17TBIP-C124446-01

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()

국토교통기술사업화지원 사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 17TBIP-C124446-01

에너지 저감형 옥상녹화 유닛 일체화 시스템 개발 및 상용화 최종보고서

2020. 2. 28.

주관연구기관 / (주)한국도시녹화

협동연구기관 / 대건케미칼(주)

에이치디씨현대산업개발(주)

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

국토교통기술사업화지원사업 최종보고서

2020

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

제 출 문

국토교통과학기술원장 귀하

‘에너지 저감형 옥상녹화 유닛 일체화 시스템 개발 및 상용화’(연구개발 기간 : 2017. 04. 01 ~ 2019. 12. 31.) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2020. 2.28.

주관연구기관명 : (주)한국도시녹화 (대표자) 김 철 민 (인)
협동연구기관명 : 대건케미칼(주) (대표자) 허 출 (인)
협동연구기관명 : 에이치디씨현대산업개발(주) (대표자) 김대철, 권순호 (인)

주관연구기관책임자: 김 철 민
협동연구기관책임자: 오 창 원, 조 규 석

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17BIP-C124446-01	해당 단계 연구 기간	2019.01.01.~ 2019.12.31	단계구분	3단계/ 3단계
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	에너지 저감형 옥상녹화 유닛 일체화 시스템 개발 및 상용화			
연구책임자		해당단계 참여연구원 수	총: 14명 내부: 14명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 385,000천원 민간: 258,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:643,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 42명 내부: 42명 외부: 명	총 연구비	정부:1,099,000천원 민간:752,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,851,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	㈜한국도시녹화, 대건케미칼(주), 에이치디씨현대산업개발(주)			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

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

요약문

연구의 목적 및 내용	◦ 건식 버텀애시 재활용 친환경 인공경량 토양 및 일체화 선재배 유닛박스 녹화시스템 개발 - 다목적 인공토양 개발을 위한 기초연구 - 건식 바텀애쉬 기반 인공토양의 개발 및 성능평가 - 1차 물리적 가공기반 구축(원자재) - 성능 고도화 공정 개발 및 시제품 제작 - 기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출 - 성능 고도화 공정 개발 및 시제품 제작 - 기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출 - 신보령화력 DBA 30,000톤 규모(설계량의 50%이상) 처리 및 상용제품화 라인 구축 - 신규 인공토양의 현장적용 및 기존 시스템 대비 경제성 및 경쟁력 도출 - 건설신기술 신청 ◦ 방수·방근층 및 유닛박스의 건식 결합기술 개발 - 일체용 접착식 고정구 개선방안 도출 - 고주파 융착기의 개선방안 도출 - 일체용 접착식 고정구의 시작품 제작 - 현장 시험적용 - 기존 시험현장 적용 시작품의 성능 검토 - 개선된 시제품 제작 및 현장적용 ◦ 개발기술의 현장적용 및 장기 성능평가(변형, 단열), 시공 매뉴얼 개발 - 인공지반 녹화시스템의 개선방향 도출 - 인공지반 녹화시스템의 아이디어 보완단계 - 인공지반 녹화시스템의 현장적용 (1단계) - 인공지반 녹화시스템의 시방서 작성 - 인공지반 녹화시스템의 현장적용 (2단계)
연구개발성과	- 조경용 토양기준 품질 만족 건식버텀애시 재활용 친환경 인공경량토양 시제품 생산 - 내풍압성 50m/s 만족 격막재 탈착형 유닛박스 시제품 생산 - 부착하중 1500N 이상 고주파 가열 융착 고정구 시제품 생산 - 이면온도 150℃ 이상 가열 고정구 부착용 고주파 가열 부착기 시제품 제작 - 현장 적용 2건 이상, 개발기술 시방서 및 유지관리지침 작성 - 논문 게재 3건, 특허 출원 6건, 등록 4건 - 녹색기술 인증 획득 / 건설신기술 신청
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	- 지구 온실가스 저감 및 에너지 절감을 위한 지원 정책 및 녹색건축물 인증제도에 따라 공공시설 및 대규모 공동주택 단지도 옥상녹화 도입에 적극적인 추세임. - 이러한 공공시설 및 공동주택의 옥상에 우수한 에너지 절감성능, 친환경성, 시공성, 경제성을 가진 개발기술을 적용함으로써 도심지 열섬현상 완화, 친환경 녹색건축물의 증대, 사용자들의 쾌적한 생활조건 유지에 기여할 것으로 판단됨.

국문핵심어 (5개 이내)	옥상녹화 시스템	에너지 저감	유닛박스	버텀애시 인공경량토양	고주파 접합
영문핵심어 (5개 이내)	Green roof system	Energy saving	Unit box	Bottom ash artificial soil	High frequency adhesion

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 11

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 137

4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 141

붙임. 참고 문헌 ····· 153

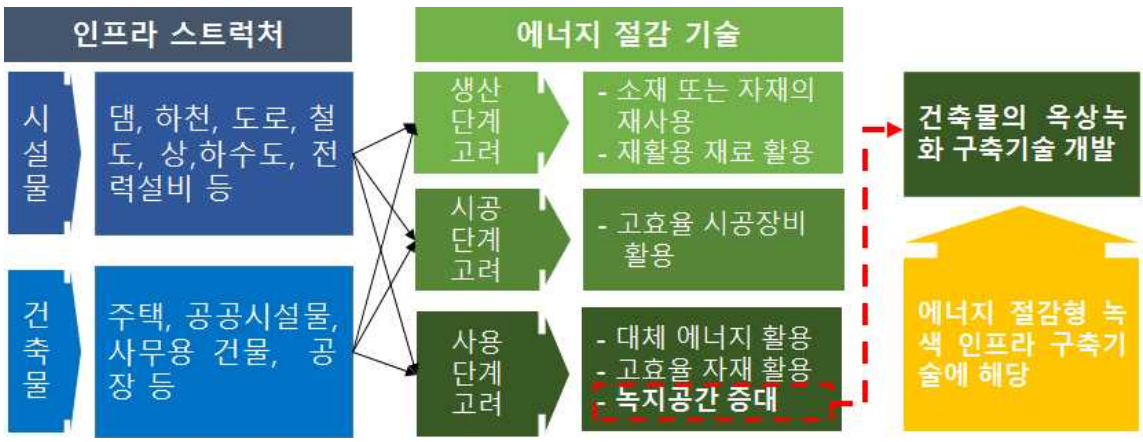
<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 사업화 대상기술 정의

<table>
<tr><td>신청분야
(택 1)</td><td colspan="6">2. 중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화</td></tr>
<tr><td>기술명</td><td colspan="6">에너지 저감형 옥상녹화 유닛 일체화 시스템 개발 및 상용화</td></tr>
<tr><td>과제분류</td><td colspan="6">신제품개발(　　), 기존제품개선(○), 신공정/공법개발(　　),
기존공정/공법개선(　　), 기타(　　)</td></tr>
<tr><td>권리구분</td><td colspan="6">(특허권)</td></tr>
<tr><td>지식
재산권명</td><td colspan="6">- 특허 제 10-161442호 ‘하이브리드 방수방근공법을 이용한 유니트박스 녹화시스템 및 이의 시공방법
- 특허 제 10-1692825호 ‘건식 석탄재를 이용한 인공토양 및 그 제조 방법</td></tr>
<tr><td rowspan="2">권리자
(발명자)</td><td>성명</td><td>㈜한국도시녹화 외 2개 업체
㈜한국도시녹화 외 1개 기관</td><td>법인등록번호</td><td>110111-3120104 외
110111-3120104 외</td><td rowspan="2">비고</td><td rowspan="2">특허 제 10-161442호는 ㈜한국도시녹화, 대건케미칼(주), 현대산업개발(주) 공동 특허임
특허 제 10-1692835호는 ㈜한국도시녹화 특허임</td></tr>
<tr><td>주소</td><td colspan="3">경기도 과천시 물사랑로 96</td></tr>
</table>

○ 본 사업화 대상기술인 옥상녹화 시스템 기술은 건축물의 녹지인프라를 확대시키고, 에너지 절감에 기여하는 에너지 절감형 녹색 인프라 기술로 기존의 별도의 다양한 층으로 구성되는 옥상녹화기술을 일체형 및 유닛형으로 개발, 시공용이성 및 유지관리성을 향상시켜 사업화를 추진하는 기술임.



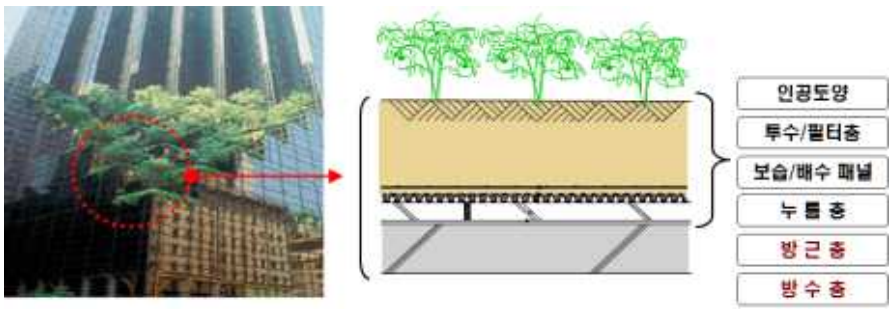
[그림 1.1.1] 개발기술의 에너지 절감형 인프라 해당여부



[그림 1.1.2] 옥상녹화시스템의 효과 중 에너지 절감효과

나. 사업화 대상기술 설명

○ 일반적인 옥상녹화 시스템은 구조체에 물이 침투하는 것을 막기 위한 방수층, 식생 뿌리가 자라 방수층 및 구조체가 파괴되지 않도록 막는 역할을 하는 방근층, 방수층 및 방근층의 보호를 위한 콘크리트 누름층, 적절한 수분 유지 및 물의 배수를 위한 배수층, 토양 내 투수 및 토양 흐름 방지를 위한 투수/필터층, 인공토양의 순서로 구성됨.



[그림 1.2.1] 일반적인 옥상녹화시스템 구성

○ 서울시 옥상녹화 사례를 보면 2002년부터 2011년까지 총 266개의 건축물에 다양한 방수재료 및 방근재료를 이용하여 시공하였고[1], 녹화층 시공은 조경공사 시방서나 건축물 녹화설계기준 등에 따른 범용적 시공방법에 따라 시공함.

1) 선윤숙외, 국내 옥상녹화에 적용된 방수・방근 공법의 유형 분석, 대한건축학회 논문집 구조계, 제28권 11호, 2012년 11월

<표 1.2.1> 옥상녹화 적용 방수, 방근공법현황

구분 \ 년도	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	계
방수방근 겸용 열형						3	13	17	23	18	74
방수방근 겸용 복합형						10	33	43	30	22	138
방수방근 분리형						2	6	13	3	3	27
기타	1				2	5	2	5	3	10	25
부분시공					2	2				53	55
계	1	0	0	0	4	22	54	78	59	53	266

<표 1.2.2> 옥상녹화 시스템에 적용된 방수, 방근공법 구성

구분	구성재료
방수공법	고무화아스팔트 시트, 개량아스팔트 시트, PVC 시트, LDPE 시트, EPDM 시트, 우레탄, 폴리우레아, 에폭시, HDPE+시멘트 혼입폴리머계, 개량PVC+시멘트 혼입폴리머계, 씰+구리시트, 아스팔트시트+폴리우레탄, 우레탄+PVC, 우레탄+발포성시트, 우레탄+H.P시트, H.P시트+L.M.F, 자착식부틸고무+FRP, 아스팔트 도막+고무아스팔트 도막, 시트+무기질+우레탄, 우레탄+시트+우레탄+우레탄, 복합방수, 패널
방근공법	PVC, 구리시트, PET, PE, HDPE, LDPE, 폴리우레아, FRP, PET+PVC, PVC+AL+PVC, PVC+AL+PET, PET+알루미륨+부직포+알루미륨+접착시트, 패널 등

○ 상기와 같이 기존 옥상녹화 시스템은 다양한 방수 또는 방근시트를 이용하여 다수의 공정단계를 거침에 따라 하자 발생 확률 및 시공시간이 증가되며, 하부 방수·방근층 공사와 상부 녹화층 시공이 별개의 공사로 진행되어 협의 등 최적 시공을 위한 노력이 이루어지지 않는 경우가 많아 시공하자가 발생할 가능성이 높음.



[그림 1.2.2] 기존 녹화시스템의 문제



[그림 1.2.3] 녹화시스템 하부 구조체의 균열 및 누수현황

○ 식생류는 현장에서 시공 후 초기에 뿌리가 활착될 때까지 세심한 관리가 필요하나, 대부분 현장이 완공된 후 식생관리를 하지 않다가 고사하는 부분이 발생하면 하자 보수하는 등 비계획적으로 시공관리가 이루어지고 있음.

○ 또한 장기적 측면에서 식생 생육에 직접 영향을 주는 토양층에 적절한 수분 유지를 위해 주기적으로 수분을 공급해야하나, 관리 인력 부족 또는 홍수, 가뭄 등 자연 환경적 영향 등으로 식생의 뿌리가 마르거나 썩는 경우가 발생하여 고사되는 경우가 많은 실정임.

○ 한편 녹화시공에 있어서 시공의 편이성, 공사기간 단축 등을 위하여 유닛시스템이 개발되어 적용이 증가되고는 있으나, 아직 일반화 되지는 않고 있음.

○ 국내 사용되는 유닛시스템[2]은 표와 같이 다양한 방수, 방근공법과 비교하면 공법의 종류는 매우 한정적이며, 방수, 방근층은 별도의 공정으로 시공함.

<표 1.2.3>유닛시스템을 이용한 녹화기술

구분	세덤블럭공법	저배수공법	저도심 인공지반 녹화공법	식생모듈박스
배수층	P.E 계열 소재의 블록이 배수판과 저수기능을 가지며, 세립토양 필터 설치	EPS 소재의 저배수판 및 세립토양 필터 설치	세립토양필터가 붙은 1cm 롤형 배수판	HDPE 재질로 압축성형한 제품인데 배수와 저수의 복합기능을 가지고 있으며, 하부에 구배조절용 핀이 설치되어 있음.
식재층	화산석, 마사 등을 블록에 채운 후 필터를 설치하고, 5cm 두께의 토양층 조성	저배수판 상부에 필터를 설치한 후 일반토양, 화산석, 유기물 등으로 토양층 구성	폴형 배수판 위에 암면매트를 설치한 후 발포 세라믹, 바크, 감람석 등의 배합토를 4.5cm 두께로 상토층 조성	코코넛칩, 코코피트, 피트모스, 석회질비료(폐석회), 무기계 미량원소 첨가제를 일정한 비율로 혼합한 인공토양
토심	13cm	10cm	13cm	7cm
식재	지피류(국내외종)	지피류(국내외종)	지피류(국내외종)	지피류(국내외종)

○ 개발기술은 기존의 옥상녹화시스템 기술이 방수·방근공법에 한정되어 있고, 시공이 편리한 유닛시스템 또한 한정된 공법으로 방수·방근층과는 별개로 시공되어 하자발생 증대 및 관리의 어려움으로 인한 현 옥상녹화시스템의 문제를 해결하기 위하여 개발을 진행하였음.

○ 개발기술은 본 기술에 사용하기 위하여 개발한 방수·방근 일체형 PE시트에 파손이 되지 않도록 고주파 가열식 접착장비를 이용하여 접착플레이트 및 접착식 고정구를 가열 융착하는 방식을 이용하여 구조체와 방수·방근시트, 그리고 개발 유닛박스 시

2) 강태호외, 식생모듈박스를 이용한 저토심 무관리형 옥상녹화, 한국조경학회지 제40권 3호, 2012년 6월

스템의 일체화 시공이 가능함.

○ 유닛박스에는 개발기술인 발전소 부산물인 버텀애시를 재활용하여 생산한 인공경량 토양을 담아 식생류 생육에 활용함.



[그림 1.2.4] 개발기술의 구성 및 요소기술



(a) 개발기술 적용 직후　　(b) 개발기술 적용 1개월 경과

[그림 1.2.5] 개발기술을 적용한 녹화 현장(위례 아이파크 2차)



(a) 콘크리트 구체 금속디스크 설치



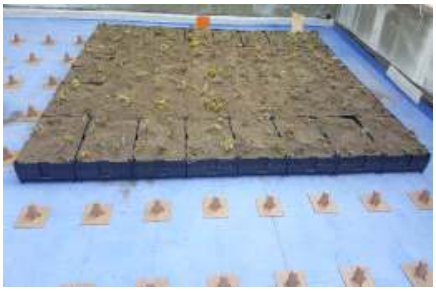
(b) 방수방근시트 설치 시트간 열풍융착



(c) 시트와 금속디스크의 고주파 융착고정



(d) 가열 융착식 고정구 부착



(e) 식생 유니트 박스 설치 및 고정



(f) 파라펫 주변 배수로 설치



(g) 옥상녹화 시공완료



(h) 옥상녹화 시공 완료 1개월 후

[그림 1.2.6] 개발기술의 시공방법

2. 연구수행내용 및 성과

가. 주요 연구추진계획 및 내용

(1) 연구추진내용 및 방법

○ 본 연구는 3차년에 걸쳐 다음과 같이 연구내용과 방법을 계획하고 추진하였음.

