 전단저항보다는 기초판 측면의 마찰저항에 의해 지배되는 것으로 판단된다.



(a) 측면기초



(b) 내부기초

[2-4] 그림 97. 기초 인발저항성능 파괴양상

### (3) 감골 비닐하우스 기초 수평저항성능 실험

#### (가) 실험 계획

##### ① 실험체 계획

감골 비닐하우스 콘크리트 독립기초의 수평저항성능을 검증하기 위하여 형상이 다른 측면기초와 내부기초를 내재해형 규격에 따라 제작하였다. 수평저항성능 실험체는 토양에 매립된 기초의 횡방향 저항성능으로 선행연구에서 토양의 다짐도가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 감골 비닐하우스 현장시공 여건을 고려하여 모형토조를 제작하고 토사 매입시 200mm 두께로 3개층을 구분하고 발다짐으로 5분간 다짐을 실시하였다.

##### ② 가력 및 측정

감골 비닐하우스 기초구조의 수평저항성능 실험을 위하여 모형토조에 기초를 매립하고 250kN Actuator를 이용하여 수평하중을 점증적으로 가력하였다. 그림에서 가력시간은 분당 2mm로 가력하며, 토사의 저항이 급격히 저하된 이후에는 수평저항성능에 영향이 없는 범위에서 표에 나타난 바와 같이 점차 가력속도를 증가시켰다.

기초의 회전강성을 계산하기 위해서는 2지점의 수직·수평성분의 변위를 조합하여야 한다. 회전각을 구하기 위한 두 기준점은 지표면으로부터 250mm 위치의 가력점과 지표면로부터 50mm 위치를 기준점으로 설정하였다. 두 기준점에 대하여 수직방향 및 수평방향 변위를 측정하기 위하여 1000mm Wire DT를 각각 기둥 파이프 중앙선 위치에서 직각방향으로 설치하였다. 또한 가력하중에 의한 기둥 파이프의 탄성변형을 계측하기 위하여 지표면에서 50mm 위치에 스트레인게이지를 부착하였으며, 최대 모멘트 발생이 예상되는 기둥 파이프와 콘크리트 기초가 맞나는 부분에 스트레인게이지를 부착하였다.

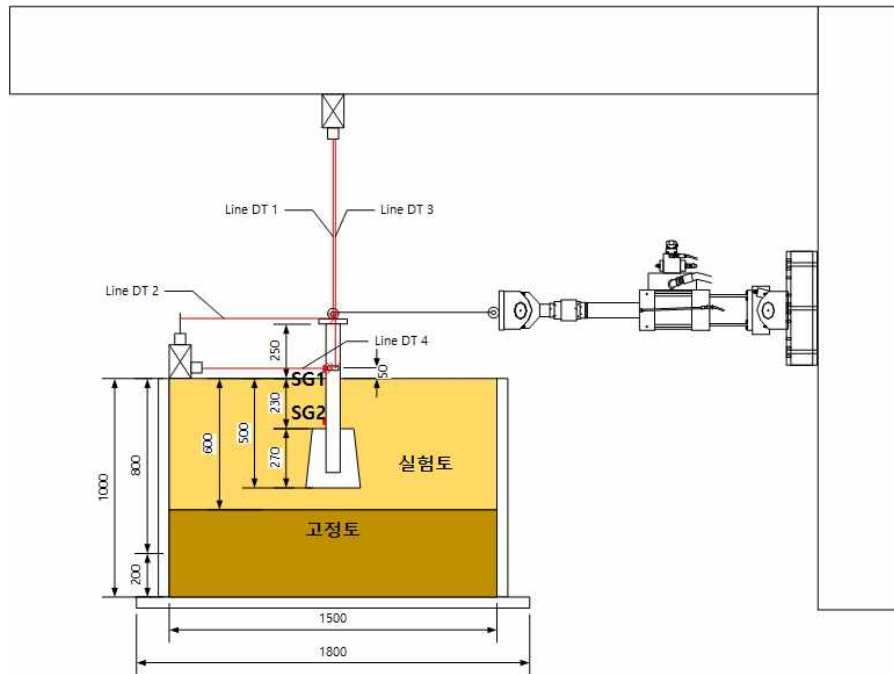
[2-4] 표 49. 기초 수평저항성능 실험 가력계획

step	loading speed	가력시간	비고
0~20mm	2mm/min	10min	
20~50mm	5mm/min	6min	
50~150mm	10mm/min	10min	

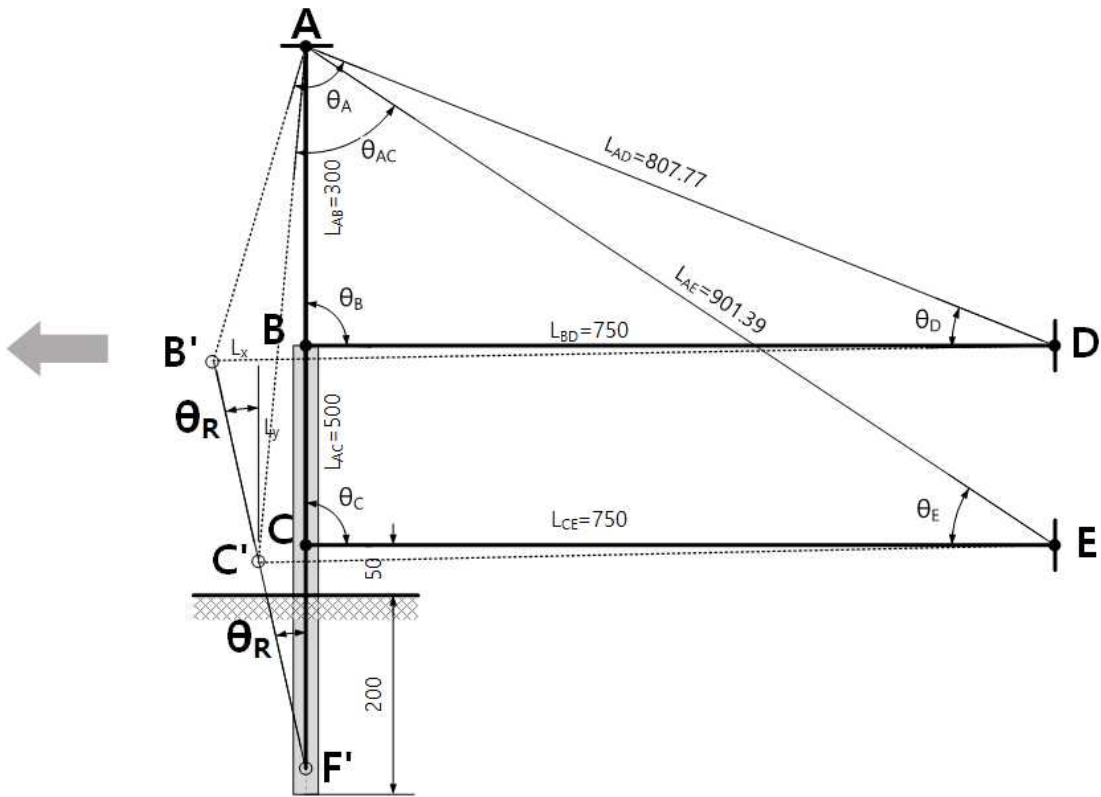
그림 82는 기둥 파이프 주각부를 형상화하여 두 기준점 변위로부터 콘크리트 기초의 회전각을 구하는 방법을 설명한 것이다. 기둥 파이프의 두 기준점은 B점과 C점이며, 지표면으로부터 50mm, 250mm의 위치에 있다. B점은 가력점이며, A점은 수직변위를 계측하기 위한 두 개의 DT의 설치 위치이다. D, E점은 두 기준점의 수평변위를 계측하기 위하여 DT를 설치한 위치이다. 가력점인 B점의 초기 DT 길이는  $L_{AB}=300\text{mm}$ ,  $L_{BD}=750\text{mm}$ 이다. C점의 초기 DT길이는  $L_{AC}=500\text{mm}$ ,  $L_{CE}=750\text{mm}$ 이다. 하중이 가력되지 않은 초기상태는 AB와 BD선분 및 AC와 CE



선분이 서로 직각으로 배치하였으므로  $L_{AD}$ ,  $L_{AE}$ 의 길이를 구할 수 있다. 또한, 이로부터 초기 상태의 각도  $\theta_{Ai}$ ,  $\theta_{ACi}$ ,  $\theta_{Bi}$ ,  $\theta_{Ci}$ ,  $\theta_{Di}$ ,  $\theta_{Ei}$ 를 모두 구할 수 있다. 초기상태 이후 하중을 가력함으로써 B점과 C점은 가력점으로 이동하게 되며, DT의 길이는  $L_{AB'}$ ,  $L_{B'D}$ ,  $L_{AC'}$ ,  $L_{C'E}$ 로 변경된다. 선행연구에서 파이프의 강성이 지반의 지지강성에 비하여 월등히 크기 때문에 파이프의 변형을 무시한다고 가정하면  $L_{B'C'}$ 는 선형이 된다. 삼각함수 공식으로부터 DT의 X, Y 좌표를 구할 수 있으며, 기둥 파이프의 회전각은  $\theta_R = \cos^{-1}(L_y/L_{BC})$ 으로 구할 수 있다.



[2-4] 그림 98. 기초 수평저항성능 실험체 설치상황

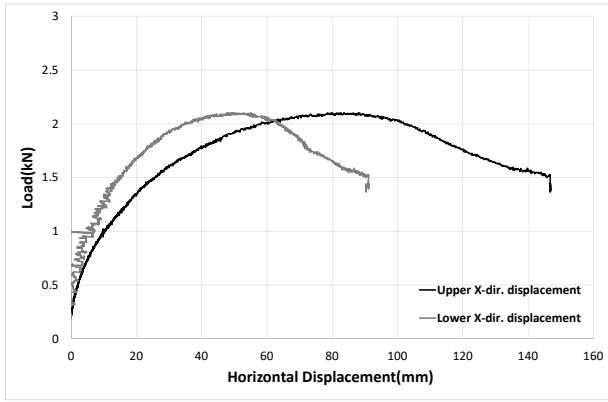


[2-4] 그림 99. 주각부 변형 및 회전각

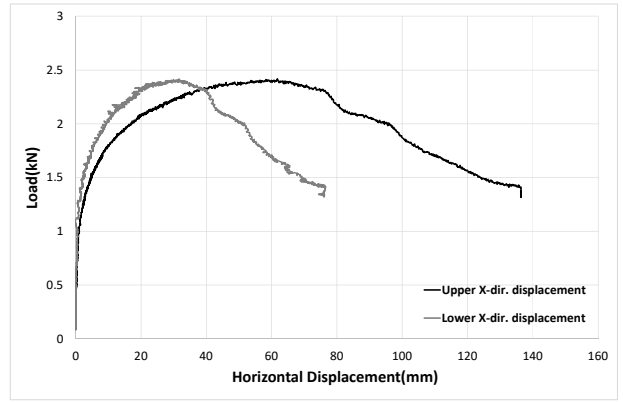
(나) 실험결과 및 분석

① 하중-변위 관계

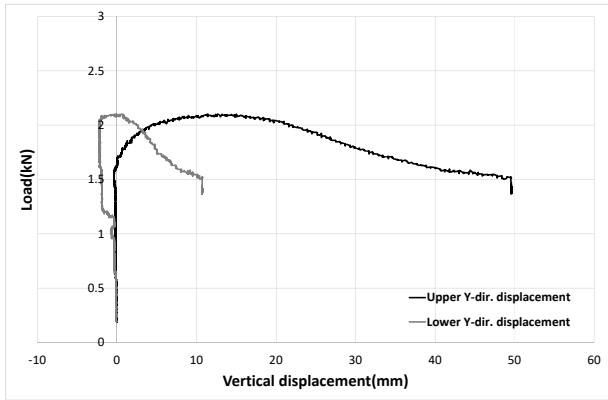
감굴 비닐하우스 기초의 수평저항성능 실험의 하중-변위 관계를 나타내면 아래 그림과 같다. 기초의 수평저항성능은 인발저항성능과는 다르게 측면기초에 비하여 내부기초의 저항력이 증가하는 것으로 나타났다. 하중-변위관계에서 강성도 내부기초가 높은 것으로 나타났으며, 수평가력에 의한 수직변위도 상이하게 나타났다. 이러한 현상은 가력하중에 따른 수직/수평변위 이력을 나타낸 그림 100에서 확인할 수 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 측면기초는 수평변위가 증가할 때 수직변위는 감소한다. 즉, 콘크리트 기초 지점이 점차 침하되는 경향을 볼 수 있으며, 내부기초는 하중 및 수평변위가 증가할수록 콘크리트 기초 지점이 점차 상승되는 경향을 볼 수 있다. 그림 101은 각 기초판의 수직/수평 최대변위 및 기둥 파이프의 회전 절점을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 측면기초는 매립깊이는 내부기초보다 깊지만 기초판의 면적이 작다. 이로 인해 수평가력시 기초판 하부와 지반의 접촉면적이 줄어들어 지압력이 집중되면서 침하량이 증가하지만, 내부기초는 하부 기초판과 지반의 접촉면적이 증가하므로 지압력이 분산되고 이로 인해 기초판 단부에 회전 지점이 형성되어 기초판이 상승하는 것으로 판단된다.



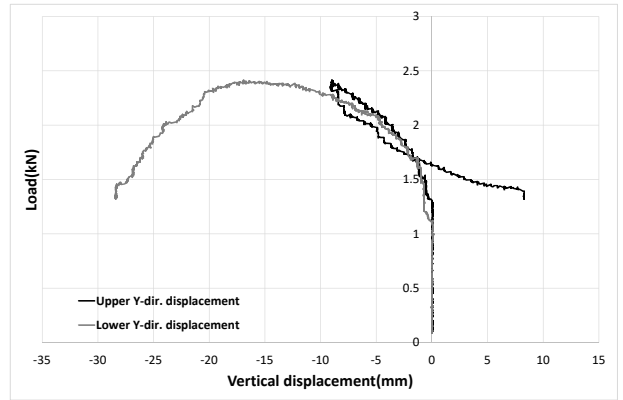
(a) 측면기초 수평변위



(b) 내부기초 수평변위

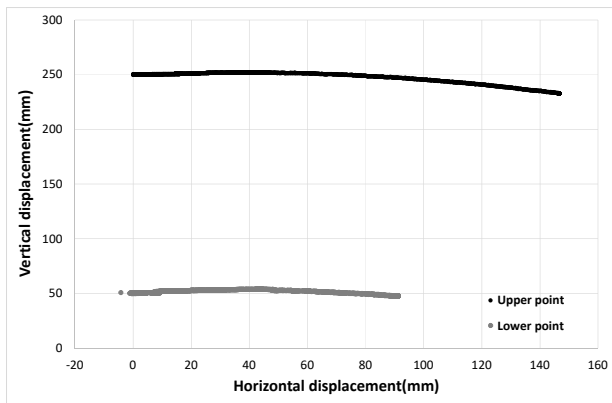


(c) 측면기초 수직변위

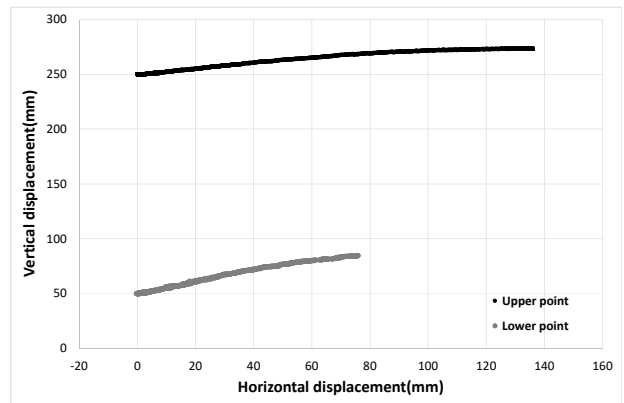


(d) 내부기초 수직변위

[2-4] 그림 100. 수평저항성능실험 하중-변위곡선

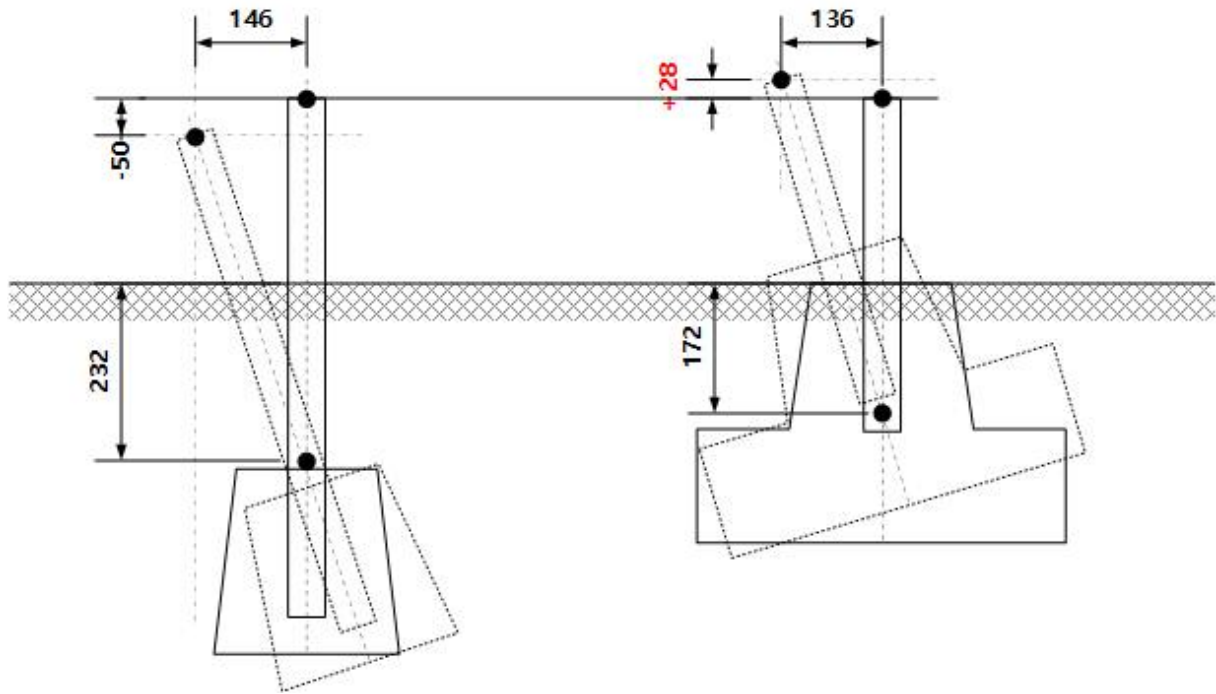


(a) 측면기초



(b) 내부기초

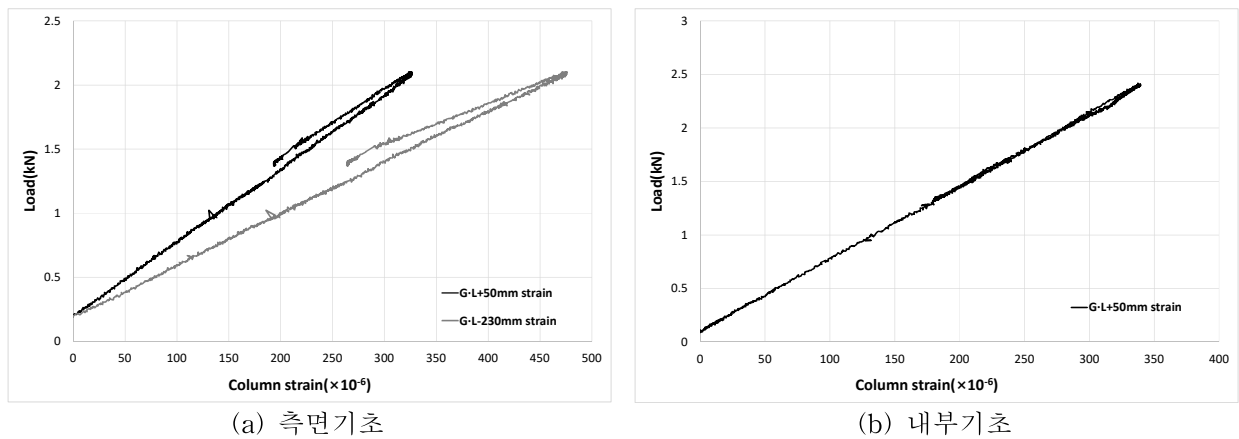
[2-4] 그림 101. 수평저항성능실험 수직/수평변위 이력



[2-4] 그림 102. 내부기초 인발저항성능실험 하중-변위곡선

## ② 기둥 변형

감굴 비닐하우스의 기초 회전각을 구할 때 기둥 파이프의 탄성변형의 영향을 확인하기 위하여 아래와 같이 기둥 파이프의 변형률을 측정하였다. 측면기초 및 내부기초 모두 최대 하중에서의 파이프 탄성변형은 약  $400\mu\text{m}$  이내로 본 실험체에서는 회전 절점으로부터 기둥의 길이가 500mm로 짧기 때문에 기둥의 탄성변형에 의한 변위 증가분은 무시하였다.



[2-4] 그림 103. 내부기초 인발저항성능실험 하중-변위곡선

### ③ 파괴양상

감굴비닐하우스의 기초 종류별 수평저항성능시험의 최종 파괴양상은 아래 그림에 나타난 바와 같다. 측면기초는 하부 지반과의 접촉면적이 좁기 때문에 기초가 침하되고, 지표면에서 기둥 파이프가 가력방향쪽으로 이동함으로써 회전절점이 지표면 하부에 발생하는 것을 확인할 수 있다. 내부기초는 하부 지반과의 접촉면적이 크기 때문에 기초판 단부에 회전절점이 형성되어 반대편 기초판이 융기되는 현상을 확인할 수 있다.



(a) 측면기초



(b) 내부기초

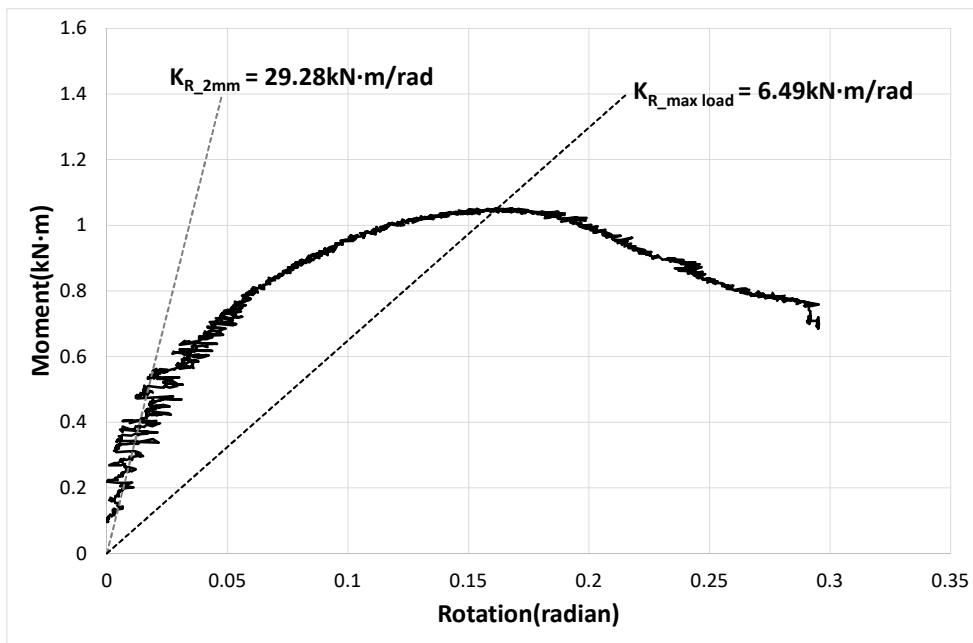
[2-4] 그림 104. 내부기초 인발저항성능시험 하중-변위곡선

### ④ 회전강성

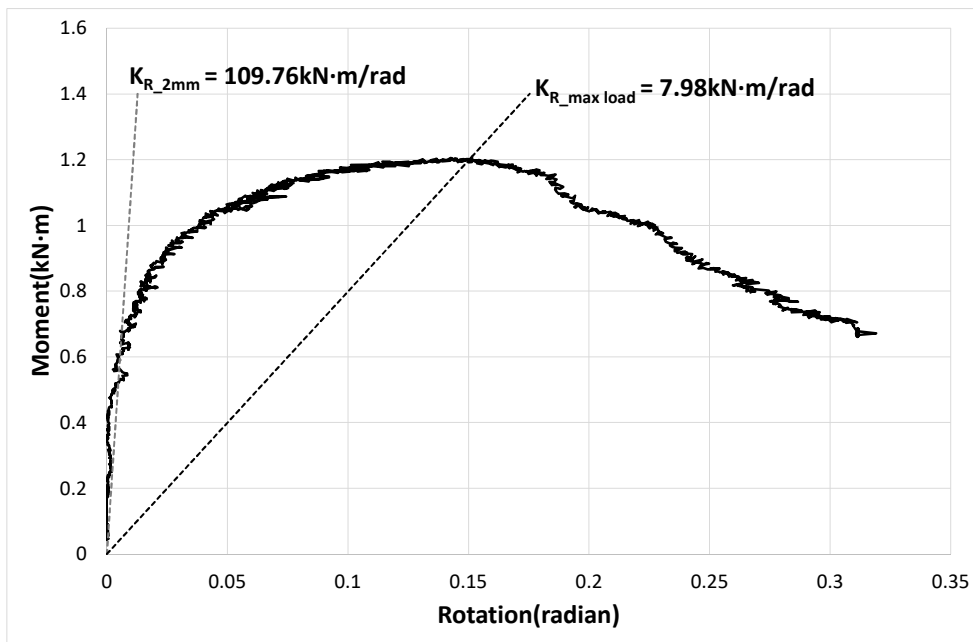
감굴비닐하우스의 수평저항성능시험으로부터 기초형식별 회전강성을 구하기 위하여 기초의 모멘트와 회전각의 관계를 나타내면 아래 그림과 같다. 측면기초의 모멘트-회전각의 관계는 초기 2mm 변위에서의 회전강성은  $29.28\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ 으로 내부기초의  $109.76\text{kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ 에 비하여 약 26% 수준으로 감소한다. 최대하중에서의 회전강성 역시 측면기초의 회전강성이 내부기초에 비하여 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 앞에서 설명한 바와 같이 기초판 하부와 지반의 저항면적 감소에 기인한다. 즉 측면기초는 기초판 하부 저항면적이 감소하므로 동일하중에 대해서 기초판의 침하가 지속적으로 발생함으로써 회전강성은 저하된다. 반면 내부기초는 매립깊이는 작지만 지반과의 저항면적이 증가함으로써 효과적으로 수평력에 저항하는 것으로 나타났다. 기초판 형식에 따른 모멘트-회전강성을 정리하여 나타내면 표와 같다.

[2-4] 표 50. 감귤 비닐하우스 수평저항성능 실험 결과

구분	기초형태	2mm 변위시			최대하중시		
		모멘트 (kN·m)	회전각 (rad)	회전강성 (kN·m/rad)	모멘트 (kN·m)	회전각 (rad)	회전강성 (kN·m/rad)
수평저항 성능실험	측면기초	0.249	0.008	29.281	1.051	0.162	6.490
	내부기초	0.606	0.006	109.759	1.209	0.151	7.984



[2-4] 그림 105. 측면기초 인발저항성능실험 하중-변위곡선



[2-4] 그림 106. 내부기초 인발저항성능실험 하중-변위곡선

#### (4) 감귤 비닐하우스 적설하중 저항성능 실험

##### (가) 실험 계획

###### ① 실험체

감귤 비닐하우스의 적설하중에 대한 저항성능을 검증하기 위하여 실물 모형의 실험체를 제작하였다. 실물모형 실험체는 내재해 규격에서 제시하는 파이프, 기초, 조립재의 치수를 적용하였으며, 전체 연동 구조 중에서 측면 2개 스패를 대상으로 제작하였다.

실물모형 실험체는 아래 그림에 나타난 바와 같이 폭×높이(지표)×길이가 5500×4500×2000이며, 모든 파이프, 조립구의 제원은 내재해 규격과 동일하다. 다만, 적설하중을 가력하기 위한 상부 가로대의 규격은 과도한 휨변형을 방지하기 위하여  $\phi 60.5 \times 3.65T$  제품으로 변경하였다. 당초 가로대 규격은  $\phi 26.7 \times 1.9T$  제품이나 연동에서는 가로대가 연속되므로 좌우측 모멘트가 균형을 이루지만 단스팬으로 이상화한 경우 조립구의 회전에 의해 단순 스패에 의한 모멘트 증가로 과도한 변형이 유발된다. 한편 본 실험에서 가로대는 하중의 전달기구로 주구조인 서까래, 기둥, 기초의 성능을 검증하는 것이므로 가로대의 크기가 전체 시스템 성능에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.

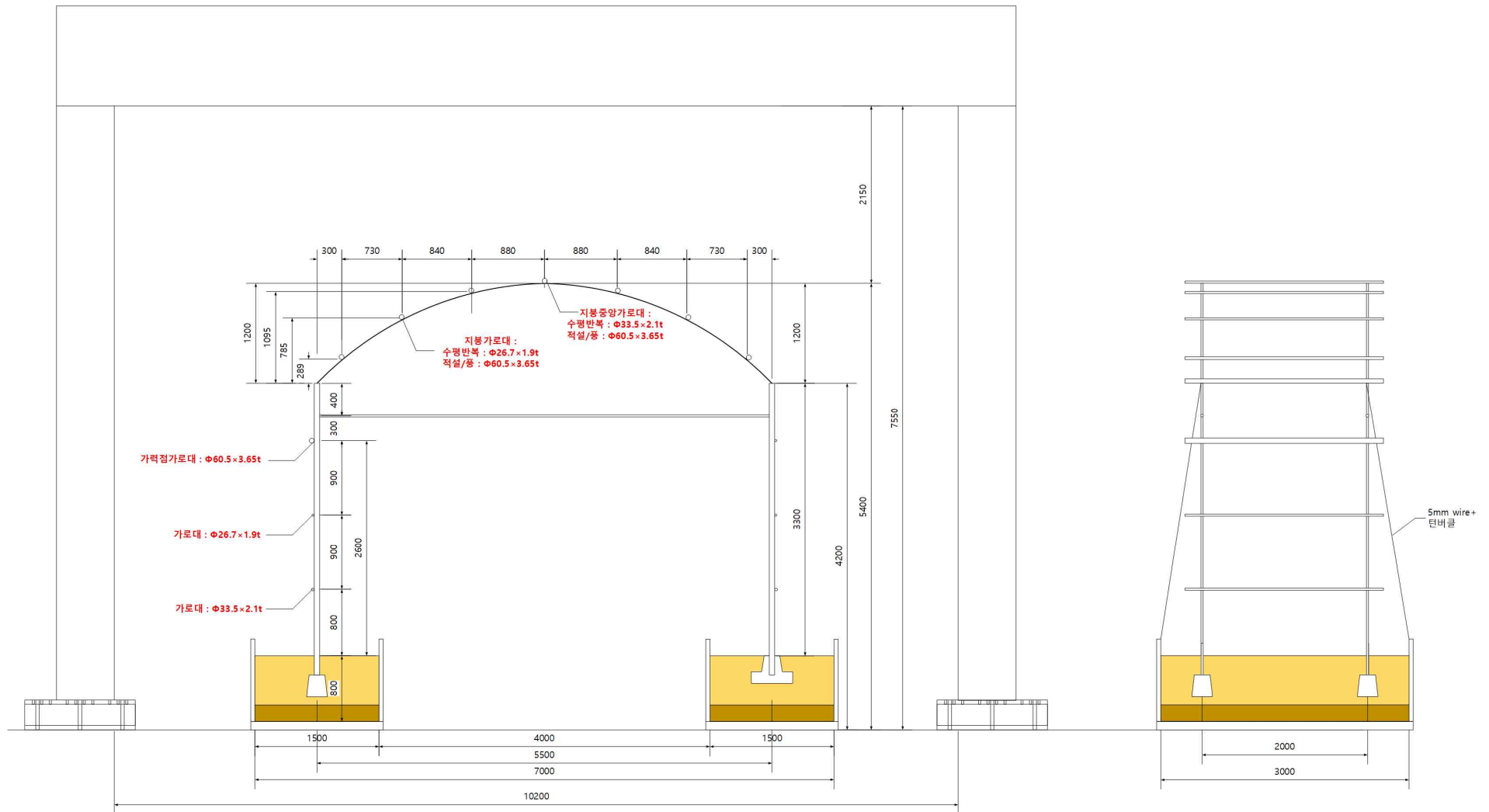
온실 구조는 기초구조의 변형, 회전 등이 전체 시스템에 미치는 영향이 크므로 실제 감귤 비닐하우스의 기초규격 및 시공조건을 고려하였다. 그림에서와 같이 측면기초와 내부기초에 대하여 모형토조를 제작하고, 기초를 매립한 후 현장에서의 다짐조건을 고려하여 다짐층을 나누고 시공하였다. 또한 기초 시공 이후 중방, 서까래, 가로대 등을 규격에서 정하는 조립구를 사용하여 시공하였다.

###### ② 가력 및 측정

감귤 비닐하우스의 적설하중은 비닐에 작용하는 분포하중이 가로대를 통하여 서까래, 기둥으로 전달된다. 실험실 실험에서는 비닐에 분포하중을 작용하기에는 실험이 용이하지 않아 구조 해석을 통하여 가로대에 전달되는 하중을 산정하고, 직접 가로대에 가력하도록 하였다.

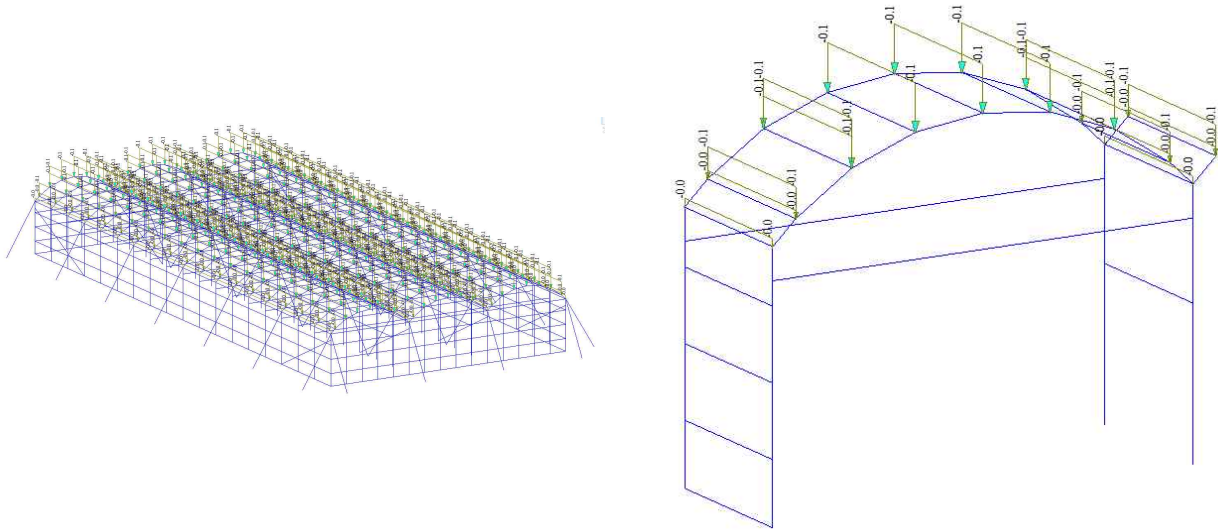
구조해석에 적용된 모델은 그림 107에 나타난 바와 같이 3연동 감귤 비닐하우스를 대상으로 하였으며, 본 실험체는 전체 연동 모델에서 측면 1개 스패를 대상으로 하므로 해당 부분에 작용하는 하중을 고려하였다. 해석모델에서 적설하중은 분포하중으로 고려되지만 실제 실험에서는 가로대에 집중하중을 가력하여야 하므로 해석에서 가로대에 발생하는 모멘트와 동일 모멘트가 발생하는 집중하중을 구하여 가력계획을 수립하였다.

실물모형 적설하중 저항성능 실험에서 각 가로대 위치별 작용하는 하중은 표에 나타난 바와 같다. 적설하중은 하중단계를 점증적으로 증가시켜 현행 적설하중의 2배까지 가력하도록 계획하였다.



[2-4] 그림 107. 적설하중 저항성능 실험체 설치상황





[2-4] 그림 108. 구조해석에 의한 감귤 비닐하우스 적설하중 산정

구조해석으로부터 산정한 각 위치별 풍하중 가력계획은 표와 같으며, 실제 실험에서는 수동 가력장치인 핸드파워플러가 정밀한 재하 조절이 안되는 조건으로 전체 하중을 유사하게 조정하였다.

[2-4] 표 51. 적설하중 재하단계 계획

Step	No.	대상 프레임 적설하중							연동 반력		
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	소계	P8	P9
1		0.04	0.08	0.10	0.10	0.10	0.08	0.04	0.54	-0.60	1.00
2		0.08	0.16	0.20	0.20	0.20	0.16	0.08	1.08	-1.00	1.40
3		0.13	0.25	0.30	0.30	0.30	0.25	0.13	1.66	-1.20	1.60
4		0.17	0.33	0.40	0.40	0.40	0.33	0.17	2.20	-1.60	2.20
5		0.21	0.41	0.50	0.50	0.50	0.41	0.21	2.74	-1.80	2.60
6		0.25	0.49	0.60	0.60	0.60	0.49	0.25	3.28	-2.20	3.00
7		0.29	0.57	0.70	0.70	0.70	0.57	0.29	3.82	-2.40	3.60
8		0.33	0.66	0.80	0.80	0.80	0.66	0.33	4.38	-2.80	4.00
9		0.38	0.74	0.90	0.90	0.90	0.74	0.38	4.94	-3.00	4.40
10		0.42	0.82	1.00	1.00	1.00	0.82	0.42	5.48	-3.40	4.80
11		0.46	0.90	1.10	1.10	1.10	0.90	0.46	6.02	-3.60	5.20
12		0.50	0.98	1.20	1.20	1.20	0.98	0.50	6.56	-4.00	5.80
13		0.54	1.07	1.30	1.30	1.30	1.07	0.54	7.12	-4.40	6.20
14		0.59	1.15	1.40	1.40	1.40	1.15	0.59	7.68	-4.60	6.60
15		0.63	1.23	1.50	1.50	1.50	1.23	0.63	8.22	-4.80	7.00

[2-4] 표 52. 적설하중 실험 가력

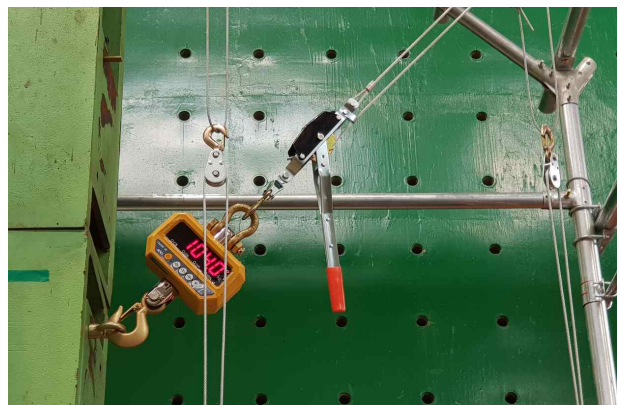
Step \ No.	대상 프레임 적설하중								연동 반력	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	소계	P8	P9
1	0.088	0.068	0.128	0.096	0.134	0.078	0.046	0.638	1.168	1.01
2	0.105	0.21	0.221	0.269	0.215	0.141	0.098	1.259	1.43	1.44
3	0.276	0.356	0.381	0.318	0.354	0.222	0.181	2.088	1.716	1.905
4	0.314	0.396	0.518	0.483	0.479	0.352	0.166	2.708	1.99	2.325
5	0.335	0.638	0.777	0.671	0.707	0.525	0.274	3.927	2.482	3.095
6	0.345	0.88	1.051	0.889	0.958	0.682	0.501	5.306	2.986	3.85
7	0.394	0.93	1.404	1.112	1.148	1.009	0.457	6.454	3.314	4.32
8	0.615	1.13	1.475	1.557	1.348	1.128	0.916	8.169	4.414	5.91
9	0.682	1.232	1.586	1.467	1.634	1.362	0.788	8.751	4.582	6.185

감굴 비닐하우스 1개 스펠에는 적설하중이 1차적으로 전달되는 지붕 가로대가 총 7개가 설치되어 있다. 또한, 감굴 비닐하우스는 최소 3연동 이상의 구조로 인접한 스펠에서 재하된 적설하중이 상호 영향을 미친다. 따라서 본 실험에서는 연동구조를 단스펠 구조실험으로 수행하되 인접한 스펠에서 작용하는 반력을 고려할 수 있도록 하였다. 즉, 3연동으로 모델링한 구조 해석을 통하여 인접되는 스펠에서 서까래, 중방에 작용하는 반력을 구하고 아래 그림에서 나타난 바와 같이 하중단계별 작용하는 반력을 서까래, 중방 접합부에 작용 각도를 고려하여 재하하였다. 그림 110에서 적설하중에 의한 중력방향 하중은 P1~P7이며, 인접 스펠에서 전달되는 중방의 반력은 P8, 서까래에 의해 전달되는 하중은 P9이다.

적설하중에 의해 지붕 가로대에 작용하는 중력방향 하중 및 인접 스펠의 반력을 재하하기 위하여 그림 109에서 나타난 바와 같이 각 지점에 와이어를 연결하고 핸드파워플러를 이용하여 가력하였으며, 가력하중을 측정하기 위하여 디지털 매달림 저울을 설치하였다.

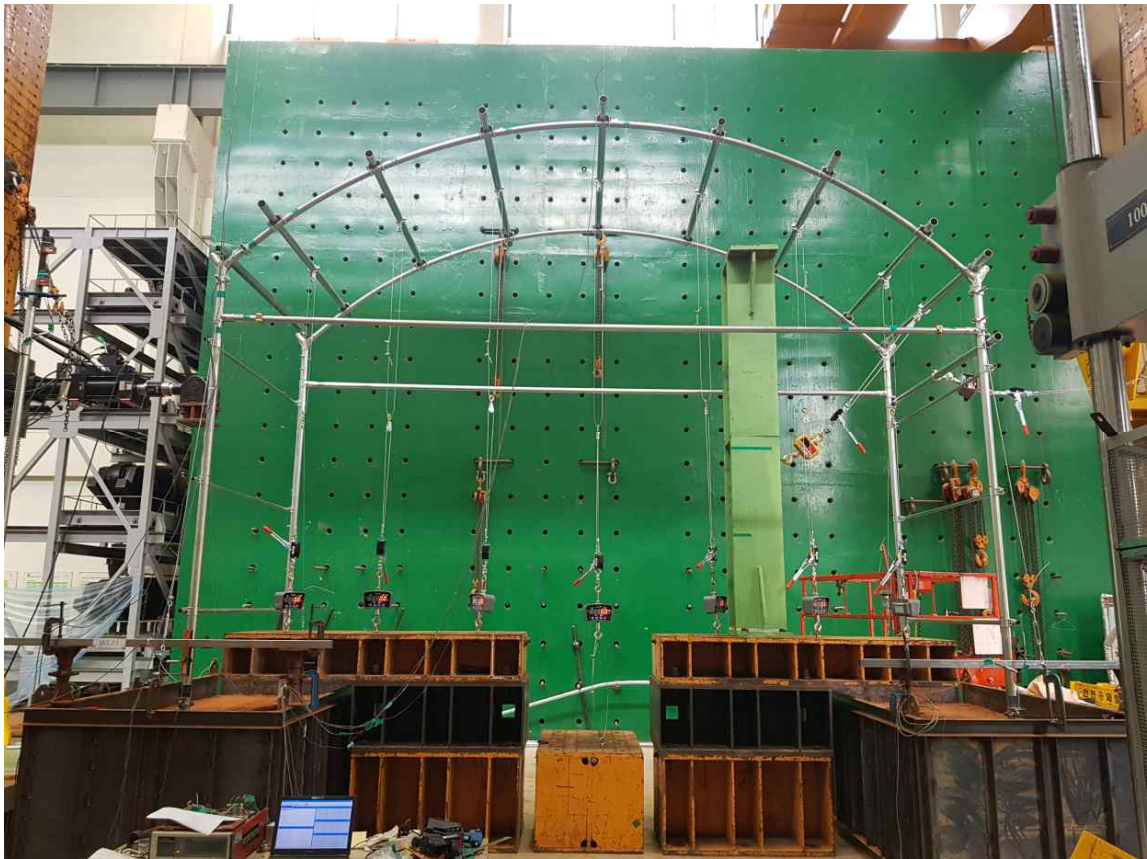
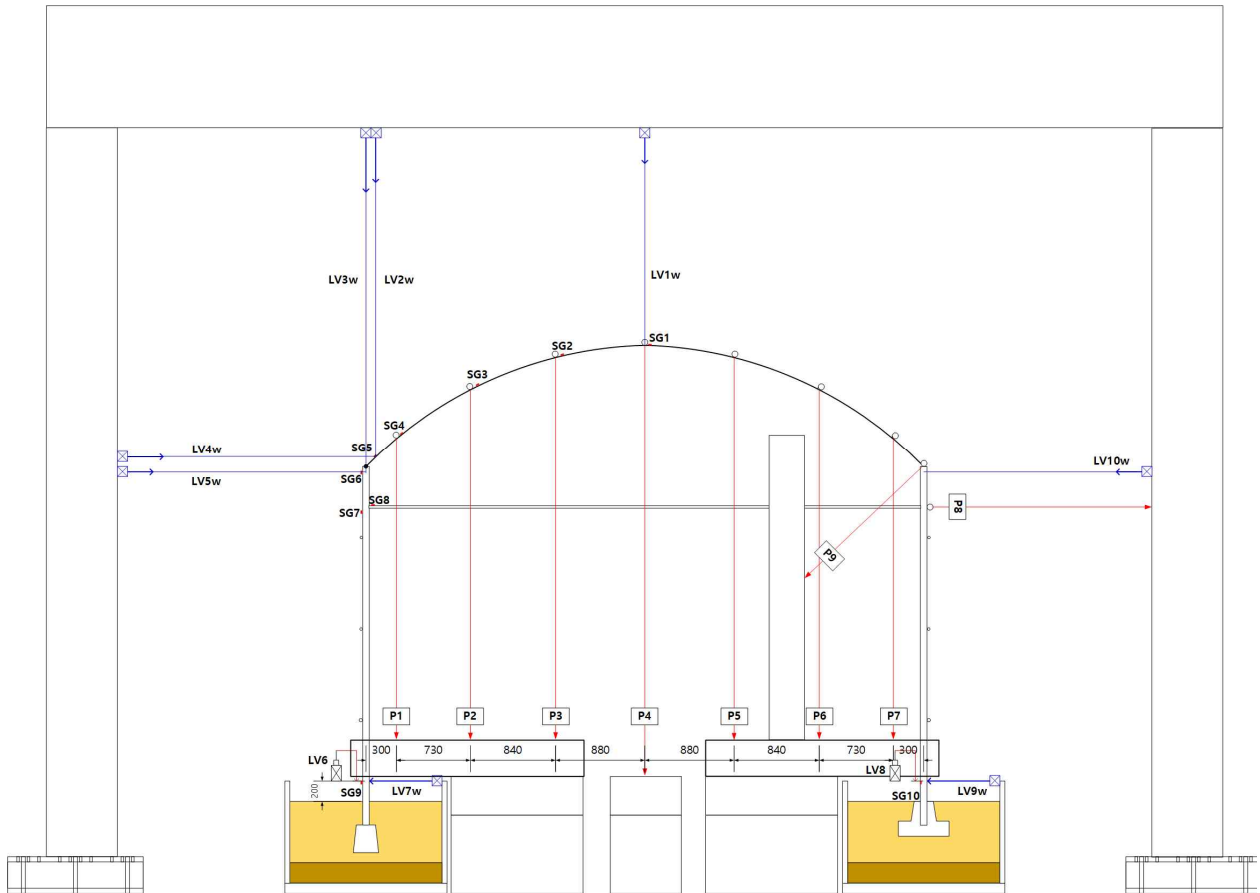


(a) 수직 가력장치



(b) 대각 가력장치

[2-4] 그림 109. 적설하중 저항성능실험 가력장치



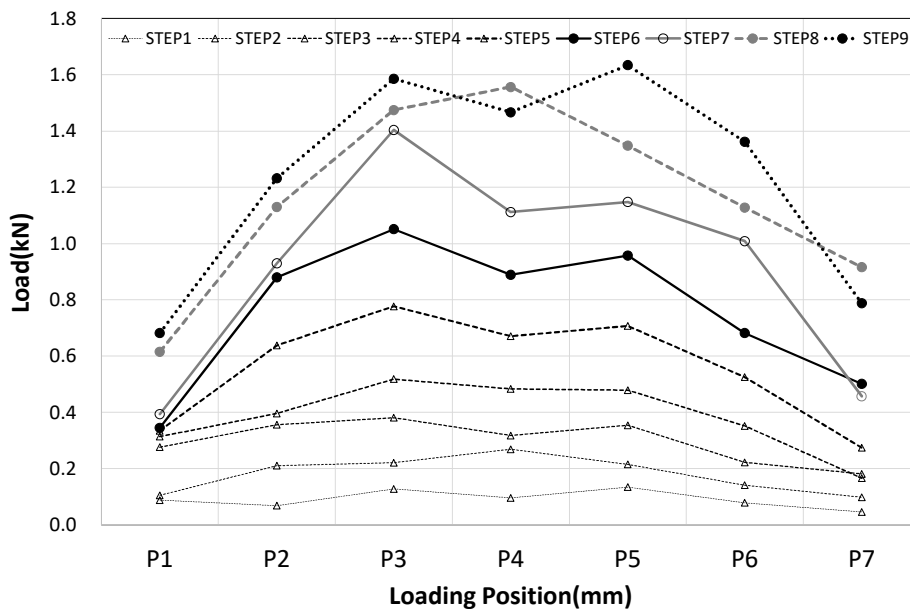
[2-4] 그림 110. 적설하중 저항성능 실험체 설치상황

(나) 실험결과 및 분석

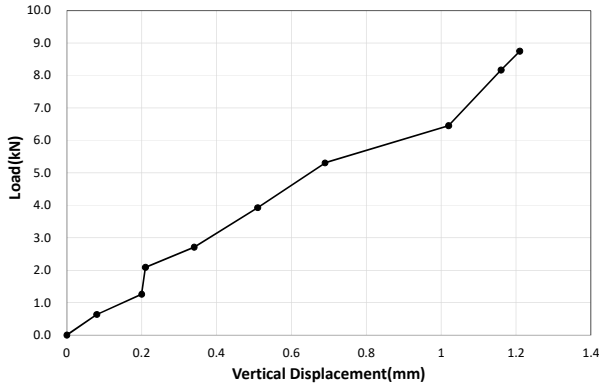
① 하중-변위 관계

감굴 비닐하우스의 적설하중에 대한 저항성능 실험을 검증하기 위하여 지붕 가로대 위치별로 단계별 하중을 가력하였다. 디지털 매달림 저울로 계측된 각 위치별-하중단계별 하중분포는 아래 그림에 나타난 바와 같이 전반적으로 구조해석에 구한 하중분포와 유사하게 가력하였다. 그림에서 하중은 P1~P7까지 가력된 중력방향 하중합으로 해당 스펠에 작용하는 적설하중의 양과 같다. 수직변위는 그림 110에서 변위계 LV1위치로 지붕 가로대 중앙의 변위이며, 수평변위는 좌측 LV5와 우측 LV10 위치의 변위이다. 또한 그림 112(a)의 수직변위에서 양의 값은 중력방향 하부로 발생되는 변위이며, 그림 112(b) 수평변위의 음의 값은 실물모형 실험체의 좌측 방향으로 변형되는 변위를 나타낸다. 따라서 감굴 비닐하우스에 적설하중 작용시 서까래 중앙부는 하부로 처짐이 발생하고, 외측 기둥은 내부기둥에 비하여 외측면으로 변형이 크게 발생하는 것으로 나타났다.

