

발간등록번호

11-1543000-000998-01

도시열섬 저감을 위한 저비용 지속 가능형
벽면녹화 시스템 개발

(Low-cost, Sustainable Green Wall System
Development for Urban Heat Island Phenomenon
Mitigation)

한국건설기술연구원

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “도시열섬 저감을 위한 저비용 지속가능형 벽면녹화 시스템 개발” 과제의
보고서로 제출합니다.

2015년 9월 9일

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

주관연구책임자 : 장 대 희

연 구 원 : 김 현 수

연 구 원 : 신 상 희

연 구 원 : 김 한 샘

협동연구기관명 : 경기도농업기술원

협동연구책임자 : 조 창 휘

협동연구기관명 : 경기도농업기술연구원

선인장연구소

협동연구책임자 : 이 진 흥

요 약 문

I. 제목

도시열섬 저감을 위한 저비용 지속가능형 벽면녹화 시스템 개발

II. 연구성과 목표 대비 실적

구 분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 거래	사업화	정책 활용	홍보 전시	기타
	출원	등록	SCI	비 SCI						
최종목표		6	6		7	3	3	1	7	
1차년도	목표	2			1	-			1	
	실적	2			1	2			2	
2차년도	목표	3	2		3	1		1	5	
	실적	1	1			2	1	1	5	
3차년도	목표	1	4		3	1	2	3	1	
	실적		1						12	
소 계	목표	6	6		7	3	3	1	7	
	실적	3	2		1	5	1		19	

III. 연구개발의 목적 및 필요성

4계절이 뚜렷한 국내의 기상과 다양한 건물 유형별 적용 가능하고, 저비용으로 보급 가능한 벽면녹화시스템 Prototype을 제안하며 녹화시스템 유형별 지속가능한 녹화면 확보를 위한 유지관리기술의 자동화 기법 및 매뉴얼 및 식물생산기술을 보급하고자 함.

IV. 연구개발 내용 및 범위

- 건축물 유형별 적용 가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발 및 효과의 정량화
- 3D Modeling기법을 활용한 시스템 디자인 및 설계
- 개발 Prototype의 현장 적용 및 모니터링
- 벽면녹화 인공지반 근권 수분 자동제어와 양분급액 자동화 시스템 개발
- 벽면녹화 소재용 다육식물 공정생산체계 확립 및 설치·유지관리 매뉴얼 개발

V. 연구개발결과

1. 건축물 유형별 적용 가능한 벽면녹화 시스템 Prototype 개발

가. 시스템 사용화를 위한 경제성 분석 및 현장 도입기반 마련

- 국내와 일본에서 개발된 기술을 등반보조재로서 와이어나 메쉬를 이용한 녹화유형과 벽면에 플랜터나 패널 등을 설치하는 유형으로 구분하여 분석함
- 벽면녹화 시장규모는 최대 250억원 정도로 추정되며, 기존에 조사된 설계가에 낙찰가격범위를 적용했을 때, 실행가격의 범위는 패널형이 414,392 ~ 720,000원, 매트형 202,704 ~ 432,000원, 플랜트형이 528,000 ~ 752,000원의 범위로 측정됨
- 국내·외 벽면녹화 사례 및 관련기술 분석을 통해 시장에서 통용될 가격을 예상해보고, 본 시스템의 설계가격을 시장목표가격에 맞춰 440,000~520,000원으로 제시함

나. 벽면녹화의 도시열섬 저감 효과 분석 및 정량화

- 벽면녹화 시스템을 도시열섬 저감을 위한 수단으로 활용함으로써, 이산화탄소를 흡수, 식재에 의해 생기는 그늘에 의한 일사 차단, 식재와 지지층에 의한 단열, 식물과 지지층에 의한 증발산 냉각 작용, 바람차단 효과 등으로 고려함
- 식물의 기능성 분석을 위해 문헌분석 및 현장실증을 통해 건축물 외피유형별 표면온도 패턴 DB 구축 및 녹화를 통한 온도저감 효과를 검증함.
- 시뮬레이션 결과 식생판의 표면온도는 최대 4.2℃정도 저감시킬 수 있으며, 시스템 적용부에 대한 공기온도는 최대 1.2℃까지 저감시키며, 그 영향범위는 시스템 벽면부에서부터 약 1.2M까지 주변공기의 냉각효과 영향을 미칠 수 있는 것으로 계산됨.

다. 도시열섬 저감을 위한 벽면녹화 시스템 Prototype 제안

- 도시열섬 저감효과 정량화 성능 도출에 기반하여 Prototype은 상부에서부터 연계된 관수용수의 원활한 흐름이 식생에 필요한 수분을 공급함과 동시에 증발산량 증대를 통해 도시 미기후를 개선하기 위한 건물일체형 Cool Wall System의 컨셉을 가지고 구상됨
- Prototype 제안에 따른 특허요인 설정 및 선행 기술조사는 주요 기술요소를 일체형벽면녹화, 토양백, 수분 증발이라는 3가지 키워드를 가지고 기존의 특허들과 비교 분석함
- Prototype에 대한 특허출원, 표준 설계도서를 마련함

2. 저비용 지속가능한 벽면녹화 유지관리 자동화 모듈 개발

벽면녹화 시스템 유지관리를 위한 벽면녹화 유형별 인공지반 근권에 대한 적정 수분조건

구멍과 양수분 자동제어시스템 개발을 목적으로 시험을 수행하였다

가. 벽면 유형별 인공지반 적정 수분 조건 구명

- 와이어형에서 자란 다래덩굴은 수분 45%에서 생육이 전반적으로 양호하였으며, 방향별로는 동, 서향에서 생육이 양호하였음.
- 패널형에서 자란 수호초와 플랜터에서 자란 줄사철은 수분별, 방향별로 생육 차이가 없어 수분 25% 조건으로 관수하는 것이 경제적임.

나. 플랜터형 벽면 인공지반 양분 급액농도 구명

- 양액농도별 근권부위 EC함량은 처리에 관계없이 특이적 변화를 보이지 않았음. 양액농도별 근권부위 수분함량은 EC 처리에 관계없이 급액시간에 따라 주기적으로 낮아지고 높아지는 경향을 보임.
- 다래덩굴의 생육은 양액농도별 큰 차이는 없었으며 줄기길이, 엽수는 EC 1.5에서 생육이 다소 양호하였음. 수호초의 생육은 초장과 엽수에서 EC 2.0에서 양호하였음. 줄사철 생육은 줄기수와 줄기길이에서는 EC 2.0에서 우수하였고 줄기직경과 엽수에서는 EC 1.0에서 우수하였음.

다. 벽면 인공지반 양분 급액농도 구명 및 양수분 자동제어 시스템 개발

- Microsoft Basic Programming Visual Basic을 이용해서 벽면녹화 시스템 제어 프로그램 매뉴얼 개발
- 메뉴는 벽면 유형별 토양수분, 토양EC, 토양온도 등으로 구성하였고 제어시 제어 포인트 설정은 수분을 우선으로 하여 관수하되 플랜터 EC가 목표값에서 떨어졌을 때 배양액으로 EC 멈춤점까지 급액하며 토양수분(35~40%) 범위에서 급액 제어하며 EC 값이 목표값에 도달하였을 때 급액을 중단하고 물로 급수 할 수 있도록 구성
- 제어조건은 벽면녹화 양방향 무선 자동 수분제어 시스템 특징으로 제어 포인트 설정시 각 시스템에는 5~8개씩 전자밸브를 제어 할 수 있으며 제어할 수 있는 포인트를 이 기능으로 설정할 수 있도록 개발

3. 다육식물을 활용한 벽면녹화용 식생판 설치 및 유지관리 기술 개발

벽면녹화용 식생판 관리를 위한 식생판용 배지개발과 식생방향, 정식시기에 따른 생육을 구명하여 다육식물 소재 공정생산 기술 개발을 목적으로 시험을 수행하였다.

가. 벽면녹화 식생판용 배지개발

- 적합 배지 선발은 식물종류에 관계없이 대체로 코코넛열매 껍질짚에서 초장 등 생육이 저조한 경향이였음
- 코코피트(압축상토)와 피트모스+펠라이트 배지에서 생육이 좋았음

나. 식생방향에 따른 생육특성 구명

- 식생방향별 다육식물 생육특성은 대체적으로 유의성은 거의 없었으나 땅채송화는 북향에서 줄기수가 많았으며 백변경초는 서향에서 초폭이 넓었고 와송은 남향에서 초장이 컸음
- 쉐페르비름은 북향에서 초장이, 가는잎기린초는 남향에서 초폭이 작게 나타났음
- 고사율은 북향에서 땅채송화, 백변경초, 와송, 쉐페르비름이 높았음

다. 정식시기에 따른 생육특성 비교

- 연화바위솔은 정식시기에 관계없이 고사주가 없었으며 가는잎기린초, 설악애기기린초는 5월 정식시 고사주가 없었음
- 초장, 줄기수 등 생육은 정식시기가 빠를수록 좋은 경향이었음

라. 다육식물 소재 공정생산 기술 개발

- 묘 생산소요일수는 플러그트레이 128공>105공>72공 순으로 짧아지는 경향이었고, 엽삽(잎꽃이)에 비해 경삽(줄기꽃이)의 소요일수가 짧았음
- 경삽은 모든작물에서 90%이상 생존한 반면 엽삽은 생존율이 매우 낮아지는 경향이었음

마. 벽면녹화 최적화 환경관리 기술 개발

- 식생판 방향에 따른 월별 무관수 배지의 수분 보유력은 동향에서 가장 높았으며 다음으로 북향, 서향, 남향 순으로 나타났음
- 무관수 배지내 토양수분 경시적 변화를 살펴보면 7월에 수분보유력이 최대로 높아졌다가 8월 이후 완만하게 감소하는 경향을 보이고 있음
- 특히 4~6월, 10월은 수분 보유력이 가장 낮은 시기로 나타났음

바. 다육식물 벽면녹화 소재생산기술 경제성 분석

- 플러그트레이에 따른 육묘관리 노력비에 대한 경제성을 분석해보면 128공이 72공에 비해 노력비 절감이 750원, 플러그트레이 구입비 절감이 5배 증가 대비 2,250원이 감소되었음
- 상토구입비가 72공 트레이 대비 3,465원이 절감되고 육묘일수단축에 의한 생산성이 1,000주 대비 14.3%의 절감효과를 보여 추정 수익액이 49,365원으로 추정되었음

VI. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 주요 연구성과

- 굴곡형 패널을 활용한 건물일체형 벽면녹화시스템 (특허등록: 10-1517498)
- 벽면녹화를 위한 양수분 자동 공급장치 (특허출원 10-2013-0158289)

- 수직면녹화용 식생패널(특허출원 10-1353937)
- 벽면녹화를 위한 양수분 자동 공급장치 산업체 기술이전(2015. 9 예정)
- 통상실시(대상기관 : 영농조합법인 선인장연구회, 2013.10.14.)

2. 성과활용 계획

- 건물일체형 벽면녹화시스템의 기능과 토양수분 및 양분 유지관리시스템의 기능을 복합적으로 활용하는 패키지 특허기술출원 및 등록 추진
- 기존 단일기능을 가진 기술특허의 일반적인 제품을 보완하고 각각의 기능이 단일 시스템으로 구현될 수 있도록 기술개발 : 사업화에 있어 경제성 확보를 위한 기술 차별화 · 단계화 전략 수립
- 기능일체화 및 개발기술의 패키지 제품의 모듈화를 통하여 공간적응성이 높은 제품으로 차별화 전략구현
- 연구결과의 기업 활용을 통한 개발 시스템의 제품화 계획 및 판로확보 및 마케팅 계획 추진

SUMMARY

I . Title

Low-cost, sustainable Green Wall System development for Urban Heat island phenomenon mitigation

II . Achievements compared to the research goals

Item		Intellectual property		Paper publication		Confere nce Prese ntati on	Tech nolo gy Trad e	Com merci alizi ation	Polic y Utiliz ation	Adver tisem ent & Exhibi tion	Oth ers
		Patent	Applic ation	SCI	Non- SCI						
Final goal		6	6		7		3	3	1	7	
First year	Goal	2			1	-				1	
	Achiev ement	2			1	2				2	
Second year	Goal	3	2		3		1		1	5	
	Achiev ement	1	1			2	1		1	5	
Third year	Goal	1	4		3	1	2	3		1	
	Achiev ement		1							12	
Subtotal	Goal	6	6		7		3	3	1	7	
	Achiev ement	3	2		1	5	1			19	

III . Purpose and the need of the study

This study proposes a wall greenery system prototype that is supplied with a low cost and applicable to various building types and clear four-season climate pattern in Korea as well as providing automation technology of maintenance and its manual and plant production technology to secure sustainable greenery walls as per greenery system type.

IV. Contents and scope of the research and development

- Development of wall greenery system prototype applicable to various building types and quantification of the effect
- System design that utilizes 3D modeling technology
- Application of the developed prototype to sites and monitoring
- Development of automation system for artificial ground rhizosphere moisture automatic control and supply of nutrients
- Establishment of production system of succulent plants for wall greenery materials and development of installation and maintenance manuals

V. Result of research and development

1. Development of wall greenning system prototype applicable to various building types

- A. Economic feasibility analysis for system usability and providing foundation to use the system at sites
 - Technologies developed at Korea and Japan are divided into two greenery types: one using wires or meshes as climbing supplement materials and the other installing planter or panel at walls.
 - Wall greenning market size is estimated up to KRW 25 billion. The total price of wall greenning system is as follows considering successful bid price including design price surveyed previously: for panel type, KRW 414,392 - 720,000, for mat type, KRW 202,704 - 432,000, and for plant type, KRW 528,000 - 752,000.
 - Through wall greenning case studies and related technology analysis, market price to be applied is estimated and design price of the system is proposed as KRW 440,000 - 520,000 in accordance with the market goal price.
- B. Analysis and quantification of the effect of wall greenning system on reduction in urban heat island
 - By utilizing wall greenning systems as a means to reduce urban heat island, carbon dioxide absorption, protection from solar radiation via shades of vegetation, insulation due to vegetation and support layer, evapotranspiration cooling action due to plants and support layer,

and wind blocking effect are obtained.

- Database about surface temperature patterns as per building envelope type through literature review and site investigation for analysis on plant functionality is developed and the effect of temperature reduction through greenery is verified.
- Simulation result showed that surface temperature of the vegetation plate can reduce building temperature up to 4.2°C and air temperature in the system application part can be reduced up to 1.2°C and the effective range is calculated to have the surrounding air cooling effect up to 1.2 meter from the system wall approximately.

C. Proposal of the wall greenning system prototype to reduce urban heat island

- Based on the quantified performance finding about the urban heat island reduction effect, the prototype not only supply water required for vegetation via irrigation water connected from the above but also improve urban micro climates through increases in evapotranspiration thereby achieving building-integrated cool wall system concepts.
- For patent features and prior art search according to the prototype proposal, main technical points are set to three keywords: integrated wall greenery, soil bag, and moisture evaporation and using these keywords, existing patents are compared.
- Patent application and standard design documents for the prototype are provided.

2. Development automatic controled system with low cost and sustainable module for maintenance green-wall system.

Experiments were conducted for the purposes of identification of appropriate moisture conditions for artificial ground rhizosphere as per wall greenery type to maintain the wall greenery system and development of automatic control system of nutrients and water.

A. Identification of appropriate moisture conditions in artificial grounds as per wall type

- *Actinidia arguta* grown at a wire type wall had a good growth rate at 45% of moisture rate and better growth found at east and west bound walls in terms of direction.

- *Pachysandra terminalis* grown at a panel type wall and Fortunes creeping spindle grown at a planter had no difference in growth rate in terms of moisture and direction so that watering with 25% moisture condition is the most economical.
- B. Identification of nutrient supply concentration at artificial ground of planter type walls
- EC contents around rhizosphere as per nutrient concentration had no specific changes regardless of processing. Moisture contents around rhizosphere as per nutrient concentration were decreased or increased periodically according to nutrient supply time regardless of EC processing.
 - The growth of *Actinidia arguta* had no significant difference due to nutrient concentration and the growth of stem length and the number of leaves were relatively good at EC 1.5. The growth of *Pachysandra terminalis* was good at plant height and the number of leaves at EC 2.0. The growth of Fortunes creeping spindle was good at the number of stems and stem length at EC 2.0 and good at stem diameter and the number of leaves at EC 1.0.
- C. Identification of nutrient concentration at artificial ground of walls and development of nutrient and water automatic control system
- Development of control program manual for the wall greenery system using Microsoft Basic Programming Visual Basic
 - The menu consisted of soil moisture per wall type, soil EC, and soil temperature and water is prioritized in the control point setup during control to supply water but when planter EC is below the goal value, nutrient is supplied up to the EC stop point and nutrient supply is controlled within a range of soil moisture (35%-40%). When EC value reaches at the goal value, nutrient supply is stopped and water is supplied.
 - Each system can control 5-8 electronic values during control point setup as a feature of two-way mobile automatic moisture control system for wall greenery. Using this feature, controllable points can be set up.

3. Succulents green wall process for the wall material production

establishment and maintenance manual installation development

Experiments were conducted to develop technologies of processing production of succulent plants as medium for vegetation plate to manage vegetation plates of wall greenery is developed and growth of plants is identified in terms of vegetation direction and planting time.

A. Development of medium for vegetation plate of wall greenery

- Appropriate medium selection showed that mostly growth tended to be mediocre such as leaf length in coconut fruit husk chips regardless of plant type.
- Growth was good at coco peat (compressive bed soil) and peat moss + perlite medium.

B. Identification of growth characteristics according to vegetation direction

- The growth characteristics of succulent plants was not related to vegetation direction mostly but *Portulaca grandiflora* Hooker had more number of stems at the north-bound direction while *Sedum album* had wider leaf width at the west-bound direction and *Orostachys japonica* had longer leaf length at the south-bound direction.
- *Sempervivum* had longer leaf length at the north-bound direction while *Sedum aizoon* L. had narrower leaf width at the north-bound direction.

Portulaca grandiflora Hooker was the highest mortality followed by *Sedum album*, *Orostachys japonica*, and *Sempervivum* at the north-bound direction.

C. Comparison of growth characteristics according to planting time

- Lotus rock pine had no dead plant regardless of planting time while *Sedum aizoon* L. and *Sulack Sedum middendorffianum* had no dead plant when they were planted at May.
- The faster the planting time, the better the growth such as leaf length and the number of stems.

D. Development of processing production technology for succulent plants

- The number of production days taken for seedlings had the following results: plug tray 128 cells > 105 cells > 72 cells in the tray in an descending order and stem cutting takes shorter day than leaf

cutting.

- Survival rate of plants using stem cutting was more than 90% whereas survival rate of plants using leaf cutting was very low.

E. Development of optimized environment management technology for wall greenery

- Monthly moisture retention of media under non-irrigation according to the vegetation plate direction showed that east-bound direction was the highest followed by north, west, and south-bound directions.
- Changes in soil moisture in the media under no-irrigation over time showed that July had the highest moisture retention followed by reduced gradually after August.
- In particular, April to June, and October were the lowest moisture retention months.

F. Economic feasibility analysis on production technologies of wall greenery of succulent plants

- The economic feasibility on the basis of efforts given for seedling management according to plug trays showed that 128 cells had effort cost reduction by KRW 750 than that of 72 cells and reduction in plug tray purchase cost by KRW 2,250 when a unit of five cells is purchased.
- Bed soil purchase cost upon 128 cells was reduced by KRW 3,465 compared to that of 72-cell tray and productivity increase due to the reduction in the number of seedling days was 14.3% thereby having an estimated benefit up to KRW 49,365.

VI. Study achievements and plan of the achievement utilization

1. Main study achievements

- Building-integrated wall greenery system utilizing curved panels (Patent registration: 10-1517498)
- Automatic supply apparatus of nutrient and moisture for wall greenery (Patent application: 10-2013-0158289)
- Vegetation panel for vertical greenery (Patent application 10-1353937)

- Technology transfer of automatic supply apparatus of nutrient and moisture for wall greenery to industry (planned at Sep 2015)
- Non-exclusive License (Licensee: Cactus Society Farming Association Corporation at 14 October 2013)

2. Planning of research deliverable utilization

- Application for patent technology about package utilizing and combining functions of building-integrated wall greenery system and functions of maintenance system of soil moisture and nutrients.
- Technology development to improve existing general products of technology patent that have single function and implement each single function into a single system: Establishment of technology differentiation and planning strategies to ensure economic feasibility for commercialization.
- Through modularization of package products of developed technologies and function integration, differentiation strategies are implemented to make products to have more high compatibility.
- Commercialization planning of the developed systems through corporation utilization on the research result and market route development as well as marketing planning.

CONTENTS

Chapter 1 Overview and performance goals of the research and development challenges	21
Section 1 The purpose of the research and development	21
Section 2 The scope and content of study	22
Section 3 Research performance against goals	23
Section 4 Research Promotion System	24
Chapter 2 Technical developments at home and abroad	25
Chapter 3 Details and results of research and development carried out	30
Section 1 Development of wall greening system prototype applicable to various building types	30
Section 2 Development automatic controled system with low cost and sustainable module for maintenance green-wall system.	67
Section 3 Succulents green wall process for the wall material production establishment and maintenance manual installation development	84
Chapter 4 Goal achievement and contribution to the relevant field	98
Chapter 5 R&D results and performance utilization plan	100
Chapter 6. References	106
<Attachment> Patents, papers and Market Analysis Reports	109

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 및 성과목표	1
1절 연구개발의 필요성 및 목적	1
2절 연구의 범위 및 내용	2
3절 연구성과 목표 대비 실적	3
1. 연구성과 목표	3
2. 연구성과 활용 목표	3
4절 연구추진체계	4
제2장 국내외 기술개발 현황	5
1. 벽면녹화 기술유형 분류	5
2. 벽면녹화 기술유형 특징	5
3. 연구결과가 국내·외 기술개발현황에서 차지하는 위치 등을 기술	9
제3장 연구개발수행 내용 및 결과	10
1절 건축물 유형별 적용 가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발	10
1. 시스템 사용화를 위한 경제성 분석 및 현장 도입기반 마련	10
2. 벽면녹화의 도시열섬 저감 효과 분석 및 정량화	15
3. 도시열섬 저감을 위한 벽면녹화 시스템 Prototype 제안	27
4. 개발된 Prototype 적용 기대효과 분석	38
5. 개발기술의 사업화 방안 모색	43
2절 저비용 지속가능한 벽면녹화 유지관리 자동화 모듈 개발	47
1. 벽면 유형별 인공지반 적정 수분 조건 구명	47
2. 플랜터형 벽면 인공지반 양분 급액농도 구명	54
3. 벽면 인공지반 양분 급액농도 구명 및 양수분 자동제어 시스템 개발	57
4. 벽면녹화 개발시스템의 유지관리 현장실증연구	60
3절 다육식물을 활용한 건물 벽면녹화 기술 개발	64
1. 저비용 벽면녹화 설치 및 관리기술 개발	64
2. 다육식물 소재 공정생산 기술개발	69
3. 벽면녹화 최적화 환경관리 기술 개발	73
4. 현장 적합 다육식물 설치모델(메뉴얼) 개발	77

제4장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	78
	1. 목표달성도	78
	2. 관련분야에의 기여도	79
제5장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	80
	1. 연구개발성과	80
	2. 성과활용계획	83
제6장	참고문헌	86
<첨부>	특허, 논문 및 시장분석 보고서	89
	1. 본 연구관련 국내외 기술수준 비교	89
	2. 특허분석	89
	3. 논문분석	98
	4. 제품 및 시장 분석	100
	5. 3P(특허, 논문, 제품)분석을 통한 연구추진계획	102

표 차례

표 1. 벽면녹화 기술 유형분류	5
표 2. 와이어 설치형	6
표 3. 메쉬 설치형	6
표 4. 플랜터 설치형	7
표 5. 패널 설치형	8
표 6. 벽면녹화대표업체 매출액 및 인원수	10
표 7. 벽면녹화 대표업체 제품별 설계가격	11
표 8. 한국의 시스템별 특허출원 동향	28
표 9. 일본의 시스템별 특허출원 동향	28
표 10. 주요 선행기술	29
표 11. 국내외특허의 기술요소별 비교	30
표 12. 분석의 전제 조건	38
표 13. 분석의 일반조건	38
표 14. CFD 해석 조건	39
표 15. 분석안 초기조건	39
표 16. 재료의 물성	39
표 17. 벽면녹화 증발시스템의 시간에 따른 표면 온도변화	41
표 18. 인접한 외기 온도변화	42
표 19. 다래덩굴 생육(와이어형)	49
표 20. 줄사철 생육(플랜터형)	50
표 21. 수호초 생육(패널형)	51
표 22. 수호초 월동 조사결과	53
표 23. 플랜터형 줄사철 고사율 조사('14. 3. 6)	53
표 24. 양액급액농도에 따른 다래덩굴 생육(2013년)	55
표 25. 양액급액농도에 따른 수호초 생육(2013년)	55
표 26. 양액급액농도에 따른 줄사철 생육(2013년)	55
표 27. 양액급액농도에 따른 다래덩굴 생육(2014년)	56
표 28. 양액급액농도에 따른 수호초 생육(2014년)	57
표 29. 양액급액농도에 따른 줄사철 생육(2014년)	57
표 30. 제어프로그램 개발 단계별 Upgrade 내용	59
표 31. 다래덩굴생육	63
표 32. 수호초 생육	63
표 33. 줄사철 생육	63

표 34. 연간 소요인력 및 인건비(8시간/일, 300일, 100m ² 관수/시비 기준)	63
표 35. 다육식물 및 배지종류별 생육특성	64
표 36. 식생방향별 생육특성 및 고사율	67
표 37. 정식시기별 생육특성	68
표 38. 정식시 플러그트레이 크기에 따른 번식방법별 다육식물의 생육특성	69
표 39. 육묘시 플러그트레이 규격에 따른 계절별 생존율	72
표 40. 식생판 방향에 따른 월별 무관수 배지의 수분변화	73
표 41. 식생판 방향에 따른 월별 EC 농도별 온도변화	73
표 42. 관수 및 양액처리에 따른 벽면녹화 식물 생육의 경시적 변화	74

그림 차례

그림 1. 건물의 녹화벽의 열교(W/m ²)	23
그림 2. 연도별 출원동향	27
그림 3. 「굴곡형 패널을 이용한 벽면녹화시스템」의 식생패널 디자인 컨셉	31
그림 4. 「굴곡형 패널을 이용한 벽면녹화시스템」 세부상세도	32
그림 5. 굴곡형 패널을 이용한 벽면녹화시스템」 식생패널 세부도면	33
그림 6. 담수대 전개도	33
그림 7. Prototype과 빗물저류조 연결 모델링	34
그림 8. 빗물저류조 연결 모델링	34
그림 9. 경기농업기술원 첨단온실에 설치된 Prototype	35
그림 10. 실험구 내 토양 및 식생 배치 계획	35
그림 11. 옥외모니터링 Prototype 설치과정	36
그림 12. 경기농업한국건설기술연구원 옥상에 설치된 Prototype	36
그림 13. CFD 분석 모델	40
그림 14. 6월의 기상조건에서 모듈의 온도변화	41
그림 15. 8월의 기상조건에서 모듈의 온도변화	41
그림 16. 인접한 외기 온도변화	42
그림 17. 2015 Ecobuild 전시 참가준비	43
그림 18. 2015 Ecobuild 현장 스케치	44
그림 19. 시험에 사용된 벽면유형별 수분조건 및 관수방법	47
그림 20. 벽면 유형과 방향별 근권 수분	48
그림 21. 벽면 유형과 방향별 식물생육	49
그림 22. 벽면 유형과 방향별 열화상 이미지	52
그림 23. 양분 급액농도별 근권 EC(dS/m)	54
그림 24. 양분 급액농도별 근권 EC(dS/m)	56
그림 25. 시험에 사용된 양수분 급액 시스템	58
그림 26. 개발된 양수분 자동제어 시스템 자동제어 흐름도	58
그림 27. 개발된 양수분 자동제어 시스템 모식도 및 실제 적용 예	59
그림 28. 홈페이지 화면	60
그림 29. 스마트폰 앱 「농가사진관리」 접속 화면	61
그림 30. 현장실증을 위한 벽면녹화 모듈 설치 및 식물식재	61
그림 31. 배지 내 양수분 변화	62
그림 32. 식생판 및 온습도 센서 배치도	65
그림 33. 외기의 온습도 변화	65

그림 34. 식생판 배양토 내 수분함량의 변화	66
그림 35. 식생판 매뉴얼	77
그림 36 일본 지방자치단체별 벽면녹화 시공면적	101
그림 37 벽면녹화에 식재된 식물종별 구분	101

제1장 연구개발과제의 개요 및 성과목표

1절 연구개발의 필요성 및 목적

- 최근 녹색산업 성장과 관련하여 건물 입면녹화 및 인공지반 녹화로 도시 열섬화 방지와 건물 냉방부하 경감 노력이 많이 시도되고 있음. 도시 열섬화 완화와 도시 미관을 위한 건축물 입면 녹화 시도는 다양하게 이루어지고 있으나, 아직까지는 국내 벽면 녹화 적용 기술 및 유지관리 기술은 초보적인 수준에 머무르고 있음.
- 에너지 절약 및 생태환경 개선을 위한 입체녹화기법 개발이 일부 이루어져 있으나 상용화 미비로 벽면녹화 시공 현장에서 실용적으로 적용 가능한 기술개발은 크게 미흡한 실정으로 현장애로 실용화 기술개발이 시급함.
- 또한 건물 옥상녹화 조성 후 관수, 영양관리 등 사후관리에 어려움이 많으며 특히 벽면녹화의 경우 식재식물선정, 사후관리 등에서 많은 문제점이 발생되고 있는데 다양한 건물 벽면녹화용 식물소재별 조성방법과 유지관리 기술 개발이 시급한 실정임.
- 기온이 낮고 건조한 한국의 동절기 기후조건을 극복할 수 있으며, 다양한 건축물 유형에 적용 가능한 저비용의 벽면녹화 시스템이 요구됨. 이와 동시에 지속가능한 피복효과를 전제할 수 있는 유지관리 기법이 요구되고 있음.
- 벽면녹화에 적용되는 인공지반 양분관리 분야의 기술연구 미비로 토양의 양분관리 및 적정양분수준 등 사후관리가 불량함. 다양한 건축물에 다양한 형태로 설치되는 녹화유형을 Grouping하여 몇 가지 유형으로 표준화하고 자재를 표준화하여 설치에서 유지운영까지 자동화 모듈을 개발하여 저비용 고효율 벽면녹화시스템 개발 보급이 필요함.
- 벽면녹화 적용식물에 있어 옥상조경용 소재 선발에 관한 연구는 있으나, 생육조건이 유사한 건물녹화 중 벽면 녹화에 특화된 소재에 관한 연구는 진행된 바 없으며 또한 다육식물로만 시험된 영농활용 또한 전무한 상태임
- 본 연구에서는 4계절이 뚜렷한 국내의 기상과 다양한 건물 유형별 적용 가능하고, 저비용으로 보급 가능한 벽면녹화시스템 Prototype을 제안하며 녹화시스템 유형별 지속가능한 녹화면 확보를 위한 유지관리기술의 자동화 기법 및 매뉴얼 및 식물생산기술을 보급하고자 함.

2절 연구의 범위 및 내용

○ 건축물 유형별 적용 가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발

- 시스템 상용화를 위한 시장분석
- 식물의 기능성분석
- 도시열섬 저감을 위한 벽면녹화 시스템 Prototype 개발
- 요소 기술 유형 분석 및 표준 설계도서 개발
- 시스템 유형별 효과분석
- Prototype 현장적용 및 모니터링
- 3D Modeling기법을 활용한 하부구조의 디테일 개발 및 현장 적용성 평가
- 시스템 현장 모니터링 및 활용 매뉴얼
- 상용화를 위한 경제성분석 및 제품설계
- 농가소득원 창출을 위한 녹화소재 부품화 방안 및 생산방안 모색
- 벽면녹화 적용면 유형별 하부구조 디테일 개발 및 현장 적용성 평가

○ 저비용 지속가능한 벽면녹화 유지관리 자동화 모듈 개발

- 벽면녹화 유형별 식생기반 적정수분 유지를 위한 적정수분 규명
- 벽면녹화 식생기반 근권 수분제어 자동화 모듈 개발
- 벽면녹화 양분급액 기술 개발
- 개발시스템의 유지관리 현장 실증연구

○ 다육식물을 활용한 건물 벽면녹화 기술 개발

- 저비용 벽면녹화 설치 및 관리기술 개발
- 다육식물 소재 공정생산 기술개발
- 벽면 환경 모니터링 벽면녹화 최적화 환경관리 기술 개발
- 현장 적합 다육식물 설치모델(메뉴얼) 개발

3절 연구성과 목표 대비 실적

1. 연구성과 목표

(단위 : 건수)

구분		지식재산권		논문		학술 발표	기술 거래	사업화	정책 활용	홍보 전시	기타
		출원	등록	SCI	비 SCI						
최종목표		6	6		7		3	3	1	7	
1차년도	목표	2			1	-				1	
	실적	2			1	2				2	
2차년도	목표	3	2		3		1		1	5	
	실적	1	1			2	1		1	5	
3차년도	목표	1	4		3	1	2	3		1	
	실적		1							12	
소 계	목표	6	6		7		3	3	1	7	
	실적	3	2		1	5	1			19	

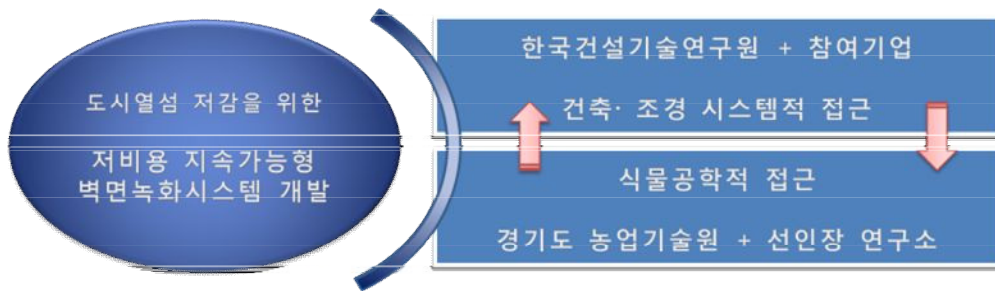
2. 연구성과 활용 목표

(단위 : 건수)

구분		기술실시 (이전)	상품화	정책자료	교육지도	언론홍보	기타
활용 건수	목표	3	3	1			
	달성	1	3	1			

4절 연구추진체계

- 기존의 건축물 녹화 관련 연구는 수행 주체에 따라 건축적 측면에서의 건축재료적 접근방식과 조경적 측면에서의 식물소재적 접근방식으로 구분되어 진행함
- 본 연구는 건축기술 전문가와 농업(식물)기술 전문가의 융복합 과제 진행 및 협업을 통해 저렴하면서도 지속가능하며 건축재료적으로도 적용 가능한 녹화시스템의 개발을 목표로 설정
- 특히 녹지확보가 곤란한 도심지내 녹시율 증대 및 도시열섬 저감을 위해 벽면녹화에 관심이 고조되고 있는 시점에 새로운 개념의 벽면녹화 시스템의 제안과 이를 기반으로한 농업기술의 적용을 통해 적용식물의 영속성 확보 및 관련시장 활성화를 그 목적으로 함
- 다학제적 연구체계 [건축+조경+농업+육종] 구축 및 산연 연계를 통한 상용화 기반 마련[참여기업을 통한 기술이전] 연구 추진



제2장 국내외 기술개발 현황

1. 벽면녹화 기술유형 분류

일반적으로 벽면녹화의 기술유형은 등반보조재로서 와이어나 메쉬를 이용한 녹화유형, 벽면에 플랜터나 패널 등을 설치하는 유형으로 나눌 수 있다. 이는 자연지반에 녹화기반을 두고 와이어나 메쉬를 설치하여 녹화를 하는 방식과, 자연지반 없이 벽면에 플랜터나 패널 등의 녹화기반을 설치하여 녹화하는 방식으로, 이에 대한 간단한 특징들은 아래 표와 같다.

표 1. 벽면녹화 기술 유형분류

구분	세부구분	특징
보조재 설치형	와이어	• 와이어 설치방법에 따라 다양한 경관연출이 가능하고, 설치면적의 조절도 용이
	메쉬	• 메쉬(철망)를 벽면에 고정함으로써 식물의 등반을 유도하는 방법
벽면 장치형	플랜터	• 화분을 벽에 설치하거나 등반보조재와 함께 설치 • 초화나 관목과 같은 일반적인 식물을 식재하는 것이 능
	패널	• 식생매트와 식생토양을 이용하여 벽면에 부착하는 방법 • 수직벽면에 일반식물의 식재가 가능하여 초기녹화효과가 높음
기 타		• 도시시설물 중 경관적으로 녹화효과를 주기 위해 교각, 옹벽, 담장, 환경조형물 등에 녹화

출처 : 한승호, 2009, '도시녹화를 위한 건물벽면녹화시스템', 도시문제 제 44권 제 485호, pp. 24-27

2. 벽면녹화 기술유형 특징

한국과 일본에서 개발되어있는 기술들을 살펴보면 등반보조재로서 와이어나 메쉬를 이용한 녹화유형과 벽면에 플랜터나 패널 등을 설치하는 유형으로 나눌 수 있다.