<표 2.1.1> 연구 추진내용 및 방법

구분(연도)	사업화 목표	연구내용 및 방법
1차 연도 (2017)	■DBA기반 다목적 인공토양 개발 및 원자재등 가공, 생산시스템 구축, 녹화지 적용 식물모델 도출	■ 다목적 인공토양 개발을 위한 기초연구 - 기존 인공토양 이화학적 요구 특성 정립 - 기존 문헌 및 자료 분석 및 개발 인공토양의 디테일 분석 - 기존 인공토양 및 유닛박스 적용 시스템의 문제점 정립 - 중금속 용출에 대한 장기적 검토 ■1차 물리적 가공기반 구축(원자재) - 파쇄입도별, 운전조건별 인공토양의 물리, 화학적 특성 평가 - 습식공정 바텀애시 대체 건식공정 바텀애시 인공토양 소재화를 위한 PILOT PLANT 설계 및 최적화 - PILOT PLANT 설비 spec 및 구성 ■ 투수계수 0.4×10-3, EC 0.6 ~ 0.8 성능확보를 위한 고도화 공정 개발1 - 물리, 화학적 특성특성 평가를 통한 유기계 혼합 및 양액 흡착형 최적화 기술 확보, 제품화 : 배수용, 육성용, 멀칭용 - 미생물 재재 반영 생태적 성능 개선 기능성 인공토양 생산기술 개발 - PH, EC관리형 양액흡착 기술 - 적정 보습량 확보등으로 기존 펄라이트 현장시공의 취약점인 비산 및 체적감소, 관수후 시공, 동절기 작업금지등의 문제점 개선 ■ 기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출 - 숭상형 옥상녹화 시스템 현장 시험적용 - 교관목 식재등 관리형 옥상녹화 현장 시험적용
	■부착용 고정구 및 고주파 융착기의 개선 기술 개발	■기 개발 엔지니어링PE시트의 방근 성능 시험 의뢰 및 진행 ■ 기존 분리된 고정구의 단점 보완 (디자인, 소재 등의 검토) 기술 개발 ■ 기존 고주파 융착기의 개선 보완(가열 헤드의 형상, 온도, 가열시간 등의 검토) 기술 개발
	■인공지반 녹화시스템의 개선방향 도출 ■인공지반 녹화시스템의 아이디어 보완 ■인공지반 녹화시스	■기존 인공지반 녹화시스템의 디테일 및 현장 적용시 문제점 정립(현 개발 시스템의 수정 및 보완 분석) ■ 기존 녹화시스템과 차별화 된 아이디어 창출 ■식생 유닛박스의 적층구조 개선 및 방수방근체와의 접합부 개선

구분(연도)	사업화 목표	연구내용 및 방법
	템의 선진사례 분석	■ 추가 성능시험에 대한 검토(단열성, 내풍압성, CO2 저감량 분석 등) ■개발 진행중인 녹화시스템의 시작품 제작 전 수정보완 사항 및 개선사항을 국내 시장 제품 및 해외시장에서 개발된 제품을 통해 아이디어 접목 및 분석
2차 연도 (2018)	■PILOT PLANT 운영 및 개선을 통한 시제품 생산 및 제품 다양화 기술 확보	■원자재 및 양액흡착형등 다목적형 인공토양 제품 파이럿 생산 라인 구축 - 파이럿라인과 기존 연속생산 제품화 라인 연계 구축 - PILOT PLANT 설비 운영 최적화, 제조비용 및 경제성 평가 ■투수계수 0.4×10-3, EC 0.6 ~ 0.8 성능확보를 위한 고도화 공정 개발2 - 혼합 예정 원자재 포함 매토종자 및 지역 수산업부산물(축분, 굴패각등 유무기성 슬러지) 살균 및 건조등 활용 전처리 기술 개발 ■기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출 - 숭상형 옥상녹화 시스템 시제품 적용 농장 생산 및 현장 적용성 평가, 모니터링, 개선 방안 도출 - 교관목 식재등 관리형 옥상녹화 소재 농장 생산 및 현장 적용에 따른 생육 특성 모니터링, 제품개선
	■부착용 고정구 및 고주파 융착기 시작품 제작	■기 개발 엔지니어링 PE시트의 방근 성능시험 진행 (약 20개월) ■일체용 접착식 고정구 성능을 개선하여 시작품 제작(디자인, 소재 등의 검토, 압축하중 1,000N, 부착하중 1,000N 이상 확인) ■1차 현장시험 적용 후 전용 고주파 융착기 시작품 제작(가열 헤드의 형상, 온도, 가열시간 등의 검토, 융착기 가열온도 120℃ 이상) ■현장 시범적용
	■인공지반 녹화시스템의 현장적용 (1단계) ■인공지반 녹화시스템의 시방서 작성	■방수방근 일체형 시트와 식생유닛박스의 결합시스템에 대한 현장적용 1건(1차) ■생육상태의 정도를 단계별 모니터링 ■방수방근 일체형 식생유닛박스 시스템에 대한 시방서 및 유지관리 지침서 작성 (1차)
3차 연도 (2019)	■DBA기반 다목적 인공토양 상용제품 생산 및 현장 적용 ■건설신기술 신청	■개발기술의 건설신기술 신청 및 보완(3차년도 상반기) ■신보령화력 DBA 30,000톤 규모(설계량의 50%이상) 처리 및 상용제품화 라인 구축 - 제품의 고품질화 기술 적용(단위용적질량 800kg/m3 이하, 투수계수 0.4×10-3, EC 0.6~0.8 성능확보) - 제조된 제품의 품질 균일성 확보방안 검토, 적용 - 대량생산체제 구축 및 생산 ■신규 인공토양의 경쟁력 도출 - 기존 제품 적용현장 대비, 숭상형 옥상녹화 시스템 모니터링 결과 확보 및 제품 지속개선 - 교관목 식재등 관리형 옥상녹화 현장 적용 모니터링 결과

구분(연도)	사업화 목표	연구내용 및 방법
		확보, 개선제품 개발 및 내풍압성 검토(풍속 50m/s 기준) ■ 개선 시제품 현장 적용 시방서 및 도면화
	■ 고정구 및 고주파 융착기 최종 시제품 제작 및 현장적용	■ 최종 고정구 및 고주파 융착기 시제품 제작(제작용 설계 및 생산라인 등 검토, 고정구 압축하중 1,000N, 부착하중 1,500N 이상, 융착기 가열온도 150℃ 이상 확인) ■ 개발 부착기술의 내풍압성 검토(주관기관의 시스템 내풍압성 시험체 개발시 기술 적용) ■ 현장 적용
	■ 인공지반 녹화시스템의 현장적용 (2단계) ■ 인공지반 녹화시스템의 시방서 작성 및 유지관리 지침서 작성	■ 방수방근 일체형 시트와 식생유닛박스의 결합시스템에 대한 현장적용 1건(2차, 신기술 연계 일정조정) - 현장적용 녹화시스템의 구조안전성 및 경제성 검토 - 생육상태의 정도를 단계별 모니터링 - 방수방근 일체형 식생유닛박스 시스템에 대한 시방서 및 유지관리 지침서 보완 작성 (2차)

(2) 연구개발 추진 일정

○ 본 연구의 추진일정은 다음과 같이 진행하였음.

<표 2.1.2> 연구개발 추진일정

연구과제명 (연구수행기관)	세부추진내용	1차년도				2차년도				3차년도			
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
에너지 절감형 옥상녹화 시스템 구축을 위한 친환경 인공 경량토양 및 유닛박스 시스템 개발 및 상용화 (한국도시녹화)	개발 인공토양 특성 정립	■	■	■	■								
	인공토양 성능평가							■	■	■			
	인공경량토양 상용화 공정개발 및 라인구축	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	유닛박스 개선방안 정립	■	■	■	■								
	유닛박스 압축하중 평가								■				
	유닛박스 내풍압성 평가									■			
	인공경량 토양 시제품 제작					■	■			■			
	유닛박스 시제품 제작							■	■	■			
	논문 작성 및 게재							■	■				
	특허 출원 및 등록				■		■			■	■	■	■
	건설신기술 신청									■	■		
에너지 절감형 옥상녹화 시스템의 일체화를 위한 방수 · 방근층 및 유닛박스 결합방법 개발 및 상용화 (대건케미칼)	기존 고정구 및 가열융착기 문제점 분석	■	■	■	■								
	고정구 성능평가							■	■				
	고주파 가열기 성능평가							■	■	■	■	■	■
	고정구 시제품 제작					■	■			■	■	■	■
	고주파 부착기 시제품 제작					■	■						
	논문 작성 및 게재							■	■				
	특허 출원 및 등록				■			■		■	■	■	■

연구과제명 (연구수행기관)	세부추진내용	1차년도				2차년도				3차년도			
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
에너지 절감형 옥상 녹화 시스템의 현장적용 평가 및 시공지침 개발 (현대산업개발)	인공녹화 시스템 분석												
	시험시공												
	장기단열성능 평가												
	시공지침 작성												
	유지관리지침 작성												
	논문 작성 및 게재												
	특허 출원 및 등록												

(3) 연구 수행 체계

○ 본 연구의 추진일정은 다음과 같이 진행하였음.

기 관 별 참 여 현 황			
구 분	기관수	인원수	총인원 수
산 업 계	3	14	14
대 학			
국공립(연)			
출 연 (연)			
기 타			

주 관 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관	공 동 연 구 기 관
㈜한국도시녹화	대건케미칼(주)	에이치디씨 현대산업개발(주)
참 여 연 구 원	**참 여 연 구 원**	**참 여 연 구 원**
주관연구책임자 (김철민)외5명	공동연구책임자 (오창원)외2명	공동연구책임자 (조규석)외4명
담당연구개발내용	**담당연구개발내용**	**담당연구개발내용**
- 건식 버텀애시 활용 인공경량토양 생산기술 개발 - 격막 탈착형 유닛박스 개발 건설신기술 인증	- 방수방근시트와 옥상녹화용 유닛박스 부착용 고정구 개발 - 고정구 부착용 전용 열융착 부착기 개발	- 개발 옥상녹화시스템의 현장적용 및 장기성능 평가 - 개발 옥상녹화 시스템의 시공지침, 유지관리지침 개발

참여기업
* 대건케미칼(주)(공동), 에이치디씨현대산업개발(주)(공동)

[그림 2.1.1] 연구수행체계

나. 에너지 절감형 옥상녹화 시스템 구축을 위한 친환경 인공경량 토양 및 유닛박스 시스템 개발 및 상용화

(1) 인공토양 개발을 위한 기초연구

(가) 기존문헌 및 자료 분석

① 인공토양의 개발 현황

○ 인공지반 녹화에 사용되는 토양은 부수성과 통기성이 좋고 배수성과 투수성이 우수해야 한다. 토양의 양분은 시비에 의해 보완할 수 있기 때문에 토양에 요구되어지는 성질은 주로 물리성이 좋아야 하므로 경량화가 가장 큰 문제임. 경량인공토양에는 종래부터 사용되어온 토양개량재는 유기질계와 무기질계로 나눌 수 있음.

- 유기질계 : 고분자 화합물계, 푸미산계, 목질계
- 무기질계 : 석회질 자재와 암석 소생재
- 경량토양으로 효과적인 것 : 버미큘라이트, 퍼라이트 등의 암석소생재

<표 2.2.1> 경량토의 용도와 특성

경량토	용도	특성
버미큘라이트	식재토양층에 혼용	- 흑운모, 변성암을 고운으로 소성한 것 - 다공질로 보수성, 통기성, 누수성이 좋다 - 염기성 치환용량이 커서 보비력이 크다 - ph7.0정도 /진주암을 고온으로 소성한 것
펄라이트	식재토양층에 혼용	- 다공질로 조수성, 통기성, 투수성이 좋다 - 염기성 치환용량이 작아 보비성이 없다 - 중성, 약알칼리성
화산자갈	배수층	- 화산 분출암 속의 수분과 휘발성 성분이 방출된것
화산모래	배수층, 식재토양층에 혼용	- 다공질로 통기성, 투수성이 좋다
석탄재	배수층. 식재토양층에 혼용	- 석탄 연소시 타지 않고 남은 덩어리 - 다공질로 통기성, 투수성이 좋다 - 한냉한 습지의 갈대나 이끼가 흙속에서 탄소화 된 것
피트	식재, 토양층에 혼용	- 보수성, 투수성이 좋다 - 염기성 치환용량이 커서 보비성이 크다

○ 경량토양은 다공질로 경량이고 투수성, 통기성, 보비력이 우수하다. 펄라이트는 건조시 비중이 0.1정도로 초경량이므로 토양경량화에 효과적이고, 또한 유효토층의 하층 배수

층을 고르게 깔아서 사용해도 좋다. 비중이 일반토양이나 쇄석의 1/10이하이므로 인공의 식재기반을 경량화하고, 유효토층의 두께를 충분히 확보할 수 있으며 오래두어도 잘 분쇄되지 않는 특성이 있음.

○ 최근에는 인공지반에 사용하기 위해 개발된 리솔 등의 상품명으로 판매되는 인공토양이 있음. 이것은 수종류의 광물을 주성분으로 하여, 서방성 질소화합물이나 발군촉진제를 혼합하여 인공적으로 합성한 인공배토로서, 통기성과 보수성이 우수함. 건조시의 비중은 0.27정도로 일반토양보다 훨씬 경량이고, 자동관수시설을 병용하면 유효토층을 20-30 ㎝정도로 하여 배수층도 생략할 수 있으며 성토두께를 종래의 1/3정도로 하여 하중을 150 kg/㎥ 으로 종래의 1/10으로 할 수 있음.

○ 그러나 토양이 경량으로 토층이 얇으므로 수목의 지지력이 낮아 교목식재는 곤란하고, 중목의 경우에도 지주목이 필요함. 토양의 경량화와 관수에 의한 성토두께의 박층화는 인공지반의 기둥, 벽면, 슬라브 등의 구조체를 가늘고 얕게 할 수 있어 시공비용을 절감시킬 수 있음.



코코피트



피트모스



펄라이트



질석

[그림 2.2.1] 인공토양 소재별 사진

② 인공경량토양의 종류 및 특성

㉮ 펄라이트

○ 진주암 펄라이트는 화산암의 일종으로 화산활동시 분출된 용암이 급격히 냉각하면서 생성된 진주암을 용도별 적정입도로 분쇄, 분리하고 약 (870~1100)℃ 온도로 소성 가공하여 원래의 부피보다 팽창시킨 것으로 가벼운 중량, 흡수성, 화학적인 불활성, 저밀도, 공극률이 우수하여 인공토양으로 많이 사용되고 있음.

○ 모래에 비해 86 %정도 가벽고 배수이동이 쉽고 흙사이의 공극을 주어서 식물 생상에 필요한 조건인 산소 공급과 배수가 좋음.

㉯ 피트모스

○ 늪지식물이 습지의 바닥에 퇴적되어 부식된 것으로 주로 이끼, 수초 및 갈대류등이 퇴적되어 생화학적으로 분해, 변질된 유기물질이다. 일반 토양이나 인공토양에 혼합하여 사용되며 토양 개량에도 많이 쓰이고 최근에는 도시 녹화나 골프장 및 운동장에 폭넓게 사용됨.

○ 색상은 암갈색을 띄며 가볍우며 최대 20배까지 물을 흡수할 수 있어 보수력과 통기성이 우수하다. 3.5~6.0의 산성을 띄는 재료이다. 질소 성분이 미량 함유되어 있어 식생 생장을 위해 단독으로 쓰이지는 않고 인, 칼륨 과 미량 요소도 포함하고 있음.

㉰ 코코피트

○ 천연 코코넛 열매에서 섬유질을 추출하고 남은 부위를 가공 처리한 것으로 셀롤로이스 성분이 많이 함유되어 토양에 많이 사용되고 있다. 높은 보수력, 보비력, 통기성을 갖추고 있어 식물 성장에 매우 우수하고 토양의 미생물의 활동을 촉진시켜 토양개량제로 활용성이 크다. 수분을 흡수하면 부피가 팽창하는 특성을 가지며 약산성을 띄어 토양의 산도를 조정할 수 있음.

㉱ 질석(버미큘라이트)

○ 인공토양의 재료로 pH가 중성이며 보습성이 우수한 재료이다. 규산, 알미늄, 철 ,칼슘, 마그네슘, 칼륨 등 비료 성분을 다량 포함하고 있으며 경량으로 인공토양의 사용에 유리하다. 또한 CEC와 양분의 흡착이 뛰어나 농업용, 건축용, 화학 등 많은 활용 분야에서 사용되고 있음.

③ 개발 인공경량토양의 적정 활용을 위한 환경 관련 규정 분석

○ “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률” 25조 및 “동법 시행령” 제35조에 따르면 석탄회는 지정부산물로 배출사업자(발전소)가 재활용을 촉진하기 위하여 “철강슬래그 및 석탄재 배출사업자의 재활용 지침”을 제정, 이에 따르도록 규정함.

○ 상기 지침에 따르면, 석탄재 중 버텀애시는 상토비료 원료로 활용이 가능하도록 규정되어 있음.

○ 폐기물 관리법에 따르면, 12만톤 이상의 폐기물을 재활용할 경우, 폐기물을 토양 등과 혼합하여 만든 물질의 양이 12만톤 이상인 경우 재활용 환경성 평가를 수행하도록 규정하나, 비료를 제조하거나 환경부령으로 정하는 용도 또는 방법으로 재활용하려는 자는 재활용 환경성 평가를 받지 않음.

○ 인공경량토양은 비료의 종류 중 상토에 해당되며 따라서 재활용 환경성 평가를 받지

않음.

○ 재활용 환경성 평가기관인 한국환경공단에 관련 사항 확인 결과, 본 연구개발 인공경량토양은 재활용 환경성 평가대상이 아닌 것으로 확인됨.

(나) 개발 인공토양의 디테일 분석

① 습식공정 바텀애시

㉮ 습식공정 바텀애시의 개요

○ 기존의 습식 바텀애시 배출공정에서는 보일러 하부에 해수를 채운 냉각실을 설치하고 보일러로부터 낙하하는 애시를 해수로 냉각함. 냉각된 애시는 하부에 설치된 파쇄기에서 크기를 줄인 다음 파이프라인을 통하여 회사장으로 송출됨.

㉯ 습식공정 바텀애시의 특성

○ 형상은 많은 공극을 포함하고 있는 골재상임. 미연탄분이 많을수록 검은색을 적을수록 갈색으로 나타냄. 미연탄의 함유량이 1~25%로 높음.

○ BA(Bottom ash)의 활용상의 문제점은 냉각공정에 해수를 사용하는 것에 기인한 높은 염화물 농도, 높은 미연탄 함량, 높은 함수 상태임.

○ 높고 일정하지 않은 함수상태는 BA의 사용시 기술상의 어려움을 야기하며, 건조된 용도로 사용하지 못함으로서 부가가치를 떨어트리는 요인임.

○ BA는 약 배출량의 40%가 재활용되고 60%는 매립에 의존하고 있는데, 재활용되는 용도의 대부분은 부가가치가 낮음. 재활용량을 높이고 재활용 용도를 다양화 하는 것이 필요함.

○ 바텀애시를 다양하게 활용하기 위해서는 수분, 염분, 미연탄의 함유량을 줄이는 것이 반드시 요구됨.

(다) 기존 인공토양 및 적용 시스템의 문제점 정립

① 바텀애시 배출 공정의 건식화와 용도개발의 필요성

○ 전력산업에서 배출되는 석탄재는 현재까지 정부부처를 통한 각종 국책연구 및 민간자본 기반 연구를 통하여 재활용기술을 개발해 왔음에도 불구하고 재활용률의 향상은 크지 않은 것으로 확인됨.

○ 특히, 석탄재 중 기존의 바텀애시(Bottom ash)는 해수 혹은 담수를 이용하여 습식 공정에서 배출되어, 수분·미연탄소·염화물 등을 다량 함유하고 있음.

○ 이와 같은 이유로, 재활용이 어려운 실정이었으나, 최근 건식 공정을 이용한 석탄재가

배출됨으로서, 기존의 습식 공정 배출 바텀애시의 근본적 문제를 일부 해결해 재활용이 용이할 것으로 판단됨.

○ 또한, 건식 공정에서 배출되는 바텀애시는 다공질로 매우 경량한 특성을 보유하고 있어, 거의 대부분 수입에 의존하는 경량골재를 대체가 가능할 것으로 판단되나, 바텀애시에 대한 체계적이고 종합적인 기술 개발이 미흡한 것으로 나타났으며, 본 연구 개발에서는 경량인공토양재로서 활용하기 위한 바텀애시의 특성 연구, 가공 프로세스의 개발 및 가공과정에서 배출되는 2차 부산물에 대한 활용과 경량인공토양재로서 적용특성 평가 등으로 구분하여 각각의 단계별 연구를 진행함.

② 건식 바텀애시에 의한 인공지반 녹화용 경량 인공토양 개발의 필요성

○ 최근 도시환경 개선을 목적으로 인공지반 녹화가 급속히 보급되고 있으며, 환경부, 지자체(서울시 등)의 정책적 관심도가 높아 다양한 지원정책을 실시하고 있음

○ 인공지반녹화 시스템의 소재 관련 요소기술은 방수・방근 기술, 경량인공토양 기술로 나눌 수 있으며, 방수・방근 관련 기술은 최근 들어 다양한 연구가 진행되어 왔으나, 토양소재와 관련된 연구개발은 1~2건 내외므로 이에 따른 대체 인공토양의 개발이 필요함.

○ 인공지반 녹화는 인공구조물 상부공간에 녹지를 조성하는 것으로 인공지반 녹화 시 토양의 중량은 설계된 허용 적재하중 이내로 시공해야 하므로 경량형이 요구되며, 흡수율이 높고 보수성과 통기성이 확보되어야 식물 생육에 적합함.

○ 건식 바텀애시 외측 단면부의 경우 Open cell의 다공질 구조로 형성되어 있어 경량이면서 흡수율이 높고 물리적 특성이 우수해 경량 인공토양 소재로 매우 적합하므로 폐기되는 자원을 도심지 녹지공간으로 재창출하는 인공토양 연구개발이 필요함.

○ 현재 인공지반의 녹화를 위해서 가장 많이 이용되고 있는 펄라이트는 원석을 수입하여 가공 생산하는 것으로서, 비산, 분진 등으로 인해 작업성이 떨어지며, 이는 2차적으로 대기중으로 유입되어 오염을 유발한다. 포설-식재 전 관수 후 작업이 이루어져야 하는 특성 상 따른 동절기 결빙으로 인한 시공의 어려움이 있으며, 시공 후 시간경과에 따른 체적 감소의 문제로 하자 발생의 원인이 되기도 함.