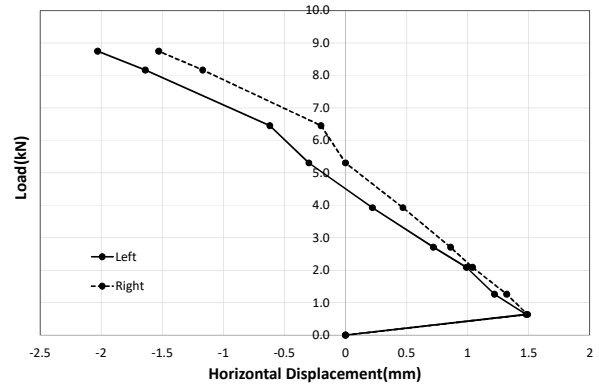
그림 113은 감굴 비닐하우스에 적설하중이 작용할 때 주각부의 변위를 나타낸 것이다. 적설하중 작용시 주각부 수직변위는 중력방향으로 증가하는 것으로 나타났으며, 수평변위는 기둥 상부의 변위과 반대방향으로 실험체의 우측방향으로 초기변위가 발생한 이후에는 하중 증가에 관계없이 일정한 것으로 나타났다. 또한, 주각부의 초기 수평변위는 기둥 상단의 변위에 비하여 약 10% 수준으로 적설하중에 의한 주각부 회전은 발생하지 않는 것으로 나타났다.



[2-4] 그림 111. 적설하중 저항성능실험 위치별 하중단계

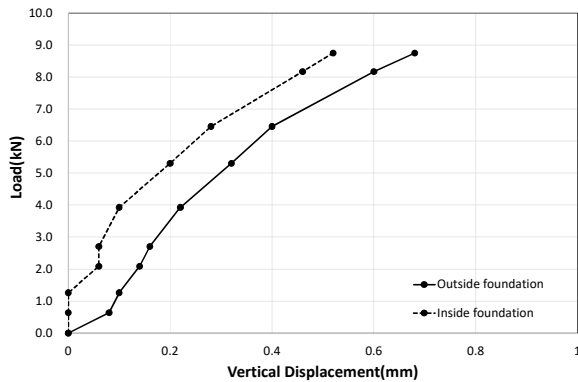


(a) 수직변위

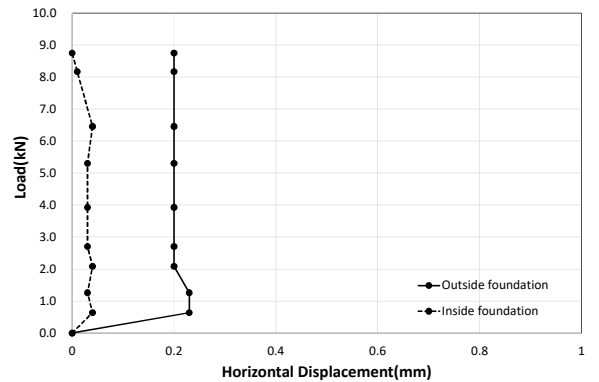


(b) 수평변위

[2-4] 그림 112. 적설하중 저항성능실험 시스템 하중-변위



(a) 수직변위

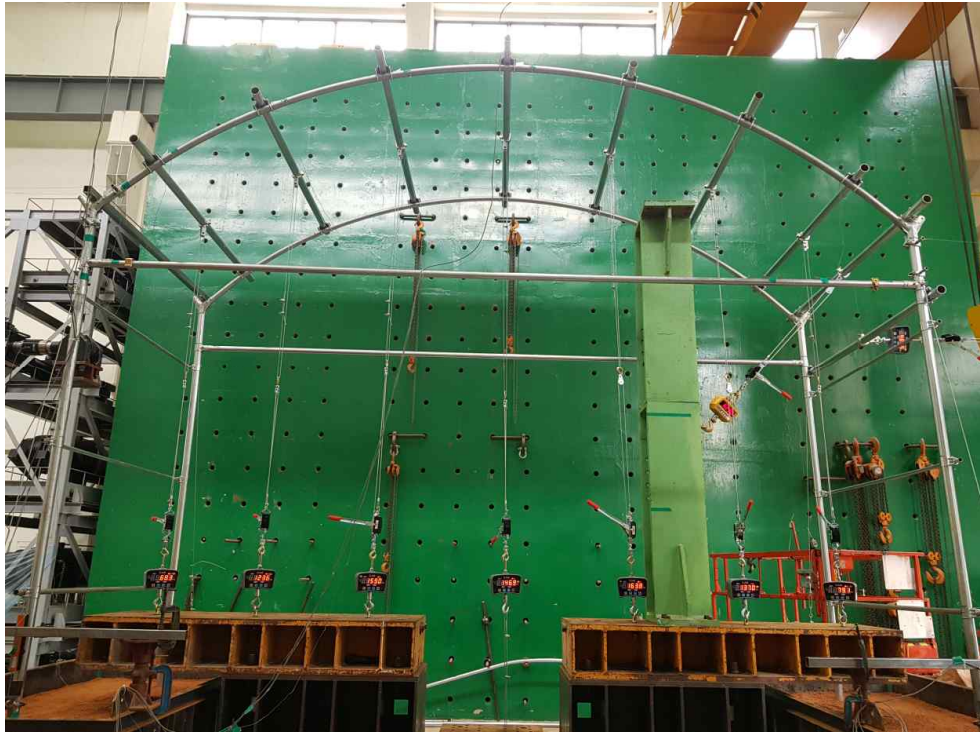


(b) 수평변위

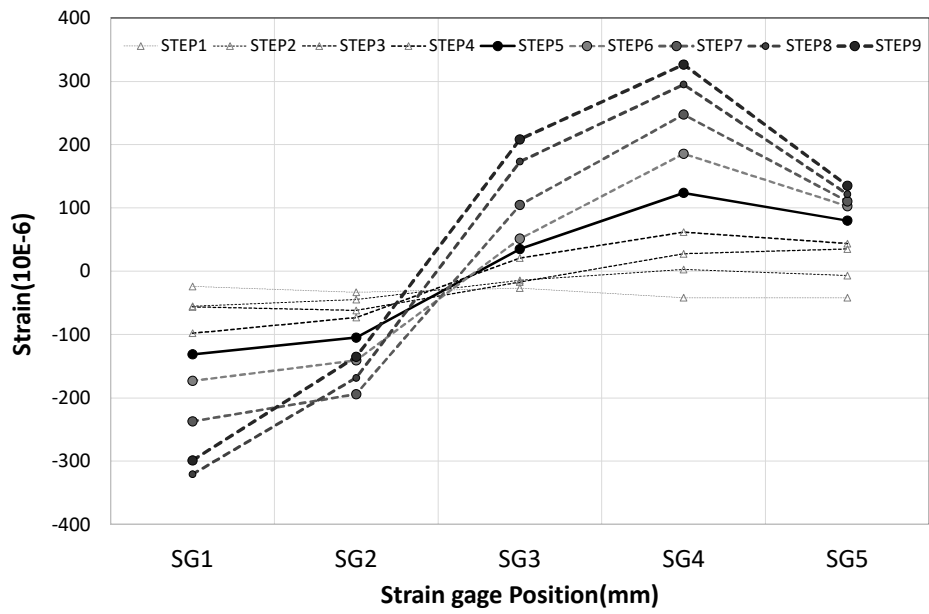
[2-4] 그림 113. 적설하중 저항성능실험 주각부 하중-변위

## ② 파괴양상

본 실험에서는 실물모형 감굴 비닐하우스에 현행 기준에서 제시하는 적설하중의 최대 2배까지 가력하였으나 아래 그림에 나타난 바와 같이 시스템의 붕괴는 발생하지 않았다. 전체적인 구조물의 변형형상은 아래 그림의 위치별 서까래 변형률에 의해 추정이 가능하다. 그림에서 변형률계는 모두 서까래 상단에 부착하였다. 그림의 변형률 분포에서 지붕 서까래 중앙부 SG1 위치의 변형률은 음의 값으로 증가하고, 단부로 갈수록 양의 값으로 증가한다. 즉, 중앙부는 적설하중에 의해 상단에 압축이 발생하며, 단부는 상단에 인장이 발생하므로 'M'자형 파괴양상을 나타내고 있다. 또한, 최외곽 SG5의 변형률은 SG4에 비하여 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 서까래와 기둥의 접합부가 회전에 일부 구속효과를 갖는 것으로 판단된다.



[2-4] 그림 114. 적설하중 저항성능실험 최대하중시 변형형상



[2-4] 그림 115. 적설하중 저항성능실험 서까래 변형률 분포

## (5) 감굴 비닐하우스 풍하중 저항성능 실험

### (가) 실험 계획

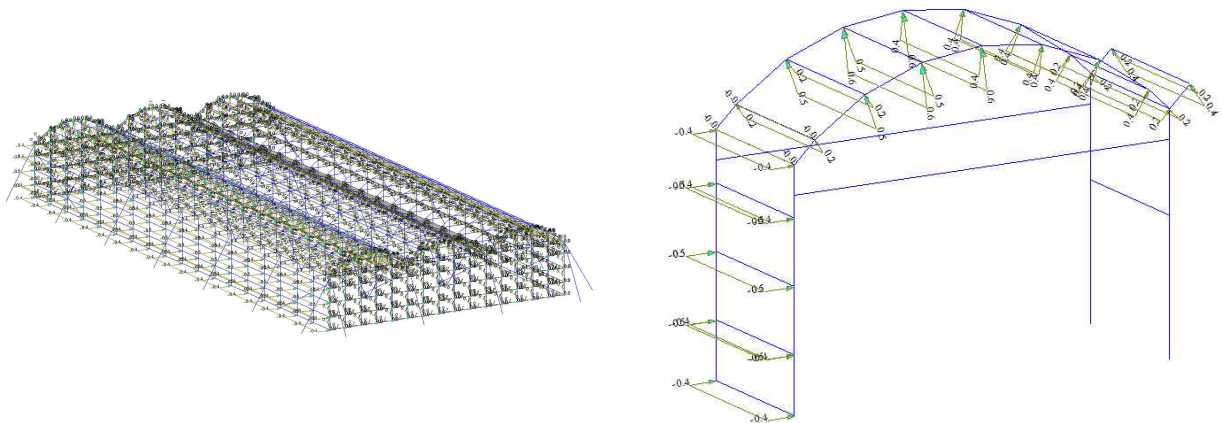
#### ① 실험체

감굴 비닐하우스의 풍하중 저항성능 실험은 적설하중 저항성능 실험체와 동일한 실물모형 실험체로 폭×높이(지표)×길이 가 5500×4500×2000이며, 모든 파이프, 조립구의 제원은 내재해 규격과 동일하다. 다만, 풍하중을 가력하기 위한 지붕 가로대 및 측면 가로대의 규격은 과도한 휨변형을 방지하기 위하여  $\phi 60.5 \times 3.65T$  제품으로 변경하였다. 온실 구조는 기초구조의 변형, 회전 등이 전체 시스템에 미치는 영향이 크므로 실제 감굴 비닐하우스의 기초규격 및 시공조건을 고려하였다. 본 실험에서는 모든 실험 이후 기초부의 지반이 교란되는 영향을 제거하기 위하여 기초부의 흙을 제거하고 층별로 다짐을 재수행하면서 시공하였다.

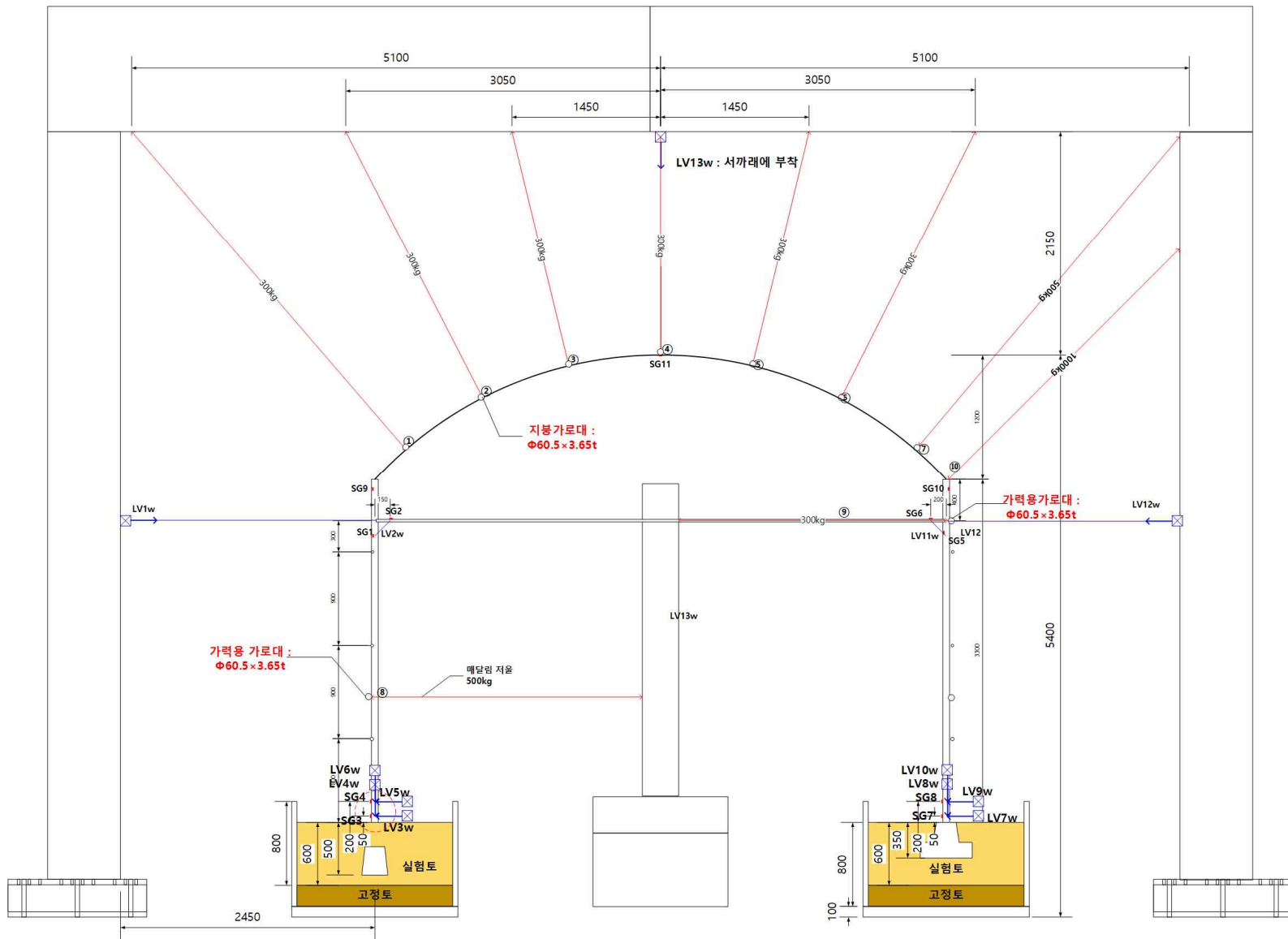
#### ② 가력 및 측정

감굴 비닐하우스의 풍하중은 비닐에 작용하는 분포하중이 측면 가로대 및 지붕 가로대를 통하여 서까래, 기둥으로 전달된다. 본 실험에서는 구조해석을 통하여 가로대에 전달되는 하중을 산정하고, 가로대 집중하중으로 변환하여 가력하였다.

구조해석에 적용된 모델은 아래 그림에 나타난 바와 같이 3연동 감굴 비닐하우스를 대상으로 하였으며, 본 실험체는 전체 연동 모델에서 측면 1개 스펠을 대상으로 하므로 해당 부분에 작용하는 하중을 고려하였다. 해석모델에서 풍하중은 분포하중으로 고려되지만 실제 실험에서는 가로대에 집중하중을 가력하여야 하므로 해석에서 가로대에 발생하는 모멘트와 동일 모멘트가 발생하는 집중하중을 구하여 가력계획을 수립하였다.



[2-4] 그림 116. 구조해석에 의한 감굴 비닐하우스 풍하중 산정



[2-4] 그림 117. 구조해석에 의한 감굴 비닐하우스 적설하중 산정



실물모형 감귤 비닐하우스의 풍하중 저항실험체의 가력상황은 위 그림에 나타난 바와 같다. 현행 설계기준의 풍하중 산정기준에 따라 측면 풍하중 및 서까래 발생하는 부압으로부터 각 가로대 위치별 하중을 산정하였으며, 연동구조의 인접한 스펠에서 작용하는 서까래, 중방에 작용하는 반력을 해석모델로부터 구하고 하중단계별 작용하는 반력을 서까래, 중방 접합부에 작용 각도를 고려하여 재하하였다. 그림에서 풍하중에 의한 정압 및 부압은 P1~P8이며, 인접 스펠에서 전달되는 중방의 반력은 P9, 서까래에 의해 전달되는 하중은 P10이다. 지붕 가로대에 가력하는 풍하중은 서까래의 법선방향으로 재하하도록 하였다. 풍하중에 의해 지붕 가로대에 작용하는 하중 및 인접 스펠의 반력은 각 지점에 와이어를 연결하고 핸드파워플러를 이용하여 가력하였으며, 가력하중을 측정하기 위하여 디지털 매달림 저울을 설치하였다.

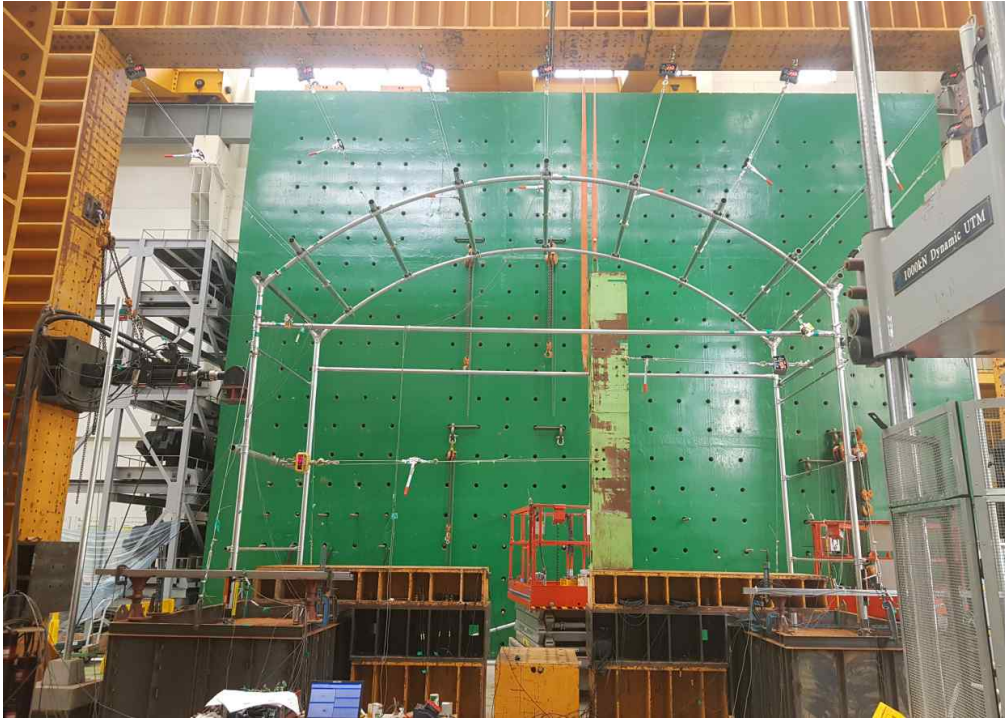
구조해석으로부터 산정한 각 위치별 풍하중 가력계획은 표와 같으며, 실제 실험에서는 수동 가력장치인 핸드파워플러가 정밀한 재하 조절이 안되는 조건으로 전체 하중을 유사하게 조정하였다. 이에 따른 실제 실험 가력조건은 아래 표와 같다.

[2-4] 표 53. 풍하중 재하 계획

Step \ No.	대상 프레임 풍하중								연동 반력	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1	0.10	0.17	0.26	0.24	0.19	0.19	0.14	1.07	0.40	-0.30
2	0.20	0.35	0.52	0.47	0.37	0.37	0.27	2.15	1.00	-1.00
3	0.30	0.52	0.78	0.71	0.56	0.56	0.41	3.22	1.60	-1.80
4	0.40	0.70	1.04	0.94	0.75	0.74	0.55	4.30	2.30	-2.50
5	0.50	0.87	1.30	1.18	0.93	0.93	0.68	5.37	2.90	-3.20
6	0.60	1.04	1.57	1.42	1.12	1.12	0.82	6.45	3.60	-3.90
7	0.70	1.22	1.83	1.65	1.30	1.30	0.96	7.52	4.20	-4.70
8	0.80	1.39	2.09	1.89	1.49	1.49	1.09	8.59	4.90	-5.40
9	0.90	1.56	2.35	2.12	1.68	1.68	1.23	9.67	5.50	-6.10
10	1.00	1.74	2.61	2.36	1.86	1.86	1.37	10.74	6.20	-7.00

[2-4] 표 54. 풍하중 실험 가력

Step \ No.	대상 프레임 풍하중								연동 반력	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1	10.2	27.1	40.6	42.6	29.4	20.3	12.6	117	76	23.2
2	30.4	39	59.1	53.3	40.4	34.5	20.4	178.5	120.2	70.4
3	46.7	67.7	100.8	101.2	79	44.5	30.8	253.5	201.4	165.8
4	63.9	81.8	125.8	120.2	77.5	71.6	36.4	368	281.8	210.2
5	81.3	98.7	148.6	112.9	134	70.8	37.8	495	365	251
6	111.4	117.7	160.6	168.2	118.4	103.4	53.6	593	442.6	307.5
7	149.8	137	198	162.6	156.9	120.7	52.4	639	501	415.6

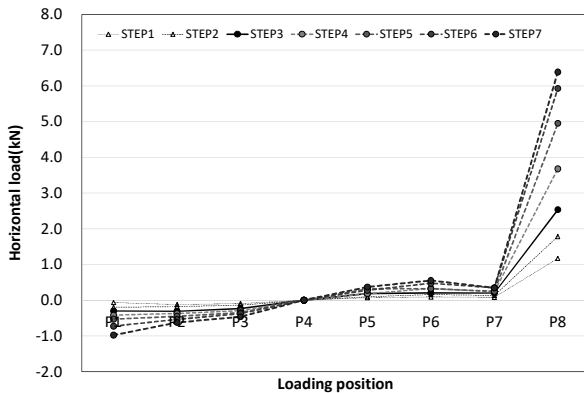


[2-4] 그림 118. 풍하중 저항성능 실험체 설치상황

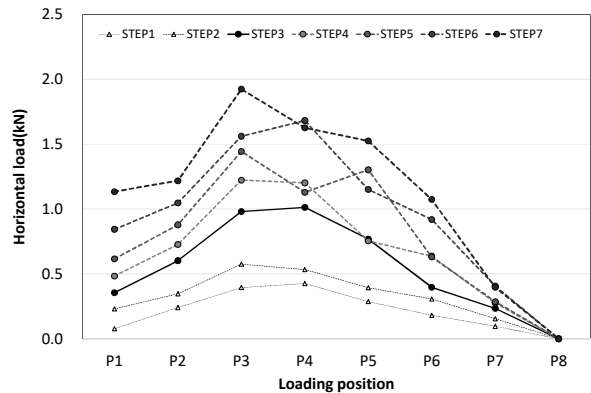
## (나) 실험결과 및 분석

### ① 하중-변위 관계

감귤 비닐하우스의 풍하중에 대한 저항성능을 검증하기 위하여 지붕 가로대 위치별로 단계별 하중을 가력하였다. 풍하중에 의한 부압은 감귤 비닐하우스의 서까래 법선 방향으로 작용하므로 이를 수평방향 하중성분과 수직방향 하중성분으로 구분하여 나타내면 이레 그림과 같다. 수평방향 하중성분은 풍하중에 의한 정압이 작용하는 측면 P8 위치가 가장 크게 나타며, 수직방향 하중성분은 직각방향 수평하중이 적용되지 않으므로 그림 119(b)와 같이 나타난다. 풍하중에 의한 수평방향 및 수직방향 하중성분을 계산하면 아래 표와 같다.



(a) 수평성분 하중



(b) 수직성분 하중

[2-4] 그림 119. 풍하중 가력점 위치별 하중분포

[2-4] 표 55. 풍하중 실험 수평방향 하중성분

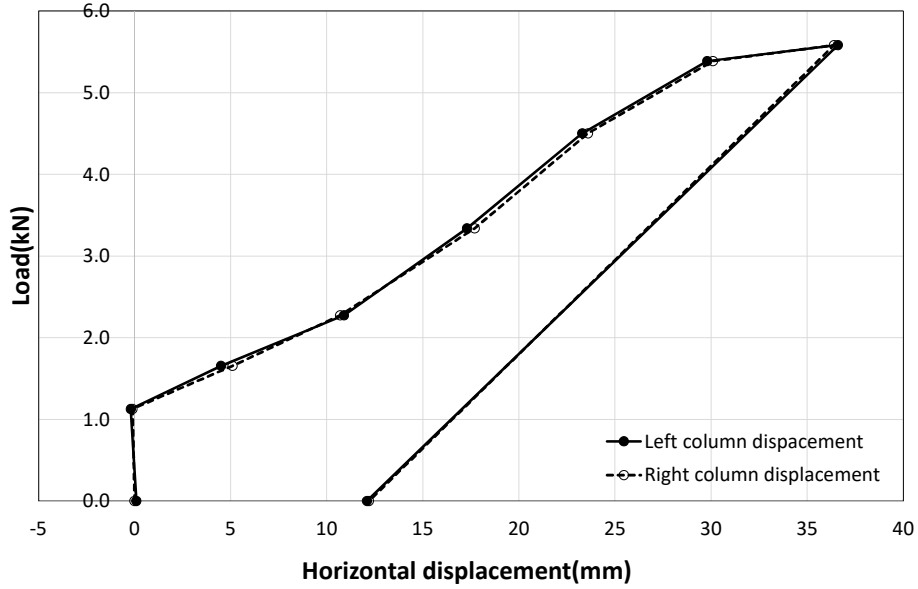
Step \ No.	대상 프레임 풍하중								합계
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
1	-0.067	-0.124	-0.095	0.000	0.069	0.093	0.082	1.170	1.128
2	-0.199	-0.178	-0.139	0.000	0.095	0.158	0.133	1.785	1.655
3	-0.305	-0.310	-0.237	0.000	0.185	0.203	0.201	2.535	2.274
4	-0.417	-0.374	-0.295	0.000	0.182	0.327	0.238	3.680	3.340
5	-0.531	-0.451	-0.349	0.000	0.315	0.324	0.247	4.950	4.504
6	-0.728	-0.538	-0.377	0.000	0.278	0.473	0.350	5.930	5.388
7	-0.979	-0.626	-0.465	0.000	0.368	0.552	0.342	6.390	5.583

[2-4] 표 56. 풍하중 실험 수직방향 하중성분

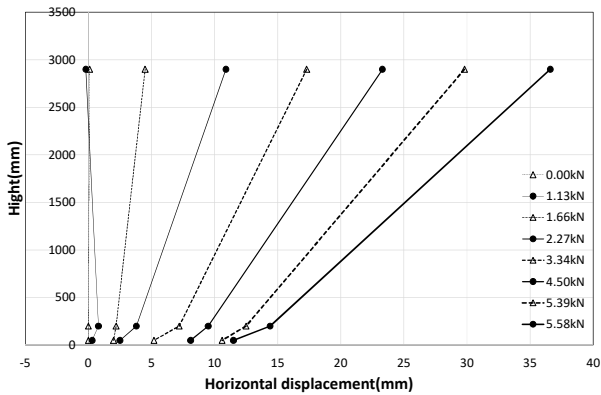
Step \ No.	대상 프레임 풍하중								합계
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
1	0.077	0.241	0.395	0.426	0.286	0.181	0.095	0.000	1.701
2	0.230	0.347	0.574	0.533	0.393	0.307	0.154	0.000	2.538
3	0.354	0.602	0.980	1.012	0.768	0.396	0.233	0.000	4.344
4	0.484	0.728	1.223	1.202	0.753	0.637	0.276	0.000	5.302
5	0.615	0.878	1.444	1.129	1.303	0.630	0.286	0.000	6.285
6	0.843	1.047	1.561	1.682	1.151	0.920	0.406	0.000	7.610
7	1.134	1.218	1.925	1.626	1.525	1.073	0.397	0.000	8.898

실물모형 실험체에 작용하는 풍하중의 정압 및 부압에 해당하는 P1~P8까지의 수평방향 하중성분합에 대한 좌우측 기둥 상단의 LV1 및 LV12 변위 관계를 나타내면 아래 그림과 같다. 그림에서 수평변위의 음의 값은 실물모형 실험체의 좌측 방향으로 변형되는 변위를 나타낸다. 따라서 감굴 비닐하우스에 측면 풍하중 작용시 측면기둥 및 내부기둥 모두 내측면으로 거의 동일한 변형이 발생하는 것으로 나타났다.

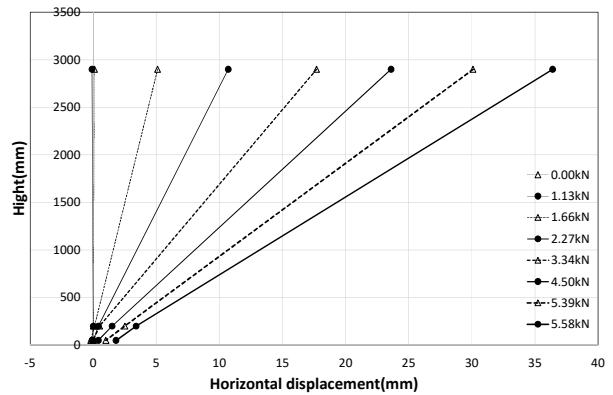
그림 121는 감굴 비닐하우스에 풍하중이 작용할 때 기둥 상단부터 주각부까지의 변위를 나타낸 것이다. 풍하중 정압이 직접적으로 작용하는 측면기둥은 내부기둥에 비하여 주각부의 변위가 증가하는 것으로 나타났으며, 전반적으로 선형분포를 나타내고 있다.



[2-4] 그림 120. 풍하중 저항성능실험 하중-변위



(a) 측면기둥 수평변위



(b) 내부기둥 수평변위

[2-4] 그림 121. 풍하중 저항성능실험 기둥 하중-변위

## ② 파괴양상

본 실험에서는 실물모형 감귤 비닐하우스에 대해 현행 기준에서 제시하는 풍하중의 최대 2배까지 가력하였으나 아래 그림에 나타난 바와 같이 시스템의 붕괴는 발생하지 않았다. 최대하중 시점에서 그림에서 나타난 바와 같이 주각부가 수평방향으로 이동한 것을 확인할 수 있다.



[2-4] 그림 122. 풍하중 저항성능실험 최대하중시 변형형상



(a) 측면기둥 주각부 상태

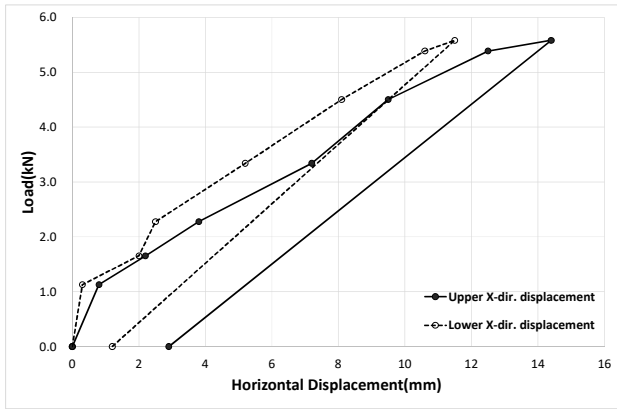


(b) 내부기둥 주각부 상태

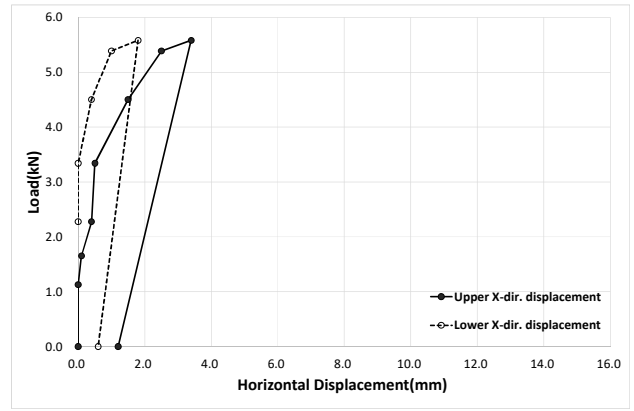
[2-4] 그림 123. 풍하중 위치별 주각부 변형형상

### ③ 주각부 변형 특성

감귤 비닐하우스의 실물모형 실험체의 풍하중에 대한 주각부 하중-변위 관계를 나타내면 아래 그림과 같다. 주각부의 수평변위는 내부기둥에 비하여 측면기둥의 변위가 증가하는 것으로 나타났다. 기초의 수평저항성능 실험에서 설명한 바와 같이 측면기초는 내부기초에 비하여 기초판 하부와 지반의 접촉면적이 감소하여 침하량이 증가하며, 이로 인해 회전강성이 내부기초에 비하여 작기 때문이다. 즉, 회전강성이 상대적으로 낮은 측면기초는 동일하중에서 내부기초에 비하여 수평변위가 증가하게 된다.

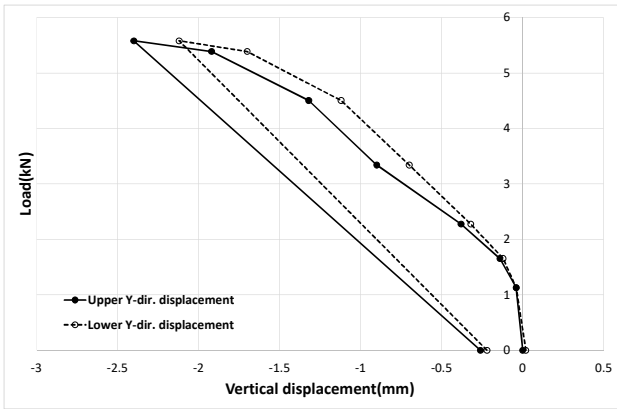


(a) 측면기둥

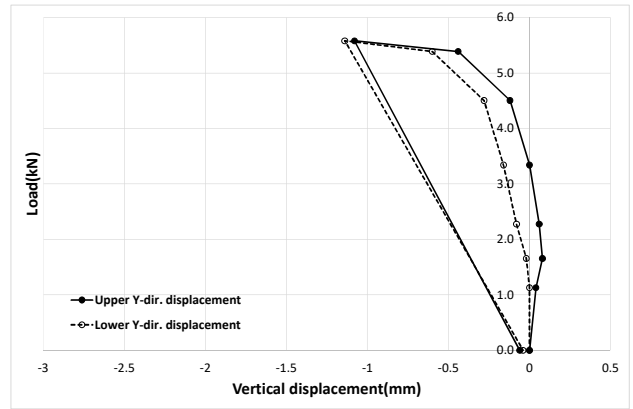


(b) 내부기둥

[2-4] 그림 124. 풍하중 저항성능실험 주각부 수평변위

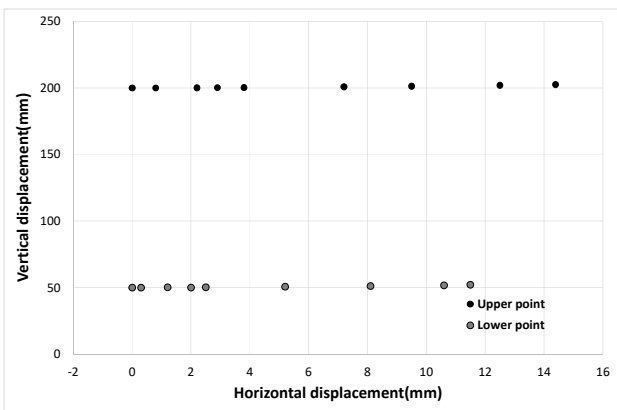


(a) 측면기둥

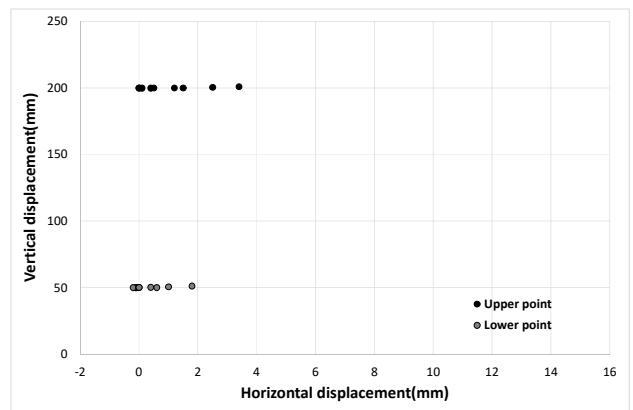


(b) 내부기둥

[2-4] 그림 125. 풍하중 저항성능실험 주각부 수직변위



(a) 측면기둥



(b) 내부기둥

[2-4] 그림 126. 풍하중 저항성능실험 주각부 수직/수평변위 이력

## (6) 감귤비닐하우스 동특성 분석

### (가) 실험계획

#### ① 실험체

온실구조에 대한 기존의 연구들은 정적하중 재하에 따른 붕괴 거동 및 그에 따른 구조보강에 집중되어 있다. 그러나 실제 온실구조는 단순 정적하중에 의해서만 붕괴하는 것이 아니며, 비, 바람을 동반한 실제 피해환경을 고려하여 단순 정적하중 재하시의 거동이 아닌 온실구조의 동특성 파악이 필요하다. 이에 본 실험에서는 감귤 비닐하우스를 대상으로 고유진동수, 모드형상 등의 구조 동특성을 파악하고, 감귤 비닐하우스의 접합부 및 주각부 경계조건을 추정하기 위한 기초자료로 활용하기 위하여 실험을 실시하였다.

본 실험은 앞서 수행한 감귤 비닐하우스 풍하중 실험체를 대상으로 하며, 풍하중 가력 전·후의 동특성 변화를 계측하였다.



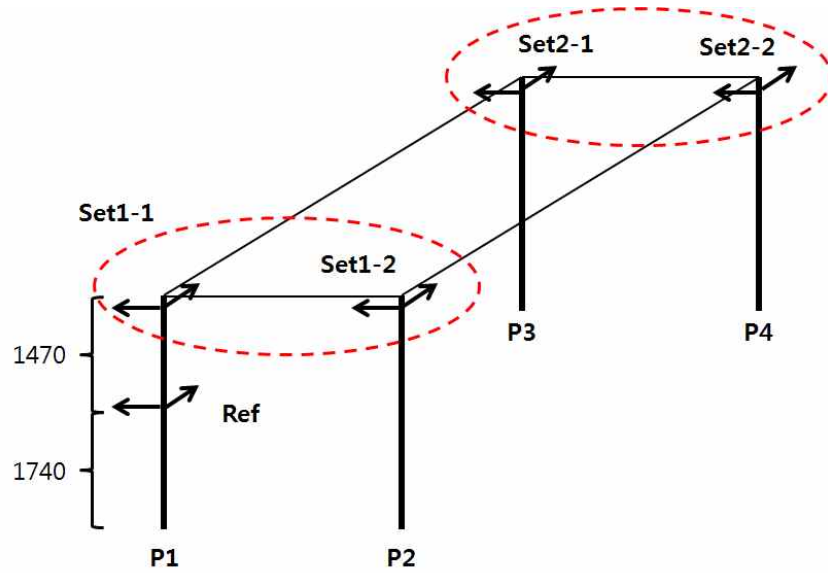
[2-4] 그림 127. 감귤 비닐하우스 실물모형 동특성 실험

#### ② 상시진동 시험 가력 및 측정 계획

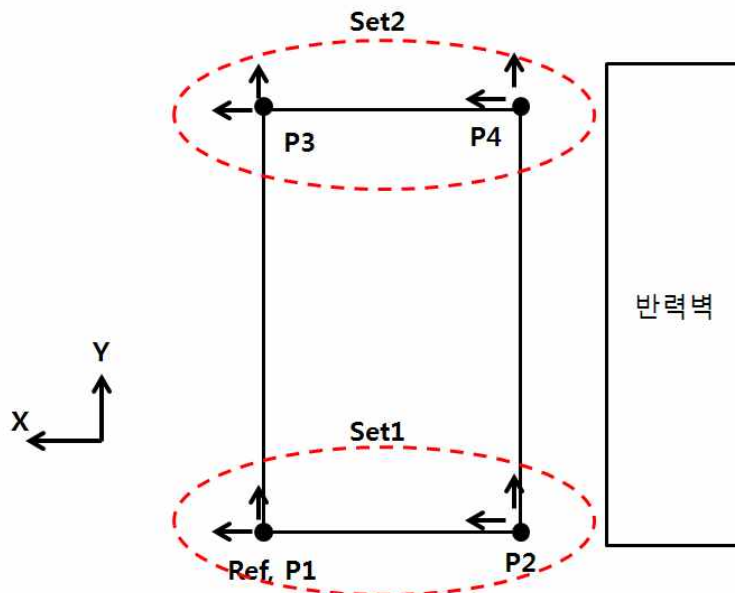
본 실험에서는 감귤 비닐하우스의 진동 시험을 수행함에 있어 아래 그림과 같이 진동 시험의 가속도센서 측정위치를 나타내었다. 상부의 아치구조는 구조의 간략화를 위해 표현하지 않았으며 실험의 원활한 진행을 위하여 2m 폭의 한축마다 가속도센서를 부착하여 시험을 수행하였다.

구조물의 가진은 고무망치 타격 가진과 구조물이 유연한 관계로 손으로 눌렀다가 텅겨내어

자유진동을 일으키는 방법을 사용하였으며 Sampling Frequency 200Hz로 각 Set당 약 20여분 이상의 가속도 신호를 취득하였다. 가속도 신호간 연관성을 위해 Ch.0을 reference로 두고 3개의 가속도계를 위치를 변화시키며 총 3회 계측을 실시하였다. reference 위치는 다양한 모드형태 중에서 대부분 진폭이 나타나는 위치를 고려하여 선정하였다.