와이어형은 와이어를 일정 간격이나 모양을 가지고 식물의 성장 유도를 위해 벽면에 고정시키는 방법으로 구성은 와이어와 와이어고정 부속으로 이루어지며 설치의 간편함으로 인해 일반 벽면부터 교각에 이르기까지 그 사용범위가 넓은 벽면녹화의 등반보조재이다.

표 2. 와이어 설치형

제품명 (시스템명)	업체명	특징
그린와이어 (포스트)	(주) 한설그린	<ul style="list-style-type: none"> • 식물에 따라 설치간격 조절이 용이 • 현장에 맞춰 마름모형과 격자형으로 디자인 선택 • 와이어 교차부분에 클램프를 이용하여 건축구조물에 영향을 최소화 함
와이어형 벽면녹화 시스템 (GWS-KW)	한국도시 녹화	<ul style="list-style-type: none"> • 자연지반이 없을 시 유니트형과 결합하여 식재하고 높이가 높은 경우 적층구조로 피복율을 높일 수 있다. • 도로변, 각종 구조물, 벽면, 웬스녹화 시스템
스크류 와이어 공법	스키코우 (주)	<ul style="list-style-type: none"> • 와이어를 격자형으로 사용 • 식물의 등반을 촉진시키기 위하여 와이어를 꼬아서 표면을 울퉁불퉁하게 처리
와이어형	토오레오 (주)	<ul style="list-style-type: none"> • 앙가와 스크류 와이어를 사용 • 창문이나 환기구에의 녹화방지를 위해 박층인 섬유질의 매트와 와이어를 창문 등에 설치하여 시공부위를 중심으로 등반할 수 있도록 유도하는 벽면녹화시스템

메쉬 설치형은 철망을 벽면에 고정하여 식물의 등반유도재로서 사용하는 유형으로 메쉬, 메쉬고정부속, 메쉬 연결부속 등으로 구성된다.

표 3. 메쉬 설치형

제품명 (시스템명)	업체명	특징
그린메쉬 (단층,복층)	(주) 한설그린	<ul style="list-style-type: none"> • 메쉬를 이용하여 넓은 면적에 손쉽게 설치가 가능 • 간격이 조밀하여 식물의 등반이 원활하도록 한 제품
그린메쉬 (웬스, 크로브, 프리포트)	(주) 한설그린	<ul style="list-style-type: none"> • 그린메쉬웨이브를 활용한 독립자주형 녹화조성 • 식재기반이 있는 곳에 독립적으로 설치하여 녹화웬스 조성이 가능
메쉬형 벽면녹화 시스템 (GWS-KM/KMU/K MF)	한국도시 녹화	<ul style="list-style-type: none"> • 메쉬를 이용하여 넓은 면적에 간편한 시공, 설치가 가능 • 유니트형과 결합하여 초기녹화를 증진시킬 수 있다. • 도로변, 각종 구조물, 벽면, 웬스녹화 시스템
그린스크린	한수그린 텍(주)	<ul style="list-style-type: none"> • 대규모 건축물의 측면 또는 파사드에 사용. 붉은인동, 줄사철, 능소화등의 덩굴식물이 줄기를 타고 올라갈 수 있는 철물이 있어 식물의 생장에 적합한 환경제공
반원주벽면녹화	다이토우 (주)	<ul style="list-style-type: none"> • 목재를 사용함으로 미관은 물론 식물의 습도조절과 원활한 생육환경을 조성한다.
헤데라등반시스템	다이토우 (주)	<ul style="list-style-type: none"> • 격자형 메쉬와 코이어매트를 사용하여 메쉬의 단점을 보완하여 조기 녹피를 달성 • 코이어매트를 주위환경에 맞는 색감처리를 가능하게 하여 초기의 거부감을 없애주는 대안을 마련

플랜터형은 벽면에 식물의 식재가 가능한 플랜터를 설치하는 방법으로 인공지반 위나 식물만으로는 생육한계가 있는 고층건물의 벽면녹화에 이용 된다.

표 4. 플랜터 설치형

제품명 (시스템명)	업체명	특징
그린플랜터	(주)한설그린	<ul style="list-style-type: none"> • 자연지반에 식재가 불가능하거나 구조물 상부에 설치해야 할 경우 벽면 설치용 • 플랜터와 메쉬를 이용하여 벽면에 초록공간을 조성할 수 있습니다.
유니트형 벽면녹화 시스템 (GWS-KU)	한국도시녹화	<ul style="list-style-type: none"> • 식재기반과 식재박스의 이원화로 시공 및 유지관리가 용이 • 시공 직후보다 70%정도의 녹피율 확보 • 옹벽, 플랜터에 적용가능한 시스템
알루미늄에코플랜터	(주)도시와숲	<ul style="list-style-type: none"> • 식물의 성장에 맞춰 뿌리 부분이 부직포에 착생되어 더욱 견고함
에코플랜터	(주)도시와숲	<ul style="list-style-type: none"> • 식재면을 부직포와 에코플랜터를 이용하여 부식의 가능성이 현저히 낮음 • 식물의 성장에 맞춰 뿌리 부분이 부직포에 착생되어 더욱 견고함 • 관수시스템이 에코플랜터 안쪽에 설치 미관상 문제없음
초화패널 잔디패널	존농사녹지(주)	<ul style="list-style-type: none"> • 플랜터 타입의 패널방식 • 장소를 가리지 않고 시공이 가능 • 패널형의 단점을 보완하여 토양을 확보하기 위하여 플랜터 패널형을 도입 • 활착률 100%

요즘의 벽면녹화의 수요 중 많은 부분은 준공 즉시 완성된 디자인과 용이한 유지관리를 원하는 공법이 차지한다. 이런 새로운 공법은 벽면에 직접 식재기반을 설치하여, 벽에서 식물을 생장시키는 방법으로 일반적으로 패널형이라고 구분한다.

일반적으로 패널을 지지할 프레임을 만들어 식재된 패널을 그 프레임에 고정시키는 방법과, 벽면에 직접 앵커 등을 뚫아 지지대를 장착하고 패널을 고정시키는 방법이 있다. 일반적으로 이 공법은 유닛별로 제거할 수 있기 때문에 디자인의 다양성이나 고손이 발생할 경우 교체가 가능하다는 특징이 있어, 설계상의 자유로움이 매우 높지만, 건물 자체에 과대한 부하가 걸린다는 점이나, 매우 고가라는 점 등의 문제가 있어 옥상녹화에 비해 보급은 늦은 편이다.

표 5. 패널 설치형

제품명 (시스템명)	업체명	특징
그린패널	(주)한설그린	<ul style="list-style-type: none"> · 수직형 식생기반재에 식재하여 설치하는 타입 · 자동점적관수 설치로 관리가 용이 · 식재대가없는건축물의벽면을녹화시키는타입
월그린매트	(주)한설그린	<ul style="list-style-type: none"> · 천연원료를 사용하여 토양을 고형화 시킨 매트형 토양 · 13개의 식혈구 식재(104본/m²)로 녹화율이 뛰어나
그린포켓	(주)한설그린	<ul style="list-style-type: none"> · 환경 친화적인 펠트 소재를 이용 · 수직벽면에 간단하게 설치하고 자동관수시스템으로 관리가 용이
전면녹화 시스템-패널형 (GWS-KP)	한국도시 녹화	<ul style="list-style-type: none"> · 간단 고정방식으로 빠른 시공, · 물소비량 적음 · 자동관수 시스템 · 실내 및 실외 시공 즉시 70% 이상의 녹피율을 확보
전면녹화 시스템 (GWS-KC)	한국도시 녹화	<ul style="list-style-type: none"> · 탈착식 포트형으로 개별 화분 거치 방식 · 급수, 배수분리형
생태판넬 벽화수	(주)도시와 숲	<ul style="list-style-type: none"> · 자유로운 모양으로 성형 부착 · 원시스템 녹화공법으로 녹화가 매우 쉬움 · 식물선택의 폭이 넓어 겨울에도 상록의 벽 연출
부직포 식재구조	(주)도시와 숲	<ul style="list-style-type: none"> · 식물의 성장에 맞춰 뿌리 부분이 부직포에 착생되어 더욱 견고함 · 시공장소가 실내, 실외로서 많은 장소에 설치가능
벽화수	벽화수(주)	<ul style="list-style-type: none"> · 타일처럼 붙여서 녹화하는 부드러운 스폰지형의 식물기반체로 콘크리트 인공구조물 · 자동타이머가 결합된 관수시스템적용
판형의 벽면녹화시스템	(주)디아트	<ul style="list-style-type: none"> · 와이어나 부직포 등의 프레임 없이 판만을 이용한 벽면녹화기술 · 열대지방에서 자라는 대형 고사리과 나무를 벌목해 재단가공한 판재인 해코판을 이용한 것.
패널형	토오레오 (주)	<ul style="list-style-type: none"> · 30×30cm 크기의 녹화패널 · 곡선에 대응가능 · 기존의 가설시스템과 호환성이 있어서 단기간에 설치와 해체가 가능
MBS 지주공법 휴식의 벽	인딩그린 테크(주)	<ul style="list-style-type: none"> · 와이어를 수직으로, 철재를 대각선으로 시공하여 벽면의 하부를 녹화하고 상부를 패널녹화하는 수법사용 · 시공비 절감과 조기녹화를 달성하기 위하여 혼합형 시공 채택 · 휴식의 벽 이라는 이름의 상부의 패널형은 습윤시 30~40kg의 중량을 갖음
매자컬 그린	일본지공 (주)	<ul style="list-style-type: none"> · 수분제공이 균일하게 이루어지게 하기위해 관수용 드립을 내장 · 시간이 경과해도 고결 등이 일어나지 않는 토양 사용 · 관수시간의 절감(5분) · 다용도 이용가능(인공지반, 벽면녹화, 이끼류 녹화)
허밍포켓	오카야코 우키(주)	<ul style="list-style-type: none"> · 장미 등 사계절의 초화를 심는 천으로 제작한 포켓을 붙인 벽면녹화 시스템 · 황마섬유를 사용함으로 인해 경량에 시공성이 좋고 자유로운 형상이 가능 · 인쇄가 가능하며, 광고매체로서도 사용가능

3. 연구결과가 국내·외 기술개발현황에서 차지하는 위치 등을 기술

본 연구를 통해 개발된 시스템은 기존 벽면녹화시스템과 차별하여 건축물의 외장재로 활용 가능한 건물 일체형 벽면녹화시스템개발로서 기존 녹화시스템 대비 공사비 절감효과를 기대할 수 있어 벽면녹화시장의 저변확대가 기대되어진다.

각 요소기술에 디자인성을 가미하고 시공편의성, 안전성, 지속성유지를 도모하고 각 요소기술을 부품화하여 생산능가의 생산성 향상을 도모할 수 있다.

전 시스템의 자동화와 수치화로 기술을 특화하고 유지관리부하의 저감을 도모함으로써 유지관리비용 절감효과를 기대할 수 있다.

기존 덩굴식물 및 초화, 지피식물로 이루어진 식물의 획일화에서 탈피하여 다양한 식물의 건전한 생육을 보장하여 지속가능한 생태적 건축물 외피로서 특화하였다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

1절 건축물 유형별 적용 가능한 벽면녹화시스템 Prototype 개발

1. 시스템 사용화를 위한 경제성 분석 및 현장 도입기반 마련

가. 시장조사 현황

국내 벽면녹화관련업체는 현재 약 42개 업체가 있는 것으로 파악되며 조경업체, 실내인테리어업체, 벽면녹화 전문업체로 나눌 수 있다. 대부분 조경식재, 설계, 시공 관련업체에서 벽면녹화사업을 함께 시행하고 있으며 벽면녹화 전문업체는 2개 업체가 있는 것으로 파악된다.

벽면녹화업체를 대상으로 벽면녹화 관련매출이 총 매출액의 몇 %를 차지하는지에 대한 조사를 실시한 결과(단, 벽면녹화 전문업체는 제외), 각 업체별 벽면녹화 매출액의 범위는 작년기준으로 약100만원 ~ 22억8천만원으로 나타났다.

표 6. 벽면녹화대표업체 매출액 및 인원수

	업체명	매출액(백만원)	사원수(명)
1	(주)한국도시녹화	1	10
2	그린컨셉	3.8	8
3	벽화수(주)	560	25
4	한수그린텍(주)	2280	30
5	(주)도시와숲 벽면녹화	250	16

*업체 제공자료 참고

현재 국내 벽면녹화 사업은 초기단계로 시장규모가 작고, 사업빈도도 적기 때문에 각 업체마다 구체적인 매출액 자료를 확보하기 어려운 상황이다. 벽면녹화 매출액은 업체별로 큰 차이를 가지고 있는 것으로 판단된다.

수집된 상기 자료를 토대로 벽면녹화 시장규모는 최대 250억원정도로 추정되며, 업체별 매출차이를 감안할 경우 100~200억원 사이의 시장규모가 될 것으로 추정할 수 있다. 다만 상기 추정결과는 매출이 비교적 큰 회사들의 내용을 토대로 추정한 결과로 실제와는 다소 차이가 있을 것으로 보인다.

현재 벽면녹화 업체별 매출비중이 0.025~40%정도로 정확한 시장규모를 추정하기에는 다소 어려움이 있었으나, 국가 지원사업의 증가, 업체별 인터뷰 중 매년 매출이 소폭 상승한다는 내용을 토대로 벽면녹화 시장규모는 지속적으로 증가할 것으로

판단된다.

나. 벽면녹화 시중제품가격대 분석 및 전면피복시스템 판매가격대 예측

벽면녹화 대표업체인 (주)한설그린, 한국도시녹화, (주)도시와숲, 한수그린텍(주), 벽화수(주) 등 업체의 벽면녹화 제품분석과 특징, 설계단가(원/㎡), 전면녹화 가능여부 등을 조사하였다. 아래 표에 제시된 설계단가는 식재비, 관수비, 시설설치비가 포함된 가격이다. 가격범위는 벽면녹화 유형별로 차이를 가지므로, 앞서 제시한 벽면녹화 유형분류를 참고하여 시중가격범위를 조사하였다. 벽면장치형은 기존의 플랜터설치형과 패널설치형 이외에 포켓형과 매트형을 추가하여 유형을 구분하였다.

보조재 설치유형별 시중 가격범위는 와이어형이 107,000~140,000원, 메쉬형이 80,000~278,000원의 가격범위를 가지며, 메쉬형은 제품군의 종류가 다양하여 다양한 가격대를 형성하고 있다.

벽면장치유형은 패널형, 플랜터형, 포켓형, 매트형으로 구분되며, 패널형과 플랜터형의 가격범위는 패널형은 690,654~900,000원, 플랜터형은 880,000~920,000원, 포켓형은 350,000내외, 매트형은 337,000~540,000원의 범위를 가진다.

표 7. 벽면녹화 대표업체 제품별 설계가격

업체명	제품명	설계단가 (원/㎡)	제품유형	전면녹화 가능여부
(주) 한설그린	그린와이어(포스트)	136,760	와이어형	
	그린메쉬(단층)	122,198	메쉬형	
	그린패널벽면녹화시스템	690,654	패널형	○
	G-MAT 시스템	337,840	매트형	
	그린메쉬(웬스,크로브, 프리포트)	78,200	메쉬형	
	그린플랜터	250,000	플랜터형	
	그린포켓	350,000	포켓형	○
한국도시 녹화	전면녹화시스템-패널형(GWS-KP)	900,000	패널형	○
	전면녹화시스템(GWS-KC)	880,000	플랜터형	○
	메쉬형 벽면녹화 시스템(GWS-KM/싱글부착)	102,000	메쉬형	
	(GWS-KM/더블부착)	186,000		
	(GWS-KM/더블독립)	278,000		
	와이어형 벽면녹화 시스템(GWS-KW)	107,000	와이어형	

업체명	제품명	설계단가 (원/m ²)	제품유형	전면녹화 가능여부
(주) 도시와 숲	에코플랜터	880,000	플랜터형	○
	알루미늄에코플랜터	920,000	플랜터형	○
	생태판넬 벽화수	750,000	판넬형	○
한수그린 텍(주)	그린스크린	140,000	메쉬형	
	반원주벽면녹화	150,000	기타	
벽화수(주)	벽화수	540,000	매트형	○
플랜티움	벽면녹화(그린월)	940,000 (H=2000)	패널형	○
에코앤바 이오(주)	EcoPost-EWS	110,500	와이어형	
	Ecopost-EMS	104,000	메쉬형	
(주) 지피가든	GPW-PT	940,000 (H=2000)	플랜트형	○

* 계단가는 식재비, 관수비, 시설설치비가 포함된 가격이다.

앞서 분석한 전면피복이 가능한 벽면녹화 제품의 설계가 범위는 350,000 ~ 940,000원이며, 일반적인 낙찰가격범위인 60~80%를 적용시켜 낙찰가범위를 산정하도록 한다. 낙찰가격범위 적용 시 실행가격 범위는 패널형이 414,392 ~ 720,000원, 매트형이 202,704 ~ 432,000원, 플랜트형이 528,000 ~ 752,000원으로 예상된다.

다. 전면피복시스템 적정판매가격대 및 개발방향 설정

기존에 조사된 설계가에 낙찰가격범위를 적용했을 때, 실행가격의 범위는 패널형이 414,392 ~ 720,000원, 매트형 202,704 ~ 432,000원, 플랜트형이 528,000 ~ 752,000원 의 범위로 측정되었다. 따라서 적정 판매가격은 측정된 벽면녹화 유형별 실행가격의 범위 안에서 적정 판매가격대를 측정하는 것이 가격경쟁력에서 뒤떨어지지 않을 것으로 판단된다.

벽면녹화 제품은 식재대의 유무에 따라 크게 두가지 유형으로 구분된다. 식재대가 있는 곳에 설치하는 메쉬형과 와이어형, 식재대가 없는 실내외 공간에 설치하는 포켓용, 패널형, 매트형, 플랜트형 등이 있다. 기능면에서는 기존제품이 가진 유지관리문제를 보완하기 위해 실내, 실외환경을 구분하여 차별화시킨 제품이 존재한다.

제품개발의 방향에 있어서 실내외 환경의 차이를 고려한 보다 구체적인 벽면녹화제품 및 유지관리시스템이 개발될 필요가 있다. 벽면녹화는 공사현장에 따라서 시공현장가격대의 차이가 크기 때문에 시공현장에 따른 다양한 식재모델과 관수시스템에 대

한 연구가 필요할 것이다. 현재 벽면녹화 제품은 대부분 타이머나 컨트롤러를 설치한 자동관수시스템과 점적관수방법이 활용되고 있으나, 관리자에 따른 추가관수가 필요한 단점을 가진다. 추후 개발될 벽면녹화 시스템은 우수를 이용하여 지속적으로 관수가 가능한 벽면녹화시스템 개발을 통해 기존제품과의 차별성을 가져야 할 것으로 판단된다.

라. Prototype의 품셈 산출

기존 Prototype 구성안 시작품 제작비용에 근거하여 구성요소별 일위대가 근거자료 작성 및 통합 시스템 시장성을 검토를 진행하였다. 참여기업과의 협의 및 유사 시스템과의 시장경쟁력 확보를 위해 설정한 시장목표가격 단위면적당(㎡) 20만원 수준에 도달하기 위하여 식생판 소재의 다양화 및 유지관리시스템의 패키지화 등을 통한 경제성 확보를 위한 추가 연구를 진행하고자 한다.

시스템에 기본적으로 포함되는 것은 식생판과 식생판 체결부 고리, 담수대, 토양백, 식물 등이고, 타이머를 포함한 관수라인과, 현장상황에 따라 고정프레임이 추가될 수 있다. 본 시스템 1㎡에는 식생판 8개, 식생판 체결부 고리 8개, 담수대 4개, 토양백 8개, 식물 32pot가 소요된다.

품명	규격	설계가	비고
식생판	발포세라믹 25×50cm	개당 2만원~3만원 (사용되는 염료에 따라 달라짐) 1㎡당 16만원~24만원	3차년도 연구수행을 통한 소재 다양화 모색
식생판 체결부	철, "ㄷ"자 구조 1×2×10cm T 1mm	5,000원/EA 1㎡당 40,000원	석재용 에폭시 마감
담수대	철 100×5×13cm T 1mm	25,000원/EA 1㎡당 100,000원	식생판 2개 설치 가능
토양백	농업용 부직포 50×5×10cm	5,000원/EA 1㎡당 40,000원	
식물	8cm Pot	3,000원/EA 1㎡당 96,000원	8cm Pot 4본 식재
시스템 단위 설계가		440,000~520,000원/㎡	시장목표가격 20만원 내외
관수라인 (타이머포함)	고무	500,000원/Set	저류시설 연결을 통한 간소화 및 제외 가능
고정프레임	목재	250,000원/㎡	설치벽체 유형에 따라 간소화 및 제외 가능

※ 조경공 노임단가(2014.01 기준) : 113,331원
 ※ 형틀목공 노임단가(2014.01 기준) : 132,373원
 ※ 석공 노임단가(2014.01 기준) : 128,136원

마. 농가소득원 창출을 위한 녹화소재 부품화 방안 및 생산방안 모색

본 시스템의 효율적인 유지관리를 위하여 식물은 사전에 농장 등지에서 식생백에 심어져서 이동하고 현장에서는 간단히 장착만하는 방식으로 제작하였다. 식생백은 농업용 부직포소재로 50×5×10cm의 규격을 가지며 1개의 식생백에 8cm Pot를 기준으로 4분이 식재되어진다.

이 식생백의 사전제작 및 운반을 농가와 협력하여 진행하였을 때 농가소득 증대부분을 예측해보았다.

- 비용계산 : (식생백 제작비용 + 식물 + 인건비(교체비용) + 운송료) * 1.3
- 식생백 1개당 5,000원, 식물 8cm Pot 3000원, 조경공 124,463원(2015년도 기준)
- 벽면녹화시스템 100m² 기준 식생백 400개, 식물 1,600개 소요
- (5,000원*800개+3,000원*3,200개+124,463원*4일+100,000) * 1.3
- = 14,073,389 * 1.3
- = 18,295,405 (순수익 : 4,222,016원)

본 시스템의 시장확대 보급을 통해 100m² 당 약 18,295,405원의 판매가 가능하며, 이를 통해 농가에 발생하는 순수익은 약 4,222,016원정도 발생하게 된다. 이는 2014년 농가의 평균소득인 3,495만원¹⁾의 12% 수준으로 연계농가의 주수입원으로 자리매김 할 수 있는 가능성을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

1) 2015 통계청, 2014년 농가 및 어가경제조사 결과

2. 벽면녹화의 도시열섬 저감 효과 분석 및 정량화

가. 선행연구 분석

벽면녹화에 관한 연구는 1978년 우보명의 담쟁이 덩굴류를 이용한 암벽면녹화공법의 연구를 시작으로 현재까지 꾸준히 진행되어져 왔으며, 벽면녹화 실태조사 및 효과에 관한 연구(이은희와 김용아, 2000; 박화수, 2003)와 벽면녹화 소재에 대한 연구(박용진, 1997; 정태건 등, 1999; 강수학, 2003; 노승무, 2004) 등이 이루어져 왔다.

특히 벽면녹화의 효과에 대한 연구는 시뮬레이션 및 실측 등을 통하여 이루어져왔으며, 벽면녹화 시스템을 도시열섬 저감을 위한 수단, 특히 에너지 저감의 수단으로 활용할 때는 크게 5가지 요소를 고려할 수 있다. 첫째는 이산화탄소의 저감 효과로서 식물이 광합성을 통해 이산화탄소를 흡수하고 도시의 온도를 낮추는 것이다. 둘째는 식재에 의해 생기는 그늘에 의한 일사(solar radiation)를 차단하는 것이고, 셋째는 식재와 지지층(substrate)²⁾에 의한 단열을 하는 것이다.

넷째는 식물과 지지층에 의한 증발산(evapotranspiration)이 냉각 작용을 하는 것이고, 다섯째는 바람을 차단하는 효과이다.

1) 이산화탄소 흡수 효과

윤은주 등(2011)³⁾은 입면녹화용 식물소재를 대상으로 24시간 동안의 이산화탄소 흡수량을 실험하여 1개 세대를 벽면녹화시에 연간 이산화탄소 흡수량을 추정하여 조성면적 27m²에 흡수량은 30.4kg임을 제시하였고, 시뮬레이션을 통하여 입면녹화의 냉난방 부하 저감효과를 분석한 결과, 측면세대는 중간세대에 비해 11.3% 정도 냉난방부하가 크며, 입면녹화시 냉난방부하를 4% 정도 줄일 수 있음을 제시하였다. 이를 통하여 입면녹화의 직간접 이산화탄소 저감효과를 분석한 결과 공동주택 1개동(85m²평형기준, 6세대 14층, 84세대)기준으로 연간 이산화탄소 흡수량은 121.4kg, 냉난방부하 저감으로 인한 이산화탄소 저감량은 199kg 등으로 총 320.4kg을 줄일 수 있으며, 비율로는 0.34%에 달하며, 냉난방부하 저감에 따른 경제적 가치는 입면녹화시 연간 냉난방비 40,688원을 줄일 수 있음 나타낸다.

2) 식재 그늘에 의한 효과

벽면녹화 된 2호의 주택을 분석한 Akbari et al.(1997)의 연구에 의하면 그늘 식재에 의한 냉방에너지 저감 효과는 30% 정도로, 일일 평균 각각 3.6kWh/d와 4.8kWh/d의 에너지 소비를 줄이는 것으로 나타났다. 이는 식재에 의한 그늘이 일사량을

2) 기층, 기반층으로도 해석할 수 있으나 벽면녹화의 특성을 고려하여 지지층으로 해석함.

3) 윤은주, 이진희, 김성식(2011) 공동주택 입면녹화에 의한 이산화탄소 저감효과

대폭 줄이기 때문으로 그늘의 있는 지역의 일사량은 $100\text{W}/\text{m}^2$ 이고 없는 지역은 $600\text{W}/\text{m}^2$ 인 것으로 나타났다(Papadakis et al., 2001).

Stec et al.,(2004)은 이중 외피 벽면녹화(double-skin green facade)에서 각 외피의 온도는 식재가 블라인드 대용으로 이용되었을 경우보다 일반적으로 낮은 것으로 나타난다. 동일한 일사조건에서 블라인드 대신 벽면녹화를 이용하였을 경우 온도 증가는 두 배 낮은 것으로 나타났다. 블라인드가 55°C 를 넘을 때 식재의 표면 온도는 35°C 이하로 나타났다. 또한 이중외피 벽면녹화 내부에 식재를 설치하였을 경우 에어컨의 에너지 소비를 20% 절감하며, 상기 효과들은 잎의 밀도에 따라 달라짐을 언급하였다.

영국 Brighton 대학의 "Bioshader" 연구(Miller et al., 2007; Ip et al., 2010)에 의하면 이중외피 벽면녹화가 오피스 건물의 창호에 설치되었을 경우 미설치 오피스에 비해 실내 온도가 $3.5\text{--}5.6^\circ\text{C}$ 까지 낮아지는 것으로 나타났다. 잎의 일사 투과율(solar transmittance) 측정 결과 잎이 1개 층(one layer)일 때는 0.43 이고 층이 증가할 때마다 투과율은 낮아짐. 5개 층일 경우 0.14로 나타났다. 일사량 또한 감소하는데 1개 층일 경우 37%, 5개 층일 경우 86%까지 감소한다.

Köhler(2007 & 2008)의 연구에 의하면 그늘 효과(shadow effect)는 잎의 밀도에 영향을 받는데, 덩굴류의 냉각효과가 나무의 그늘보다 높은 것으로 나타났다.

3) 식재와 지지층에 의한 단열 효과

벽면녹화는 벽체와 녹화면 사이 공간의 온도와 습도 변화에 영향을 미치며, 벽체와 녹화면 사이층의 공기는 단열 효과를 가지고 있다. 중공층 개선시, 잎의 밀도와 입면 개구부 디자인이 고려되어야 하며, 리빙월(living walls)을 설치할 경우, 단열 효과는 지지층(substrate)의 두께와 관련이 있다.

2층의 서향면에 덩굴류 녹화를 했을 때 열류 분산(heat flux distribution)을 분석한 연구(Di et al., 1999)에 의하면 냉방부하 최대치(peak-cooling load)를 28% 감소시키는 것으로 나타났다. 나무는 건물 표면에서 방출되는 열복사(thermal radiation)을 차단하거나 방해한다.

Papadakis et al.(2001)의 연구에 의하면 그늘이 있는 공간과 없는 공간의 열류속(heat flow rate)의 분포는 2-4 정도로 나타났으며, Hoyano(1988)의 연구에 의하면 식재로 덮힌 콘크리트 월은 열전달이 급격히 낮아지는데, 리빙월(living wall)은 에너지 전달을 $0.24\text{kWh}/\text{m}^2$ 감소시킴을 알 수 있었다.

Köhler(2007)는 전통적인 덩굴 녹화의 단열 효과를 측정하였는데, 동계 시 5°C 의 단열효과와 같은 냉각효과가 있는 것으로 나타났다. 전통적인 덩굴 녹화가 된 북측면의 열 손실을 측정한 Köhler(2008)의 연구에서는 약 25% 정도 열 손실이 적은 것

으로 나타났으며 이는 건물의 단열 수준에 영향을 받음을 알 수 있었다.

에코엔바이오, 환경부(2008)⁴⁾는 녹화벽면의 평균온도가 일반벽면의 평균온도보다 4.4℃~6.3℃ 낮음을 실험을 통하여 제시하였고, 벽면녹화를 실시한 벽면의 온도는 낮에는 외부온도보다 낮고 밤에는 높게 나타나 벽면의 축열과 야간방열을 억제하는 효과가 있을 증명하였다.

김주환(2009)⁵⁾의 연구에 의하면 적외선열화상 장치를 이용한 측정결과에서는 15:00 경 실내벽면의 표면온도가 가장 큰차이를 보였으며 외벽의 경우 8℃정도의 차이를 보이고 실내벽면의 경우 1.5℃정도의 차이를 보였고, 에너지해석 시뮬레이션을 통해 분석한 결과 냉방에너지에 있어 벽면녹화의 경우 1.2%의 저감율을, 옥상녹화 잔디의 경우 3.1%의 저감율을 보였다. 모두 적용한 경우 4.3%의 저감율을 나타냈다.

동경시(2006)⁶⁾에서는 후쿠오카의 대표적인 벽면녹화 건물인 아크로스의 경우 낮 동안의 표면온도차를 보면 벽면녹화가 이루어지지 않은 콘크리트의 표면온도가 50℃ 이상까지 상승하고 벽면녹화가 이루어진 표면의 온도는 약 38℃ 전후로 평균 약 15℃ 정도 낮게 관측되었다.

4) 증발산 작용에 의한 냉각 효과

식물의 증발산 작용에는 에너지가 필요함. 이 같은 물리적 과정을 증발 냉각(evaporative cooling) 이라 하는데 1g의 물을 증발시키는데 2450J이 소요된다. 이 증발 냉각은 식물의 종류와 향에 따라 달라지며 또한 기후 상황도 영향을 준다. 건조환경이나 바람은 식물의 증발산 작용을 증가시킬 수 있다. 리빙월의 경우 식재 지지층의 증발 냉각도 중요하고 이 경우 지지층의 습도도 중요한 요소이다.

기존 연구에 의하면 나무의 증발 냉각효과가 건물 주변의 온도를 낮추는 것으로 나타났다. 건조한 공기의 경우 1㎡ 당 1-2kg의 수분량을 증가시키는 것으로 나타났다(Papadakis, 2001).

베를린 훔볼트 대학에서는 우수와 에너지 저감에 동시에 대응하는 벽면녹화 연구를 시행하였는데(Köhler, 2008; Schmidt, 2006), 이 연구에 의하면 식물에 의한 그늘과 냉각효과는 건물의 에너지소비에 영향을 주고, 1㎡의 면적, 40cm 깊이인 플랜터 박스에 식재된 2 그루의 등나무(Wisteria climber) 에 의한 인공 강수 흡수량은 연간 2,000리터 인 것으로 나타났다.

전술하였지만, Bioshader 실험에서 확인된 바로는 벽면녹화 시스템이 설치된 사무

4) 에코엔바이오, 환경부(2008) 도시인공지반의 자연생태계복원을 위한 기술개발.

5) 김주환(2009) 학교건물에서의 환경녹화기법 적용에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문

6) 東京都(2006) 壁面緑化 ガイドライン, 東京都, 日本, 9-14.

실의 실내 습도는 미설치 사무실에 비해 일정하게 높은 것으로 나타났다. 7-9월의 경우 5-14%가 높은 것으로 나타났으며 식재가 실내 환경에 상당한 양의 습도를 제공하는 것이 확인되었다.

외단열이 내단열보다 단열 효과에서 우수하기 때문에, 특히 하계 시 벽면녹화 시스템은 2가지의 효과를 가진다. 첫째, 그늘을 형성하여 건물 내부로 들어오는 태양에너지를 감소시키고 둘째, 증발 냉각을 통해 건물 내부로의 열류 관입을 감소시킨다. 이 두 과정에서 에너지 소비가 저감된다(Wong et al., 2009; 2010).

박명희, 김해동(2011)⁷⁾의 연구에서는 벽면녹화가 이루어진 곳과 이루어지지 않은 곳의 표면온도를 비교하여 보면 최고 10.8℃, 최저 6.4℃의 차이를 보였는데, 이는 벽면녹화는 낮동안의 실내온도 상승을 억제하고 건축물의 복사열 증발산작용을 감소하여 대기층으로의 열이동을 차단하여 도시열섬현상을 완화할 수 있음을 보여준다.

5) 바람 차단에 의한 효과

벽면녹화 시스템은 건물에 부는 바람을 막는 차단제로 작용하며, 이 효과는 잎의 밀도와 투과율, 건물의 방위, 바람의 속도와 방향에 영향을 받는다.

미국 4개 기후지역에 위치한 4개 도시 내 주거지의 에너지 성능과 식재와의 관계를 분석한 McPherson(1988)의 연구에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 식재에 의한 바람 감소와 발광(發光, irradiance)을 분석하였다. 이 연구에 의하면 한랭 기후대에서는 동계시에 바람을 줄이고 남측면과 동측면에 일조를 제공하는 것으로 나타났다.

바람의 차단은 건물의 에너지 효율을 높이는 하나의 대안이 될 수 있음. 동계 차가운 바람은 건물 내부 온도를 낮추는 중요한 요인임. 기밀한 건물일지라도, 바람은 일반적인 단열 성능을 감소시킨다. Dinsdale et al.(2008)의 연구에 의하면 옥상녹화와 벽면녹화는 건물에 부는 차가운 바람을 막으며 난방 수요를 25% 줄이는 것으로 나타났다. 그러나 건물에 부는 바람을 영향을 조정하는 매개체로 식재를 사용할 경우, 하계시 통풍에 방해가 되지 않아야 하며 겨울철 환기를 너무 고려할 필요는 없었다.

나. 벽면녹화시스템의 환경성능 분석

1) 건축물 단열 및 복사열 저감효과

벽면녹화는 벽체를 타고 자라는 덩굴식물이 여름철에는 벽면을 일사로부터 보호하고 겨울철에는 벽면을 일사에 노출시켜 에너지 절약에 매우 효과적이다. 특히 벽면녹화를 했을 경우 여름철 14시경 녹화되지 않은 벽면의 온도가 50℃까지 올라가는 반

7) 박명희, 김해동(2011) 벽면녹화가 도시기온 저하에 미치는 영향에 관한 관측적 연구, 환경과학논집 15(1) p114-129.

면 녹화된 벽면은 35°C 전후로 유지되면서 약 15°C 까지 온도 차가 나는 현상을 볼 수 있다(船瀬俊介, 2000). 이러한 기준으로 볼 때 건축물의 입면녹화는 옥상의 평면적보다 입면적이 넓어 고층 건물이 많은 도심에서 더 큰 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

김선혜(2005)⁸⁾는 건축물 입면녹화 유형에 따른 조성방안 연구에서 벽면녹화가 에너지 과소비에 의한 CO₂ 발생량 증가, 도로 및 건축물의 복사열, 증발산 작용의 감소, 대기층의 열이동 차단으로 인한 도시열섬화 현상을 완화시킬 수 있다고 하였다. 또한 겨울철에도 난방에 의한 실내 열이 옥외로 빠져나가는 것을 방지하므로 난방에너지가 절감된다고 하였다. 입면을 녹화한 건물과 그렇지 않은 건물에 실내온도 2~8°C가 유지되도록 냉방장치를 가동할 경우, 입면을 녹화한 건물이 평균 30%(21~42%)의 전력사용량 감소효과가 있다고 하였다.