○ 최근 일본의 경우 펄라이트 사용이 감소하고 리사이클링 소재를 활용한 인공토양의 사용량이 증가하고 있는 추세이며, 국내에서도 외국 기술에 의한 시장 잠식 및 외화낭비의 방지를 위한 그 대체품의 개발이 필요함.

○ 인공지반녹화 시장에서 유한한 자원의 보호와 산업부산물의 우선적 사용을 통한 자원 순환형 저탄소 친환경 건설 시장 구축과 더불어 외국기술에 의한 시장잠식 및 외화낭비를 방지하고, 환경 친화적인 국토조성 및 자원순환사회 구축을 앞당길 수 있는 토양소재 관련 국내 기술의 확보가 시급히 요구됨.

(2) 건식 바텀애쉬 기반 인공토양의 개발 및 성능평가

(가) 기존 자재 호환 제품성능 평가

① 바텀애쉬 물리적 특성 분석

㉮ 바텀애쉬 입도별 함량비 및 ph값 분석

1) 실험개요 및 방법

○ 바텀애시를 활용한 인공토양 제조 시 바텀애시 입도별 함량비 및 pH 특성파악을 위한 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 바텀애시는 1kg, 8mm 이하로 5~8mm, 2~5mm, 1~2mm, 0.15~1mm, 0.08~0.15mm, 0.08mm미만, 총 6개군으로 분류하였다. 입도별 거름체를 활용하였으며 0.15mm 이하는 습식 체거름함.

○ 입도분리 후 가장마지막 0.08mm는 진탕으로 체가름이 되지 않기 때문에 물을 흘려주면서 체가름을 하고, 건조. 입도별 함량비는 입도별 중량 ÷ 전체중량(1kg)으로 계산하여 입도별 함량을 구하고, 0.08mm이하는 100-(0.08mm이상 입도 함량) 으로 계산함.

○ pH측정은 기건 상태의 시료와 증류수를 1:5로 하는 pH 1:5법을 사용함. 토양 10 g을 삼각플라스크에 취한 다음 증류수를 50㎖를 넣고 1시간 진탕 시킨 후 표준 전극을 넣고 60초 이내 pH-meter를 이용하여 측정하였음.

8-5mm	5-2mm	2-1mm
		
1-0.15mm	0.15-0.08mm	
		

[그림 2.2.2] 바텀애시 입도별 입형 차이

2) 실험결과

○ 자갈크기(8mm~2mm)의 입도에서는 pH가 7.72~7.81로 중성을 보이며, 토양수준(2mm

이하)의 입도에선 pH값 8.67~9.34로 알칼리성을 띔. 건식 바텀애시의 경우 미세립분을 많이 포함한 경우 pH값이 증가하는 특성을 보이므로 인공토양 제조 시 이를 고려한 ph값 조절이 필요 판단됨.

○ 각 입도별로 미분이 소량 존재, 실질적인 0.15mm 미만의 함량비는 더 높을 것으로 사료됨.

○ 입도별 함량비에 있어서는 2-5mm 입도분포가 33.5%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 다음으로 0.15mm~1mm 입도분포가 27.3%로 높은 비율을 나타냈다. 5㎜ 미만 건식 바텀애시의 경우 파쇄에 의한 미세립분이 30%이상 차지하므로 이러한 결과는 인공토양의 기준인 투수계수와 보수율에 영향을 미칠 것임. 시험체들의 투수계수결과를 측정하여 미세립분의 전체질량분의 가감을 통한 인공토양 기준에 적합하도록 할 예정임.



[그림 2.2.3] 가공 전후의 입도별 특성

<표 2.2.2> 바텀애시 입도별 함량비 및 pH값

입도구분(mm)	함량비(%)	pH[1:5]
0.00-8.00	100.0	8.81
5.00-8.00	13.4	7.72
2.00-5.00	33.5	7.81
1.00-2.00	14.7	8.67
0.15-1.00	27.3	9.08
0.08-0.15	8.1	9.34
-0.08	3.0	-

㉯ 바텀애시 단위용적질량

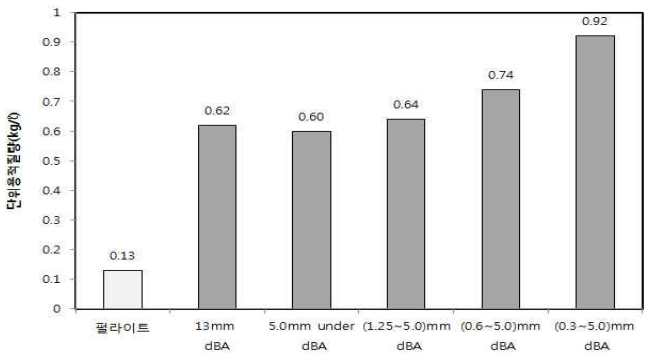
1) 실험개요 및 방법

○ 바텀애시를 이용한 경량골재 생산 시 발생되는 미세립분을 인공토양에 적용하고 기존의 인공토양과 유사한 성능을 맞추기 위해 펄라이트를 포함한 각 재료간 단위용적을 측정하였고 이를 바탕으로 경량을 선호하는 인공토양의 요구 성능을 맞추고자 함.

○ 토양을 KS F 2505(골재의 단위용적질량 및 실적률 시험방법)을 기준으로 각 재료의 용적당 질량을 측정하여 단위 용적 질량을 계산함.

2) 실험결과

○ 각 재료의 단위용적질량을 측정한 결과 펄라이트가 0.13 kg/l로 가장 낮게 나타났고 건식바텀애시의 경우 (13~1.25)㎜ 사이즈 범위의 수준이 0.60~0.64 kg/l로 나타나 (0.6~0.3)㎜ 사이즈 범위의 경우 0.70 kg/l 이상 보다 낮은 값을 나타내었다. 이것은 큰 입도 사이즈일수록 미세립분의 함량이 적어 실적률에서 많은 질량차이를 보였고 또한 골재의 형상에서도 큰 입도 사이즈의 바텀애시 일수록 오픈포어(Open pore)가 잘 발달되어 단위용적질량이 상대적으로 낮게 나온 것으로 판단됨.



[그림 2.2.4] 바텀애시 입도분포에 따른
단위용적질량

㉰ 바텀애시 입형 입도분포 분석

1) 입형

○ 화력발전소 보일러에서 1차 배출되는 바텀애시의 경우 표면에 부스러지기 쉬운 잔입자 혹은 연소상이 다량 부착되어 있으며, 함유되어 있으며, 편평하고, 세장한 형태의 괴상형의 입형을 띠고 있음.

○ 1차 배출된 바텀애시를 Impact crusher를 이용하여 가공한 결과 표면에 부스러지기 쉬운 잔입자 혹은 연소상이 일정부분 제거되어 견경한 부분이 다량 노출되는 것으로 나타남. 입형 또한 편평 세장형한 형태에서 구형에 가까운 형태는 나타남. 그러나 Impact crusher의 충격력에 의한 입형 변화 특성상 표면이 매우 거칠고 모난 부분이 상당량 존재하였으며, 연소상의 잔입자가 여전히 존재하는 것으로 나타남.

2) 입도 분포

○ Impact crusher 가공 전 dBA 즉, 최초 배출되는 dBA의 경우 100㎜ 이상의 크기부터 0.15㎜ 분말까지 크기가 매우 다양하게 포진되어 있으며, 0.6㎜ 입자를 기준으로 골재와 분말로서 구분하였을 때, 중량비율은 92.1%, 용적비율은 95.4%로 나타남.

○ 그러나 Impact crusher 가공 후 20㎜체를 95%이상 통과하고 0.6㎜ 입자를 기준으로 중량비율 72.5%, 용적비율 78.9%로 나타남.

○ 또한 가공 전의 경우 13~5㎜ 범위의 골재가 중량 및 용적비율의 50% 가량을 차지하고 있었으나 가공 후 5~0.6㎜ 범위의 골재가 중량 및 용적비율의 60% 가량으로 전체적으로 입도가 작아지는 것으로 나타남.

② 바텀애시의 화학성분 분석

○ 바텀애시의 화학적 특성 정립을 위해 1~6mm, 1mm에 대해 각각 분석을 실시함. 분석결과는 <표 2.2.3>과 같으며, 바텀애시를 기반으로 한 인공토양 제조 시 식물생육에 필요한 유기물 함량 비율이 낮으므로 이를 보완할 수 있는 유기물 소재의 혼합이 필요할 것으로 판단됨.

<표 2.2.3> 바텀애시 화학성 분석 결과

분석항목	1mm 단입도 dBA	1-6mm dBA
유기물(%)	0.24	0.13
N(%)	불검출	불검출
유효P2O5(mg/kg)	105.30	29.10
치환성K(cmol+/kg)	0.014	0.006
치환성Ca(cmol+/kg)	10.46	0.15
치환성Mg(cmol+/kg)	0.36	0.03
치환성Na(cmol+/kg)	0.05	0.02
양이온치환용량(cmol+/kg)	0.40	0.30
pH[1:5]	9.53	8.86
전기전도도[1:5] (dS/m)	1.39	0.051
NaCl(%)	0.009	0.002

③ 유해물질 용출량

○ 일반적으로 산업부산물의 경우 환경문제를 고려하여 유해물질 용출량을 검토하도록 되어 있음. 그러나 바텀애시의 경우 KS F 2534:2007 「구조용 경량골재」 해설 2.3 품질에 따르면 폐기물관리법에서는 Pb, Cd, Cr6-, Cu, Hg, As 등에 대하여 유해물질 함유기준을 정한 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서 활용되는 건식공정 바텀애시에 대하여 중금속용출시험을 실시한 결과 각 항목에 대하여 불검출 되어 안정한 것으로 확인되었음.

<표 2.2.4> 중금속용출시험

	Test items					
	Pb	Cd	Cr6-	Cu	Hg	As
Standard	3	0.3	1.5	3	0.005	1.5
dry Bottom ash	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

(나) 기존 건식 인공토양의 상용화 한계 및 극복방안 정립

○ 경량인공토양 제작 시 상기 소재 분석 결과로 미루어 보아 가공된 DBA는 인공토양 제조 시 주재료로 사용하기에 적합하다고 판단됨.

○ 하지만, 무기질계 중심의 DBA는 원재료로 단독 사용 시 식물생육에 필요한 영양분 공급이 어려움이 있으며 유기물 함량이 낮은 점을 보완하기 위해 유기계 인공토양 소재를 선정하고 적정비율로 혼합함으로써 인공토양의 경량화 및 영양공급에 유리할 것이라 판단됨.

(다) 현장 녹화기술 개발 - 건식 바텀애쉬 기반 인공토양 제조기술 개발

○ 인공경량토양 개발을 위해 보령지역에서 배출되는 건식바텀애시를 주재료로 사용하였고 사용된 바텀애시의 입도는 8mm이하로 사용.

○ 기존 바텀애시 단독 사용 시 문제가 되는 알칼리성 특성의 산도조절과 식물생장에 필요한 유기계 영양 공급을 위해 혼합재료를 첨가하였으며, 첨가된 혼합재료로 바크와 퇴비, 코코피트가 사용되었음. 혼합재료 별 특성비교를 위해 시행착오를 거쳐 1차적으로 4개의 타입으로 분류하였고, 바텀애시의 사용량은 65%로 동일함.

<표 2.2.5> 인공경량토양 제조를 위한 혼합재료 분석 및 특성

분류	DBA	수피	퇴비	코코피트	합계	비중	PH	EC
1	65	25	10	-	100	0.782	6.57	1.83
2	65	20	5	5	100	0.657	5.73	1.01
3	65	35	-	-	100	-	5.19	0.896
4	65	30	5	-	100	0.690	5.65	0.833

○ 상기 4가지 타입의 시험시료에 대해 ph, EC 측정결과 DBA 65%, 수피30%, 퇴비5%의 비율로 제작 된 4번 배합토양이 목표 특성에 가장 근접하였음. 따라서, 최종적으로 선정된 사용된 바텀애시 및 4번 배합토양에 대한 추가 물리, 화학성 분석을 실시하였고, 결과는 <표 2.2.6>과 같음.

○ 분석 결과 pH, CEC, EC, 염분 등의 화학성 항목외 물리성 항목에서 조경토 중급 기준에 충족되는 결과물을 얻을 수 있었으며, 향후 인공경량토양으로서 식물 생육 조건에 부합되는 제품으로 활용에 문제가 없을 것으로 사료됨.

○ 향후 인공경량토양으로서 경량화 및 품질향상, 원가절감을 통한 제품 개선, 경쟁력 강화를 위해 커피박, 정수장 슬러지 등의 리사이클링 소재들을 활용하여 양질의 유기물 공급을 위한 추가 연구를 실시할 예정임.

○ 분석 결과 pH, CEC, EC, 염분 등의 화학성 항목에서 조경토 중급 기준에 충족되는 결과물을 얻을 수 있었으며, 향후 인공경량토양으로서 식물 생육 조건에 부합되는 제품으로 활용에 문제가 없을 것으로 사료됨.

○ 향후 인공경량토양으로서 경량화 및 품질향상, 원가절감을 통한 제품 개선, 경쟁력 강화를 위해 커피박, 정수장 슬러지 등의 리사이클링 소재들을 활용한 추가 연구를 실시할 예정임.

<표 2.2.6> 바텀애시 및 제조 인공경량토양에 대한 물리, 화학성 분석 결과

분류	검사항목	바텀애시	혼합토양	조경토 중급 기준
물리성	투수계수(㎝/sec) 포화	0.69×10^{-2}	1.45×10^{-2} (조경토 상급 충족)	10^{-3}~10^{-4}
	함수시중량(kg/m^3)	1221.69	1073.81	
	단위용적질량(Mg/m^3)	0.63	0.53	
	공극율(%)	52.86	55.09	0.6~0.5
화학성	pH(1:5,w/w)	8.22	5.71	5.5~6.0, 6.5~7.0
	EC*(dS/m)	0.19	0.75	0.2~1.0
	CEC(cmol$^+$/kg)	1.18	5.40	20~6
	염분(%)	0.040	0.056	0.05~0.2

<표 2.2.7> 조경용 “중급” 토양 기준

구분	평가항목	단위	중급기준
물리성	유효수분량	m^3/m^3	0.12~0.08
	공극률	m^3/m^3	0.6~0.5
	투수성	cm/s	10^{-3}~10^{-4}
	토양경도	mm	21~24
화학성	토양산도(pH)	-	5.5~6.0, 6.5~7.0
	전기전도도(EC)	dS/m	0.2~1.0
	염기치환용량(CEC)	cmol/kg	20~6
	전질소량(T-N)	%	0.12~0.06
	유효태인산(Avail. P_2O_5)	mg/kg	200~100
	치환성 칼륨(K^+)	cmol/kg	3.0~0.6
	치환성 칼슘(Ca^{++})	cmol/kg	5.0~2.5
	치환성 마그네슘(Mg^{++})	cmol/kg	3.0~0.6
	염분농도	%	0.05~0.2
	유기물함량(OM)	%	5.0~3.0

○ 현재 개발된 인공경량토양의 성능검증을 위해 자사 시공 현장에 제품을 적극 투입, 사용을 통해 개발 제품의 지속적인 성능확인 및 현장에서 모니터링을 실시하고 있음

(라) 건식 바텀애쉬 기반 인공토양 제조 및 성능평가

① 1차 제작 된 개발 토양에 대해 호환 가능한 혼합재료의 기초적 특성

㉮ 커피박

○ 커피박은 커피를 제조할 때 커피콩을 열탕하여 커피 액을 추출한 후에 나오는 부산물로 커피 찌꺼기로 폐기물 분류 품목에 따라 식물성 잔재물로 분류되며 커피박에는 유기물뿐만 아니라 풍부한 섬유소(Cellulose), 리그닌(Lignin), 카페인, 폴리페놀화합물 등 다양한 기능성 물질이 다량 함유되어 있어 재활용 가치가 높은 유기성 자원 중의 하나로 평가 받음.

○ 호환 소재인 커피박은 커피 원두인 품종(아라비카, 로부스타)이나 어떠한 공정(산업용, 커피전문점)을 거쳐 생산되었는지에 따라 이화학성의 차이는 있으나 제조공정에 따른 이화학성의 변이 폭이 작아 퇴비 제조의 재료로 적합하다고 판단되며, 리사이클링 소재의 활용을 통한 환경적 측면 및 제조원가의 절감 측면에서 활용가능성이 높을 것으로 판단됨.

1) 커피박의 화학적 특성 분석

가) 실험개요

○ 커피박의 혼합재료로써의 이화학적 특성 분석을 위해 보령시 소재 커피전문점 2곳으로부터 드립추출 커피박, 압력추출 방식 커피박 각1종씩을 수거하였고, 세척 후 별도의 부숙과정을 거치지 않고 48시간 상온건조 후 질소전량, 유기물함량, 유기물대 질소의 비, pH, 전기전도도의 5개 항목에 대해 2개의 샘플 분석을 실시함.




[그림 2.2.5] 압력 추출식 커피박

<표 2.2.8> 커피박 성분분석

	Test items				
	질소전량(%)	유기물(%)	유기물대 질소의 비	pH	전기전도도 (dS/m)
Drip type	0.46	35.37	76.89	6.26	0.14
Pressure type	1.40	58.64	41.88	6.07	0.96

나) 실험결과

○ 분석결과 2개 샘플 모두 pH 값 6.07~6.26으로 중성에 가까운 약산성을 나타내 혼합토양의 주재료인 바텀애쉬의 알칼리성의 특성이 보완 가능할 것으로 보이며, 질소전량, 유기물 함량 항목에서는 드립추출 방식보다는 압력추출 방식의 커피박이 높은 수치로 나타남. 향후 혼합재료로 사용 시 압력추출 방식의 커피박이 적합할 것으로 판단되며, 기타 혼합재료와의 배합 후 부숙과정을 통해 적합성 여부를 추가 분석하고자 함.

2) 커피박 부숙과정을 통한 특성파악

가) 실험개요

○ 커피박의 퇴비화를 위해 기존 커피박의 C/N율을 조절하고 이화학성 및 물리성을 개선할 수 있는 부재료로 커피박과 유사한 재활용 소재인 한약찌꺼기를 사용하였고 부숙효율 증대를 위한 EM(미생물)제재를 혼합.

○ 부숙과정은 총 21일간 진행되었으며, 사용된 커피박은 압력방식으로 추출. 온도 30~32도, 수분 60%를 유지함. 혼합 후 부숙 과정에서 2주 간격으로 뒤집어주면서 미생물 호기발효를 촉진하였고, 후숙 과정에서 보관장소에 방치 후 혐기발효를 통해 완료함.

<표 2.2.9> 커피박 퇴비 혼합재료

구 분	커피박(압력식)	한약찌꺼기	가축분뇨발효액	EM제제
배합비(v/v)	77.5	15	-	7.5

<표 2.2.10> 커피박 퇴비화 과정

날 짜	6월 8일	6월 15일	6월 20일	6월 29일
경 과 일	0일	7일	12일	21일
수행사항	원료혼화	수분보충	혼 합	수분보충 필요
사 진				

나) 실험 결과

○ 커피박과 혼합소재 배합 후 부숙과정을 거친 퇴비에 대해 유해성물질 검출 여부와 퇴비로써의 화학성 분석을 실시함. 유해성 분석결과 수은, 납, 카드뮴, 크롬, 균류 등의 항목에 대해서 유해물질이 검출되지 않았으며, 구리, 아연, 니켈에 대한 수치는 공정규격 이하로 기준에 충족.

○ 화학성에 대해서 염분함량, 유기물대 질소의 비, 부숙도 외 실시 항목에 대해 기준에 충족되어 인공토양 제조 시 혼합재료로 적합하다고 판단됨.