[2-4] 그림 128. 가속도계 위치 및 실험 순서(입체)



[2-4] 그림 129. 가속도계 위치 및 실험 순서(평면)





(a) Reference 가속도계 부착



(b) P2 지점 기둥 최상단 가속도계 부착

[2-4] 그림 130. 가속도계 부착광경

### ③ 계측 및 분석 프로그램

#### ㉞ 계측 시스템

진동계측을 위하여 가속도계는 10V/g의 민감도를 가지는 Piezo type 가속도계를 사용하였으며, 데이터 로거는 가속도계 전용 모듈을 사용하였다. 계측 프로그램은 200Hz의 수집빈도로 각 20분 이상 2set의 데이터를 측정하되 실험 전후로 하여 2회 계측을 수행하였다. 측정 프로그램은 ref, set1, set2의 3 point에 대한 각각의 x, y 방향에 대하여 계측할 수 있도록 총 6개의 채널로 구성되어 있다.



[2-4] 그림 131. 진동 가속도 계측광경

㊦ 분석 프로그램

데이터 분석 프로그램은 ANPSD, Coherence, Phase 및 Transfer function 등 주요 함수를 자동 연산 후 peak picking에 의하여 고유진동수와 모드백터를 연산하는 분석 프로그램으로 구성된다.



[2-4] 그림 132. 고유진동수 및 모드분석을 위한 주요함수 연산 프로그램

(나) 고유진동수 및 모드형상 결과

2set로 구성되어 20분씩 계측된 가속도응답을 분석한 결과는 다음과 같다.

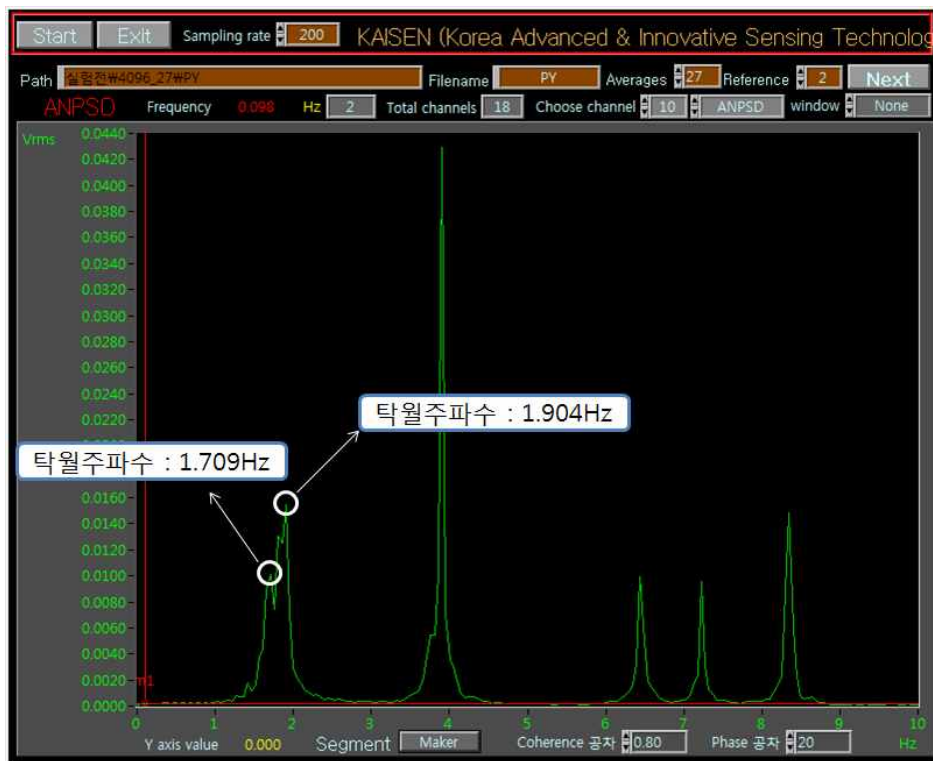
① 정적재하 실험 전 고유진동수

ANPSD(Averaged Normalized Power Spectral Density) 결과 중 각 채널별로 고유진동수 값을 아래 표에 나타내었다. 여기서 1차 mode의 경우 1.709~1.904로 편차가 비교적 크게 나타났다. 이는 ANPSD에 표기한 것처럼 1차 탁월주파수가 뚜렷하지 않고 약 1.7~1.9Hz 에 걸쳐 나타났다.

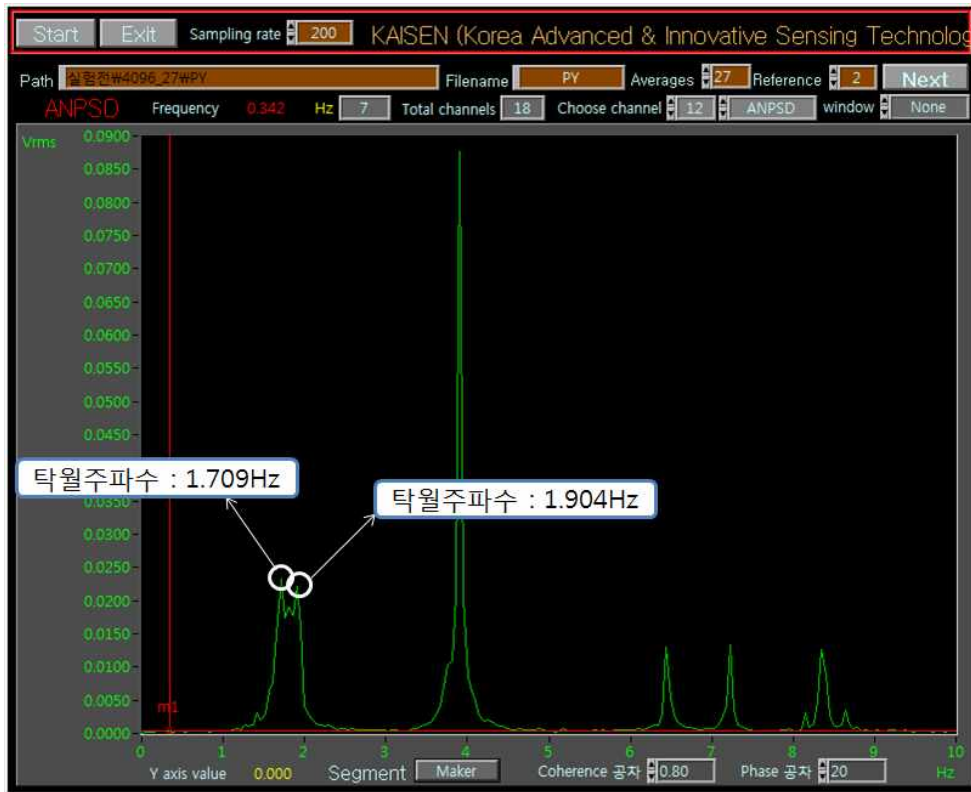
[2-4] 표 57. 정적재하 실험 전 ANPSD 분석에 따른 고유진동수

구분		1차 mode	2차 mode	3차 mode	
				X	Y
가속도 센서	Ref 1	1.709~1.904	2.49	3.955	3.955
	Set 1-1	1.709~1.904	2.49	3.906	3.955
	Set 1-2	1.709~1.904	2.49	3.906	3.955
	Ref 2	1.709~1.904	2.588	3.906	3.906
	Set 2-1	1.709~1.904	2.588	3.906	3.906
	Set 2-2	1.709~1.904	2.588	3.906	3.906
AVR		1.800	2.539	3.922	

그림 135 같이 비교적 resonance가 뚜렷한 경우도 있지만 아래 그림 같이 비슷한 대역에서 peak가 겹치는 경우도 나타난다. 다양한 원인이 있겠지만 주변환경 요인 또는 경계조건의 불안정성 등이 원인이 될 수 있다.



[2-4] 그림 133. 실험전 1차 고유진동수(Y방향) - ref2



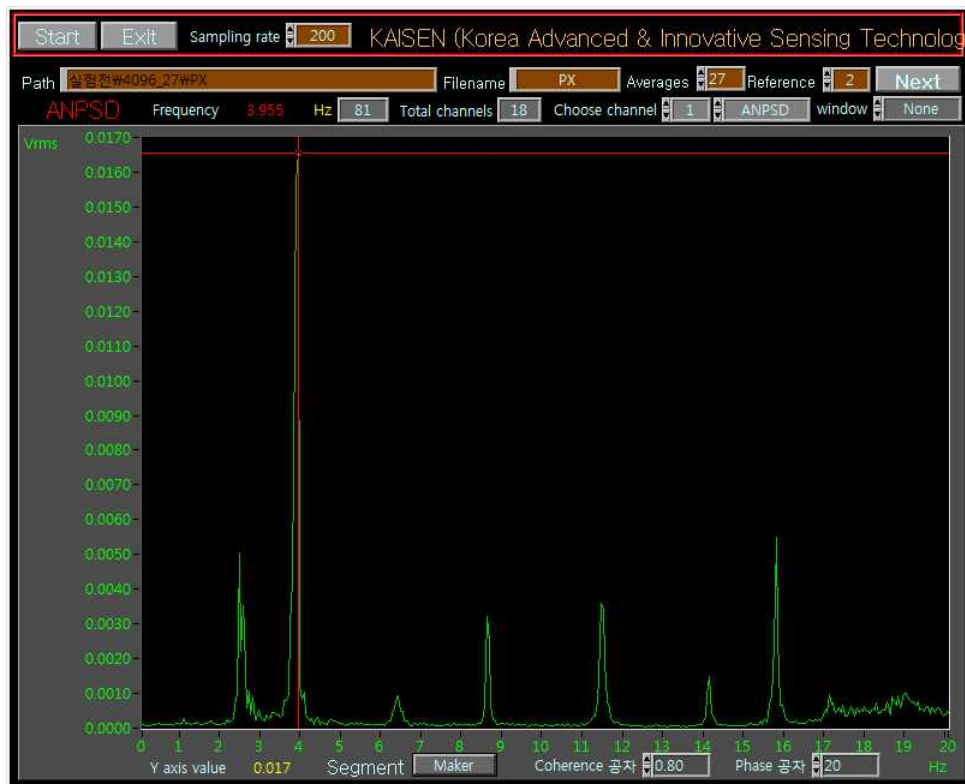
[2-4] 그림 134. 실험전 1차 고유진동수(Y방향) - set 2-2



[2-4] 그림 135. 실험전 1차 고유진동수(Y방향) - ref1



[2-4] 그림 136 실험전 2차 고유진동수(X방향)



[2-4] 그림 137. 실험전 3차 고유진동수(X방향)

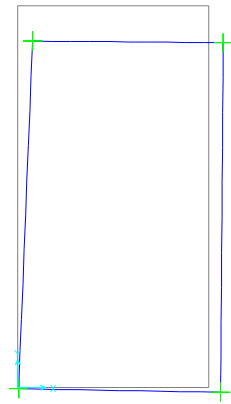
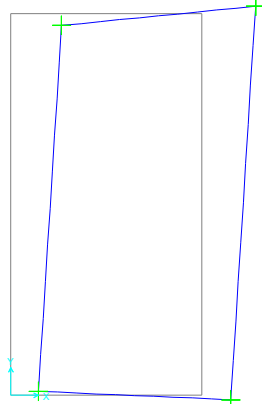
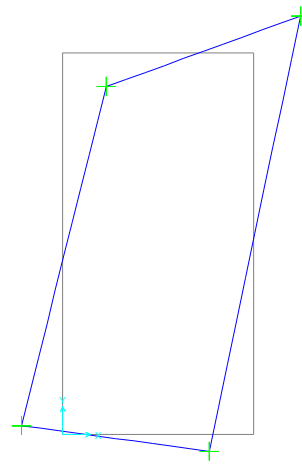


[2-4] 그림 138. 실험전 3차 고유진동수(Y방향)

② 풍하중 실험 전 Mode 형상 결과

앞절의 진동 분석 프로그램에서 reference 단위량 1 대비 각 채널별 phase 및 TF로 산출된 모달 벡터값을 이용한 모드형상을 다음 표에 나타내었다.

[2-4] 표 58. 풍하중 가력 전 Mode 형상 결과

구분	고유진동수 평균 (Hz)	mode	모드형상(평면)
1st	1.872	Y방향 병진	
2nd	2.539	X방향 병진	
3rd	3.922	Z축 회전	

③ 풍하중 실험 후 고유진동수

ANPSD(Averaged Normalized Power Spectral Density) 결과 중 각 채널별로 고유진동수 값을 아래 표에 나타내었다.

[2-4] 표 59. 풍하중 실험 후 ANPSD 분석에 따른 고유진동수

구분		1차 mode	2차 mode	3차 mode	
				X	Y
가속도 센서	Ref 1	1.758	2.539	3.809	3.809
	Set 1-1	1.758	2.539	3.809	3.857
	Set 1-2	1.758	2.539	3.809	3.857
	Ref 2	1.758	2.539	3.809	3.809
	Set 2-1	1.758	2.539	3.809	3.809
	Set 2-2	1.758	2.539	3.809	3.809
AVR		1.758	2.539	3.817	

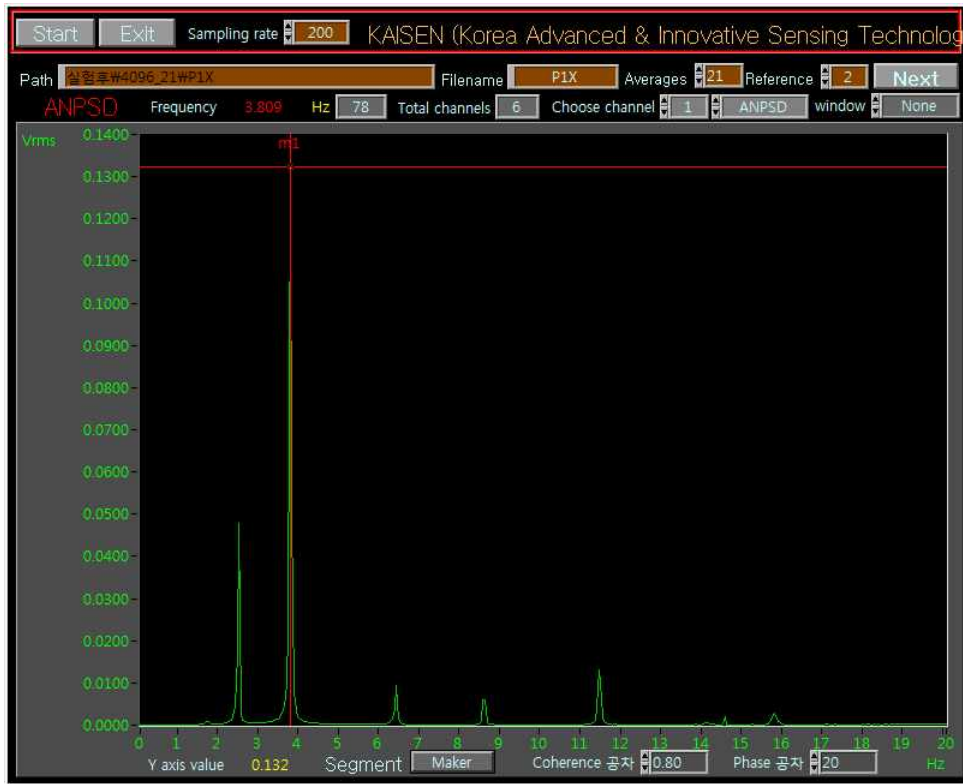


[2-4] 그림 139. 실험후 1차 고유진동수(Y방향)





[2-4] 그림 140. 실험후 2차 고유진동수(X방향)



[2-4] 그림 141. 실험후 3차 고유진동수(X방향)

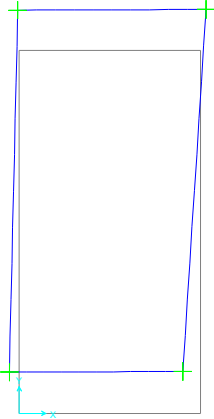
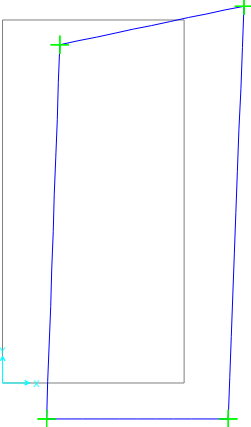
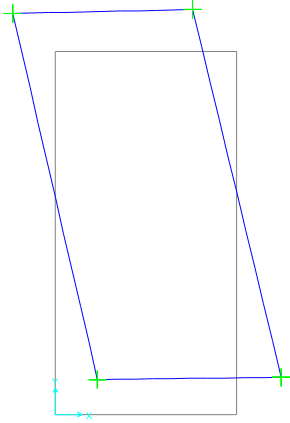


[2-4] 그림 142. 실험후 3차 고유진동수(Y방향)

#### ④ 풍하중 실험 후 Mode 형상 결과

앞절의 진동 분석 프로그램에서 reference 단위량 1 대비 각 채널별 phase 및 TF로 산출된 모달벡터값을 이용한 모드형상을 다음 표에 나타내었다.

[2-4] 표 60. 풍하중 실험 후 Mode 형상 결과

구분	고유진동수 평균 (Hz)	mode	모드형상(평면)
1st	1.758	Y방향 병진	
2nd	2.539	X방향 병진	
3rd	3.817	Z축 회전	

(다) 결과요약

① 실험 전 후 고유진동수 변화

앞서 분석된 정적재하 실험 전과 후의 주요 3가지 고유진동수 평균값을 아래 표에 정리하여 나타내었다. 비교결과 정적재하 실험 전보다 실험 후에 고유진동수가 동일하거나 감소하는 경향으로 나타났으나 구조변형과 같은 수준이 아닌 최대 0.11Hz 수준의 감소만을 보여 정적재하 실험에 의한 동특성에는 별 차이가 없는 것으로 판단된다.

[2-4] 표 61. 풍하중 실험 전후 평균고유진동수 결과 비교

구분	평균 고유진동수(Hz)		
	1차	2차	3차
풍하중 실험 전	1.800	2.539	3.922
풍하중 실험 후	1.758	2.539	3.817
증감량	0.042 감소	동일	0.105 감소
증감비율	2.3% 감소	동일	2.7% 감소

② 실험 전 후 고유진동수

또한 실험 전과 실험 후로 비교시 각 센서별 고유진동수 값의 편차가 실험전은 최대 0.1Hz 이상의 편차가 나온 반면 실험후의 경우는 1~2차의 경우 편차가 없는 안정적인 결과로 나타났다. 이 결과는 조립된 온실구조가 풍하중 실험으로 인해 전체 거동을 통해 체결장치가 안정화가 되어 실험전에 비해 상대적으로 편차가 적게 나타난 것으로 판단된다. 이것은 또한 풍하중 실험전 1차 모드에서 1.7~1.9Hz의 대역으로 나타난 점도 경계조건의 원인인 것으로 판단된다. 편차 결과는 다음 표에 나타내었다.

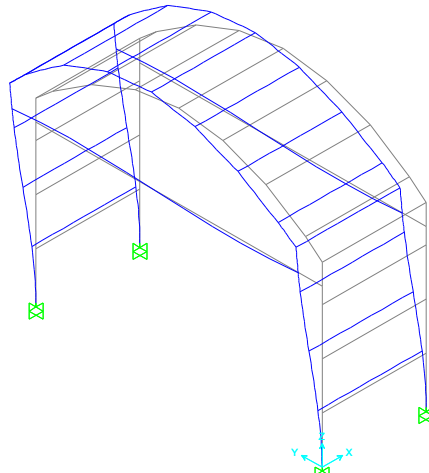
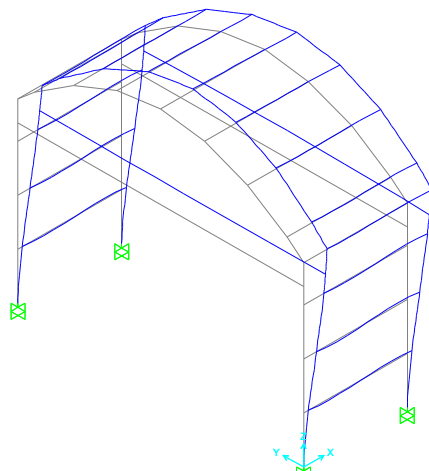
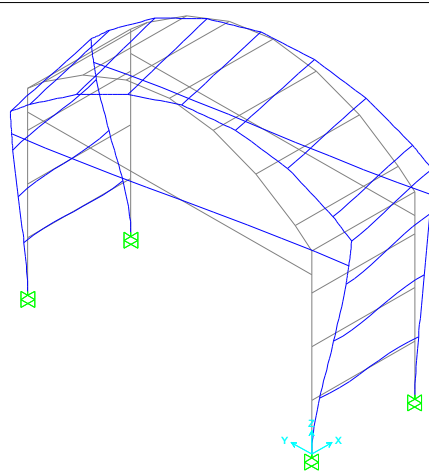
[2-4] 표 62. 풍하중 실험 전후 고유진동수 편차비교

구분		평균 고유진동수(Hz)		
		1차	2차	3차
정적재하 실험 전	최대	1.904	2.588	3.955
	최소	1.709	2.49	3.906
	평균	1.800	2.539	3.922
	최대편차	0.104	0.049	0.033
정적재하 실험 후	최대	1.758	2.539	3.857
	최소	1.758	2.539	3.809
	평균	1.758	2.539	3.817
	최대편차	0.000	0.000	0.040

### ③ 3차원 Mode shape

주요 고유진동수에서의 phase, Time Function, Coherence 등을 이용하여 산정한 모달벡터를 이용하여 3차원 Mode shape을 구성하였다. 고유진동수 값은 실험 후의 결과를 반영하였다.

[2-4] 표 63. 3차원 Mode 형상

구분	고유진동수 (Hz)	mode	모드형상(평면)
1st	1.758	Y방향 병진	
2nd	2.539	X방향 병진	
3rd	3.817	Z축 회전	

## 참고 문헌

- 1) 김민선, 최기선, & 이현지. (2017). 현장 다짐을 고려한 단동 온실 파이프 줄기초의 인발 및 수평저항성능에 관한 실험적 연구. 대한건축학회연합논문집, 19(6), 113-120.
- 2) 2014년도 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적 (농림축산식품부, 2015)
- 3) 염성현, 김승희, 이상봉, 김민영, & 김철수. (2010). 단동하우스에서의 보강지주 설치 효과. 시설원예·식물공장, 19(2), 63-69.
- 4) 김민선, 최기선, & 이현지. (2017). 현장 다짐을 고려한 단동 온실 파이프 줄기초의 인발 및 수평저항성능에 관한 실험적 연구. 대한건축학회연합논문집, 19(6), 113-120.
- 5) 연합뉴스
- 6) Lee, Swoo-Heon, Shin, Kyung-Jae. (2014). Slip Test of Pipe Connector for Greenhouse Frame. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 30(8), 9-17.
- 7) Koo, Hye Jin, Choi, Ki-Sun. (2016). A Study on Tensile Test of Crossing Pipe Clip for Boundary Conditions Analysis of Greenhouse Connections. Journal of the Architectural Institute of Korea conference, , 1519-1520.
- 8) Abdel-Jaber, M. S., Beale, R. G., Godley, M. H. R., & Abdel-Jaber, M. (2009). Rotational strength and stiffness of tubular scaffold connectors. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, 162(6), 391-403.
- 9) Godley M H R. (2013). Structural tests on Readylock transoms. Oxford Brookes University report OBU 404 for the National Access & Scaffolding Confederation
- 10) BSI (British Standards Institution), (2002), BS EN 12811-3 : Temporary works equipment, part 3: load testing, BSI, London, UK.
- 11) BSI (British Standards Institution), (2005), BS EN 74-1 : Couplers, spigot pins and baseplates for use in falseworkd and scaffolds. couplers for tubes. requirements and test procedures., BSI, London, UK.
- 12) CADS (Computer and Design Services), (2016), Minimum structural properties and test procedures for TG20 compliant prefabricated structural transom units, 4th edn, NASC, London, UK.
- 13) 구혜진, 최기선, & 광명근. (2016). 온실 접합부의 지점조건 분석을 위한 결속조리개 인장시험 연구. 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, 36(2), 1519-1520.
- 14) 김민선, 최기선, 유명찬, & 이현지. (2017). 단동 온실의 현장 다짐을 고려한 기초 파이프의 인발저항성능 실험. 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 29(1), 285-286.
- 15) 최만권, 윤성욱, 김하늘, 이시영, 유찬, & 윤용철. (2015). 단동 온실용 파이프 기초의 인발저항력 검토. 시설원예·식물공장, 24(2), 69-78.

- 16) 이봉국, 윤성욱, 최만권, 이시영, 문선동, 유찬, & 윤용철. (2014). 온실용 나선철항의 인발저항력 검토. 시설원예·식물공장, 23(2), 109-115.
- 17) 2016 원예특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서
- 18) 얇은기초, 한국지반공학회, 1997
- 19) 토질역학, 이상덕, 세론, 2008
- 20) 온실용 얇은기초의 인발저항력 검토, 윤성욱 외 6인, 시설원예식물공장, 2015
- 21) 간척지 적용 온실기초 설계 및 지반특성 연구, 국립농업과학원, 2015
- 22) A study on the uplift capacity of plane and corrugated pile foundations for pipe frame greenhouse, Cho, J. H., 1999
- 23) A experimental study on uplift capacity of cylindrical concrete foundation for pipe frame greenhouse, Kang, M. H., 1998
- 24) 줄걸이용 와이어로프의 사용에 관한 기술지침(KOSHA GUIDE M-81-2011), 안전보건공단, 2011

## 2-5. 주요연구내용 (제2협동)

### 2-5-1. 1차 년도

#### 가. 온실 구조 설계 프로그램의 UI 벤치마킹 분석

온실 구조 설계용 프로그램을 개발하기 위해 기존의 온실 구조 설계 프로그램 및 상용 구조해석 프로그램의 기능 및 특징에 대해 분석하였음. 본 연구에서는 기존의 프로그램들의 특징을 분석하여, 온실 구조 설계 프로그램에 필요한 주요 기능을 도출 하고, 전문가뿐만 아니라 비전문가(일반인)도 쉽게 사용 가능한 온실 전용 구조 프로그램을 개발하는 것을 목표로 하고 있음

#### (1) 상용 프로그램의 UI 분석

##### (가) midas Gen( 건축분야 범용 구조해석 및 최적 설계 시스템)

###### ① 프로그램 개요

midas Gen은 건축분야 범용 구조해석 및 최적 설계 시스템으로 복잡한 대형 구조물의 모델링, 해석 및 설계까지 가능한 프로그램임. 전문적인 해석 프로그램으로 다양한 분야에 쓰이고 있으며, 온실설계 시 구조해석용으로 많이 사용되기도 함. 전문 구조 해석 및 설계 프로그램으로써 내재해형 규격의 온실을 직접 설계가 가능함

###### ② 프로그램 주요 기능 및 특징

㉠ midas Gen은 전문 구조 해석 및 설계 프로그램으로써 내재해형 규격의 온실을 직접 설계가 가능함. 재료 및 단면설정, 골조모델링, 조건설정(지점, 하중 등), 구조 해석 및 결과 검토까지 진행 할 수 있는 프로그램으로써 전반적인 화면 구성은 다음과 같음

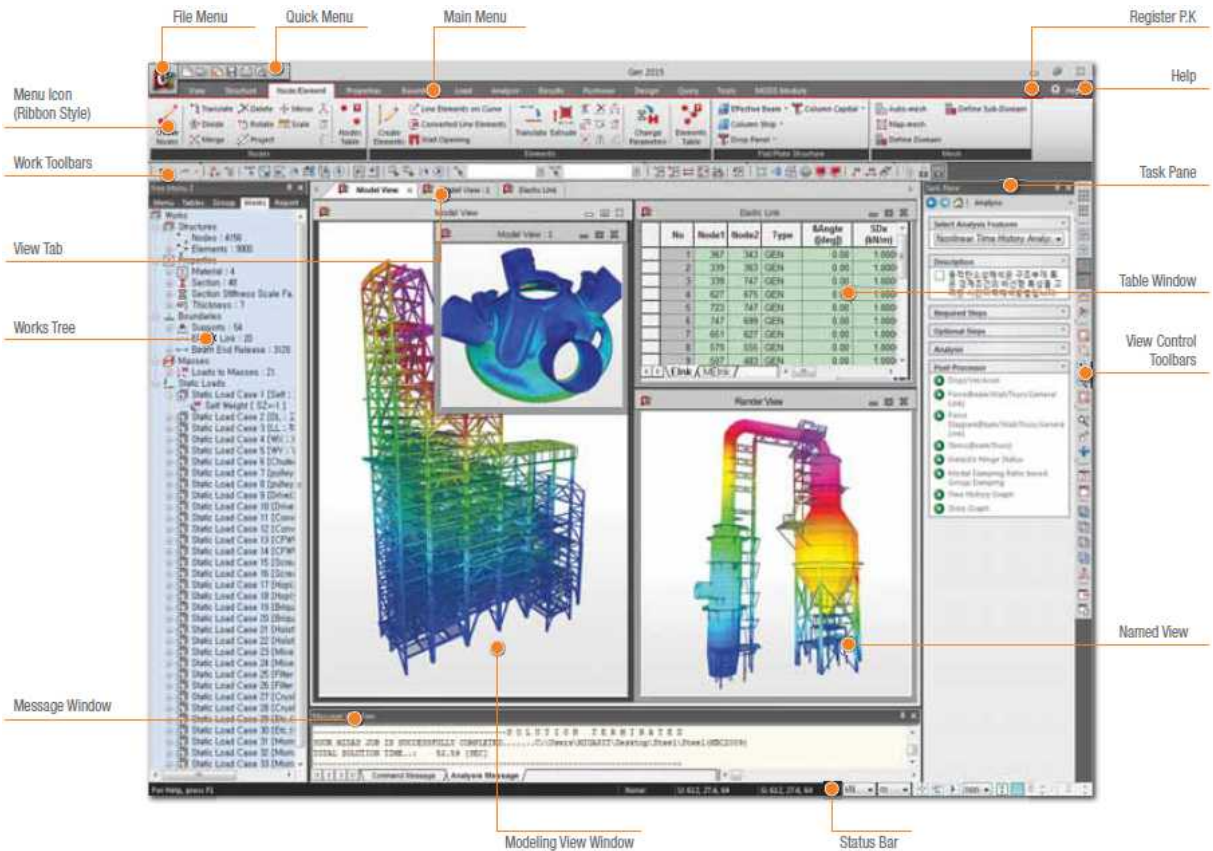
㉡ Main Menu: Gen의 운용에 필요한 모든 기능의 지시명령어와 단축키를 내장하고 있음. 특히 지식기반의 절점, 요소입력 및 자동생성 기능과 선택기능, 화면처리 기능 등 대규모의 구조물을 효율적으로 모델링할 수 있도록 환경을 제공

㉢ Tree Menu: 모델의 입력부터 해석, 설계 계산서 작성에 이르는 일련의 과정을 계층구조로 체계화하여 효과적인 작업을 수행할 수 있도록 필요한 절차를 안내하고 관련 대화 상자를 제공

㉣ Model Window: 편리하고 다양한 모델 처리기능과 선택과 선별 기능, Undo, Redo 기능을 이용하여 모델링을 편하게 할 수 있는 환경 제공

㉤ Status Bar: 작업효율을 높이기 위하여 각종 좌표계 관련사항과 단위계 변경기능, Grid제어기능, Snap 상태 조정기능 등을 제공





[2-5] 그림 1. midas Gen 전체 화면 구성

전체적인 화면 구성은 위의 그림과 같으며 세부 기능은 다음과 같음

[2-5] 표 1. 프로그램 상세 기능

구분	세부기능
모델 데이터 입력	Structure Wizard(표준 구조 형식 제공) 재질 및 단면 입력 경계조건 입력
하중 데이터 입력	각종 하중조건 입력(절점하중, 요소하중, 풍하중 등)
해석기능	요소 라이브러리 제공(다양한 유한요소를 내장하고 있어 각종 객체에 대한 해석을 효과적으로 할 수 있음) 다양한 해석 기능 제공(정적해석, 모드해석, 비선형 시간이력 해석, 응답스펙트럼해석, 특수해석 등)
해석결과 확인	그래픽 결과 출력 테이블 결과 출력

해당프로그램의 경우 온실 설계에 특화되어 있는 프로그램이기보다 범용 구조해석용 프로그램에 가까운 프로그램임. 따라서 일반사용자에게는 적합하지 않으나 전문가가 사용하여 구조해석 및 설계를 할 경우 신뢰도가 높은 결과 값이 나올 것으로 예상되며, 내재해형 온실의 설계에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료됨

[2-5] 표 2. 프로그램의 특징 및 장·단점(midas Gen)

구분	내용
특징 및 장점	구조 해석 및 설계에 특화된 범용 제품으로 다양한 방법의 해석 기능을 제공함으로써 신뢰도 높은 결과 값을 얻을 수 있음 사용자가 원하는 형태의 다양한 구조로 모델링과 해석이 가능함 다양한 인터페이스를 갖추고 있어 사용하기 편리함 재료, 단면설정, 조건설정 등의 조작성을 사용자가 원하는 대로 할 수 있어 다양한 형태 및 조건으로 구조성능 테스트 및 설계를 진행 할 수 있음
단점	내재해형 온실 설계에 특화된 프로그램이 아니다 보니, 일반사용자가 사용하기는 어려운 점이 있음(설계프로세스, 결과 분석 내용 등) 많은 기능들을 탑재하고 있어 사용자로 하여금 많은 활용 폭을 제공하고 있으나 초보 또는 일반 사용자의 경우 혼란이 생길 우려가 있음 사용하는 용어가 공학용 용어로 되어있어 전문용어를 모르는 경우 사용상 어려운 점이 있음

(나) GHModeler(단동 비닐하우스 설계지원 프로그램)

① 프로그램 개요

GHModeler는 농촌진흥청에서 공급하는 단동 비닐하우스 설계 지원 프로그램으로써 단동 비닐하우스를 손쉽게 그려보고 온실 구조에 대한 다양한 정보를 확인 할 수 있는 프로그램임. 자연재해가 발생했을 때 보상받을 수 있는 내재해형 규격을 직접 설계 할 수 있는 프로그램은 아니지만, 농가에서는 단동 비닐하우스에 대한 정보를 쉽게 얻을 수 있고 형태를 파악하는 도구로 사용가능 할 것으로 판단됨.

② 프로그램 주요 기능 및 특징

GHModeler는 단동비닐하우스 모델의 형상 및 치수 설정과 부재의 단면 및 재료 성질, 지지상태, 하중조건 등의 특징은 화면상에 가시화 되는 모델의 형상을 보면서 직접적으로 수치를 입력할 수 있으며, 전반적인 화면 구성은 다음과 같음

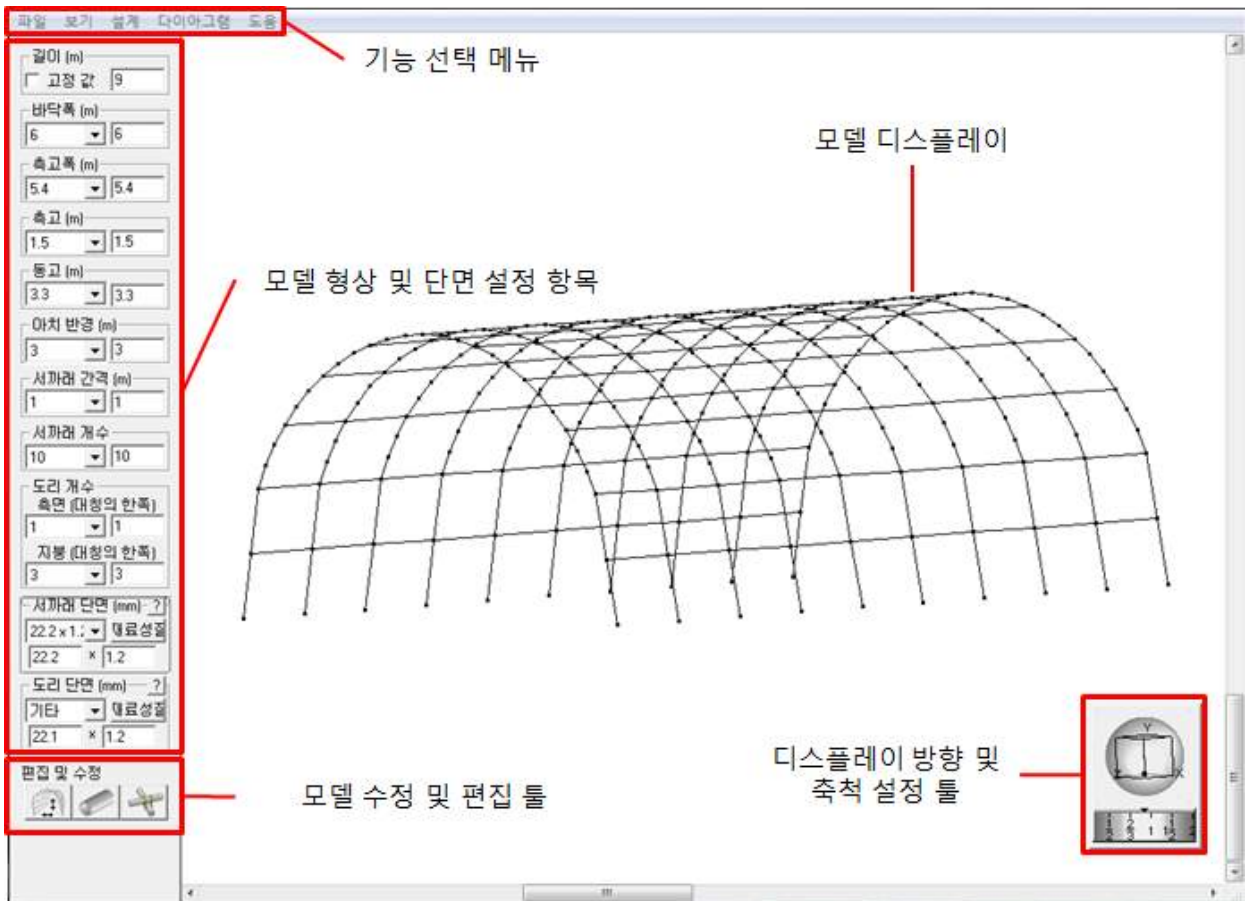
㉞ 기능 선택 메뉴: 화면 위쪽에 있는 풀 다운 메뉴이며, 파일의 열기, 저장, 해석 결과 표시 등의 명령을 선택

㉟ 모델 형상 및 단면 설정 항목: 모델을 구성하는 서까래 및 도리의 간격을 변경하고, 단면을 수정하고, 부재의 성질을 부여하고, 부재의 연결방식을 설정 하는 툴

㊱ 모델 수정 및 편집 툴: 모델을 구성하는 서까래 및 도리의 간격을 변경하고, 단면을 수정하고, 부재의 성질을 부여하고, 부재의 연결방식을 설정하는 툴

㊲ 디스플레이 윈도우: 모델의 형상 및 치수를 그래픽으로 표시

㊳ 디스플레이 조정 툴: 모델 표시의 시선 및 축척을 조정



[2-5] 그림 2. GHModeler 전체 화면 구성

전체적인 화면 구성의 위의 그림과 같으며 세부 기능은 다음과 같음

[2-5] 표 3. 프로그램 상세 기능

구분	세부기능
프로젝트 생성 및 모델링	- 프로젝트 생성 및 설정 구조물 형상 및 치수 입력 기능(구조물 각부의 길이 및 간격, 구조물 구성 요소의 개수, 구조물 단면 치수 및 재료 특성 등)
모델의 수정 및 편집	부재의 간격 및 위치 수정(서까래, 도리 등) 부재의 단면 및 재료성질 수정 부재 연결성(조리개) 편집(조리개 유형 및 설치방향)
모델 특성 설정	- 경계조건/하중조건/지중도리 설정
기타	- 드롭다운 메뉴 설정 기능 고급 설정 기능(하중계수, 조리개강성개수, 부재 중간의 절점수) 데이터 저장 - 국문, 영문 전환

세부 기능은 크게 프로젝트 생성 및 모델링, 모델의 수정 및 편집, 모델 특성 설정, 기타 크게 4가지로 구분하여 기능을 분류할 수 있었으며, 세부 기능의 경우 모델의 생성 및 수정, 부재들의 특성 입력, 하중조건 설정 등 단순한 입력 구조로 되어 있음

[2-5] 표 4. 프로그램의 특징 및 장·단점(GHModeler)

구분	내용
특징 및 장점	UI가 간단명료함 사용자의 설정에 따라 단동 유리 온실의 모양을 확인하기 용이함 마우스 클릭 및 직접적인 수치 입력을 통한 직관적인 인터페이스 비교적 프로그램이 가벼워 사용자가 사용하는 PC의 사양에 대한 제약이 없음
단점	일반인의 경우 모델링을 진행해 나가는 순서 및 방법을 파악하기 힘들 속성 값 입력 등의 경우 전문적인 용어를 사용하고 있어 일반인의 경우 인지하기가 어려움 내재해형 온실의 경우 온실 설계의 표준규격이 있으나 이를 제공하지 않아 내재해형 온실 설계 및 구조 해석에 대한 큰 의미가 없어 보임

(다) 프로그램 비교 분석

기존 온실 구조 설계 프로그램의 벤치마킹을 통하여 7가지의 항목별로 정리하여 비교 분석하였으며, Midas Gen의 경우 온실에 특화되기 보다는 범용으로 사용되는 구조 해석 및 설계에 우수한 프로그램인 반면, GHModeler의 경우 내재해형 온실의 구조설계를 하기에는 부적합한 면이 있지만 온실을 잘 알지 못하는 일반인에 대해 형태 및 기본정보를 제공하는 용도로는 적합한 것으로 사료됨.

[2-5] 표 5. 시스템 비교 분석표

항목	midas Gen	GHModeler
사용분야	- 건축 분야/ 범용용	- 단동 온실용
설계기준지원	- 다양한 설계 기준을 지원하고 있으나 온실에 특화된 설계 기준은 지원하지 않음	내재해형 온실 설계 기준을 일부 지원하고 있음( 단동 비닐하우스)
모델 데이터 입력	- 표준 구조형식 지원(온실에 특화된 구조형식은 아님) - 재질 및 단면 입력(재질 및 단면을 사용자가 직접 만들 수 있음) - 경계조건 입력(절점 경계조건, 요소경계조건)	정형화된 표준 라이브러리를 제공하여 모델을 형상을 바로 지원해줌 간단한 수치 입력 및 마우스 클릭을 통해 모델의 단면과 형상을 설정 및 수정 할 수 있음
하중 및 특성 데이터 입력	- 온실에 특화 되어 있지만 구조 해석에 필요한 하중들을 모두 설정할 수 있음(절점하중, 요소하중, 풍하중, 동적하중 등)	- 온실 구조 설계에 필요한 기본 하중 및 특성 입력만 제공 다양한 상황을 가정하여 테스트가 불가능함 내재해형 온실의 구조설계에는 부적합함
해석	다양한 유한 요소를 내장하고 있어 각종 객체에 대한 효과적인 해석이 가능함 다양한 해석 기능 제공(정적해석, 모드해석, 응답스펙트럼해석, 비선형 시간이력해석, 선형 시간이력해석 등)	직접수행하지 않음
해석결과 확인	그래픽 결과 출력 테이블 결과 출력	모델의 형상 및 기본정보 제공 구조해석 결과는 제공하지 않음
내재해형 온실 설계 가능 여부	내재해형 온실의 직접 설계가 가능함	내재해형 온실의 직접 설계가 불가능하며, 형상 및 기본 정보 제공용으로 사용 가능함

## (2) 온실 구조 설계 프로그램의 전체 기능 구성

벤치마킹 결과 온실 구조 설계 프로그램의 경우 구조해석이 가능하며, 내재해형 온실을 설계할 수 있는 설계기준이 내재되어 있어야 함을 알 수 있었음. 또한 사용자에게 따라서 활용범위의 차이가 클 것으로 예상됨. 따라서 본 연구에서는 전문가용과 일반인용으로 구분하여 사용자의 활용범위를 달리 해줄 수 있는 프로그램을 개발해야 될 것으로 판단하였으며, 전문가용과 일반인용의 전체적인 기능구성은 다음과 같음

[2-5] 표 6. 시스템 기능 구성

구분	전문가용	일반인용
모델데이터 입력	내재해형 온실 설계 기준 및 설계 가이드 내재해형 온실 표준설계도 DB 표준 설계도 불러오기 및 수정 기능 골조 모델링 기능	- 내재해형 온실 표준설계도 DB(온실 유형별) - 표준설계도면 선택에 따른 가시화 기능(세부 수정 불가능) 썸네일 이미지를 통한 선택기능
하중 및 특성 데이터 입력	재료설정 - 단면설정 하중 설정 지점 조건 설정 접합부 조건 설정	하중 및 특성 DB값 사용
해석	-다양한 해석 기능 제공 -3D 시각화 기능	정형화된 해석 기능 제공 3D 시각화 기능
해석결과 출력	그래픽 결과 출력 테이블 결과 출력	그래픽 결과 출력 테이블 결과 출력
기타	사용자가 자유롭게 모델링하여 구조해석을 진행 할 수 있도록 지원할 예정	일반인들도 사용이 쉽도록 기능을 간소화 하고 용어를 쉽게 적용할 예정 수치입력을 최소화하고 선택을 하여 사용할 수 있는 인터페이스 개발 예정 표준 설계도를 활용하여 일반 사용자들의 시각적인 이해를 돕고, 해석결과를 쉽게 이해 할 수 있도록 하는 것을 목표로 함

### 나. 온실 구조설계 UI 프레임워크 개발

기존 프로그램의 UI 분석을 바탕으로 온실 구조 설계용 프로그램에 적합한 전체 UI 프레임워크의 구성안을 도출하였음. UI 프레임워크는 설계 진행에 따른 데이터 입력 부분, 입력 데이터를 직관적으로 확인하는 부분, 입력 데이터의 상세 내용을 확인하는 부분 등으로 구성함. 전문가와 일반인으로 구분되는 사용자 유형에 따라, 일반인을 위한 공통기능과 전문가를 위한 전용기능으로 구분하여 전체 프로그램 기능을 구성함.