(재)도시녹화기술개발기구(2009)⁹⁾에서는 “알아야 할 벽면녹화의 Q&A” 저서에서 벽면녹화의 효과, 공법, 계획, 설계, 시공 및 관리방안에 대한 사례를 소개하였다. 건물외벽은 옥상보다는 덜 하지만 여름철 석양 무렵에는 표면온도가 40~50°C에 달하고 벽면의 단열정도에 따라 차이가 있지만 실내 온도에 미치는 영향이 큰 편이다. 입면녹화를 할 경우 녹화면을 통과하여 건물외벽에 도달하는 일사량은 전체 일사량의 5% 이하로써, 이러한 ‘양산효과’를 통해 단열이 이루어진다. 또한 앞에서 흡수된 일사에너지 대부분은 증산활동 과정에서 소거되는 장점이 있다고 벽면녹화의 효과를 소개하였다.

한국건설기술연구원(2007)¹⁰⁾은 복합기능 생태적 건물외피 조성기술 개발연구에서 지붕이나 입면녹화시 건축물의 수명이 약 2배 정도 증가되며, 낮 동안의 지붕표면 온도는 60°C까지 상승하지만 식물 주위에는 25°C까지 낮출 수 있다고 하였다. 실내 외의 온도차이도 바깥기온이 25~30°C 일 때 실내의 기온은 이보다 3~5°C 낮은 효과를 보이며, 이때 사용된 에너지의 절감효과는 10~20%임을 밝혔다.

여인애(2010)¹¹⁾는 시뮬레이션을 통해 옥상 및 입면녹화의 공조에너지 절감을 분석하였다. 옥상 및 입면녹화시 공조에너지 절감률은 BAU(도시계획정보를 반영한 기준시나리오 : Business As Usual) 대비 2~21% 수준이라고 분석하였다. 일평균 공조에너지도 입면녹화를 할 경우 17~18W/m²로 나타났으며, 일최대부하도 137~160W/m²로 분석되어 BAU에 비해 모두 낮게 나타남을 밝혔다.

김주환(2009)¹²⁾은 학교건물에서의 환경녹화기법 적용에 따른 에너지 성능 평가에 관한 연구에서 데이터 계측장비와 열전대(K-type)를 이용해 건물외벽의 표면온도와

8) 김선혜 (2005), 건축물 입면녹화 유형에 따른 조성방안, (사)인공지반협회 제3회 생태건축강습회 자료집, pp. 83~98.

9) (재)도시녹화기술개발기구 (2009), 알아야 할 벽면녹화의 Q&A, 기문당.

10) 한국건설기술연구원 (2007), 복합기능 생태적 건물외피 조성기술 개발.

11) 여인애 (2010), 친환경도시계획에 따른 도시기온 및 공조에너지 특성변화, 대한건축학회 논문집, 26(2):225~256.

12) 김주환 (2009), 학교건물에서의 환경녹화기법 적용에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문.

입면녹화가 적용된 건물외벽의 표면온도의 차이를 분석하였다. 입면녹화의 유무에 따라 건물외벽은 7℃의 차이를 보이며, 실내벽면은 0.7℃정도의 차이를 보이는 것으로 분석하였고, 적외선 열화상 장치를 통한 측정에서는 외벽의 경우 8℃가 차이가 나고 실내벽면의 경우 1.5℃의 차이가 나며, 이를 냉방에너지로 환산하면, 입면녹화의 경우 1.2%, 옥상녹화의 경우 3.1% 등 총4.3%의 에너지 저감효과가 있음을 밝혔다.

벽면녹화는 벽체와 녹화면 사이 공간의 온도와 습도 변화에 영향을 미치며, 벽체와 녹화면 사이층의 공기는 단열 효과를 가지고 있다. 따라서 중공층 개선시 앞의 밀도와 입면 개구부 디자인이 고려되어야 하며, 리빙월(living walls)을 설치할 경우, 단열 효과는 지지층(substrate)의 두께와 관련이 있다. Di et al.(2009)¹³⁾는 덩굴성 식물 녹화를 통한 열류분산 연구를 수행하였다. 2층의 서향면에 덩굴식물의 녹화는 냉방부하 최대치(peak-cooling load)를 28% 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 수목은 건물 표면에서 방출되는 열복사(thermal radiation)를 차단하거나 방해한다.

Papadakis et al.(2001)¹⁴⁾의 연구에 의하면 그들이 있는 공간과 없는 공간의 열류속(heat flow rate)의 분포는 2~4 정도로 나타났으며, Hoyano(1988)¹⁵⁾의 연구에 의하면 식재로 덮인 콘크리트월(concrete walls)은 열전달이 급격히 낮아지는데, 리빙월(living walls)은 에너지 전달을 0.24kWh/m² 감소시킨다고 하였다.

벽면녹화 된 주택을 분석한 Akbari et al.(1997)¹⁶⁾의 연구에 의하면 그늘 식재에 의한 냉방에너지 저감 효과는 30% 정도로, 일일 평균 각각 3.6kWh/d와 4.8kWh/d의 에너지 소비를 줄이는 것으로 나타났다. 이는 식재에 의한 그늘이 일사량을 대폭 줄이기 때문으로 그늘이 있는 지역의 일사량은 100W/m² 이고 없는 지역은 600W/m² 인 것으로 나타났다.

Stec et al.,(2004)¹⁷⁾은 이중 외피 벽면녹화(double-skin green facade)에서 각 외피의 온도는 식재가 블라인드 대응으로 이용되었을 경우보다 일반적으로 낮은 것으로 나타난다. 동일한 일사조건에서 블라인드 대신 벽면녹화를 이용하였을 경우 온도 증가는 두 배 낮은 것으로 나타났다. 블라인드가 55℃를 넘을 때 식재의 표면 온도는 35℃ 이하로 나타났다. 또한 이중외피 벽면녹화 내부에 식재를 설치하였을 경우 에어컨의 에너지 소비를 20% 절감하며, 상기 효과들은 앞의 밀도에 따라 달라짐을 언급하였다.

영국 Brighton 대학의 "Bioshader" 연구(Miller et al., 2007¹⁸⁾); Ip et al.,

13) Di H., Wang D. (1999), Cooling effect of ivy on a wall. Exp Heat Transfer, 12, 235--245.

14) Papadakis G, Tsamis P, Kyritsis S. (2001), An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. Energy and Building, 33(8), 831~836.

15) Hoyano A. (1988), Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. Energy and Building, 11 (1-3), 181-199.

16) Akbari H., Kurn D. M., Bretz S. E., Hanford J. (1997), Peak power and cooling energy savings of shade trees. Energy and Building, 25(2), 139-48.

17) Stec W. J., Van Paassen A. H. C. , Maziarz A. (2004), Modelling the Double skin facade with plants. Energy and Building, 37(5), 419-427.

201019))에 의하면 이중외피 벽면녹화가 오피스 건물의 창호에 설치되었을 경우 미 설치 오피스에 비해 실내 온도가 3.5~5.6℃ 까지 낮아지는 것으로 나타났다. 앞의 일사 투과율(solar transmittance) 측정 결과 잎이 1개 층(one layer)일 때는 0.43이고 층이 증가할 때마다 투과율은 낮아지고 5개 층일 경우 0.14로 나타났다. 일사량 또한 감소하는데 1개 층일 경우 37%, 5개 층일 경우 86%까지 감소한다.

Köhler(2007)²⁰⁾는 전통적인 덩굴 녹화의 단열 효과를 측정하였는데, 동계 시 5℃의 단열효과와 같은 냉각효과가 있다고 하였다. 전통적인 덩굴녹화가 된 북측면의 열 손실을 측정한 Köhler(2008)²¹⁾의 연구에서는 약 25% 정도 열 손실이 적은 것으로 나타났으며, 이는 건물의 단열 수준에 영향을 받음을 나타낸다.

2) 도시열섬 완화 및 온도저감 효과

환경부(2008)²²⁾는 녹화벽면의 평균온도가 일반벽면의 평균온도보다 4.4℃~6.3℃ 낮음을 실험을 통하여 증명하였고, 벽면녹화를 실시한 벽면의 온도는 낮에는 외부 온도보다 낮고 밤에는 높게 나타나 벽면의 축열과 야간방열을 억제하는 효과가 있음을 증명하였다.

후쿠오카의 대표적인 벽면녹화 건물인 아크로스의 낮동안의 표면온도차를 보면 벽면녹화가 이루어지지 않은 콘크리트의 표면온도는 50℃ 이상까지 상승하는 반면 벽면녹화가 이루어진 표면의 온도는 약 38℃ 전후로 평균 약 15℃ 정도 낮게 관측되었다(東京都, 2006)²³⁾.

진병화와 변희룡(2000)²⁴⁾은 녹지대의 분포가 도시지역 소기후 특성인 열섬을 해소하는데 주는 영향을 연구하였다. OSU-1D PBL모델을 이용하여 수치실험과 관측을 실시한 결과 녹지면적이 10% 증가할수록 평균최고 기온은 0.9℃, 평균최고 지온은 약 23℃ 감소하는 것으로 나타났으며, 도시지역의 녹지대 분포는 열섬의 강도를 약화시키는데 중요한 역할을 한다는 것을 증명하였다.

조현길과 안태원(2009)²⁵⁾은 서울시를 대상으로 입체적 토지피복이 도시기온에 미치는 영향을 연구하였는데 기온변화에 유의한 변수들을 조합하여 유도한 다중회귀모델에서 식생체적과 건물체적의 양 변수가 통계적으로 가장 적합한 모델을 생성하였다. 이 다중회귀모델에 따르면 식생체적의 10% 증가는 기온을 약 0.14% 감소시키

18) Miller A., Shaw K., Lam M. (2007), Vegetation on building facades: "Bioshader". Case Study Report.

19) Ip K., Lam M., Miller A. (2010), Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. Building and Environment, 45(1), 81-88.

20) Köhler M. (2007), Rain water management with green roofs and living walls.

21) Köhler M. (2008), Green facades - a view back and some visions. Urban Ecosyst, 11, pp. 423~426.

22) 환경부 (2008), 도시인공지반의 자연생태계복원을 위한 기술개발.

23) 東京都 (2006), 壁面緑化 ガイドライン, 東京都, 日本, 9-14.

24) 진병화, 변희룡 (2000), 녹지대 분포가 도시 지역의 소기후에 미치는 영향, 한국환경과학회지 제9권 제2호, pp.101~108.

25) 조현길, 안태원 (2009), 도시기온에 작용하는 입체적 토지피복의 영향, 한국조경학회지 37(3): 54~60.

고, 건물체적의 10% 증가는 기온을 0.26% 증가시킨다는 결과가 나왔다. 또한 도시 수목식재와 미기후 개선의 상관성 구명연구에서 여름철 주간기온은 수목피도가 10% 증가함에 따라 온도는 평균 약 0.55℃ 감소한다고 밝혔다. 피도 44% 이하에서는 0.61℃씩 그 이상의 피도에서는 0.46℃씩 낮아졌다. 이는 녹지가 풍부한 교외보다 도심에서 일정 수준 이상의 수목식재를 추진할 때 온도 저감효과가 더 현저히 나타날 수 있음을 시사한다.

박명희·김해동(2011)²⁶⁾은 벽면녹화가 도시기온 저하에 미치는 영향에 대해 연구했는데 그 결과 벽면녹화가 이루어진 곳과 이루어지지 않은 곳의 표면온도를 비교해 보면 최고 10.8℃, 최저 6.4℃의 차이를 보였다. 이는 벽면녹화는 낮동안의 실내온도 상승을 억제하고 건축물의 복사열 증발산작용을 감소하여 대기층으로의 열이동을 차단하여 도시열섬현상을 완화할 수 있음을 보여준다.

3) 미기후 개선효과²⁷⁾

녹화벽은 CO₂를 흡수하고 산소를 생산하는 능력을 통해 도시 미기후를 개선하는 성능을 가진다. 건물의 벽의 여름의 온도를 저감하고 식물과 토양의 증발산 성능을 통해 체감할 수 있는 냉각효과를 가져오고 이로써 자연적인 냉방시설로 작용한다. 녹화벽에 강우가 체류됨으로써 폭우 시 하수관의 부하를 줄일 수 있다. 이러한 강우를 저류하는 능력 때문에 건물이 녹화된 지역에서는 폭우현상이 더 감소될 수 있다. 특히 벽면부착형 녹화는 부분 단열재처럼 작용하며 완충작용을 통해 극한적 수치의 기온변화를 경감시킨다. 이로써 건물의 종류에 따라 여름에 냉방비용을 겨울에 난방비용을 절감할 수 있다(GRÜSTADTKLIMA, 2011).

벽면녹화 시스템은 건물에 부는 바람을 막는 차단제로 작용하며, 이 효과는 잎의 밀도와 투과율, 건물의 방위, 바람의 속도와 방향에 영향을 받는다. 미국 4개 기후지역에 위치한 4개 도시 내 주거지의 에너지 성능과 식재와의 관계를 분석한 McPherson(1988)²⁸⁾의 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 식재에 의한 바람 감소와 발광(發光, irradiance)을 분석하였다. 이 연구에 의하면 한랭 기후대에서는 동계시에 바람을 줄이고 남측면과 동측면에 일조를 제공하는 것으로 나타났다.

바람의 차단은 건물의 에너지 효율을 높이는 하나의 대안이 될 수 있다. 동계 차가운 바람은 건물 내부 온도를 낮추는 중요한 요인이다. 기밀한 건물일지라도 바람은 일반적인 단열 성능을 감소시킨다. Dinsdale et al.(2008)²⁹⁾의 연구에 의하면 옥

26) 박명희, 김해동 (2011), 벽면녹화가 도시기온 저하에 미치는 영향에 관한 관측적 연구, 환경과학논집 15(1) p114-129.

27) 벽면녹화가이드라인-오스트리아(<http://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegruenung-leitfaden.pdf>) 『벽면녹화의 장점 내용 일부 발췌.』

28) McPherson G. E., Herrington L. P., Heisler G. M. (1988), Impacts of vegetation on residential heating and cooling. Energy and Building, 12(1), 41-51.

29) Dinsdale S., Pearen B., Wilson C. (2008), Feasibility study for green roof application on Queen's University campus. Queen's Physical Plant Services.

상녹화와 벽면녹화는 건물에 부는 차가운 바람을 막으며, 난방 수요를 25% 줄이는 것으로 나타났다.



그림 1. 건물의 녹화벽의 열교(W/m²)

출처 : <http://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegruenerung-leitfaden.pdf>

4) 이산화탄소 흡수 효과

안근영(2010)³⁰)은 인공지반녹화 식물 중 만경류를 포함한 초본류 13종을 대상으로 이산화탄소 흡수정도를 분석한 결과 12종의 공시식물에서 이산화탄소 흡수 능력이 있음이 확인하였고, 그 중 구절초와 매발톱의 흡수율이 가장 높았다. 단위엽면적당 CO₂ 고정량은 구절초 21.47×10g/cm², 매발톱이 12.74×g/cm² 순이었다.

윤은주 등(2011)³¹)은 공동주택 입면녹화에 의한 이산화탄소 저감효과 연구에서 입면녹화용 식물소재를 대상으로 24시간 동안 이산화탄소 흡수량을 실험하였다. 공동주택 1개 세대에 벽면녹화를 조성할 시 연간 이산화탄소 흡수량을 추정하였으며, 그 결과 조성면적 27m²에 흡수량은 30.4kg으로 나타났다. 시뮬레이션을 통하여 입면녹화의 냉난방 부하 저감효과를 분석한 결과, 측면세대는 중간세대에 비해 11.3% 정도 냉난방부하가 크며, 입면녹화시 냉난방부하를 4% 정도 줄일 수 있음을 보여주었다. 이를 통하여 입면녹화의 직간접 이산화탄소 저감효과를 분석한 결과 공동주택 1개동(85m²평형기준, 6세대 14층, 84세대)기준으로 연간 이산화탄소 흡수량은 121.4kg, 냉난방부하 저감으로 인한 이산화탄소 저감량은 199kg 등으로 총 320.4kg을 줄일 수 있으며, 비율로는 0.34%에 달한다. 이 연구에서는 냉난방부하 저감에

30) 안근영 (2010), 인공지반녹화의 CO₂흡수 및 미기후 개선 효과, 서울여자대학교 박사학위논문.

31) 윤은주, 이진희, 김성식 (2011), 공동주택 입면녹화에 의한 이산화탄소 저감효과, 한국조경학회 춘계학술대회논문집, pp.169~172.

따른 경제적 가치는 입면녹화시 연간 냉난방비 40,688원을 줄일 수 있음 보여준다.

5) 증발산 작용에 의한 냉각 효과

식물의 증발산 작용에는 에너지가 필요하다. 이 같은 물리적 과정을 증발 냉각 (evaporative cooling) 이라 하는데 1g의 물을 증발시키는데 2,450J이 소요된다. 이 증발 냉각은 식물의 종류와 향에 따라 달라지며, 또한 기후 상황도 영향을 준다. 건조환경이나 바람은 식물의 증발산 작용을 증가시킬 수 있다. 리빙월(living walls)의 경우 식재 지지층의 증발 냉각도 중요하고 이 경우 지지층의 습도도 중요한 요소이다. 기존 연구에 의하면 나무의 증발 냉각효과가 건물 주변의 온도를 낮춰 주며, 건조한 공기의 경우 1m² 당 1~2kg의 수분량을 증가시키는 것으로 나타났다 (Papadakis, 2001)³²⁾.

베를린 훔볼트 대학에서는 우수와 에너지 저감에 동시에 대응하는 벽면녹화 연구를 수행하였는데, 이 연구에 의하면 식물에 의한 그늘과 냉각효과는 건물의 에너지소비에 영향을 주고 1m²의 면적, 40cm 깊이인 플랜터 박스에 식재된 2그루의 등나무 (Wisteria climber)에 의한 인공 강수 흡수량은 연간 2000리터 인 것으로 나타났다(Köhler, 2008³³⁾; Schmidt, 2006³⁴⁾).

외단열이 내단열보다 단열 효과에서 우수하기 때문에, 특히 하계 시 벽면녹화 시스템은 2가지의 효과를 가진다. 첫째, 그늘을 형성하여 건물 내부로 들어오는 태양에너지를 감소시키고 둘째, 증발 냉각을 통해 건물 내부로의 열류 관입을 감소시킨다. 이 두 과정에서 에너지 소비가 저감된다(Wong et al., 2009³⁵⁾; 2010³⁶⁾).

다. 식물의 기능성 분석

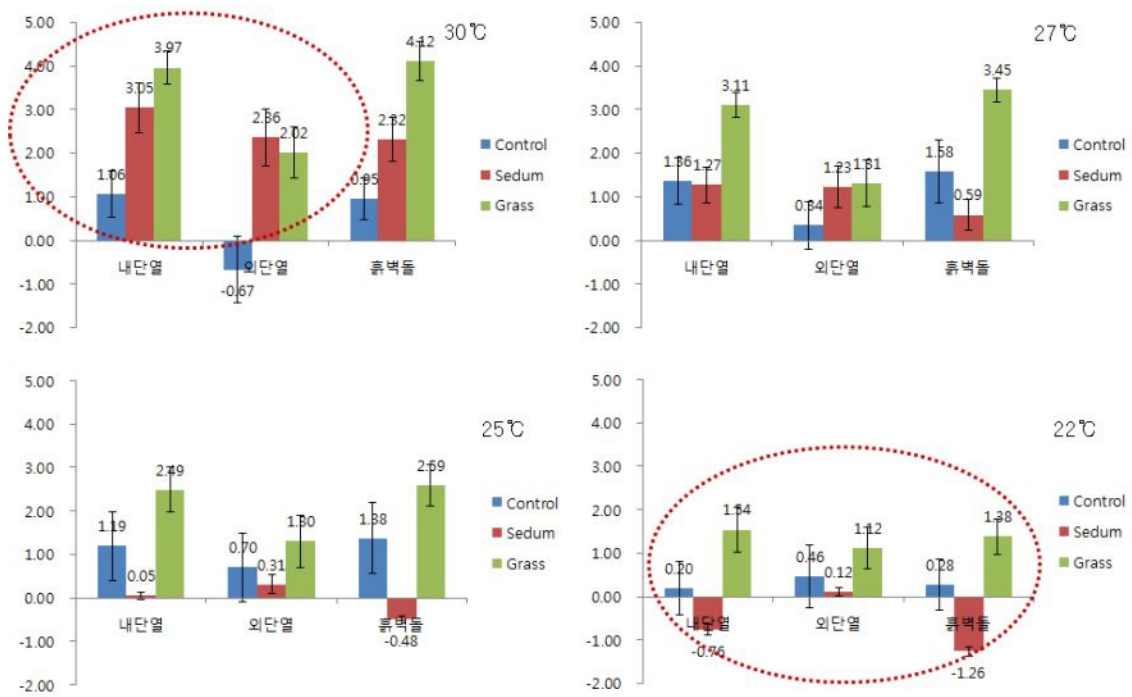
1) 식물의 기능성 분석건축물 외피 유형분석 및 관련기술 분석

건축물 외피유형별 표면온도 패턴 DB 구축 및 녹화를 통한 온도저감 효과 측정은 농촌진흥청에서 수행중인 연구(도시녹화 공간의 도시환경복원적 가치평가 기술 개발)와의 기술교류를 통하여 분석하였다.

내단열, 외단열, 흙벽돌 등 3종의 건축물 외피유형별 건물 표면온도 변화량을 측정하는 연구내용은 다음과 같다.

-
- 32) Papadakis G, Tsamis P, Kyritsis S. (2001), An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Building*, 33(8), 831-836.
 - 33) Köhler M. (2008), Green facades - a view back and some visions. *Urban Ecosyst*, 11, 423-426.
 - 34) Schmidt M. (2006), Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development. RIO6 World Climate and Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil.
 - 35) Wong N. H., Tan A. Y. K., Tan P. Y., Wong N. C. (2009), Energy simulation of greenery systems. *Energy and Building*, 41(12), 1401-1408.
 - 36) Wong N. H., Tan A. Y. K., Chen Y., Sekar K., Tan P. Y., Chan D., et al. (2010), Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(3), 663-672.

- 내단열, 외단열, 흙벽돌 등 3종의 외피 유형
- 온도 센서 10point : 동, 서, 남, 북, 옥상, 북쪽 표면, 북쪽 내표면, 옥상 표면, 옥상 내표면, 실내
- Weather Station : 대기온도, 상대습도, 일사량, 조도
- 측정기간 : 7월~9월 (3min. 간격)
- 시험재료 : 잔디, 기린초, Control



벽면녹화로 인한 단열효과는 내단열 건물에 효과적이었고, 저온으로 갈수록 식재층에 의한 축열기능으로 온도 유지(약 -2°C)가 가능했다.

2) 벽면녹화식물 미세먼지 흡착기능 측정

본 실험은 Marc Ottel (2009)³⁷⁾의 연구방법을 바탕으로 계획되었다. 두 가지 수준에서 네 가지 독립적인 요인을 배치하였다.

- 식물의 종류(잎의 형태와 표면, 낙엽수 또는 상록수) : 담쟁이와 줄사철
- 잎의 부착 높이
- 잎의 윗면과 아랫면

37) Marc Ottel , Hein D. van Bohemen, Alex L.A. Fraaij(2009) Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls

- 위치(배출원까지의 거리) : 도로변과 도심외곽

위의 독립적인 요인을 고려하여 식물체를 수집하고, 1cm×1cm 크기로 샘플을 절단한다. 잎 하나에 2개의 샘플을 만들어 하나의 샘플은 잎의 윗면을 조사할 것이며 다른 샘플은 아랫면을 조사할 것이다. 샘플링 후에는 ESEM에서 잎에 대한 시각적인 평가를 수행하였다.

3. 도시열섬 저감을 위한 벽면녹화 시스템 Prototype 제안

가. 요소 기술 유형 분석

1) 특허 출원 동향

특허정보는 지적재산권 검색틀인 『Focust』를 이용하여, 한국과 일본의 벽면녹화 관련 특허 현황을 조사하였다. 검색어는 “벽면녹화 or 입면녹화”로 하였다.

특허 출원된 벽면녹화 기술의 용도는 건축물 실외녹화, 건축물 내부녹화, 용벽 녹화의 기술로 나누어지진다. 출원내용을 벽면녹화 시스템에 관한 것과 세부요소에 관한 것으로 분류하였다. 시스템은 와이어형, 메쉬형, 패널형, 플랜터형, 블록형, 복합형으로 분류하였고, 세부요소는 지지구조와, 관수시설, 식재대, 식생매트 등으로 분류하였다.

연도별로 한국과 일본의 특허 출원 동향을 살펴보면 일본은 1990년 중반부터 2000년대 중반에 기술의 개발이 활발히 이루어졌으며, 우리나라는 주로 2000년대에 들어와서 기술의 개발이 이루어졌다(그림 2).

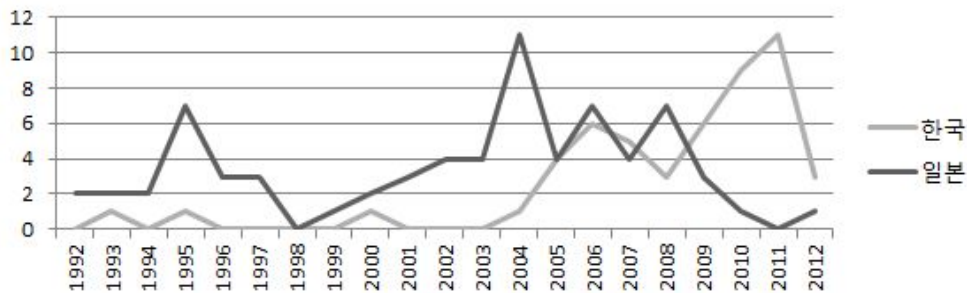


그림 2. 연도별 출원동향

시스템별 특허출원 경향을 통해 한국에 비해 일본에서 벽면녹화에 대한 기술 개발이 먼저 활발히 이루어졌으며, 한국과 일본 모두 패널형 벽면녹화 기술의 개발이 활발히 이루어졌음을 알 수 있다. 한국과 일본의 시스템별 특허출원 동향을 아래 표와 같다.

표 8. 한국의 시스템별 특허출원 동향

년도	와이어형	메쉬형	플랜터형	패널형	블럭형	복합형
1992						
1993		1				
1994						
1995				1		
1996						
1997						
1998						
1999						
2000			1			
2001						
2002						
2003						
2004				1		
2005	2	2		2		
2006			1	1		1
2007		1	1	3		
2008				2		1
2009			1	4		1
2010		1	2	6		
2011	1	1	1	6	2	
2012				2		1

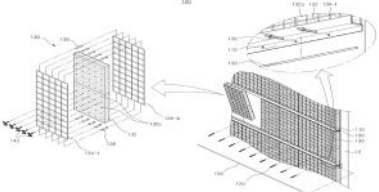
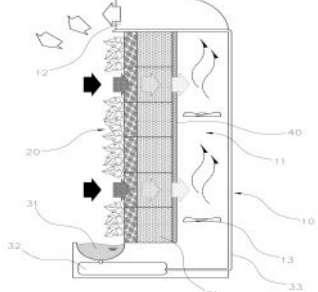
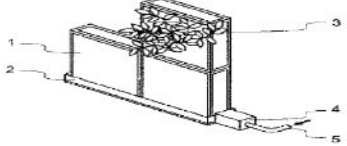
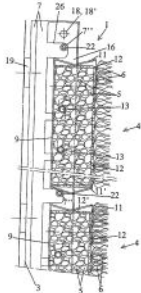
표 9. 일본의 시스템별 특허출원 동향

년도	와이어형	메쉬형	플랜터형	패널형	블럭형	복합형
1992			1		1	
1993			1	1		
1994		1		1		
1995		1		5	1	
1996				1	2	
1997			1	1	1	
1998						
1999				1		
2000				2		
2001				3		
2002				3		1
2003				2		2
2004	1		3	6		1
2005		1		2		1
2006		1	2	3		1
2007			1	3		
2008	1			6		
2009		2	1			
2010				1		
2011						
2012				1		

2) 요소기술에 대한 선행특허 조사

본 연구에서 제안하는 Prototype은 벽체에 일체형으로 식생을 형성함과 아울러, 수분을 전면에 보유하고 발산하여 주변의 온도를 낮추는 기능이 있는 식생판의 구조를 통해, 식생에 공급되는 수분의 조절이 효과적으로 이루어지며, 도시 미기후를 개선을 통한 도시열섬 저감에 기여 할 수 있는 식생판의 구조이다. 이에 주요 기술요소를 일체형벽면녹화, 토양백, 수분 증발이라는 3가지 키워드로 두고 기존의 특허들과 비교 분석하였다. 특허요인 도출을 위한 사전 특허요소 검색 대상으로는 국내특허 2건과 국외특허 2건을 선정하여 분석하였다. (국내특허 출원번호 10-2009-0012404, 10-2011-0021816, 국외특허 일본-JP2009171939A2), 미국-US20080295402A1)

표 10. 주요 선행기술

문헌번호	기술요지	
<p>한국특허출원 1 (10-2009-0012404)</p>	<p>관련문헌의 발명은 건축물의 수직 벽면을 식물로 피복하여 녹화하는 구조로, 어떠한 식물 품종도 식재 가능하므로 다양함을 연출할 수 있고, 시공성이 높은 벽면 녹화 시스템을 제공한다.</p>	
<p>한국특허출원 2 (10-2011-0021816)</p>	<p>관련문헌의 발명은 실내 공기를 정화하기 위하여 건물의 벽체에 식재 블록을 조립형으로 설치할 수 있는 버티칼 가든의 구조를 제공한다.</p>	
<p>일본특허출원 (JP2009171939A2)</p>	<p>관련문헌의 발명은 식생 재배의 생육 및 보전이 용이한 관수 구조가 형성된 벽면 녹화시스템을 제공한다.</p>	
<p>미국특허출원 (US20080295402 A1)</p>	<p>관련문헌의 발명은 벽체의 전면에 조립식의 구조로 식생을 형성하는 녹화구조를 제공한다.</p>	

기술요소인 일체형 벽면 녹화부분에서는 한국특허출원 2009-0012404와 한국특허출원 10-2011-0021816 일본특허출원 2009171939A2, 미국특허출원 US20080295402 A1에 공개된 발명은 벽체에 일체형으로 녹화가 형성된 구조라는 점에서 제안 기술과 유사하다고 판단되었다. 그러나 국내특허 2009-0012404와 10-2011-0021816, 일본특허 2009171939A2, 미국특허 US20080295402A1에 공개된 발명은 식물이 꽂아져 식재된 식생매트를 벽체의 전면에 설치하는 구조인 반면, 본 연구에서 제안하는 Prototype에서는 식재를 거치하기 위한 토양백이 벽체의 높이 방향을 따라 이격되어 설치된 구조로 기술적 차별성이 있다.

기술요소인 토양백부분에서는 기존에 공개된 발명은 식생을 형성하기 위한 식생매트가 구비된 점에서 제안 기술의 토양백과 유사하다고 판단되나, 한국특허 2009-0012404의 식생매트와 한국특허 12011-0021816의 식재 블록, 일본특허 2009171939A2의 배양기 유닛 및 미국특허 US20080295402A1의 modes는 식생이 형성되고, 유지되기 위한 공간의 기능을 지닌 반면, 제안 기술에서는 토양백이 선행기술의 기능뿐 아니라, 방수, 담수의 기능을 하고, 담수구에 저장된 물을 아래로부터 흡수하여 증발을 방지하는 기능을 하므로 차별성이 있다.

기술요소인 수분 증발에서는 개별 교체 방식이 사용된 주요문헌 존재하지 않아 독창적인 아이디어라고 할 수 있다.

표 11. 국내외특허의 기술요소별 비교

기술 요소	국내외특허 비교			
	한국특허출원 1 (10-2009-0012404) (박공영)	한국특허출원 2 (10-2011-0021816) (카라반지에스㈜)	일본특허출원 (JP2009171939A2) (GARDEN NIGACHI:KK)	미국특허출원 (US20080295402 A1) (Pierre Etienne Bindschedler)
일체형 벽면 녹화	△	△	△	
토양백	△	△	△	
수분 증발	×	×	×	

○: 제안기술과 매우 유사한 선행기술

△: 제안기술과 부분적으로 유사한 선행기술

X: 제안기술과 유사하지는 않으나 제안기술과 같은 기술분야에 속하는 선행기술

나. Prototype 제안 및 표준설계도서 개발

본 Prototype은 상부에서부터 연계된 관수용수의 원활한 흐름과 식생에 필요한 수분을 공급함과 동시에 증발산량 증대를 통한 도시 미기후 개선을 위한 건물일체형 Cool Wall System의 컨셉을 가지고 구상되어 졌다. 식생판의 소재는 제작공정에서 발생하는 CO₂ 를 최소화하기 위한 상온 발포세라믹 소재를 활용하였다. 이는 다양

한 칼라로 제작이 가능하고, 자연 소재의 질감과 형상에서 오는 미려함과 다양한 패턴의 적용이 가능하여 건물 외장재로서의 기능이 높다. 또한 식물의 생장에 도움이 되는 성분을 함유하고 있고, 기존 플라스틱이나 금속재질의 외장재보다 열에 의한 식물의 훼손을 막을 수 있어 등반형이나 하수형 식물의 활착에도 도움을 줄 것이라 기대할 수 있다.

기존의 벽면녹화 시스템은 건물의 외장재 상부에 별도의 시스템을 설치하고 식물을 식재함으로써 벽면녹화를 위한 시공비용이 높다. 또한 토양을 포설하고 식물을 식재하는 방식은 식물의 생육에 불리한 소량의 토양이 공급되고 수분의 증발이 빨리 이루어져 지속적으로 관수가 필요하며 관수가 없을시 단기간에 건조피해를 입을 수 있다. 유지관리 부분에서 있어서도 식재포트를 제거하고 녹화모듈에 식재하는 벽면녹화시스템은 불량한 식물에 대한 관리 및 교체가 불편하여 유지관리 비용이 상승하는 것이 일반적이다. 그렇다고 건물벽면에 와이어를 설치하고 덩굴식물을 식재하는 방식의 벽면녹화는 식물이 성장할 때까지 장기간이 소요되고 단기간에는 녹화로 인한 효과가 미비하다.

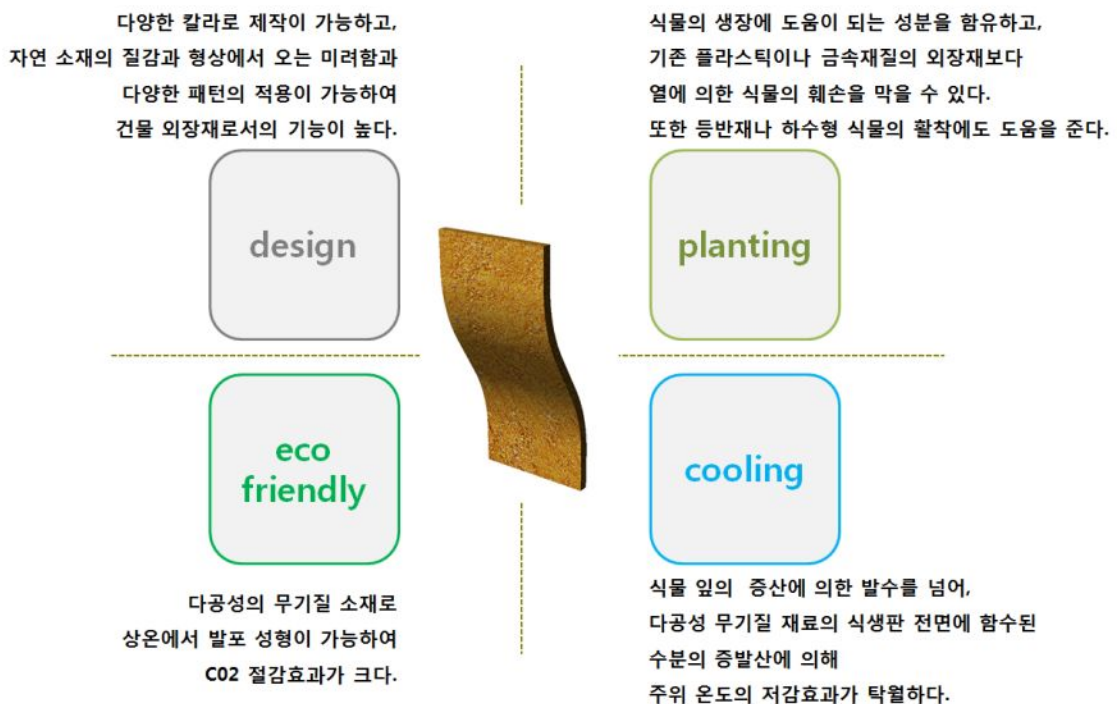


그림 3. 「굴곡형 패널을 이용한 벽면녹화시스템」의 식생패널 디자인 컨셉

본 연구에서 제안하고자 하는 Prototype은 도시 미기후 개선을 위한 건물일체형 Cool Wall System의 컨셉을 가지고 구상되어졌다. 굴곡형의 패널은 상부에서부터

연계된 관수용수의 원활한 흐름과 식생에 필요한 수분을 공급함과 동시에 증발산량의 증대를 위한 넓은 단위면적을 확보한다. 식생판의 소재는 다공성의 소재를 활용하여 기존 플라스틱이나 금속재질의 외장재보다 열에 의한 식물의 훼손을 막을 수 있어 등반형이나 하수형 식물의 활착이 용이하다. 또한 다공성의 소재를 활용하여 식생판 전면에 흡수된 수분의 증발산에 의해 주변의 온도를 저감시키는 효과가 있다. 식생판은 외장재로서의 기능을 하고 수분을 전면에 보유하고 발산하여 주변의 온도를 낮추는 기능을 한다. 댐퍼(완충재)는 담수구와 식생판 사이의 완충기능을 하고, 담수구로부터 overflow 되는 물을 식생판에 고르게 적시는 기능을 한다. 담수탱크는 식생판을 고정하는 기능과 함께 인공관수 또는 빗물을 받아 일정 높이의 물을 항상 보유하여 식물에 수분을 공급하는 기능을 하고, 담수구의 overflow 구멍을 통해 식생판을 적시는 기능을 한다. 토양백은 외부바람에 의한 토양의 비산을 막고 담수구에 저장된 물을 아래로부터 흡수 할 수 있다. 펌프와 리턴파이프는 위로부터 식생판을 적시고 내려온 물을 재활용한다.