<표 2.2.11> 커피박을 이용한 퇴비 유해성물질 및 화학특성 분석 결과

	분석항목(단위)	공정규격	분석결과
유해성분	유기물(%)	30이상	55.30
	비소(mg/kg	45이하	불검출
	카드뮴(mg/kg)	5이하	불검출
	수은(mg/kg)	2이하	불검출
	납(mg/kg)	130이하	불검출
	크롬(mg/kg)	200이하	불검출
	구리(mg/kg)	360이하	21.81
	니켈(mg/kg)	45이하	2.05
	아연(mg/kg)	900이하	60.39
	대장균O157:H7	불검출	불검출
	살모넬라	불검출	불검출
그밖의 규격	유기물대 질소의 비	45이하	32.33
	염분(%)	2.0이하	0.41
	수분(%)	55이하	40.19
	부숙도 [콤백법]	부숙완료 이상	부숙완료
	염산불용해물(%	25이하	1.47
공정규격 외	질소전량(%)		1.71

㉯ 바크

○ 나무껍질을 바크라고 하는데 목재를 만드는 과정에서 생기는 부산물로 국내에서는 주로 난 재배 중에 많이 사용하며, 바크는 목재에 따라 그 독성이 있을 수 있어 바크는 그냥 사용하지 않고, 퇴비화를 시킨 후에 사용. 사용된 바크는 1~15mm 사이의 입경을 가지며, 40일 이상 부숙과정을 거친 재료로 혼합재료로 첨가 시 배수, 통기, 보비력 향상을 위해 사용됨.

㉰ 정수장 슬러지

○ 수중의 오탁 물질이 침전해서 생긴 진흙 상태의 물질을 말하며 오니라고도 함. 정수장 슬러지의 구성성분은 주로 원수에 부유하는 점토 및 미사입자, 조류, 그리고 원수정화를 위해 첨가된 응집제 등이므로 흙과 가장 유사한 폐기물로써 농업용, 원예용 조경용 상토 등으로 활용이 가능한 물질로 알려져 있음.

○ 또한 정수장 슬러지의 pH와 CEC면에서 볼 때 사질토양 객토용이나 화분용 식물배지의 대체물질로 매우 유용하게 이용될 수 있음. 슬러지에는 질소, 인, 칼륨 등이 함유되어 있어 비료로서 기능을 할 것으로 판단됨.

○ 사용 정수장 슬러지는 수자원공사(B정수장)에서 채취, 원수 유입, 저수 후 고형분 응집 및 침전 과정을 통해 농축, 탈수 과정을 거친 것으로 채취 된 슬러지는 수분 함량 85% 상태로 건조 및 30일 이상의 부숙과정을 거친 후 혼합재료로 사용됨.

<표 2.2.12> 수피, 퇴비, 정수장 슬러지의 화학 특성 분석 결과

분류	pH(1:5,w/w)	EC*(dS/m)	CEC(cmol+/kg)	질소전량(%)	유기물(%)
수피	2.96	1.00	34.06	0.32	57.89
퇴비	7.96	6.37	64.28	3.75	56.65
정수장슬러지	6.96	0.33	48.19	0.46	8.07

<표 2.2.13> 바크 유해성 물질 및 화학특성 분석 결과

	항목	결과	비고
유해성분	질소(%)	0.35	분석방법 : 농촌진흥청 비료분석법에 준함
	인산(%)	0.04	
	가리(%)	0.06	
	칼슘(%)	0.55	
	비소(mg/kg)	불검출	
	카드뮴(mg/kg)	불검출	
	수은(mg/kg)	불검출	
	납(mg/kg)	불검출	
	크롬(mg/kg)	불검출	
	니켈(mg/kg)	1.02	
	아연(mg/kg)	11.41	
화학성	염분(%)	0.07	
	pH	5.71	
	EC	0.291	
	수분(%)	45.24	
	유기물(%)	48.10	
	유기물대 질소의 비	137.46	



[그림 2.2.6] 정수장 슬러지



[그림 2.2.7] 바크

② 호환 가능한 혼합재료의 혼합 배율에 따른 특성 및 식물생육 검증

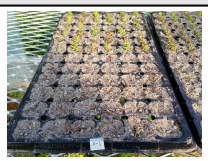
○ 기존 혼합재료에 추가적으로 커피박 퇴비를 활용, 배합비율에 따른 특성 및 식물생육 검증을 위해 종자 파종 후 발아율 실험을 실시하였음.

○ 실험은 2차례에 거쳐 진행되었으며, 실험결과 2,3번 항목의 배합에서 발아율이 높은 것으로 보아 바텀애시와 혼합재료 1종의 단독 혼합보다는 혼합재료가 적정 비율로 균형 있게 배합된 실험군의 발아율이 높은 것으로 나타남.

<표 2.2.14> 커피박 퇴비가 첨가된 혼합배율에 따른 특성

배합비(%)	1	2	3	4	5
DBA	80	65	65	80	80
바 크	10	20	15		
퇴 비			15		20
커피박	10	15	5	20	
사 진					
비 고	바크의 함량에 따라 육안상 유기질 함유여부 구분이 심함.				

<표 2.2.15> 커피박 퇴비 화용 인공경량토양의 발아율

날짜·내용	1	2	3	4	5
5월 24일 (파종·이식)					
6월 27일 (재파종 후 발아율 확인)					
발아율(%)	88.89	97.22	94.44	77.78	77.78

(3) 1차 물리적 가공기반 구축 (원자재)

(가) 파쇄 입도별 제품화 : 배수용, 육성용, 멀칭용 개발

① 원자재 개발대상품 : 석탄재저회(바텀애쉬) 분쇄 재활용품

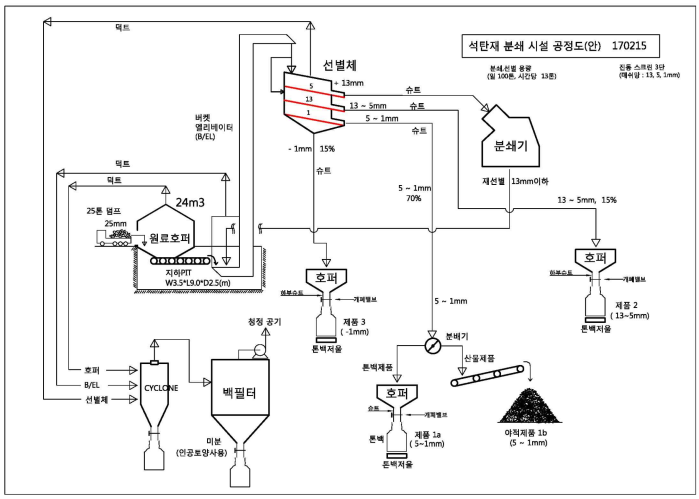
○ 인공토양 배합제품에서 토양소재중 석탄재 바텀애쉬를 60%이상 사용 예정이므로 본 과제에서는 토양에서 무기질 공급 소재인 발전소 배출 석탄재를 주 연구대상으로 하여 석탄재를 분쇄,선별하여 입도별 분리한후 식재 용도에 적합하게 배합한 인공토양을 개발.

② 기존 DBA 분쇄, 선별 시설

○ [그림 2.2.8]과 같음.

③ 바텀애쉬 분쇄,선별 시험가동 결과(2017.02.17.)

○ 시험용 바텀애쉬 인수량은 25톤 3대, 입고원료 바텀애쉬 입도측정결과는 <표 2.2.16>과 같음.



[그림 2.2.8] 기존 DBA 분쇄, 선별 시설

<표 2.2.16> 입고 바텀애시 입도별 함량비

체눈 mm	26.5~19	19~13	13~5	5 ~1	-1	합 계	비 고
무게	123 g	211g	344g	179g	254g	1,111g	
비율	11%	19%	31%	16%	23%	100%	
	61%			39%			

주 1. 1mm이하의 미분이 너무 많이 포함되어 분쇄제품 생산효율을 감소시키므로 발전소에서 분쇄시설 운전, 관리를 최적화하여 각각 10%이하로 출하 요청.

○ 분쇄시설 시운전 가동 결과는 2월 17일, 스크린 13, 5, 1mm를 사용, 다음과 같음.

<표 2.2.17> 분쇄시설 가동 결과

시각 2월17일	톤백 #	-13~+5 mm	-5~+1 mm	-1 mm	합 계	비 고
	1	431 kg	481 kg	727 kg	kg	
	2	474 kg	471 kg	710 kg	kg	
	3	428 kg	498 kg	801 kg	kg	
	4	471 kg	468 kg	818 kg	kg	
13:25 ~	5	423 kg	- kg	794 kg	kg	상부 소구경 톤백 적용시도
14:50	6	504 kg	- kg	- kg	kg	작업시간손실 약 30분
1시간 25분	7	428 kg	- kg	- kg	kg	
	8	457 kg	- kg	- kg	kg	
	중량	3,603 kg	1,918 kg	3,849 kg	9,384 kg	
	비율	39 %	20 %	41 %	100 %	
	AVG	452 kg	480 kg	770 kg	- kg	※지시중량높음, 수리예정
	톤백수량	8 개	4 개	5 개	17 개	
	비율	47 %	24 %	29 %	100 %	

※ 주제품(5~1mm) 주 제품생산비율이 너무 낮아 스크린 타공판을 교체하여 선별능력 증가 시킨 후 재가동 예정.

④ 초기 분쇄 시제품 외형

○ 기존 공장설비는 발전소 배출석탄재를 먼저 스크린 선별하여, 분리되는 소립자(-13mm)는 분리된 입자가 클수록 세장형의 괴상형태로서 표면상태가 모난 부분이 많아 일반 조경토에 비해 중립(6mm)이상의 조경용 토양소재로는 적합지 않으므로 외형 개선을 위하여 기존 크러셔에서 바텀애쉬 원료 전량을 둥근 외형의 입자로 분쇄하고, 추가로 스크린을 설치, 운영하여 구형에 가까운 중입자들을 분리하여 조경용 소재를 생산할 수 있도록 개선필요.



[그림 2.2.9] 입고된 바텀애시

(나) 신규제품의 적용성 검토

① 입도 외형

○ 5mm이하 분쇄품은 배합토양의 무기질 소재로 사용하기 적합하나 5~ 13mm는 입도가 육안상 크게 보이며, 배수성은 좋으나 수분 보유력은 다소 부족함.

○ 13mm이상은 조경토 포설 후 멀칭재로 사용하기에 무난할 것으로 사료됨

○ 배합 인공토양의 용도에 따라 석탄재 바텀애쉬는 입도별로 다음과 같이 사용예정임.

<표 2.2.18> DBA 입도별 사용용도 분류

입도 (mm)	용도
13 ~ 5	멀칭재
5 ~ 1	배수재
1미만	5 ~ 1mm에 혼합하여 배합토양 소재로 사용

② 입도별 분리 비율(중량비)

○ 발전소에서 배출되는 DBA 중 1mm 미만의 미분의 함량이 많으므로, 발전소 자체 1차 분쇄과정에서 운전조건을 최적화하도록 요청하여 향후 미분량을 감소시킬 예정

<표 2.2.19> DBA 입도별 함량비

입도 (mm)	함량
13 ~ 5	39%
5 ~ 1	20%
1미만	41%

③ 원료 석탄의 품질 균질화 요청

○ 수입되는 석탄 원료의 원산지 및 1차 분쇄 가동 조건에 따라 DBA분쇄 품질이 결정되므로 지속적으로 발전소에 분쇄되는 DBA의 품질이 균일성을 유지할 수 있도록 요청.

(다) PILOT PLANT 설계 및 적용

① PILOT PLANT 설치 목적

○ 기존 공장설비는 발전소 배출석탄재를 분쇄 과정을 거치지 않고 바로 스크린 선별하므로 분리된 6mm이상 중입자의 외형은 세장형의 괴상형태로서 조경토 소재로는 적합지 않음.

○ 따라서 기존 크러셔를 이용하여 석탄재를 분쇄한 후 스크린을 통해 구형에 가까운 중입자들을 분리할 수 있는 PILOT PLANT 설비를 구축, 활용하여 조경용 소재로 개선생산하여 활용하고자 하는데 목적이 있음.

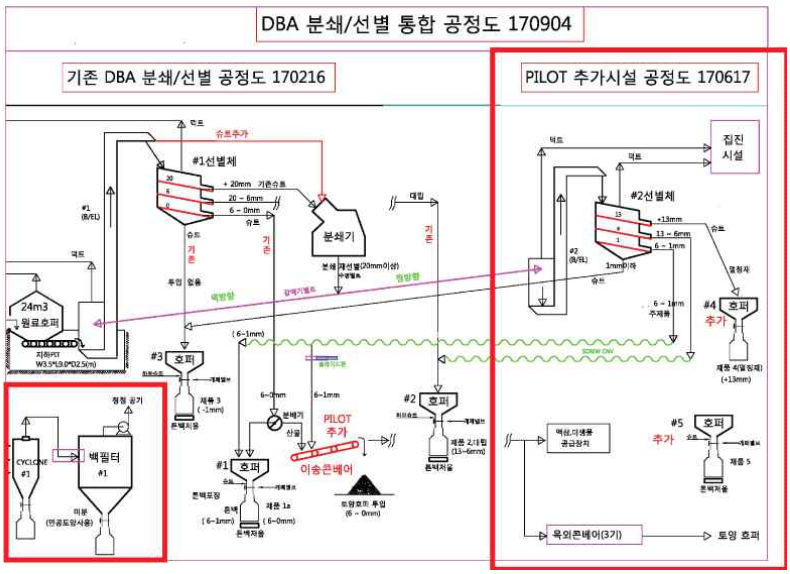
② PILOT PLANT 설비 구축

○ PILOT PLANT 설비에 관한 항목은 <표 2.2.20> 및 [그림 2.2.10～13]을 참조.

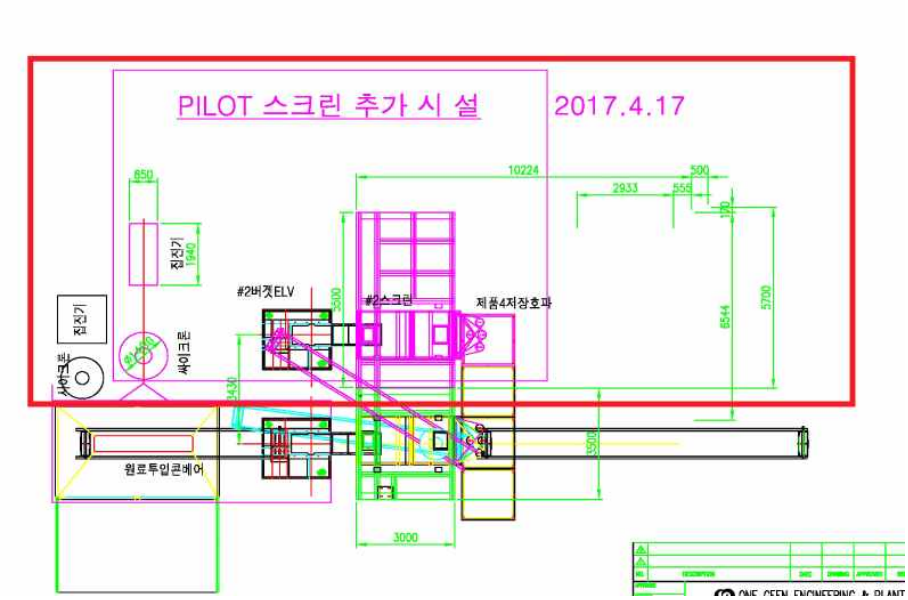
○ PILOT PLANT 설치는 2017년 9월 12일에 완료함.

<표 2.2.20> PILOT PLANT 설비 구축 항목 및 용도

분류	기기명	수량	용도
원자재 가공 설비	스크린제작(선별기)	1식	· 분쇄품 4종 입자선별 (+13/13~6/6~1/-1 mm)
	버켓엘레베이터 콘베어벨트제작	1식	· 바텀애쉬 투입원료 크러셔투입
	DUCT제작	1식	· 먼지발생 각종 기기장치/ 집진기 연결
	집진시설 제작	1식	· 싸이클론, 백필터 제작
	완성품 호퍼	1식	· #2스크린 대립분리품 저장, 포장 및 연결 장치
	MAIN STRUCTURE	1식	· 각종 기기장치 설치 및 2층 작업장, 통로,발판 등
인공토양 가공 설비	분쇄품 배출 벨트콘베어	1식	· 소립(-8mm) 바텀애쉬, 공장동 외부 배출
	액상,미생물 공급장치	1식	· 액비 등 첨가 혼합 및 구조물
	저장호퍼	1식	· 공장배출 바텀애쉬 저장 및 혼합기 투입
	옥외용 벨트콘베어	3개	· 토양 배합호퍼 투입용



[그림 2.2.10] 신규 PILOT PLANT 및 기존 설비 연계 통합 공정도



[그림 2.2.11] 신규 PILOT PLANT 평면도



[그림 2.2.12] PILOT PLANT 설비 사진



[그림 2.2.13] 공장 전경 및 기존 설비 사진

(라) 1차 성능 고도화 공정

① 최적 재료선정 및 배합기술 확보 : 성분분석

㉮ 배합소재의 선택

○ 인공토양의 소재로는 무기질 소재와 유기질소재를 적절히 선택하여 제조원가를 최소한으로 낮추어야 국내에서 시장경쟁력이 있으므로 시행착오를 거쳐 무기질 소재로는 바텀애쉬를 60%이상 사용하고, 유기질소재로 수피(bark), 퇴비, 코코피트를 사용.

○ 바텀애쉬는 보령지역의 발전소에서 배출되는 건식바텀애쉬를 트럭운반하여 분쇄공장

의 호퍼에 투입하여 파쇄, 선별과정을 거쳐 8mm이하의 산물을 콘베어로 이송하여 토양배합공장의 원료투입호퍼에 투입 사용하였고, 수피는 국내 목재단지에 집하되어 처리된 Bark를 트럭 운송하여 사용, 퇴비는 보령지역의 돈사에서 처리된 비를 트럭으로 받아 인공토양에 부족하기 쉬운 영양성분을 보충, 코코피트는 간헐적으로 토양의 산도조절에 사용함.

1) 배합에 사용된 입고 바텀애시의 특성

○ 발전소 배출 바텀애쉬는 수입되는 석탄의 품질에 따라 연소잔류물인 바텀애쉬의 성상이 차이가 많으며 당사에 입고되었던 5월 ~ 10월 기간중 바텀애쉬의 주요 특성은 아래와 같이 측정됨.

<표 2.2.21> 입고 바텀애시의 주요 특성

시 료	단위	#1	#2	#3	#4	#5	비 고
PH	-	9.68	9.27	9.45	7.93	7.68	
EC	mS/cm	111	105	96	87	81	

* 보일러연소실에서 불완전 연소가 되면 바텀애쉬의 외관 색깔이 진하고 유리질 입자가 많으며 비중이 크고 PH, EC 측정치도 높아짐.

○ 입고되는 바텀애쉬의 주 특성을 주기적으로 측정하여 추가로 첨가되는 유기질소재를 적절히 혼합하여 적정품질의 인공토양 생산 필요.

2) 배합비율 설정

○ 상기 4가지 배합비율로 시험시료를 조제하여 물성측정결과 바텀애쉬의 PH는 7.5 ~ 9.7 범위로 변동성이 있으므로 기본 배합비는 부피비율로 바텀애쉬 65%, 수피 30%, 퇴비 5%를 기본비율로 하여 발전소로부터 입고되는 바텀애쉬의 특성을 측정한 후 각 소재 비율을 계산하여 배합공장에서 인공토양을 배합 생산함.