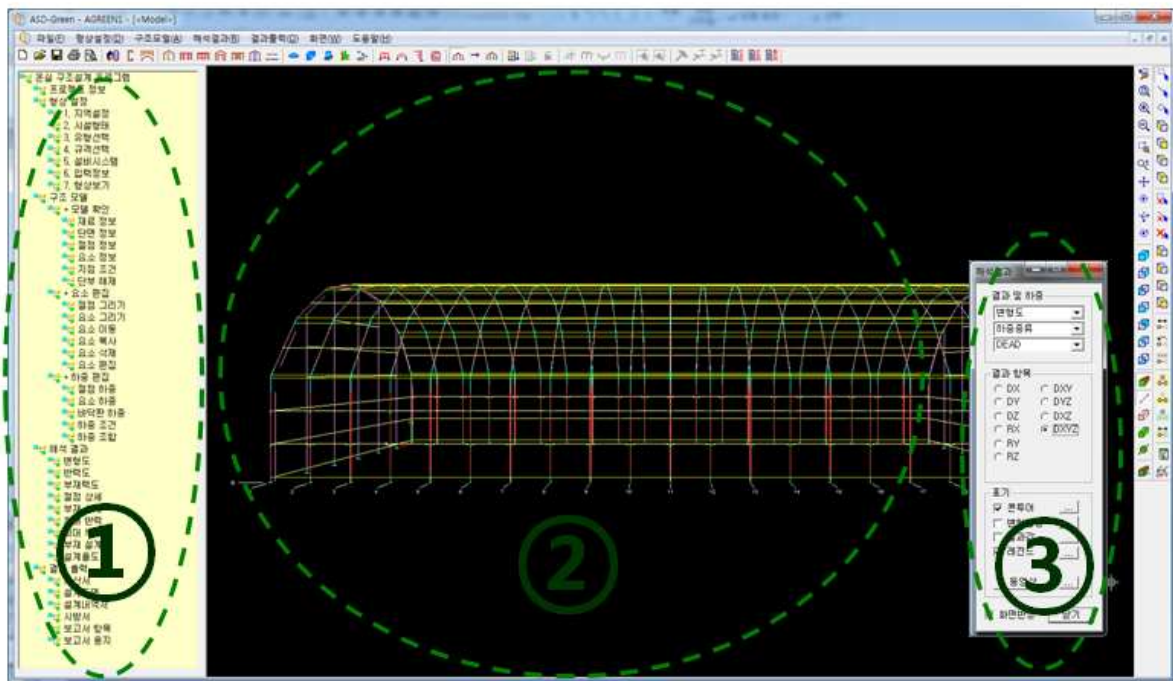
#### (1) UI 프레임워크 개발

설계 진행에 따른 데이터 입력 부분과 입력 데이터를 직관적으로 확인하는 부분으로 전체 UI 프레임워크를 구성하고, 필요시 상세 입력 데이터를 확인할 수 있도록 구성함. 프로그램 기본 형태는 일반적인 윈도우용 프로그램의 형식을 따르는 것으로 설정함.

[2-5] 표 7. 프레임워크 구성

구분	세부기능
설계입력 트리메뉴	실제 설계 흐름을 묘사한 입력방식 제공 전체 기능 구성을 직관적으로 확인하도록 함 일반인용과 전문가용 기능을 구분하여 구성함
입력결과 확인창	입력데이터와 생성데이터를 실시간으로 확인 그래픽뷰와 보고서뷰로 구성 그래픽뷰 : 입력형상 및 구조모델을 3D 영상으로 보여줌 보고서뷰 : 설계보고서, 물량 데이터 등을 보고서 형식을 보여줌
상세결과 확인창	입력형상 및 구조모델의 상세 정보를 확인함 전문가용일 경우 정보를 변경할 수 있도록 기능을 구성
윈도우 공통구성	Main Menu, Tool Bar, Status Bar 등은 기본 형식 제공

- ① 설계입력 트리메뉴 : 실제 설계 흐름을 묘사한 입력방식 제공
- ② 입력결과 확인창 : 3D 형상 및 구조해석 결과 디스플레이 화면
- ③ 상세결과 확인창 : 입출력 상세 데이터 확인



[2-5] 그림 3. UI 프레임워크 화면 구성

(2) 기능 구성

전문가와 일반인으로 구분되는 사용자 유형에 따라, 일반인을 위한 공통기능과 전문가를 위한 전용기능으로 구분하여 전체 프로그램 기능을 구성함. 공통기능은 일반인이 간단한 데이터 입력으로 구조모델을 생성할 수 있도록 하는 기능이며, 전용기능은 전문가가 공통기능으로 생성된 구조모델을 확인하고 변경할 수 있도록 하는 기능임.

(가) 공통기능

구조모델 자동생성을 위한 기본 데이터를 입력하는 기능으로, 진행 단계에 따른 상세 설정은 다음과 같음.

- ① 1단계 지역설정 : 시공지역, 대지조건, 건물용도
- ② 2단계 시설형태 : 비닐/유리온실, 단동, 연동 등...
- ③ 3단계 유형선택 : 지붕유형
- ④ 4단계 규격선택 : 폭, 축고, 높이, 길이, 연동수
- ⑤ 5단계 설비시스템 : 시스템 및 재배작물, 차양막 모델 등...
- ⑥ 6단계 입력사항 확인 : 전체 입력정보 확인



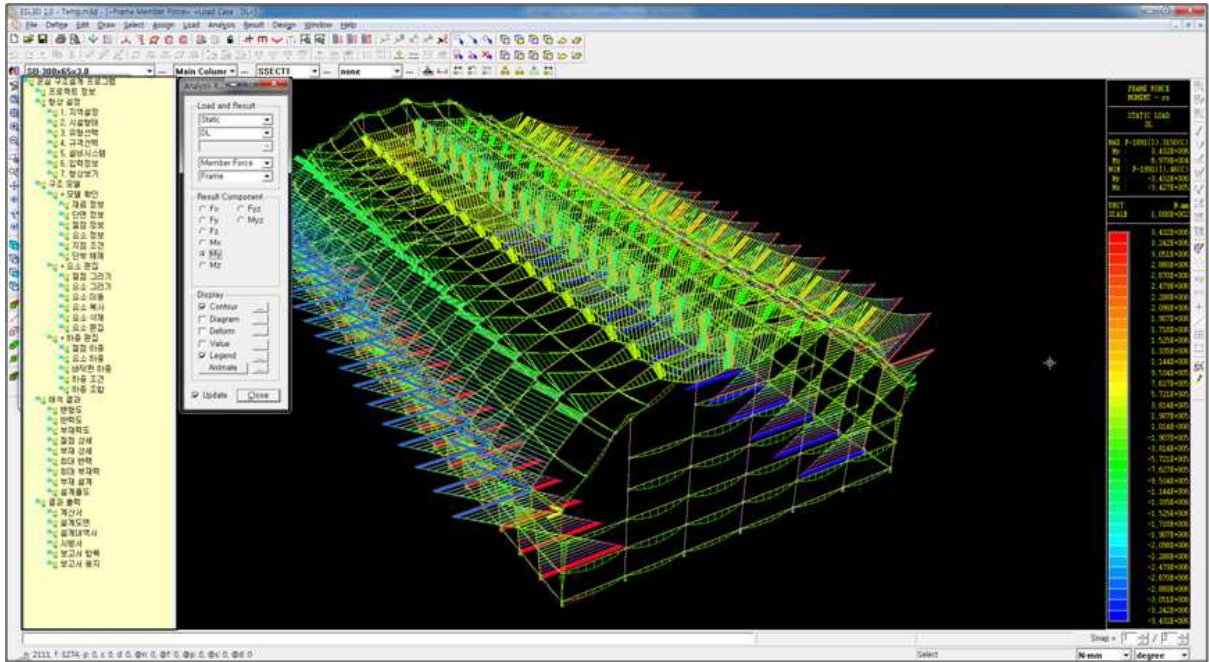
[2-5] 그림 4. 공통기능 흐름도

(나) 전용기능

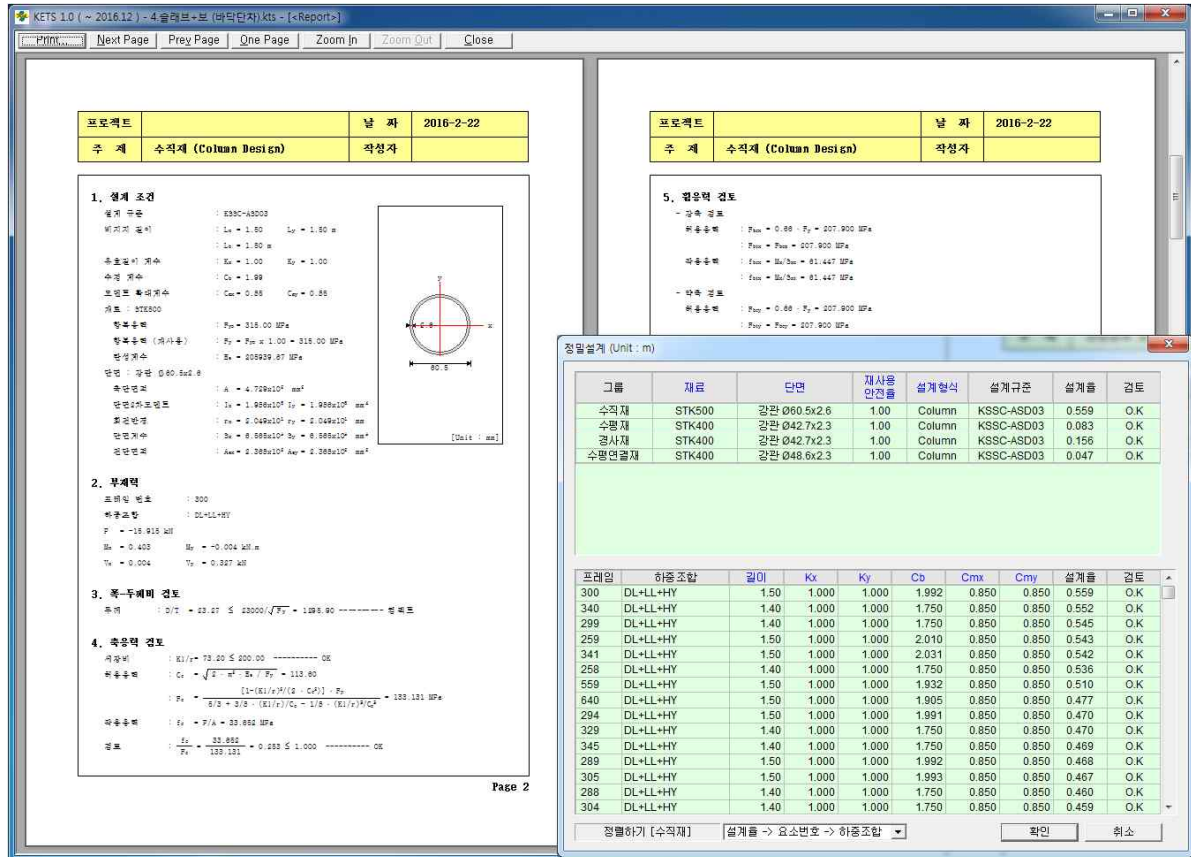
생성된 구조모델을 확인하고 편집하는 구조모델 부분과 구조해석 결과를 확인하는 해석결과 부분으로 구성되며, 상세 기능은 다음과 같음.

- ① 구조모델 확인 : 재료, 단면, 절점, 요소, 지점조건, 단부해제
- ② 구조모델 편집 : 절점 및 요소 그리기, 이동, 복사, 삭제
- ③ 입력하중 편집 : 절점, 요소 및 바닥판 하중 편집, 하중조건 및 하중조합 편집
- ④ 해석결과 확인 : 반력도, 변형도, 부재력도, ...
- ⑤ 부재설계 확인 : 부재별 설계결과 확인 및 설계보고서 확인





[2-5] 그림 5. 해석결과 확인



[2-5] 그림 6. 부재설계 및 설계보고서

## 2-5-2. 2차 년도

### 가. 온실 구조 설계도서 출력 모듈 개발

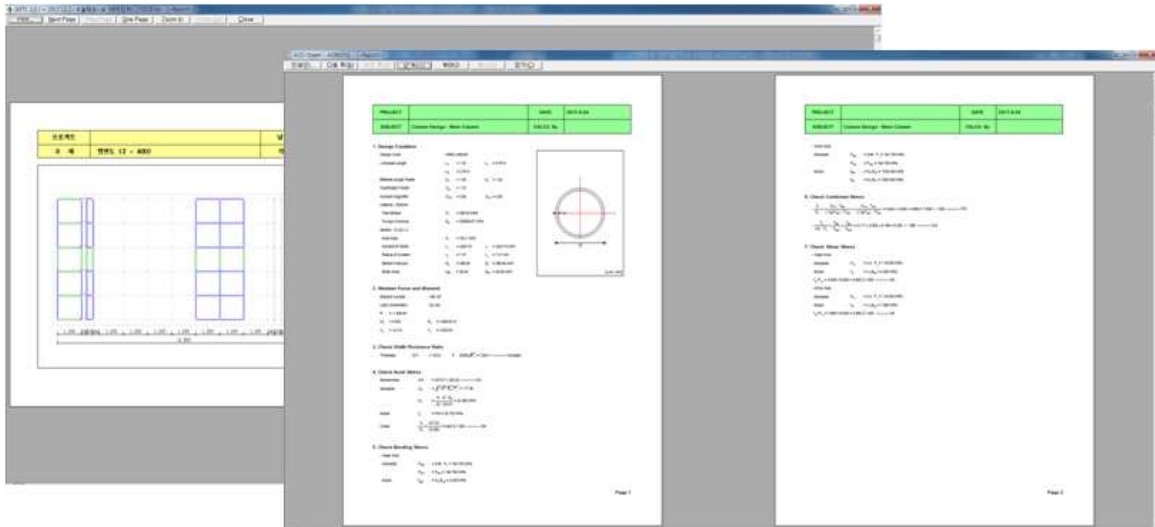
설계도서 출력 모듈 개발을 위해, 설계도서 내용을 분석한 후 필요한 출력 모듈의 기능을 도출하였다. 설계도서는 설계도면, 설계기준, 구조계산서, 물량집계표 등으로 구분되고, 출력을 위해서는 텍스트 쓰기, 테이블 그리기, 그림파일 첨부하기 등의 기능이 필요하다. 개발된 출력 모듈의 세부 기능은 다음과 같다.

[2-5] 표 8. 출력 모듈 세부 내용

구분	세부 내용
설계도서 종류	설계도면 설계기준 구조계산서 물량집계표
출력 모듈을 위한 필요 기능	텍스트 쓰기 테이블 그리기 그림파일 첨부하기 화면 확대, 화면 축소, 전체 보기
보고서 구성을 위한 필요 기능	보고서 항목 설정 기능 보고서 용지 설정 기능

#### (1) 보고서 출력 모듈

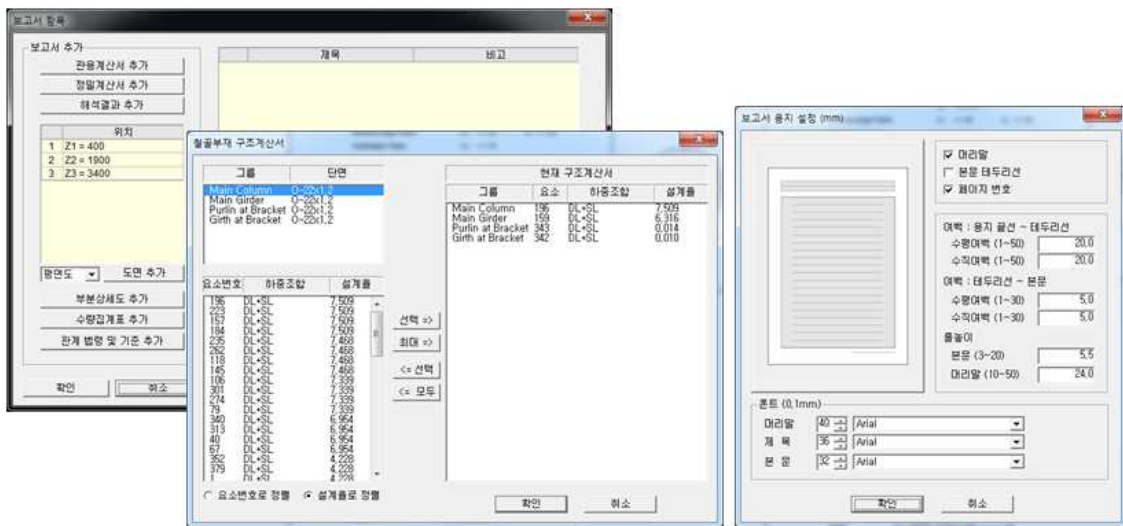
출력 모듈을 위한 필요 기능으로 분석된, 텍스트 쓰기, 테이블 그리기, 그림파일 첨부하기, 화면비율 조절하기 등의 기본 기능을 개발하였다. 이렇게 개발된 기본 기능을 이용하여, 설계도서 종류에 따른 다양한 형태의 보고서를 출력할 수 있다.



[2-5] 그림 7. 출력 모듈을 이용한 보고서 출력 예시

## (2) 보고서 편집 기능

보고서 편집 기능은 항목 설정과 용지 설정으로 구성된다. 보고서 항목 설정은, 각 항목을 추가 또는 삭제하는 기능을 이용하여 설계도서에 대한 전체 보고서를 구성하는 기능이다. 보고서 용지 설정은, 용지 종류를 선택하고, 용지 여백, 글자 종류 등을 설정할 수 있도록 하여 보고서 형태를 편집하는 기능이다.



[2-5] 그림 8. 보고서 편집 기능 예시

## 나. 온실 구조 설계의 솔버 연동기술 개발

솔버 연동기술 개발을 위해 구조설계 수행 단계를 분석하고 각 단계 별로 필요한 세부 기능을 도출하였다. 수행 단계는 구조모델을 생성하는 전처리, 솔버를 연동하는 구조해석, 해석결과를 확인하는 후처리의 3단계로 구분되며, 각 단계 별 세부 기능은 다음과 같다.

[2-5] 표 9. 수행 단계 별 세부기능

대분류	수행 단계	세부 기능
전처리	형상 설정	기본 유형 선택 및 규격 설정 설비시스템, 설하중 및 풍하중 설정
	구조모델 확인	재료정보, 단면정보 확인 절점상세, 요소상세 확인 지점조건, 단부해제 확인
	구조모델 수정	입력 기능 및 편집 기능 하중 확인 및 편집 기능
구조해석	구조해석 수행	프레임요소를 이용한 선형정적해석 수행 해석모델 데이터 호환
후처리	해석결과 확인	3D 화면을 이용한 결과 확인 테이블을 이용한 결과 확인 해석 결과값을 이용한 구조설계

### (1) 형상 설정

온실의 유형, 규격, 적용하중 등을 설정하는 기능으로, 설계하고자 하는 온실의 기본 형상을 규정하게 된다. 표준화된 모델을 선택하여 유형 및 규격을 일괄 설정한 후 필요시 세부 규격을 조정할 수 있도록 입력 기능을 구성하였다. 또한 사용자가 직관적으로 입력 데이터를 확인할 수 있도록, 3D 화면, 데이터 테이블, 데이터 그림 등을 배치하였다.

#### (가) 기본 유형 선택 및 규격 설정

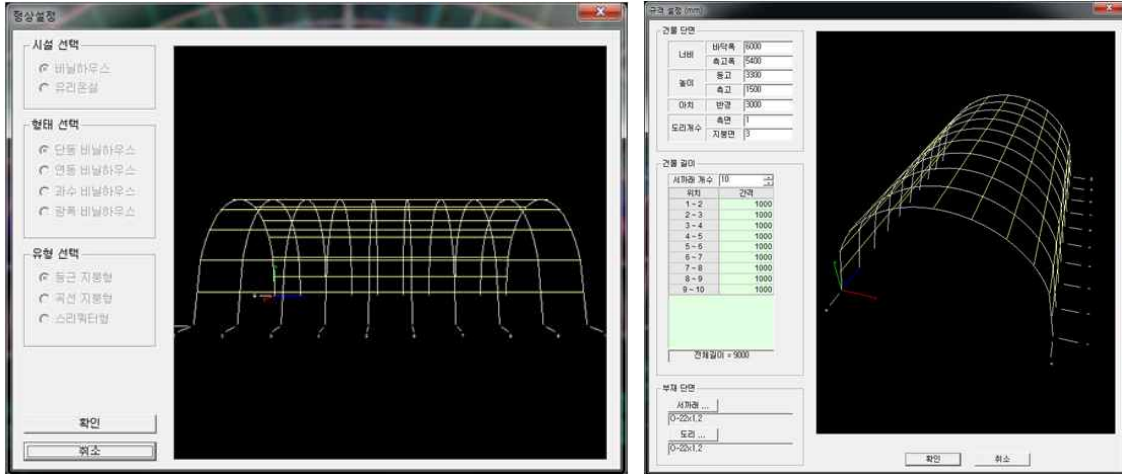
시설, 형태, 유형에 따른 기본 형상을 설정한 후, 횡단면 치수 조정 및 온실 전체 길이 등을 입력하는 기능이다. 지금까지 확립된 표준화된 모델을 선택하여 모든 입력이 일괄 처리되도록 기능을 보강할 예정이다.

##### ① “형상 설정” 대화상자

- ㉠ 시설 선택 : 비닐하우스, 유리온실 중 선택
- ㉡ 형태 선택 : 단동, 연동, 과수, 광폭비닐하우스 중 선택
- ㉢ 유형 선택 : 둥근 지붕형, 곡선 지붕형, 스리쿼터형 중 선택

② “규격 설정” 대화상자

- ㉠ 건물 단면 : 너비, 높이, 아치 반경, 도리 개수 등 입력
- ㉡ 건물 길이 : 서까래 개수 및 간격 입력
- ㉢ 부재 단면 : 서까래, 도리 등의 단면 설정



[2-5] 그림 9. “형상설정” 및 “규격설정” 대화상자

(나) 설비시스템, 설하중 및 풍하중 설정

설비시스템에 따른 고정하중, 설비하중, 작물하중을 설정하고, 지역 및 주변 여건에 따른 설하중, 풍하중을 입력하는 기능이다. 설하중 및 풍하중 설정에 적용된 기준은 KBC-2016 이고, 향후 온실구조 설계기준을 추가할 예정이다.

① “설비시스템” 대화상자

- ㉠ 고정하중 : 구조체, 피복재 등에 의한 하중 입력
- ㉡ 설비하중 : 와이어 등의 설비에 의한 하중 입력
- ㉢ 작물하중 : 재배 작물에 의한 하중 입력

② “설하중” 대화상자

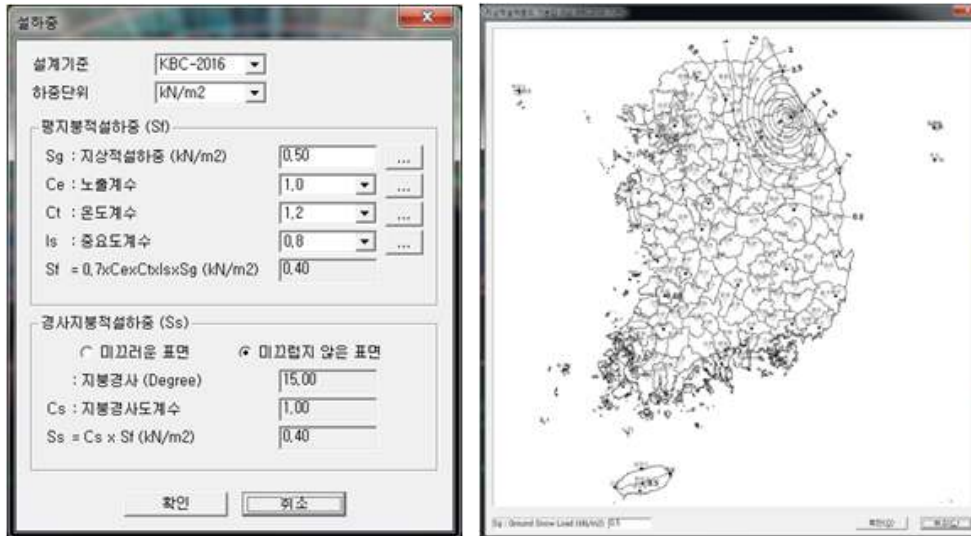
- ㉠ 설계기준 : 기준 및 하중단위 선택
- ㉡ 평지붕적설하중 : 지상적설하중, 노출계수, 온도계수, 중요도계수 등 선택
- ㉢ 경사지붕적설하중 : 지붕포면 유형 선택 및 적용하중 산출

③ “풍하중” 대화상자

- ㉠ 설계기준 : 기준 및 하중단위 선택
- ㉡ 적용조건 : 기본풍속, 중요도계수, 지형계수 등 선택
- ㉢ 설계풍압 테이블 : 계산된 설계풍압 표시



[2-5] 그림 10. “설비시스템” 대화상자



[2-5] 그림 11. “설하중” 대화상자



[2-5] 그림 12. “풍하중” 대화상자

## (2) 구조모델 확인

형상설정에서 정의된 입력데이터를 이용하여 구조모델을 자동 생성한다. 이렇게 생성된 구조모델의 상세 데이터를 확인하고, 필요시 세부 데이터를 편집하는 기능이다.

### (가) 재료정보, 단면정보 확인

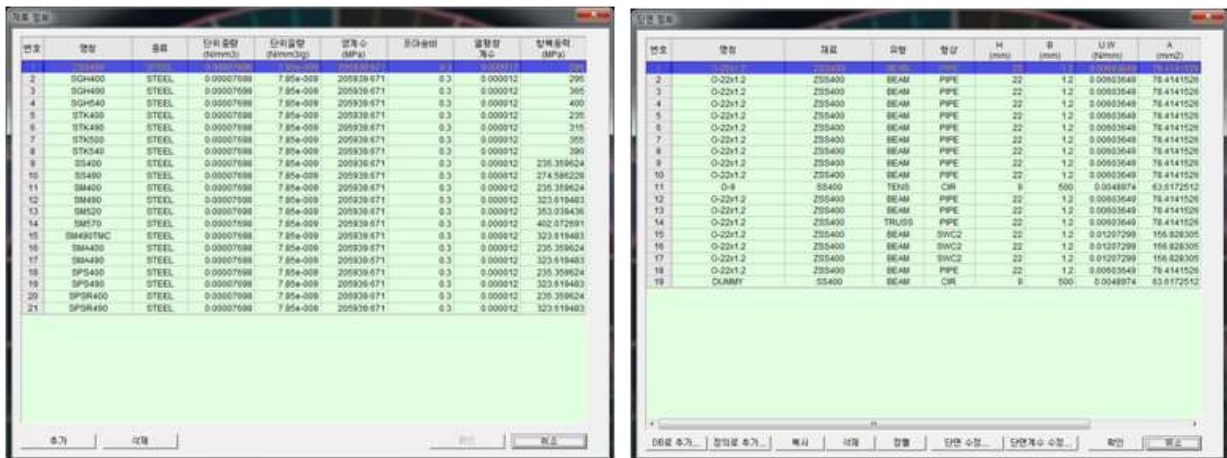
자동 생성된 온실 구조재의 재료정보 및 단면정보를 확인하고, 추가, 삭제 등 편집하는 기능이다.

#### ① “재료정보” 대화상자

- ㉞ 목록 상자 : 명칭, 종류, 단위중량, 항복강도 등을 확인하고 수정
- ㉟ 편집 기능 : 기존 목록을 삭제 또는 추가

#### ② “단면정보” 대화상자

- ㉞ 목록 상자 : 명칭, 재료, 단면 특성값 등을 확인하고 수정
- ㉟ 편집 기능 : 기존 목록을 삭제 또는 추가



[2-5] 그림 13. “재료정보” 및 “단면정보” 대화상자

### (나) 절점상세, 요소상세 확인

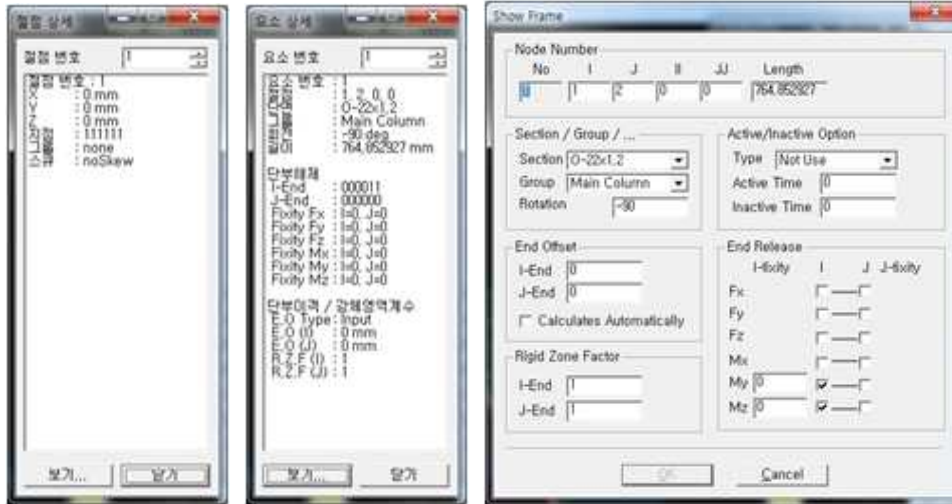
자동 생성된 구조모델의 절점, 요소 등의 기하학 정보를 확인하고, 상세 정보를 편집하는 기능이다.

#### ① “절점상세” 대화상자

- ㉞ 절점 입력 : 확인하고자 하는 절점 선택 또는 입력
- ㉟ 절점 정보 : 절점의 상세 정보 확인
- ㊱ 상세 보기 : 절점의 정보를 편집할 수 있는 상세 대화상자 보기

② “요소상세” 대화상자

- ㉠ 요소 입력 : 확인하고자 하는 요소 선택 또는 입력
- ㉡ 요소 정보 : 요소의 상세 정보 확인
- ㉢ 상세 보기 : 요소의 정보를 편집할 수 있는 상세 대화상자 보기



[2-5] 그림 14. “절점상세” 및 “요소상세” 대화상자

(다) 지점조건, 단부해제 확인

자동 생성된 구조모델의 절점 지점조건, 요소 단부해제 등의 구속조건 정보를 확인하고, 추가, 치환, 삭제 등 편집하는 기능이다.

① “지점조건” 대화상자

- ㉠ 목록 보기 : 입력된 지점조건 데이터를 확인하는 대화상자 보기
- ㉡ 설정값 : 설정하고자 하는 지점조건 설정
- ㉢ 편집 기능 : 선택된 절점의 지점조건 편집
- ㉣ 화면 보기 : 3D 화면의 지점조건 형상, 라벨 표기 등 설정

② “단부해제” 대화상자

- ㉠ 목록 보기 : 입력된 단부해제 데이터를 확인하는 대화상자 보기
- ㉡ 설정값 : 설정하고자 하는 단부해제 설정
- ㉢ 편집 기능 : 선택된 절점의 단부해제 편집
- ㉣ 화면 보기 : 3D 화면의 단부해제 형상, 라벨 표기 등 설정





[2-5] 그림 15. “지점조건” 및 “단부해제” 대화상자

### (3) 구조모델 수정

자동 생성된 구조모델의 기하학 정보와 하중 정보를 편집하는 기능이다. 그리기, 이동, 복사, 삭제 등의 기능으로 수정 작업을 수행할 수 있으며, 이러한 수정 작업을 구현하기 위해서 다양한 선택 및 선택해제 기능을 제공한다.

#### (가) 입력 기능 및 편집 기능

자동 생성된 구조모델의 기하학 정보를, 그리기, 이동, 복사 삭제 등의 다양한 기능을 이용하여 수정하는 기능이다.

##### ① 입력 기능

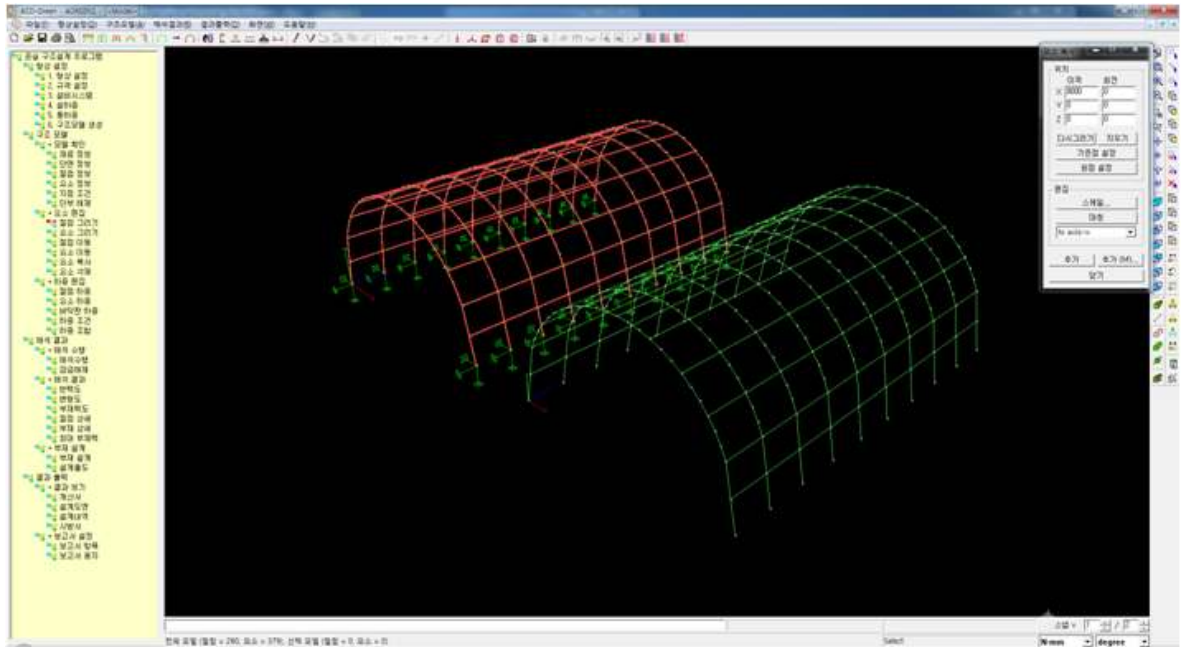
- ㉠ 절점 그리기 : 좌표 입력 및 스냅 기능을 이용한 절점 그리기
- ㉡ 요소 그리기 : 좌표 입력 및 스냅 기능을 이용한 요소 그리기

##### ② 편집 기능

- ㉢ 이동 기능 : 선택된 절점 및 요소 이동
- ㉣ 복사 기능 : 선택된 절점 및 요소 복사
- ㉤ 삭제 기능 : 선택된 절점 및 요소 삭제

##### ③ 선택 기능

- ㉥ 전체 선택 : 모든 절점 및 요소에 대한 선택 또는 선택해제
- ㉦ 사각형에 의한 선택 : 3D 화면의 사각형 그리기를 이용한 선택 또는 선택해제
- ㉧ 교차선에 의한 선택 : 3D 화면의 교차선 그리기를 이용한 선택 또는 선택해제
- ㉨ 특정 평면에 의한 선택 : 특정 평면에 있는 모든 절점 및 요소에 대한 선택 또는 선택해제
- ㉩ 숨기기/보기 : 선택된 객체 숨기기 또는 숨겨진 객체 보기



[2-5] 그림 16. 복사 기능 예시

#### (나) 하중 확인 및 편집

자동 생성된 구조모델의 하중조건, 하중조합, 개별하중 정보를 확인하고, 추가, 치환, 삭제 등 편집하는 기능이다.

##### ① “하중조건” 대화상자

- ㉠ 목록 상자 : 명칭, 유형, 자중 등을 확인하고 수정
- ㉡ 편집 기능 : 기존 목록을 추가, 복사 또는 삭제

##### ② “하중조합” 대화상자

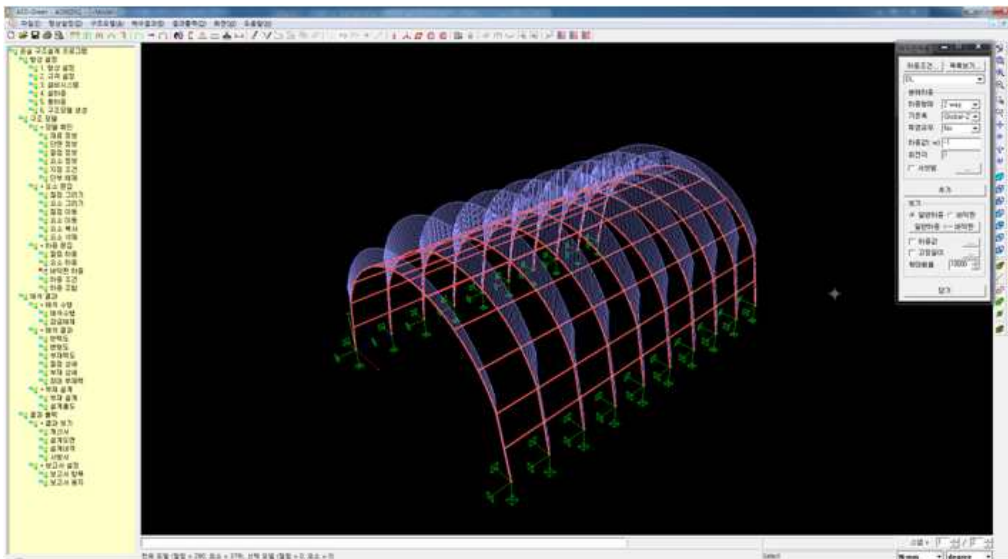
- ㉠ 전체 하중조합 목록 상자 : 명칭, 유형 등을 확인하고 수정
- ㉡ 전체 하중조합 편집 기능 : 기존 목록을 추가, 복사 또는 삭제
- ㉢ 현재 하중조합 목록 상자 : 하중조건 및 계수를 확인하고 수정
- ㉣ 현재 하중조합 편집 기능 : 하중조건을 추가 또는 삭제

##### ③ “하중입력” 대화상자

- ㉠ 하중 조건 : 보고자 하는 하중조건 선택
- ㉡ 목록 보기 : 하중조건 대화상자 보기
- ㉢ 하중 설정 : 입력하고자 하는 절점하중, 요소하중 또는 바닥하중 설정
- ㉣ 편집 기능 : 선택된 절점 및 요소의 하중을 편집
- ㉤ 화면 보기 : 3D 화면의 하중값, 형상, 길이 등 설정



[2-5] 그림 17. “하중조건” 및 “하중조합” 대화상자



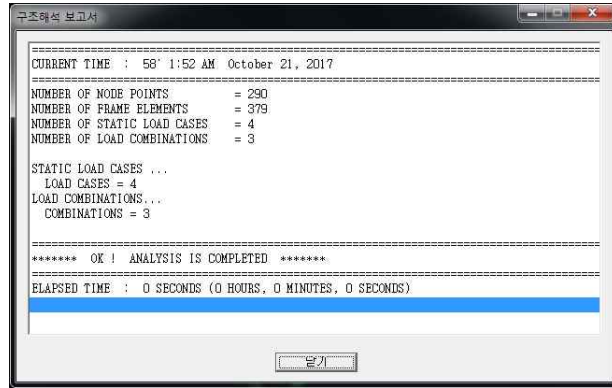
[2-5] 그림 18. “하중입력” 대화상자

#### (4) 구조해석 수행

자체 해석엔진을 이용하여 구조해석을 수행하고, 해석결과의 비교 검토를 위해 기존 구조해석 프로그램으로 구조모델 정보를 내보내는 기능이다.

##### (가) 선형정적해석 수행

자체 해석엔진을 이용하여 구조해석을 수행한다. 구조해석은 절점 및 프레임요소로 구성된 모델에 대해 선형정적해석 기능을 제공한다.



[2-5] 그림 19. 구조해석 수행 메시지

### (나) 해석모델 데이터 호환

해석결과의 신뢰성 검증을 위한 데이터 호환 기능으로, 기존 구조해석 프로그램인 MIDAS 또는 SAP 의 입력데이터로 구조모델 정보를 내보낸다.

### (5) 해석결과 확인

구조해석 결과를 3D 화면, 테이블 등을 이용하여 확인하고, 구조재에 대한 부재설계를 수행하는 기능이다. 해석결과는 하중조건 또는 하중조합 별로 변형, 부재력, 반력 등을 확인한다.

#### (가) 3D 화면을 이용한 결과 확인

3D 화면에서 구조해석 결과를 확인하는 기능으로, 변형도, 부재력도, 반력도 등을 3차원 형상으로 표현한다. 콘투어, 다이어그램, 화살표, 변형형상, 동영상, 레전드 설정 등의 다양한 표현 기법을 제공하여 결과 확인이 용이하도록 구성된다.

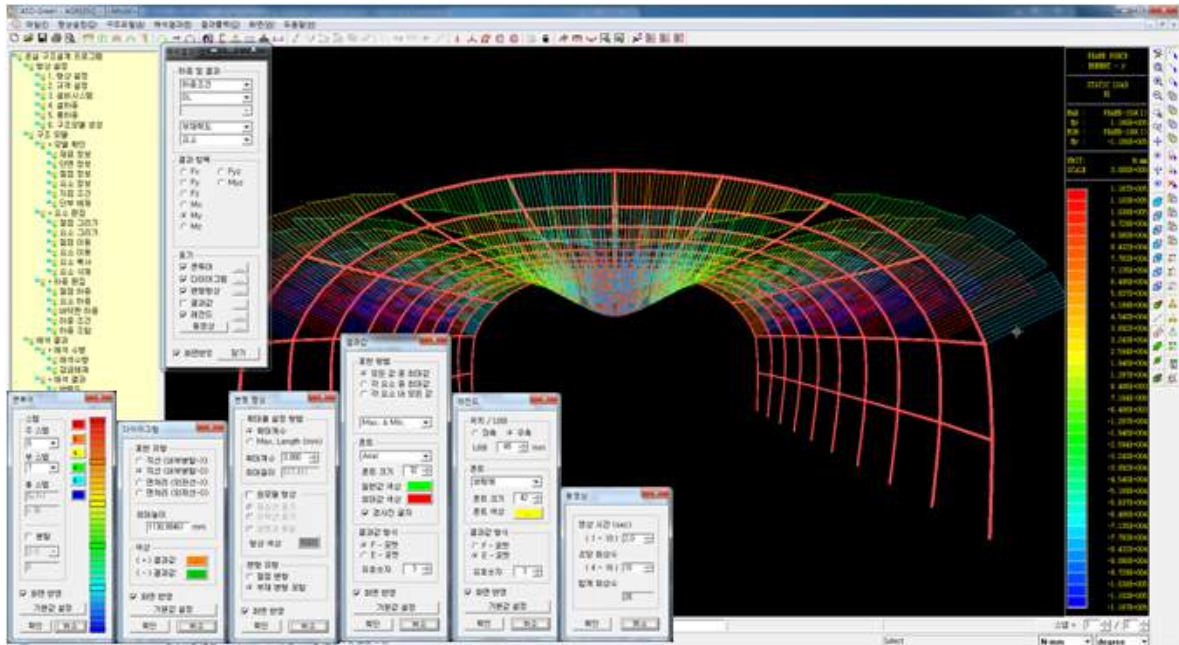
#### ① “해석결과 보기” 대화상자

- ㉠ 하중구분 : 하중조건, 하중조합 중 선택
- ㉡ 하중번호 : 보고자 하는 하중조건이나 하중조합 선택
- ㉢ 결과종류 : 변형도, 반력도, 부재력도 등의 결과 종류 선택
- ㉣ 결과항목 : 결과 종류 별 항목 선택

#### ② 결과 표현 대화상자

- ㉠ 화살표 : 지점반력을 표현하는 화살표 설정
- ㉡ 콘투어 : 결과값 분포를 구분하는 색상 분류 설정
- ㉢ 변형형상 : 변형 확대율 등을 설정
- ㉣ 결과값 : 화면에 표기되는 결과값의 폰트, 색상 등 설정
- ㉤ 레전드 : 레전드의 폰트, 색상 등 설정

㉞ 동영상 : 동영상 시간, 초당 화면 수 등 설정



[2-5] 그림 20. “해석결과 보기” 대화상자

(나) 테이블을 이용한 결과 확인

테이블을 이용한 구조해석 결과를 확인 기능으로, 절점결과 상세, 요소결과 상세, 최대부재력 집계표 등을 제공한다.

① “절점결과 상세” 대화상자

- ㉠ 절점 입력 : 확인하고자 하는 절점 선택 또는 입력
- ㉡ 하중 선택 : 확인하고자 하는 하중조건 또는 하중조합 선택
- ㉢ 결과 목록 : 변위 또는 반력 확인

② “요소결과 상세” 대화상자

- ㉠ 요소 입력 : 확인하고자 하는 요소 선택 또는 입력
- ㉡ 하중 선택 : 확인하고자 하는 하중조건 또는 하중조합 선택
- ㉢ 결과 목록 : 변위 또는 부재력 확인

③ “최대부재력 찾기” 대화상자

- ㉠ 집계 조건 : 하중조합 선택 및 집계 조건 설정
- ㉡ 결과 목록 : 최대 부재력 확인



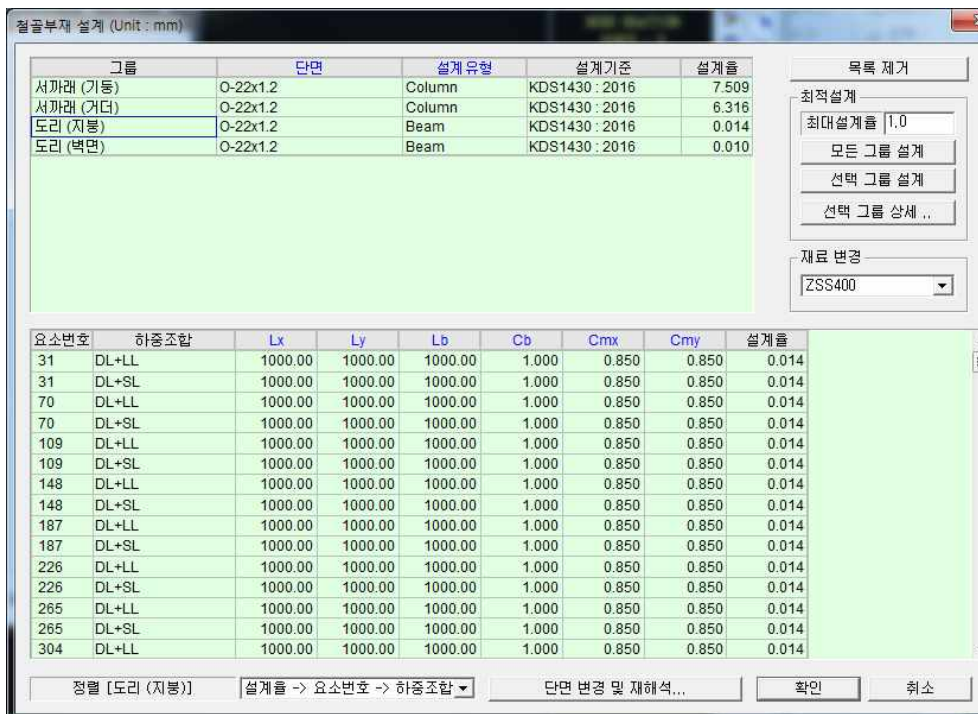
[2-5] 그림 21. “해석결과 테이블” 대화상자

(다) 해석 결과값을 이용한 구조설계

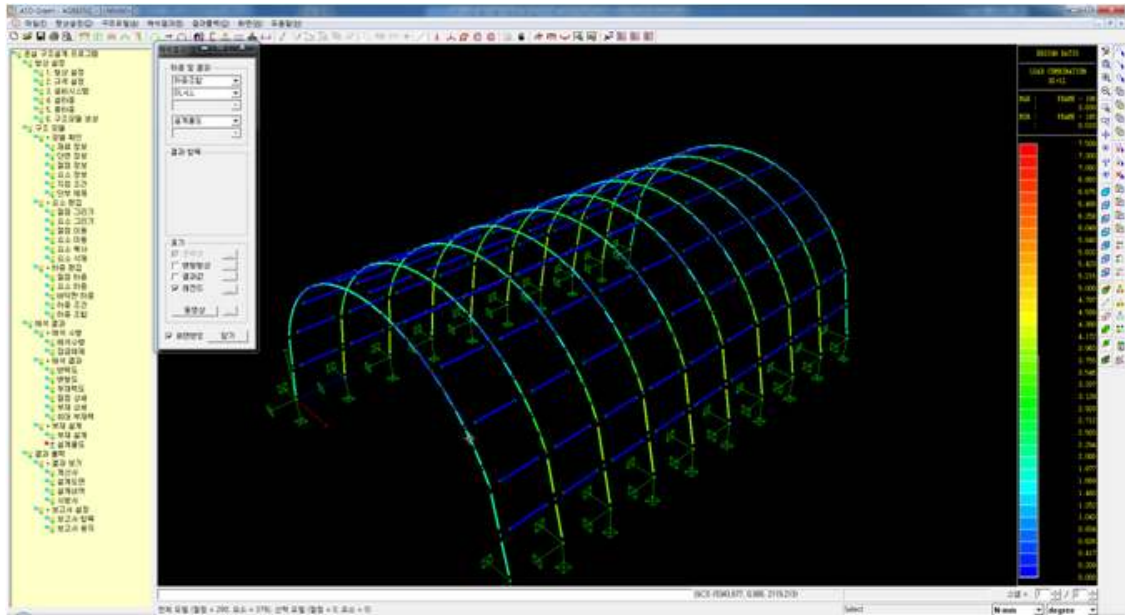
구조재의 안전성을 검토하는 기능으로, 각 하중조합 별 구조설계 결과값을 확인한다. 또한 설계조건을 변경하거나 자동설계 기능을 이용하여 구조설계를 다시 수행할 수 있다.