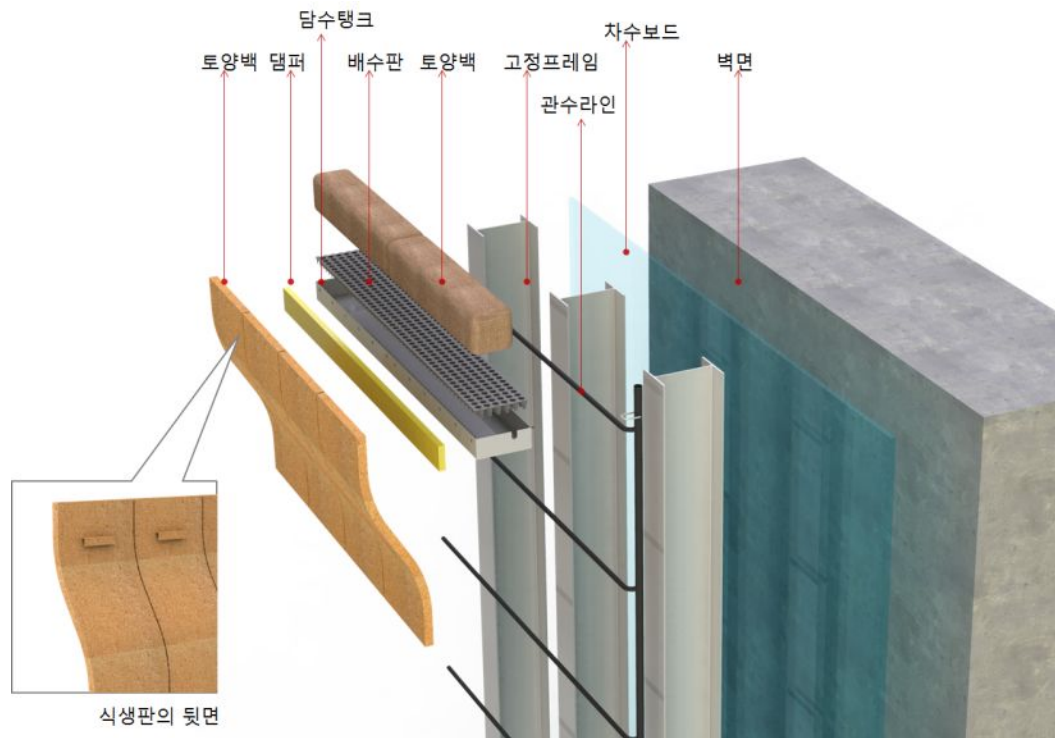


그림 4. 「굴곡형 패널을 이용한 벽면녹화시스템」 세부상세도

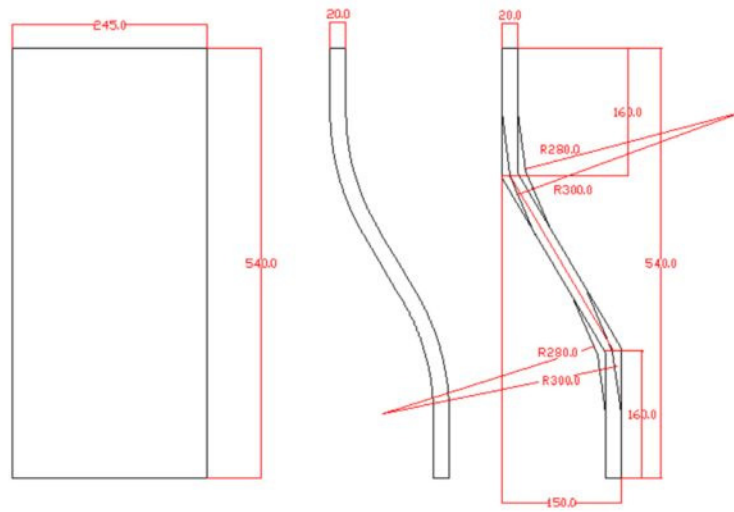


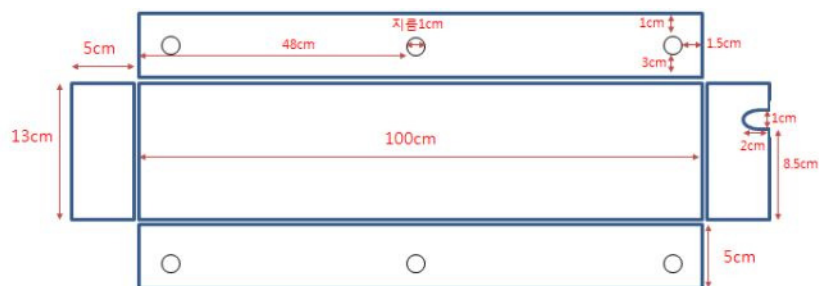
그림 5. 굴곡형 패널을 이용한 벽면녹화시스템」식생패널 세부도면

다. Prototype과 연계된 빗물저류조 제안

앞서 제안된 Prototype과 연계 가능한 빗물이용 저류조를 제안하고자 적정 저류량을 제시할 필요가 있다.

기존 Prototype은 식생판 16개와 담수대 4개가 포함되는 크기인 높이 2m, 너비 1m로 한다. 담수대 1개의 용량은 39ℓ로 1set에는 담수대가 4개 들어가기 때문에 1set를 유지하기 위해 필요한 담수용량은 156ℓ이다. 제안된 저류조의 형상은 기존의 Prototype과 조화되게 하기 위해서 두께는 5cm를 넘지 않게 하고, 높이는 50cm 혹은 1m로 제한하였다. 저류조의 높이가 50cm인 경우에는 폭이 6~7cm, 높이가 1m인 경우에는 폭이 3~4cm의 저류조 크기가 가능할 것으로 보인다.

그림 6. 담수대 전 개도



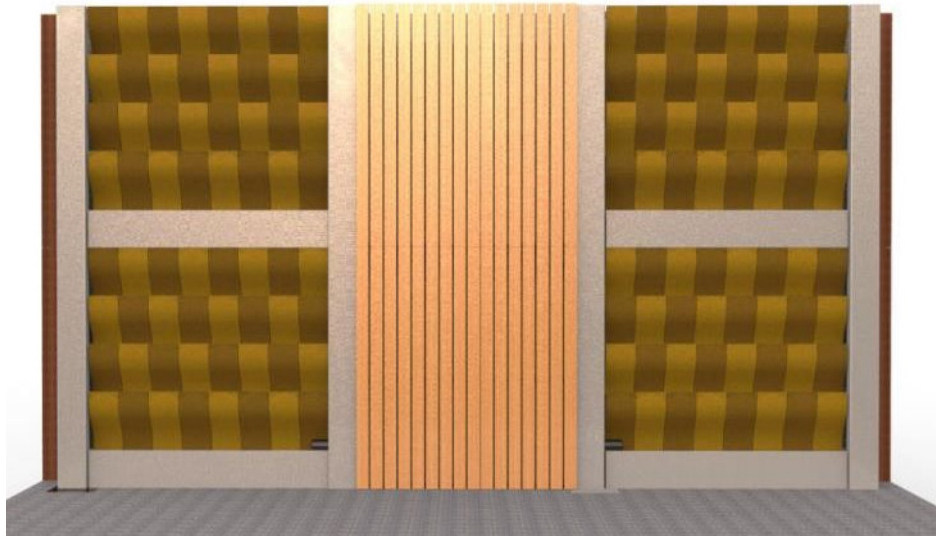
1set 기준 : 전체높이 2m × 넓이 1m
 담수대 4개 = 39ℓ × 4 = 156ℓ
 (1개 용량 : 1 × 0.03 × 0.13 = 0.039m³ = 39ℓ)

→ 저류조 사이즈 1m × 0.05 × 0.32
 저류조 사이즈 0.5m × 0.05 × 0.64

그림 7. Prototype
과 빗물저류조 연
결 모델링
-기본형



그림 8. 빗물저류
조 연결 모델링
-2단형



라. Prototype 현장적용 및 모니터링

1) 실내공간 현장적용 및 모니터링

제안된 Prototype을 한국건설기술연구원 및 경기농업기술원에 설치하여 경기농업기술원에서 개발한 벽면수분 자동제어 시스템과 연결하여 모니터링을 실시하고 기존의 시스템들과 성능을 비교분석하고 있다.

건축물 설비시스템과 연계를 위해 실내적용을 위한 모니터링으로 천냥금, 단정화, 금사철, 핑크스타, 황금페페, 왓소니아, 무늬산호수, 벤쿠버, 스킨덱서스, 나한송 등 총 10종의 식물을 도입하여 모니터링 중이다.

- 모니터링 항목 : 수분, EC, 지온
- 도입수종 : 천냥금, 단정화, 금사철, 핑크스타, 황금페페, 왓소니아, 무늬산호수, 벤쿠버, 스킨덱서스, 나한송 등 총 10종



그림 9. 경기농업기술원 첨단온실에 설치된 Prototype

2) 옥외공간 현장적용 및 모니터링

제안된 Prototype을 경기농업기술원의 온실에서 모니터링을 진행함과 동시에 옥외 공간인 한국건설기술연구원의 옥상에 설치하여 모니터링을 실시하였다. 한국건설기술 연구원에서 개발한 Prototype에 경기도농업기술원에서 개발한 양수분자동공급 장치를 설치하고, 경기도농업기술연구원과 선인장연구소에서 벽면녹화에 적정하다고 제안하는 식물 5종(줄사철, 다래덩굴, 수호초, 기린초, 땅채송화)을 식재하였다. 토양은 기존 Prototype에 제안되었던 식생백과 함께, 토양을 매트형식으로 새롭게 고안한 식생매트를 함께 도입하여 시스템에서의 식물의 생육상황을 모니터링 해보는 것으로 진행 중이다.

기린초	기린초	기린초	기린초	기린초	기린초	기린초	기린초	기린초	기린초	기린초	기린초
매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입
땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화	땅채송화
매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입
수호초	수호초	수호초	수호초	수호초	수호초	수호초	수호초	수호초	수호초	수호초	수호초
매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입
줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철	줄사철
매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입
다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴	다래덩굴
매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입	매트타입	매트타입	식생백타입

그림 10. 실험구 내 토양 및 식생 배치 계획



a. 벽면녹화 시스템 설치



b. 모니터링 센서 설치



c. 양수분 탱크와 모터 설치



d. 식물 식재

그림 11. 옥외모니터링 Prototype 설치과정

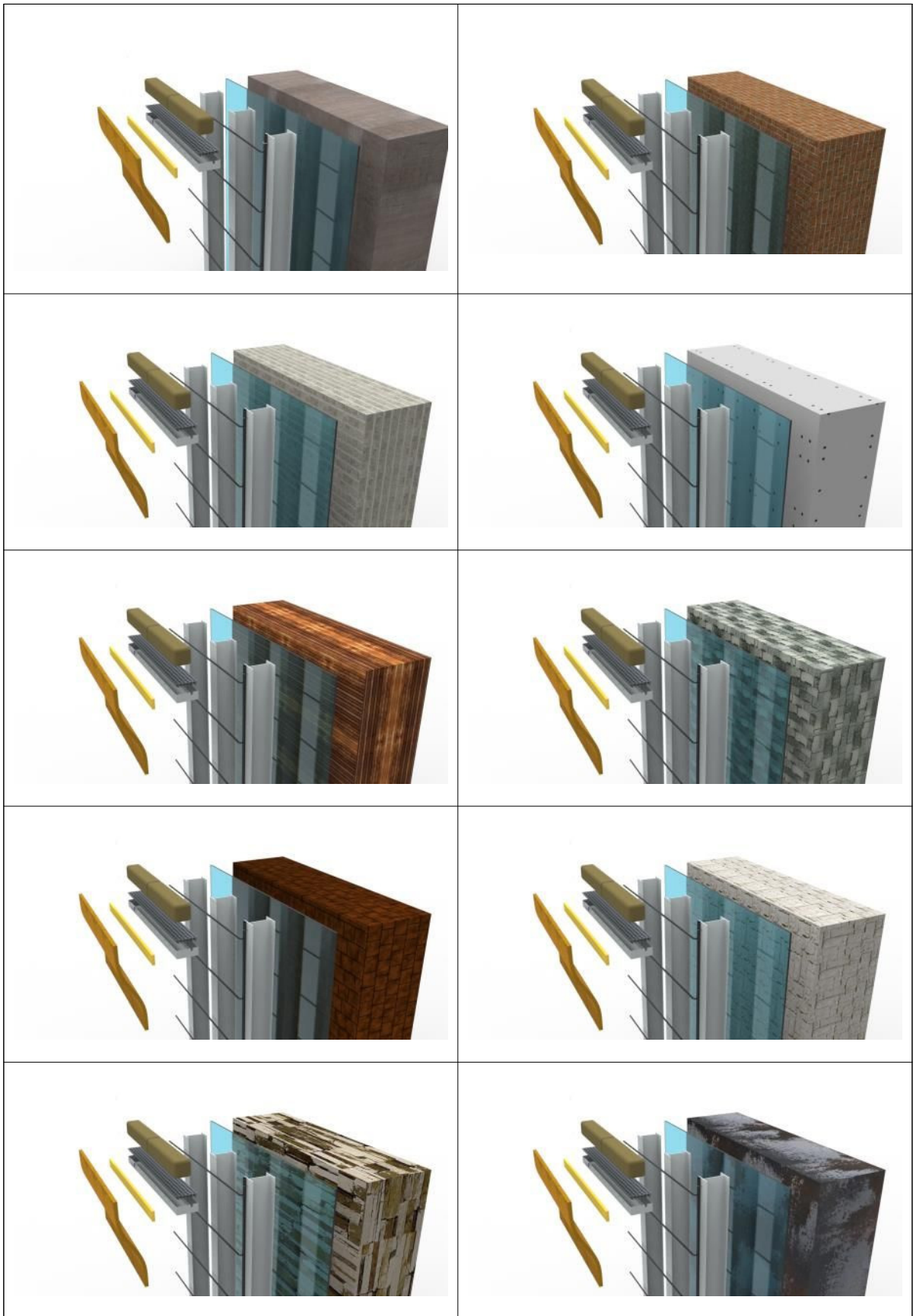
그림 12. 경기농업
한국건설기술연구
원 옥상에 설치된
Prototype



마. 하부구조의 디테일 개발 및 현장적용 기반 마련

기존 Prototype에서 제안된 하부구조 이외에 콘크리트, 벽돌, 시멘트, 목재 등의 다양한 기반에 시스템을 장착할 수 있는 하부구조의 디테일을 개발하였다.

- 콘크리트 구조 : 벽체-Anchor볼트-H형강-녹화시스템(담수대+식생판)
- 목재 구조 : 벽체-방습지(Tyvek)-녹화시스템(담수대+식생판)
- 벽돌 구조 : 벽체-방습지(Tyvek)-Anchor볼트-H형강-녹화시스템(담수대+식생판)



4. 개발된 Prototype 적용 기대효과 분석

가. 벽면녹화 열섬저감 효과 검증을 위한 CFD 분석

1) 분석 개요 및 전제

벽면녹화 증발시스템에 의한 냉각효과로 예상되는 열섬저감 효과를 검증하기 위하여 CFD(전산유체역학) 기법을 활용하여 수분 증발로 인한 증발시스템의 표면 온도 변화를 검토하였다.

증발에 의한 열섬 저감에 영향을 주는 외기온도, 풍향, 풍속 등의 조건은 주변환경에 따라 순시적으로 변화하기 때문에 예측이 힘들고 해당 영향인자의 반영은 분석시간 등 물리적 제약으로 일부 분석조건을 제한하였다.

표 12. 분석의 전제 조건

- 해석격자 수 : 800,000 ea
- 분석시간 간격을 5분 단위 적용
- 각 재료의 초기온도는 해당 외기온도와 평형을 이룬 상태로 가정
- 재료의 물성은 소프트웨어에 제공되는 자료 및 유사 재료로 가정
- 증발시스템 각 부의 초기 함수량은 평균치로 일괄 적용
- 벽면녹화 수통은 분석에 반영하지 않음
- 바람이 불지 않는 자연대류 상태로 가정

2) 시뮬레이션 도구

STREAM은 다양한 분야의 열 및 유동해석을 위해 활용되는 전산유체해석 프로그램이다. 압축성 및 비압축성유체에 대해 열·유동, 습, 화학반응, 전력해석 등 해석하고 사용자의 의도에 따른 복잡하고 상호 연계적인 분석조건을 위한 확장성을 제공한다. 주로 건축분야에 외부 바람길, 자연환기성능, 효율적 공조설계, 오염물질확산, 안개분석 등에 이용한다.

3) 분석 조건

표 13. 분석의 일반조건

일 반 사 항	
분석일	• CASE 1~2는 6월21일, CASE 3~4는 8월3일 기준
분석시간	• 11시부터 18시까지 5분 간격으로 분석
위치	• 경기도 고양시 일산서구로 (37.65 / 126.65)
일사	• 태양상수는 1330W/m ² 를 사용 (청정도법 적용)
분석범위	• 해석영역(1.2m * 2m * 1.9m) • 증발시스템 모듈(245*540)을 4x4 배치하여 분석

표 14. CFD 해석 조건

CFD 해석 조건	
<ul style="list-style-type: none"> • Incompressible • Transient analysis • Turbulent flow, Standard k-EPS • Log-law heat transfer • VF method (RAD) • Buoyancy (ref 25.6°C / 32.5°C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis type • FLOW • HEAT • HUMIDITY (dew condensation /evaporation) • SOLAR RADIATION • RADIATION

표 15. 분석안 초기조건

분석안	날짜	증발효과 적용여부	초기 온도	초기습도	수증기압	밀도	엔탈피	습확산계수
CASE 1	6/21	적용	25.6°C	60 RH (0.01234kg/kg ⁻¹)	14.78 mmHg	1.159 kg/m ³	238.33 J/kg	2.51e-005 m ² /s
CASE 2		미적용						
CASE 3	8/3	적용	32.5°C	49 RH (0.01508kg/kg ⁻¹)	17.99 mmHg	1.128 kg/m ³	297.18 J/kg	2.61e-005 m ² /s
CASE 4		미적용						

표 16. 재료의 물성

구 분	밀 도 (kg/m ³)	비열 (J/kgK)	열전도율
콘크리트	2400 kg/m ³	950 J/kgK	1.5 W/mK
목 재	300 kg/m ³	1300 J/kgK	0.069 W/mK
벽면녹화 (화강석)	2600 kg/m ³	1100 J/kgK	4.3 W/mK

4) 분석 모델

본 분석에서는 적용된 식물에 따른 효과를 제외하고, 관수시스템의 적용에 따른 증발산량 등에 따라 발생가능한 도시열섬 저감효과를 분석하고자 하였다. 이에 따라 증발산량을 발생시키는 시스템의 모듈 규격은 Prototype에서 제시한 시스템 단위모듈 크기로 245 x 540(mm)의 4X4 배열로 분석모델링을 작성하였다.

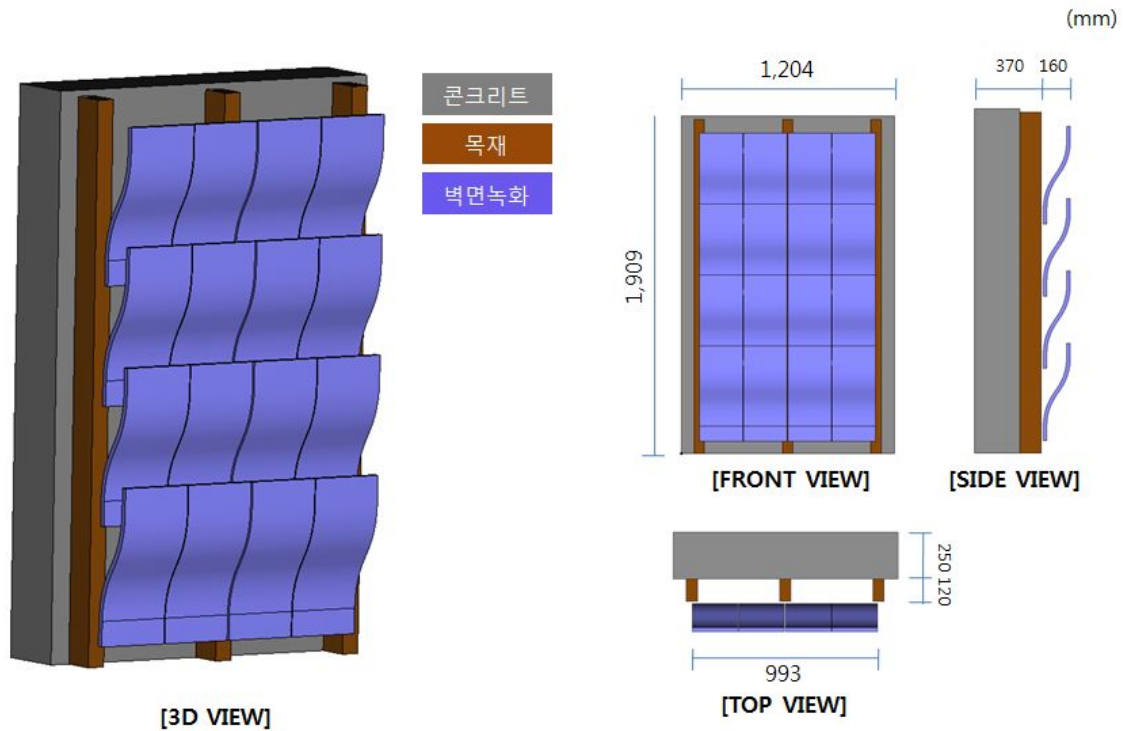


그림 13. CFD 분석 모델

5) 분석결과

가) 벽면녹화 증발시스템의 시간에 따른 표면 온도변화 분석

증발효과 적용여부에 따른 증발시스템의 표면온도 변화를 모듈(1-1)을 기준으로 12시부터 18시까지 2시간 단위로 나타내었다. 6월의 기상조건을 반영한 CASE 1, 2안은 증발효과 적용으로 16시에 최대 약 5.0℃의 표면온도 변화를 나타냈고, 8월의 기상조건을 반영한 CASE 2, 3은 14시에 최대 5.9℃의 표면온도 변화가 있는 것으로 분석되었다. 본 분석은 바람의 영향을 고려하지 않은 분석결과이므로 불어오는 바람의 풍속, 온습도에 따른 표면온도 분석 값의 차이가 발생할 것으로 판단되며 각 초기조건외의 외기상태와 동등 수준의 물성을 갖는 바람이 불어온다면 온도저감 효과는 더 크게 나타날 것으로 예측된다.

표 17. 벽면녹화 증발시스템의 시간에 따른 표면 온도변화

모듈1-1	초기조건	분석안	증발 효과	정시 최대온도				최대온도 (발생시각)
				12시	14시	16시	18시	
	6월 (25.6°C 60RH)	CASE 1	적용	32.4°C	33.3°C	31.9°C	30.7°C	33.5°C (12:50)
		CASE 2	미적용	35.5°C (Δ3.1)	37.6°C (Δ4.3)	36.9°C (Δ5.0)	35.5°C (Δ4.8)	37.7°C (13:40)
	8월 (32.5°C 49RH)	CASE 3	적용	38.8°C	39.6°C	38.1°C	34.4°C	39.7°C (13:20)
		CASE 4	미적용	43.2°C (Δ4.4)	45.5°C (Δ5.9)	43.0°C (Δ4.9)	40.1°C (Δ5.7)	45.7°C (13:35)

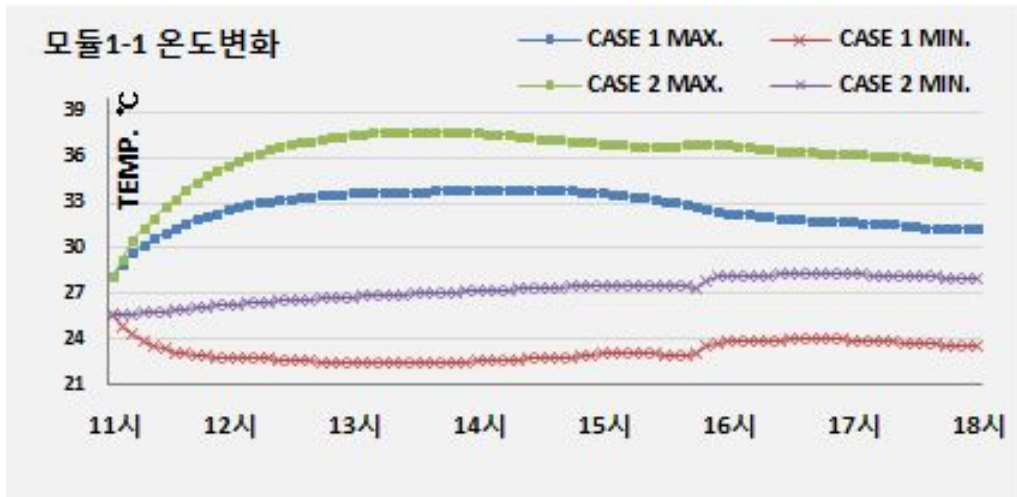


그림 14. 6월의 기상조건에서 모듈의 온도변화

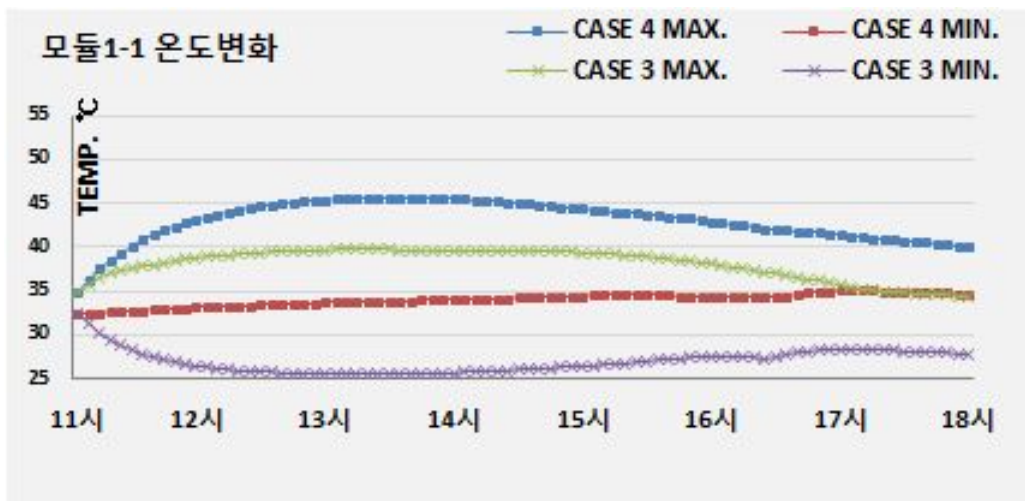
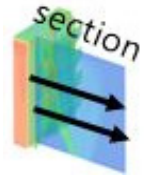


그림 15. 8월의 기상조건에서 모듈의 온도변화

나) 인접한 외기 온도변화

분석증발효과 적용여부에 따른 인접한 외기의 온도변화를 특정 단면에 대하여 콘크리트 벽면으로부터 0.05m(0.1m) 간격으로 나타내었다. 6월 기상조건을 반영한 CASE 1, 2안의 지점별 온도차는 +0.2m에서 1.21℃로 가장 크게 나타났으며, 8월 기상조건을 반영한 CASE 3, 4안에서는 +0.15m에서 0.7℃의 온도차를 나타냈다. CASE 3, 4안은 CASE 1, 2안 대비 증발에 유리한 조건이나 자연대류에 의한 유동경향 및 상승력 등의 차이로 ΔT가 더 낮게 나타나는 것으로 판단된다. 시간에 따른 공기온도의 변화를 관찰하기 위해서는 조밀한 분석 간격 등에 의한 추가분석이 필요하며, 장기간의 현장모니터링 결과와의 비교 분석이 필요할 것으로 전망된다.

표 18. 인접한 외기 온도변화

단 면	분석안	초기 조건	증발 효과	증발시스템과 이격거리에 따른 외기온도 (°C)						
				+0.05	+0.10	+0.15	+0.20	+0.25	+0.30	+0.35
	CASE 1	6월	적용	25.61	25.68	25.66	25.69	25.68	25.68	25.68
	CASE 2	(25.6°C 60RH)	미적용	25.99 (Δ0.38)	26.24 (Δ0.56)	26.43 (Δ0.77)	26.90 (Δ1.21)	26.85 (Δ1.17)	26.52 (Δ0.84)	25.81 (Δ0.13)
	CASE 3	8월	적용	-	32.11	32.21	32.18	32.22	32.23	32.23
	CASE 4	(32.5°C 49RH)	미적용	-	32.63 (Δ0.52)	32.91 (Δ0.70)	32.66 (Δ0.48)	32.58 (Δ0.35)	32.62 (Δ0.39)	32.62 (Δ0.52)

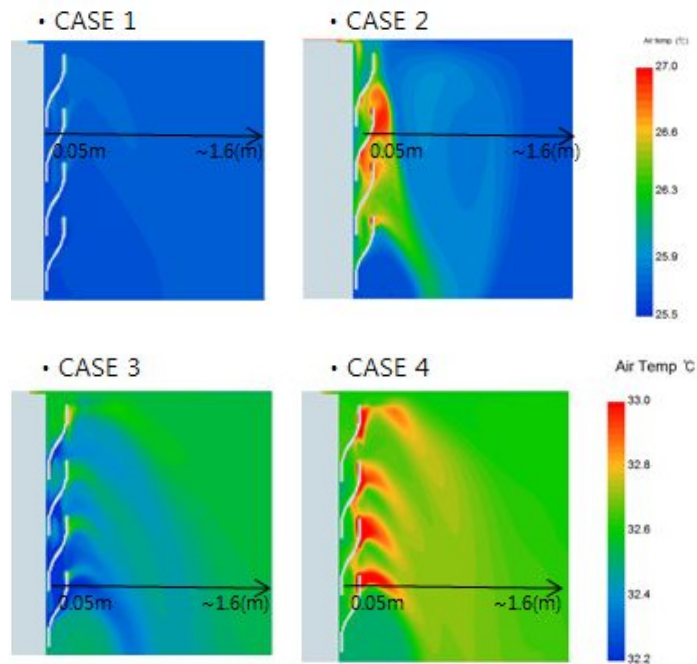


그림 16. 인접한 외기 온도변화

5. 개발기술의 사업화 방안 모색

가. 기술홍보를 위한 국제전시 참가

1) 전시개요

본 전시회 참석은 3월 3일 런던에서 개최된 UK-Korea Green Building Forum 과 관련하여 '한국그린빌딩사절단' 프로그램의 일환으로 추진되었다. 2015 Ecobuild 전시회는 세계 최대 규모의 녹색산업 전시회로 영국대사관의 지원 및 주관기관(KICT)과 대한건축사협회의 주관으로 총 7개의 제품 및 기술을 전시 홍보하였다.

본 과제외의 성과물인 「건물일체형 벽면녹화시스템」 뿐만 아니라, 「초슬립형 창호 시스템」 및 「실외기 효율개선을 위한 미스트 분사장치」 등 그린 리모델링 관련 기술 전시를 통한 성과를 홍보하였고, Ecobuild 전시회 부스에는 영국대사관의 지원으로 KICT와 대한건축사협회 주관으로 삼성 SDS, (주)일신산업, 글로벌코리아(주) 등의 녹색건축 관련제품을 함께 전시하였다.

2) 전시 참가준비

전시물품은 3주 전 전문 배송업체를 통하여 영국으로 발송하고 전시회 하루 전 전시 물품을 행사장에 설치하였다. 행사장소인 ExCeL 센터 내 전시장은 남쪽 구역 및 북쪽 구역으로 구분되어 있었으며, 주관기관(KICT) 홍보 부스는 남쪽의 S3002구역으로 3,000 X 6,000 규모로 주 출입구와 근접하고 관람객의 주 동선 상에 위치하였다.

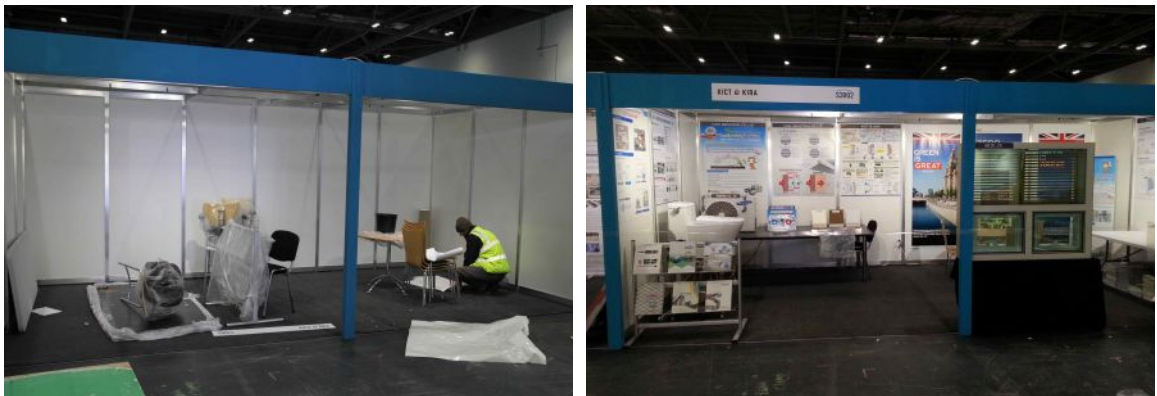


그림 17. 2015 Ecobuild 전시 참가준비

3) 2015 Ecobuild 전시

2015Ecobuild 국제전시회는 3월 3일부터 3월 5일까지 런던 ExCeL 센터에서 개최되었으며 세계최대규모의 녹색산업 전시회로 주관기관(KICT)에서 개발한 연구성

과를 출품 전시하였다.

본 전시회에는 800여개의 업체가 참여하고 3일간 추산 55,000여명이 관람하였으며 전시 기간동안 끊임없는 각계 관람객들의 방문으로 녹색산업 관련세계 최대 규모의 전시회임을 확인할 수 있었다. 참여 업체는 현재 녹색 건축 시장의 흐름인 신재생 에너지 관련 PV/Inverter 관련 부스가 다수였으며 창호, 단열재, 설비시스템, 조명, 친환경 내외장재 등 다양한 분야의 제품들이 전시되었다. 또한, 전시 부스 외에 지속 가능한 디자인, 건축, 에너지의 테마로 녹색건축 관련 컨퍼런스 및 세미나가 동시에 개최되어 미래의 녹색건축을 위한 방향을 제시하였다.

본 전시부스에는 우리 연구원의 이태식 원장을 비롯하여 국토교통부 김진숙 건축정책관, BRE Global의 Richard Hardy 소장 및 관계임원이 방문하여 우리연구원에서 개발한 전시품을 관람하고 연구 성과 및 개발 제품들에 대한 우수성을 확인하고 격려하였다. 전시기간 동안 시공 및 자재업체 관계자, 연구원, 건축가, 학생 등 다양한 계층의 방문객들이 관람하여 전시 물품 및 기술에 대한 관심도 확인할수 있었다.



그림 18. 2015 Ecobuild 현장 스케치

4) 2015 Ecobuild 전시결과 및 후속조치

KICT 전시 부스의 전시 제품 중 본 연구과제를 통해 개발된 벽면녹화 시스템의 경우 상용화 단계가 아님에도 불구하고, 관련 기술정보 요청 및 구매여부 상담이 다수 이

루어졌다. 전시 기간 중 40여 건의 제품 구매 및 기술적용에 대한 구체적인 상담 및 논의가 이루어져 해외진출의 가능성을 확인할 수 있었으며, 전시 이후, 상담 대상자를 대상으로 계약 성사를 위한 업무연락을 진행 중이다.

본 전시에서 KICT 부스는 연구결과에 대한 성과 발표의 성격으로 참여하였으나 연구 성과 및 이에 따른 개발 제품에 대한 우수한 평가와 함께 높은 관심을 확인한 바 연구진들이 성취감을 느낄 수 있었던 좋은 기회로 자리매김 할수 있었다. 현재 본 전시회를 통해 연결된 국외업체 3개 기관과 업무연락을 진행 중이며, 개발기술에 대한 전달과 기술사업화를 위한 협의절차 진행 예정

RE: Cool Greening System in KICT

보낸사람 : dph@biophilicdesigngroup.com

보낸날짜 : 2015/09/01 15:52

받는사람 : "장대희" <zzan1113@kict.re.kr>

Yes very interested

Please forward website and more details.