㉯ 미생물 재재가 반영된 생태적 성능이 개선된 기능성 인공토양 생산기술 개발, 1차 시작품 제작

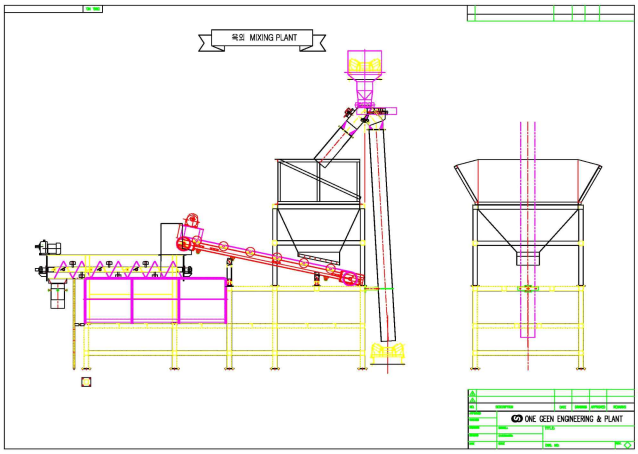
1) 미생물재재 투입 인공토양 생산 공정 안

○ 인공토양 배합공장으로 이송되는 바텀애쉬 이송콘베어출구에 2-WAY 분배기를 통하여 액상첨가물 투입시설로 우회 투입시켜 액비 또는 EM(유효미생물액)을 살포하여 바텀애쉬의 기능성을 향상시킴.

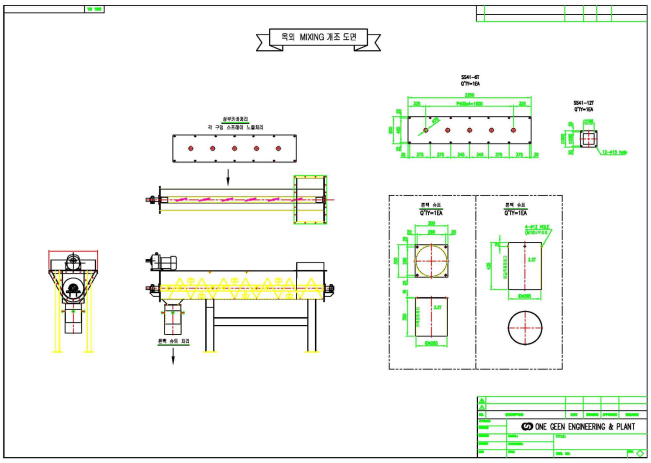
○ 바텀애쉬 분쇄동의 크러셔, 스크린 통과한 바텀애쉬 산물(-6mm)을 외부 이송콘베어로 이송하여 분배기로 옥외 DBA체류호퍼에 투입

○ 호퍼 하부 이송벨트를 구동하여 혼합기로 투입한 후 액상 첨가물 주입노즐을 이용하여 액비, EM(유효미생물액)을 주입. 액상 첨가제 투입유량은 DBA투입유량의 약10%(약 29L/분)

○ 혼합기 패들이 회전하면서 투입소재들이 혼합된 후 출구에서 낙하되는 미생물 재재 첨가된 바텀애쉬 제품을 톤백으로 받아 포장.



[그림 2.2.14] 미생물제재 혼합, 투입 시설 시작품 도면



[그림 2.2.15] 믹싱기 상세 도면

<표 2.2.22> 자가 제조 액비의 무기성분 함량

(단위 : %)

구 분	T-N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
액비 1	0.44	0.10	0.04	0.22	0.05
액비 2	0.12	0.19	0.22	0.07	0.05
액비 3	0.27	0.28	0.31	0.13	0.06

㉰ 시작품의 문제점 및 보완 방안 정립

○ 혼합기의 내부용량 부족 및 첨가물 노즐 분사 효율 미흡 등으로 혼합제품 시제품 성능개선이 필요하여 개선방안 수립하여 2차년도 시설보완 및 시제품 최적화 추진 예정.

㉱ PH, EC관리형 양액흡착 기술

○ 인공토양 소재의 60%이상을 투입 사용하는 무기질 소재인 DBA의 PH, EC를 관리하는

것은 매우중요함. 토양소재로 가장 많이 사용하는 DBA에 액상 첨가물을 살포하고 여기에 유기질 소재들을 혼합하여 인공토양을 생산.

○ 액상 첨가물은 공장 인근 지역에서 조달하기 쉬운 돈사배출 액비와 지방자치단체에서 보급중인 EM(유효미생물)사용, 투입방법은 EM은 물에 통상 500배정도 희석해서 사용하므로 토양소재용 DBA분쇄품(-6mm)을 옥외이송 콘베어로 배출시 콘베어 상부에 살포.

○ 액비는 공장부지내 10톤 탱크에 저장, 토양호퍼로 이송하는 콘베어의 바텀애쉬 표면에 살포.

㈐ 대체 사용재료의 검토 등

○ 토양 소재로 사용가능한 물질로 자연계에서 발생하여 재활용 활수 있는 물질로 커피 용출 후 잔류물(커피박)과 상수도 정수장 탈수케이크(정수오니)를 저렴하게 활용할 수 있는 소재로 사용 실험을 진행하였고 인공토양으로 배합하여 품질검사 및 개선실험 진행중에 있음.

㈑ 대량생산체제 구축 및 인공경량토양 1차 시제품 생산

1) 바텀애쉬 분쇄제품 생산 체제 구축

○ 기존 분쇄시설 설치 : 2017.1.04. ~ 2017. 2.28

○ PILOT PLANT 설비 설치 : 2017.9.12

2) 인공경량토양 생산 체제 구축

○ 인공경량토양 제작을 위한 배합시설 설치 : 2017. 8. 24 (토양소재 투입호퍼 추가설치)

3) 바텀애쉬 폐기물 재활용업 허가 취득

○ 2017. 05.02 바텀애쉬 폐가물 재활용업 허가 취득

4) 인공토양 시제품 생산

○ 2017.09.07. 1차 시제품 생산 : 62,879kg (925kg / 톤백 x 68백)

(마) 기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출

① 교관목 식재 등 관리형 옥상녹화 현장 시험적용

㉮ 개발 인공토양 현장 적용 실적

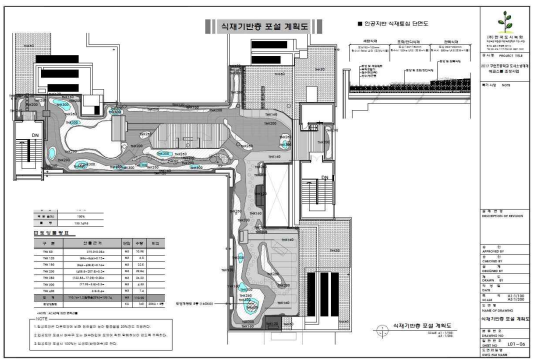
1) 구현초등학교

<표 2.2.23> 적용 현장 개요

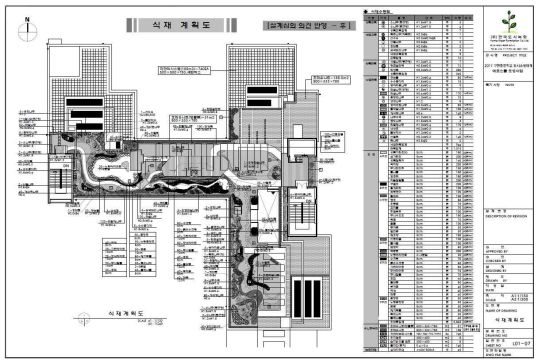
구분	2017년 구현초등학교 에코스쿨 조성사업
시공일시	2017. 07. 12
준공일	2017. 09. 09
시공장소	서울특별시 은평구 갈현로15길 51 서울구현초등학교
시공면적	1,043m2
사용토양	135m3
식재수종	소나무, 산딸나무, 상록패랭이 등 교관목, 초화류 혼합식재
시공업체	(주)한국도시녹화
사용자재	K-Soil



[그림 2.2.16] 구현초등학교 옥상녹화 현장



[그림 2.2.17] 구현초등학교 식재기반, 토양포설 도면

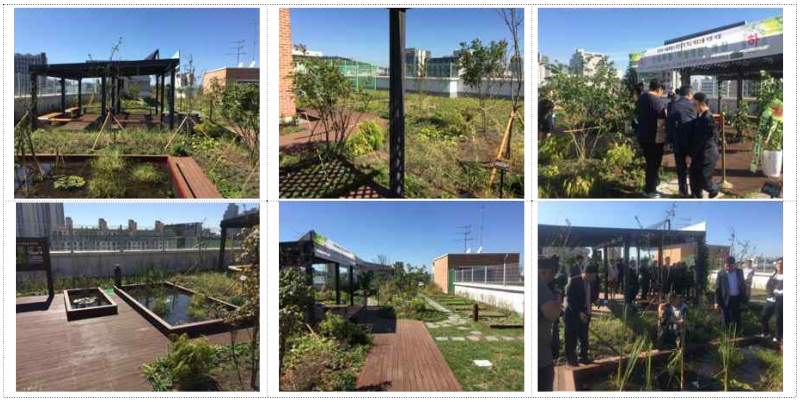


[그림 2.2.18] 구현초등학교 식재계획도

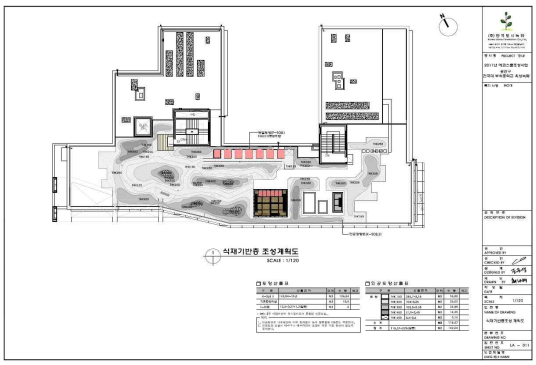
2) 건국대학교부속중학교

<표 2.2.24> 적용 현장 개요

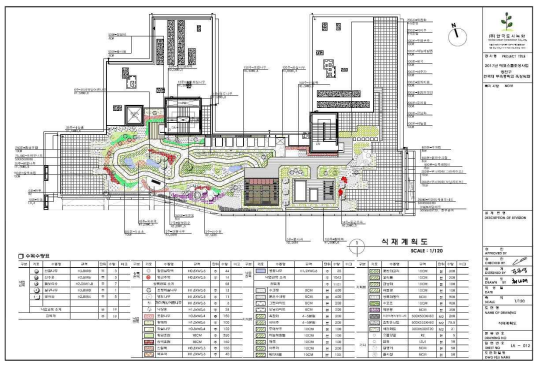
구분	2017년 건국대학교부속중학교 에코스쿨 조성사업
시공일시	2017 07. 06
준공일	2017. 09. 03
시공장소	서울특별시 광진구 자양로 145-1 건국대학교부속중고등학교
시공면적	920m2
사용토양	130m3
식재수종	살구나무, 조팝나무, 비비추 등 교관목, 초화류 혼합식재
시공업체	(주)한국도시녹화
사용자재	K-Soil



[그림 2.2.19] 건국사대부속중학교 옥상녹화 현장



[그림 2.2.20] 건국대학교 부속중학교 식재기반층, 토양포설도면



[그림 2.2.21] 건국대학교부속중학교 식재계획도

〈표 2.2.25〉 적용 현장 시공 제품 물성

구분	결과	비고(시험방법)
단위용적질량(건조상태)	0.874 (kg/L)	KS F 2505 : 2002
단위용적질량(5분침수후)	1.345 (kg/L)	KS F 2505 : 2005
투수계수(정수위)	1.2×10^{-2} (cm/sec)	KS F 2322 : 2000
수분	18.5 (%)	농촌진흥청고시 제2011-38호
pH(1:5,25℃)	7.7	KS I ISO 10390 : 2005
전기전도도(1:5, 25℃)	0.9 (dS/m)	KS I ISO 11265 : 2005
양이온치환능력(CEC)	19.6 (meq/100g)	농촌진흥청고시 제2011-38호
유기물	18.1 (%)	농촌진흥청고시 제2011-38호
유기물/질소의비	172	농촌진흥청고시 제2011-38호

○ 2개소 현장 적용 후 식물 생육 상태에 대한 모니터링을 지속적으로 실시하고 있으며, 시공 후 이식 스트레스로 인한 일시적인 생육상 저하가 발생했으나, 시공 후 60여일이 경과된 현재 식재된 교관목 및 초화류 전반적인 생육상태는 매우 양호한 것으로 판단됨. 향후 개발 인공경량토양의 식물생육에 관한 추가적인 모니터링을 통한 데이터 확보 예정.

㉰ 건식, 습식, 펄라이트 대비 식물 생장변화 시험

○ 기존 개발 인공경량토양을 포함한 커피박, 정수장 슬러지 등의 기타 혼합소재 적용 및 배합율에 따른 식물생육 기반재로서 적용성 검토를 위해 식물 종파 파종 후 발아실험을 실시하였으며, 실험에 사용된 케일, 겨자 종자를 사용. 파종 7일 경과 후 개발 토양 및 비교 군으로 사용된 펄라이트, 원예용상토의 발아율이 양호하였으며, 기타 슬러지 등이 배합된 토양에서는 발아율이 다소 저조하였음.

○ 일반적으로 종자 파종의 경우 약산성 특성의 토양에서 발아율이 좋음. 이를 토대로 향후 파종을 통한 발아율 실험 외 삽목, 교관목 식재 등을 통해 다양한 특성에서의 식물 생육 적합성 검증을 위한 실험을 추가적으로 진행할 예정임



[그림 2.2.22] 종자파종(좌:케일,우:겨자)

(4) PILOT PLANT를 이용한 인공경량토양 시제품 생산 기술 확보

(가) PILOT PLANT 운영 및 2차 고도화 개선을 통한 시제품 생산 기술 확보

① DBA 기반재 생산원가 절감

○ PILOT PLANT와 기존의 설비를 혼용 시험운전 결과를 통해 최종생산품의 유형에 따라 스크린의 입도를 조정해 생산효율 15-35% 상승 : 연동 운전시 크러셔 통과량을 최소화 하거나 PILOT PLANT 단독 운전시 스크린 규격을 무공판(3단)과 8mm타공메쉬(2단)에 설치해 멀칭용(#8-20mm)을 하부 홉바에서 바로 1.5톤백으로 생산, 인공토양 원자재용으로 #8mm이하를 옥외홉바로 이송, 생산 처리함으로서 제품 다양화 및 파분쇄 처리능력 배가.

② 입도분석 결과를 통한 생산설비 운전 계획 수립 및 운전 최적화

○ 옥외 b/c의 연계 운전 및 홉바보강을 통한 파쇄량 증대, 혼합생산량 증대 가능 : 옥외 홉바의 파쇄량과 혼합라인 연동 생산을 위해 옥외 b/c의 연계 운전시스템 및 홉바 보강시 생산량 증가 및 생산원가 감소 예상.

(나) PILOT PLANT LINE과 기존 인공토양 혼합 생산라인 연계구축 강화 및 2차 고도화 개선

① 가공 원자재를 기반으로 한 상용제품군 제조 기술 및 생산라인 강화

○ 기존 파분쇄 PLANT와 연동해 PILOT PLANT를 운영함으로서 생산성 향상 : 기존의 스크린(#0-6mm 또는 #0-8mm)에서 오버사이즈중(부피비 30-35%) 크러셔를 통과해 신규 PILOT PLANT(#0-8mm)에서 별도로 멀칭용(#8-20mm) 생산 및 인공토양 원자재용으로 생산 처리함으로서 제품 다양화 및 파분쇄 처리능력 배가됨.

○ 기존 파분쇄 PLANT의 고장등 이상발생시 신규 PILOT PLANT를 임시 운영함으로서 생산라인 보완 : 기존 스크린(#0-6mm 또는 #0-8mm)에 고장이 발생될 경우 신규 PILOT PLANT만 독립 운전을 통해 생산 손실을 최소화함.

② #1, #2 스크린 가동방법에 따른 다양한 분쇄 가공품 생산

○ 분쇄기와 스크린의 가동순서 및 스크린의 단독 및 동시가동 방법 선택에 따라 소립 산물의 토양소재와 입상 멀칭재 톤백포장품의 분리비율등을 조절하면서 다양한 제품을 생산가능.

㉮ 스크린 1기만 가동 : 타공망 부착 : #1 스크린 20 /8 / 0mm, #2 스크린 8/open/0

1) CASE 1 : #1 스크린만으로 선별후 분쇄기 가동

○ 투입 DBA원료를 먼저 선별하여 소립자(8 ~ 0mm)들을 산물로 분리하여 배합토양의 소재로 사용하고, 중간입자(20~8mm)는 톤백 포장기로 보내 톤백으로 받아 옥외 저장소에 적치함.

○ 최상부 타공망위의 대립자(+20mm)는 분쇄기로 투입하여 파,분쇄하여 #1 스크린으로 재순환시켜 상기 2종 제품으로 분리함.

<표 2.2.26> Case 1 경우

	설비 가동순서	스크린 상단	스크린 중간단	스크린 하단
1	원료 투입			
2	#1 스크린 가동, 입자선별	+20mm	20 ~ 8mm	8 ~ 0mm
		분쇄기 투입	톤백 충진	산물 옥외 이송
3	분쇄기 가동, 대립 파,분쇄			
4	분쇄품 #1 스크린 재투입	+20mm	20 ~ 8mm	8 ~ 0mm
		분쇄기 투입	톤백 포장	산물 옥외 이송
5	상기 과정 반복			

2) CASE 2 : 분쇄기 파,분쇄후 #2 스크린(8 /open/ 0mm) 선별

○ 투입 DBA를 먼저 분쇄후, #2 스크린에서 선별하면 상단에서 8mm 이상 입자가 분리되어 톤백에 충진되고 하단에서 8 ~ 0mm의 소립자가 분리되어 산물로 옥외이송됨.

<표 2.2.27> Case 2 경우

	설비 가동순서	스크린 상단	스크린 중간단	스크린 하단
1	원료투입			
2	분쇄기 가동, 대립 파,분쇄			
3	분쇄품 #2 스크린 투입	+8mm	배출없음	8 ~ 0mm
		톤백 포장	배출없음	산물 옥외 이송
4	상기 과정 반복			

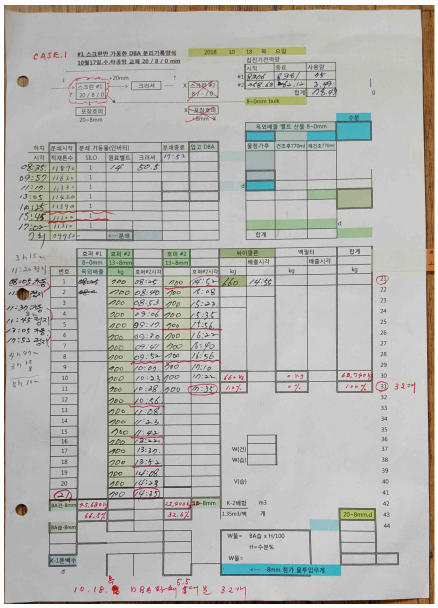
㉯ #1 스크린과 #2 스크린 동시 가동 : 1차 선별후 오버사이즈만 재분쇄 2차 선별

1) CASE 3 : #1 스크린(6 /open 0mm)과 #2 스크린(8 /open/ 0mm) 동시 가동

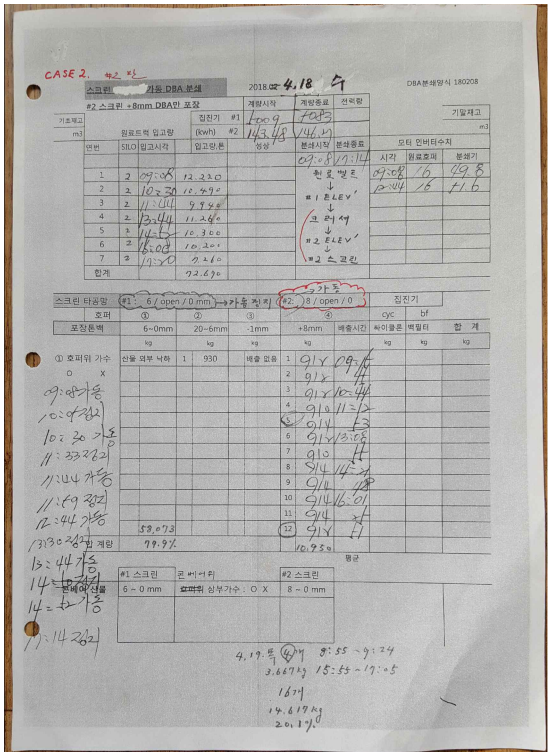
○ #1 스크린에서 1차 선별하여 하단에서 배출되는 소립자(6 ~ 0mm)는 산물로 옥외로 이송되고, 6mm이상 오버사이즈는 분쇄기에서 파,분쇄된후 #2 스크린에 투입하면 상단에서 대립 8mm 이상은 톤백으로 충진되고, 하단 소립(8 ~ 0mm)은 하부의 스크류콘베어를 통하여 산물로 옥외로 이송됨.