① “철골부재 설계” 대화상자

- ㉠ 그룹 목록상자 : 각 부재 그룹의 설계결과 표기
- ㉡ 결과 목록상자 : 해당 그룹의 하중조합 및 요소 별 설계결과 표기
- ㉢ 자동설계 기능 : DB 또는 치수 범위 지정에 의한 자동설계 기능
- ㉣ 재료변경 기능 : 재료 변경에 의한 부재설계 기능



[2-5] 그림 22. “철골부재 설계” 대화상자



[2-5] 그림 23. 설계율을 표현한 3D 화면

### 2-5-3. 3차 년도

#### 가. 비전문가용 구조 설계 자동화 프로그램

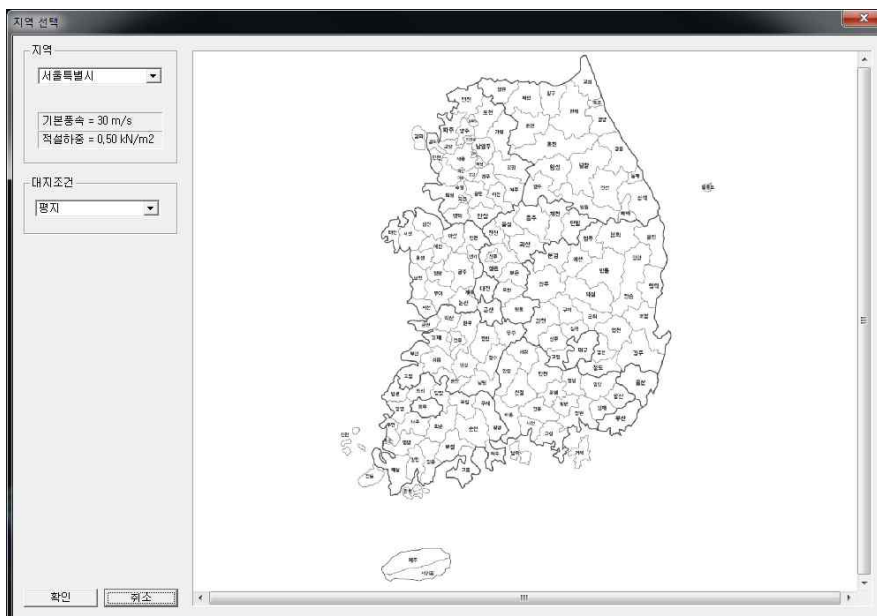
구조 설계 자동화 프로그램 개발을 위해, 표준 설계도서 내용을 분석한 후 필요한 자동생산 기능을 도출하였다. 자동생산을 위해서는 지역, 온실 종류, 시설/작물 등의 세부정보가 필요하고, 이 정보에 대한 자동생산 세부 기능은 다음과 같다.

[2-5] 표 10. 프로그램 세부 내용 (비전문가용)

구분	세부 내용
지역 선택	지역 및 대지조건 선택 기능 풍하중 및 설하중 자동계산 기능
온실 종류 선택	표준 설계도서에 의한 유형 분류 유형별 구조모델 자동생산 기능 유형별 표준도면 출력 기능
시설/작물 선택	시설 및 작물 선택 기능 고정하중 및 적재하중 자동계산 기능

#### (1) 지역 선택

온실을 설치할 지역을 선택하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 선택된 지역의 설하중과 풍하중 값을 확인할 수 있다.



[2-5] 그림 24. [지역 선택] 대화상자



(가) 지역

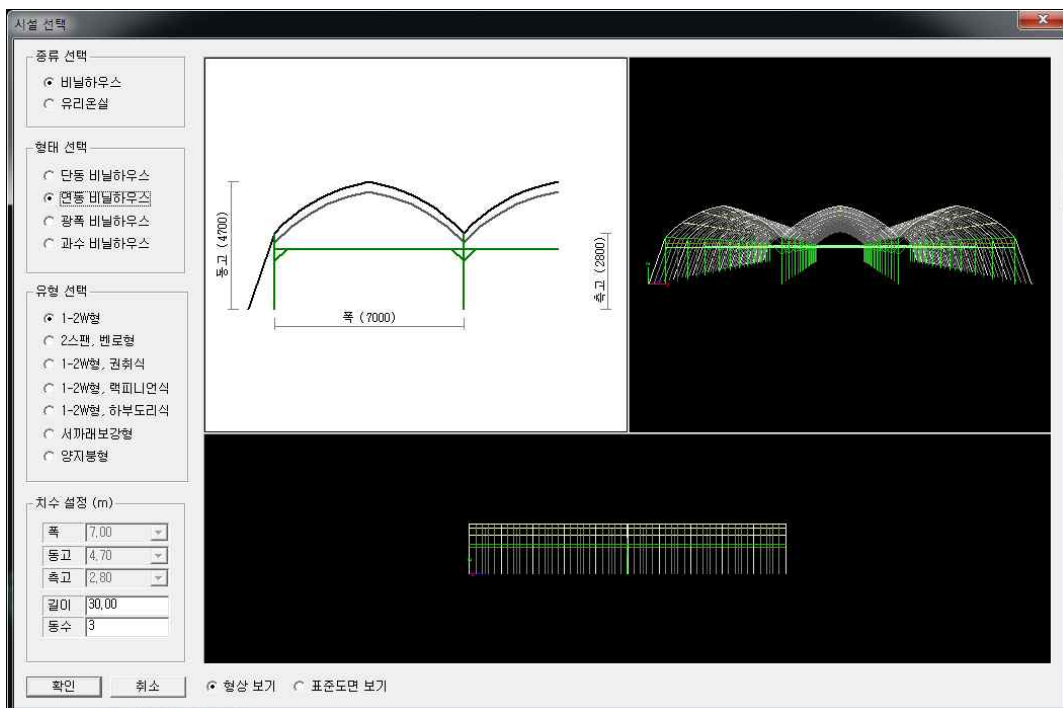
도와 군 단위를 설정한다

(나) 대지조건

평지, 언덕 등의 대지조건을 설정한다.

(2) 온실 종류 선택

설치하고자 하는 시설의 종류 및 치수를 선택하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 시설의 상세 유형을 선택하고, 길이와 동수를 입력한다. 상세 유형은 표준화된 시설 중에서 선택한다.



[2-5] 그림 25. [온실 종류 선택] 대화상자

(가) 종류 선택

① 비닐하우스, 유리온실 중 선택한다.

(나) 형태 선택

① 선택된 종류에 따라 형태를 선택한다.

② 비닐하우스인 경우, 단동, 연동, 광폭, 과수 비닐하우스 중 선택할 수 있다.

(다) 유형 선택

① 선택된 형태에 각기 다른 유형을 선택한다.

(라) 치수 설정

① 선택된 시설의 표준 치수를 확인하고, 길이와 동수를 입력한다.

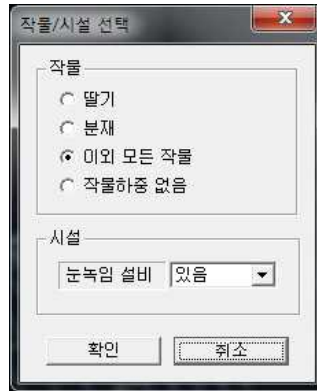
② 표준 치수가 여러 개일 경우, 폭 및 동고를 선택할 수 있다.

(마) 형상 보기 / 표준도면 보기

- ① 형상 보기 : 선택한 시설의 단면도 및 3D 형상을 보여준다.
- ② 표준도면 보기 : 선택한 시설의 표준도면을 보여준다.

(3) 시설/작물 선택

온실에서 재배할 작물과 시설을 선택하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 작물과 눈녹임 설비 유무를 선택한다.



[2-5] 그림 26. [시설/작물 선택] 대화상자

## 나. 전문가용 구조 설계 자동화 프로그램

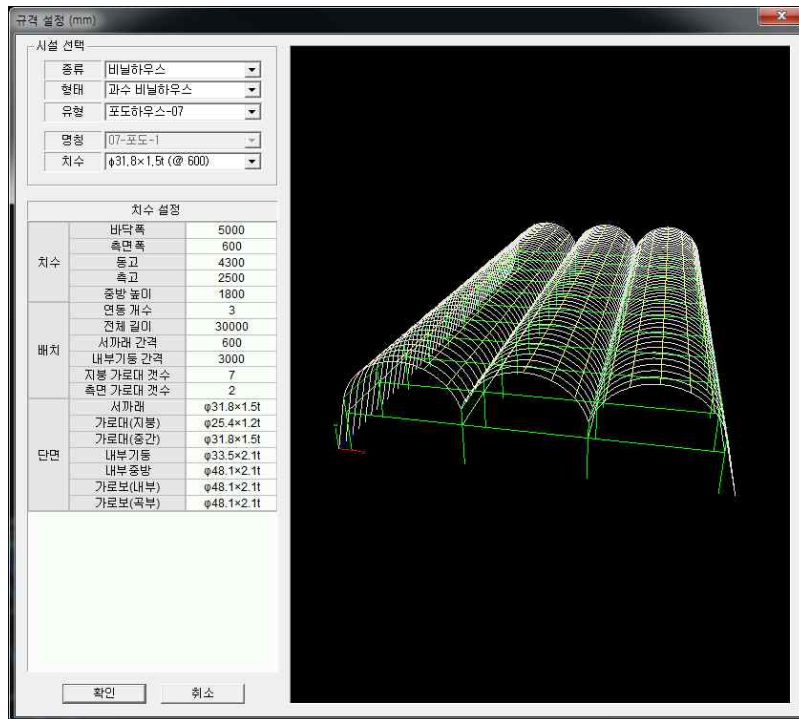
전문가 편집을 고려한 구조 설계 자동화 프로그램 개발을 위해, 표준 설계도서 내용을 분석한 후 필요한 자동생산 기능을 도출하였다. 온실규격, 연직하중, 설하중, 풍하중 등의 세부정보가 필요하고, 이 정보에 대한 자동생산 세부 기능은 다음과 같다.

[2-5] 표 11. 시스템 세부 내용 (전문가용)

구분	세부 내용
온실 규격	표준 설계도서에 의한 유형 분류 유형별 사용자 입력에 의한 자동생산 기능 유형별 표준도면 출력 기능
연직하중	고정하중 및 작물하중 입력 기능 고정하중 및 적재하중 자동계산 기능
설하중	온실구조 설계기준에 따른 입력 기능 설하중 자동계산 기능
풍하중	온실구조 설계기준에 따른 입력 기능 풍하중 자동계산 기능

### (1) 온실 규격 설정

온실의 종류, 형태, 유형을 선택한다. 선택된 표준안에 대해 치수, 배치, 단면 등을 변경할 수 있다.



[2-5] 그림 27. [온실 규격 설정] 대화상자

(가) 시설 선택

- ① 종류, 형태, 유형 등을 선택한다.
- ② 선택한 시설 중 표준안이 여러 개일 경우 명칭과 치수 등으로 세부안을 선택할 수 있다.
- ③ 유리온실 : 와이드스팬형, 벤로형, 에너지절약형
- ④ 단동 비닐하우스 : 아치형, 복숭아형, 편지봉형, 이중골조형, 서까래보강형, 양지봉형
- ⑤ 연동 비닐하우스 : I-2W형, 2스팬 벤로형, I-2W형 권취식, I-2W형 랙피니언식, I-2W형 하부도리식, 서까래보강형, 양지봉형
- ⑥ 광폭 비닐하우스 : 아치형, 트러스형, 보온재형
- ⑦ 과수 비닐하우스 : 포도하우스-07, 포도하우스-10, 감귤하우스-08

(나) 치수 설정

- ① 치수 : 횡단면 설정을 위한 치수 입력
- ② 배치 : 평면 설정을 위한 치수 입력
- ③ 단면 : 구조 부재의 단면 선택

(2) 연직하중 설정

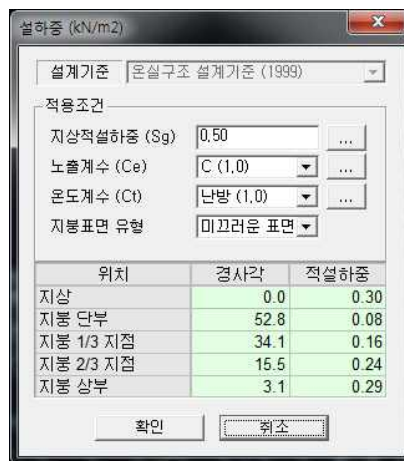
온실에 작용하는 연직하중을 설정한다. 작물하중, 눈녹임 설비, 피복하중, 설비하중 등을 입력한다



[2-5] 그림 28. [연직하중 설정] 대화상자

### (3) 설하중 설정

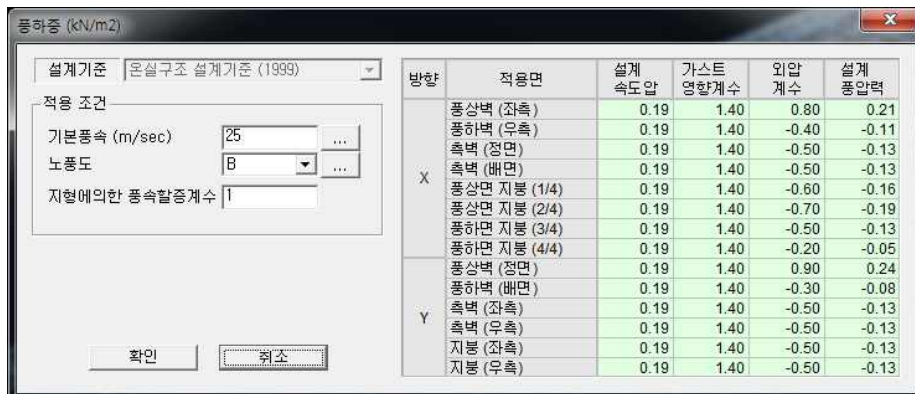
온실에 작용하는 설하중을 설정한다. 온실구조 설계기준에 따라 지상적설하중, 노출계수, 온도계수 등을 선택하면 설하중이 자동계산된다.



[2-5] 그림 29. [설하중 설정] 대화상자

### (4) 풍하중 설정

온실에 작용하는 풍하중을 설정한다. 온실구조 설계기준에 따라 기본풍속, 노풍도 등을 선택하면 풍하중이 자동계산된다

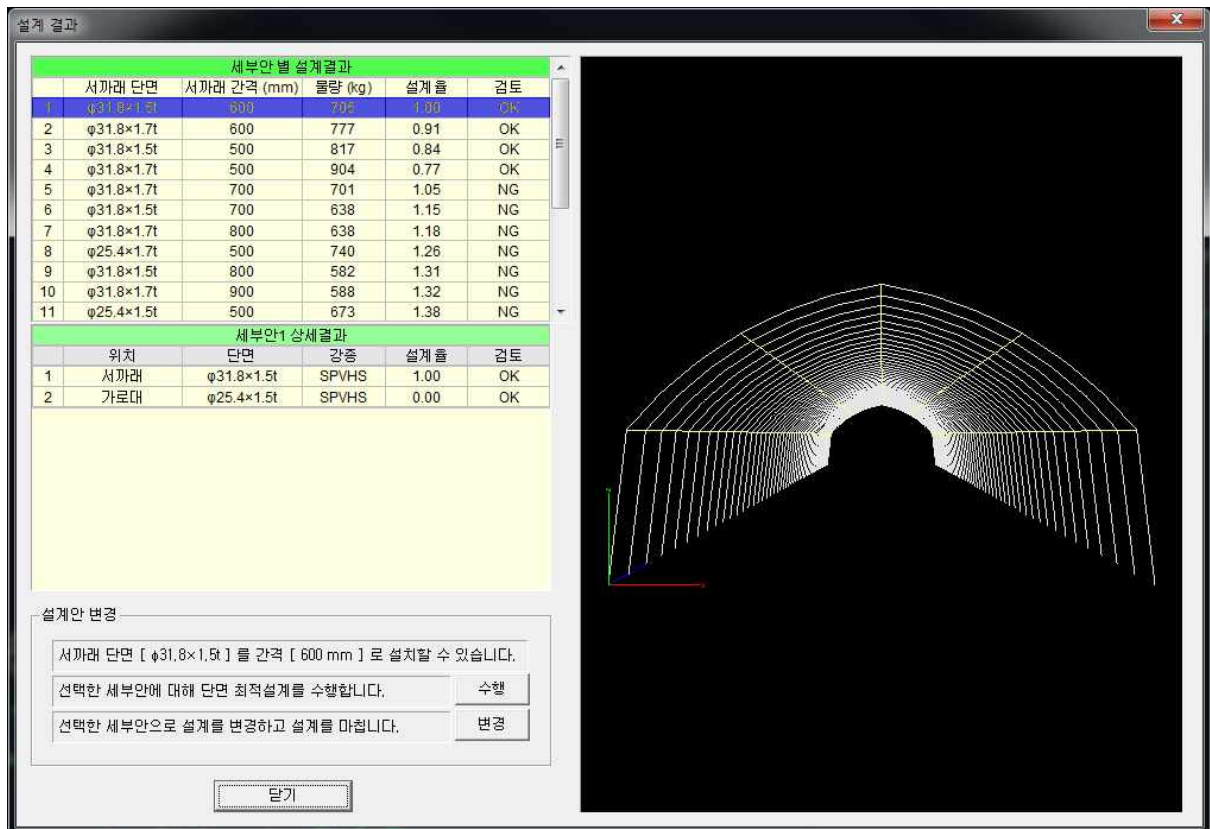


[2-5] 그림 30. [풍하중 설정] 대화상자

## 다. 구조설계 자동화 시스템 개발

### (1) 온실 설계

선택된 지역, 온실 종류, 시설/작물에 대해 구조 안전성 검토를 수행하는 기능으로, 실행하면 설계결과로 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 설계 결과를 확인하고 설계안을 변경할 수 있다.



[2-5] 그림 31. [온실 설계 결과] 대화상자

#### (가) 세부안 별 설계결과

표준 세부안 별 물량, 설계율 등을 확인한다.

#### (나) 세부안 상세결과

선택된 표준 세부안에 대한 부재설계 결과를 확인한다.

#### (다) 단면 최적설계 수행

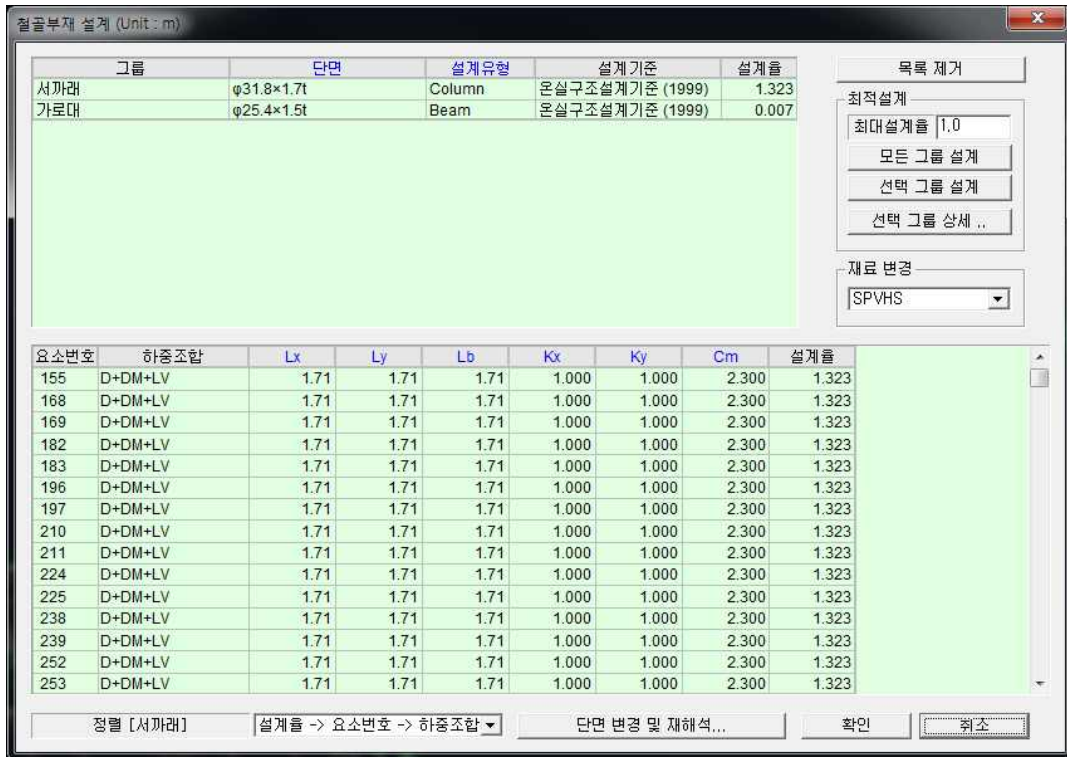
선택된 표준 세부안에 단면 최적설계를 수행한다.

#### (라) 설계안 변경

선택된 설계안으로 온실 규격을 변경한다.

## (2) 부재 설계

적용된 부재의 구조설계 결과를 확인하고 상세 구조설계를 수행한다.



[2-5] 그림 32. [부재 설계] 대화상자

### (가) 상단 목록상자

- ① 모든 부재 그룹의 설계 결과를 확인한다.
- ② 재료, 단면, 설계유형 등을 변경하여 결과를 확인할 수 있다.

### (나) 하단 목록상자

- ① 선택된 부재 그룹의 상세설계 결과를 확인한다.
- ② 부재 별로 설계 조건을 변경하여 결과를 확인할 수 있다

## 2-6 주요연구내용 (제3협동)

### 2-6-1. 1차년도

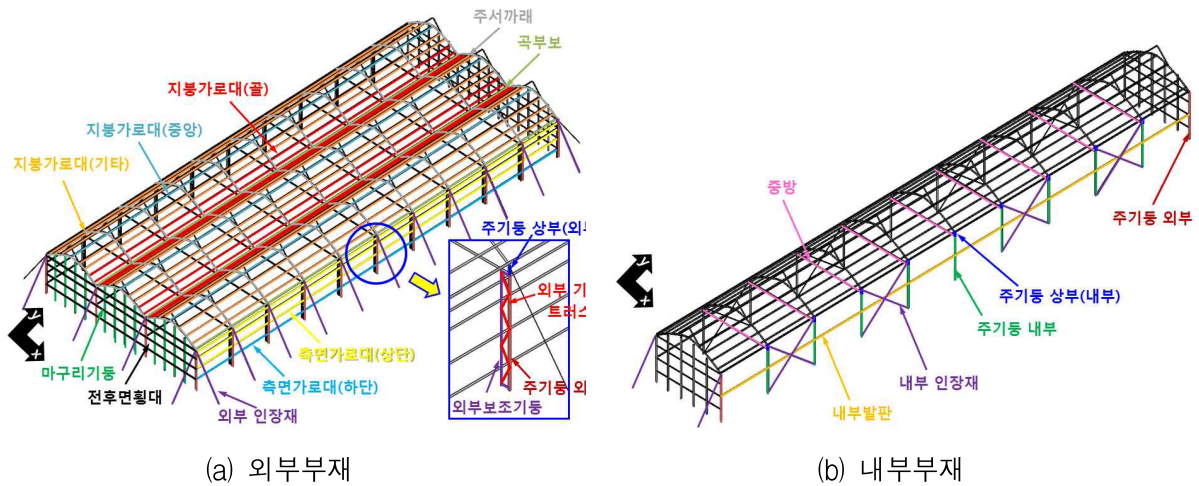
#### 가. 최적 유한 요소 선정

##### (1) 온실구조를 구성하는 대표적인 부재에 대한 분석

온실 구조물을 이루는 대표적인 부재는 그림 1에 나타난 것과 같이 지붕가로대, 전후면횡대, 측면가로대, 중방 등과 같은 수평부재, 주기둥 및 외부기둥 트러스 등과 같은 수직부재 그리고 온실 구조물에 수평강성 및 강도를 증가시키기 위한 내/외부 인장재로 크게 구분할 수 있음.

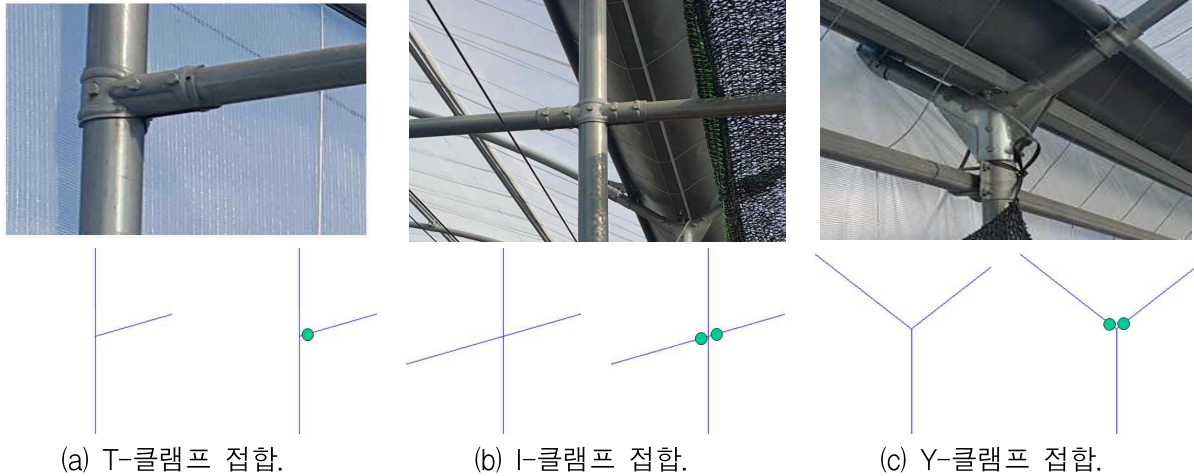
이들 부재는 대부분 축력 뿐 아니라 전단력 및 휨모멘트에 저항할 수 있기 때문에 프레임 부재로 모델링하는 것이 적합함. 그러나 외부기둥을 보강하기 위한 트러스는 3차원 트러스 부재로 그리고 내/외부 인장재는 오직 인장력에만 저항할 수 있는 케이블 부재로 모델링하는 것이 더 효율적임.

부재들 간의 접합조건에 따라 그림 2에 나타난 것과 같이 내부 힌지를 다양한 방식으로 삽입할 수 있어야 하며 필요시 힌지의 회전 자유도에 회전 강성을 지닌 스프링을 삽입할 수 있어야 함.



[2-6] 그림 1. 온실구조를 구성하는 대표적인 부재.





[2-6] 그림 2. 온실구조 접합부 모델링.

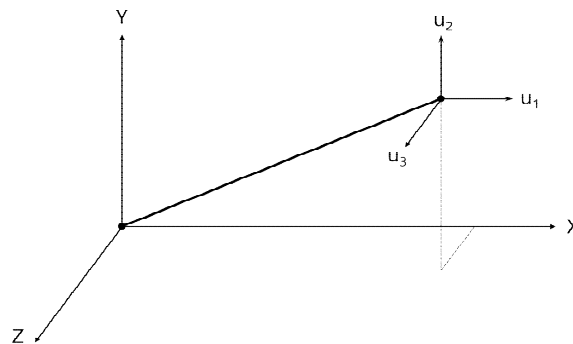
## (2) 트러스 요소

기둥 보강용 트러스 및 케이블 부재는 기본적으로 축력에 대해서만 저항 성능을 지니는 트러스 요소로 모델링 가능함. 단 케이블 요소의 경우 구조해석을 수행한 후 부재에 걸리는 축력이 인장력일 경우에만 축강성을 부여해야 하므로 기본적으로 비선형 해석이 요구됨. 온실구조의 동적 특성을 파악하기 위해 모드 해석을 수행할 경우 기본적으로 비선형 해석이 불가능하므로 3차원 트러스 요소를 이용해 해석을 수행해야 함.

3차원 트러스 요소는 그림 3에 나타난 것처럼 각 절점별 x, y, z 방향으로의 변위를 자유도로 지니며 식(1) 및 (2)에 나타난 것과 같이 강성행렬을 구성할 수 있음. 수식에서 L, E, A는 각각 부재의 길이, 탄성계수, 부재 단면적을 의미함.

$$C_x = \frac{x_2 - x_1}{L}; C_y = \frac{y_2 - y_1}{L}; C_z = \frac{z_2 - z_1}{L} \quad (1)$$

$$K = \left( \frac{EA}{L} \right) \begin{bmatrix} C_x^3 & C_x C_y C_x C_z - C_x^2 & -C_x C_y & -C_x C_z \\ & C_y^2 & C_y C_z - C_x C_y & -C_y^2 & -C_y C_z \\ & & C_z^2 & -C_x C_z & -C_y C_z & -C_z^2 \\ & & & C_x^2 & C_x C_y & C_x C_z \\ & & & & C_y^2 & C_y C_z \\ \text{symmetry} & & & & & C_z^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$



[2-6] 그림 3. 3차원 트러스 요소 자유도 설정.

### (3) 프레임 요소

전단력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 수평 및 수직 부재는 3차원 프레임 요소를 이용해 모델링 될 수 있음. 프레임 부재의 접합부에 내부 힌지를 삽입하기 위해서는 두 개의 프레임 요소가 만나는 절점에 각각의 프레임 부재에 독립적인 회전 자유도를 부여하여 프레임 요소의 강성행렬 성분을 해당하는 자유도에 삽입하는 방식으로 전체 구조물의 강성행렬을 구성함.

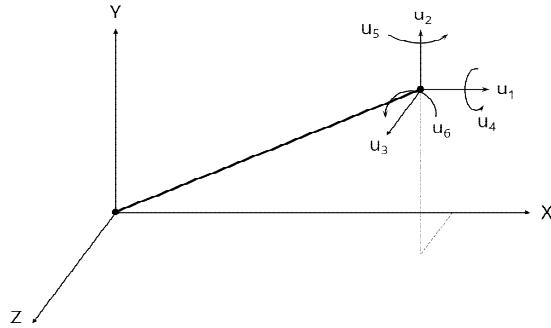
3차원 프레임 요소의 각 절점에는 3개의 x, y, z 방향으로의 변위 및 3개의 x, y, z 방향으로의 회전에 해당하는 총 6개의 자유도가 존재함. 식 (3)~(5)에 나타난 것과 같이 프레임 요소 강성행렬을 구성할 수 있으며 수식에서  $I_x, I_y, I_z$  는 각각 x, y, z축에 대한 단면 2차모멘트,  $J$  는 단면의 극관성모멘트,  $G$ 는 전단탄성계수를 의미함. 식 (3)의  $r$  행렬에서 각 성분은  $C_{Xx} = \cos\theta_{Xx}$  의 방식으로 계산할 수 있으며  $\theta_{Xx}, \theta_{Yx}, \theta_{Zx}$ 는 각각 국부 x 좌표축에 대한 전체 X, Y, Z 축의 각도를 의미함.

$$R = \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \end{bmatrix}, \quad r = \begin{bmatrix} C_{Xx} & C_{Yx} & C_{Zx} \\ C_{Xy} & C_{Yy} & C_{Zy} \\ C_{Xz} & C_{Yz} & C_{Zz} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$K' = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ & & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ & & & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ & & & & & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\ & & & & & & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ & & & & & & & & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ & & & & & & & & & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ & & & & & & & & & & & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \quad (4)$$

symmetry

$$K = R^T K' R \quad (5)$$



[2-6] 그림 4. 3차원 프레임 요소 자유도 설정.

## 나. 온실구조 해석 알고리즘 개발

### (1) 해석 알고리즘 개요

온실구조 설계과정 자동화를 그림 5에 제시된 해석 알고리즘을 활용함. 해석 알고리즘은 크게 설계조건 입력, 구조해석 수행 그리고 설계기준 검토의 세 과정으로 이루어져 있으며 설계된 온실구조의 모든 구조부재가 설계기준을 충족할 때까지 이 과정이 반복적으로 수행됨.

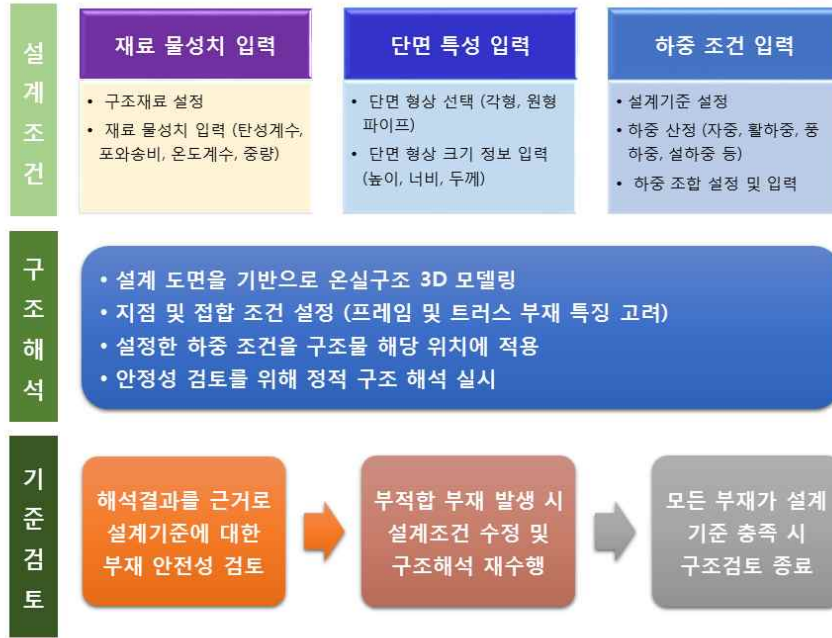
각각의 과정에서 수행되는 세부적인 작업을 아래에 이어 설명함.

### (2) 설계조건 설정

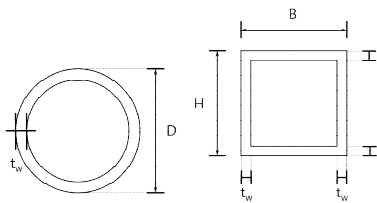
온실구조를 구성하는 부재 재료 종류를 선택하고 해당 재료의 탄성계수, 포와송비, 온도계수, 밀도 등과 같은 물성치를 입력함.

각종 온실구조 표준 설계도면 및 시방서를 검토하여 자주 활용되는 구조부재 단면에 대한 데이터 베이스를 구축하여 제공함으로써 사용자가 손쉽게 선택할 수 있도록 하며, 단면치수를 수동적으로 입력하는 옵션도 부여함. 그림 6에 나타난 것과 같이 적은 비용으로 높은 강도를 구현할 수 있는 원형 및 각형 파이프 형상이 온실구조 구성 부재로 주로 사용됨.

온실구조 해석 및 검토를 위해 원예시설 설계기준 등의 설계기준을 설정하고 그림 7에 나타난 것과 같이 자중, 활하중, 풍하중, 설하중 등과 같은 다양한 종류의 하중을 산정해 입력함. 그림 8과 같이 설계기준에 근거해 하중 조합을 설정하고 입력함.



[2-6] 그림 5. 해석 알고리즘 개요.



[2-6] 그림 6. 대표 부재 단면형상.

No	Active	Type	Description
1	Inactiv	Add	D + (Wx+WXR)/1.5
2	Inactiv	Add	D - (Wx+WXR)/1.5
3	Inactiv	Add	D + (Wy+WYR)/1.5
4	Inactiv	Add	D - (Wy+WYR)/1.5
5	Inactiv	Add	D + SL/1.5
6	Active	Envelope	Steel Strength Envelope

[2-6] 그림 7. 하중 종류.

No	Active	Type	Description
1	Inactiv	Add	D + (Wx+WXR)/1.5
2	Inactiv	Add	D - (Wx+WXR)/1.5
3	Inactiv	Add	D + (Wy+WYR)/1.5
4	Inactiv	Add	D - (Wy+WYR)/1.5
5	Inactiv	Add	D + SL/1.5
6	Active	Envelope	Steel Strength Envelope

[2-6] 그림 8. 하중 조합 설정.

### (3) 구조해석 수행

설계조건에서 설정된 재료 및 단면에 대해 트러스, 프레임, 케이블과 같은 요소 타입을 설정하고 기하학적인 형상을 구성함. 부재의 절점 위치를 설정하고 부재의 복사 및 이동 등과 같은 기능을 활용해 구조물의 골조를 구성함.

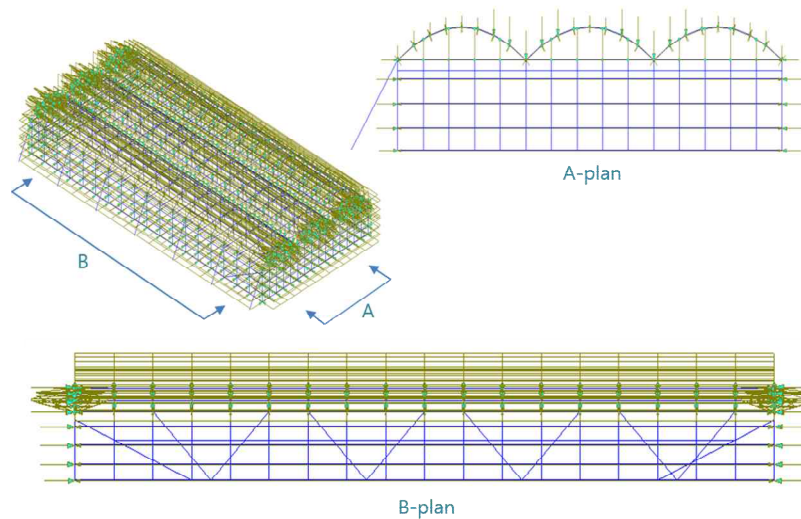
그림 9에 나타난 것처럼 구성된 골조에 대하여 설계조건에서 설정된 하중을 구조물의 해당 위치에 one- 혹은 two-way 조건을 선택하여 적용시킴. 다양한 방향에서 구조물의 모델링 상태를 확인할 수 있는 GUI(graphical user interface)를 제공함.

해석에 필요한 모든 조건 입력 후 구조해석 수행.

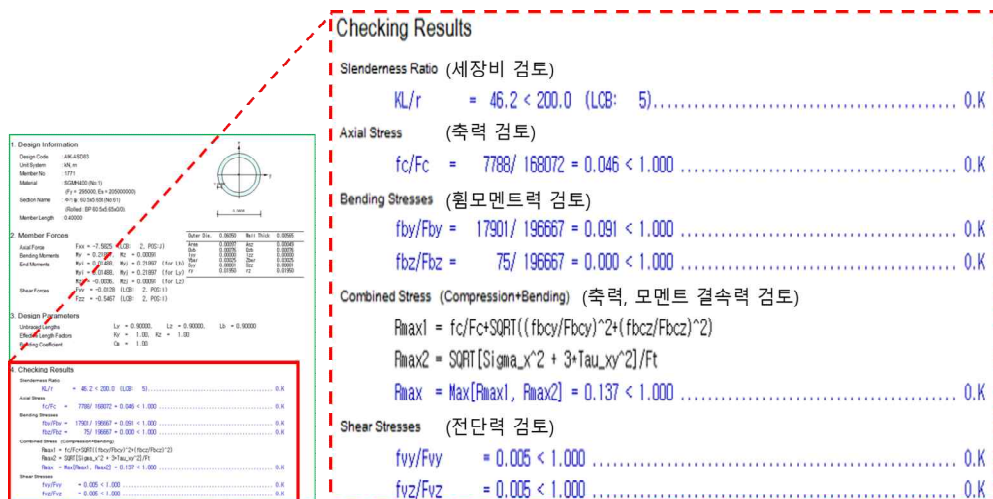
#### (4) 설계기준 검토

설정된 설계기준에 근거해 해석결과로부터 각 부재의 구조 안전성을 검토함. 축력, 휨모멘트, 전단력 등의 부재 내력이 설계강도를 초과하는지의 여부를 검토하여 그 결과를 정리해 그림 10에 나타난 것과 같이 제시함. 설계된 부재가 기준을 만족시키지 못할 경우 이를 빨간색으로 시각화시켜 재설계가 필요한 부재 파악을 용이하게 함.

설계기준 미충족 부재 발생 시 설계조건을 수정하여 모든 부재가 기준을 충족하도록 앞의 과정을 반복 수행함.



[2-6] 그림 9. 온실구조 골조 모델링 및 하중 적용.



[2-6] 그림 10. 설계기준 검토 결과.

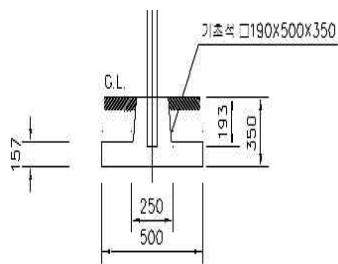
## 2-6-2. 2차 년도

### 가. 온실구조 주요 구조 요소가 전체 구조물의 거동에 미치는 영향 분석

최근 이상 자연재해에 대해 구조적 안전성을 지닌 온실구조물의 설계의 중요성이 커지고 있으며, 온실구조의 정확한 성능 평가를 위해서는 각 구조 요소의 거동을 해석모델에 정확히 반영하여야 한다. 그림 11에 나타낸 것과 같이 온실구조 거동을 결정하는 주요 구조 요소로는 지지부, 접합부 및 케이블 조건 등을 들 수 있다.

지지부 요소의 경우 그림 11 (a) 기초 상세도를 예로 들면, 기초가 콘크리트와 함께 지반에 매설되어 설치되기 때문에 x, y, z축에 대한 변위는 구속한다고 판단할 수 있는 반면, 회전에 대해서는 지반 상황 및 시공 방법에 따라 고정단, 힌지 또는 적절한 회전 강성을 가진 회전 스프링을 삽입하여 모델링할 수 있다. 접합부 요소의 경우 그림 12 (b) T-클램프 접합부를 예로 들면, 기둥과 수평 부재 사이의 변위는 구속할 수 있지만 회전에는 철물의 항복강도 및 시공 방법에 따라 강접 또는 힌지로 모델링할 수 있다. 마지막 케이블의 경우 그림 12 (c)에서 볼 수 있듯이 실제 시공된 케이블 부재는 해석 모델링에서 가정되는 것처럼 충분한 인장강성을 지니지 못하고 느슨하게 설치되는 경우가 많다. 따라서 케이블 부재의 단면적을 일부 감소시켜 모델링하는 것이 실제 구조물의 거동을 더 정확하게 묘사할 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 온실구조 설계를 위한 모델링 방법 연구를 위해 우선적으로 각 구조 요소가 전체 구조물의 동적 거동에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 그 방법으로 주요 구조 요소별로 모델링 변수 값을 변화시켜가며 전체 구조물의 고유진동수 및 모드 형상의 변화를 조사하였다. 대상 온실 구조물의 모드 해석을 수행하기 위해 상용 구조해석 프로그램인 Midas Gen을 사용하였다.



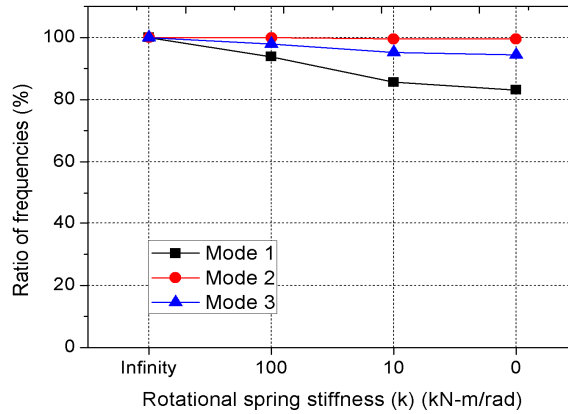
(a) 지지부 조건 (기초 상세도)      (b) 접합부 조건 (시공 사례)      (c) 케이블 조건 (시공 사례)

[2-6] 그림 11. 온실구조 주요 구조 요소

## (2) 온실구조해석

### (가) 지점 조건의 영향

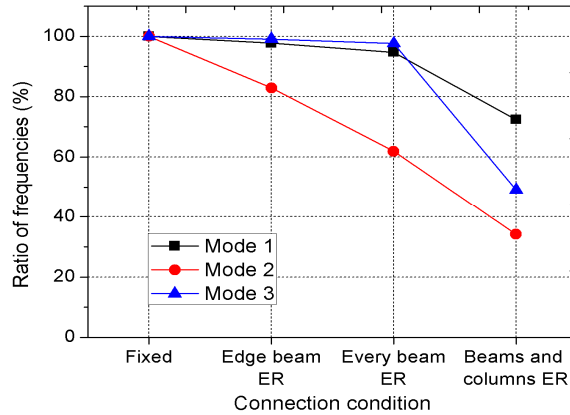
지점 조건의 변화에 따른 구조물의 거동 변화를 파악하기 위해 수직 부재의 모든 지점에 회전스프링을 삽입하여 회전 강성을 변화시킨 네 가지 경우로 나누어 구조물에 대한 모드 해석을 수행하였다. 결과적으로 지점의 회전 스프링 강성이 감소할수록 전체 구조물의 강성 또한 감소되어 고유진동수 값이 감소됨을 알 수 있고 x축 방향의 변형을 나타낸 1차 모드에서 최대 20% 감소되었다.