Thank You.

David

David P. Hill
Operations Director
Biophilic Design Limited.

Mobile +44(0) 792 662 2281
Telephone +44(0) 1621 776 729
Email dph@biophilicdesigngroup.com

Website www.biophilicdesigngroup.com

Registered Address : 1 Craftsman Square, Temple Farm Ind Estate, Southend on Sea, Essex SS2 5RH, United Kingdom

Biophilic Design Ltd. Company Number 9387193

This Email and any attachments to it are Confidential, protected by Copyright and may be legally privileged. This email is for the addressee only. If you are not the intended recipient, you are notified that any reading, disseminating or copying of this email is prohibited and that no privilege has been waived. If you have received this email in error, please notify the sender by replying to the email or by telephoning the number given. Please then delete the email from your system. Please note we do not, to the extent permitted by the law, accept any virus liability (whether in contract, negligence or otherwise).

Re: Re: Re: Cool Greening System in KICT

보낸 사람 : "MAX"<pieterreconstruction@gmail.com>

보낸 날짜 : 2015/09/01 15:54

받는 사람 : "장대회" <zzan1113@kict.re.kr>

Dear Dr. Jang,

I am just following up on any further information you may have available regarding Cool Greening System? If so, please forward.

We are working with various City municipalities whose mandates are to introduce living-walls and green-space into urban areas.

Would it be possible to purchase samples of your system, with specifications, to introduce it to various City planners, architects, engineers and property management. As you may be aware, the Canadian and USA area of the Pacific Northwest and Coast are preparing to 'green' cities and urban areas and we see a great deal of opportunity in this area. We would be pleased to look at working with you, to explore these opportunities.

Best regards,

Maxwell J. Maxey - Projects Manager

PIED- A -TERRE Construction Ltd.

323 - 1834C Oak Bay Avenue,
Victoria, British Columbia, Canada
V8R 0A4



On Wed, Apr 1, 2015 at 6:43 PM, 장대회 <zzan1113@kict.re.kr> wrote:

Dear,

Attach a brief English documents.

Content is not enough, but it is determined that it can grasp the whole contents.

Thank you.

Jang,

----- 원본 메일 내용 -----
보낸 사람 : "MAX"<pieterreconstruction@gmail.com>
받는 사람 : "장대회" <zzan1113@kict.re.kr>
메일 제목 : Re: Re: Cool Greening System In KICT
보낸 날짜 : Sun, 22 Mar 2015 18:52:52 -0700

Dear Dr. Jang,

Please forward information in English as it becomes available and we can further our discussions at that point.

Best regards,

Maxwell J. Maxey - Projects Manager

2절 저비용 지속가능한 벽면녹화 유지관리 자동화 모듈 개발

1. 벽면 유형별 인공지반 적정 수분 조건 구명

벽면유형은 그림1과 같이 플랜터형, 와이어형, 패널형 등 3가지 유형을 사용하였고 각각의 벽면유형별로 일반적으로 벽면녹화에서 많이 이용되고 있는 덩굴성의 줄사철 (강태순과 이명우, 2014), 다래덩굴, 그리고 국내에서 겨울철 월동이 가능한 수호초를 이용하여 플랜터형에는 줄사철을, 와이어형에는 다래덩굴을, 패널형에는 수호초를 식재하였다. 수분은 점적드립퍼 관수장치를 이용하여 근권 수분 25, 35, 45%로 조절되도록 하였다.(그림 19) 벽면은 각 유형별로 동서남북 4방향으로 설치하여 수분 조건별 식물생육과 근권부 환경 등을 조사하였다.

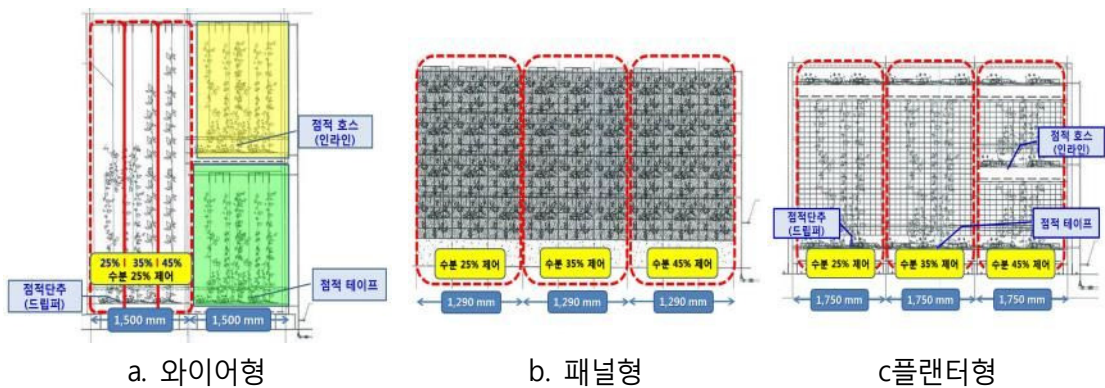


그림 19. 시험에 사용된 벽면유형별 수분조건 및 관수방법

가. 벽면유형 및 방향별 근권 수분의 경시적 변화(2012.9.1 - 2014.4.24)

시설설치 초기인 2012년 9월 수분처리 35%의 처리구에서는 벽면 방향에 관계없이 모든 유형에서 수분이 35%를 훨씬 상회하였으나 10월, 11월에 점차 안정되었으며 2012년, 2013년 12월부터 2013년, 2014년 2월까지의 패널이 얼어 전자식센서의 특성상 수분측정이 불가하였다. 3월 이후에는 벽면 방향과 유형에 관계없이 안정적으로 수분이 유지되었으며 강우시에는 4면의 벽면이 모두 강우량에 의해 수분이 높아졌다가 낮게 회복되었다(그림 20). 수분 25, 35, 45% 조건에서도 동일한 경향을 보였다.

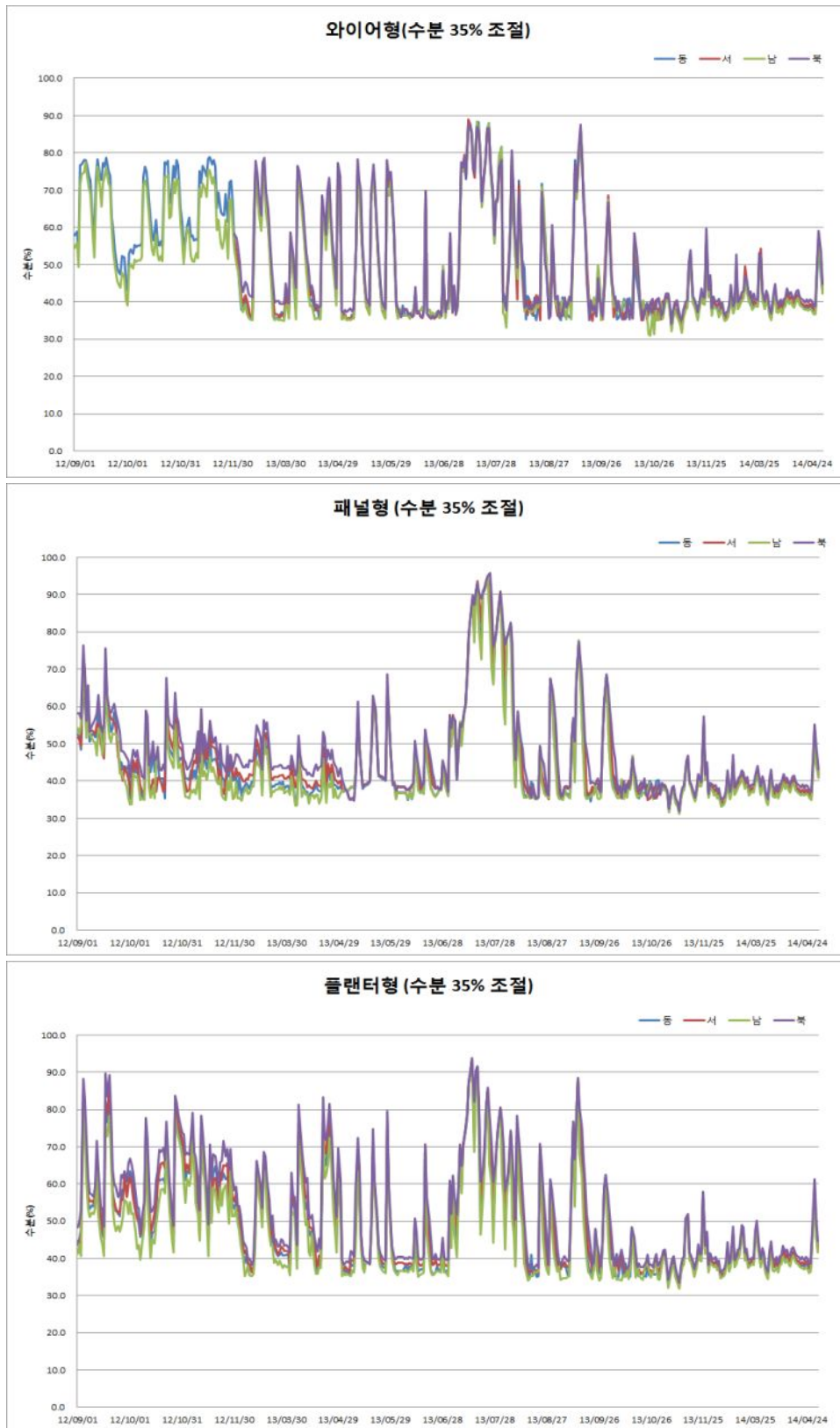


그림 20. 벽면 유형과 방향별 근권 수분

나. 벽면 유형별 인공지반 적정 수분조건 및 식물생육

벽면유형과 방향별 적정 수분조건 및 식물생육(그림 21)을 조사한 결과 수분을 25, 35, 45%로 처리한 와이어형의 다래덩굴은 수분 45%에서 생육이 전반적으로 양호하였으며 수분 45%에서는 광량이 많은 남향이나 광량이 적은 북향보다 동, 서향에서 생육이 양호하였다(표 19). 이는 깊은 산속의 계곡이 식생지인 다래특성상 수분 요구도가 높고 광량이 많거나 적지 않은 동서향에서 생육이 양호한 것이라 판단되었다.

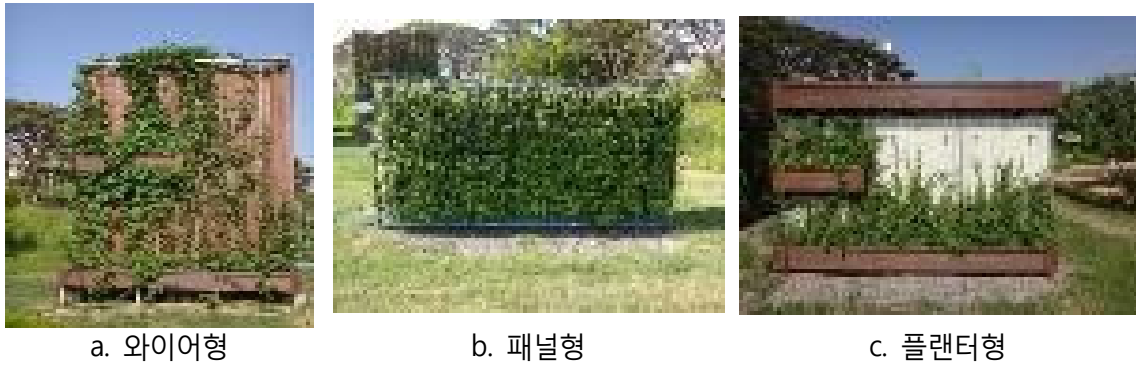


그림 21. 벽면 유형과 방향별 식물생육

표 19. 다래덩굴 생육(와이어형)

수분	처리 방향	줄기길이(cm)		줄기직경(mm)		엽장(cm)		엽폭(cm)		엽수(매/주)	
		3월	10월	3월	10월	3월	10월	3월	10월	3월	10월
25%	동	97.3	300.3	2.98	4.50	-	11.0	-	5.9	-	34
	서	94.0	195.0	2.49	3.74	-	9.3	-	5.2	-	37
	남	65.0	275.2	3.90	6.89	-	8.5	-	5.0	-	42
	북	85.0	276.0	2.06	3.45	-	8.0	-	4.0	-	35
	평균	85.3	261.6	2.80	4.64	-	9.2	-	5.0	-	37
35%	동	145.0	280.0	3.92	5.89	-	11.5	-	5.7	-	33
	서	122.5	361.0	2.52	4.67	-	8.8	-	5.2	-	37
	남	92.0	202.5	2.58	6.14	-	9.5	-	5.2	-	50
	북	127.5	198.0	3.04	3.33	-	8.0	-	4.4	-	44
	평균	121.7	260.4	3.00	5.01	-	9.5	-	5.1	-	41
45%	동	107.5	388.5	2.86	6.19	-	10.3	-	4.9	-	35
	서	137.5	442.5	2.29	3.95	-	9.3	-	4.9	-	53
	남	102.0	288.5	2.89	5.43	-	8.3	-	4.3	-	30
	북	119.0	283.0	2.32	4.59	-	12.3	-	4.4	-	70
	평균	116.5	350.6	2.60	5.04	-	10.1	-	4.6	-	47

동서남북 방향의 패널형 벽면유형에서 수호초를 대상으로 점적드립피 관수장치를 이용하여 수분을 25, 35, 45%로 처리한 결과 수호초는 수분조건 및 벽면의 방향별로 생육 차이가 없었다(표 20).

표 20. 출사철 생육(플랜터형)

수분	처리 방향	줄기길이(cm)		줄기직경(mm)		엽장(cm)		엽폭(cm)		엽수(매/주)	
		3월	10월	3월	10월	3월	10월	3월	10월	3월	10월
25%	동	54.0	87.0	3.07	4.00	-	4.1	-	2.3	20	46
	서	61.7	101.9	2.88	4.09	-	4.0	-	2.1	25	55
	남	55.2	107.5	2.99	4.12	-	4.1	-	2.8	12	54
	북	52.7	103.1	2.71	3.46	-	4.5	-	2.5	13	51
	평균	55.9	99.9	2.91	3.92	-	4.2	-	2.4	17.5	51.5
35%	동	45.7	75.1	3.11	3.54	-	3.8	-	2.2	20	44
	서	59.2	102.2	2.99	4.14	-	4.1	-	2.4	34	54
	남	55.0	110.2	3.11	5.20	-	3.9	-	2.3	14	58
	북	55.5	90.0	2.59	3.17	-	4.5	-	2.4	13	50
	평균	53.9	94.4	2.95	4.01	-	4.1	-	2.3	20.3	51.5
45%	동	44.8	90.3	3.14	3.71	-	4.3	-	2.4	27	50
	서	55.3	102.2	2.82	3.98	-	4.0	-	2.5	36	57
	남	56.8	92.3	3.20	4.95	-	4.7	-	2.7	13	42
	북	66.2	95.1	2.99	3.97	-	4.3	-	2.4	20	56
	평균	55.8	95.0	3.04	4.15	-	4.3	-	2.5	24.0	51.3

플랜터형 벽면유형에서는 출사철을 대상으로 점적드립피 관수장치를 이용 수분을 25, 35, 45%로 처리한 결과 생육초기에는 동서방향에서 초장 등 생육이 우수하였으나 생육이 진전되면서 큰 차이를 보이지 않았다. 수분조건별, 벽면 방향별로 생육 특성 차이가 없어 수분 25% 조건으로 관수하는 것이 경제적이라 판단되었다(표 21).

표 21. 수호초 생육(패널형)

처리		초장(cm)		줄기직경(mm)		엽장(cm)		엽폭(cm)		엽수(매)	
수분	방향	3월	10월	3월	10월	3월	10월	3월	10월	3월	10월
25%	동	16.0	19.8	2.63	4.13	-	4.9	-	2.7	17	25
	서	16.2	20.4	2.30	4.34	-	4.8	-	2.5	20	27
	남	12.9	19.1	2.05	4.25	-	4.4	-	2.5	19	21
	북	13.7	19.3	3.07	4.09	-	4.6	-	2.6	21	24
	평균	14.7	19.7	2.51	4.20	-	4.7	-	2.6	19.3	24.3
35%	동	18.1	18.4	2.80	4.18	-	4.4	-	2.4	24	26
	서	17.3	19.7	2.63	4.20	-	4.9	-	2.5	18	31
	남	13.5	19.6	1.97	4.26	-	4.5	-	2.6	20	35
	북	12.2	21.1	2.47	4.36	-	5.0	-	2.6	19	37
	평균	15.3	19.7	2.47	4.25	-	4.7	-	2.5	20.3	32.3
45%	동	16.5	20.7	2.40	4.49	-	4.8	-	2.9	19	37
	서	17.8	19.4	2.50	4.11	-	4.7	-	2.6	17	27
	남	9.6	19.4	4.13	4.20	-	4.4	-	2.7	16	26
	북	10.8	19.8	2.37	4.33	-	4.6	-	2.4	20	38
	평균	13.7	19.9	2.85	4.28	-	4.6	-	2.7	18.0	32.0

다. 벽면유형과 방향별 열화상 이미지

열화상 이미지 분석결과 식물피복이 잘 이루어진 패널형에서 최고온도가 35.7℃로 가장 낮았고 일반 시멘트벽체의 최고온도는 58.3℃로 22.6℃의 온도차를 보였다(그림 22).

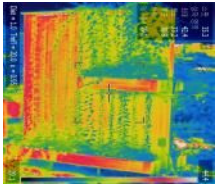
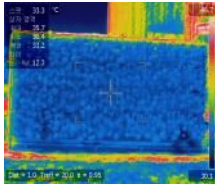
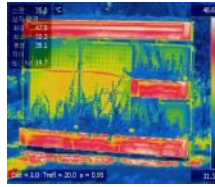
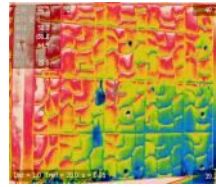
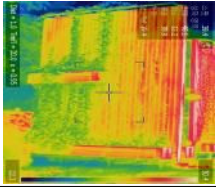
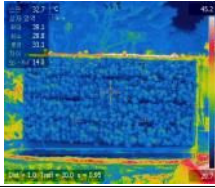
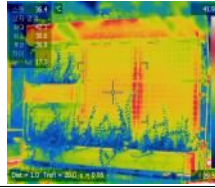
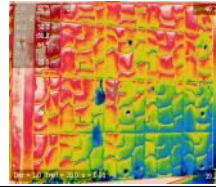
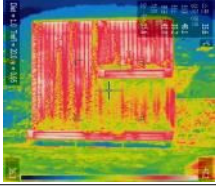
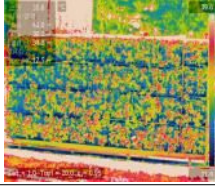
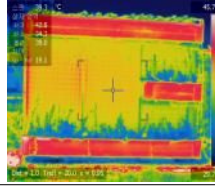
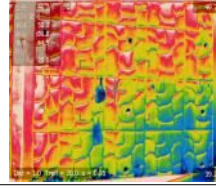
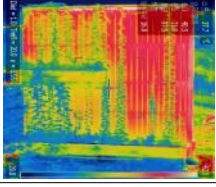
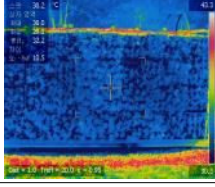
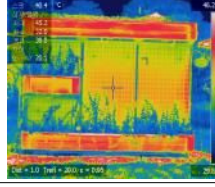
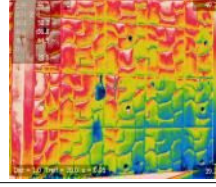
구분	와이어형	패널형	플랜터형	대조(시멘트벽면)
동향				
	최고 42.4°C	최고 35.7°C	최고 47.9°C	최고 58.3°C
서향				
	최고온도 46.1°C	최고온도 39.1°C	최고온도 42.3°C	최고온도 58.3°C
남향				
	최고온도 48.1°C	최고온도 43.0°C	최고온도 42.8°C	최고온도 58.3°C
북향				
	최고온도 40.5°C	최고온도 36.0°C	최고온도 45.2°C	최고온도 58.3°C

그림 22. 벽면 유형과 방향별 열화상 이미지

라. 벽면녹화시스템 월동조사

패널형 수호초 월동조사결과 남향에서 고사율이 낮았고 북향에서 고사율이 높았다. 플랜터형 줄사철 월동조사결과 방향에 관계없이 고사주가 없었다(표 22, 표 23).

표 22. 수호초 월동 조사결과

벽면방향	수분 제어	전체식재주수	고사주수	고사율(%)
동	25%	112	31	27.7
	35%	112	36	32.1
	45%	112	35	31.3
	전체	336	102	30.4
서	25%	112	45	40.1
	35%	112	19	17.0
	45%	112	20	17.9
	전체	336	84	25.0
남	25%	112	67	59.8
	35%	112	44	39.3
	45%	112	72	64.3
	전체	336	183	54.5
북	25%	112	10	8.9
	35%	112	17	15.2
	45%	112	15	13.4
	전체	336	42	12.5

표 23. 플랜터형 줄사철 고사율 조사('14. 3. 6)

벽면 방향	관수방법	수분조절	고사율(%)
동	점적드립퍼	25%	0
	점적테이프	35%	0
	점적호스	45%	0
	점적호스	35%	0
서	점적드립퍼	25%	0
	점적테이프	35%	0
	점적호스	45%	0
	점적호스	35%	0
남	점적드립퍼	25%	0
	점적테이프	35%	0
	점적호스	45%	0
	점적호스	35%	0
북	점적드립퍼	25%	0
	점적테이프	35%	0
	점적호스	45%	0
	점적호스	35%	0

2. 플랜터형 벽면 인공지반 양분 급액농도 구명

플랜터형 벽면의 근권부위 양분급액농도에 따른 식물생육을 구명하기 위하여 양액 (야마자키 밀감 배양액)의 EC 농도를 1.0, 1.5, 2.0dS/m 수준으로 공급한 결과 양액농도별 근권부위 EC함량은 처리에 관계없이 초기에는 안정화되지 않고 불규칙한 특성을 보였으나 2013년 10월부터는 공급되는 EC 농도에 따라 근권부위 EC 농도가 비슷한 경향을 보여 양분 자동급액시스템이 안정화 되고 있음을 알 수 있다(그림 23).

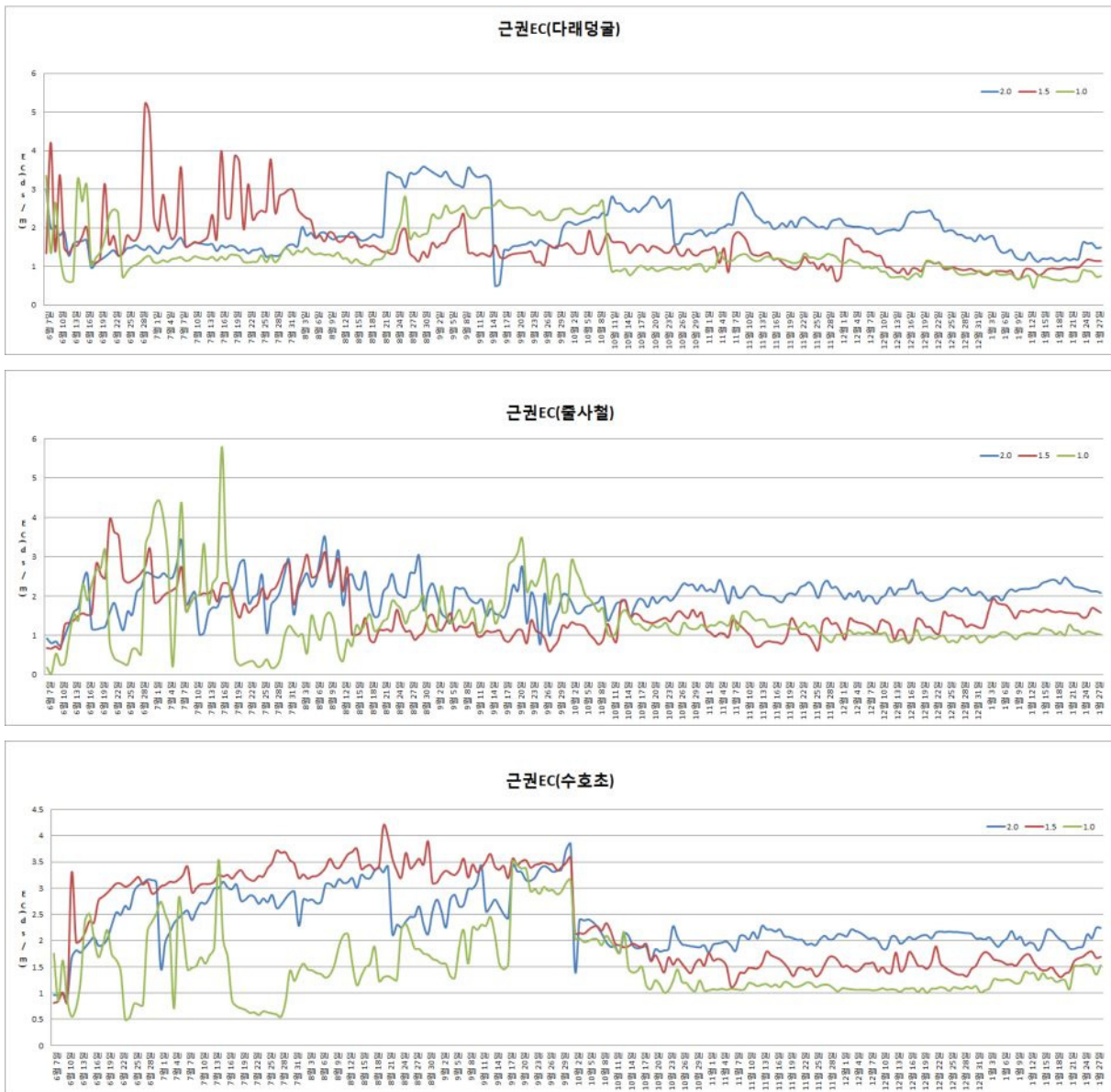


그림 23. 양분 급액농도별 근권 EC(dS/m)

다래덩굴의 생육은 양액농도별 큰 차이는 없었으며 EC 1.5에서 줄기길이, 엽수 등 생육이 다소 양호하였다(표 24). 이는 다래줄기의 특성상 목본성으로 양액농도에 따라 생육차이가 없었던 것으로 사료된다. 수호초의 생육은 EC 2.0에서 초장과 엽수 등의 생육이 우수하였다(표 25). 줄사철의 생육은 EC 2.0에서 줄기수와 줄기길이의 생육이 우수하였고 EC 1.0에서는 줄기직경과 엽수 등의 생육이 우수하였다(표 26).

표 24. 양액급액농도에 따른 다래덩굴 생육(2013년)

구분	줄기수(30cm ↑)			줄기길이(cm)			줄기직경(mm)			엽수(장)		
	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량
EC1.0	2	2	0	60.1	100.3	40.2	2.2	3.0	0.8	27	37	10
EC1.5	2	3	1	53.0	106.0	53.0	2.0	2.9	0.9	24	36	12
EC2.0	3	4	1	100.2	149.4	49.2	2.9	3.3	0.4	39	48	9

표 25. 양액급액농도에 따른 수호초 생육(2013년)

구분	초장(cm)			줄기직경(mm)			엽수(매)		
	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량
EC1.0	9.2	13.7	4.5	3.0	3.1	0.1	13	34	21
EC1.5	9.0	13.7	4.7	2.7	2.8	0.1	11	23	12
EC2.0	9.3	15.5	6.2	3.0	3.1	0.1	16	37	21

표 26. 양액급액농도에 따른 줄사철 생육(2013년)

구분	줄기수(30cm이상)			줄기길이(cm)			줄기직경(mm)			엽수(장)		
	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량	6월	10월	생장량
EC1.0	-	4	4	12.5	63.8	51.3	2.2	3.8	1.6	12	45	33
EC1.5	-	3	3	13.1	60.9	47.8	2.8	3.3	0.5	16	36	20
EC2.0	-	5	5	14.0	70.4	56.4	2.7	3.4	0.7	21	41	20

개발된 양분급액공급 시스템을 이용하여 2014년 3월 수호초 등 식물을 정식하여 양액(야마자키 밀감 배양액)의 EC 농도를 1.0, 1.5, 2.0dS/m 수준으로 공급한 결과 양액농도별 근권부위 EC함량은 초기부터 EC 농도 1.0~5.0dS/m의 안정권에서 급격하게 변화하지 않았다(그림 24).

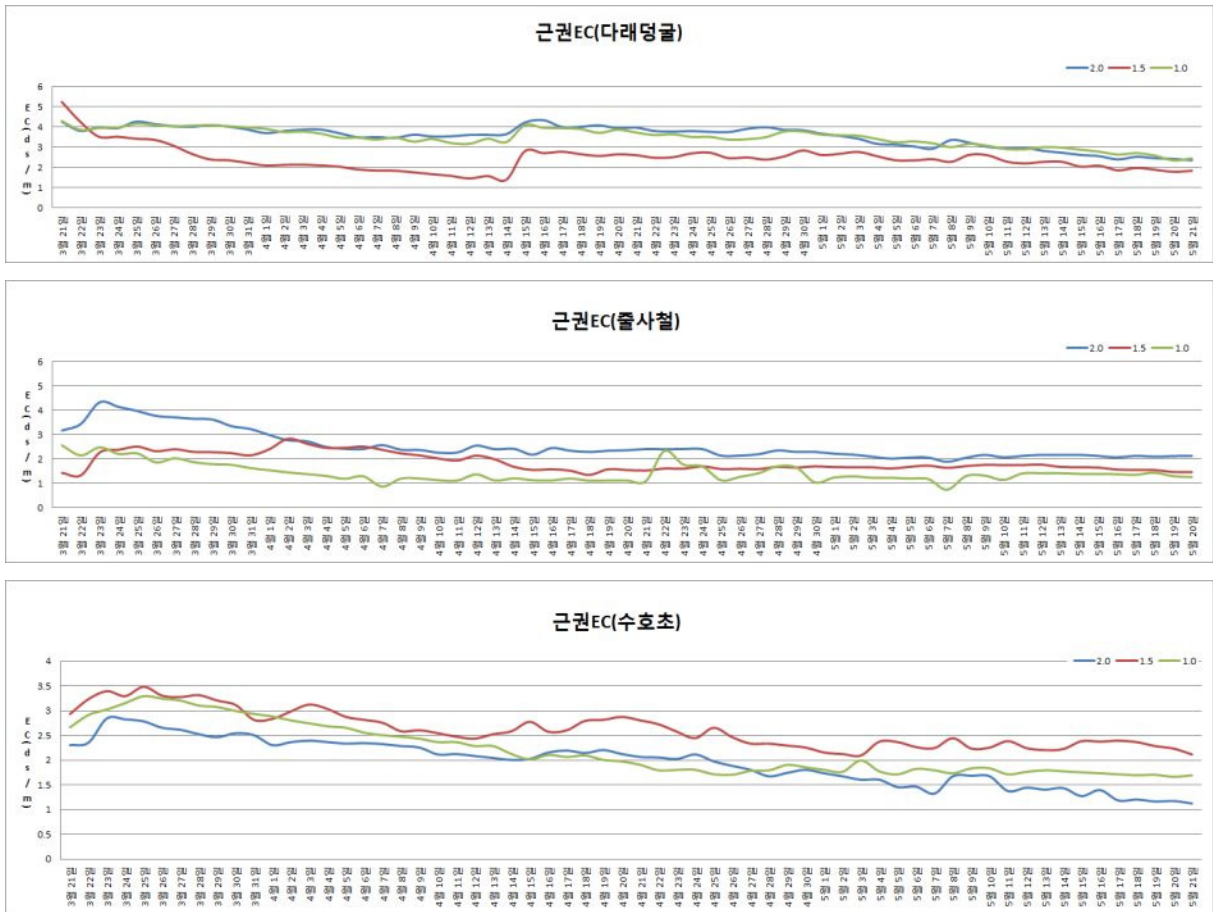


그림 24. 양분 급액농도별 근권 EC(dS/m)

다래덩굴의 생육은 양액농도별 큰 차이는 없었으나 EC 1.0에서 생육이 다소 양호하였고(표 27), 수호초와 줄사철의 생육은 EC 1.5에서 생육이 우수하였다(표 28, 표 29).

표 27. 양액급액농도에 따른 다래덩굴 생육(2014년)

구분	줄기수(30cm ↑)			줄기길이(cm)			줄기직경(mm)			엽수(장)		
	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량
EC1.0	2	4	2	53.2	90.8	37.6	5.9	7.0	1.1	0	19	19
EC1.5	2	4	2	65.6	82.0	16.4	5.5	5.6	0.1	0	15	15
EC2.0	2	3	1	63.5	85.5	22.0	5.0	5.5	0.5	0	13	13

표 28. 양액급액농도에 따른 수호초 생육(2014년)

구분	초장(cm)			줄기직경(mm)			엽수(매)		
	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량
EC1.0	21.0	27.5	6.5	3.3	3.7	0.4	15	26	11
EC1.5	21.1	29.2	8.1	3.4	3.8	0.4	18	32	14
EC2.0	21.0	28.7	7.7	3.8	4.0	0.2	17	27	10

표 29. 양액급액농도에 따른 줄사철 생육(2014년)

구분	줄기수(30cm ↑)			줄기길이(cm)			줄기직경(mm)			엽수(장)		
	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량	3월	5월	생장량
EC1.0	4	8	4	38.3	54.3	16	3.4	3.6	0.2	16	62	46
EC1.5	5	7	2	43.6	65.2	21.6	3.3	3.4	0.1	17	69	52
EC2.0	4	7	3	47.7	65.5	17.8	3.0	3.1	0.1	18	57	39

3. 벽면 인공지반 양분 급액농도 구멍 및 양수분 자동제어 시스템 개발

인공지반의 수분, EC, 지온 등의 데이터를 수집하기 위해 벽면 인공지반의 센서 값들을 한 화면에서 볼 수 있도록 프로그래밍 하였고, 데이터로거는 각 벽면에 설치된 센서와 유선으로 시리얼 통신으로 데이터를 받고, 받은 데이터는 메인컴퓨터에서 무선으로 데이터전송 요청 시 측정된 데이터를 FSK방식 1200bps로 메인컴퓨터 수신단으로 전송하도록 하였다. 이때 주파수는 447Mhz~490Mhz를 사용하였으며 홑안테나를 사용하여 통신거리를 길게 하였고 통신속도는 1,200bps로 낮추어 전송하였다.

메인컴퓨터는 10분에 한 번씩 현장에 설치되어 있는 데이터로거와 무선 통신하여 데이터를 수신하고 현장에서 수분, EC, 지온 값을 실시간으로 확인토록 하였다. 제어 방식으로는 제어화면에서 모니터링 한 데이터를 기초로 사무실에서 벽면에 제어를 할 수 있으며, 수동제어가 가능토록 수분이 부족할 때 수동으로 물을 줄 수 있는 메뉴 버튼을 누르면 수동제어 명령이 벽면녹화 시스템으로 무선으로 전송되며 시스템에서는 관수를 시키도록 세팅하였다.(그림 25)

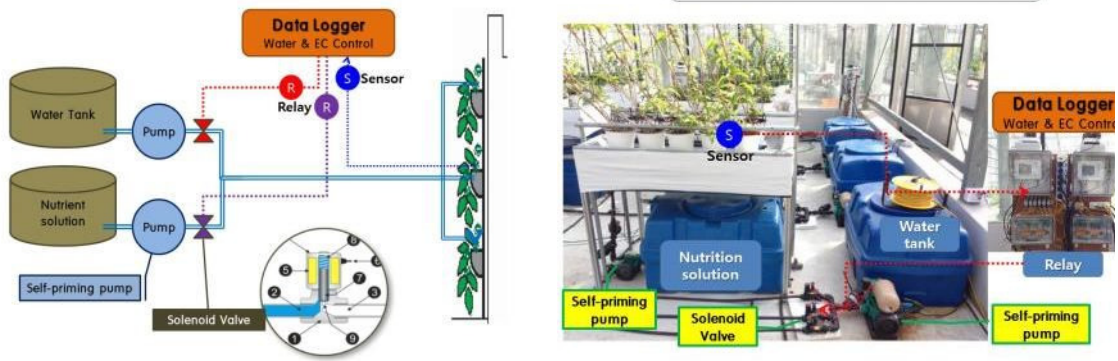


그림 25. 시험에 사용된 양수분 급액 시스템

제어방법에는 포인트 제어와 타이머제어가 있으며 둘 중 하나를 선택할 수 있는 기능을 구성하였고 명령 버튼을 누르면 무선으로 명령이 전송되며 시스템에서는 제어방법을 다시 설정하였다. 예코신호를 보내 수신단에서 예코신호를 받으면 명령을 완수토록 하였다(명령을 누르면 LED가 켜지며 예코신호를 받으면 LED가 꺼짐).