<표 2.2.28> Case 3 경우

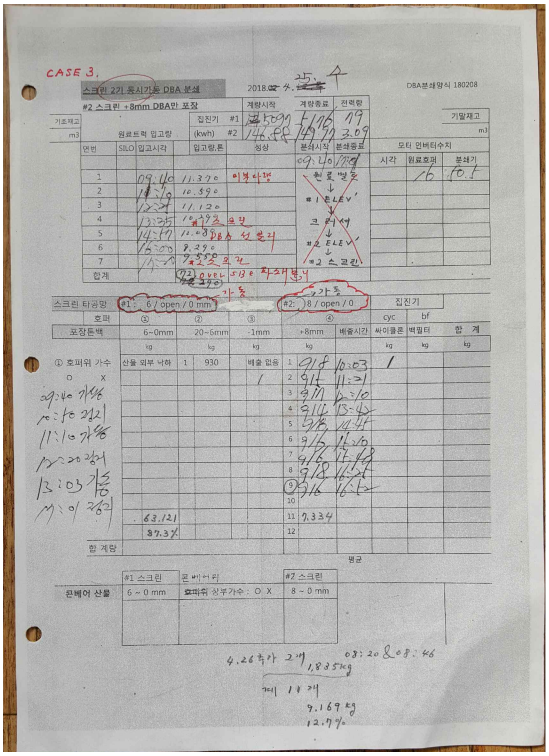
	설비 가동순서	스크린 상단	스크린 중간단	스크린 하단
1	원료투입			
2	#1 스크린 가동, 입자선별	+6mm	배출없음	6 ~ 0mm
		분쇄기 투입	배출없음	산물 옥외 이송
3	분쇄기 가동, 6mm이상 파,분쇄			
4	분쇄품 #2 스크린 투입	+8mm	배출없음	8 ~ 0mm
		톤백 포장	배출없음	산물 옥외 이송
5	상기 과정 반복			



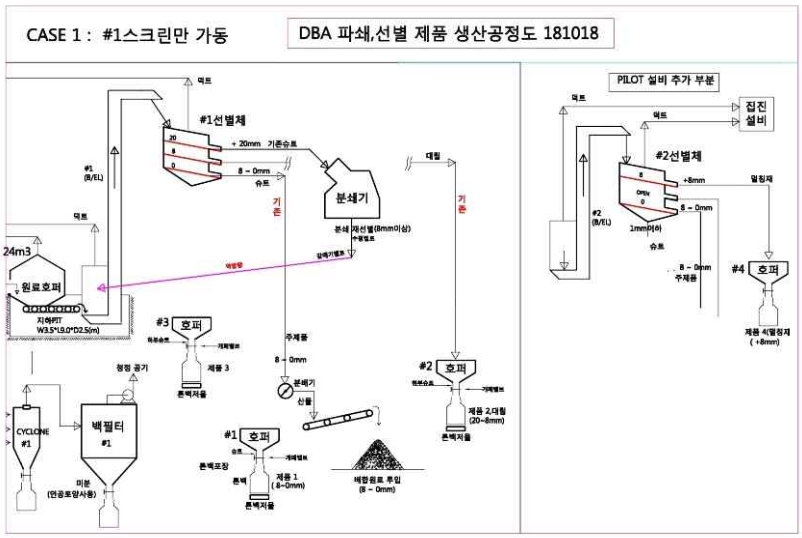
[그림 2.2.23] CASE 1 : #1 스크린(20/8/0mm) + 분쇄기 가동 : 2018.10.18.목. 운전자료



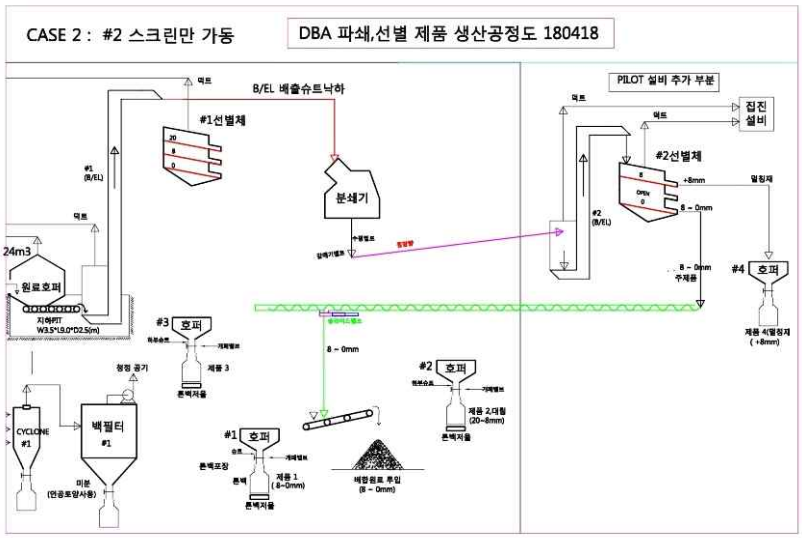
[그림 2.2.24] CASE 2 : 분쇄기 + #2 스크린만 가동



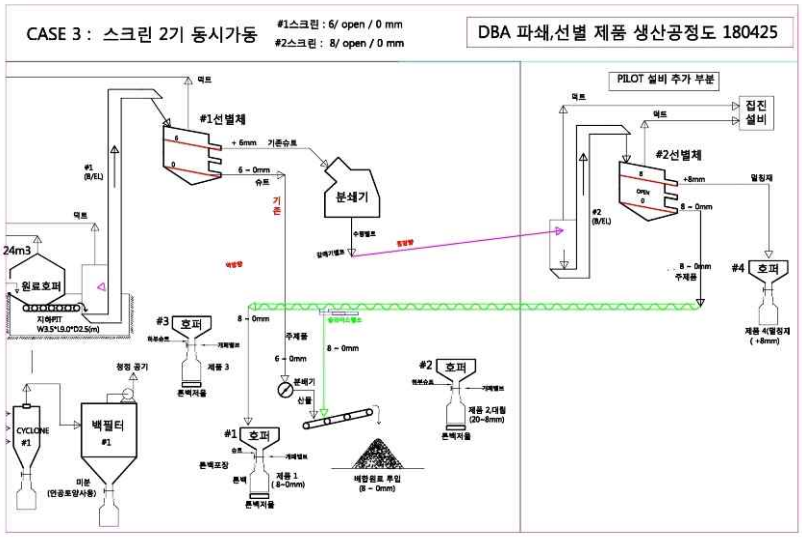
[그림 2.2.25] CASE 3 : #1 스크린(6 /open/ 0mm), #2 스크린(8 /open/ 0mm) 동시 가동



[그림 2.2.26] CASE 1 생산공정도



[그림 2.2.27] CASE 2 생산공정도



[그림 2.2.28] CASE 3 생산공정도









[그림 2.2.29] 추가 PILOT 시설 1





[그림 2.2.30] 추가 PILOT 시설 2

③ PILOT 기계장치 가동결과 개선 필요 설비 검토 및 개선

○ 현재 #2스크린 및 부대설비가 안정적으로 가동되고 있으나 제품 생산, 출하 효율성 제고를 위해 하기 문제점에 대한 근본적인 개선조치 필요.

1) 스크린 모터 지지구조물

○ 기존 #1스크린과 연계하여 #2스크린 동시 가동하면 2~3일만에 #2스크린 모터 지지볼트가 반복적으로 파손,절단되어 용접수리,교체작업으로 파쇄품 생산작업을 안정적으로 할수 없는 상황임.

○ 모터 지지볼트가 스크린 진동상태에서도 과도한 진동을 받지않는 구조로 구동모터와 스크린 진동축간의 동력전달방식을 개선.

2) 스크린 하단배출 스크류 콘베어

○ #1스크린에서 소립자들을 먼저 분리한후 20mm이상 입자만 크러셔로 분쇄후, #2스크린으로 투입하여 8mm / open / 0mm 2단분리한후, 하부 1단표면에서 8~0mm 소립자가 SCREW CONVEYOR로 투입되면 이송량이 원활하게 출되지못하고 스크류 배관내에 정체되어 구동모터에 과부하를 발생시켜 모터 소손이 반복적으로 발생하여 #2스크린

을 가동하지 못하고 있음.

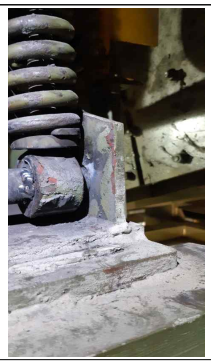
○ 스크류 이송능력을 향상시키기 위해 구동모터 용량이 큰 것으로 교체 또는 벨트콘베어로 교체설치.

<표 2.2.29> 스크린모터 지지볼트 수리, 작업 현황

연번	파손일	파손 내용	수리 내용	작업시간
1	4.13.	모터지지 스프링 전산볼트 고장	지지볼트 용접	1시간 30분
2	4.18.	상동	상동	상동
3	4.23.	모터지지 스프링볼트 진동심함	모터지지판교체	2시간
4	7.03.	스프링 전산볼트 고장	지지볼트 용접	1시간 30분
5	7.07.	스프링 전산볼트 고장	지지볼트 용접	상동
6	8.08	모터테이블 브라켓 고장	브라켓 제작부착	상동
7	8.15	스프링 전산볼트 고장	지지볼트 용접	2시간
8	8.19	모터축 지지링 탈리	모터고정링 교체	2시간 30분
9	8.24.	지지볼트 진동 심함	모터지지판 교체	3시간 30분
10	9.03	모터축 와부고정 링 탈리	모터축 링 가공 교체	4시간

<표 2.2.30> 스크류CNV 모터 수리 작업 현황

연번	파손일	파손 내용	수리 내용	작업시간
1	3.23	기존 2마력모터 소손	모터 코일 재권선 수리	2일
2	7.28	기존 2마력모터 소손	아동식CNV 3마력모터 교체	4시간
3	9.10	3마력모터 소손	모터코일 재권선 수리	2일
4	9.11	스크류배관 절단,내부점검	내부퇴적물 및 스크류 점검	2일

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>#2스크린 모터축
연결부</td><td>#2스크린모터
베이스판</td><td>#2스크린모터
지지볼트</td><td>#2스크린모터
지지볼트 연결부</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>#2스크린슈트4개</td><td>1단배출 SCREW
좌좌측</td><td>1단배출 SCREW
좌측</td><td>1단배출 SCREW
중간</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>1단배출 SCREW
출구쪽</td><td>1단배출슈트
SCREW
CNV투입부</td></tr>
</table>

[그림 2.2.31] 스크류 콘베이어 배관 내부 상태

④ 품질관리 매뉴얼 작성시 고려사항 검토

○ 원자재 입형가공 개선을 통한 멀칭용, 인공토양 제조용(배수용, 육성용)의 파분쇄시 생산 품질관리 메뉴얼을 확보하여 운영설비 및 생산을 매뉴얼에 의거 최적화해 원가절감 방안 정립.

○ PILOT PLANT 운전시 원자재 홉바 하부 벨트컨베어의 속도는 12-13m/min으로 하고 크러셔의 운전속도는 54RPM으로 결정.

<표 2.2.31> 원자재의 가공에 따른 입도, 형상별 분류

분 류	용 도	입 도
K-SOIL M	멀칭용	8~20mm 크러셔 입형가공(원형)
K-SOIL B	채움재, 배수용	6~20mm
K-SOIL D	인공지반 및 자연지반 배수용, 토양혼합용	0~8mm

⑤ 완성품 소포장 Pilot Plant 구축

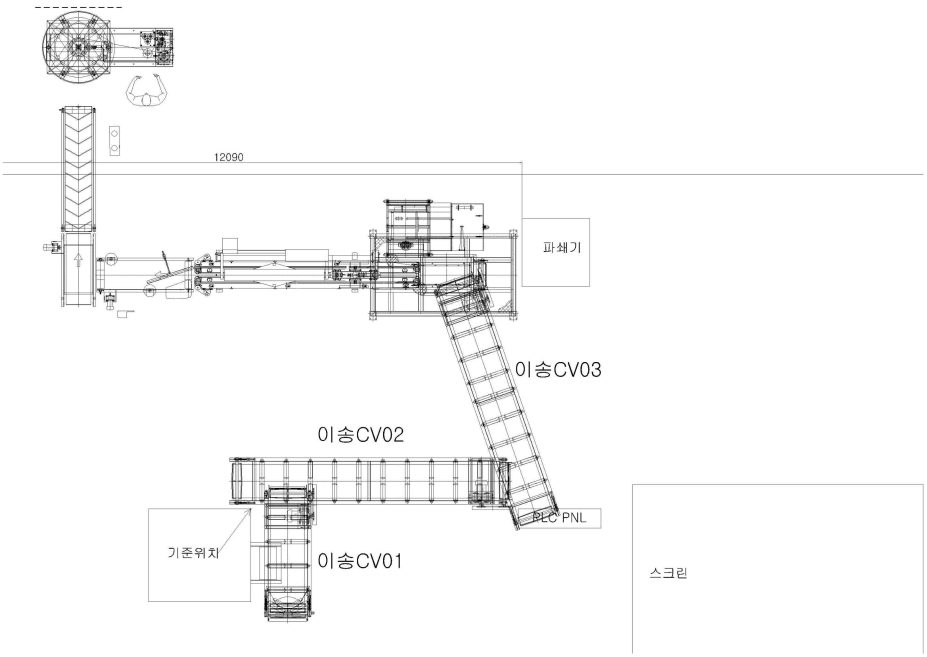
○ 기존 포장방식은 톤백 포장 방식으로 대량사용에 적합하였으나 개발 제품의 소포장화를 통해 보다 다양한 구매처를 확보하고 톤백 사용이 어려운 현장 적용이 가능도록 함.

○ 현재 구축된 소포장 Pilot Plant 라인에서는 소포장 40L을 기준으로 하며, 질량 기준으로 생산 시 완제품 및 혼합재료의 수분함량에 따른 질량 차이로 인해 발생하는 손실율을 최소화하기 위함임.

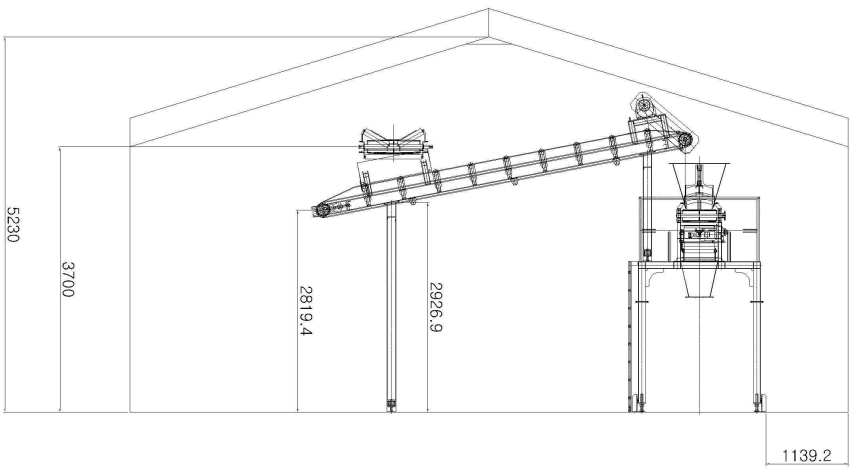
○ 시간 당 100포(톤백 4개분량) 생산이 가능하도록 완성품 소포장 Pilot 시설을 다음과 같이 구축완료함.

<표 2.2.32> 소포장 Pilot Plant 구성 주요 설비

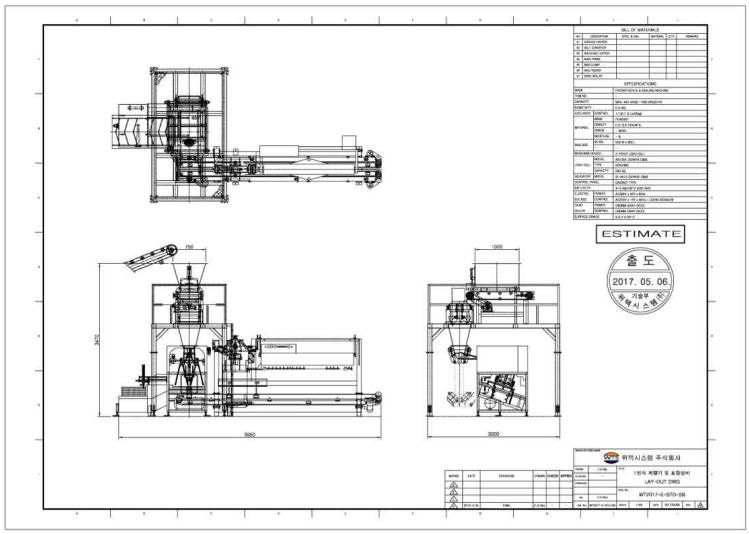
항목	수량 (식)	용도
일연식 계량기	1	토양 용량 계측
자동급대기	1	포장 용지 공급
일자실링봉합기	1	포장 용지 봉합
이송컨베어 시스템	3	톤백 라인과 연결 및 포장라인
수동랩핑기	1	제작완료 제품 포장장치
제어판넬	1	소포장 라인 제어



[그림 2.2.32] 시제품 소포장 Pilot Line 평면도



[그림 2.2.33] 시제품소포장Pilot Line 측면도



[그림 2.2.34] 자동포장기 도면



(a) 기존 톤백홉바라인과 연계, 벨트컨베어로 별도 배출



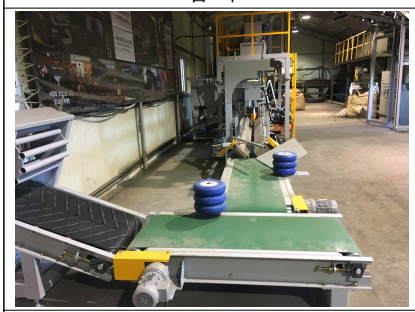
(b) PILOT 계량홉바로 투입



(c) PILOT 소포장라인에 포장지 급지



(d) 인공토양 또는 토양개량제 투여 및 웰딩(포장)



(e) 완성품 배출



(f) 기존라인과 PILOT 소포장라인 연계 전체공정

[그림 2.2.35] 인공경량토양의 소포장 Pilot Plant

(다) ‘가공 원자재를 기반으로 한 유기계 소재 혼합형 및 양액 흡착형 제조 기술 개발, 강화

① 원자재 기반 토양 : K-SOIL D

○ 가공 원자재를 입도별 분리 후 0~8mm 입도 DBA를 선별하여 미생물제재(당밀, EM, 목초액) 또는 액상비료(복합비료 액상화)를 적정비율로 희석 후 스크류컨베어를 통해 분사, 흡착시키는 방식의 K-SOIL D를 개발함.

○ 무기물 원료인 DBA에 양액을 분사, 흡착시켜 영양분을 공급함으로서 기타 소재의 혼합 없이 단독사용이 가능하며, 일반 토양과 혼합사용하여 배수성능 증대가 가능토록 제조.

② 유기계 소재 혼합형 인공경량토양 : K-SOIL 2

○ 1차 가공된 DBA를 주요 무기질 원료로 사용하면서 코코피트, 퇴비, 필요 영양소 등 유기질 원료를 혼합한 제품으로 사용식물 및 대상지의 폭이 넓어 세덤류, 지피, 관목, 교목 등 식물에 양호한 생육 성능을 확보한 K-SOIL2를 개발함.