[2-6] 그림 12. 지점 조건의 영향

### (나) 부재 접합 조건의 영향

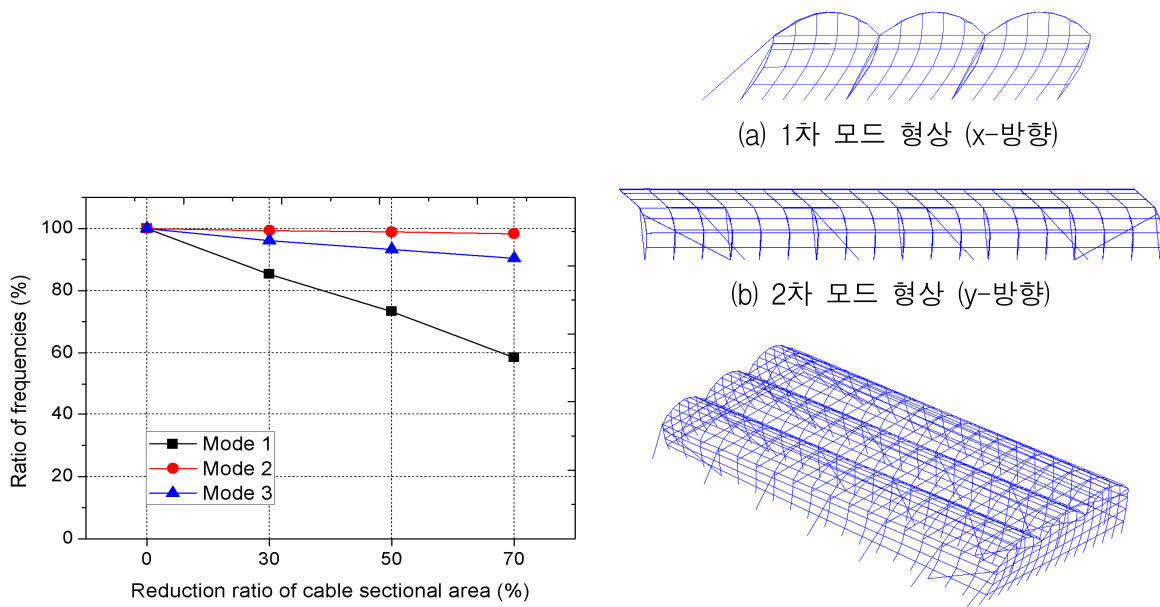
부재 접합 조건의 변화에 따른 구조물의 거동 변화를 파악하기 위해 구조물 내부 힌지 개수를 증가시켜가며 전체 구조물의 고유진동수 및 모드 형상에 미치는 영향을 조사하였다. 결과적으로 내부 힌지 개수의 증가에 따라 접합부의 강성이 감소될수록 전체 구조물의 강성 또한 감소되어 고유진동수 값이 감소됨을 알 수 있고 y축 방향 변형을 의미하는 2차 모드에서 최대 60%이상 감소됨을 알 수 있다. 이때, 지점 조건에 대한 분석 결과와 비교할 때 전반적으로 고유진동수 감소 비율이 더 크게 나타나 접합부 조건이 지점 조건에 비해 전체 구조물의 강성 변화에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다.



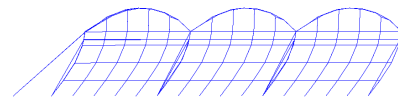
[2-6] 그림 13. 접합부 조건의 영향 (ER: 끝단 해제)

(다) 케이블 부재 단면적의 영향

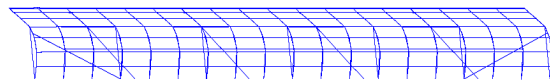
케이블 부재 단면적의 변화에 따른 구조물의 고유진동수 및 모드 형상 변화를 파악하기 위해 본래 단면적의 0, 30, 50 및 70%를 감소시켜 해석을 수행하였다. 결과적으로 케이블 단면적의 감소에 따라 전체 구조물의 강성 또한 감소되어 고유진동수 값이 감소됨을 알 수 있고 x축 방향의 변형을 의미하는 1차 모드에서 최대 40% 감소됨을 알 수 있다. 이때, 세 가지 주요 요소의 모드 해석 결과 모두 그림 15와 같은 모드 형상이 나타남을 확인했다.



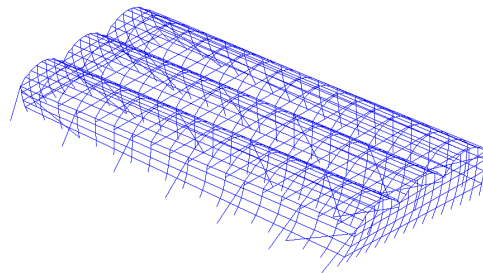
[2-6] 그림 14. 케이블 단면적 감소 조건의 영향



(a) 1차 모드 형상 (x-방향)



(b) 2차 모드 형상 (y-방향)



(c) 3차 모드 형상 (z-기준 회전)

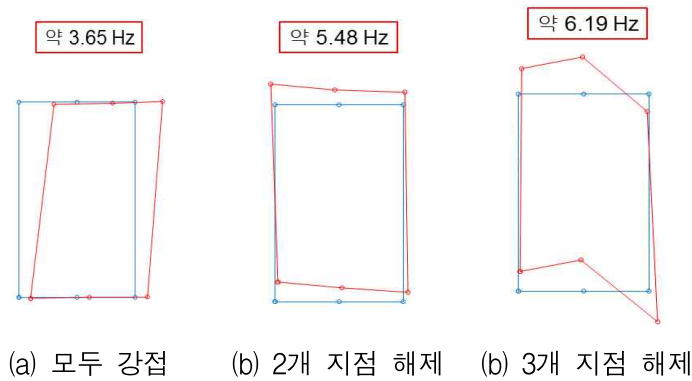
[2-6] 그림 15. 주요 모드 형상



## (2) 온실구조실험

### (가) 실험 방법 및 결과

대상 구조물에 대해 상시 진동을 계측하여 이로부터 대상 구조물의 주요 모드 형상 및 고유진동수를 측정하였다. 이를 위해 현장 가속도계 측정법을 도입하여 가속도계와 현장 계측 시스템을 이용한 3축 계측법을 사용하였다. 그림 16은 1~3차 고유진동수의 평균값과 평면에 대해 모드 형상을 표시한 그림이다. 이로부터 1차 모드는 x축 방향으로의 변형, 2차 모드는 y축 방향으로의 변형 그리고 3차 모드는 z축에 대한 비틀림 변형이 발생하여 1. 온실구조해석 결과와 일치함을 알 수 있다.



[2-6] 그림 16. 실험 결과

### (나) 실험 및 해석 결과의 비교

그림 14는 실험결과와 가장 유사한 해석결과를 얻어낼 수 있는 지점 조건, 접합부 조건, 케이블 부재 단면적 감소 비율을 나타낸다. 표 2는 표 1에 나타난 조건들을 적용시켜 얻은 해석결과를 실험 결과와 비교한 표이다. 표 2에 나타난 결과를 분석해보면, 1차 및 2차 모드 경우 실험 결과에 대한 해석 결과의 고유진동수 오차가 각각 6.58% 및 1.64%로 해석 결과와 실험 결과와 매우 유사함을 알 수 있으며 3차 모드의 경우 오차가 45.07%로 그 차이가 상당하다. 이와 같은 비교 결과를 바탕으로 실제 온실구조의 설계를 위해 해석을 수행할 경우 그림 14에 나타난 모델링 조건을 우선적으로 적용해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

[2-6] 표 1. 해석 모델링 조건

	진동수 (Hz)
지점 조건	스프링 강성 10(kN·m/rad)
접합부 조건	모든 보 끝단 해제
케이블 단면적 감소 조건	50(%)

[2-6] 표 2. 실험 및 해석 결과 비교

	1차 모드		2차 모드		3차 모드	
	진동수 (Hz)	상대오차 (%)	진동수 (Hz)	상대오차 (%)	진동수 (Hz)	상대오차 (%)
실험	3.65	-	5.48	-	6.19	-
유한요소해석	3.89	6.58	5.39	-1.64	8.98	45.07

## 나. 온실구조 대표 접합부 분류 및 모델링 방법 연구

이전 연구를 통해 온실구조 세 가지 주요 모델링 요소 중 접합부 조건이 전체 구조물의 거동에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 따라서 정확한 온실구조의 해석을 위해서는 접합부 요소의 정확한 모델링 방법이 요구된다. 온실 구조 접합부의 경우 크게 부재 끝단에서 만나는 접합부와 연속된 부재 사이에서 만나는 접합부, 두 가지 유형으로 분류할 수 있는데, 이는 실무에서 상용해석프로그램을 사용하여 접합부를 모델링할 때 서로 다른 모델링 방법을 적용하는 기준이 될 수 있다. 본 장에서는 접합부 유형 별로 사용되는 접합 철물의 종류를 알아보고 대표적으로 많이 사용되는 접합 철물에 대한 모델링 방법에 대해 연구한 것을 정리하였다.

### (1) 부재 끝단에서 만나는 접합부

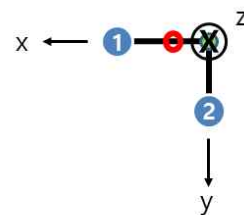
부재 끝단에서 만나는 접합부의 경우, 일반적으로 일중외봉, 일중쌍봉, T-클램프, T-판, Y-클램프 그리고 고정클램프와 같은 접합철물을 사용하게 된다. 이러한 접합부의 경우 실무에서 모델링할 시에 접합부가 생성되는 부재 끝단에 Beam end release 기능을 사용하여 거동에 따라 부재 사이의 변위 및 회전을 구속하거나 해제하여 모델링하게 된다. 대표적으로 T-클램프 접합부의 모델링 방법에 대해 정리하였다. 이때, 접합 철물의 볼트 및 피스 고정 효과를 고려하여 3축에 대한 변위가 모두 고정되어 있다고 가정하였다.

#### (가) T-클램프 접합부

T-클램프의 경우 일체형 철물이 아니기 때문에 앞, 뒷면 따로 부재에 부착하여 직결 피스로 고정한다. 따라서 부재 자체의 비틀림이 발생할 수 있고 접합부에 큰 휨모멘트가 발생한다면 이를 강접합이라 판단할 수 없다. 따라서 표 3에서 나타내었듯이 ① 부재 끝단에 3축에 대한 회전 구속을 모두 해제하여 모델링하는 것이 바람직하다.



(a) 시공 사례



● : node  
● : beam end release

(b) 자유도

[2-6] 그림 17. T-클램프 접합부 해석 모델

[2-6] 표 3. T-클램프 접합부 모델링 조건

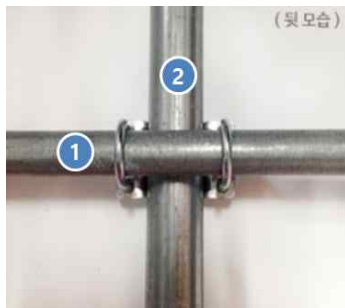
모델링 조건	자유도	부재 ①
Beam end release	$\theta_x$	해제 (torsion)
	$\theta_y$	해제
	$\theta_z$	해제

## (2) 연속된 부재에서 만나는 접합부

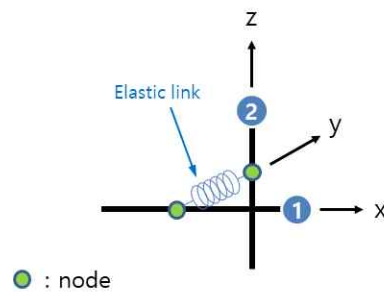
연속된 부재에서 만나는 접합부의 경우, 일반적으로 U-클램프, 결속조리개(강선, 선판, 강판), 고정 클램프 그리고 회전 클램프와 같은 접합철물을 사용하게 된다. 이러한 접합부의 경우 연속된 부재 중간에 접합부가 생성되므로 기둥과 수평 부재를 이격을 두고 각각 모델링한 후 사이에 Elastic link를 삽입하여 부재 사이 변위 및 회전 거동을 설정해주어야 한다. 대표적으로 많이 사용되는 U-클램프 접합부의 모델링 방법에 대해 정리하였다.

### (가) U-클램프 접합부

U-클램프 접합부의 경우 수직·수평 부재가 볼트를 통해 결속되어 있다. 따라서 부재 자체의 비틀림과 기둥과 수평부재 사이 회전이 발생할 수 있으므로 Elastic link의 3축에 대한 회전 강성 모두 0으로 모델링해주는 것이 바람직하다.



(a) 시공 사례



(b) 자유도

[2-6] 그림 18. U-클램프 접합부 해석 모델

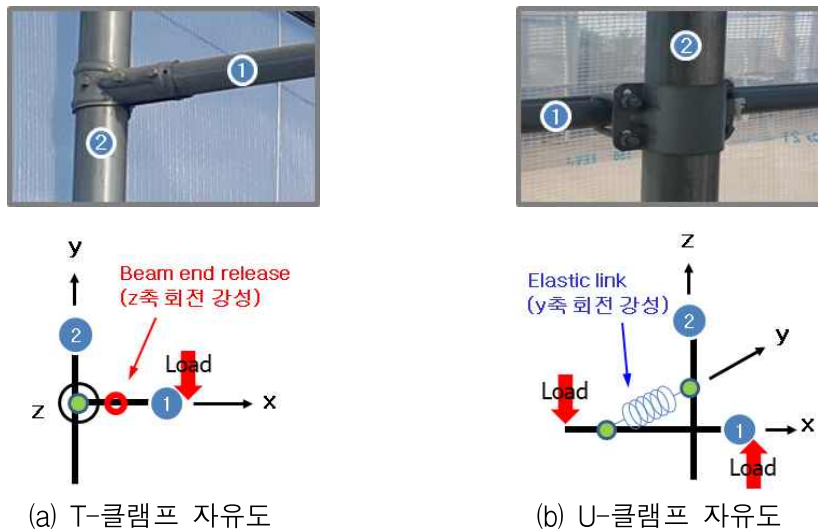
[2-6] 표 4. U-클램프 접합부 모델링 조건

모델링 조건	자유도	회전 강성
회전 스프링 (Elastic link)	$\theta_x$	0
	$\theta_y$	0
	$\theta_z$	0

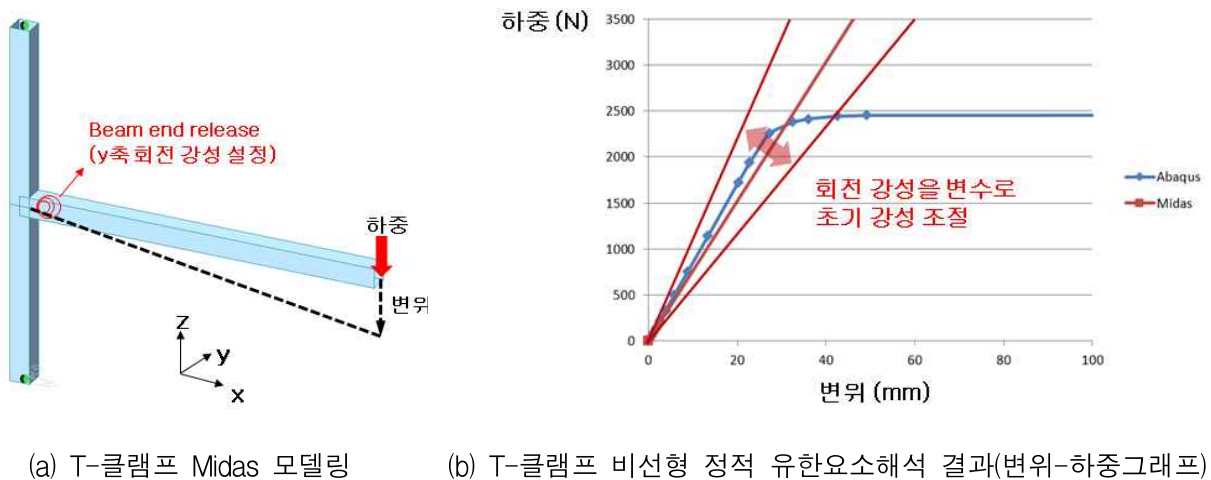
다. 온실구조 대표 접합부 유한요소해석 모델 개발

(1) 접합부 강성의 해석적 평가

이전 연구에서 알 수 있듯이 온실구조 접합부의 경우 유형에 따라 서로 다른 접합 철물이 사용된다. 이때, 일부 접합부의 경우 철물의 항복강도에 따라 유한한 회전 강성을 지니기 때문에 이를 실험이나 유한요소 해석을 통한 성능 평가를 실시하지 않고는 알 수 없다. 따라서 이러한 접합 철물 중 그림 19 두 가지 접합 철물을 선정하여 해석적 방법을 통해 접합부 강성을 평가하고자 하였다. 이때, T-클램프의 경우 보 끝단에 작용하는 하중에 의한 beam end release의 z축 회전 강성, u-클램프의 경우 보 양단에 서로 반대로 작용하는 하중에 의한 elastic link의 y축 회전 강성을 도출하고자 하였다. 또한, 같은 방법으로 부재의 단면 크기에 따라 달라지는 서로 다른 규격의 접합부의 회전 강성의 변화를 파악하고자 한다.



[2-6] 그림 19. 해석 대상 접합 철물



[2-6] 그림 20. T-클램프 회전 강성 평가 방법

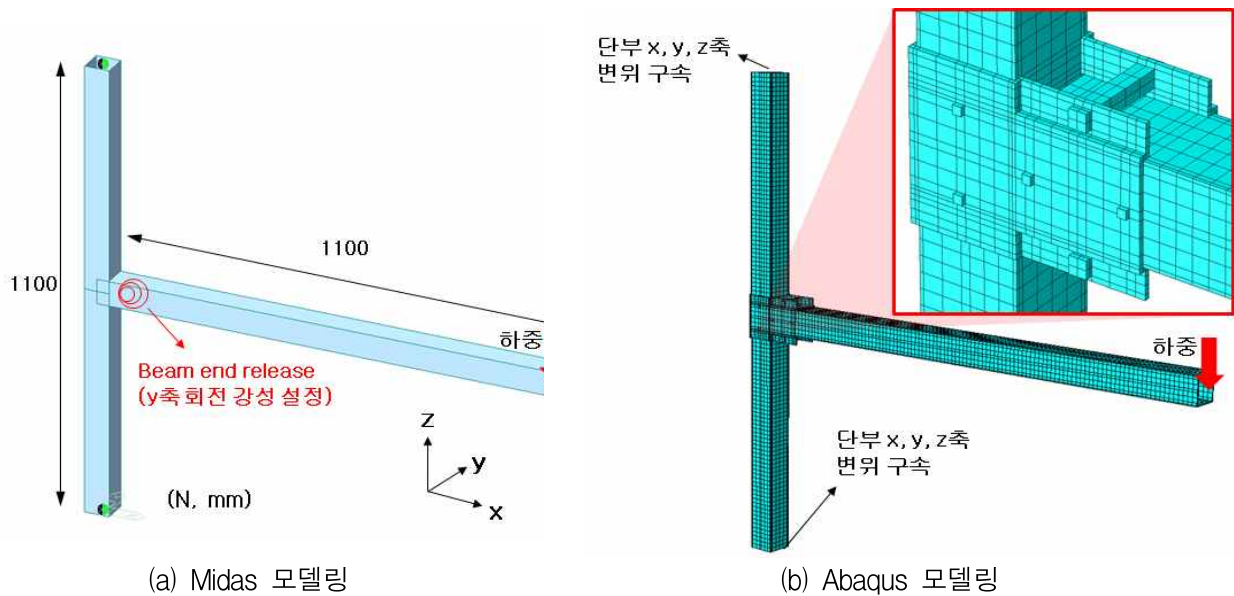
접합부 회전 강성 평가 방법을 그림 20의 T-클램프의 경우를 예로 들어 설명하고자 한다. 그림 20 (b)는 그림 20 (a)에서 Midas로 모델링한 접합부 정적해석 결과와 동일한 구조물을

Abaqus로 모델링한 비선형 유한요소해석 결과를 보 끝단에서 도출한 하중-변위 그래프로 표현한 것이다. 정적 해석 하중-변위 그래프의 기울기를 회전 강성을 변수로 조절하는 반복 작업을 수행하여 유한요소 해석과 동일한 결과를 얻을 수 있는 적절한 회전 강성을 도출하였다.

## (2) 비선형 정적 유한요소해석 모델링 조건

### (가) T-클램프 접합부

T클램프 접합부 모델링을 위해 내재해형 온실 규격 07-연동-1형을 해석 대상 온실 구조로 선정하였다. Fig. 11은 대상 온실 구조의 접합부 일부를 Midas와 Abaqus를 이용하여 각각 모델링 한 그림으로 모두 기둥 양 끝단에 변위 3축에 대해 고정시켰으며, 보 끝단에 작용한 수직 하중에 의해 발생하는 처짐을 비교하고자 하였다. 선정된 접합부 규격은 표 5과 같다.



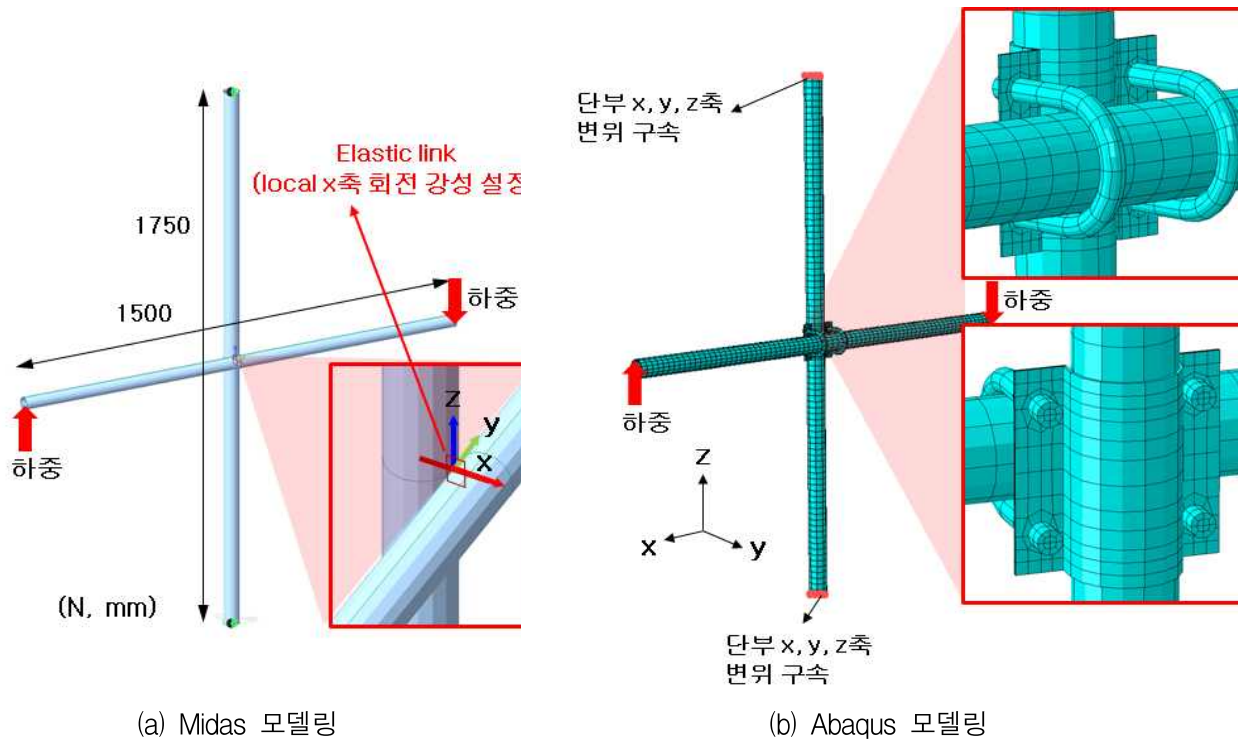
[2-6] 그림 21. T-클램프 접합부 모델링

[2-6] 표 5. T-클램프 접합부 규격 (단위: mm)

규격	수직 부재 너비 (정사각관)	수평 부재 너비 (정사각관)	부재 두께
30x30x1.2t	30	30	1.2t
40x40x1.6t	40	40	1.6t
50x50x1.6t	50	50	1.6t
60x60x1.6t	60	60	1.6t
75x75x2.3t	75	75	2.3t

(나) U-클램프 접합부

그림 22는 동일한 U-클램프 접합부 구조물을 Midas와 Abaqus 프로그램으로 각각 모델링한 것을 그림으로 나타낸 것이다. T-클램프 접합부 모델링 조건과 동일하게 두 모델링 모두 기둥 부재 양 끝단에 변위 3축에 대해서 고정시켰으며 보 양 끝단에 서로 다른 방향으로 작용한 하중에 의한 접합부의 global y축 방향 처짐각을 비교하고자 하였다. 선정된 접합부 규격은 표 6와 같다.



[2-6] 그림 22. U-클램프 접합부 모델링

[2-6] 표 6. U-클램프 접합부 규격 (단위: mm)

규격	수직 부재 너비 (원형강관)	수평 부재 너비 (원형강관)	부재 두께
25x25x2.0t	25	25	2.0t
30x30x2.3t	30	30	2.3t
40x40x2.3t	40	40	2.3t
50x40x2.3t	50	40	2.3t
60x60x2.3t	60	60	2.3t

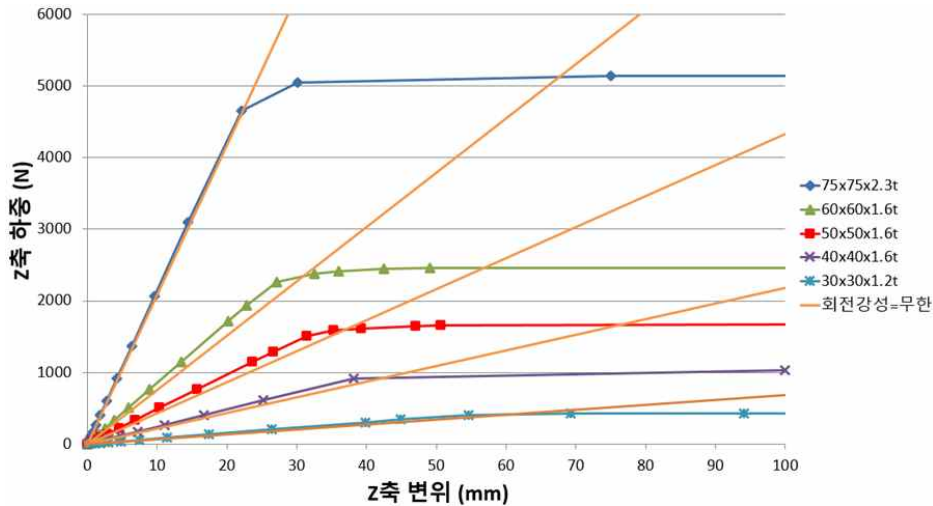
(3) 비선형 정적 유한요소해석 결과

(가) T-클램프 접합부 규격별 해석 결과

그림 23는 T-클램프 접합부 규격별 비선형 정적 유한요소해석 결과를 보 끝단에서 도출한 하중-변위 그래프이며 그래프에 나타난 접합부 규격 별 회전 강성, 최대 강도 및 항복 변위를 표 7에 정리하였다. 이를 통해 구조물의 규격이 커짐에 따라 최대 강도가 증가하고 항복 변위가 감소하는 것을 보아 구조물 강성이 증가함을 알 수 있고 모든 접합부에서 회전 강성이 무한대로 도출된 것을 볼 수 있다. 이는 Midas와 비교하여 abaqus는 유한 요소를 사용하여 접합부를 상세하게 모델링하기 때문에 발생하는 접합부 강성 증가 효과가 그 원인이라고 판단된다.

[2-6] 표 7. T-클램프 비선형 정적 유한요소해석 결과 (단위: N, mm)

규격	회전 강성 (kN·m/rad)	최대 강도 (N)	항복 변위 (mm)
30x30x1.2t	□	428	55
40x40x1.6t	□	1,030	38
50x50x1.6t	□	1,664	31
60x60x1.6t	□	2,475	27
75x75x2.3t	□	5,173	22

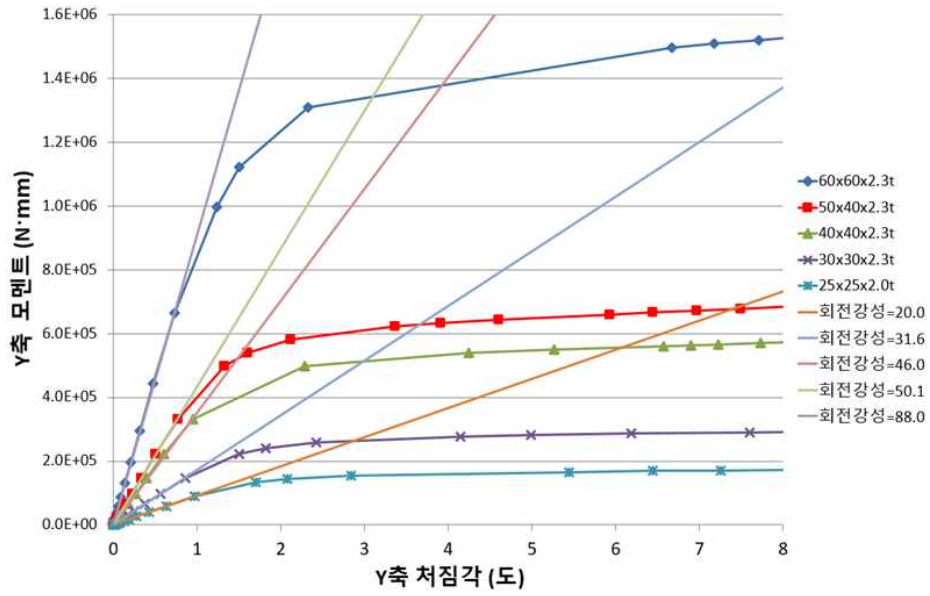


[2-6] 그림 23. T-클램프 비선형 정적 유한요소해석 결과 (하중-변위 그래프)

(나) U-클램프 접합부 규격별 해석 결과

그림 24은 U-클램프 접합부 규격별 비선형 정적 유한요소해석 결과를 접합부에 발생한 y축 회전 모멘트와 처짐각을 그래프로 표현한 그림이다. 그래프에 나타난 접합부 규격 별 회전 강성, 최대 모멘트 및 항복 처짐각을 표 8에 정리하였다. 구조물의 규격이 커질수록 최대 모멘트가 증가하고 항복 처짐각이 감소하는 것을 보아 구조물의 강성이 증가한다는 점은 T-클램프 접합부 분석 결과와 동일하다.

이때, 다른 점은, 규격 별로 0에서 무한대 사이의 특정 회전 강성이 도출되었다는 점이다. 이는 원형강관으로 이루어진 구조물 특성 상 부재 사이 접촉면이 작기 때문에 접합부 강성 증가 효과가 비교적 적게 발생한 것이 원인이라고 판단된다.



[2-6] 그림 24. U-클램프 비선형 정적 유한요소해석 결과 (하중-변위 그래프)

[2-6] 표 8. U-클램프 비선형 정적 유한요소해석 결과 (단위: N, mm)

규격	회전 강성 (kN·m/rad)	최대 모멘트 (N·mm)	항복 처짐각 (도)
25x25x2.0t	20.0	1.73e+5	0.97
30x30x2.3t	31.6	3.13e+5	0.86
40x40x2.3t	46.0	6.11e+5	0.80
50x40x2.3t	50.1	7.50e+5	0.77
60x60x2.3t	88.0	1.57e+5	0.73



### 2-6-3. 3차 년도

가. 온실구조 접합부의 성능 평가를 위한 유한요소해석 모델 개발

#### (1) 온실구조 접합부 성능 평가 실험

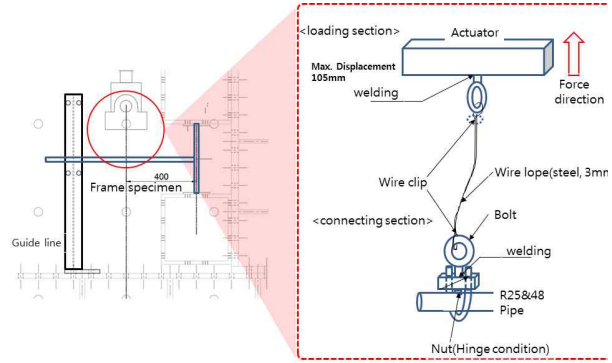
온실구조 접합부의 성능 평가를 위한 유한요소해석 모델을 개발하고 1협동 한국건설기술연구원에서 수행된 온실구조 접합부 실물실험 결과와 비교 평가 및 분석을 수행하였다. 1협동 한국건설기술연구원에서 수행된 실물시험의 대상 접합부는 모두 세 가지 타입으로 그림 25.에 나타난 것과 같이 T-판, U-클램프 접합부 그리고 고정클램프 접합부이다. 이 세 가지 타입 접합부는 마이다스와 같은 프레임 해석프로그램에서 회전스프링으로 모델링 될 수 있는 구조요소로 유한요소해석 및 실험을 통해 이의 회전 강성 및 강도를 측정하는 것을 목표로 한다. 접합부 회전 강성 및 강도 평가를 위해 수행한 실물실험의 세팅방법이 그림 26.에 제시되어 있다. 각각의 접합부 시험체는 길이 400mm의 기둥 부재를 접합부 연결철물로 수평 부재와 연결시킨 뒤 기둥 부재의 상하 단부를 용접과 볼팅으로 고정시켜 설치하였다. 기둥 및 수평 부재의 접합부로부터 400mm 떨어진 지점에 액추에이터를 설치하고 고리를 걸어 수직방향으로 가력하였으며 가력 지점에 발생하는 변위를 측정하여 하중-변위 그래프를 작성하였다.



(a) T-판 접합부



(b) U-클램프 접합부



(a) 시험체 가력방법



(c) 고정클램프 접합부

[2-6] 그림 25. 실물실험 접합부 타입



(b) 시험체 세팅

[2-6] 그림 26. 접합부 실물시험 세팅

## (2) 3차원 비선형 유한요소 해석을 통한 접합부 성능평가

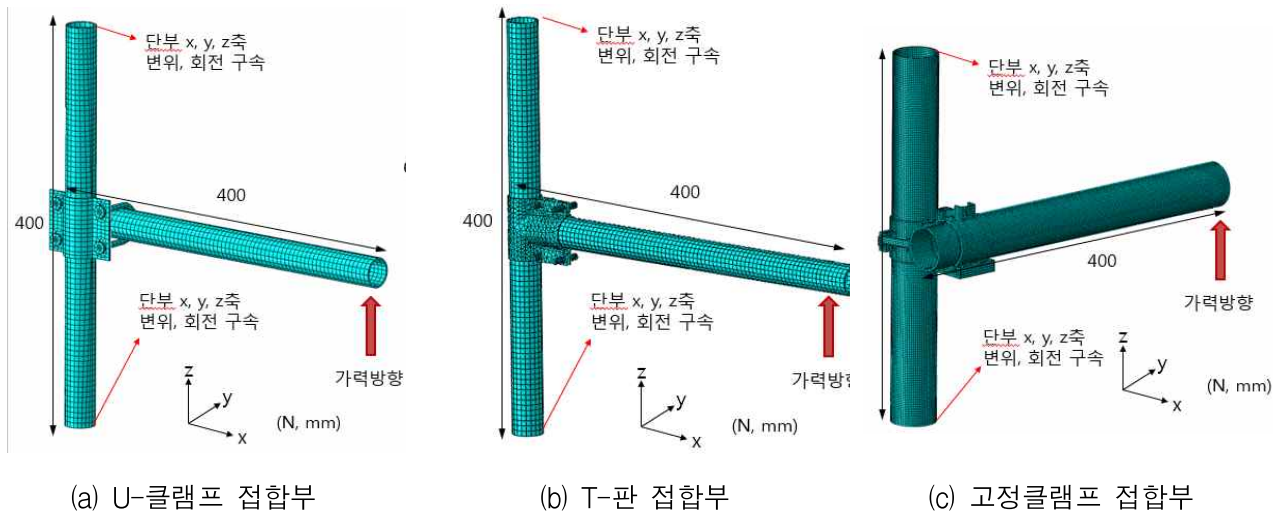
### (가) 유한요소 해석모델

유한요소해석을 통한 접합부 성능 평가를 위해 상용 유한요소 해석프로그램인 Abaqus CAE 2017(Abaqus, 2017)을 이용하였다. 실물 실험 접합부의 파괴가 구조요소 사이의 컨택 및 항복에 의해 발생하여 이들을 고려한 유한요소 해석모델을 구성하였다. 일반적으로 컨택 및 항복을 고려한 비선형해석의 경우 반복과정의 수렴이 무척 어렵기 때문에 준동적해석(pseudo-dynamics analysis)에 이용되며 비교적 수렴성능이 좋은 Abaqus implicit dynamics 솔버를 이용해 시간이력해석(time history analysis)을 수행하였다. 하중은 시간에 비례하여 선형적으로 증가하도록 가력하였으며 시간당 증가 하중량은 관성력에 의해 성능의 차이가 발생하지 않도록 10N/sec로서 실제 실험과 유사하게 설정 하였다.

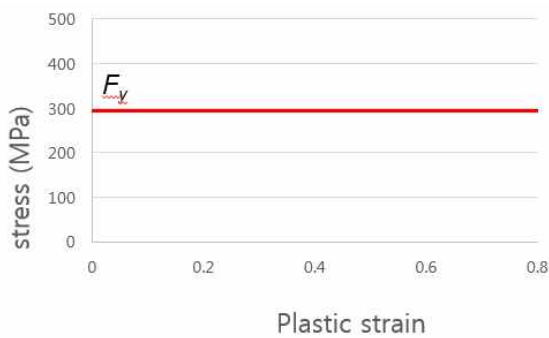
그림 27.에 나타난 것과 같이 각 접합부 실험체 세팅과 동일하도록 유한요소해석에 이용된 요소망을 구성하고 경계조건을 적용시켰다. 요소망에 20절점 2차 브릭(20-node quadratic brick) 요소를 사용하였으며 비교적 형상이 단순한 T-판 및 U-클램프 접합부는 기본요소길이 5mm로, 형상이 복잡한 고정클램프 접합부의 경우 기본요소길이 2mm로 설정하였으며, 최소요소길이는 기본요소길이의 각각 0.1배로 설정되었다. 하중 가력에 의한 구조물의 변형이 비교적

크지 않으므로 기하비선형은 고려하지 않았으며, 구조물을 구성하는 강재의 재료 거동은 그림 28.에 나타난 탄성-완전소성 모델을 이용하였으며 항복강도는 295 MPa로 설정되었다.

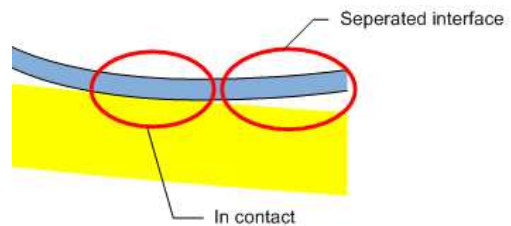
그림 29.에 나타난 바와 같이 접촉하는 강재 사이의 거동을 지정하기 위해 컨택 옵션을 사용하였다. 접촉면에 평행한 방향의 컨택은 이상적 거동과 수렴성 증대를 위해 마찰력을 0으로 (frictionless contact) 설정하였으며, 접촉면에 수직인 방향으로는 접촉부재 사이의 관통을 전혀 허용하지 않는 하드컨택(hard contact)을 적용하고 해석의 수렴과정 중 관통이 발생하지 않도록 constraint enforcement method를 디폴트로 설정하였다. 이러한 보수적인 컨택 설정은 비선형 반복과정의 수렴에 불리한 측면이 있지만, 세 가지 타입의 접합부 해석모델이 전부 두 개의 강관 부재가 얹은 두께의 접합부로 연결된 형상이라 작은 관통만으로도 해석 결과가 크게 달라질 수 있기 때문에 필요하다.



[2-6] 그림 27. 접합부 타입별 유한요소해석 요소망 및 경계조건



[2-6] 그림 28. 재료모델



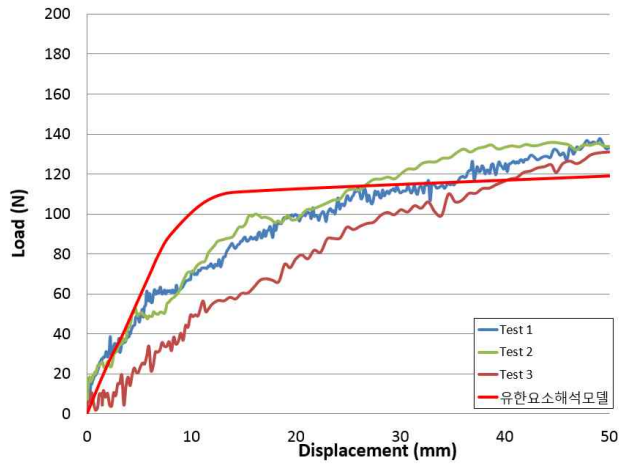
[2-6] 그림 29. 컨택 경계조건

### (가) 유한요소 해석결과 분석 및 평가

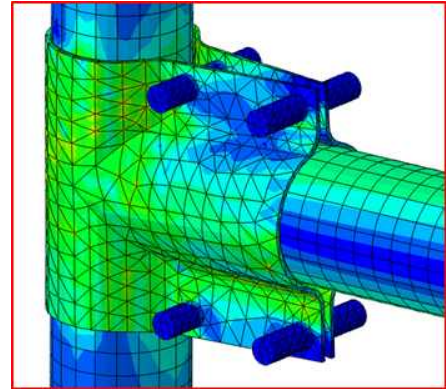
T-판 접합부의 실험 및 해석결과가 그림 30.에 하중-변위 그래프 및 응력분포도(von Mises yield stress)로 제시되어 있다. 유한요소해석에 의한 T-판 접합부의 거동을 살펴보면 그림 30.(b)의 응력분포도에 나타난 것처럼 수평부재 단부에 작용하는 연직방향 하중에 의해 T-판 접합철물과 이로 둘러싸인 수평부재 하부에 컨택이 발생하면서 응력이 집중되고 이 부분이 항복하면서 파괴가 발생하는 것을 알 수 있다. T-판 접합철물이 수평부재를 둘러싸고 있지만 볼팅이나 용접 등에 의해 물리적으로 연결되어 있지 않아 하중이 증가됨에 따라 수평부재와 T-판 접합철물 사이에 미끄러짐이 동시에 발생하여 파괴됨을 알 수 있다. 또한 실제 실험에서는 수평부재와 T-판 접합철물 사이에 미끄러짐이 그림 26.에 나타난 액추에이터에 연결된 고리를 통한 하중의 전달을 방해하여 구조요소의 뚜렷한 항복이 나타나지 않게 되는 경향이 있다. 유한요소해석 결과에 의한 최대하중은 110N 이다.

U-클램프 접합부의 실험 및 해석결과가 그림 31.에 나타나 있다. 그림 31.(a)의 하중-변위 그래프를 보면 T-판 접합부와 달리 해석 및 실험결과 모두 항복 구간이 비교적 명확하게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 그림 31.(b)에 나타난 것과 같이 수평 부재에 수직 변위가 발생하더라도 U형 볼트들이 뒤틀리면서 수평 부재를 잡아주기 때문에 T-판 접합부의 경우와 달리 미끄러짐이 많이 발생하지 않기 때문이다. 응력분포도에 나타난 것처럼 왼쪽 U볼트는 올라가고 오른쪽 U볼트는 내려가면서 컨택이 발생하여 수직하중에 의해 접합부에 발생하는 휨 모멘트에 저항함을 알 수 있다. 컨택이 발생하는 부분은 응력이 집중되어 이 영역을 중심으로 하중이 증가함에 따라 항복이 발생하며 유한요소해석 결과에 의한 최대하중은 180N 이다.

고정클램프 접합부의 해석 및 실험결과가 그림 32.에 제시되어 있다. 그림의 하중-변위 그래프로부터 고려된 세 가지 타입의 접합부 중 가장 강성이 큰 것을 알 수 있으며 최대 하중도 가장 높게 나타나고 있다. 또한 그림 32.(b)의 응력분포도에 나타난 것과 같이 하중 전달경로의 중심에 위치한 고정클램프 접합철부의 볼트 연결부에 응력 집중 현상이 발생한다. 유한요소해석 결과에 의한 최대하중은 460N 이다.

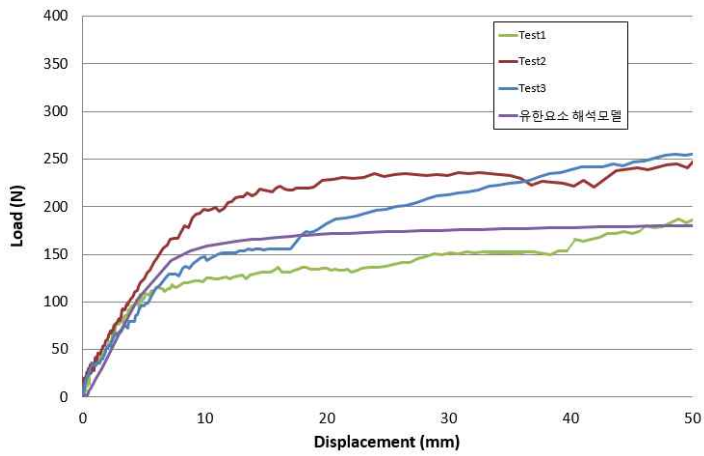


(a) 하중-변위 그래프

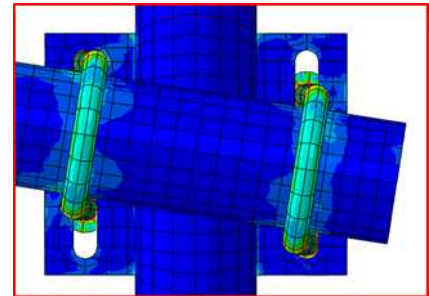


(b) von Mises 응력 분포

[2-6] 그림 30. T-판 접합부 유한요소해석 및 실험결과 비교

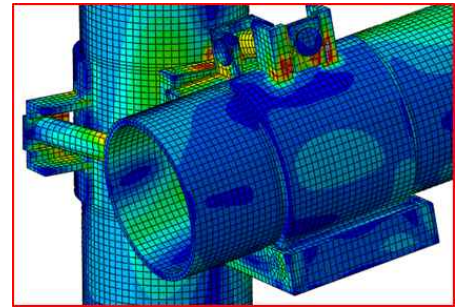
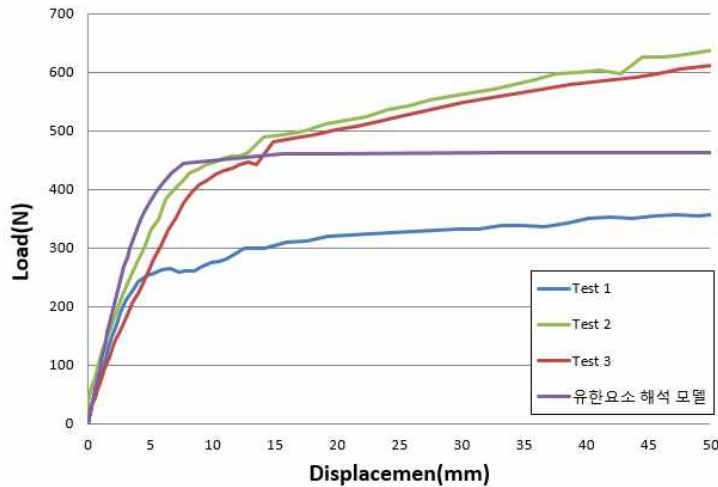


(a) 하중-변위 그래프



(b) von Mises 응력 분포

[2-6] 그림 31. U-클램프 접합부 유한요소해석 및 실험결과 비교



(a) 하중-변위 그래프

(b) von Mises 응력 분포

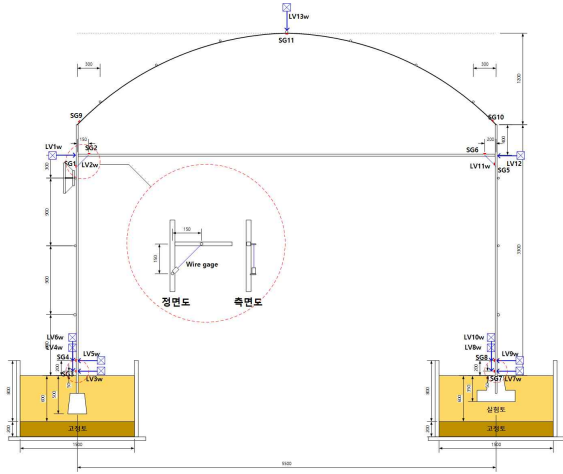
[2-6] 그림 32. 고정클램프 접합부 유한요소해석 및 실험결과 비교

## 나. 유한요소 해석모델 업데이트 및 실대형 온실구조체 실험결과와의 비교

### (1) 실대형 수평반복가력 실험 및 해석적 검증

#### (가) 수평반복가력 실험

실대형 온실구조 시험체에 대하여 수평반복가력 및 풍하중의 두 가지 실험이 수행되었다. 이 중 수평반복가력 실험은 그림 33.에 나타난 것처럼 시험체의 좌측에 액추에이터를 설치하여 반복가력하중을 적용시켰으며 그 결과로 그림 34.에 나타난 하중-변위 이력곡선을 얻을 수 있다. 3차원 비선형 유한요소 해석을 통해 하중-변위 이력곡선을 얻는 것은 많은 해석시간 및 높은 난이도의 재료 모델링을 요구하므로 비효율적이다. 따라서 그림 10에 제시된 것과 같이 대신 하중-변위 이력곡선의 한 사이클 내에서 최대 변위가 발생하는 점들을 연결하여 백본커브를 추출하고 이를 3차원 프레임 해석 결과와 비교하는 것이 합리적이다.