줄사철, 다래덩굴, 수호초 등을 대상으로 EC는 1.0, 1.5, 2.0 dS/m 수준으로 식물생육, 근권부 환경 등을 조사하였다. 벽면 인공지반 수분 및 양분급액시스템은 벽면의 인공지반 수분과 EC를 센서와 데이터로거로 수집하고, 수집된 자료는 무선송수신모듈을 이용하여 PC를 통해 제어하도록 개발하였다(그림 26). 벽면녹화 시스템 제어 프로그램 매뉴얼은 Microsoft Visual Basic을 이용해서 개발했고, 메뉴는 벽면 유형별 토양수분, 토양EC, 토양온도 등으로 구성하였다.

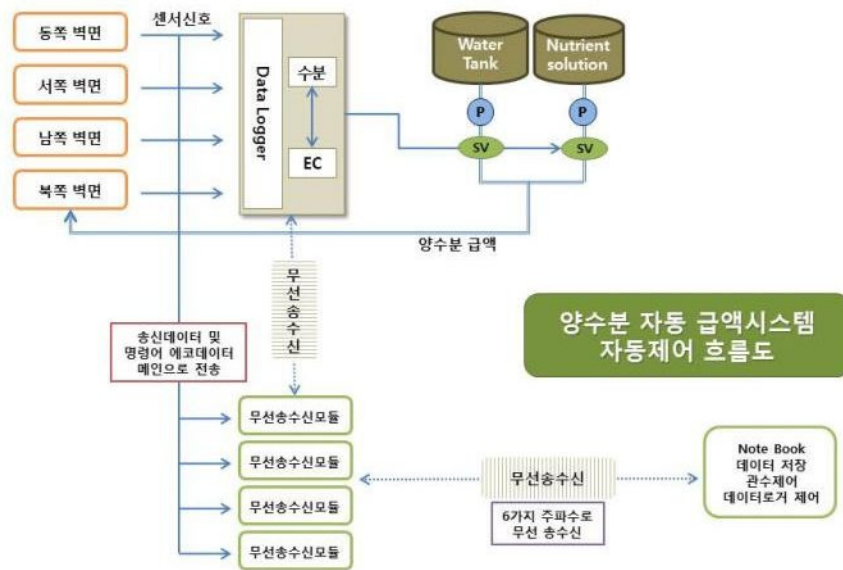


그림 26. 개발된 양수분 자동제어 시스템 자동제어 흐름도

제어시 제어포인트 설정은 수분을 우선으로 하여 관수토록 하였다. 플랜터 EC가 목표값에서 떨어졌을 때 배양액으로 EC 멈춤점까지 급액토록하였다. 또한 토양수분 (35~40%) 범위에서 급액 제어하고 EC 값이 목표값에 도달하였을 때 급액을 중단 하고 물로 급수 할 수 있도록 개발하였다. 이때 수분제어의 관수시작점은 35% 멈춤점은 40%, 양분 제어는 ① EC 1.0 dS/m : 급액시작점 EC 0.7dS/m, 멈춤점 1.0dS/m ② EC 1.5 dS/m : 급액시작점 EC 1.2dS/m, 멈춤점 1.5dS/m ③ EC 2.0 dS/m : 급액시작점 EC 1.7dS/m, 멈춤점 2.0dS/m 였다. 제어조건은 벽면녹화 양방향 무선 자동 수분제어 시스템 특징으로 제어 포인트 설정시 각 시스템에는 5~8개씩 전자밸브를 제어하여 작동하도록 하였다(그림 27).

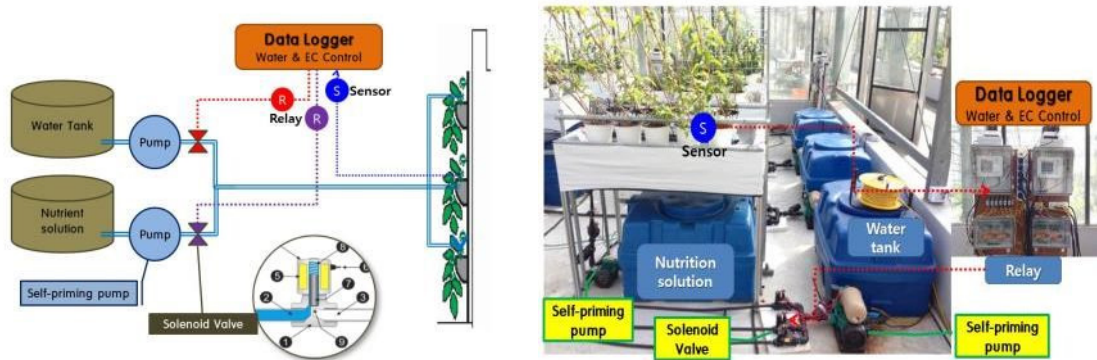


그림 27. 개발된 양수분 자동제어 시스템 모식도 및 실제 적용 예

표 30. 제어프로그램 개발 단계별 Upgrade 내용

<p>Ver.1</p>		<p>초기화면. 무선통신 기반으로 와이어형, 플랜터형,패널형 화면으로 구성.</p>
<p>Ver.4</p>		<p>양방향 제어 업그레이드. 기존 단방향 무선시스템에서 양방향 무선시스템으로 업그레이드. 사무실에서 원격으로 제어를 할수 있도록 함. 원격 제어 화면을 업그레이드</p>



Ver.5

양방향 통신에 있어 오류 부분을 수정

4. 벽면녹화 개발시스템의 유지관리 현장실증연구

가. 벽면녹화 양/수분 관리 자동화 프로그램 보완 및 개발

2차년도의 양방향 통신 오류부분을 수정하고 벽면녹화 시스템의 수분과 양분을 동시 연동 자동화할 수 있도록 프로그램을 보완 업그레이드 하였으며, 스마트폰의 앱 및 인터넷 접속을 통한 데이터 수신이 가능하도록 하였다(그림 28, 그림 29).

그림 28. 홈페이지 화면

홈페이지 주소 www.farm-rda.com로 접속하면, 기간별 데이터 분석, 일별 평균 데이터 및 그래프를 실시간으로 검색하여 자료를 받을 수 있으며 같은 자료를 스마트폰의 앱을 통해서도 모니터링이 가능하도록 하였다.



그림 29. 스마트폰 앱 「농가사진관리」접속 화면

나. 벽면녹화 유지관리 자동화 현장실증

개발된 양/수준 관리 자동화 프로그램을 한국건설기술연구원 옥상 벽면녹화 된 식물에 적용하였다. 2차년도까지의 연구결과를 적용한 것으로 작물별 평균수분 35%, EC 2.0 dS/m를 유지시켰다. 작물은 동일하게 다래덩굴, 줄사철, 수호초를 대상으로 하였다. 생육기간은 2015년 3월 28일부터 2015년 6월 30일까지이다.



그림 30. 현장실증을 위한 벽면녹화 모듈 설치 및 식물식재

그림 50에서와 같이 한국건설기술연구원에서 개발한 식생판을 설치하고 3종의 식물을 식재한 뒤, 벽면녹화양수분 자동제어 시스템을 설치하여 양수분 관리를 하였다.

배지내 수분은 급수시에는 다소 올라갔다가 다시 떨어지길 반복하면서 평균 35%의 수준을 유지하였다. 배지내 EC도 수분변화와 같은 경향으로 설정값 1.5dS/m을 평균적으로 유지하였다(그림 31).

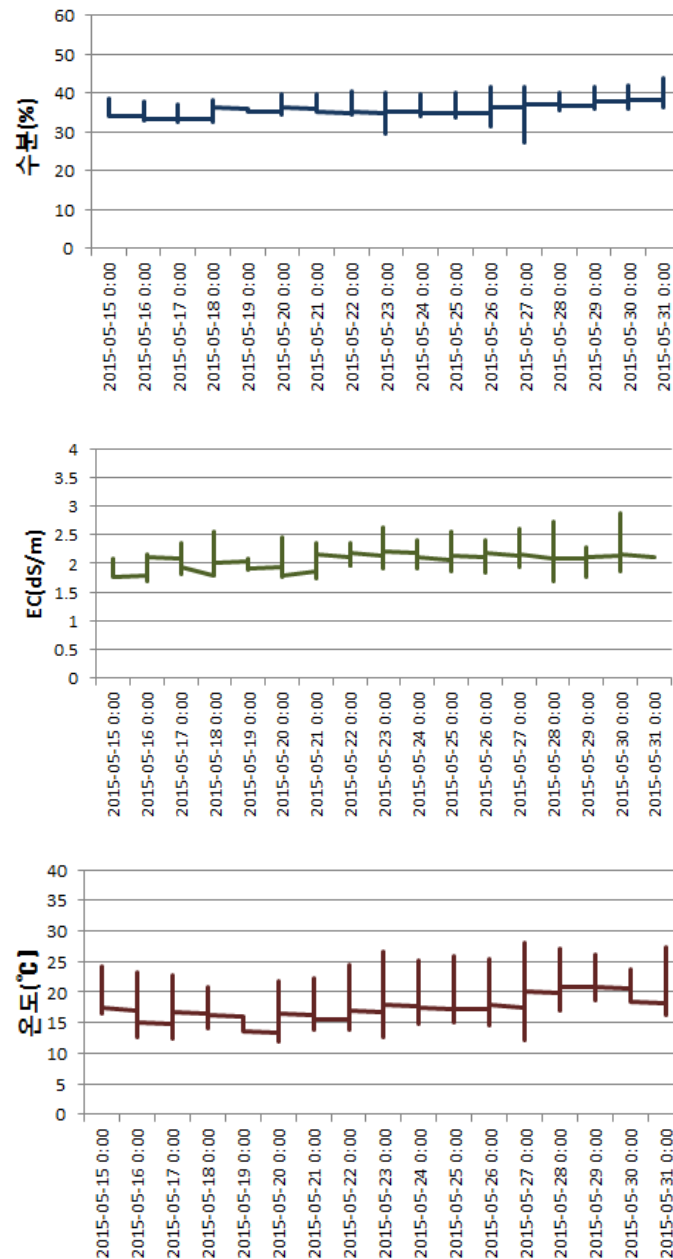


그림 31. 배지 내 양수분 변화

작물별 생육은 다래덩굴의 경우 정식 2개월 후 줄기수가 2.5개 많아지고, 줄기길이도 44cm 더 길어졌으며 줄기직경과 엽수에서도 양호한 생육을 보였다(표 31). 수호초와 즐사철도 수분 35%, EC 1.5dS/m 제어하에서 양호한 생육을 보였다(표

32, 표 33).

표 31. 다래덩굴생육

줄기수(30cm ↑)			줄기길이(cm)			줄기직경(mm)			엽수(매/주)		
정식시	2개월후 성장량		정식시	2개월후 성장량		정식시	2개월후 성장량		정식시	2개월후 성장량	
0	2.5	2.5	26	70	44	1	2.8	1.8	8.2	20.3	12.1

표 32. 수호초 생육

초장(cm)			줄기직경(mm)			엽수(매)		
정식시	2개월후	성장량	정식시	2개월후	성장량	정식시	2개월후	성장량
9.8	17.5	7.7	3.1	3.5	0.4	10.8	20	9.2

표 33. 줄사철 생육

줄기수(30cm ↑)			줄기길이(cm)			줄기직경(mm)			엽수(매)		
정식시	2개월후	성장량	정식시	2개월후	성장량	정식시	2개월후	성장량	정식시	2개월후	성장량
2	5.5	3.5	23.8	31	7.2	1.9	3.0	1.1	9	24.8	15.8

양수분자동제어 시스템을 활용하여 벽면녹화를 유지할 경우, 일반 벽면녹화시설에서 살수관수했을 때에 비해 93%, 점적관수했을 때 대비 86%의 연간 인건비가 절약되었다(표 34).

표 34. 연간 소요인력 및 인건비(8시간/일, 300일, 100㎡ 관수/시비 기준)

살수관수	점적관수	자동화관수	절감율
6,585,375원 : 75명×87,805원	3,292,688원 : 37.5×87,805원	470,384원 : 5.36일×87,805원	살수관수대비 93% 점적관수대비 86%
2시간/일 600시간(75일)	1시간/일 300시간(37.5일)	1시간/7일 (물탱크 물채우기 및 양액조제) 42.86시간(5.36일)	

Z 2015년 정부노임단가(보통인부기준) 87,805원 적용

3절 다육식물을 활용한 건물 벽면녹화 기술 개발

1. 저비용 벽면녹화 설치 및 관리기술 개발

가. 벽면녹화 식생판용 배지개발

식생판을 이용한 다육식물 종류에 따른 적합 배지 선발을 위한 배지종류별 생육특성은 표 28과 같이 식물종류에 관계없이 대체로 코코넛열매 껍질짚에서 초장 등 생육이 저조한 경향이었으며 코코피트(압축상토)와 피트모스+펄라이트 배지에서는 생육이 좋았다.

표 35. 다육식물 및 배지종류별 생육특성

식물명	배지종류	초장(cm)	초폭(cm)	줄기수(개)
땅채송화	코코넛열매껍질짚	0.8b ¹	5.9b	16.0b
	피트모스1+펄라이트1	8.9a	19.2a	58.7a
	코코피트	5.4a	16.5a	49.0a
백변경초	코코넛열매껍질짚	1.9b	4.5b	6.0b
	피트모스1+펄라이트1	2.1b	8.2a	6.0b
	코코피트	4.8a	7.9b	16.0a
노랑세덤	코코넛열매껍질짚	5.3ns	11.6ns	11.7b
	피트모스1+펄라이트1	8.4	17.3	25.3a
	코코피트	6.5	14.8	27.3a
단풍세덤	코코넛열매껍질짚	6.6b	7.4b	5.3b
	피트모스1+펄라이트1	12.2a	19.4a	19.7a
	코코피트	13.4a	17.5a	19.7a
기린초	코코넛열매껍질짚	4.3b	6.2b	6.7b
	피트모스1+펄라이트1	9.2ab	6.0b	6.7b
	코코피트	18.3a	11.5a	14.7a
가는잎기린초	코코넛열매껍질짚	4.8b	5.1b	4.7b
	피트모스1+펄라이트1	11.0a	5.0b	5.7b
	코코피트	13.2a	10.7a	15.3a
설악기린초	코코넛열매껍질짚	2.4b	10.4b	14.7b
	피트모스1+펄라이트1	6.0a	13.3a	29.3ab
	코코피트	8.2a	13.9a	51.3a
연화바위솔	코코넛열매껍질짚	1.8b	8.3b	3.0ns
	피트모스1+펄라이트1	2.8a	7.9b	2.0
	코코피트	3.3a	13.4a	3.0
와 송	코코넛열매껍질짚	1.8b	5.2b	13.7b
	피트모스1+펄라이트1	3.4a	7.0a	19.7a
	코코피트	3.5a	7.2a	19.0a
셈페르비붐	코코넛열매껍질짚	1.6ns	7.6b	3.7b
	피트모스1+펄라이트1	1.7	8.8ab	21.0b
	코코피트	2.1	11.4a	58.0a

¹DMRT 0.05 level, ns: not significant

나. 식생 방향에 따른 생육특성 구명



그림 32. 식생판 및 온습도 센서 배치도

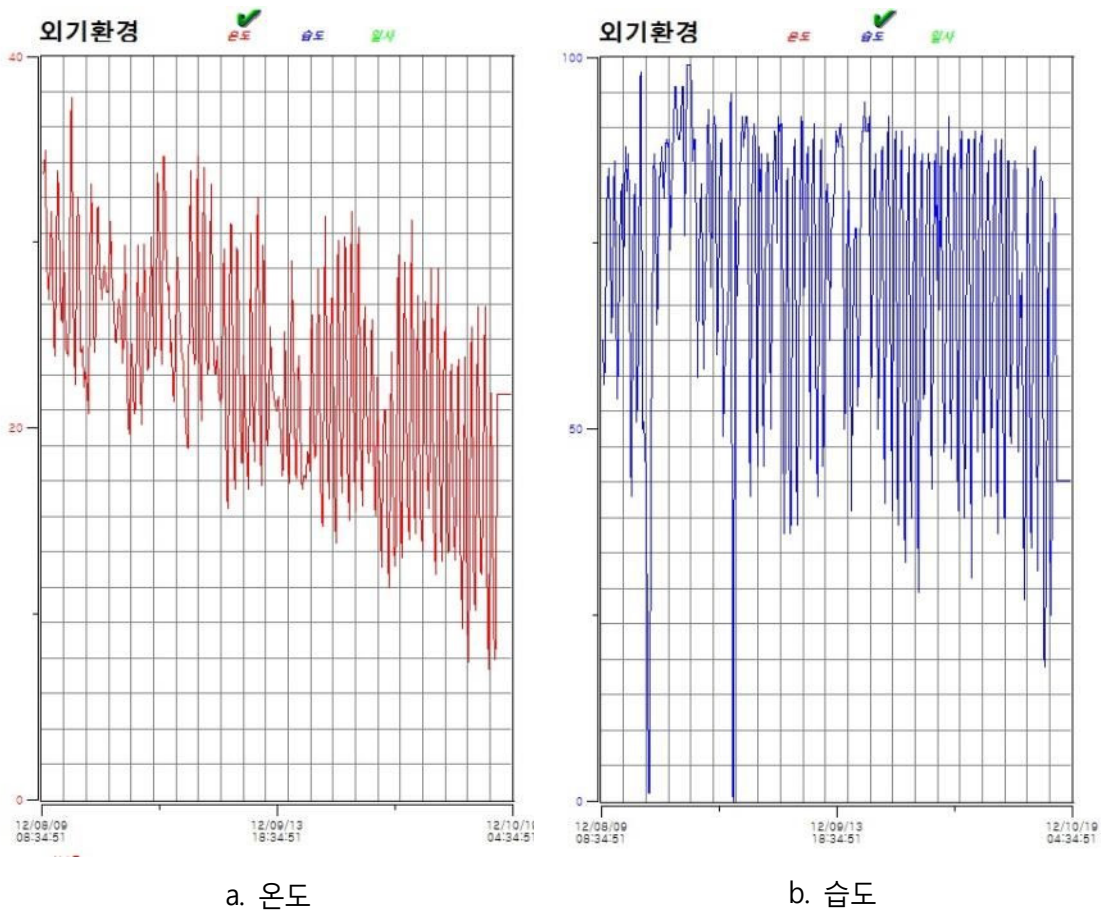


그림 33. 외기의 온습도 변화

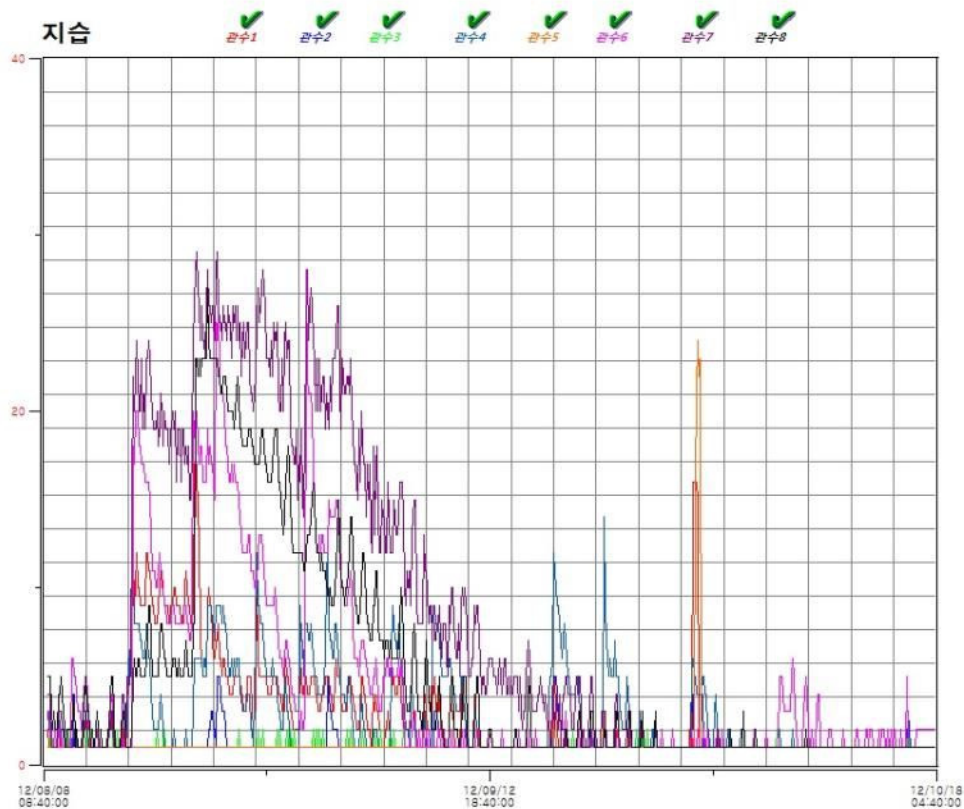


그림 34. 식생판 배양토 내 수분함량의 변화

식생방향별 다육식물 생육특성은 표 36에서와 같이 대체적으로 유의성은 거의 없었으나, 땅채송화는 북향에서 줄기수가 많았으며 백변경초는 서향에서 초폭이 넓었고 와송은 남향에서 초장이 컸던 반면 썬페르비름은 북향에서 초장이, 가는잎기린초는 남향에서 초폭이 작게 나타났다. 고사울은 북향에서 땅채송화, 백변경초, 와송, 썬페르비름이 높았다.

표 36. 식생방향별 생육특성 및 고사율

식물명	식재방향	초장(cm)	초폭(cm)	줄기수(개)	고사율(%)
땅채송화	동향	6.6ns ^J	10.7ns	25.9b	6.3
	서향	5.3	9.6	18.3b	6.3
	남향	6.5	9.5	17.4b	12.5
	북향	8.5	11.2	41.1a	12.5
백변경초	동향	3.1ns	5.9b	8.2ns	6.3
	서향	3.8	7.9a	10.9	0
	남향	3.6	6.2b	9.8	0
	북향	2.8	5.9b	7.1	12.5
와송	동향	2.6b	6.3ns	12.1ns	0
	서향	3.0b	6.0	13.0	12.5
	남향	3.8a	5.9	10.1	12.5
	북향	1.9c	5.5	9.3	25.0
셈페르비름	동향	2.1a	14.6ns	16.2ns	0
	서향	2.0a	10.1	15.7	0
	남향	2.0a	10.6	14.6	0
	북향	1.7b	10.5	14.3	12.5
가는잎기린초	동향	6.3ns	5.9ab	6.2ns	0
	서향	6.9	8.0a	6.3	0
	남향	7.0	5.2b	6.1	12.5
	북향	7.9	7.1ab	5.7	12.5
설악애기기린초	동향	6.6ab	11.6ns	24.6ns	0
	서향	5.9b	11.3	33.2	12.5
	남향	7.4ab	10.8	21.5	0
	북향	8.2a	11.9	26.3	25.0

^J DMRT 0.05 level, ns: not significant

※ 노랑세덤, 단풍세덤, 기린초, 연화바위솔은 유의성 없음

다. 정식시기에 따른 생육특성 비교

정식시기별 생육특성은 표 37과 같다. 연화바위솔은 정식시기에 관계없이 고사주가 없었으며 가는잎기린초, 설악애기기린초는 5월 정식시 고사주가 없었다. 초장, 줄기수 등 생육은 정식시기가 빠를수록 좋은 경향이였다.

표 37. 정식시기별 생육특성

식 물 명	정식시기	초장(cm)	초폭(cm)	줄기수(개)	고사율(%)
땅채송화	4월 20일	9.3a [↓]	11.7a	35.0a	0
	5월 20일	5.1bc	9.1b	30.7a	25.0
	9월 20일	3.0c	9.6ab	18.0b	8.3
	10월 20일	7.8ab	10.0ab	15.0b	0
백변경초	4월 20일	3.7a	6.7ns	9.1ns	16.7
	5월 20일	3.5ab	6.1	9.6	0
	9월 20일	2.6b	7.2	10.1	0
	10월 20일	3.9a	6.5	8.2	0
기린초	4월 20일	12.1ab	8.8ab	9.3a	0
	5월 20일	18.5a	10.0a	10.4a	0
	9월 20일	7.0ab	8.4ab	8.2a	16.7
	10월 20일	3.2b	5.3b	2.1b	0.0
가는잎기린초	4월 20일	12.5a	6.0ns	7.2a	8.3
	5월 20일	7.0b	7.7	7.3a	0
	9월 20일	4.3bc	7.0	6.7a	8.3
	10월 20일	3.7c	6.1	3.3b	8.3
설악애기기린초	4월 20일	9.5a	12.6a	42.6a	0
	5월 20일	6.8b	12.3a	29.6b	0
	9월 20일	5.0b	11.0ab	20.1bc	8.3
	10월 20일	5.1b	9.2b	15.2c	25.0
연화바위솔	4월 20일	2.5ab	9.1a	3.0ns	0
	5월 20일	1.9b	7.3b	3.0	0
	9월 20일	4.3a	7.5b	2.9	0
	10월 20일	1.7b	6.6b	2.9	0
와 송	4월 20일	3.0ns	6.5a	13.4a	0
	5월 20일	3.0	6.7a	18.8a	0
	9월 20일	3.1	4.8b	7.7b	41.7
	10월 20일	2.4	5.6ab	5.1b	0
셈페르비름	4월 20일	2.1a	10.7ns	23.8a	0
	5월 20일	1.9ab	7.7	18.7ab	8.3
	9월 20일	1.8b	9.0	7.2c	0
	10월 20일	2.0ab	8.9	9.1bc	0

↓ DMRT 0.05 level, ns: not significant

※ 노랑세덤, 단풍세덤은 유의성 낮음

2. 다육식물 소재 공정생산 기술개발

플러그트레이 크기에 따른 다육식물 경삽(줄기삽목)의 생육특성은 표 38과 같다. 묘생산 소요일수는 플러그트레이 128공>105공>72공 순으로 짧아지는 경향이었고, 엽삽(잎꽂이)에 비해 경삽(줄기꽂이)의 소요일수가 짧았다. 생산소요일수는 트레이 이식묘 10개중 뿌리돌림정도(dig around the roots)가 높은 묘를 선발한 비중에 의해 소요일수를 판단하였다³⁸⁾. 경삽(줄기꽂이)은 모든 작물에서 90%이상 생존한 반면, 엽삽(잎꽂이)는 생존율이 매우 낮아지는 경향이였다. 그 이유는 경삽(줄기꽂이)에 비해 엽삽(잎꽂이)의 발근수가 적고 발근속도가 느려 생육이 저하되었기 때문으로 분석되었다.

표 38. 정식시 플러그트레이 크기에 따른 번식방법별 다육식물의 생육특성

시험작물	처리내용		생산 소요 기간 (일)	생존 율 (%)	번식방법별 계절별 생육비교(cm)					
	플러그 트레이	번식방법			봄		여름		가을	
					초장	근장	초장	근장	초장	근장
기린초 <i>Sedum kamtschaticum</i>	72	엽삽	80	92.0	0.8a	13.6a	4.1a	-	4.0a	15.8a
		경삽	40	99.3	1.90a	10.30a	8.07a	12.2a	4.15a	7.86a
	105	엽삽	70	95.3	1.0a	10.5a	4.6a	-	4.2a	13.9a
		경삽	35	99.3	2.10a	7.40a	7.58a	12.0a	4.49a	7.50a
	128	엽삽	70	97.3	0.6a	9.4a	3.6a	-	3.8a	13.1a
		경삽	35	100	1.90a	10.50a	6.63a	11.1a	3.57a	7.56a
가는기린초 <i>Sedum aizoon</i>	72	엽삽	85	86.7	0.8b	10.7a	2.4a	13.0a	2.3ab	13.0a
		경삽	40	98.7	2.40b	11.30a	10.59a	11.10a	3.39a	10.78a
	105	엽삽	75	90.0	0.5a	9.3b	2.6a	10.4a	2.3a	9.4a
		경삽	35	100	2.10a	10.00a	9.34a	9.96a	3.43a	10.78a
	128	엽삽	75	95.3	0.4c	8.4b	2.8a	11.7a	1.7b	12.2a
		경삽	35	100	1.20c	9.90a	9.30a	9.88a	2.71a	9.62a
설악애기기린초 <i>Sedum middendorffianu m</i>	72	엽삽	80	58.0	0.2a	4.5b	3.1b	9.6a	2.1b	11.8a
		경삽	45	97.7	0.90a	7.20c	6.52a	7.14c	3.15b	7.40b
	105	엽삽	85	83.3	0.3a	2.2c	3.7ab	11.6a	2.5a	11.1a
		경삽	40	98.1	1.00a	10.60a	6.88a	10.38a	3.97a	10.28a
	128	엽삽	80	71.3	0.2a	6.0a	3.7a	14.7a	2.3ab	12.5a
		경삽	40	92.7	0.70a	8.40b	5.60a	8.22b	2.68c	8.94a

38) 이식하는 경우 활착을 돕기 위하여 사전에 뿌리를 잘라 실뿌리를 발생시키는 방법(농촌진흥청)

시험작물	처리내용		생산 소요 기간 (일)	생존 율 (%)	번식방법별 계절별 생육비교(cm)					
	플러그 트레이	번식방법			봄		여름		가을	
					초장	근장	초장	근장	초장	근장
스프리움 (단풍세럼) <i>Sedum sprium</i>	72	엽삽	85	65.0	0.2a	5.8c	3.0a	15.0a	1.6a	11.1a
		경삽	60	100	0.90a	10.30a	5.90a	9.38a	3.67a	9.54a
	105	엽삽	80	53.0	0.5a	10.7a	3.5a	17.6a	1.7a	13.9a
		경삽	45	100	1.20a	9.50a	6.85a	9.74a	4.05a	7.76a
	128	엽삽	80	75.3	0.3a	7.0b	2.8a	12.3a	1.5a	9.9a
		경삽	45	98.7	1.20a	9.30a	3.77b	9.90a	3.46a	9.64a
돌나물 <i>Sedum sarmentosum</i>	72	엽삽	75	63.3	-	-	1.6a	12.0b	1.3a	11.0a
		경삽	60	99.3	2.50a	8.50a	21.4a	8.48a	6.53a	7.94a
	105	엽삽	80	58.0	-	-	1.3a	16.2a	1.2a	9.2a
		경삽	45	100	2.30a	9.10a	23.6a	8.88a	5.87a	8.44a
	128	엽삽	75	67.3	1.3a	13.3	1.0a	14.1ab	1.4a	11.4a
		경삽	40	100	1.60a	9.20a	19.1a	9.10a	6.28a	7.70a
알뽕 (백뽕경초) <i>Sedum album</i>	72	엽삽	85	36.4	-	-	-	-	0.6a	6.7a
		경삽	40	83.3	1.50a	12.0a	2.27a	11.78a	3.67b	8.92a
	105	엽삽	75	32.4	-	-	-	-	0.5a	8.2a
		경삽	35	95.3	1.50a	9.6a	2.71a	9.48b	7.82a	10.44a
	128	엽삽	75	22.1	-	-	-	-	0.7a	6.5a
		경삽	35	100	1.00a	9.3a	2.64a	9.28b	3.24b	10.02a
땅채송화 <i>Sedum oryzifolium</i>	72	엽삽	90	16.4	1.6a	11.6a	-	-	0.3a	4.1b
		경삽	40	100	1.9a	10.3a	6.25b	10.16a	7.77a	7.90a
	105	엽삽	80	20.7	1.5a	7.5b	0.4	5.2	0.2a	9.2a
		경삽	35	100	2.2a	8.8a	9.15a	8.84a	7.77a	8.16a
	128	엽삽	80	18.7	0.9a	7.1b	-	-	0.2a	9.3a
		경삽	35	100	1.4a	10.2a	9.07b	9.44a	5.45a	9.82a
수호초 <i>Pachysandra terminalis</i>	72	엽삽	100<	53.6	-	-	1.4a	4.1b	1.2a	7.8a
		경삽	70	100	1.70a	8.30a	4.92a	8.14a	2.91a	7.14a
	105	엽삽	100<	42.6	-	-	1.5a	5.9a	1.0a	6.1a
		경삽	55	100	1.50a	7.30a	4.5ab	7.62ab	3.03a	6.52a
	128	엽삽	100<	56.1	0.3	5.0	1.9a	5.3ab	1.2a	7.8a
		경삽	50	99.3	1.10a	6.40a	3.63b	6.14b	2.61a	6.12a
송엽국 (사철채송화) <i>Lampranthus spectabilis</i>	72	엽삽	80	48.0	1.1a	13.0a	2.4c	13.4b	3.3a	17.5a
		경삽	55	100	1.10a	15.3a	8.25a	15.32a	3.55a	14.34a
	105	엽삽	70	65.7	1.1a	10.0c	3.4b	22.6a	3.2a	15.5ab
		경삽	45	100	1.20a	13.7ab	9.92a	12.40ab	3.86a	13.78a
	128	엽삽	70	56.4	0.7a	11.4b	4.8a	19.2a	3.5a	12.8b
		경삽	40	100	0.7a	9.9b	6.77a	9.74b	3.16a	13.34a
와송	72	엽삽	100<	61.7	-	-	1.7a	-	2.1a	6.0a
		경삽	100<	100	2.0a	5.5a	1.51ab	5.28a	1.21a	5.28a

시험작물	처리내용		생산 소요 기간 (일)	생존 율 (%)	번식방법별 계절별 생육비교(cm)					
					봄		여름		가을	
	플러그 트레이	번식방법			초장	근장	초장	근장	초장	근장
<i>Orostachys japonica</i>	105	엽삽	100<	65.1	0.5a	2.5b	1.5b	3.8b	2.1a	5.8a
		경삽	65	98.7	1.7a	5.3a	2.26b	5.38a	1.17a	5.32a
	128	엽삽	100<	70.9	0.2a	4.3a	1.5ab	5.2a	2.5a	7.6a
		경삽	50	100	1.6a	5.3a	2.43a	5.24a	1.25a	5.22a

J - : 측정불가, 100< : 100일 이상소요, J 최소유의차(LSD)검정결과 같은 문자는 5% 수준에서 유의성(차이)이 없음을 의미함

또한 플러그트레이 규격별로는 생육에 큰 차이는 없었으며, 묘생산 소요일수가 공정생산에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 작물별로는 기린초, 가는기린초, 들나물, 땅채송화 등이 경삽시 묘 생산소요일수가 40일 이하로 다른 작물에 비해 짧은 경향이 있었다. 첫째, 기린초, 가는기린초, 알뜰, 땅채송화 등이 105공과 128공 플러그 트레이에서 35일이었고, 72공에서는 40일로 나타났다.

둘째, 설악애기린초는 105공과 128공이 40일, 72공이 45일이었다. 셋째, 들나물은 72공, 105공, 128공 각각 60일, 35일, 35일이었다. 넷째, 수호초는 각각 70일, 55일, 50일이고 와송은 72공이 100일 이상, 105공이 65일, 128공이 50일로 나타났다. 한편 경삽(줄기꽃이)시 생육은 플러그 트레이에 관계없이 초장, 근장이 대체적으로 차이가 크게 없는 것으로 분석되었다.

계절별 묘 생육은 경삽(줄기꽃이)시 작물에 관계없이 봄, 가을철에 생육이 양호하였다(표 39). 작물별로는 기린초, 가는기린초, 들나물, 땅채송화 등이 계절별 생존율에서 높게 나타났다. 반면에 엽삽(잎꽃이)시 들나물, 알뜰, 수호초 등은 봄 생존율이 10% 이하로 나타났고, 가을엔 알뜰과 땅채송화의 생존율이 각각 59.3%, 19.6%로 나타났다.