○ 1차년도 기 개발된 인공경량토양(K-SOIL1)은 세덤류 또는 초화류, 소관목류에 적합한 토양제품에 반해 2차년도 연구개발된 인공경량토(K-SOIL2)는 초화류나 잔디, 관목류 또는 교목류 등에 보다 광범위하게 적용 되도록 보비력 등을 향상시킨 제품임.

③ 고급형 토양개량제 / K-SOIL α

○ 기존의 인공경량 혼합토에 주로 사용되는 퇴비의 경우 실내에서 사용 시 미완숙으로 인해 악취와 가스피해, 초파리 발생등의 유발 문제가 있음.

○ 고급형 토양개량재 제품개발을 목적으로 악취 최소화, 영양분함량 증대를 위해 퇴비를 대체할 유기계 소재로 코코피트 함량을 높이고, 대체 소재로 피트모스, 질석, 제올라이트, 왕겨숯, 미생물제재를 혼합하여 보습, 보비력을 증대한 토양개량제임.

○ 3차년도 부자재 추가 탐색 및 적용, 퇴비부숙 및 품질관리 향상을 통해 토양개량제 시장에 있어 식재등에 일반토양과 혼합할 수 있는 토양개량재 및 일반 분갈이용 등 DBA 소재의 입도 및 혼입량에 따른 제품군 출시로 시장 점유를 높이고 비투씨 사업분야로 점진적 성장.

○ 향후 추가연구를 통해 차콜, 미생물제제를 혼입하는 암모늄(미세먼지) 저감형 토양개량제 개발의 기초 자료화 예정임.

<표 2.2.33> 가공 원자재 기반 및 유기계소재 혼합 토양

제품명		용도
인공경량토양	K-SOIL 2	인공지반 수목식재지 토양
	K-SOIL D	인공지반 및 자연지반 배수용, 토양혼합용
토양개량제	K-SOIL α	물리적, 화학적 토양개량



[그림 2.2.36] 가공 원자재 기반 및 유기계소재 혼합 토양 사진

④ 인공경량토양의 주요성능 검토

○ 인공경량토양 제품군의 성능확보(투수계수 0.4×10^{-3}, EC 0.6~0.8) 및 대량생산을 통한 원가절감 및 판매처를 확보함.

<표 2.2.34> 개발 토양(시제품) 혼합소재 및 구성비

항목	분류	DBA	수피	퇴비	코코피트	피트모스	질석외	미생물 제재	합계
K-SOIL 2	인공경량 토양	65	20	10	5	-	-		100
K-SOIL α	상토	25	5	-	35	20	15	◎	100

<표 2.2.35> 개발 토양(시제품) 의 물리, 화학성 특성

분류	검사항목	K-SOIL 2	K-SOIL α	조경토 중급 기준
물리성	투수계수(㎝/sec) 포화	0.68×10^{-3}	1.54×10^{-2}	10^{-3}~10^{-4}
	단위용적질량(Mg/m^3)	0.61	0.34	-
화학성	pH(1:5,w/w)	7.26	5.23	5.5~6.0, .5~7.0
	EC(dS/m)	0.48	0.15	‘0.2~1.0

(라) 인공경량토양 시제품용 커피박, 정수장슬러지 등 리싸이클 소재 대량 수급 계획 수립 및 후가공 기술 개발

○ 커피박(매일유업등) 원료조달 협의 및 시험물량 확보(13톤) 및 부숙시험실시, 2019년도 “폐기물 공급계약” 참여 및 공장 내 pilot 부숙시스템 구축시 품질관리 및 제품 차별화.

○ 정수장 및 커피박 슬러지등의 대량 구매는 연간 계약을 통해 수급함

○ DBA 종합재활용업 양수양도(11월내)이후 정수장슬러지등 재활용업 종목추가 진행예정, 커피박, 한약재를 이용한 “비료생산업” 등록 완료, 시험생산 중에 있음,

○ 상토2호(토양개량재) “비료생산업” 등록(2018년 11월초)

○ K-SOIL D 시험생산 및 현장 적용 : DBA 0~8mm 입도를 선별 후 액비 분사 흡착 제품군과 양액을 분사, 흡착시킨 제품을 시험 생산하여 일반토양의 토양개량용으로 혼합사용 현장 적용됨

(마) 신규 리싸이클 소재의 검토

① 임산가공물 폐기재인 잣송이껍질 활용방안

○ 잣송이껍질을 스팀가열 공정에서 생성된 오일이외에 잔여물인 잣송이껍질을 파분쇄 후 퇴비화 시켜 활용, 코코피트 및 피트머스 대체재로 검토함.



[그림 2.2.37] 임산가공물 (잣송이껍질) 활용 및 확보계획 수립

② 소주 제조 산업부산물(정수 오니)과 한약재 박

㉮ 소주 정수오니

○ 소주 제조 공정 중 불순물 여과 처리를 위해 활성탄, 규조토 혼합 여재를 활용하며 2주 1회 여재의 교체가 이루어짐.

○ 이때 사용 후 폐기되는 소주 정수 여재(오니)를 후가공하여 인공경량토양 혼합소재로 활용가능성을 검토하였음.

○ 소주 정수 오니의 경우 주성분이 활성탄 및 규조토이며 폐기 시 50~60% 수분률(알콜)을 함유하고 있으나 알콜 성분은 후가공 과정에서 자연 증발되므로 혼합소재 사용 시 활성탄, 규조토 성분을 통한 식물영양성분, 탈취 및 정화, 보습 기능을 가질 것으로 판단.

-> 주성분 : 활성탄+규조토 혼합물+수분(알콜)

-> 처리공정 : 탈수공정(수분제거) -> 압롤박스적재 -> 지정업체 수거

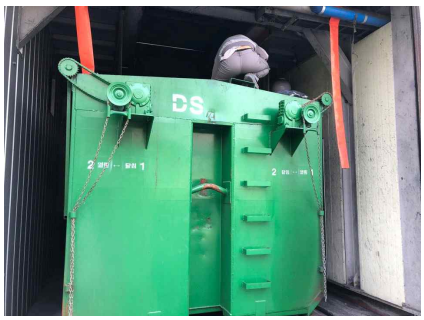
-> 수분함량 : 50~60% (탈수공정 후 기준)

-> 한달 배출량 : 30ton / 연간 : 300~350ton

-> 2주 1회 여과재 교체 / 1회 교체 시 15~20m³ 발생



소주 정수 오니 형상



보관 압롤

[그림 2.2.38] 소주 제조 부산물

○ 소주 정수 오니의 식물생육기반 적용가능성 검토를 위해 사전 식물실험을 실시, 시험에 사용된 식물은 자금우(천량금 / Ardisia japonica (Thunb.) Blume)이며, 식물뿌리의 흙을 모두 털어낸 후 수경재배 방식으로 진행.

○ 시험구에는 물 400ml에 가공 처리되지 않은 소주정수오니를 100g 첨가, 혼합하였으며, 대조구는 소주정수오니를 첨가하지 않은 물을 식생기반으로 사용하였음.

○ 시험기간 추가 물 공급 시 시험구의 경우 기존과 동일한 비율로 혼합 후 물을 공급하였음.

○ 시험은 2019년 3월부터 6월까지 4개월간 진행하였으며 월1회 식물생육상태를 모니터링 하였음.

2019.3월	2019.4월	2019.5월	2019.6월
			

[그림 2.2.39] 소주 정수 오니 식물생육 실험 모니터링 결과

○ 비슷한 크기와 생육상태의 시험식물을 대상으로 진행하였으며, 모니터링 결과 시간경과에 따라 대조구 식물 대비 시험구의 식물의 생장이 우수한 것으로 나타났으며, 엽색 역시 대조구 식물의 엽색이 점차 흐려지는 것에 반해 시험구 식물의 엽색은 시험초기 그대로 유지되는 것으로 확인됨.

○ 모니터링 결과 소주 정수 오니를 첨가한 시험구의 생육생태가 대조구와 비교 시 양호한 것으로 나타나 인공경량토양 혼합소재로 활용이 가능 할 것으로 판단됨.

○ 본 식물실험은 단일 식물을 대상으로 진행된 시험으로 적용 가능성 검토를 위해 진행된 시험이며, 향후 기타 식물군 및 토양 혼합 식생기반 등을 활용한 추가 실험을 통한 보다 면밀한 검증이 필요할 것으로 판단됨.

㉰ 한약재 박(粕)

○ 한약재 제조과정에서 원 한약재료의 약재 추출 후 폐기되는 한약재박을 인공경량토양 혼합소재 활용성 검토 실시.

○ 한약재 박은 크게 국내 제약社의 시중에 판매중인 소비자 판매제품인 음료형 제품의 제조 후 폐기되는 한약재 박으로 분류.

-> 한약재박 A : 수분함량은 높으나 덩어리 뭉침 없이 건조하면 소립으로 소립으로 분리 용이함

-> 한약재박 B : 점착성 수분 다량 포함되어 건조효율 매우 불량하며, 구성 입자가 큰 감초,줄기,뿌리 등의 큰 껍질들 비율이 매우 높아,건조후 배합토양 배합포장 공장에서 스크림 메쉬망(10mm)에서 대부분 제거되므로, 한약재(청심환)유효성분의 투입 효과가 없어지므로 충분히 건조한 후 피트모스 분쇄기 이용하여 소립 분리형태로 퇴비배합에 사용.




[그림 2.2.40] 한약재박 형상

㉱ 소주 정수 오니 + 한약재박 퇴비

○ 소주 정수 오니 + 한약재박의 각각의 소재를 대상으로 건조, 후가공 처리 후 혼합하여 퇴비화 과정을 거친 샘플의 적용가능성 검토를 위해 유해성분 분석 외 이화학 시험을 실시.

○ 한약재박의 경우 2종을 1:1 중량비로 혼합 후 EM 원액을 총 중량 대비 0.5% 비율로 표면살포 후 뒤집기 반복하여 자연부숙 및 호기성 부숙 실시.

○ 1차 가공을 거친 한약재박과 소주 정수오니는 75: 25 중량비로 혼합 후 부숙line을 활용 부숙처리 실시.

○ 분석결과, 유기물함량 및 유해성분의 10개 분석항목 중 구리, 니켈, 아연을 제외한 항목에서 불검출 되었으며, 검출항목의 경우도 공정규격 기준에 충족하는 수치로 확인됨

○ 그밖의 규격의 염분, 부숙도 외의 항목에서도 공정규격에 충족되는 수치로 확인됨.

<표 2.2.36> 소주정수오니+한약재박 퇴비 유해성물질 및 화학특성 분석 결과

	분석항목(단위)	공정규격	분석결과
유해성분	유기물(%)	30이상	38.02
	비소(mg/kg	45이하	불검출
	카드뮴(mg/kg)	5이하	불검출
	수은(mg/kg)	2이하	불검출

유해성분	납(mg/kg)	130이하	불검출
	크롬(mg/kg)	200이하	불검출
	구리(mg/kg)	360이하	17.53
	니켈(mg/kg)	45이하	2.71
	아연(mg/kg)	900이하	18.94
	대장균O157:H7	불검출	불검출
	살모넬라	불검출	불검출
그밖의 규격	유기물대 질소의 비	45이하	30.91
	염분(%)	2.0이하	0.33
	수분(%)	55이하	39.66
	부숙도 [콤백법]	부숙완료 이상	부숙완료
	염산불용해물(%	25이하	7.61
공정규격 외	질소전량(%)	-	1.23
	인산전량(%)	-	0.07
	칼리전량(%)	-	0.19

(바) 신보령화력 DBA 30,000톤 규모(설계량의 50%이상) 처리 및 상용제품화 라인 구축 및 기존, PILOT 설비 간 주요 문제점 추가개선 완료

○ 2017년 1차년도에 구축된 1차 Pilot 생산설비는 기존 크러셔 장비를 이용하여 석탄재를 분쇄한 후 스크린을 통해 구형에 가까운 중입자들을 분리할 수 있는 PILOT PLANT 설비를 구축, 활용하여 조경용 소재로 개선 생산하여 활용하고자 하는데 목적이 있음.



[그림 2.2.41] 1차 PILOT PLANT 설비 사진

<표 2.2.20> PILOT PLANT 설비 구축 항목 및 용도

분류	기기명	수량	용도
원자재 가공 설비	스크린제작(선별기)	1식	· 분쇄품 4종 입자선별 (+13/13~6/6~1/-1 mm)
	버켓엘레베이터 콘베어벨트제작	1식	· 바텀애쉬 투입원료 크러셔투입
	DUCT제작	1식	· 먼지발생 각종 기기장치/ 집진기 연결
	집진시설 제작	1식	· 싸이클론, 백필터 제작
	완성품 호퍼	1식	· #2스크린 대립분리품 저장, 포장 및 연결 장치
	MAIN STRUCTURE	1식	· 각종 기기장치 설치 및 2층 작업장, 통로,발판 등
인공토양 가공 설비	분쇄품 배출 벨트콘베어	1식	· 소립(-8mm) 바텀애쉬, 공장동 외부 배출
	액상,미생물 공급장치	1식	· 액비 등 첨가 혼합 및 구조물
	저장호퍼	1식	· 공장배출 바텀애쉬 저장 및 혼합기 투입
	옥외용 벨트콘베어	3개	· 토양 배합호퍼 투입용

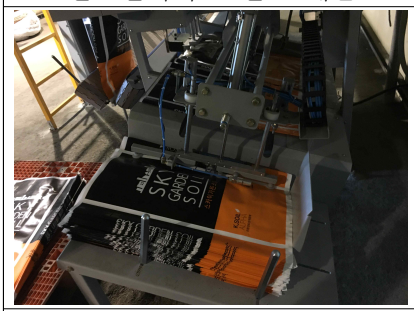
○ 2차년도 완성품 소포장 Pilot Plant 구축을 통해 기존의 경우 대량사용에 적합한 톤백 포장 방식으로만 생산이 가능하였으나 소포장 라인 구축을 통해 개발 제품의 소포장화 시스템 도입으로 보다 다양한 구매처를 확보하고 톤백 사용이 어려운 현장 적용이 가능도록 함.



(a) 기존 톤백홉바라인과 연계, 벨트컨베어로 별도 배출



(b) PILOT 계량홉바로 투입



(c) PILOT 소포장라인에 포장지 급지



(d) 인공토양 또는 토양개량제 투여 및 웰딩(포장)



(e) 완성품 배출



(f) 기존라인과 PILOT 소포장라인 연계 전체공정

[그림 2.2.42] 인공경량토양의 소포장 Pilot Plant

<표 2.2.32> 소포장 Pilot Plant 구성 주요 설비

항목	수량 (식)	용도
일연식 계량기	1	토양 용량 계측
자동급대기	1	포장 용지 공급
일자실링봉합기	1	포장 용지 봉합
이송컨베어 시스템	3	톤백 라인과 연결 및 포장라인
수동랩핑기	1	제작완료 제품 포장장치
제어판넬	1	소포장 라인 제어

○ 3차년도 상기 두 공정라인의 연계성 부족으로 별도의 운반장비를 활용하여 가공라인과 생산라인 간 공정연계를 시행하여 왔으나 연계구동 설비 구축을 통해 불필요한 중간공정을 생략 가능함에 따라 기존 대비 생산효율 증대가 가능.

○ Pilot 생산설비 간 연계생산 체계 구축을 통해 기존 생산방식 대비 약 15% 이상 생산량 증대가 가능해졌으며, 이로 인한 단가절감을 통해 경제성 15% 이상 확보 가능함.



[그림 2.2.43] 바텀애쉬 가공라인 및 인공경량토양 생산 라인 연계생산 체계 구축

(사) 제품의 고품질화 기술 적용(단위용적질량 800kg/m^3 이하, 투수계수 0.4×10^{-3}, EC 0.6 ~ 0.8 성능확보)

○ 기존 개발 제품인 K-SOIL 1, 2 제품의 경우 제품 경쟁력 확보를 통한 관련 인공경량 토양시장 내 점유율 확보 및 경량화를 통한 녹화시스템 안정성 확보, 건축물 하중 부담 저감을 목적으로 개발 된 제품임.

○ 제품의 고품질화를 위해 기존 바텀애시 함량 50% 이상의 개발토양과 다르게 바텀애시 20~30% 비율에 유기영양계 혼합소재의 비율을 높여 상토 또는 토양개량제 개념의 신규 토양 시제품 2종 개발 완료 (제품명 K-SOIL α / K-SOIL5).

<표 2.2.37> K-SOIL 시제품 유형 및 성분

항 목	K-SOIL1 (1차년도 개발 시제품)	K-SOIL2 (2차년도 개발 시제품)	K-SOILα (2차년도 개발 시제품)	K-SOIL5 (3차년도 개발 시제품)
주요용도	인공경량토양	인공경량토양	토양개량재	토양개량재
투수계수	1.45×10^{-2}	0.68×10^{-3}	1.54×10^{-2}	1.63×10^{-4}
단위용적질량	0.53	0.61	0.34	0.45
EC	0.75	0.48	0.15	0.25



[그림 2.2.44] K-SOIL 시제품별 사진

○ 혼합 소재로 소주정수오니의 주 성분인 활성탄, 규조토 성분 및 한약재박의 영양성분 첨가로 토양의 품질을 향상시킴과 동시에 재활용 소재를 활용하여 가격절감을 통한 제품 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판담됨.

(아) PILOT 품질개선을 위한 부숙 LINE 확보 및 시험운전

○ 부숙 과정은 유기물 혼합 소재를 퇴적하여, 인위적으로 조절된 조건에서 호기성 미생물을 이용하여 재료 중에 함유된 불안정 유기물질, 악취성분, 생육 저해 물질 등을 분해시키며 성분적으로 안정화, 무해화 하는 과정으로 개발 토양의 성능개선을 위해 필요한 공정임.



[그림 2.2.45] 부숙 Line 설비 및 옥외 부숙조

○ 개발 인공경량토양에 활용 검토 중에 있는 소주오니, 한약박 등의 재활용 혼합소재 외 퇴비 등의 적용을 위한 전처리 과정 및 부숙(腐熟) 과정이 필요.

○ 인공경량토양의 대량생산체계를 위해 장비를 활용한 관리 및 생산이 용이한 공간, 동선을 고려하여 부숙Line 구축.

○ 부숙line 부숙zone 하부에 8개의 열풍발효배관이 설치되어 부숙과정에서 열품공급을 통해 온도조절이 가능하도록 설계됨.

○ 부숙조는 옥내 부숙Line과, 실외부숙Line로 분리 및 운용가능하여 소재별 부숙환경 및 조건에 따라 적정 부숙line 배치 및 가공이 가능하도록 함.

(5) 격막형 유니트 제품 개선 및 시제품 개발

① 숭상형 유니트 제품 1차 개선안 도출

○ 기존 숭상형 유니트의 상단 격막부분 결합 시 유니트와 결속력이 떨어져 유니트 제작 및 운반, 시공 시 상하부간 흔들림으로 식재 후 식물상에 영향을 미치며, 유니트 간의 틈으로 토양 빠짐 등의 문제점 발생.

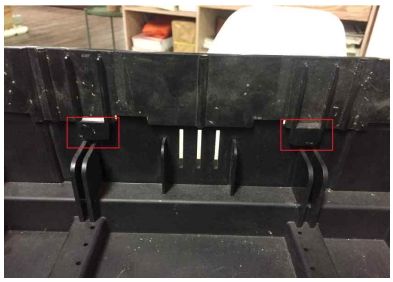
○ 경사지붕 설치 시 격막부의 비산 및 토양유실 방지를 위한 네트 고정이 가능한 고정부의 필요.

○ 유니트의 배수성을 높이기 위한 유니트 몸체부 바닥면의 배수홀의 확대 또는 추가 필요.

○ 상기 기존 유니트의 문제점을 개선할 수 있도록 유니트 수정을 통해 문제점을 보완하고자 함.