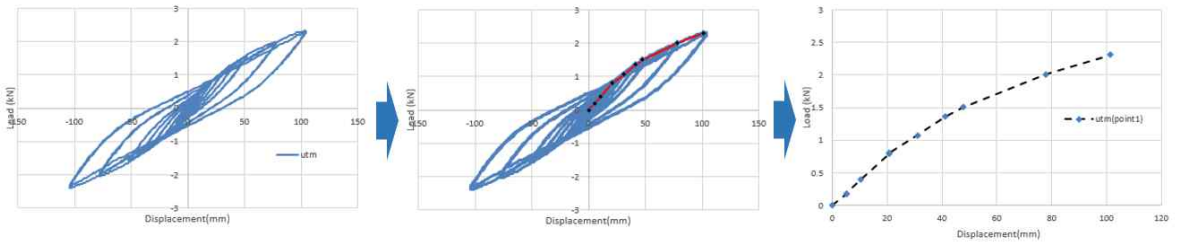


(a) 시험체 상세

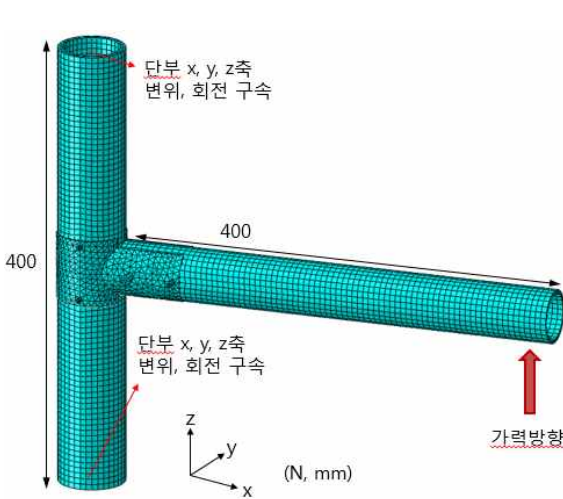


(b) 시험체 세팅 (가력방법)

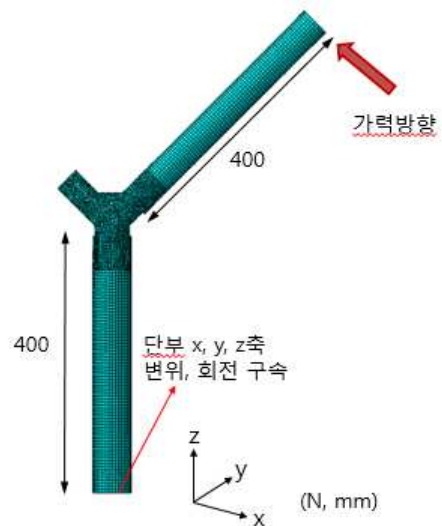
[2-6] 그림 33. 실대형 수평반복가력 실험



[2-6] 그림 34. 실험 이력곡선으로부터 백본 커브 추출



(a) 스타트-밴드 접합부



(b) Y-클램프 접합부

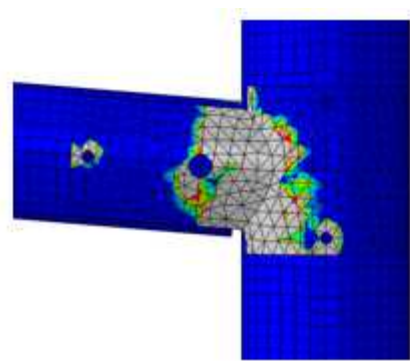
[2-6] 그림 11 접합부 비선형 모멘트-회전 관계를 도출하기 위한 유한요소 해석모델

(나) 비선형 유한요소 해석을 이용한 접합부 성능 평가

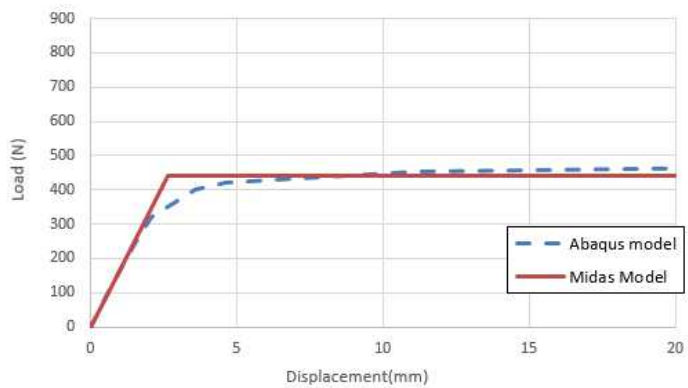
실대형 온실구조 시험체에 대한 백본커브와 비교하기 위해 3차원 프레임 온실구조체에 대해 비선형정적해석(push-over analysis)을 수행하였다. 프레임 구조물의 비선형 거동을 가장 큰 영향을 미치는 Y-클램프와 스타트 밴드의 비선형 모멘트-회전 관계를 3차원 비선형 유한요소 해석으로 평가하여 비선형정적해석에 이용한다. 앞서 세 가지 타입의 3차원 비선형 유한요소 해석결과로부터 그 정확성이 충분히 입증되었으므로 이 접근방식을 비선형 정적해석에 그 결과를 활용할 수 있다.

스타트 밴드 및 Y-클램프 접합부의 3차원 비선형 유한요소해석 모델의 요소망 및 경계조건이 그림 35.에 제시되어 있다. 두 가지 접합철물 강재 접합판이 좌우가 분리된 채 볼트로 연결되어 기둥 및 수평 부재에 연결되어 있는 형상이므로 이 특징을 반영하기 위해 각각의 두 강재 접합판의 볼트 연결부를 constraint-coupling 옵션을 사용하여 연결하였다. 요소망 설정 및 재료모델은 앞서 수행된 접합부 유한요소 해석과 동일하게 설정되었다. 3차원 비선형 유한요소 해석을 통해 얻어진 스타트 밴드 및 Y-클램프 접합부의 해석결과가 각각 그림 36. 및 그림 37.에 제시되어 있다.

그림 36. 및 그림 37.에 나타난 3차원 비선형 유한요소해석 결과를 프레임 비선형정적해석 모델에 적용시키기 위해 이를 이선형(bilinear) 그래프로 간단하게 치환하여 나타낼 필요가 있다. 이를 위해 그림 38.에 나타난 간단한 프레임 접합부 모델에 회전 스프링을 삽입해 3차원 비선형 유한요소해석에 의한 하중-변위 그래프와 동일한 관계식을 얻을 수 있는 회전 스프링의 이선형 모멘트-회전 관계를 얻는다.



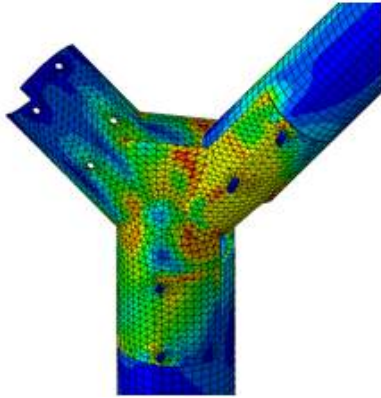
(a) von Mises 응력 분포



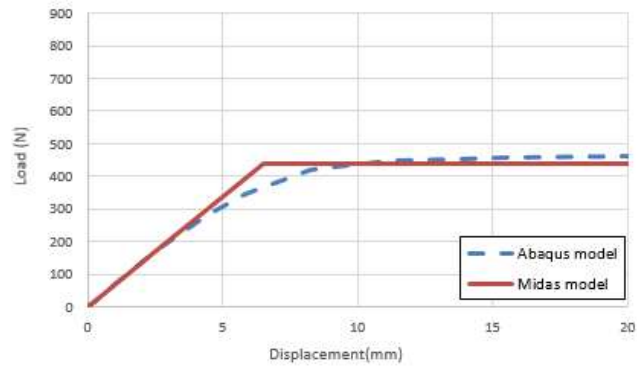
(b) 하중-변위 그래프

[2-6] 그림 36. 스타트-밴드 접합부 해석결과



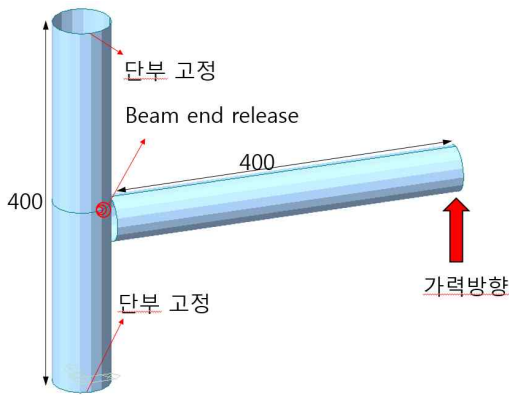


(a) von Mises 응력 분포

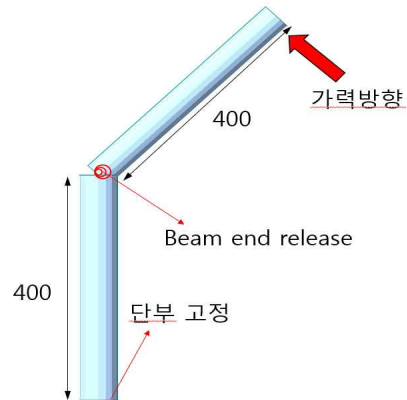


(b) 하중-변위 그래프

[2-6] 그림 37. Y-클램프 접합부 해석결과



(a) 스타트-밴드 접합부 모델링

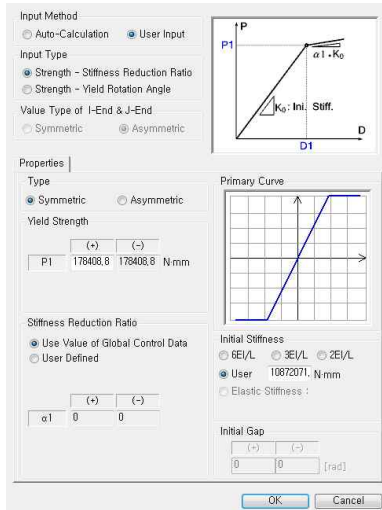


(b) Y-클램프 모델링

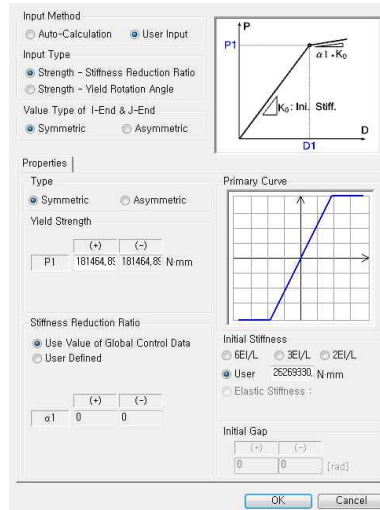
[2-6] 그림 38. Push-over 해석 접합부 비선형 모멘트-회전 관계 도출을 위한 모델링

(다) 실험용 실험체 프레임 모델을 이용한 push-over 해석 및 실험 결과와의 비교

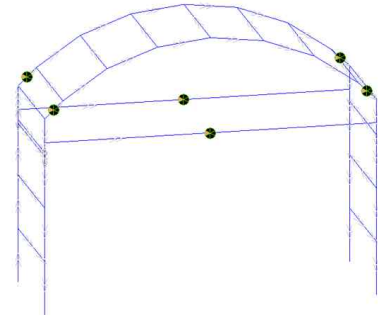
앞서 (나) 장에서 도출한 스타트-밴드 및 Y-클램프 접합부의 비선형 모멘트-회전 관계를 실험용 은실구조 프레임 해석모델에 대입한다. 모델의 접합부 형상이 보 부재가 단일 절점에서 만나는 형상이므로 push-over 소성힌지 옵션은 beam/truss 옵션으로 설정한다. 이의 상세는 그림 39.에 제시되어 있으며, Y-클램프 접합부의 경우 그림 39.(c)에 나타난 것처럼 경사 보 부재의 한쪽 절점에만 연결되어 있으므로 only i, only j node와 같은 단일 절점 적용 옵션을 사용하고, 스타트-밴드의 경우 양단 적용 옵션을 사용한다.



(a) Y-클램프 접합부 소성힌지 설정



(b) 스타트-밴드 접합부 소성힌지 설정

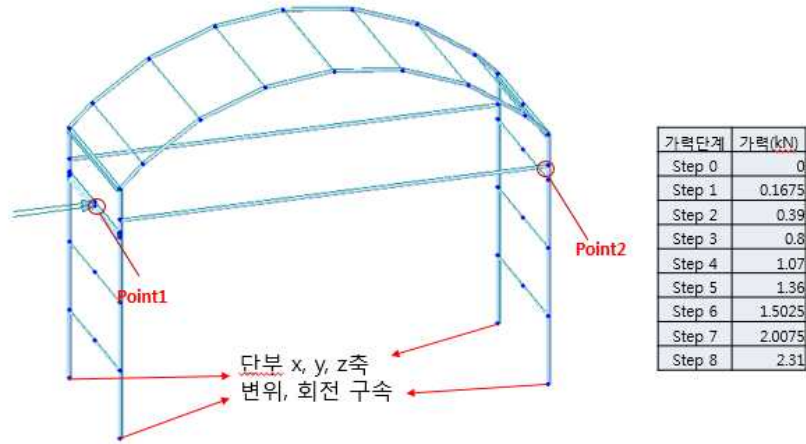


(c) 소성힌지 설정 지점

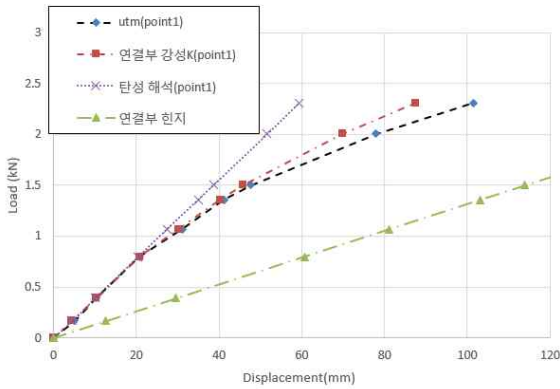
[2-6] 그림 39. 실대형 온실 구조체 push-over 해석

프레임 비선형 정적해석 모델의 경계조건과 하중 증분 단계별 측정된 수평가력 하중의 크기를 그림 40.에 표시하였다. 비선형 정적해석의 하중-변위 곡선은 각각의 측정점을 직선 보간하여 나타내었으며 수평반복가력 실험의 백본 커브에 표시된 측정점들과 하중값이 동일하도록 하중 증분을 조정하였다. 그림 41.(a), 그림 41.(b)는 그림 40.에 나타난 두 개 포인트에서 측정된 실험과 해석에 의한 하중-변위 값을 각각 비교해 나타낸 것이다. 두 그림에 각각 총 네 개의 그래프를 표기하였는데 이는 1) 접합부 강점인 탄성 해석결과, 2) 그림 36. 및 그림 37.의 비선형 모멘트-회전 관계를 적용시킨 비선형 정적해석 결과, 3) 접합부 힌지인 탄성 해석결과, 그리고 4) 실험결과이다.

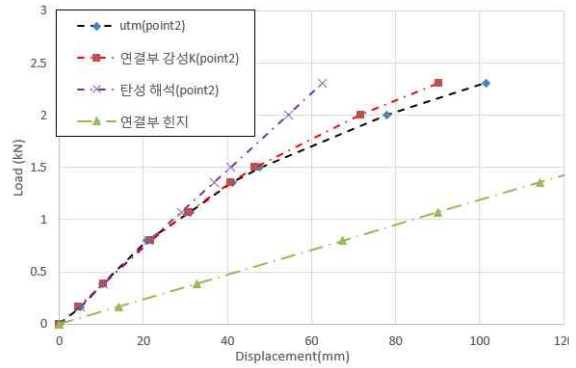
이로부터 2) 비선형 정적해석결과 및 4) 실험결과 그래프가 매우 잘 일치하며 실무에서 일반적으로 이용되는 1) 접합부 강점인 탄성 해석결과 및 3) 접합부 힌지인 탄성 해석결과의 중간에 위치하는 것을 알 수 있다. 또한 이 실험에 사용된 Y-클램프, 스타트-밴드 접합부 강성이 강점에 유사하게 크다는 것을 알 수 있다. 두 접합부의 강성이 매우 크다는 사실은 그림 36. 및 그림 37.을 통해서도 알 수 있는데, 각각의 접합부가 항복할 때 발생하는 변위가 5~10mm로서 항복 직전까지 거의 회전이 발생하지 않는다.



[2-6] 그림 40. 실대형 수평가력실험의 온실 구조체 형상 및 경계조건



(a) Point1 하중-변위 그래프



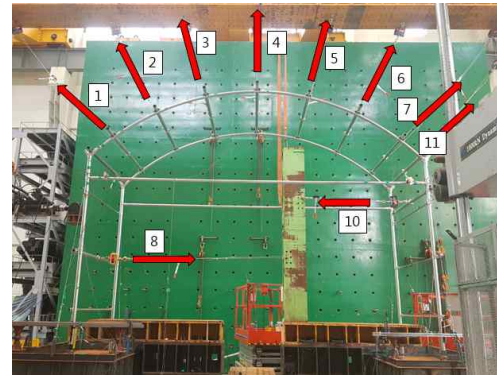
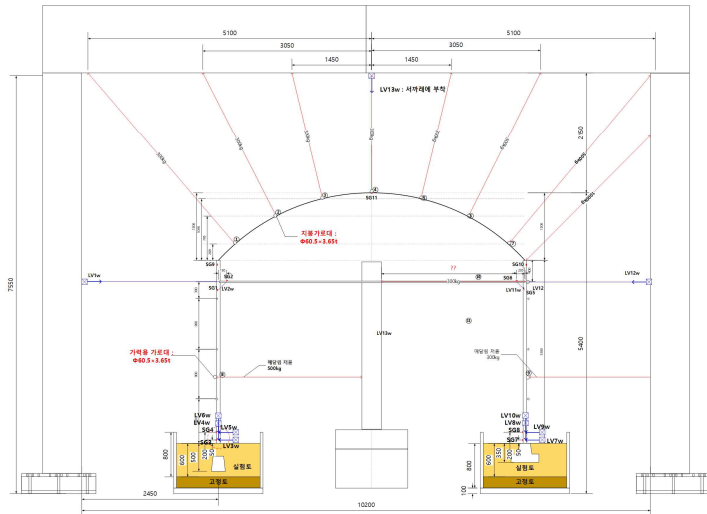
(b) Point2 하중-변위 그래프

[2-6] 그림 41. 실대형 수평가력실험 및 해석결과 비교

## (2) 실대형 풍하중 실험 및 해석적 검증

### (가) 실대형 풍하중 실험

실대형 온실구조체의 풍하중 실험은 분포 풍하중과 동등한 크기를 가진 집중하중으로 대체하여 적용시켜 진행하였다. 치환된 집중하중은 그림 42에 나타난 것과 같이 풍하중이 작용하는 가로대 1~8번 지점에 적용되었다. 이에 추가로 단동이 아닌 연동형 온실구조에서 연결된 옆동 온실 구조체에서 전달되는 하중을 10 및 11번 지점 가로대에 적용하였다. 바람이 왼쪽에서 오른쪽으로 부는 상황을 가정하여 8번 가로대는 우측으로 하중을 받으며 1~7번 가로대는 부력(베르누이) 효과 인해 천장 방향으로 하중이 작용한다. 각각의 지점에 단계별로 적용된 하중의 표 9에 주어져 있다.



(a) 시험체 상세 (b) 시험체 세팅 (가력방법)

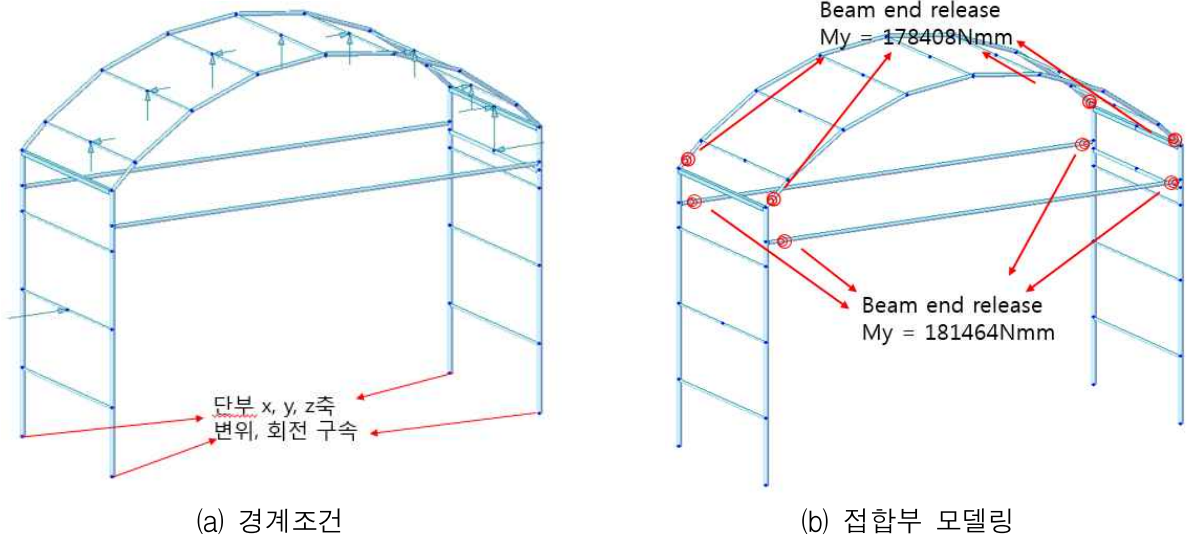
[2-6] 그림 42. 실대형 풍하중 실험

[2-6] 표 9. 풍하중 실물실험 단계별 가력표 (단위: kg중)

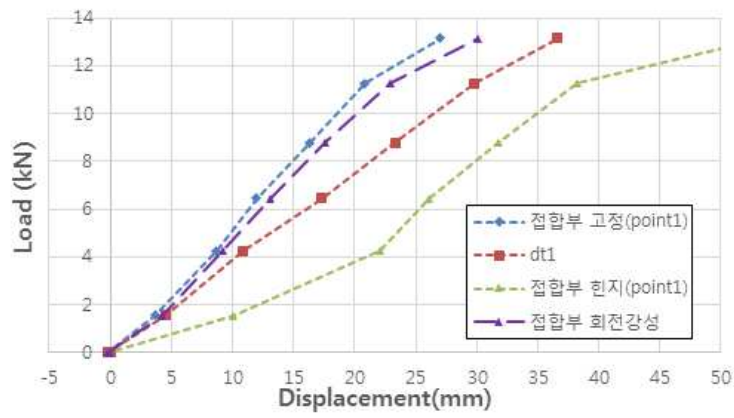
No. Step	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
1	10.2	27.1	40.6	42.6	29.4	20.3	12.6	117	76	23.2
2	30.4	39	59.1	53.3	40.4	34.5	20.4	178.5	120.2	70.4
3	46.7	67.7	100.8	101.2	79.0	44.5	30.8	253.5	201.4	165.8
4	63.9	81.8	125.8	120.2	77.5	71.6	36.4	368.0	281.8	210.2
5	81.3	98.7	148.6	112.9	134.0	70.8	37.8	495.0	365.0	251.0
6	111.4	117.7	160.6	168.2	118.4	103.4	53.6	593.0	442.6	307.5
7	149.8	137.0	198.0	162.6	156.9	120.7	52.4	639.0	501.0	415.6

(나) 실대형 실험체 프레임 모델을 이용한 선형 탄성해석 및 실험 결과와의 비교

그림 44.에 스타트-밴드 및 Y-클램프 접합부를 1) 강접, 2) 힌지 그리고 3) 회전스프링으로 치환한 해석결과를 4) 실험결과와 비교하였다. 풍하중 실험에서는 접합부 항복이 발생하지 않기 때문에 전부 선형 탄성해석을 진행하였다. 회전스프링의 회전강성은 앞서 수평가력실험의 해석모델에 이용된 스타트-밴드 및 Y-클램프 접합부의 초기 회전강성을 사용하였다. 실험에 의한 하중-변위 그래프는 1) 강접 및 2) 힌지 접합을 이용한 해석결과의 중간에 위치하며 이중 1)에 더 가까운 형상이다. 3) 회전스프링을 접합부에 삽입한 결과가 1) 강접 및 2) 힌지 접합을 이용한 해석결과보다 실험결과에 더 근접하여 정확성이 더 높음을 알 수 있다.



[2-6] 그림 43. 풍하중 실험 프레임 해석 모델



[2-6] 그림 44. 풍하중 실험 및 해석 결과 비교

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

구분	연도	연구개발의 목표	수행기관
1차년도	2015	국내외 하중기준을 고려한 설계법 확립	1세부
		국내외 온실 및 설비의 특성 분석	2세부
		온실 구조안전성 요구사항 도출	1협동
		설계 편의성을 고려한 UI 프레임워크 개발	2협동
		최적 유한요소 선정 및 해석 알고리즘 개발	3협동
2차년도	2016	ICT 융복합시스템의 동적효과를 고려한 하중산정 기법개발	1세부
		설비하중의 산정 및 구조설계용 프로그램의 사용성 평가	2세부
		온실 접합부 및 지반 상호작용 평가 실험	1협동
		온실 구조 설계 자동화를 위한 모듈 개발	2협동
		온실구조 접합부 및 지지부 모델링 기법 개발 및 최적화	3협동
3차년도	2017	국내외 상용프로그램을 적용한 구조해석 및 표준도 D/B 구축	1세부
		온실구조 설계용 프로그램의 검증 및 사용 현장 적용성 평가	2세부
		실대형 실험을 통한 동특성 계측 및 붕괴 특성 파악	1협동
		온실 구조 설계 자동화 프로그램 개발	2협동
		실대형 온실구조 실험결과를 활용한 유한요소 해석모델 업데이트	3협동

### 3-2. 목표 달성여부

#### 가. 정성적 연구목표 달성도

	단위성과	질적성과지표	평가목표 및 착안점	결과물	달성도 (%)
1차 년도 (2015)	국내외 하중기준을 고려한 설계법 확립	온실의 하중조절 인자를 고려한 구조 설계법	온실 하중조절 인자 분석	분석 결과를 설계법 확립에 반영	100
		국내외 하중 기준을 검토하여 온실 적용 가능성 확인	국내외 온실설계하중 기준 DB 확보	국내외 온실설계하중 기준 DB	100
		허용응력설계/한계상태설계법 적용 검토	검토 결과 분석	분석 결과를 설계법 확립에 반영	100
	국내외 온실 및 설비의 특성 분석	국내 및 온실산업 선진국의 온실 형태 및 설계기준 조사	조사 및 분석	분석 결과 보고서	100
		각국별 온실의 구조 및 설비 특성 분석	조사 및 분석	분석 결과 보고서	100
	온실 구조안전성 요구사항 도출	온실의 구조적 특성 분석	국내 온실 규격 조사	국내 온실 규격 DB	100
		국내 온실 설계/시공 현황 분석	국내 온실 시공 현황 분석 자료 조사	국내 온실 시공 현황 DB	100
		온실 구조 시스템 문제점 및 구조안전성 요구사항 도출	온실의 피해사례 및 파괴 양상 조사, 선행연구 조사	온실의 피해사례 및 파괴 양상 DB	100
	설계 편의성을 고려한 UI 프레임워크 개발	온실 설계 프로그램의 벤치마킹 분석	상용 프로그램 비교 분석	상용 프로그램 분석 결과	100
		성과품에 대한 요구사항 도출 및 UI 프레임워크 개발	UI 개발	프로그램 UI	100
	최적 유한요소 선정 및 해석 알고리즘 개발	기존의 유한요소 성능 검토 및 비교를 수행하고 최적 유한요소를 선정	온실구조를 구성하는 대표적인 부재에 대한 분석, 강성행렬 식 제안	온실 구조부재 결정 및 온실의 강성행렬	100
		최적 유한요소를 이용한 온실구조 해석 알고리즘 개발 및 최적화	알고리즘 개발	알고리즘 코딩	100

2차 년도 (2016)	ICT융복합시스템의 동적효과를 고려한 하중산정 기법개발	ICT기자재의 동적하중 산정 기법 개발	동적하중 산정 기준 검토	설계기준 별 동적하중 산정 기법	100
	설비하중의 산정 및 구조설계용 프로그램의 사용성 평가	온실 설비하중의 산정	실험을 통한 하중 산정	작물 및 설비하중 제시	100
		구조설계 프로그램에 대한 수요자의 사용 용이성 평가	사용성 설문평가	사용자 관점 개선방안 제시	100
	온실 접합부 및 지반 상호작용 평가 실험	온실구조 주요 구조부재 및 접합부 구조성능 실험	성능실험 1회	성능실험 1회	100
		온실구조 기초 및 주각부 구조성능 실험	성능실험 1회	성능실험 1회	100
	온실 구조 설계 자동화를 위한 모듈 개발	온실 구조 설계도서 출력 모듈 개발	모듈 개발	보고서 출력 및 편집 모듈	100
		온실 구조 솔버 연동기술 개발	프로그램 기능 개발	프로그램 구조해석 기능	100
	온실구조 접합부 및 지지부 모델링 기법 개발 및 최적화	온실 구조 접합부 및 지지부의 해석 모델 개발	유한요소 모델 제시	온실구조 대표 유한요소 모델	100
		접합부 및 지지부 해석 모델링에 필요한 물성치 최적화	비선형 구조해석 수행	규격별 물성치 DB	100



3차 년도 (2017)	국내의 상용프로그램을 적용한 구조해석 및 표준도 D/B 구축	온실 설계 프로그램을 활용한 구조설계	해석결과 구조안정성 검증	프로그램 업데이트	100
		범용 구조해석 프로그램을 활용한 구조설계	표준도면 마이더스 구조해석	표준도면 마이더스 구조해석	100
		비선형 유한요소해석 프로그램을 활용한 구조설계	비선형 구조해석 수행	규격별 물성치 DB	100
	온실구조 설계용 프로그램의 검증 및 사용 현장 적용성 평가	구조 설계용 프로그램의 정확성 분석	범용 구조해석 프로그램 SAP2000의 결과와 비교 분석	분석 보고서	100
		구조 설계용 프로그램의 사용 현장 적용성 평가	사용자 평가	프로그램 업데이트	100
	실대형 실험을 통한 동특성 계측 및 붕괴 특성 파악	온실구조 실물모형 구조성능 실증 실험	검증실험 실시	온실구조 요소별 구조성능 DB	100
		동특성 계측 및 붕괴 특성 파악	검증실험 실시	동특성 및 파괴양상 DB	100
		온실구조 기초/주각부 지점조건 및 기본상세 제안	검증실험 실시	기초/주각부 지점조건 및 기본상세 DB	100
	온실 구조 설계 자동화 프로그램 개발	사용자 요구사항을 반영한 설계 자동화 프로그램 개발	요구사항 반영	개발 프로그램에 이식	100
		프로그램 테스트 및 검증	자체 검증	프로그램 업데이트	100
	실대형 온실구조 실험결과를 활용한 유한요소 해석모델 업데이팅	실험결과와 유한요소 해석결과를 비교하여 해석모델의 정확성 평가	실험 및 해석적 검증	유한요소 모델 업데이트	100
		유한요소 해석모델 검증 및 보완	실험 및 해석적 검증	유한요소 모델 업데이트	100

나. 정량적 연구목표 달성도

성과지표		목표	달성(달성률)	비고
논문	SCI급	2	3(100%)	Biosystems engineering 1건
				Journal of Asian architecture and building engineering 1건
				Spanish journal of agricultural research 1건
	일반학술지	5	6(100%)	대한건축학회연합논문집 2건
				대한건축학회논문집 구조계 1건
				한국전산구조공학회논문집 1건
				시설원예·식물공장 1건
				한국지반환경공학회논문집 1건
	학술발표	6	13(100%)	“ICCM2016” 외 해외학술발표 1건 “한국농공학회 학술발표회” 외 국내학술발표 10건
교육지도	2	3(100%)	16, 17, 18년도 시설과채류생산과정 교육지도	
인력양성	7	7(100%)	16년도 2월 석사학위 2인 배출	
			17년도 2월 석사학위 1인/8월 석사학위 2인 배출	
			18년도 2월 석사학위 2인 배출	
정책활용	1	-	-	
홍보전시	2	1(50%)	CIVIL EXPO 참여 (주관기관: 대한토목학회)	
특허	특허출원	2	4(100%)	“온실 구조물” (출원번호: 10-2017-0039398)
				“비닐하우스의 골조 파이프 체결용 고정구” (출원번호: 30-2017-0032063)
				“비닐하우스의 골조 파이프 체결용 고정구” (출원번호: 30-2017-0032067)
				“조립식 온실 모듈” (출원번호: 10-2018-0155064)
	특허등록	-	3(추가달성)	“온실 구조물” (등록번호: 10-1904649)
				“비닐하우스의 골조 파이프 체결용 고정구” (등록번호: 30-0933801)
“비닐하우스의 골조 파이프 체결용 고정구” (등록번호: 30-0933803)				
프로그램	프로그램등록	1	1(100%)	“온실 구조 설계용 프로그램” (C-2018-028501)
기술이전	1	1(100%)	(주)한길아이티 : 정액기술료 1천만원	
제품화	1	1(100%)	“온실 구조 설계 프로그램”	

## 4. 연구결과의 활용 계획 등

### 가. 연구개발결과의 활용방안

#### (1) 결과의 활용방안

- 온실 구조 설계에 적용 가능한 설계기준을 마련하여 체계적이고 합리적인 구조설계 실시
- ICT융복합시스템의 설치를 고려하여 구조적 안전성 확보
- 지역 및 ICT기자재에 따른 온실구조의 최적설계 가능
- 온실 최적화 농촌시설물 개발로 자원절약 및 안정적인 시설원에 생산기반 조성에 기여
- 농업인 및 비전문가도 활용 가능한 온실전용 구조설계프로그램 개발(그림4-1)로 원예시설물의 설계비용 절감

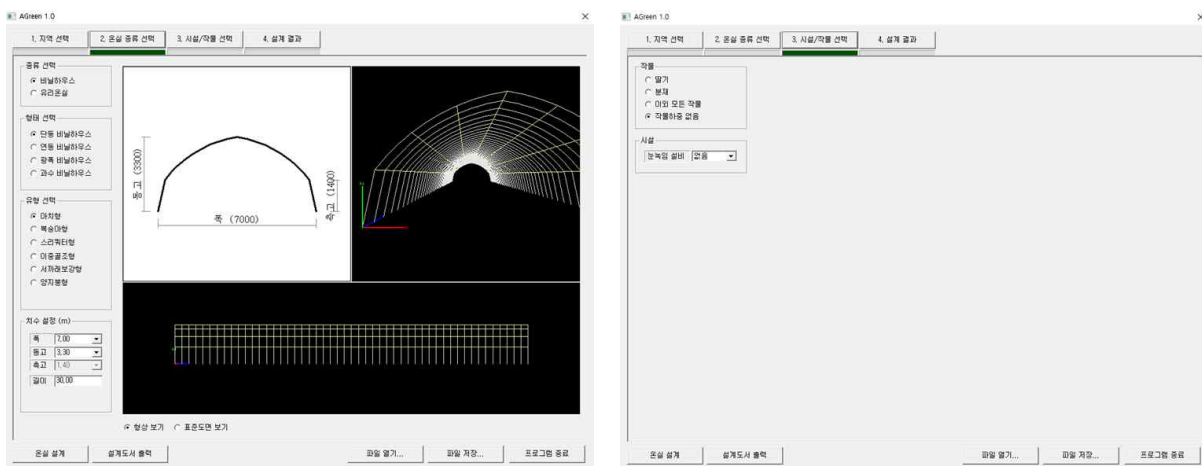


그림 4-1. ICT 융복합 온실 구조 설계 자동화 프로그램

- 최적설계 온실 시설물구축을 통한 새로운 건설시장의 창출 및 해외진출 기회 획득
- 국내 온실 구조 해석 프로그램의 개발(그림4-2)로 자립적인 설계 시스템 확보 가능

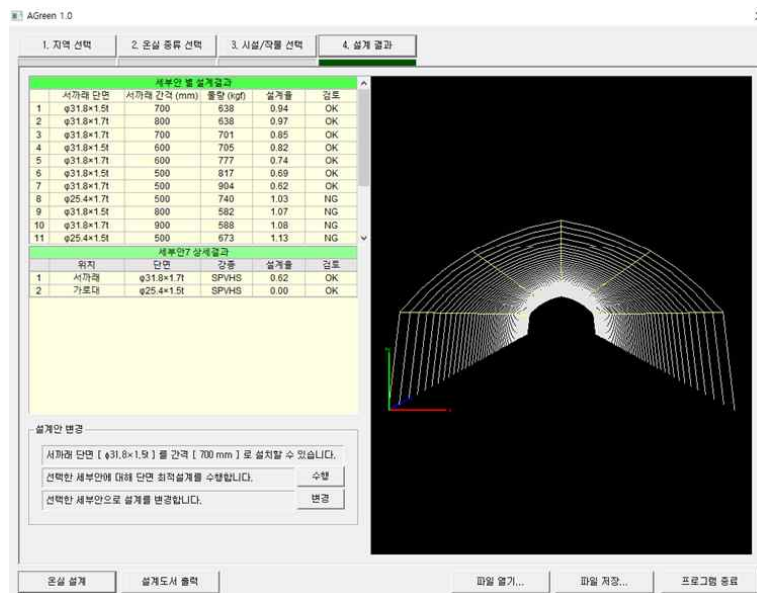


그림 4-2. AGreen 설계 결과 화면

## (2) 기업화 방안

- 지속적인 프로그램의 업데이트 등을 위해서는 연구개발종료 이후에도 기업의 참여가 필수적이므로 농진청/농림수산식품부와 효과적인 방법을 찾기 위한 노력을 기울일 예정

## (3) 추가연구

- 공사비 분석 및 각 구조 시스템별 비용 특성 제시에 따른 타당성 연구에 활용
- 실험대형 및 풍동실험결과를 이용한 온실에 대한 평가방법에 대해 추후 설계기준에 반영 가능

## (4) 기술이전

- 온실 구조설계에 적합한 구조해석용 요소개발을 통해 기술이전 실시
- ICT융복합시스템의 동적하중 산정 기법의 기술이전 실시

## 나. 연구개발결과의 기대성과

### (1) 기술적 측면

- 기존 온실에 대한 구조 공학적 검토 및 분석으로 기초연구 자료 정리
- 연직하중 및 하중 동적효과(그림4-3)에 의한 구조안전성 평가법 개발



그림 4-3. 하중조절 인자를 고려한 온실에 작용하는 하중

- 기존 농촌시설물 최적 설계를 통한 농촌 시설물의 건설기술 개발 향상
- ICT융복합시스템의 적용이 가능한 온실 농촌시설물의 현대화
- 국내 온실의 구조설계에 적용할 수 있는 설계하중에 대한 기준 마련
- 합리적인 설계하중의 적용으로 일반건축물 수준과 동등한 구조적 안전성 확보
- 온실 농촌시설물에 대한 해석 및 설계기술 자립
- 선진기술국으로부터 온실 구조설계 분야 국내시장 잠식을 방어 가능
- 해외 현장 적용 시 국제 기준에 상응하도록 신뢰성 있는 데이터를 제공
- 실측 자료에 의하여 현 온실 구조의 구조모델링 관련 접합형식, 지지조건 등(그림4-4)에 대한 문제점 도출 및 모델링에 필요한 접합부 물성치를 최적화하여 온실구조 해석 프로그램에 활용(그림4-5)

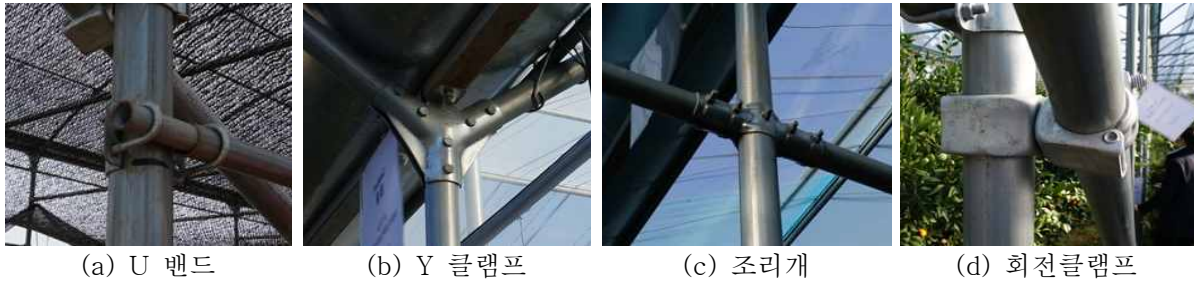


그림 4-4. 다양한 형태 및 종류의 온실 구조 접합부

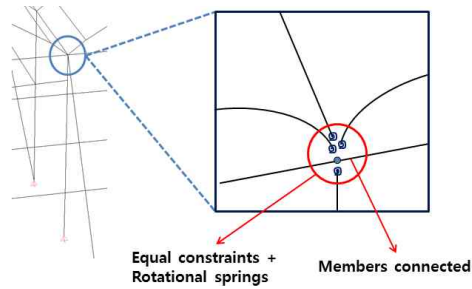


그림 4-5. 효율적인 온실 구조 해석을 위한 접합부 모델링

· 국내 건설 산업의 기술 집약도 향상 및 국제 경쟁력 제고

(2) 경제·산업적 측면

· 온실의 최적화 구조시스템의 개발과 보급에 의한 경제적 효과 창출

전국 농업기술센터(약 150개소)에 과제 3차년도부터 보급(보급률 20%)하여 종료1차년도(30%), 종료2차년도(50%)에 걸쳐 보급

{프로그램 사용료(1백만원)×농업기술센터(150개소)×보급률}+{구조설계 의뢰비용(3백만원/회)×3회×농업기술센터(150개소)×보급률} = 3,000백만원 의 경제적 효과 창출

- 국내의 실정에 맞는 온실 농촌시설물을 만들어 보급하여 국제적인 경쟁력을 확보
- 온실의 부재요소별 성능실험을 통한 안전한 구조성능 확보
- 국내기술개발로 외국기술의 도입에 따른 비용절감 효과

## 붙임. 참고문헌

1. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs of Korea. Design and specifications of standardized anti-disaster prototypes for greenhouses 2014. (in Korean)
2. Moriyama H, Mears DR, Sase S, Kowata H, Ishii, M., (2003), Design considerations for small-scale pipe greenhouses to prevent arch buckling under snow load. 2003 ASAE Annual Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers 2003, 1~7.
3. Moriyama H, Sase S, Okushima L, Ishii M., (2015) Which design constraints apply to a pipe-framed greenhouse? Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ 2015, 49(1), 1~9.
4. Castellano S, Candura A, Scarascia-Mugnozza G, (2004) Greenhouse structures SLS analysis: experimental results and normative aspects. International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004, 701~708.
5. Kim Bo-Kyung, Lee Swoo-heon, Shin Kyung-Jae, (2008), Reinforcing Method of Plastic-house Frame for Heavy Snow using Pretension Tie, Proceedings of Architectural Institute of Korea, 2008(1), 313~316.
6. Kinematics. EpiSensor ES-U2 Data sheets. [www.kinematics.com](http://www.kinematics.com).
7. Keynes Controls, Netpod4003 Catalogue. <http://www.keynes-controls.com>.
8. Peeters, B., De Roeck, G., (1999), Reference-Based Stochastic Subspace Identification for Output-Only Modal Analysis, Mechanical Systems and Signal Processing, 13(6), 855~878.
9. Kim Doo-Kie, (2013), Dynamics of Structures, 3rd ed., Goomibook, 709~716.
10. Ogawa H, Tsuge I, Sato Y, Hoshiba S, Yamashita S, (1990), Experimental analysis on strength of pipe-houses with ground anchoring (1): Actual size experiment. Journal of the Society of Agricultural Structures, 19(3), 29~38.
11. Lee Swoo-Heon, Shin Kyung-Jae, (2014), Slip Test of Pipe Connector for Greenhouse Frame, Journal of Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 30(8), 9~17.
12. Jung Hee-Kyung, Kim Hong-Jin, Choi Sun-Young, (2015), Evaluation of Amplitude-Dependent Damping Ratio and Natural Frequency of a Tall RC Building based on Long Term Measurement Data, Journal of Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 31(1), 11~18.
13. 김문기, 남상운, 서원명, 윤용철, 이석건, 이현우. 2000. 농업시설공학. 향문사.
14. 농림축산식품부. 1999. 온실구조 설계기준 및 해설
15. 농림축산식품부. 2007. 2008. 2010. 원예특작시설 내재해형 규격 설계도□시방서.
16. 농림축산식품부. 2014. 2014년 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적.
17. 농림축산식품부. 2016. 에너지 절감과 생산성 향상을 위한 신개념 온실 설계 및 표준화

- 연구.
18. 농촌진흥청 국립원예특작과학원. 2015. 원예시설 기상재해 대응기술 및 i[미래전략-한중일 국제 심포지엄.
  19. 농촌진흥청 국립농업과학원. 2015. 한국형 온실 설계기준 개정과 시설원예산업 발전방안 심포지엄.
  20. 농촌진흥청. 2015. 간척지 온실의 구조설계 기준 연구
  21. 대한건축학회. 2000. 건축물 하중기준 및 해석
  22. 대한건축학회. 2010. 건축구조기준 및 해설
  23. 이용범, 전하준, 손정익, 2010, 신고 시설원예학, 향문사.
  24. 이현우. 2014. 한국 시설원예 산업 및 온실 설계기준. 한국생물환경조절학회 학술대회지 23권 별1호: 171-185.
  25. 일본시설원예협회. 1997. 일본원예용시설안전구조기준
  26. 최만권, 윤성욱, 유찬, 이시영, 윤용철. 2013. 온실내 재배작물인 토마토 및 파프리카의 작물하중 검토. 시설원예.식물공장 22(3) : 234-240.
  27. Both, A.J., 2014. 미국 시설원예 산업 및 온실 설계기준. 한국생물환경조절학회 학술대회지 23권 별1호: 157-167.
  28. Campen. J. 2014. 네덜란드 시설원예 산업 및 온실 설계기준. 한국생물환경조절학회 학술대회지 23권 별1호: 101-117.
  29. Ishii, M. 2014. 일본 시설원예 산업 및 온실 설계기준. 한국생물환경조절학회 학술대회지 23권 별1호: 77-98.
  30. Zhou, C. 2014. 중국 시설원예 산업 및 온실 설계기준. 한국생물환경조절학회 학술대회지 23권 별1호: 121-154.
  31. Netherlands Standardization Institute (NEN). 2004. Greenhouses : Design and construction - part1 : commercial production greenhouses
  32. National Greenhouse Manufactures Association (NGMA). 2004. Structural Design Manual. ed. NGMA, PA, USA.
  33. Architectural Institute of Japan (AIJ). 2004. Recommendations for loads on buildings.
  34. Architectural Institute of Korea (AIK). 2009. Korean Building Code and Commentary (in Korean).
  35. Choi, M.K., S.W. Yun, C. Yu, S.Y. Lee, and Y.C. Yoon. 2013. Investigation of the crop load for tomato and paprika in the greenhouse. Protected Horticulture and Plant Factory 22(3):234-240 (in Korean).
  36. Choi, M.K., S.W. Yun, H.T. Kim, S.Y. Lee, and Y.C. Yoon. 2014. Current status on the greenhouse foundation. Journal of Agriculture & Life Science 48(3):251-260 (in Korean).
  37. Japan Greenhouse Horticulture Association(JGHA), 1994. Greenhouse horticulture handbook. Japan Greenhouse Horticulture Association, Tokyo, Japan. p.243-248 (in Japanese).