표 39. 육묘시 플러그트레이 규격에 따른 계절별 생존율

식물명	플러그 트레이 규격별	삽목방법별 계절별생존율(%)					
		경삽(줄기삽목)			엽삽(잎꽂이)		
		봄	여름	가을	봄	여름	가을
기린초 <i>Sedum kamtschaticum</i>	72공	100.0	98.0	100.0	80.0	96.0	100.0
	105공	100.0	98.0	100.0	86.0	100.0	100.0
	128공	100.0	100.0	100.0	92.0	100.0	100.0
	평균	100.0	98.7	100.0	86.0	98.7	100.0
가는기린초 <i>Sedum aizoon</i>	72공	100.0	96.0	100.0	76.0	84.0	100.0
	105공	100.0	100.0	100.0	82.0	88.0	100.0
	128공	100.0	100.0	100.0	90.0	96.0	100.0
	평균	100.0	98.7	100.0	82.7	89.3	100.0
설악애기기린초 <i>Sedum middendorffianum</i>	72공	100.0	93.1	100.0	44.0	44.0	86.0
	105공	100.0	94.3	100.0	64.0	96.0	90.0
	128공	100.0	78.1	100.0	34.0	90.0	90.0
	평균	100.0	88.5	100.0	47.3	76.7	88.7
스프리움 (단풍세덤) <i>Sedum sprium</i>	72공	100.0	100.0	100.0	44.0	-	86.0
	105공	100.0	100.0	100.0	22.0	-	84.0
	128공	100.0	98.0	98.0	36.0	96.0	94.0
	평균	100.0	99.3	99.3	34.0	96.0	88.0
돌나물 <i>Sedum sarmentosum</i>	72공	100.0	98.0	100.0	2.0	92.0	96.0
	105공	100.0	100.0	100.0	6.0	92.0	76.0
	128공	100.0	100.0	100.0	8.0	94.0	100.0
	평균	100.0	99.3	100.0	5.3	92.7	90.7
알 붐 (백변경초) <i>Sedum album</i>	72공	100.0	50.0	100.0	2.0	-	70.8
	105공	100.0	86.0	100.0	0.0	-	64.8
	128공	100.0	74.0	100.0	2.0	-	42.2
	평균	100.0	70.0	100.0	1.3	-	59.3
땅채송화 <i>Sedum oryzifolium</i>	72공	100.0	100.0	100.0	31.0	4.2	13.9
	105공	100.0	100.0	100.0	26.0	13.3	22.9
	128공	100.0	100.0	100.0	21.0	13.3	21.9
	평균	100.0	100.0	100.0	26.0	10.3	19.6
수호초 <i>Pachysandra terminalis</i>	72공	100.0	100.0	100.0	4.0	69.4	87.5
	105공	100.0	100.0	100.0	4.0	40.0	83.8
	128공	100.0	98.0	100.0	16.0	59.4	93.0
	평균	100.0	99.3	100.0	8.0	56.3	88.1
송엽국 <i>Lampranthus spectabilis</i>	72공	100.0	100.0	100.0	32.0	26.0	86.1
	105공	100.0	100.0	100.0	20.0	100.0	77.1
	128공	100.0	100.0	100.0	52.0	46.0	71.1
	평균	100.0	100.0	100.0	34.7	57.3	78.1
와송 <i>Orostachys japonica</i>	72공	100.0	100.0	100.0	6.0	86.0	93.1
	105공	100.0	96.2	100.0	24.0	78.0	93.3
	128공	100.0	100.0	100.0	26.0	96.0	90.6
	평균	100.0	98.7	100.0	18.7	86.7	92.3

↓ 생존율은 삽목갯수 대비 생존갯수의 비율

3. 벽면녹화 최적화 환경관리 기술 개발

가. 벽면환경 모니터링

식생관 방향에 따른 월별 무관수 배지의 수분 보유력은 동향에서 가장 높았으며, 다음으로 북향, 서향, 남향 순으로 나타났다(표 40). 무관수 배지내 토양수분의 경시적 변화를 살펴보면, 7월에 수분보유력이 최대로 높아졌다가 8월 이후부터 완만하게 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히 4~6월과 10월은 수분 보유력이 가장 낮은 시기로 나타났다.

표 40. 식생관 방향에 따른 월별 무관수 배지의 수분변화

구분	대기습도 (%)	무관수 배지내 수분(%)			
		동	서	남	북
평균	59.2	46.7	4.6	4.1	13.1
4~6월	51.5	7.7	5.9	5.7	6.1
7월	69.3	88.9	8.9	7.2	21.0
8월	66.9	74.5	3.4	2.7	20.2
9월	57.5	54.8	4.1	4.9	13.5
10월	50.8	7.5	0.5	0.1	4.6
상관계수 J		0.9722*	0.5576	0.4252	0.9872*

주 : J 방향과 대기습도의 상관분석결과, 동향과 북향이 유의수준 1%에서 통계적으로 유의미함

관수 및 양액처리 배지 온도는 벽면 방위 모두에서 대기온도에 비해 전체적으로 낮아지는 경향을 보였다. 특히 북향 배지 온도가 무관수에서 2.1℃, EC 0.5 dSm⁻¹에서 2.1℃, EC 1.0 dSm⁻¹에서 2.3℃로 각각 감소하였다.

표 41. 식생관 방향에 따른 월별 EC 농도별 온도변화

구분	대기 온도 (°C)	무관수				EC 0.5 dSm ⁻¹				EC 1.0 dSm ⁻¹			
		동	서	남	북	동	서	남	북	동	서	남	북
평균	25.6	24.2	24.6	24.6	23.5	24.5	24.0	24.7	23.5	23.6	24.1	24.1	23.3
4~6월	22.1	26.4	26.6	26.3	26.1	26.4	25.8	26.2	25.7	26.2	25.9	25.9	25.5
7월	28.0	27.6	28.0	27.4	27.5	28.0	27.5	27.9	27.4	27.7	27.7	27.4	27.6
8월	30.6	29.1	29.7	29.5	27.9	29.5	28.7	29.4	28.3	27.6	29.0	28.7	27.8
9월	26.0	22.5	22.9	23.1	21.6	22.8	22.2	23.1	21.4	21.7	22.3	22.5	21.5
10월	21.3	15.6	15.8	16.8	14.3	15.9	15.5	16.9	14.5	15.0	15.7	16.3	14.3
온도변화 J		-1.4	-1.0	-1.0	-2.1	-1.1	-1.6	-0.9	-2.1	-2.0	-1.5	-1.5	-2.3
상관계수		0.772	0.778	0.785	0.753	0.746	0.742	0.763	0.720	0.677	0.748	0.743	0.717

주 : J 온도변화는 대기온도평균과 EC농도별 온도의 차이임

작물의 종류에 관계없이 무관수에 비해 20~30%의 배지수분을 유지하면서 양분공급이 되는 것이 생육이 양호한 경향이였다. EC 0.5 ~ EC 1.0 dSm⁻¹으로 양분공급시 정식 60일후부터 분지수와 초장이 증가하다가 그 이후부터 분지수와 초장의 증가가 적어지는 경향을 보였다. 이와 같은 경시적 변화의 특성에서 볼 수 있듯이 관수 및 양액처리 배지에서 관리하는 벽면 녹화 소재로는 돌나물>땅채송화>송엽국>기린초>가는기린초 순으로 분지수가 많은 것으로 나타났다.

표 42. 관수 및 양액처리에 따른 벽면녹화 식물 생육의 경시적 변화

시험작물	EC (dSm ⁻¹)	정식 30일후		정식 60일 후		정식 90일후	
		초장(cm)	분지수개	초장(cm)	분지수개	초장(cm)	분지수개
기린초 <i>Sedum kamtschaticum</i>	무관수	10.3b	0.6b	18.0b	1.3c	16.5b	5.4b
	0.5	13.1a	0.8a	22.1a	3.7b	22.7a	9.7a
	1.0	13.3a	0.9a	23.6a	5.8a	25.6a	9.8a
가는기린초 <i>Sedum aizoon</i>	무관수	8.5b	0.8a	12.1b	0.9c	14.0b	4.2b
	0.5	10.6a	0.7a	16.6a	2.2b	17.3a	11.5a
	1.0	11.6a	0.8a	18.2a	5.2a	19.9a	11.2a
설악애기기린초 <i>Sedum middendorffianum</i>	무관수	4.6b	2.4a	7.2b	4.6b	7.9b	5.0a
	0.5	5.6a	2.6a	8.1a	4.8b	8.4b	5.7a
	1.0	6.0a	2.7a	9.6a	6.0a	10.3a	6.2a
스프리오움(단풍세덤) <i>Sedum sprium</i>	무관수	4.6a	2.4a	6.2a	4.9a	6.6b	5.7a
	0.5	4.5a	2.4a	6.5a	3.8b	6.9b	4.6b
	1.0	4.9a	2.6a	7.3a	3.7b	7.1a	3.6b
돌나물 <i>Sedum sarmentosum</i>	무관수	16.8b	2.3c	35.2b	5.6c	24.4b	3.0c
	0.5	26.8a	6.5a	50.6a	9.1b	40.3a	8.1b
	1.0	24.3a	4.3b	51.3a	15.2a	45.7a	13.3a
알뚝(백변경초) <i>Sedum album</i>	무관수	4.4b	2.1b	6.9b	3.5b	7.4b	4.5b
	0.5	4.7b	4.5a	7.2b	3.4b	10.5a	5.4b
	1.0	6.1a	5.0a	11.3a	5.9a	15.2a	8.4a
땅채송화 <i>Sedum oxyzifolium</i>	무관수	9.5b	7.6b	13.5a	6.7b	11.9b	9.2b
	0.5	11.8a	9.5a	14.9a	8.4b	13.4a	11.6a
	1.0	10.5a	11.5a	14.4a	11.0a	15.5a	12.4a
수호초 <i>Pachysandra terminalis</i>	무관수	5.2a	4.1a	7.0a	9.2b	7.1a	7.2a
	0.5	5.5a	3.4a	7.1a	8.0b	7.2a	8.5a
	1.0	5.6a	4.8a	6.9a	10.2a	7.5a	8.3a
송엽국(사철채송화)	무관수	5.9c	1.3b	17.9b	6.7b	18.1b	6.8b

시험작물	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	정식 30일후		정식 60일 후		정식 90일후	
		초장(cm)	분지수(개)	초장(cm)	분지수(개)	초장(cm)	분지수(개)
<i>Lampranthus spectabilis</i>	0.5	10.0a	5.7a	22.3a	7.8b	24.2a	8.1a
	1.0	9.8b	5.0a	25.7a	9.3a	30.8a	8.8a
와 송	무관수	3.0a	-	2.8a	-	3.2a	-
<i>Orostachys japonica</i>	0.5	3.6a	-	3.0a	-	3.7a	-
	1.0	3.5a	-	4.0a	-	4.1a	-

주 : J 동서남북 방향 평균성적임, J 양액공급구의 배지내 수분은 20~30%로 유지시킴
 J 최소유의차(LSD)검정결과 같은 문자는 5% 수준에서 유의성(차이)가 없음을 의미함

나. 다육식물 벽면녹화기술 실증시험 결과

시험작물	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	동		서		남		북	
		초장(cm)	분지수(개)	초장(cm)	분지수(개)	초장(cm)	분지수(개)	초장(cm)	분지수(개)
기린초 <i>Sedum kamtschaticum</i>	무관수	2.85b	2.27b	7.59b	4.31b	3.15b	1.58b	4.37b	1.75b
	0.5	9.93a	4.92a	4.30a	2.31a	9.25a	4.47a	14.62a	4.17a
	1	7.23ab	2.28b	6.37ab	2.28b	5.31b	3.15ab	12.91b	3.47ab
가는잎기린초 <i>Sedum aizoon</i>	무관수	3.17b	3.40a	8.67b	3.38a	2.58b	1.67a	4.01b	2.63b
	0.5	12.63a	4.53a	7.54a	3.67a	10.85a	5.53a	15.77a	6.00a
	1	5.95b	2.87a	9.86b	3.00a	6.68b	4.00a	15.99a	2.44b
돌나물 <i>Sedum sarmentosum</i>	무관수	2.45b	1.47b	5.92a	4.27b	4.33b	6.07b	3.49c	4.80b
	0.5	9.47a	17.07a	5.59a	9.13ab	14.19a	31.53a	13.17a	19.93a
	1	8.16a	20.07a	5.90a	13.73a	9.75a	24.60a	10.07b	20.93a
땅채송화 <i>Sedum oryzifolium</i>	무관수	4.50b	4.47b	11.87ab	9.27ab	7.96c	7.93b	4.63b	6.73b
	0.5	13.97a	16.33a	8.25b	6.60b	16.43a	21.67a	16.74a	15.60a
	1	13.41a	20.13a	14.14a	11.83a	11.83b	17.33a	16.17a	17.53a

주 : J 최소유의차(LSD)검정결과 같은 문자는 5% 수준에서 유의성(차이)가 없음을 의미함

작물별로는 기린초, 가는기린초, 돌나물, 땅채송화 등이 경삼시 묘 생산소요일수가 40일 이하로 다른 작물에 비해 짧은 경향과 계절별 생존율이 높게 나타난 결과를 토대로 벽면식생판에 실증시험을 실시하였다. 기린초 등 4작물 모두 무관수에 비해 양액을 처리한 시험구에서 생장이 좋았으며 EC 0.5, EC 1의 성장정도가 통계적으로 큰 차이를 보이지 않았다. 양액처리에 따른 경제성을 고려하면 EC 0.5 정도의 양액정도가 작물이 자라는데 적절한 양분정도로 판단되었다.

다. 다육식물 벽면녹화 소재생산기술 경제성 분석

손실적요소(A)	이익적 요소(B)
❖ 증가되는 비용 : - 0-	❖ 감소되는 비용 - 육묘관리 노력비 절감 : 72공트레이(10분) 대비 750원 - 플러그트레이 구입비 절감 : 72공 트레이(5매 증) 대비 2,250원 - 상토구입비 절감 : 72공 트레이(16.5L 증) 대비 3,465원 ❖ 증가되는 이익 - 육묘일수단축에 의한 생산성증가 : 1,000주×14.3%×300원=42,900원
계(A) : 0	계(B) : 49,365원
추정 수익액(B-A) = 49,365원	

플러그트레이에 따른 육묘관리 노력비에 대한 경제성을 분석해 보면 128공이 72공에 비해 노력비 절감이 750원, 플러그트레이 구입비 절감이 5매 증가 대비 2,250원이 감소되었으며 상토구입비가 72공 트레이 대비 3,465원이 절감되었다. 이에 따라 육묘일수단축에 의한 생산성이 1,000주 대비 14.3%의 절감 효과를 보여 추정 수익액이 49,365원으로 추정되었다.

4. 현장 적합 다육식물 설치모델(매뉴얼) 개발

일반인들에게도 누구나 손쉽게 다육식물을 활용한 벽면을 가꿀 수 있도록 식생판 관리 매뉴얼을 작성하였다. 매뉴얼 주요 내용은 연구결과를 종합하여 벽면식재에 적합한 다육식물과 플러그트레이를 이용한 공정육묘 생산기술을 제시하였고 시비관리로는 선인장표준배양액을 급액하며 기타 벽면식재 식물의 생육을 유지관리하기 위한 광조건 등 환경관리 방법을 체계적으로 작성하여 소비자가 쉽게 이용토록 하였다.

이 관리 매뉴얼은 경기도농업기술원 홈페이지(www.nongup.gg.go.kr)에 2015년 11월부터 정보를 제공코자 한다.

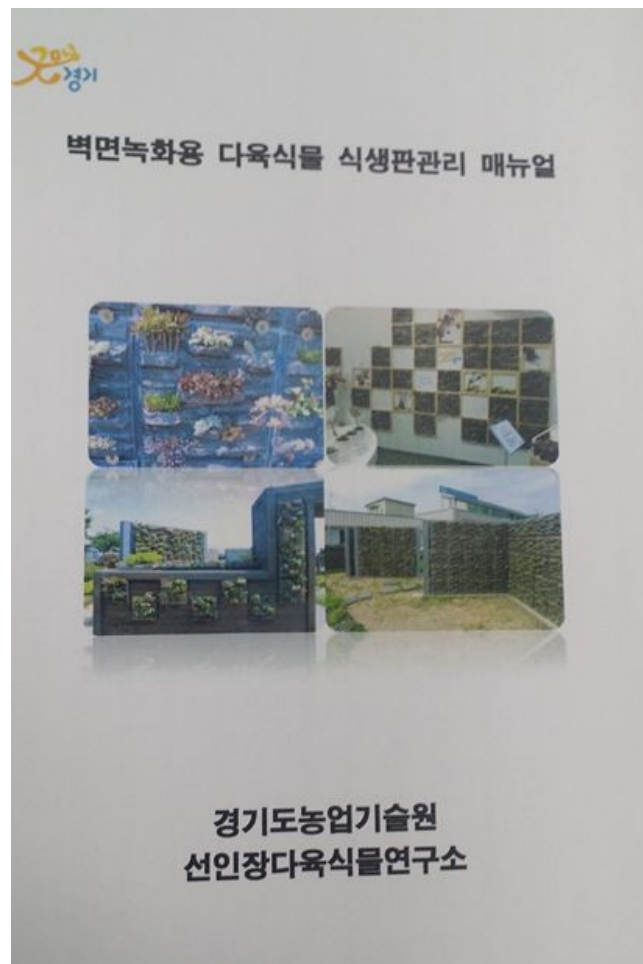


그림 35. 식생판 매뉴얼

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 목표달성도

구분		세부내용	평가의 착안점 및 기준	달성도
1차년도	총괄 /1세부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벽면녹화의 도시열섬 저감효과 목표설정 ○ 시스템 Prototype제안 및 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 도시열섬 저감목표의 타당성 및 실현 가능성 - Prototype의 제안여부 	100%
	제1협동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벽면유형 3종의 동서남북 방향별 근권 수분 변화패턴 구명 	<ul style="list-style-type: none"> - 패널형 : 4방향(동/서/남/북) - 플랜터형 : 4방향(동/서/남/북) - 와이어형 : 2방향(동서형, 남북형) 	100%
	제2협동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다육식물 활용 벽면녹화 배지개발 ○ 정식시기 구명 ○ 식생 방향에 따른 생육특성 구명 	<ul style="list-style-type: none"> - 다육식물 식재용 배지개발 1종 - 월동 및 월하에 적합한 식재 시기 - 식생방향별 적합소재 선발 5종 	100%
2차년도	총괄 /1세부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시스템유형별 효과분석 ○ 녹화유형별 환경성능 정량화 방안 모색 ○ 벽면녹화를 위한 빗물이용 최적 저류조 용량 모의 및 실증 ○ 벽면녹화에 의한 증발산량의 시계열적 변화 측정 ○ 3D Modeling기법을 활용한 하부구조의 디테일 개발 및 현장 적용성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 유형별 효과분석을 위한 조사여부 - 녹화유형별 환경성능 정량화 방안 수립여부 - 벽면녹화를 위한 빗물이용 최적 저류조 용량 모의 및 실증을 위한 실험구 조성 및 실험여부 - 벽면녹화에 의한 증발산량 측정방안 수립 및 시행 여부 - 3D Modeling기법을 활용한 하부구조의 디테일 개발 및 현장 적용성 평가를 위한 디자인도면 작성여부 	90%
	제1협동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벽면녹화 근권 수분제어 자동화 모듈개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 벽면녹화 근권 수분제어 포인트 설정 - 벽면녹화 근권 수분제어 프로그램 설계도 작성 - 벽면녹화 근권 수분제어 윈도우기반 비주얼 베이직(Visual Basic) 프로그램 개발 - 벽면녹화 근권수분 제어 프로그램 현장적용 여부 	100%
	제2협동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다육식물 등 소재 공정생산 기술개발 ○ 벽면녹화 환경 모니터링 	<ul style="list-style-type: none"> - 벽면녹화용 다육식물 10종 - 배지내부와 외부의 환경 감시 및 데이터화 	100%

3차년도	총괄 /1세부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시열섬 저감효과 정량화 방안 마련을 위한 모니터링 및 분석 ○ 개발 시스템의 활용 매뉴얼 작성 ○ 개발 시스템의 녹화 지속가능성 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 도시열섬 저감효과 정량화 방안 마련을 위한 모니터링 및 분석여부 - 개발 시스템의 활용 매뉴얼 작성여부 - 시스템 적용 초종 80%이상 월동 및 녹피면적 80% 이상 달성(시스템 설치완료시) 	100%
	제1협동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벽면녹화 근권 양분관리 자동화 모듈 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 벽면녹화 근권 양분제어 포인트 설정 - 벽면녹화 근권 양분제어 프로그램 설계도 작성 - 벽면녹화 근권 양분제어 윈도우기반 비주얼 베이직(Visual Basic) 프로그램 개발 - 벽면녹화 근권 양분제어 프로그램 현장적용 여부 	100%
	제2협동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다육식물을 활용한 설치 및 유지관리 매뉴얼 개발 	<ul style="list-style-type: none"> - 다육식물을 활용한 설치.유지관리 매뉴얼 개발여부 	100%

2. 관련분야에의 기여도

- 건물외장재를 대체할 수 있는 건물일체형 벽면녹화시스템 Prototype 제안을 통한 건물녹화시장 확대 및 적용 가능성 제고
- 유지관리비용 저감 및 식물 성장기반의 지속가능한 녹화구조 구성을 통한 도시경관 개선 및 녹시율 증진 기여
- 벽면녹화 식물 양수분 공급 자동화를 통한 효율적 관리구현으로 유지관리비 저감
- 벽면녹화기술 개발로 도시의 녹지확보, 에너지절감, 생태보존 등 도시열섬 효과 개선을 위한 기반기술 확보
- 다육식물을 이용한 벽면녹화 재배 매뉴얼 개발로 효율적 관리 및 시장 확대
- 벽면녹화기술 개발로 공정생산체계 확립 및 환경관리 기술 개발로 도시미관 및 어메니티 증진

제5장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발성과

가. 기술실시

기술거래(이전)					
번호	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)
1	통상실시	수직면녹화용 식생패널	영농조합법인 선인장연구회	2013.10.14	1,350천원
2	통상실시	벽면녹화를 위한 양수분 자동 공급장치	미래센서	(2015. 9 예정)	

나. 지식재산권

지식재산권(발명특허, 실용신안, 의장, 상표, 규격), 신품중, 프로그램개발 등으로 구분하고, 세부적으로 전부(건별로)기록하며, 국외인 경우 반드시 국명을 기록합니다]									
구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기타
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
발명특허	수직면 녹화용 식생 패널	대한민국				경기도	2014.1.15	제10-1353937	
발명특허	굴곡형 패널을 활용한 건물일체형 벽면녹화시스템	대한민국	한국건설기술연구원	2013-07-04	10-2013-0078452	한국건설기술연구원	2015-04-28	10-1517498	
발명특허	벽면녹화를 위한 양수분 자동공급장치	대한민국	조창휘	2013.12.18	10-2013-0158289				

다. 논문

논문(국내외 전문학술지) 게재							
번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)
1	공동주택단지 내 인공지반 녹지조성 형태에 따른 우수유출 저감효과	한국생태환경건축학회 논문집	남미아	Vol.13, No.1	국내	한국생태환경건축학회	비SCI

국내 및 국제 학술회의 발표(학술회의명을 세부적으로 전부(건별로) 기록하고, 국외인 경우 반드시 국명을 기록.- 본 연구과제의 수행결과로 발표한 것만 기재합니다.)					
번호	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 (벽면녹화의 공법에 관한 국내외 기술 동향)	신상희, 장대희, 김현수, 남미아	2013.05.10	한국과학기술회관	한국
2	한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 (CO2 농도완화 총량 산정을 통한 공동주택 조경수준 비교 연구)	장대희	2013.05.10.	한국과학기술회관	한국
3	한국환경영향평가학회 2014 춘계학회 (건축물녹화의 환경성능 평가요소 중요도 평가)	신상희, 김연미, 남미아, 장대희	2014.05.16	기상청 국립기상연 구소	한국
4	2014 한국원예학회 정기총회 및 제100차 춘계학술발표회 (벽면녹화 유지관리를 위한 원격제어 양수분 자동조절 시스템 개발)	조창휘, 전명희 심상연, 이원석	2014.05.30	서울대학교 평창캠퍼스	한국
5	한국생태건축학회 춘계학술발표대회 (도시열섬 저감을 위한 건물일체형 벽면녹화시스템 기술 개발)	장대희, 신상희	2015.05.08	한국과학기술회관	한국

라. 정책활용

정책활용 내역(농정시책 반영 및 정책건의)				
번호	정책활용상태	주관부처	시책추진실적 및 계획	활용년도
1	농촌진흥청 중앙영농활용 과제 채택(2014. 2)	농촌진흥청	“벽면녹화(식생패널)용 공정 육묘 생산에 적합한 세덤류 식물 및 번식방법 선발”에 관한 기술이 채택되어 향후 농촌진흥청 기술보급 사업에 활용될 계획임	2013년

마. 홍보/전시

홍보실적(신문, 방송, 저널 등)				
번호	홍보유형	매체명	홍보내용	홍보일자

1	뉴스	MBC NEWS	'콘크리트의역습' 도심 침수...대책은?	2013-07-07
2	신문	경기신문	도 농기원, 선인장연구회와 기술 이전협약 - 수직면식생패널 기술	2013.10.15
3	신문	한계레	빗물시설 확대 설치 필요성 제시- 빗방울 모으고 다시 쓰고..서울 '빗물친화도시' 꿈꾸다	2013.07.14
4	신문	경기신문	도 농기원, 선인장 연구회 기술 이전 협약	2013.10.15.
5	신문	중부일보	도 농기원, 선인장 연구회 기술 이전 협약	2013.10.15.
6	신문	중부일보	도농기원 선인장 페스티벌 14만5천명 유치	2014.10.01
7	신문	아주경제	경기농기원 개발'다육식물 벽면전용 식생판'주목	2015.07.05
8	신문	불고공뉴스	벽면에 알록달록 다육식물 심어볼까	2015.07.05
9	신문	서울경제	경기농기원개발-'다육식물 벽면전용 식생판'벽면녹화에 적합	2015.07.06
10	신문	이뉴스투데이	경기도농기원개발'다육식물 벽면전용식생판'	2015.07.06
11	신문	매일일보	경기농기원개발'다육식물 벽면전용 식생판'주목	2015.07.06
12	신문	천지일보	경기도농기원개발'다육식물 벽면전용식생판' 개발	2015.07.06
13	신문	국제뉴스	경기농기원 벽면녹화 기술개발	2015.07.06
14	신문	환경TV	경기농기원 벽면녹화 기술개발	2015.07.06
15	신문	네이버뉴스	경기도농기원, 벽면에 다육식물 키우는 액자 화분 개발	2015.07.06
16	뉴스보도	경기GTV	다육식물 키우는 액자 화분	2015.07.07
17	뉴스보도	OBS네트워크경인	다육식물 키우는 액자 화분 인기	2015.07.08
18	뉴스보도	YTN세계속의 경기도	식물 액자로 친환경 벽면을	2015.07.08
19	전문지	라펜트	벽면녹화 , 민간의 시대가 온다	2015.03.02
20	신문	한국조경신문	기술개발로 질적향성 이끌어야	2015.03.03

전시회 등 참여(전시회, 박람회, 제품설명회 등)					
번호	유형	행사명	전시품목	장소	활용년도
1	박람회	2014 대한민국 조경박람회	포스터 및 시작품	코엑스 A hall	2차년도 2014
2	전시회	선인장패스티벌	식생패널	고양 화정역광장	2013
3	전시회	고양국제꽃박람회	식생패널	고양 호수공원	2014
4	세미나	인공지반녹화협회 2015정기총회 및 기술세미나	벽면녹화시스템	서울대학교	2015
5	박람회	Ecobuild 2015	cool greening system	LONDON, U.K.	2015
6	전시회	고양국제꽃박람회	식생패널 전시	고양 호수공원	2015

2. 성과활용계획

가. 주요 핵심 기술 및 차별화 전략

○ 개발기술의 특허등록

- 건물일체형 벽면녹화시스템의 기능과 토양수분 및 양분 유지관리시스템의 기능을 복합적으로 활용하는 패키지 특허기술출원 및 등록 추진
- 기존 단일기능을 가진 기술특허의 일반적인 제품을 보완하고 각각의 기능이 단일 시스템으로 구현될 수 있도록 기술개발 : 사업화에 있어 경제성 확보를 위한 기술 차별화 · 단계화 전략 수립
- 기능일체화 및 개발기술의 패키지 제품의 모듈화를 통하여 공간적용성이 높은 제품으로 차별화 전략구현

나. 기대성과 및 파급효과

○ 기술적 측면

- 도시열섬현상 가속화에 대비하여 건축물 외관 디자인 및 소재적용 기술로 대체할 수 있는 건축물 외피 조성기술 개발
- 도시개발 목표 및 환경목표에 따라 도시열섬 저감을 위한 정량적 계획기준을 수립할 수 있는 기본 모듈제시
- 국내 건설상황을 고려한 벽면녹화 시스템의 설치 및 용이한 유지관리기술 기반

확보

○ 기후변화 대응적 측면

- 도시 열섬현상 저감 및 경관개선 효과 확보
- 빗물저감시설과 연계시 우수유출 저감효과 및 분산식 비점오염관리기술 제공
- 녹화시스템 적용 전·후 및 도시차원의 벽면녹화 적용 환경효과 분석을 통한 친환경 도시개발 유도
- 도심지 내 녹시율 증진을 통한 자연생태계 복원

○ 경제적·산업적 측면

- 지속가능하고 건물일체형의 벽면녹화시스템을 적용함으로써 과도한 녹화면 유지 관리 비용의 절감 및
- 도시기후 개선을 통한 에너지 절감 및 경제적 비용 절감
- 벽면녹화시장 확대를 통한 화훼농민 및 관련시장의 신규시장 창출

○ 일자리 창출 측면

- 빗물관리 수요를 확대함으로써 설계 용역 분야, 제품 생산 및 시공 분야, 모니터링 및 품질관리 분야의 고용확대가 예상됨.
- 분산식 빗물관리 효과 대비 비용분석 결과는 산업기반 육성과 그로 인한 일자리 창출 효과가 예상됨.

다. 연구결과의 기업 활용방안

(가) (주)한국그린인프라연구소

○ 개발 시스템의 제품화 계획

- 연구개발을 통해 개발된 시스템은 다음의 5단계과정을 거쳐 제품화 계획 추진
- 1단계 Test-bed 시공 이후 적용시스템의 현장 성능 및 적용성의 검토하고 제품화를 위한 단위모듈 제작방식을 보완함
- 현장시험시공에서 얻어진 시공과정의 모니터링과 유지관리방안을 기반으로 제품 매뉴얼 작성함
- 2단계 기술이전 및 사업화를 도모하고 이를 생산프로세스에 연계함

- 3단계 기술 및 제품의 홍보 단계계획으로 기술 자료를 작성하여(시공표준 상세 및 시방, 단가, 일위대가, 성능 등) 홍보자료를 제작하고 홍보 및 소개를 실시함
- 4단계 시장조사 단계계획으로 공급계획을 수립하기 위한 시장조사 단계에서 기존 시설의 시장조사와 더불어 본 제품의 점유도를 분석하고 단계별 생산계획과 관련된 공급계획을 수립함
- 5단계 제품의 생산 및 공급계획으로 상기에서 분석된 내용을 토대로 생산방식 및 단가, 물량을 결정하고 1차 생산을 실시하고 추후 위탁, 벤처기업 등을 고려하여 생산단가를 결정함

○ 판로확보 및 마케팅 계획

- 현재, 당사에서는 옥상녹화 관련 제품을 생산하여 조달 납품하고 있으며, 조경설계분야 다양한 작업을 연계, 진행하고 있어, 각 설계대안의 제시를 이용하여 폭넓은 마케팅 가능
- 판로 확보는 직접 설계프로젝트 적용 뿐만아니라, 유사 대형 건축 설계사무소 및 관공서, 건설사에 설계를 반영하여 판로확보를 할 수 있을 것으로 사료됨

제6장 참고문헌

- 강수학(2003) 서울지역 벽면녹화 현황 및 상록성 덩굴식물의 적응연구. 서울시립대 산업대학원 석사학위논문.
- 강태순, 이명우. 2014. 생태면적을 적용을 통한 도시 내 벽면녹화의 지역적 효과 분석-서울시 중구를 사례로-. 한국조경학회지 42(5):88-100.
- 김주환(2009) 학교건물에서의 환경녹화기법 적용에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구, 영남대학교 석사학위논문.
- 노승무(2004) 벽면녹화 기술개발과 덩굴식물의 생장에 관한 연구. 서울시립대 산업대학원학위 석사학위논문.
- 박명희, 김해동(2011) 벽면녹화가 도시기온 저하에 미치는 영향에 관한 관측적 연구, 환경과학논집 15(1) p114-129.
- 박용진(1997) 입면녹화용 덩굴식물의 분포 특성. 환경생태학회지 11(3): pp.270-276
- 박화수(2003) 서울시내 건축물의 벽면녹화 실태분석 및 개선방안. 서울여자대학교 대학원 석사학위논문.
- 윤은주, 이진희, 김성식(2011) 공동주택 입면녹화에 의한 이산화탄소 저감효과.
- 에코엔바이오, 환경부(2008) 도시인공지반의 자연생태계복원을 위한 기술개발.
- 이은희, 김용아(2000) 대도시 주거용 건물의 벽면녹화에 대한 인식도 및 실태 조사 : 서울특별시를 중심으로. 한국조경학회지 77권 pp.181-190.
- 정태건, 소재현, 이은정, 전기성(1999) 방음벽 녹화를 위한 덩굴식물 활용성 연구. 한국환경복원녹화기술학회지.
- 한승원(2012) 도시녹화 공간의 도시환경복원적 가치평가 기술 개발, 농촌진흥청 계속과제.
- 한승호, 2009, '도시녹화를 위한 건물벽면녹화시스템', 도시문제 44(485): pp.24-27.
- 東京都(2006) 壁面緑化 ガイドライン, 東京都, 日本I, 9-14.
- Akbari H., Kurn D. M., Bretz S. E., Hanford J.(1997) Peak power and cooling energy savings of shade trees. Energy and Building, 25(2), 139 - 48.
- Di H., Wang D. (1999) Cooling effect of ivy on a wall. Exp Heat

Transfer, 12, 235 - 245.

- Dinsdale S., Pearen B., Wilson C. (2008) Feasibility study for green roof application on Queen's University campus. Queen's Physical Plant Services
- Hoyano A. (1988) Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Energy and Building*, 11 (1-3), 181 - 199.
- Ip K., Lam M., Miller A. (2010) Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy. *Building and Environment*, 45(1), 81 - 88.
- Köhler M. (2007) Rain water management with green roofs and living walls
- Köhler M. (2008) Green facades - a view back and some visions. *Urban Ecosyst*, 11, 423-426.
- Marc Ottelé, Hein D. van Bohemen, Alex L.A. Fraaij(2009) Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls
- McPherson G. E., Herrington L. P., Heisler G. M. (1988) Impacts of vegetation on residential heating and cooling. *Energy and Building*, 12(1), 41 - 51.
- Miller A., Shaw K., Lam M. (2007) Vegetation on building facades: "Bioshader". Case Study Report
- Papadakis G, Tsamis P, Kyritsis S. (2001) An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Building*, 33(8), 831-836.
- Perez G., Rincon L., Vila A., Gonzalez J. M., Cabeza L. F. (2011) Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 88(12), 4854-4859.
- Schmidt M. (2006) Energy and water, a decentralized approach to an integrated sustainable urban development. RIO6 World Climate and Energy Event, Rio de Janeiro, Brazil.
- Stec W. J., Van Paassen A. H. C. , Maziarz A. (2004) Modelling the Double skin facade with plants. *Energy and Building*, 37(5), 419 -

427.

- Wong N. H., Tan A. Y. K., Tan P. Y., Wong N. C. (2009) Energy simulation of greenery systems. *Energy and Building*, 41(12), 1401 - 1408.
- Wong N. H., Tan A. Y. K., Chen Y., Sekar K., Tan P. Y., Chan D., et al. (2010) Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(3), 663 - 672.