38. Japan Greenhouse Horticulture Association (JGHA), 1997. Standard for structural safety of greenhouse. Tokyo: Japan Greenhouse Horticulture Association (in Japanese).
39. Jung, S.H., J.W. Lee, S.Y. Lee, and H.W. Lee. 2015. Analysis of wind velocity profile for calculation of wind pressure on greenhouse. Protected Horticulture and Plant Factory 24(3):135-146 (in Korean).
40. Kim, M.K., S.W. Nam, W.M. Suh, Y.C. Yoon, S.G. Lee, and H.W. Lee. 2000. Agricultural structure engineering. Hyangmunsa, Seoul, Korea (in Korean).
41. Kim, R.U., D.W. Kim, K.C. Ryu, K.S. Kwon, and I.B. Lee. 2014. Estimation of wind pressure coefficients on even-span greenhouse built in reclaimed land according to roof slope using wind tunnel. Protected Horticulture and Plant Factory. 23(4):269-280 (in Korean).
42. Meteor Systems. 2017. Gutter growing system vegetable. <http://www.irrigation.com>.
43. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 1999. Greenhouse structure design standards and explanations (in Korean).
44. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), Rural Development Administration(RDA). 2010. Designated notice of standards to endure disaster for horticultural and special facilities (in Korean).
45. National Greenhouse Manufacturers Association (NGMA). 2004. Structural Design Manual. NGMA, PA, USA.
46. Netherlands Standardization Institute (NEN). 2004. Greenhouses : Design and construction - part1 : commercial production greenhouses.
47. Rural Development Administration(RDA). 1994. Studies on the standardization of greenhouse structures and the protected cultivation of crops. RDA, Jeonju, Korea (in Korean).
48. Rural Development Administration(RDA). 2016. Study on requirement for structural design of greenhouse in reclaimed land. Greenhouse structural requirements. RDA, Jeonju, Korea (in Korean).
49. Rural Development Corporation(RDC). 1995. Greenhouse structural requirements. RDC, Uiwang, Korea (in Korean).
50. Yu, I.H., E.H. Lee, M.W. Cho, H.R. Ryu, and Y.C. Kim. 2012. Development of multi-span plastic greenhouse for tomato cultivation. Journal of Bio-Environment Control 21(4):428-436 (in Korean).



**부록. AGreen 사용자 매뉴얼**

**AGREEN 1.0 사용자 설명서**

(주)한길아이티

---

<b>1. 개요</b> .....	<b>4</b>
<b>2. 파일</b> .....	<b>4</b>
1) 새로만들기.....	4
2) 열기 .....	4
3) 닫기 .....	5
4) 저장 .....	5
5) 다른 이름으로 저장 .....	5
6) 인쇄 .....	6
7) 인쇄 미리보기.....	6
8) 인쇄 설정.....	6
9) 끝내기.....	6
10) SAP2000 으로 내보내기 .....	7
11) MIDAS 로 내보내기.....	7
12) 그림파일로 내보내기.....	7
<b>3. 온실설계</b> .....	<b>8</b>
1) 지역 선택.....	8
2) 온실 종류 선택 .....	9
3) 시설/작물 선택.....	10
4) 온실설계 .....	10
<b>4. 구조모델</b> .....	<b>12</b>
1) 형상 설정.....	13
2) 모델 확인.....	16
3) 요소 편집.....	18
4) 하중 편집.....	19
<b>5. 해석결과</b> .....	<b>20</b>

---

1) 해석 수행.....	20
2) 해석 결과.....	21
3) 부재 설계.....	22
<b>6. 결과출력.....</b>	<b>23</b>
1) 결과 보기.....	23
2) 보고서 설정.....	24
<b>7. 기타.....</b>	<b>26</b>
1) 선택 기능.....	26
2) 화면 설정.....	27
3) 대화상자의 Graphic View 사용법.....	28
4) 대화상자의 목록상자 사용법.....	29

---

## 1. 개요

AGREEN 1.0은 온실 구조 안정성 검토 프로그램으로, 간단한 입력을 통해 구조해석 및 구조설계를 수행한 후, 도면 및 물량을 자동으로 생성하는 프로그램이다.

## 2. 파일

윈도우 프로그램의 기본 메뉴로 작성한 파일에 관한 메뉴이다.

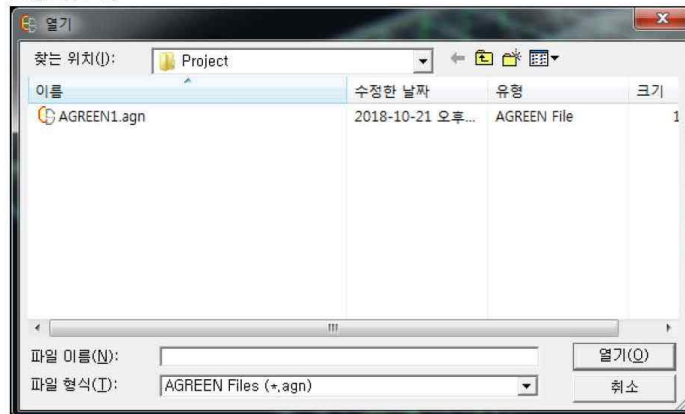
새로 만들기(N)...	Ctrl+N
열기(O)...	Ctrl+O
닫기(C)	
저장(S)	Ctrl+S
다른 이름으로 저장(A)...	
인쇄(P)...	Ctrl+P
인쇄 미리보기(V)	
인쇄 설정(O)...	
SAP2000 으로 내보내기 (*.S2K) ...	
MIDAS 로 내보내기 (*.MGT) ...	
그림파일 로 내보내기 (*.BMP) ...	
최근파일	
끝내기(X)	

### 1) 새로 만들기

새로운 파일을 작성한다.

### 2) 열기

기존 파일을 여는 기능으로, 실행하면 파일을 선택할 수 있는 아래의 대화상자가 활성화된다.



---

3) 닫기

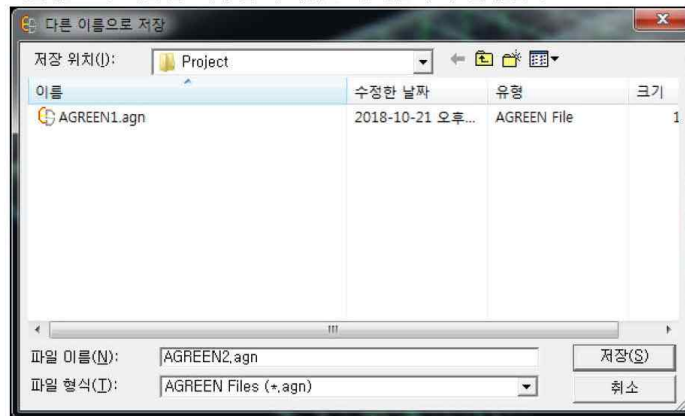
현재의 파일을 닫는 기능으로, 실행하면 프로그램은 빈 상태가 된다.

4) 저장

현재 작성된 파일을 저장하는 기능으로, 이미 경로가 지정된 파일일 경우 저장만 실행되고, 경로가 지정이 안 되어 있다면 [다른 이름으로 저장] 의 기능이 실행된다.

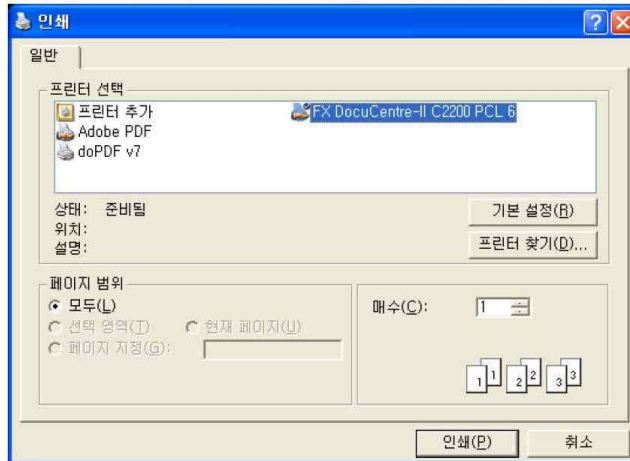
5) 다른 이름으로 저장

현재 작성하고 있는 파일을 새로운 이름으로 저장하는 기능으로, 실행하면 아래의 파일경로와 이름을 지정할 수 있는 대화상자가 실행된다.



6) 인쇄

현재의 View에서 보고 있는 상태를 인쇄하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 실행되어 프린트를 고르거나 속성을 설정하여 인쇄할 수 있다.



7) 인쇄 미리보기

출력할 문서를 미리보기 하는 기능이다.

8) 인쇄 설정

프린터의 옵션을 설정하는 기능이다.

9) 끝내기

프로그램을 종료하는 기능이다.

---

10) SAP2000 으로 내보내기

현재 작성한 모델을 범용해석프로그램인 SAP2000으로 Export 하는 기능으로, 실행하면 저장할 파일의 경로와 이름을 선택할 수 있는 대화상자가 활성화되고, 이름을 지정하여 저장하면 SAP2000에서 Import할 수 있는 파일이 생성된다. 단 이 기능은 [구조모델 만들기]를 수행한 이후에 실행해야만 절점과 요소의 정보가 생성된다.

11) MIDAS 로 내보내기

현재 작성한 모델을 범용해석프로그램인 MIDAS로 Export 하는 기능으로, 실행하면 저장할 파일의 경로와 이름을 선택할 수 있는 대화상자가 활성화되고, 이름을 지정하여 저장하면 MIDAS에서 Import할 수 있는 파일이 생성된다. 단 이 기능은 [구조모델 만들기]를 수행한 이후에 실행해야만 절점과 요소의 정보가 생성된다.

12) 그림파일로 내보내기

현재 화면에서 보고 있는 상태를 비트맵 파일로 저장하는 기능으로, 실행하면 파일 저장 대화상자가 활성화되고 저장할 파일의 경로와 이름, 옵션 등을 선택하면 비트맵 파일로 저장할 수 있다.

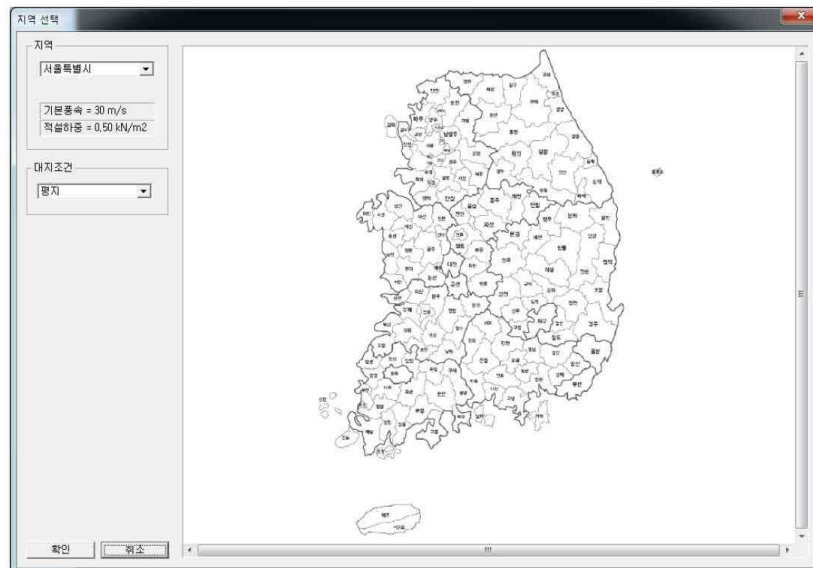
### 3. 온실 설계

온실에 대한 구조물 정보, 지역 정보, 하중 정보 등을 설정하는 메뉴이다.

- 1. 지역 선택...
  - 2. 온실 종류 선택...
  - 3. 시설 작물 선택...
  - 4. 온실 설계...
  - 5. 설계도서 출력...
- 프로젝트 정보...  
사용자 편의...  
화면 선택사항...

#### 1) 지역 선택

온실을 설치할 지역을 선택하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 선택된 지역의 설하중과 풍하중 값을 확인할 수 있다.

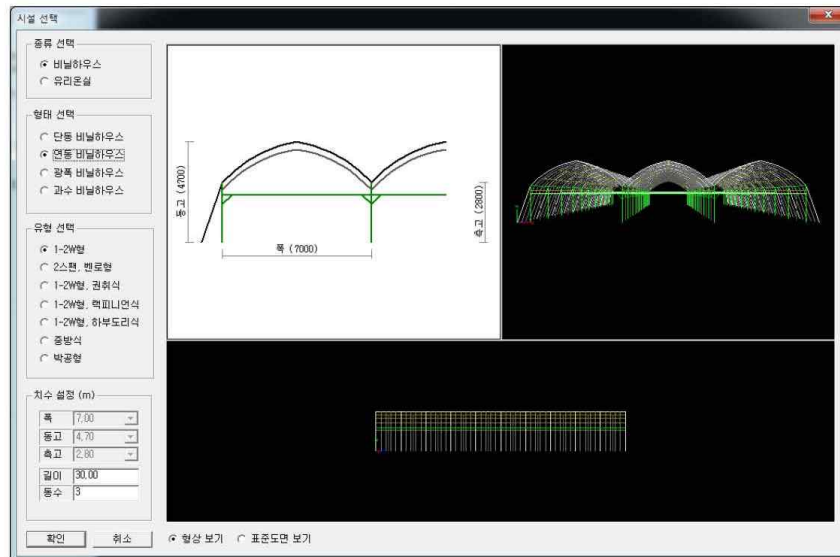


- ◆ 지역  
도와 군 단위를 설정한다.
- ◆ 대지조건  
평지, 언덕 등의 대지조건을 설정한다.



2) 온실 종류 선택

설치하고자 하는 시설의 종류 및 치수를 선택하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 시설의 상세 유형을 선택하고, 길이와 동수를 입력한다. 상세 유형은 표준화된 시설 중에서 선택한다.



◆ 종류 선택

비닐하우스, 유리온실 중 선택한다.

◆ 형태 선택

선택된 종류에 따라 형태를 선택한다.

비닐하우스인 경우, 단동, 연동, 광폭, 과수 비닐하우스 중 선택할 수 있다.

◆ 유형 선택

선택된 형태에 각기 다른 유형을 선택한다.

- 단동 비닐하우스

: 등근지붕형, 뿔족지붕형, 스리쿼터형, 이중골조형, 중방식

- 연동 비닐하우스

: 1-2W형, 2스팬 벤로형, 1-2W형 권취식, 1-2W형 락피니언식,  
1-2W형 하부도리식, 중방식, 박공형

- 광폭 비닐하우스

: 아치형, 트러스형, 보온재형

- 과수 비닐하우스

: 포도하우스-07, 포도하우스-10, 감귤하우스-08

◆ 치수 설정

선택된 시설의 표준 치수를 확인하고, 길이와 동수를 입력한다. 표준 치수가 여

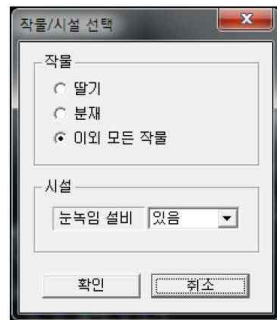
러 개일 경우, 폭 및 동고를 선택할 수 있다.

◆ 형상 보기 / 표준도면 보기

- 형상 보기 : 선택한 시설의 단면도 및 3D 형상을 보여준다.
- 표준도면 보기 : 선택한 시설의 표준도면을 보여준다.

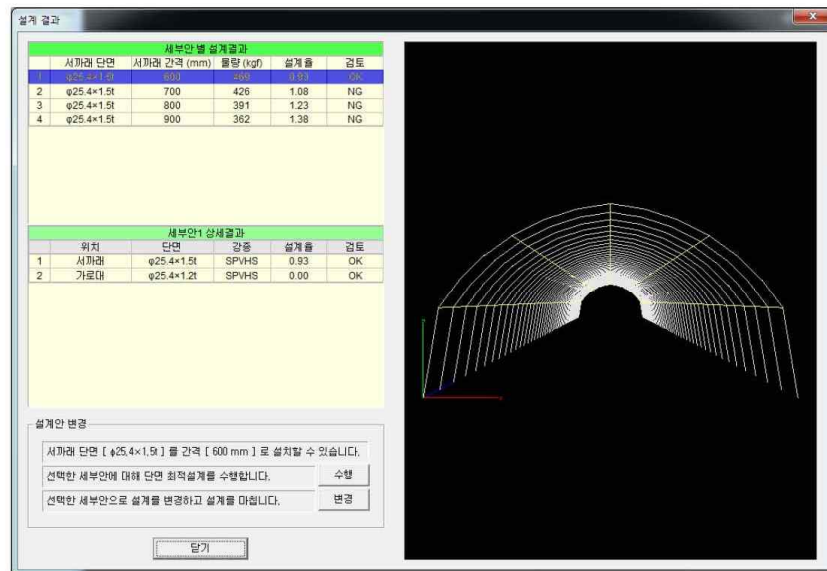
3) 시설/작물 선택

온실에서 재배할 작물과 시설을 선택하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 작물과 눈녹임 설비 유무를 선택한다.



4) 온실설계

선택된 지역, 온실 종류, 시설/작물에 대해 구조 안전성 검토를 수행하는 기능으로, 실행하면 설계결과로 아래의 대화상자가 활성화된다. 이 대화상자에서 설계 결과를 확인하고 설계안을 변경할 수 있다.



- 
- ◆ 세부안 별 설계결과  
표준 세부안 별 물량, 설계율 등을 확인한다.
  - ◆ 세부안 상세결과  
선택된 표준 세부안에 대한 부재설계 결과를 확인한다.
  - ◆ 설계안 변경  
선택된 표준 세부안에 단면 최적설계를 수행한다.

---

#### 4. 구조모델

온실에 대한 형상 설정, 모델 확인, 요소 편집, 하중 편집 등을 수행하는 메뉴이다.

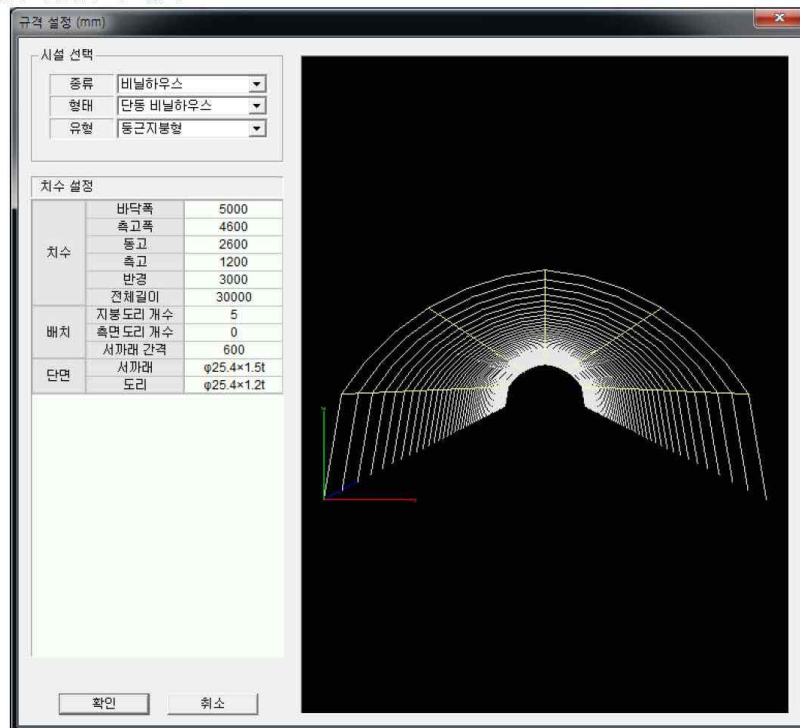
- 규격 설정...
- 연직하중 설정...
- 설하중 설정...
- 풍하중 설정...
- 구조모델 생성...
- 재료 정보...
- 단면 정보...
- 절점 정보...
- 요소 정보...
- 지점 조건...
- 단부 해제...
- 절점 그리기
- 요소 그리기
- 절점 이동
- 요소 이동
- 요소 복사
- 요소 삭제
- 좌표계 및 스냅 ▶
- 절점 하중...
- 요소 하중...
- 바닥판 하중...
- 하중 조건...
- 하중 조합...

1) 형상 설정

규격, 연직하중, 설하중, 풍하중 등을 설정하고, 구조모델을 생성한다.

A) 규격 설정

온실의 종류, 형태, 유형을 선택한다. 선택된 표준안에 대해 세부 치수, 배치, 단면 등을 변경할 수 있다.



◆ 시설 선택

종류, 형태, 유형 등을 선택한다.

◆ 치수 설정

단면도 상의 치수, 부재 배치, 부재 단면 등을 변경한다.

## B) 연직하중 설정

온실에 작용하는 연직하중을 설정한다. 작물하중, 눈녹임 설비, 피복하중, 설비 하중 등을 직접 입력한다.

항목	설정	값
작물 하중	이외 모든 작물	0.15
눈녹임 설비	<설하중 저감을 위한 설비> 있음	
피복 하중 (외부)	<비닐, 플라스틱, 유리 등>	0.02
설비 하중 (외부)	<난방, 차광, 냉방 등>	0.07
피복 하중 (내부)	<비닐, 플라스틱, 유리 등>	0.02
설비 하중 (내부)	<난방, 차광, 냉방 등>	0.07

## C) 설하중 설정

온실에 작용하는 설하중을 설정한다. 온실구조 설계기준에 따라 지상적설하중, 노출 계수, 온도계수 등을 선택하면 설하중이 자동계산된다.

설계기준	온실구조 설계기준 (1999)	
적용조건	지상적설하중 (Sg)	0.50
	노출계수 (Ce)	C (1.0)
	온도계수 (Ct)	난방 (1.0)
	지붕표면 유형	미끄러운 표면

위치	경사각	적설하중
지상	0.0	0.30
지붕 단부	44.0	0.11
지붕 1/3 지점	36.2	0.15
지붕 2/3 지점	20.7	0.21
지붕 상부	13.0	0.25

D) 풍하중 설정

온실에 작용하는 풍하중을 설정한다. 온실구조 설계기준에 따라 기본풍속, 노풍도 등을 선택하면 풍하중이 자동계산된다.



E) 구조모델 생성

선택된 온실 규격 및 하중 정보를 이용하여, 구조해석 모델을 자동 생성하는 기능이다.

2) 모델 확인

생성된 구조해석 모델의 재료 정보, 단면 정보, 절점 정보, 요소 정보, 지점 조건, 단부 해제 등의 확인하고 변경한다.

A) 재료 정보 및 단면 정보

재료 정보 및 단면 정보를 확인한 후 편집한다..

◆ 재료 정보

번호	명칭	종류	단위중량 (ton/m <sup>3</sup> )	단위용량 (ton/m <sup>2</sup> )	영계수 (ton/m <sup>2</sup> )	프라스타	열팽창 계수	항복응력 (ton/m <sup>2</sup> )
1	SS400	STEEL	7.85	0.00047745	21000000	0.3	0.000015	23963.3286
2	SS400	STEEL	7.85	0.00047745	21000000	0.3	0.000012	23963.3286

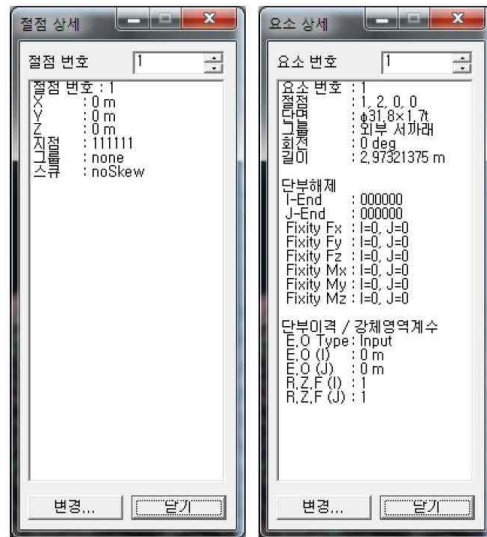
◆ 단면 정보

번호	명칭	재료	유형	형상	H (m)	B (m)	UW (ton/m)	A (m <sup>2</sup> )
1	φ31.8×1.5	SPVHS	BEAM	PIPE	0.0318	0.0015	0.0012087	0.00014279
2	φ31.8×1.5	SPVHS	BEAM	PIPE	0.0318	0.0015	0.0012087	0.00014279
3	φ25.4×1.5t	SPVHS	BEAM	PIPE	0.0254	0.0015	0.00088411	0.00011263
4	φ25.4×1.5t	SPVHS	BEAM	PIPE	0.0254	0.0015	0.00088411	0.00011263
5	φ25.4×1.5t	SPVHS	BEAM	PIPE	0.0254	0.0015	0.00088411	0.00011263
6	φ60×60×2.3t	SPVHS	BEAM	BOX	0.06	0.06	0.00416709	0.00053084
7	φ60×60×2.1t	SPVHS	BEAM	BOX	0.06	0.06	0.00381793	0.00048636
8	φ60×60×2.1t	SPVHS	BEAM	BOX	0.06	0.06	0.00381793	0.00048636
9	φ60×60×3.2t	SPVHS	BEAM	BOX	0.06	0.06	0.00570726	0.00072704



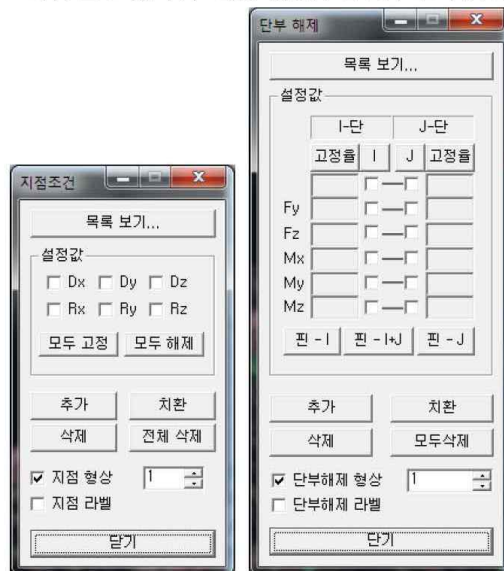
B) 절점 정보 및 요소 정보

절점 정보 및 요소 정보를 확인한 후 편집한다.



C) 지점 조건 및 단부 해제

지점 조건 및 단부 해제 정보를 확인한 후 편집한다.



---

3) 요소 편집

생성된 구조해석 모델을 변경하는 기능으로, 절점 그리기, 요소 그리기, 절점 이동, 요소 이동, 요소 복사, 요소 삭제 등의 기능을 수행할 수 있다.

A) 절점 그리기

절점을 직접 추가하는 기능으로, 좌표를 직접 입력하거나, 요소 스냅 등의 편의 기능을 이용하여 절점을 그린다.

B) 요소 그리기

프레임 요소를 직접 추가하는 기능으로, 두 개의 좌표를 직접 입력하거나, 절점 스냅, 요소 스냅 등의 편의 기능을 이용하여 프레임 요소를 그린다.

C) 절점 이동

선택된 절점을 임의의 위치로 이동하는 기능으로, 절대좌표, 상대좌표 등의 편의 기능을 사용할 수 있다.

D) 요소 이동

선택된 요소를 임의의 위치로 이동하는 기능으로, 절대좌표, 상대좌표, 절점 스냅, 요소 스냅 등의 편의 기능을 사용할 수 있다.

E) 요소 복사

선택된 요소를 임의의 위치로 복사하는 기능으로, 실행하면 요소복사 대화상자가 활성화되고, 이 대화상자에서 복사할 위치를 지정한 후 복사할 수 있다.

F) 요소 삭제

선택된 절점 및 요소를 삭제하는 기능이다.

4) 하중 편집

생성된 구조해석 모델의 하중 정보를 확인하고 편집하는 기능이다.

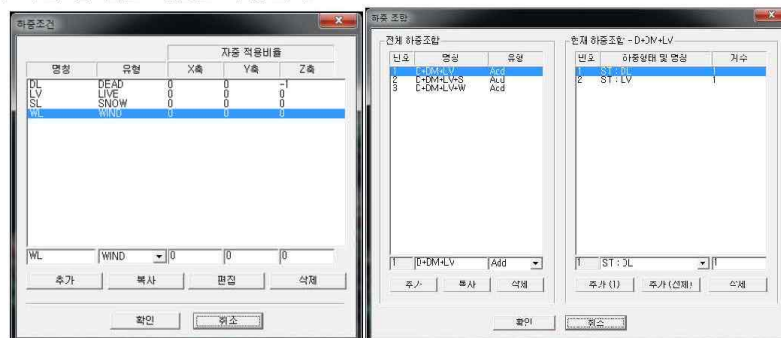
A) 절점 하중, 요소하중, 바닥판하중

생성된 하중 정보를 3D 형상 및 테이블로 확인하고 편집하는 기능으로, 아래의 대화상자에서 각각의 하중을 편집한다.



B) 하중 조건, 하중조합

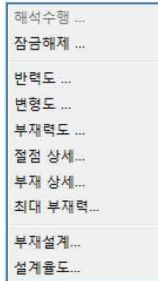
생성된 하중 조건 및 하중조합을 확인하고 편집하는 기능으로, 아래의 대화상자에서 확인 및 편집 기능을 수행한다.



---

## 5. 해석결과

구조해석을 수행한 후, 해석결과를 3D화면 및 결과테이블로 확인하는 메뉴이다.



### 1) 해석 수행

3D 구조해석을 수행한다. 구조해석 후에는 구조모델을 변경할 수 없으며, 변경하고자 할 경우 구조해석 잠금을 해제해야 한다.

#### A) 해석 실행

3D 구조해석을 실행한다.

#### B) 잠금 해제

구조모델을 변경하고자 할 경우 잠금해제를 수행하여 모델변경이 가능하도록 한다.

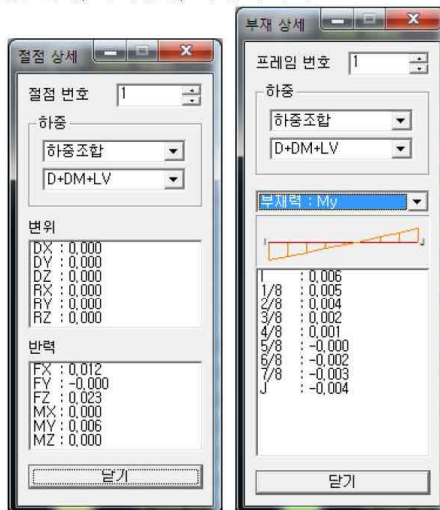
2) 해석 결과

해석이 성공적으로 수행된 후 해석결과를 확인한다.

A) 반력도, 변형도, 부재력도



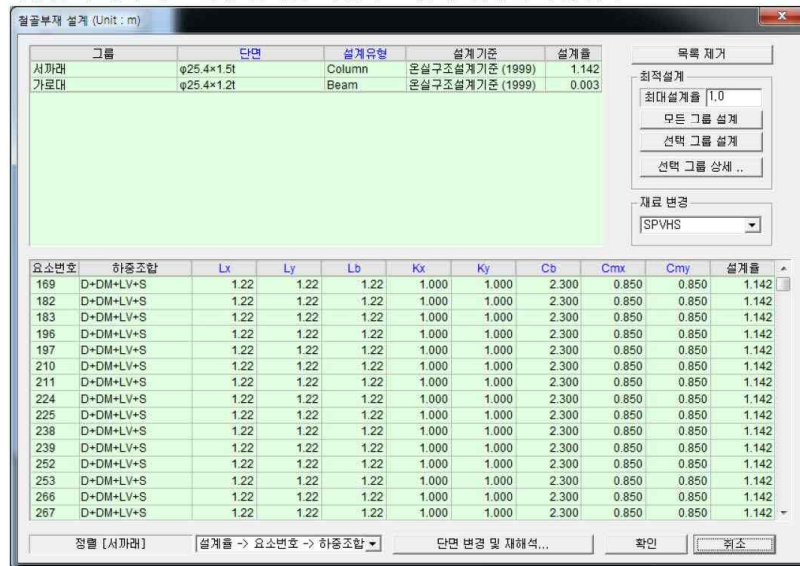
B) 절점 상세, 부재상세, 최대 부재력



3) 부재 설계

A) 부재설계

적용된 부재의 구조설계 결과를 확인하고 상세 설계를 수행한다.



- ◆ 상단 목록상자  
모든 부재 그룹의 설계 결과를 확인한다.  
재료, 단면, 설계유형 등을 변경하여 결과를 확인할 수 있다.
- ◆ 하단 목록상자  
선택된 부재 그룹의 상세설계 결과를 확인한다.  
부재 별로 설계 조건을 변경하여 결과를 확인할 수 있다.  
- 정렬 콤보상자 : 상세설계 결과의 정렬 방식을 선택한다.

B) 설계율도

부재설계에 따른 각 부재의 하중조합별 설계율을 3D화면으로 확인한다.

---

6. 결과출력

부재설계 계산서, 표준 도면, 표준 내역서, 표준 시방서 등을 보고서 형태로 확인하는 메뉴이다.



1) 결과 보기

출력 결과를 보고서 형식으로 확인한다.

A) 부재설계 보고서

부재설계 상세결과를 보고서로 확인한다.

B) 표준 도면

선택한 온실의 표준 도면을 보고서로 확인한다.

C) 표준 내역서

선택한 온실의 표준 내역서를 보고서로 확인한다.

D) 표준 시방서

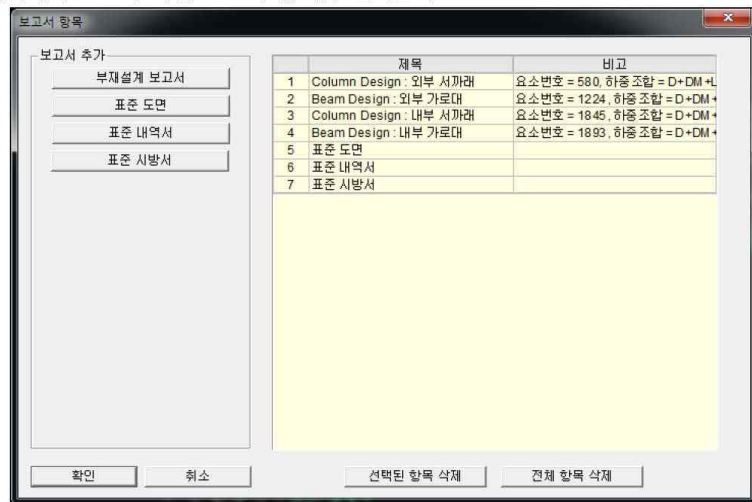
선택한 온실의 표준 시방서를 보고서로 확인한다.

2) 보고서 설정

보고서 항목을 선택하고 보고서 용지의 형식을 설정한다.

A) 보고서 항목 대화상자

보고서 항목을 선택하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 실행되고 이 대화상자에서 보고자 하는 보고서 항목을 선택한다.



◆ 보고서 추가

분야 별 보고서를 추가한다.

- 부재설계 보고서 : 부재설계 보고서 추가
- 표준 도면 : 선택된 온실의 표준 도면 추가
- 표준 내역서 : 선택된 온실의 표준 내역서 추가
- 표준 시방서 : 선택된 온실의 표준 시방서 추가

◆ 목록상자

선택된 보고서 항목을 확인한다.

- 선택된 항목 삭제 : 목록상자에서 선택된 보고서를 삭제한다.
- 전체 항목 삭제 : 모든 보고서를 삭제한다.



## B) 보고서 용지 대화상자

보고서 양식에 관한 정보를 설정하는 기능으로, 실행하면 아래의 대화상자가 활성화되고 보고서 출력 양식을 수정하면 보고서에 반영된다.



### ◆ 머리말, 페이지 번호 등 설정

- 머리말 표시 : 용지 상단의 보고서 관련 머리말 표시 여부
- 본문 테두리선 : 본문 테두리선 유무
- 페이지 번호 : 용지 하단의 전체 페이지 번호 표시 여부

### ◆ 여백 및 줄높이 설정

- 용지 끝선 ~ 테두리선 수평여백 : 용지 끝선에서 테두리선까지 수평여백
- 용지 끝선 ~ 테두리선 수직여백 : 용지 끝선에서 테두리선까지 수직여백
- 테두리선 끝선 ~ 본문 수평여백 : 테두리선에서 본문까지 수평여백
- 테두리선 끝선 ~ 본문 수직여백 : 테두리선에서 본문까지 수직여백
- 본문 줄높이 : 본문의 줄높이
- 머리말 줄높이 : 머리말의 줄높이

















### ◆ 폰트

- 머리말, 제목, 본문의 폰트 크기 및 폰트명을 설정한다.

## 7. 기타

### 1) 선택 기능

선택에 관련된 메뉴모음으로 하부메뉴는 다음과 같다

메뉴	툴바	기능
모두 선택		모든 요소를 선택한다.
영역으로 선택		마우스로 선택한 영역 안의 요소를 선택한다.
교차선으로 선택		마우스로 그린 선분에 걸치는 요소를 선택한다.
YZ평면 선택		마우스로 선택한 점과 X좌표가 같은 요소를 선택한다.
ZX평면 선택		마우스로 선택한 점과 Y좌표가 같은 요소를 선택한다.
XY평면 선택		마우스로 선택한 점과 Z좌표가 같은 요소를 선택한다.
좌표 3개로 선택		마우스로 선택한 3절점을 지나는 평면내의 요소를 선택한다.
모두 선택 해제		모든 요소의 선택 해제한다.
영역으로 선택 해제		마우스로 선택한 영역 안의 요소를 선택 해제한다.
교차선으로 선택 해제		마우스로 그린 선분에 걸치는 요소를 선택 해제한다
YZ평면 선택 해제		마우스로 선택한 점과 X좌표가 같은 요소를 선택 해제한다
ZX평면 선택 해제		마우스로 선택한 점과 Y좌표가 같은 요소를 선택 해제한다
XY평면 선택 해제		마우스로 선택한 점과 Z좌표가 같은 요소를 선택 해제한다
좌표 3개로 선택 해제		마우스로 선택한 3절점을 지나는 평면내의 요소를 선택 해제한다
선택 반전		선택된 요소와 선택되지 않은 요소를 바꾼다.
이전 선택		이전 선택된 요소를 선택한다.
정의로 선택		요소 그룹 또는 단면 별로 선택한다.
모두 보기		숨겨진 모든 요소의 숨김을 해제 한다.
선택 객체만 보기		선택된 요소만 보여준다.
선택 객체만 숨기기		선택된 요소를 숨긴다.
보기/숨기기 반전		숨긴 요소와 그렇지 않은 요소를 바꾼다.

2) 화면 설정

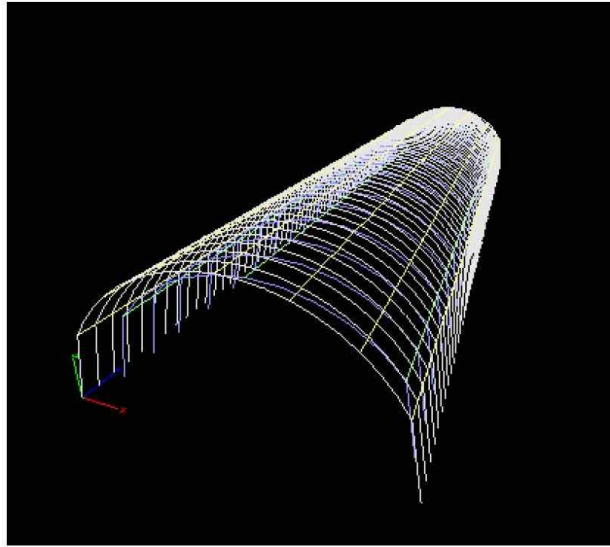
3D화면에 관련된 메뉴모음으로 하부메뉴는 다음과 같다

메뉴	툴바	기능
이전 화면		이전의 화면 상태를 보여 준다.
모두 보기		구조물이 모두 화면에 들어오도록 한다.
확대		현재의 화면 상태를 약 20% 확대한다.
축소		현재의 화면 상태를 약 20% 축소한다.
영역 줌		사용자가 마우스로 선택한 영역을 확대 보여준다.
동적 줌		마우스를 위로 움직이면 확대하고 아래로 하면 축소한다.
좌우/상하 이동		마우스를 따라 수평, 수직으로 움직인다.
전진/후진 이동		마우스를 상하로 움직임에 따라 앞뒤로 움직인다.
좌우/상하 회전		마우스의 움직임에 따라 수평 및 수직으로 회전시킨다.
시계방향 회전		요소의 중심을 기준으로 시계/반시계 방향으로 회전시킨다
기본뷰		3차원 기본 화면으로 보여준다.
정면뷰		정면을 보여준다.
배면뷰		뒷면을 보여준다.
좌측뷰		왼쪽 측면을 보여준다.
우측뷰		오른쪽 측면을 보여준다.
상단뷰		위쪽 면을 보여준다.
하단뷰		아래쪽 면을 보여준다.
투시도		3차원 화면에 투시도 효과를 도입한다.
중심선 보기		부재를 단일 선으로 표현한다.
외곽선 보기		부재를 두께가 있는 외곽선으로 표현한다.
면처리 보기		부재를 두께가 있는 외곽면으로 표현한다.
부재 수축		부재를 양끝단과 절점을 분리하여 표현한다.
OpenGL		OpenGL을 사용한다.

---

3) 대화상자의 Graphic View 사용법

3차원 영상을 보여주는 대화상자의 Graphic View는, 회전, 줌 등과 관련한 약속된 공통기능을 가진다.



(1) Rotate

- 왼쪽 마우스를 누른 상태로 상하 또는 좌우로 움직인다.
- 좌우 이동 : 수평 회전
- 상하 이동 : 수직 회전

(2) Zoom In/Out

- 오른쪽 마우스를 누른 상태로 상하로 움직인다.
- 상부 이동 : Zoom Out
- 하부 이동 : Zoom In

(3) Zoom Fit

- 왼쪽 마우스를 더블클릭하면 현재 시점으로 전체영상을 보여준다.

(4) Default View

- 오른쪽 마우스를 더블클릭하면 기본 보기로 전체영상을 보여준다.

4) 대화상자의 목록상자 사용법

데이터를 보여주거나 입력할 때 사용하는 목록상자는, 선택, 입력 등의 약속된 공통 기능을 가진다

요소번호	하중조합	Lx	Ly	Lb	Kx	Ky	Cb	Cmx	Cmy	설계값
121	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
140	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
141	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
160	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
161	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
180	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
181	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
200	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
201	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
220	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
221	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
240	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
241	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
260	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537
261	D+DM+LV+S	1.73	1.73	1.73	1.000	1.000	2.300	0.850	0.850	0.537

(1) 목록상자 종류

- 선택 목록상자 : 행에 대한 선택만 가능하고 입력할 수 없다.
- 입력 목록상자 : 각각의 셀에 대해 선택 및 입력할 수 있다.

(2) 선택기능 : 입력 목록상자 기준

- 왼쪽 마우스를 클릭하거나 드래그하여 선택한다.
- "Shift"를 누르고 왼쪽 마우스를 클릭하면, 사각형 영역으로 선택한다.
- "Ctrl"를 누르고 왼쪽 마우스를 클릭하면, 기존 선택에 신규 선택을 추가한다.
- 타이틀 셀을 선택하면 모든 열 또는 행을 선택한다.
- 선택된 셀이 있을 경우, "Ctrl+C"를 누르면 데이터가 클립보드에 복사된다.

(3) 입력기능 : 입력 목록상자 기준

- 입력창 종류 : 텍스트 입력상자, 콤보 선택상자 등이 있으며, 셀의 데이터에 따라 결정된다.
- 입력창 활성화 : 셀을 더블클릭하거나, 선택된 셀에 대해 "Enter" 입력 또는 오른쪽 마우스를 클릭하면 입력창이 활성화된다.
- 입력창이 활성화되지 않으면, 입력할 수 없는 셀을 의미한다.
- 동일한 값을 여러 셀에 입력할 경우, 원하는 셀을 모두 선택한 후 "Enter" 입력 또는 오른쪽 마우스를 클릭하여 입력창을 활성화한다.

## <뒷면지>

### 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.