<첨부> 특허, 논문 및 시장분석 보고서

신청과제명	도시열섬 저감을 위한 저비용 지속가능형 벽면녹화 시스템 개발		
주관연구책임자	장대희	주관기관	한국건설기술연구원

1. 본 연구관련 국내외 기술수준 비교

개발기술명	관련기술 최고보유국	현재 기술수준		기술개발 목표수준	비고
		우리나라	연구신청팀		
도시열섬 저감을 위한 저비용 지속가능형 벽면녹화 시스템 개발	일본	30%	65%	100%	

2. 특허분석

가. 특허분석 범위

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2007/10/23
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 벽면 녹화용 식생(植生)장치 (planter apparatus for wall afforestation)</p> <p>< 초록 > 본 발명은 벽면(壁面) 녹화(綠化)용 식생(植生)장치에 관한 것이다. 종래의 기술에서는, 벽면 녹화용 식생에서, 식물에 물(水)의 공급이 원활하지 못하였으며, 토양 및 유기물 등 비료 성분의 유실이 심하였고, 소모적 수분 증발이 많았으며, 다양한 종류의 식물의 식생이 가능하지 아니한 문제점이 있었다. 본 발명은 식재(植栽) 포트(pot)가 구비된 식생(植生) 포트(pot)부가 복수(複數) 개 구비되고, 상기 식생 포트부가 체결된 체결용 프레임부가 식생용 케이스에 설치되고, 식생용 케이스에 설치된 보수(保水)용 매트(mat)에는 토양을 담는 공간부로서 물(水)공급용 공간부가 구비되고, 이 물(水)공급용 공간부에는 그 상방(上方)과 그 하방(下方)에 수로(水路)용 공간부가 이어지고, 상기 물(水)공급용 공간부와 이에 이어지는 수로(水路)용 공간부에는 물(水)을 흡수하여 이동시키기 위한 부직포가 설치된 것을 특징으로 하는 벽면 녹화용 식생장치에 관한 것이다. 본 발명에 의하면, 벽면 녹화용 식생에서, 식물에 물(水)의 공급이 원활하며, 토양 및 유기물 등 비료 성분의 유실이 방지되고, 소모적 수분 증발이 최소화되며, 다양한 종류의 식물의 식생이 가능하도록 하는 효과가 있다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2008/02/11
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 식생 기판 및 그 사용 방법 (VEGETATION SUBSTRATE AND METHOD OF USING THE SAME)</p> <p>< 초록 > 녹화 자재인 이끼 식물을 사용하여 벽면 녹화를 실시하는 경우, 수분이 벽면의 하부 영역에 치우쳐, 결과적으로 장기적으로 이끼가 벽면 전면에 균일하게 양생하는 것이 곤란한 문제가 있다. 본 발명은 이끼 식물이 고정된 평판 모양의 망상체에, 한쪽면의 넓은 전면에 걸쳐 건조 물이끼가 적층 및 고정되어 있는 것을 특징으로 하는 식생 기판을 제공하며, 이것에 의해 하부의 저수로부터의 건조 물이끼를 개입시킨 침투수로서 수분을 단속적으로 공급하는 것으로써, 상기의 과제를 해결할 수 있는 것을 찾아냈다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2008/05/30
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 벽면 녹화용 녹화블록을 이용한 벽면 녹화 구조 및 그 벽면녹화 공법 (the greening wall structure using greening-block for greening of wall and the greening wall construction method)</p> <p>< 초록 > 본 발명은 벽면 녹화용 녹화블록을 이용한 벽면 녹화 구조 및 그 벽면 녹화 공법에 관한 것으로, 인공토양(12a)을 외피(12b)로 감싼 식생부(12)가, 길이(11a)가 형성된 수용프레임(11)에 수용되어 구성된 녹화블록(10); “의 단면으로, 일정 길이를 형성하는 고정프레임(20)이 구성되어; 시공할 벽면을 깨끗하고 평탄하게 정리하는 벽면 정리 공정(S1); 상기 정리한 벽면에 상기 구비된 고정프레임(20)을 구비된 녹화블록(10)의 크기에 맞추어 다수 개 설치하는 고정프레임 설치 공정(S2); 상기 설치한 고정프레임(20)에 상기 구비된 녹화블록(10)의 길이(11a)로 고정프레임(20)에 걸어 녹화블록(10)을 설치하는 녹화블록 설치 공정(S3); 상기 설치된 녹화블록(10) 사이를 따라 수평, 수직으로 파이프(40)를 설치하고, 상기 설치된 파이프(40)에 드롭퍼(42)를 설치하여, 상기 설치한 드롭퍼(42)의 끝이 각 녹화블록(10)에 인입되게 설치하는 배관 공정(S4)으로 완료되어, 상기 고정프레임(20)에 의해 녹화블록(10)의 설치 및 제거가 용이하고, 벽면의 녹화 및 관리가 용이한 것이다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2008/10/31
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 건축물의 외벽 녹화구조 (OUTER WALL PLANTING STRUCTURE OF CONSTRUCTS)</p> <p>< 초록 > 본 발명은 건축물의 외벽 녹화구조에 관한 것으로, 보다 상세하게는 벽체의 외부면에 설치되고 식물이 식목된 식생용기; 상기 식생용기에 수분을 공급하는 수분공급라인; 및 상기 수분공급라인과 연통된 물저장탱크를 포함하되, 상기 식생용기에는 천연석 알갱이가 노출되도록 매입된 건축물의 외벽 녹화구조를 제공한다. 본 발명에 따르면, 벽체에 식생용기를 통해 식물이 식목됨과 함께, 상기 식생용기에는 천연석 알갱이가 외부로 노출되도록 매입되어, 미려한 외관과 자연미를 가져 친환경적이고 쾌적한 주거 환경을 도모할 수 있는 효과를 갖는다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2009/10/30
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 벽면녹화 시스템 (An afforestation system for face of wall)</p> <p>< 초록 > 본 발명은 벽면녹화 시스템에 관한 것으로, 그 목적은 식물에 수분을 지속적으로 공급할 수 있는 구조를 갖는 2개 이상의 블록으로 이루어진 식물성장블록을 실내 및 실외의 벽면에 설치하여 벽면을 녹화시키는 동시에 습도를 감지하여 일정습도이하일 때 살균된 식물 성장수를 분무하여 실내의 습도를 자동조절할 수 있음은 물론 독립적으로 설치하여 자체가 벽의 역할을 할 수 있는 벽면녹화 시스템을 제공하는 것이며, 그 구성은 내부에 중동을 갖는 통 형상으로서, 입수공 및 배수공을 갖고, 식물에 공급할 물을 저장하는 수조와; 내부에 중동을 갖는 통 형상으로서, 전면에 관통형성된 식물 성장공, 입수공 및 배수구를 갖고, 상기 수조와 연통되게 연결되어 상기 수조로부터 물을 공급받는 동시에 잉여의 물은 오버플로우시켜 상기 배수구를 통해 상기 수조 내로 송수하는 하나 이상의 식물 성장조와; 내부에 중동을 갖는 통 형상으로서, 하면에 절개형성된 수납부를 갖고, 내부 중동에 식생 물질 및 식물이 수납되어 상기 식물 성장조 내에 내장되는 식생 주머니와; 상기 수조와 식물 성장조의 내부 중동과 연통되게 연결되어 수조 내에 저장된 물을 식물 성장조 내로 송수하는 송수관과; 상기 송수관 상에 장착되어 수조 내에 저장된 물을 펌핑하는 펌프와; 상기 펌프의 작동을 제어하는 제어부로 구성되는 것을 특징으로 한다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2010/06/09
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 다양한 벽면 연출이 가능한 다목적 식생블럭구조 (Multipurpose block for plants to express variety wall)</p> <p>< 초록 > 본 발명은 건물의 옥상, 보도, 산책로, 자전거도로, 주차장 등의 인공지반을 본래의 목적대로 사용하면서 녹화시킴은 물론이고 수직면의 방음벽, 벽면녹화 시공 또는 이벤트성 행사에서 다양한 벽면을 연출 가능하도록 사용되는 다양한 벽면 연출이 가능한 다목적 식생블럭 구조에 관한 것으로 구체적으로 배양토가 재활용솜으로 부터 이탈되지 아니하도록 혼합하여 다수개의 포트가 일체로 결합된 식생블럭의 각각의 포트에 수납하고 지피 식물을 파종 식생 가능하도록 함으로서 일반 건물의 옥상, 보도, 산책로, 자전거도로, 주차장 등은 물론이고 수직면의 벽면녹화 등에도 구애됨이 없이 환경친화적으로 녹화하는 기본적인 기능 이외에도 물을 공급하는 점적호스를 식생블럭 사이 상측면으로 연결배치함으로서 지속 가능한 관수 관리를 가능케 하여 결국 도시의 경관과 환경보전에 도움이 되도록 한 인공지반 녹화를 위한 다양한 벽면 연출이 가능한 다목적 식생블럭구조에 관한 것으로서, 상기 본 발명의 구체적인 해결적 수단은, "경사를 갖는 벽면이나 또는 일반적으로 행사장 평지에 수직의 고정판(100)을 설치하고 상기 고정판(100)의 일측면에 부직포(200)를 결합하고 상기 부직포(200) 일측면에 식생블럭(300)을 설치토록 하는 통상의 수직벽면에 설치되는 식생블럭에 있어서, 사각형상으로 일측면에는 다수개의 식생홈(311)이 천공되어 있고 상기 식생홈(311)의 외주부에는 다수개의 통공(312)이 길이방향으로 천공되어 있는 포트(310)가 일체로 다수개 결합된 식생블럭(300)과, 상기 포트(310) 내에 수납 가능하도록 된 것으로 배양토에 재활용 솜이 결합되어 배양토가 이탈되지 아니하도록 재활용 솜에 긴밀하게 혼합된 배양부재(400)와, 상기 각각의 포트(310) 사이와 상기 부직포(200)와 접하는 공간부(B)중 어느 하나에 종횡으로 설치된 점적호스(500)로 이루어진 것과, 상기 각각의 포트(310)에 인공토양보다 가볍고 보습효과를 높이면서 식물 뿌리의 활착을 보다 쉽게 옥수수솜을 배양토와 함께 충전, 혼합한 배양부재(400)에 식물을 파종하여 육묘토록 한 것과, 상기 배양토와 재활용 솜은 3:7의 비율로 혼합한 배양부재(400)를 포함한 것과, 상기 배양토와 옥수수 솜은 1 : 10의 비율로 혼합한 배양부재(400)를 포함한 것"을 그 구성적 특징으로 한다. 상기와 같이 구성된 본 발명은, 기존 건축물의 인공지반에도 식물을 식재할 수 있을 뿐만 아니라 현장 여건에 따라 건물의 옥상, 도로, 산책로, 자전거도로 주변에 도시 환경을 개선하기 위하여 별도로 벽면을 설치하여 녹화시킴으로서 도시 경관을 개선할 수 있는 것이며, 특히, 포트에 수납된 식물을 자유롭게 착탈 가능하도록 함으로서 행사</p>

	<p>성격이나 도시 미관의 다양성이라는 차원에서 수시로 형상 및 모양 등등을 변형 가능하도록 할 수 있어 각 도시마다 계절마다 개최되는 이벤트성 행사의 특성을 살리면서 광고 및 아웃테리어 역할이 수행가능한 것이다.</p> <p>또한 본 발명에 의하면, 식생블럭을 다수개 연결 가능하도록 함으로써 풍부한 녹지조성이 가능하며, 수직의 방음벽, 벽면녹화 등에 식생블럭으로 조성되는 녹지공간에 의해 자연친화적인 환경 조성 및 주변환경과의 조화로운 조경 조성이 가능하게 되는 효과를 기대할 수 있다.</p>
대상국가	<p>국내</p>
특허 DB	<p>www.kipris.or.kr</p>
검색기간	<p>2010/06/15</p>
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 녹화용 식생패널 (A greening panel for planting)</p> <p>< 초록 > 본 발명은 미리 설치된 구조체를 통해 수직의 벽면 내지는 사면에 설치되는 식생용 패널로서, 상기 패널은, 정면이 개방된 함체형태로서, 밀폐된 상/하부면이 상향으로 경사진 하우징; 상기 하우징의 내부 영역을 구획하되, 상기 영역을 상/하 및 좌/우 중 선택되는 복수의 영역을 셀 단위로 구획하고, 상기 하우징의 상/하부면과 나란한 상향으로 경사진 격벽; 및 상기 하우징 후면에 설치되어 상기 하우징을 상기 구조체에 고정 설치하기 위한 설치부재;를 포함하며, 상기 하우징은, 복수의 절곡부와 리브구조의 격벽을 통한 강화프레임 구조인 것을 특징으로 하는 녹화용 식생패널을 개시한다.</p> <p>이러한 본 발명은 패널의 하우징과 그 내부를 셀단위로 구획하는 격벽이 소정 경사지게 구비되어 식재의 굴절조건을 최소화하여 식물의 안정적 생육환경을 조성시킬 수 있으며, 격벽의 경사면을 통해 소정의 유체를 담수할 수 있어 원활한 수분 공급이 가능하며, 특히 동절기 관수불량에 따른 건조피해를 최소화할 수 있는 효과와, 또한, 패널이 블록형태로 제작되어 복수의 패널에 대한 조립만으로도 벽면 내지는 사면으로의 빠른 시공 또는 설치가 용이함은 물론, 패널의 하단에 트레이가 설치되어 패널의 상부에서 하부로 배출되는 유체가 외부로 누출되는 것을 방지하여 특히, 동절기 패널이 설치된 벽면 주변으로의 결빙사고는 물론, 누수에 의한 불쾌감 유발을 방지함고, 퇴수되는 유체를 집수하여 이를 재사용할 수 있는 효과가 있다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2010/06/16
검색범위	<p>< 발명의 명칭 ></p> <p style="text-align: center;">벽면 속성 녹화 공법 (RAPIDLY GREENING METHOD OF WALL)</p> <p>< 초록 ></p> <p>본 발명은 식물을 이용하여 벽면을 녹화하되 시공 초기부터 녹화 효과를 얻을 수 있도록 하며, 시공 후 최단기간에 녹화 완료할 수 있도록 한 벽면 속성 녹화 공법을 개시한다.</p> <p>본 발명은 시공 현장이 아닌 장소에서 상당한 높이 까지 예비 재배 완료한 식물을 시공 현장으로 옮겨 시공할 수 있도록 하여 시공 초기부터 녹화 효과를 얻을 수 있도록 하고, 시공된 이후에는 목재포트가 토양에 분해되어 소실될 수 있도록 하며 식물의 뿌리가 신속하게 자라면서 지중에 활착하여 완전 녹화를 달성할 수 있도록 한 것이다.</p> <p>이에 따라 본 발명은 시공 완료 후부터 즉시 초기 벽면 녹화 효과를 얻을 수 있으며, 이후 단기간 내에 식물이 성장하면서 포트의 통공으로 식물의 뿌리가 뻗어 나가 본격적인 성장을 하게 되므로 최단기간 내에 방음벽면의 녹화가 가능하게 되는 유용한 효과가 있다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2010/11/17
검색범위	<p>< 발명의 명칭 ></p> <p style="text-align: center;">식물식재용 식생보드구조체 (an vegetation board structure for planting)</p> <p>< 초록 ></p> <p>본 발명에 따른 식물식재용 식생보드구조체는 암벽이나 담장과 같은 벽면의 녹화를 위하여 식물의 식재가 가능하도록 벽면상에 설치되는 식물식재용 식생보드구조체의 식물이 식재되는 연장식재포트가 사출성형 또는 압출성형에 의해 길이방향으로 연장형성되므로 제조가 용이하고, 길이방향으로 연장형성되므로 필요한 길이 만큼 절단하여 사용할 수 있게 되므로 설치가 간편하게 되고 설치인력이 절감되어 시공비용이 저렴하게 되고, 저면에 배수공이 형성되어 하부에 설치된 연장식재포트로 급수된 물이 전달되게 되어 연장식재포트 내의 물의 양을 조절할 수 있게 되고, 또한, 상기 연장식재포트의 외부충격에 의한 파손시 파손된 연장식재포트만 식생보드에서 분리시켜 새로운 연장식재포트로 교체할 수 있으므로 유지보수가 간편하게 되므로 유지보수에 필요한 인력과 비용이 절감된다.</p>

대상국가	국내
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2011/03/11
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > 벽면 녹화 및 공기정화를 위한 버티칼 가든 (Vertical garden for greening wall and air cleaning)</p> <p>< 초록 > 본 발명은 실내의 공기를 정화하기 위하여 건물의 벽체 또는 파티션과 같은 수직벽면에 설치되는 버티칼 가든에 관한 것으로, 단위체로 이루어진 식재 블럭을 복수의 열과 횡으로 적층 조립하여 간편하게 시공할 수 있도록 하여 설치 구조가 간단하면서도 원하는 크기로 늘리거나 배치를 바꿀 수 있도록 함으로써 공간의 크기에 따라 적합한 규모로 자유롭게 설치할 수 있도록 하고, 이러한 공기정화 구조가 공기 중에 함유되어 있는 이물질 을 효율적으로 제거시켜주어 실질적인 공기 정화효과를 누릴 수 있도록 한 것이다.</p>

대상국가	국외(일본)
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2007/09/06
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > WALL SURFACE GREENING SYSTEM</p> <p>< 초록 > PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wall surface greening system enabling greening of any desired place of a building, excellent in flexibility in design, and flexibly corresponding to maintenance.</p> <p>SOLUTION: The wall surface greening system (A) is structured as follows: greening units 2 each provided with a culture soil base 5 in which plants are to be raised, and frame members 6 each holding the culture soil base 5 are set along the wall surface T1 of a construction T; a plurality of tub members 1 each having an almost recessed cross section and extending to an almost horizontal direction are supported by the wall surface T1 of the construction T with their opening parts 1a facing upward; and the greening units 2 are placed between the pair of tub members 1 longitudinally placed in parallel.</p>

대상국가	국외(일본)
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2007/10/25
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > SYSTEM AND METHOD FOR GREENING WALL SURFACE</p> <p>< 초록 > PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wall surface greening system for widely greening the external wall of a building with natural trees. SOLUTION: This wall surface greening system (1) for greening the external wall of a building has a steel structure framework made of perpendicular supports (2), beam members (3), and horizontal members (4 and 5). The beam member extends to a direction parallel with the external wall (W), and connects the perpendicular supports adjacent to each other. A planting pot (6) holding soil to plant a tree (T) is supported by the horizontal members. The first horizontal member (4) is horizontally constructed between a support row and the external wall, and the second horizontal member (5) horizontally extends to the outside of the support row. The planting pots are alternatively arranged in the same layer level before and after the supports, and in the vertical direction of the same support before and after the supports.</p>

대상국가	국외(일본)
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2009/02/26
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > WALL SURFACE GREENING UNIT</p> <p>< 초록 > PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wall surface greening unit capable of improving handling properties of a culture soil base, preventing damage, and attempting cost lowering. SOLUTION: This wall surface greening unit 10 is supported with a support member which is fixed on a wall surface of a structure and set in a hanging condition along the wall surface so as to apply greening to the structure. The greening unit has a culture soil base 12 to be given with planting, and a fixing tool 13 for holding the culture soil base 12 to make the support member support in a hanging condition. The culture soil base 12 is made by unitedly forming heat fusion culture soil 14 which contains heat fusion fiber and is solidified by heat treatment, and a tray 15 which holds the heat fusion culture soil 14. The fixing tool 13 has a pair of vertical parts 13a and 13b, and a horizontal part which connects the lower edges of a pair of the vertical parts 13a and 13b, and is formed in an almost U shape and belt-like shape, and is inserted into between a pair of the vertical parts 13a and 13b so as to hold the culture soil base 12.</p>

대상국가	국외(일본)
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2010/03/04
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > WALL SURFACE GREENING PANEL AND WALL SURFACE GREENING STRUCTURE USING THE SAME</p> <p>< 초록 > PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wall surface greening panel facilitating vegetation of various plants by simple water supply, freely detachably mounted on the wall surface of a building to form a greened wall surface having a variety of designs in a timely manner, and to provide a wall surface greening structure using the panel.</p> <p>SOLUTION: The wall surface greening panel includes: a front face panel having openings and pockets projecting to the periphery of an opening and charged with a plant root; a rear face panel engaged with the front face panel and mounted on the wall surface; and a plant root-holding part installed between the front face panel and the rear face panel and engaged with the plant roots in the pocket parts via the openings. The wall surface greening structure is formed by setting up the panels on the wall surface.</p>

대상국가	국외(일본)
특허 DB	www.kipris.or.kr
검색기간	2011/06/30
검색범위	<p>< 발명의 명칭 > WALL SURFACE-GREENING PANEL</p> <p>< 초록 > PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a wall surface-greening panel to which plants are readily and easily planted while having an extremely light and compact structure, so as to perform watering in an ideal environment.</p> <p>SOLUTION: The wall surface-greening panel includes a perpendicular plantation layer 1 having continuous numerous minute air spaces attaining water permeability and water retention, and having holding strength enough to sufficiently hold a to-be-planted plant S at a prescribed position. The perpendicular plantation layer 1 is formed by laminating conducted water-dispersing sheets 7 each of which is open at the front surface, has a plurality of plantation-holding holes 2 in each of which the plant S is planted and held, and disperses the water to the whole surface due to capillary phenomenon. Each of the conducted water-dispersing sheets 7 has a projecting piece 7A drawn out to the outside part of the perpendicular plantation layer 1, disperses the water supplied to the projecting piece 7A, to the perpendicular plantation layer 1, and supplies the water to the root of the plant S planted into each of the plantation retaining holes 2 of the perpendicular plantation layer 1.</p>

나. 특허분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

개발기술명		도시열섬 저감을 위한 저비용 지속가능형 벽면녹화 시스템 개발
Keyword		벽면녹화, 벽면녹화공법
검색건수		273
유효특허건수		10
핵심특허 및 관련성	특허명	건축물의 외벽녹화구조
	보유국	한국
	등록년도	2008
	관련성(%)	20%
	유사점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기존 건축마감재로 활용되고 있는 천연석 알갱이를 부착 외부용기를 제작하여 식물의 지상부가 고사하여도 외장재의 역할을 충분히 수행할 수 있는 시스템구조 2. 외부용기와 내부용기로 구분하고 내부용기에 식물을 식재하는 구조 3. 관수설비가 부착되어지는 구조(계절 및 날씨변화에 대응 못함)
차이점	<ol style="list-style-type: none"> 1. CO₂배출 0%의 친환경소재에 자가수분조절기능을 추가하여 식물이 성장할 수 있는 화분의 개념에서 진보하여 도시기후변화에 대응 가능한 건물외장재로서의 벽면녹화시스템 기술구현을 목표로 함 2. 식물식재와 관련된 요소기술의 친환경성, 시공성, 제조 및 관리의 편의성을 도모하는 구조개발을 목표로 함 3. 계절변화 및 날씨변화에 따른 관수설비 유지관리 및 관수조절 등이 자동으로 조절 가능한 관수설비 전자동화시스템 개발을 목표로 함 	

- 1) 개발기술명은 본 연구과제 최종 연구개발 목표기술을 의미
- 2) keyword는 검색어를 의미하며, 검색건수는 keyword에 의한 총 검색건수를, 유효특허건수는 검색한 특허 중 핵심(세부)개발기술과 관련성이 있는 특허를 의미
- 3) 핵심특허는 개발기술과의 관련성이 높고 인용도가 높은 특허를 기준으로 분석

3. 논문분석

가. 논문분석 범위

대상국가	한국
논문 DB	네이버(http://www.naver.com), 국회도서관(http://www.nanet.go.kr),
검색기간	2007-2011
검색범위	벽면녹화, 벽면녹화공법, 벽면녹화시스템

나. 논문분석에 따른 본 연구과제와의 관련성

개발기술명		벽면녹화
Keyword		벽면녹화
검색건수		22
유효논문건수		3
핵심논문 및 관련성	논문명	벽면녹화가 도시기온 저하에 미치는 영향에 관한 관측적 연구
	학술지명	환경과학논문집
	저 자	박명희 외 1명
	게재년도	2011
	관련성(%)	50%
	유사점	현장측정 DB를 활용한 벽면녹화가 도시열섬 완화에 미치는 영향분석
	차이점	초기형 벽면녹화시스템(등반형)에서 측정된 DB만을 활용하고 있어 각 시스템별 효과를 분석하고 있지 않음
핵심논문 및 관련성	논문명	패널형 벽면녹화의 열환경 특성
	학술지명	진주산업대학교 논문집
	저 자	류남형, 이춘석, 한승호
	게재년도	2008
	관련성(%)	60%
	유사점	현장측정 DB를 활용한 벽면녹화가 도시열섬 완화에 미치는 영향분석
	차이점	단일종(패널형 벽면녹화시스템)에서 측정된 DB만을 활용하고 있어 각 시스템별 효과를 분석하고 있지 않음
핵심논문 및 관련성	논문명	학교건물에서의 외피녹화에 따른 에너지성능 평가에 관한 연구
	학술지명	한국태양에너지학회
	저 자	석호태 외 2명
	게재년도	2008
	관련성(%)	50%
	유사점	현장측정 DB를 활용한 벽면녹화가 도시열섬 완화에 미치는 영향분석
	차이점	초기형 벽면녹화시스템(등반형)을에서 측정된 DB만을 활용하고 있음

4. 제품 및 시장 분석

가. 생산 및 시장현황

1) 국내 제품생산 및 시장 현황

우리나라에서도 서울, 인천, 부산, 대구, 울산 등과 같은 대도시에서 옥상녹화를 권장하는 조례를 제정해 옥상녹화 보급을 위해 노력을 기울이고 있으나, 벽면녹화는 아직 시행하고 있지 않음

2004년 서울시는 공공건물 건립에 생태면적을 적정기준을 적용하기로 함(서울시 푸른도시국).

최근에는 기후변화에 대비하여 도시계획 차원에서 온실가스 감축을 위한 종합적인 계획의 수립을 통한 대응을 위해 국토해양부는 2009년 7월 「저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시 계획수립 지침」을 제정하여, 도심밀집지역 등의 도심열섬현상 관리가 집중적으로 필요한 지역에서는 건축물녹화, 주차장녹화 등을 통한 열섬저감 계획을 수립토록 하고 있음.(국토해양부)

서울특별시의 경우 2002년 2억원의 예산으로 옥상녹화 사업을 시작하여 지금까지 총 304억원을 들여 15만㎡ 규모의 옥상공원화사업을 완료하였음. 2011년에도 107개소 5만여㎡ 규모에 102억1000만원의 예산이 투입되며, 벽면녹화는 31개소 6000㎡ 규모에 23억원의 예산을 책정함.(서울시 푸른도시국)

서울시는 2000년부터 2011년까지 135km 구간의 벽면녹화를 시행하였으며 향후 락지 및 벽면녹화를 적극적으로 추진 서울시의 녹시율(일정 지점에서 서 있는 사람의 시계(視界)내에서 식물의 잎이 점하고 있는 비율)을 점진적으로 증가시킬 계획에 있음.(서울시 푸른도시국)

2) 국외 제품생산 및 시장 현황

① 일본

일본 국토교통성의 자료에 따르면 2000년부터 지자체의 보조에 의한 건축물녹화가 시작되어 2010년 옥상녹화와 벽면녹화를 합하여 343.5Ha규모가 이루어졌음.

옥상녹화 시공면적은 2000년부터 2008년까지 증가하다 2009년에 조금 감소하는 추세를 보이다가 2010년에는 평년수준을 지속하는 것으로 나타났음.

벽면녹화 시공면적도 2000년부터 2008년까지 증가하다 2009년에 감소하였으나 2010년에는 다시 증가하는 추세를 보임.

5. 2 壁面緑化

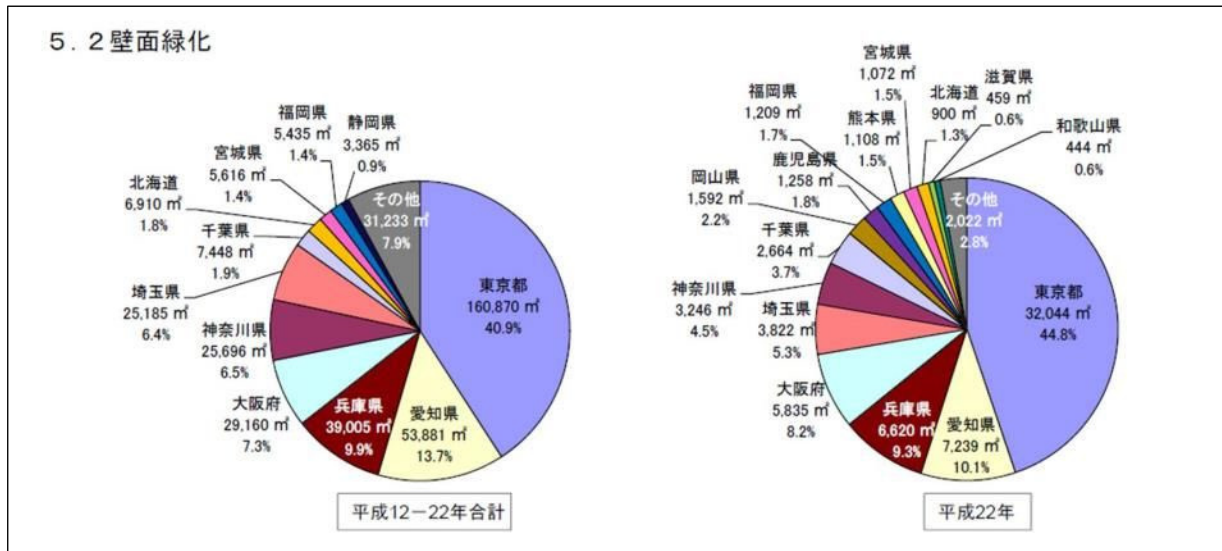


그림 36 일본 지방자치단체별 벽면녹화 시공면적

출처 : 일본국토교통성 홈페이지

식재되는 식물의 종별로는 2000년에서 2008년까지는 덩굴식물을 식재하는 식재 패턴이 80.5%를 차지.

2010년에도 덩굴식물의 활용은 전체에서 81.3%를 차지하고 있으나 초화류 등을 식재하는 패턴이 2000~2008년에 4.3%였던데 반하여 7.6%를 차지하여 증가추세를 보임.

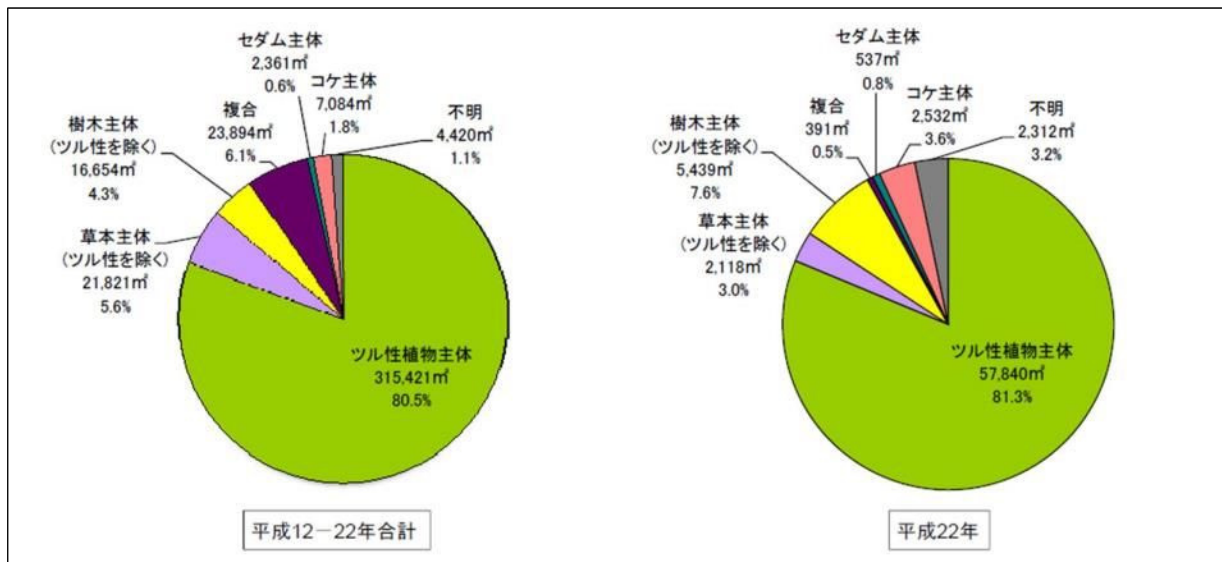


그림 37 벽면녹화에 식재된 식물종별 구분

출처 : 일본국토교통성 홈페이지

나. 개발기술의 산업화 방향 및 기대효과

1) 산업화 방향(제품의 특징, 대상 등)

○ 건물 일체형 벽면녹화시스템개발

- 기존 벽면녹화시스템과 차별하여 외장재로 활용 가능한 건물 일체형 벽면녹화시스템개발은 공사비 절감효과를 기대할 수 있어 벽면녹화시장의 저변확대가 기대되어짐.

- 각 요소기술에 디자인성을 가미하고 시공편의성, 안전성, 지속성유지를 도모하고 각 요소기술을 부품화하여 생산농가의 생산성 향상을 도모.

- 전 시스템의 자동화와 수치화로 기술을 특화하고 유지관리부하의 저감을 도모함으로써 유지관리비용 절감효과 기대.

- 기존 덩굴식물 및 초화, 지피식물로 이루어진 식물의 획일화에서 탈피하여 다양한 식물의 건전한 생육을 보장하여 지속가능한 생태적 건축물 외피로서 특화함.

2) 산업화를 통한 기대효과

(단위 : 백만원)

산업화 기준 항 목	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
직접 경제효과	10	30	50			90
경제적 파급효과	20	60	100			280
부가가치 창출액	20	50	70			140
합 계	50	140	220			410

- 1) 직접 경제효과 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 제품의 매출액 추정치
- 2) 경제적 파급효과 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통한 농가소득효과, 비용절감효과 등 추정치
- 3) 부가가치 창출액 : 본 연구과제 개발기술의 산업화를 통해 기대되는 수출효과, 브랜드가치 등 추정치

5. 3P(특허, 논문, 제품)분석을 통한 연구추진계획

가. 분석결과 향후 연구계획(특허, 논문, 제품 측면에서 연구방향 제시)

1) 특허분석 측면

○ 기존 특허는 외장재 상부에 설치되는 벽면녹화시스템에 치중되어 있으므로, 본

연구과제에서는 건물 일체형 벽면녹화시스템으로 연구를 추진하여 시스템 및 공법특허 등을 국내 및 국외에 출원할 계획임

○ 기존 특허는 식물을 식재하는 화분개념의 것들이 주를 이루고 있어 본 연구과제에서는 화분의 개념을 넘어 생태적 기능이 부가된 건물외장재로서의 벽면녹화시스템을 국내 및 국외에 출원할 계획임

○ 기존 특허는 양액재배 수경재배장치에 적용하는 관수시스템이 개발되었으나 벽면녹화 근권 수분제어 자동화 모듈개발 특허는 미개발 특허사항으로 타이머로 제어되고 있는 벽면녹화 시스템의 수분제어를 자동센싱에 의한 관수장치를 개발하여 사후관리 노력을 절감하고 운영비를 줄이는 저비용 고효율시스템을 특허출원할 계획임.

○ 벽면녹화 인공지반 양분급액 매뉴얼 개발은 벽면녹화 근권수분제어 자동화 모듈을 기반으로 토양양분 측정 센싱을 이용하여 벽면 방향과 식생의 종류에 따라서 양분공급을 원활하게 공급하는 장치를 개발하여 프로그램 등록하고자 함.

2) 논문분석 측면

○ 기존 논문은 단일 시스템유형(등반형 벽면녹화시스템)을 활용한 열환경분석 및 도시기후변화에 미치는 영향에 대해서 치중되어 있으므로, 본 연구과제에서는 다양한 시스템유형을 상정하고 공시하여 벽면녹화시스템 전반이 도시기후변화에 미치는 영향에 대하여 연구를 추진하여 논문 등을 학술지 등에 게재할 계획임

○ 실내 벽면녹화디자인 특성연구(이지현, 장영순, 2011)에서는 벽면녹화 관련공간을 기능에 따라 구심(Centripetal Space), 식·음(Food & Beverage Space), 업무(Work Space), 전이(Transitional Space), 공용(Public Space), 상업(Commercial Space) 공간으로 선정하고, 벽면녹화 형태를 특성에 따라 단면형(one face), 양면 및 다면형(double & multi faces), 경계형.(boundary), 연속형(continue), 액자형(frame), 아웃도어형(outdoor), 유닛형(unit)으로 구분하였다. 그러나, 디자인 특성에 따라 구체적인 선호 디자인을 제시하지 못하였으며, 유형에 따른 벽면녹화 식물소재 유지관리에 대한 언급조차 하지 못하고 있음.

○ 온대 온순기후를 가진 우리나라의 옥상녹화 식재모듈은 여름철 집중호우기와 겨울철 건조기의 수분변화가 옥상녹화의 성패를 가지고 있기 때문에 저관리형 옥상녹화 시스템의 수분변동 및 양분 이동(어양준 등, 2007)에서 옥상녹화 조성시의 인공토양의 토심 및 유기물 함량을 조절하여 식재기반을 마련하여 환경개선을 기대하였다. 하지만, 옥상녹화는 평면이고, 관수시스템이나 인공토양으로 토심을 조성하기에 유리하지만, 본 연구에서 도출하고자 하는 벽면은 건축물의 입체면이기 때문에 벽면녹화의 소재 발굴과 그 소재에 따른 양수분 관리 기술을 개발되어야 함.

○ 도시열섬화에 따른 도심의 녹지공간을 확보하고자 하는 사례가 증가하고 있음

며, 옥상녹화에서 중요한 식재기반의 구성소재들의 경량화, 즉 저토심형 인공지반을 조성하고자 하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 옥상농원에서는 건물의 하중문제를 고려하여 저토심은 건조기의 양수분 관리가 어렵기 때문에 하중을 줄이면서 합리적인 저토심 인공지반식재모델연구가 절실하다. 저토심형 인공지반 녹화공법은 저토심 인공지반 녹화공법의 경제성 및 도입 가능한 지피식물의 생육특성(최진우, 2009)에서 저배수공법, 세덤블럭공법, 에코담공법 등에 대한 경제성, 식물의 생육특성을 분석하여 도입가능성을 검토하였으나, 이 또한 옥상농원에 국한된 녹화공법임.

○ 벽면녹화에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있고, 벽면녹화 적용사례가 증가하고 있지만, 사계절이 뚜렷한 우리나라에서 동절기나 지속적인 건조기에 식물관리 방안이나 수분관리 모듈연구는 없다. 따라서 이 연구에서 벽면녹화 유형을 분류하고, 그 분류에 따라 인공지반 근권 수준제어 자동화 모듈을 개발하고자 한다. 개발된 모듈은 벽면녹화 유지관리 기술을 적용한 현장실증연구를 통해서 검증 절차를 거쳐 벽면녹화 확대 보급에 기여하고자 함.

3) 제품 및 시장분석 측면

○ 국내 및 국외시장 분석결과 벽면녹화시스템은 아직 벽면녹화 자체가 도입기에 있으며 관련제품의 생산 및 판매가 이루어지고 있으나, 건축물 및 구조체와 이격되어있는 시스템이며 건물일체형 벽면녹화시스템은 전무하며 본 연구과제에서는 건물과 일체화된 시스템 개발을 목표로 연구를 추진하여 하부구조에서 식물 외부와 내부 유닛에 이르는 제품 등을 생산하여 국내 및 국외에 판매할 계획임