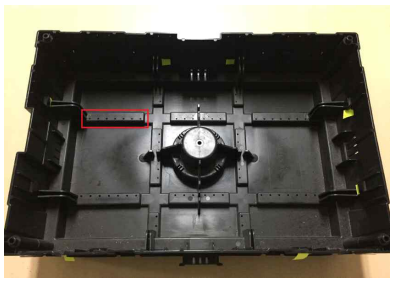
고정구 홀 사이즈 확대
(부위 간 결속력 강화)



내부 걸림목과 동일하게 외부에도
추가(부위 간 결속력 강화)



격막부의 네트 고정부위 추가
(비산방지 네트 설치 가능)



몸체 배수구 홀 확대 및 추가
(배수성 향상)

[그림 2.2.46] 유니트 문제점 정립 및 개선안 도출

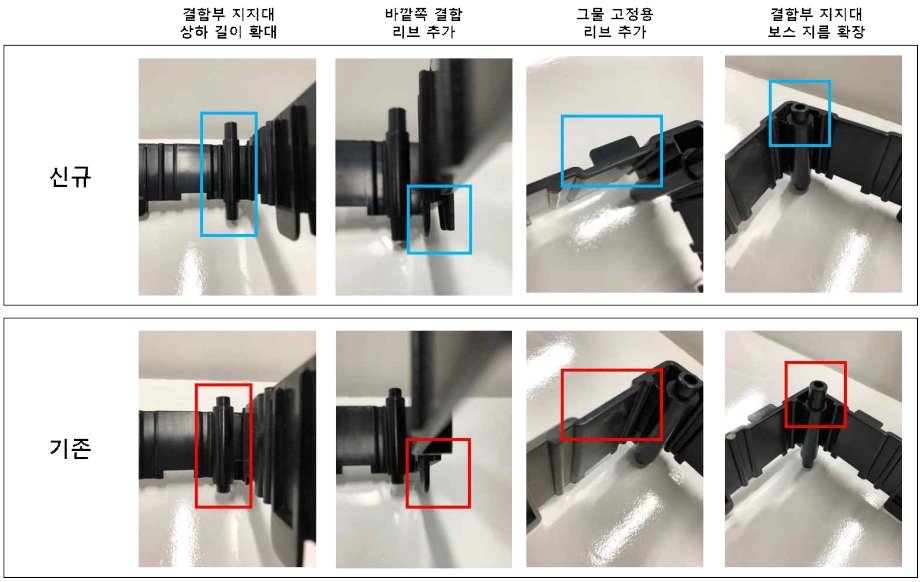
② 격막형 유니트 2차 금형수정 및 제품개선

○ 기존 유니트의 격막과 몸체 간 결속성 부족으로 발생하였던 시공상의 격막부 분리 및 운반상의 문제점을 개선함.

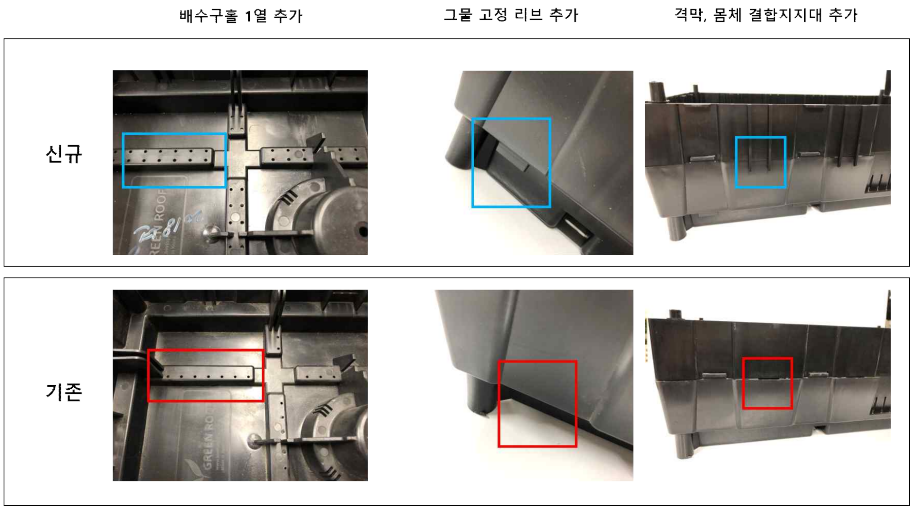
○ 격막부와 유니트 간 결합 시 결속력을 강화하기 위해 격막부 고정부 홀의 확대 및지지 서포트를 추가 / 유니트 몸체에 배수구 홀을 1열 추가 가공하여 배수성능을 향상.

○ 유니트 설치 후 발생가능한 토양 날림, 유실 등의 문제점을 위해 방지그물망을 설치

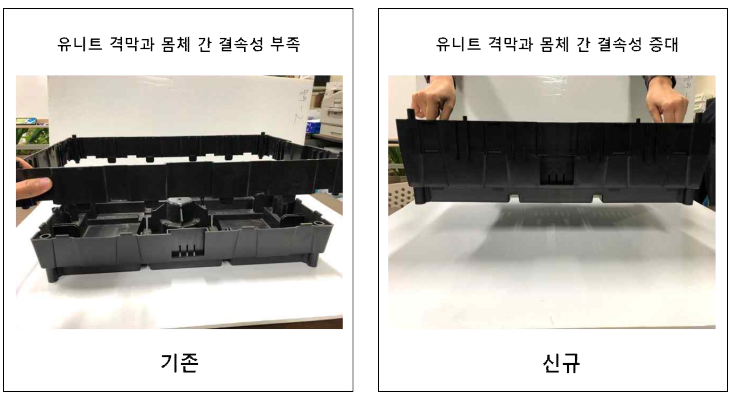
가능하도록 격막 및 몸체에 각각 그물 고정이 가능한 리브를 추가함으로서 용이하게 그물 고정/ 마감이 가능해짐.



[그림 2.2.47] 유니트 격막부 개선 사항



[그림 2.2.48] 유니트 몸체 개선 사항



[그림 2.2.49] 유니트 격막과 몸체 결속성 개선 현황

③ 개발 유닛 박스용 이동 보조재 개발

○ 개발 유니트 박스는 사전 제작되어 식물식재가 완료되어 선재배 된 상태로 현장 설치 됨.

○ 선제작 및 식물재배가 완료 된 유니트 박스 운반 시 유니트 간 직접 적층 시 식물눌림으로 인한 하자발생 문제로 별도의 운반용 트레이를 사용해야하며, 운반 완료 후 트레이를 다시 재수거해야하므로 운반비용이 2중으로 발생하여 이에 따른 운반비 절감 방안이 필요함.

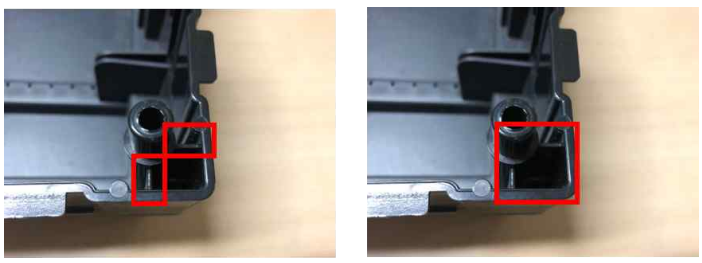
○ 이에 유니트 간 이격하여 공간확보가 가능한 상태로 적층이 가능하도록 하는 운반용 적층 보조재(지지대)를 개발 및 적용.



[그림 2.2.50] 유니트 이동 보조재 적용 예시

○ 유니트박스 하단부와 격막부 상단 결합부위 4개소를 활용하여 탈착가능한 형태의 운반용 보조재 방식을 적용하였으나, 유니트 박스 5단 적층 상태 운반 시 보조재 결합부위의 파손 문제 발생.

○ 기존 보조재(1차)의 경우 상하부 결합부위에 집중되는 하중 및 이동 시 충격으로 인한 파손 최소화를 위한 구조로 수정 및 진행중에 있음(2차).



[그림 2.2.51] 보조재 지지구조 변경



[그림 2.2.52] 2차 보조재 모델링 시안 및 결합방식

④ 삽입형 충전재를 적용한 경량성 및 단열성 개선 유니트박스 개선 시제품 개발

○ 개발 유니트 박스의 경우 기존 유니트 박스 대비 토심확보가 가능한 장점이 있으나 토심 확보에 따른 하중 증가로 경량화가 가능한 삽입형 충진재를 개발.

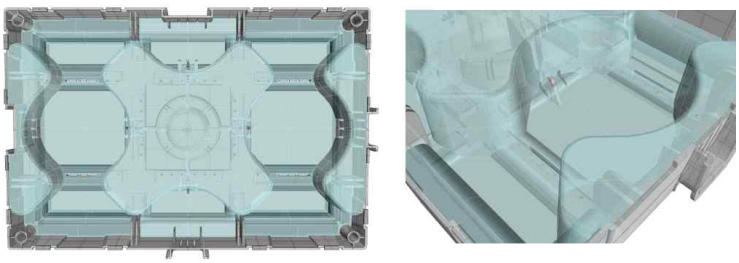
○ 충진재는 EPP(expanded polypropylene) 소재로 자동차 부품이나 단열재 등으로 사용되는 소재로 기존 EPS(expanded polystyrene)소재 대비 내구성 및 강도가 우수하며, 단열성능 또한 우수함.



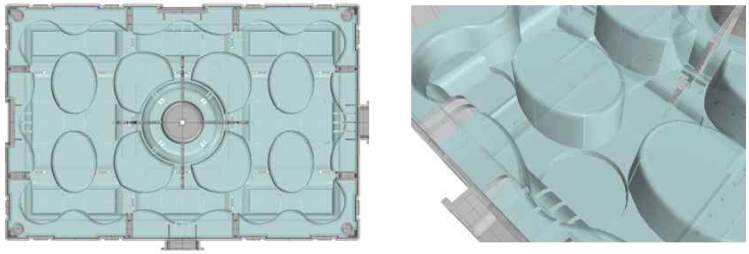
[그림 2.2.53] EPP 소재 활용 제품 예시

○ EPP 소재의 충진재는 요철구조로 식물 식재를 위한 공간을 확보 및 패턴화하여, 식물 생육에 필요한 토심은 유지하되 식재공간 외의 공간은 충진재가 대체하여 경량화가 가능.

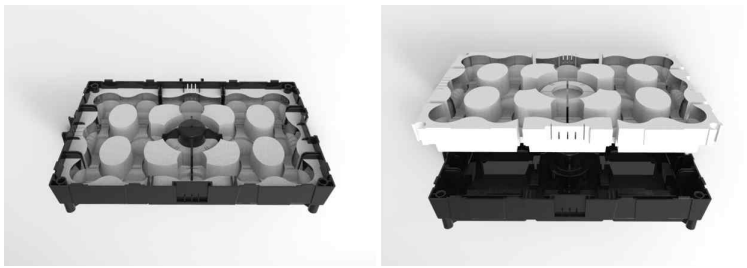
○ 충진재는 유니트 박스 내부에 마련된 홈과 견고하게 결합되는 구조로 운반 및 시공 후 충진재의 탈락 또는 분리를 방지함.



[그림 2.2.54] 경량형 충진재 1차 모델링 시안

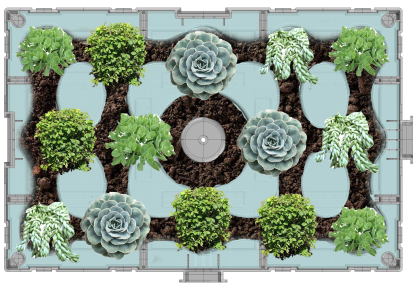


[그림 2.2.55] 경량형 충진재 2차 모델링 시안



[그림 2.2.56] 경량형 충진재 최종 모델링 시안

- 충진재 규격은 480*310*h50(mm), 개당 중량은 약 320g으로 식물 14본이 식재가능한 식재혈이 가공.
- 기존 유니트박스 방식과 개발 충진재가 적용된 유니트박스 내부를 토양, 멀칭재, 식물을 동일하게 적용하여 중량 비교를 통해 경량화 정도를 확인.
- 격막이 없는 상태의 토양 8cm 토심 유니트의 경우 토양건조 상태에서 개당 약44%, 포화함수 시 47% 경량화 되었으며, 격막을 적용한 13cm 토심의 경우 토양 건조중량 시 28%, 포화함수 시 25% 경량화 되었음.
- 이를 격막형 유니트 박스 기준으로 1m² 시공 시 24kg, 100m² 시공 시 240kg 하중 저감이 가능할 것으로 예상됨.



[그림 2.2.57] 경량형 충진재 식물 배치 예시



[그림 2.2.58] 경량형 충진재 최종 생산 제품

<표 2.2.38> 기존 유니트박스와 충진재 적용 유니트박스 하중 특성

(단위 : kg)

분 류	공중량		건조중량		포화함수중량	
	경량형	일반형	경량형	일반형	경량형	일반형
격막X	1.3	1	5(-44%)	8.9	6.95(-47%)	12.95
격막O	1.7	1.4	10(-28%)	13.7	14(-25%)	18.5

○ 충진재 적용 시 식물생육 검증을 위한 식물생육시험을 실시, 식물생육 비교를 위해 기존 유니트 방식과 충진재 적용 유니트 방식을 비교함.

○ 생육 모니터링은 양묘하우스 내부에서 2019.5월~7월까지 약 3개월간 실시함.

<표 2.2.39> 식물생육 시험구 조성 조건

분 류	식생기반	식 물	비 고
시험구	K-SOIL2 + 멀칭재 2cm	상록기린초 SG 14본	충진재 적용
대조구	K-SOIL2 + 멀칭재 2cm	상록기린초 SG 14본	충진재 미적용



[그림 2.2.59] 충진재 적용 유니트박스 식물생육 실험

○ 식물생육 비교시험 모니터링 결과 시험시작 후 2개월차 현재까지 기존 유니트방식과 충진재 적용 방식 간 유의미한 차이는 발생하지 않았으며, 시험구와 대조구 식물상태는 모두 양호한 것으로 확인됨.

○ 본 시험은 봄~여름 기간 기린초를 대상으로 진행된 모니터링 결과 유니트 내 충진재 적용에 식물생육 상 특별한 문제가 없을 것으로 판단되나 기린초 외 자생초화류 등 기타 식물종을 대상으로 동계기간을 포함한 계절별 검증이 추가적으로 필요할 것으로 보임.

<표 2.2.39> 실물생육 비교시험 모니터링 결과 (좌:기존형 / 우:충진재형)

시험구 조성 후	1개월차	2개월차
		

○ 에이치디씨현대산업개발 기술연구소 옥상을 활용하여 경량형 충진재 단열효과를 위한 시험구를 설치 및 모니터링 중에 있음.

○ 기존 방식의 유니트박스와 경량형 충진재가 적용된 유니트박스를 설치하고 유니트박스 바닥중앙부에 온도데이터로거를 설치하여 표면온도를 측정.

○ 모니터링 결과 하계(7~8월) 기온이 가장 높은 14~16시 기준 충진재 삽입형의 경우 기존 방식대비 약 5~6도 온도를 저감시키는 것으로 확인됨.

○ 향후 가을, 겨울철 단열효과 검증을 위한 모니터링을 지속 실시 예정



[그림 2.2.60] 경량형 충진재 적용 유니트박스 단열시험

(6) 개발기술의 사업화 진행

(가) 시제품의 홍보

○ 인공지반녹화 시장에서 펄라이트 대체 인공토양으로서 입지 확보 및 경쟁력 강화를 위해 TV노출, 관련 박람회 출품 홍보 및 신문 광고 게재, SNS 활용 등의 적극적인 마케팅, 영업을 통해 제품 홍보를 위한 노력을 기하고 있음.

○ 영업 확대를 통한 공장 가동율 증대 : 전시회 참가, 홍보물 제작, 판촉 행사 등을 통해 경제형, 고급형 제품 홍보 강화.

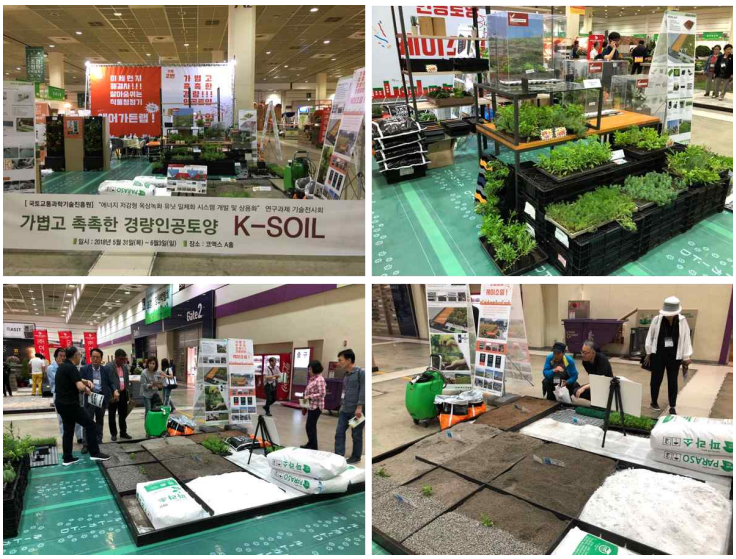
○ 2018년 연구를 통해 개발된 시제품을 대상으로 “2018년 조경박람회”, “안산시 도시농업 한마당”, “서울정원박람회”에 참가하여 부스전시를 통한 홍보, 제품 상담을 실시.

○ 2019년 국토교통부 국토교통 기술대전에 부스 참가 및 개발 제품 홍보

○ 인공경량토양(K-SOIL) 제품 카탈로그, 리플렛 등을 제작하여 영업자료로 적극 활용하고, 한국조경신문 광고를 지속적으로 개제하며 홍보하고 있음.



[그림 2.2.61] 개발 인공경량토양(K-Soil)의 국방TV 노출(2017년)



[그림 2.2.62] 2018 서울정원 박람회 출품/ 홍보



[그림 2.2.63] 안산시 도시농업한마당 출품/ 홍보



[그림 2.2.64] 2018 서울정원 박람회 출품/ 홍보



[그림 2.2.65] 2019 킨텍스 국토환경대전 전시회 부스참가 및 개발제품 홍보



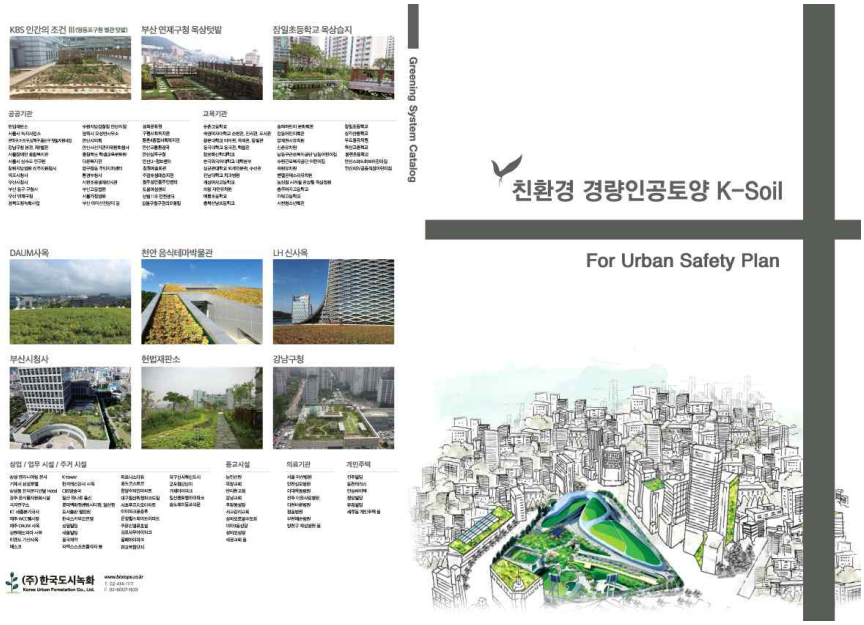
[그림 2.2.66] 2019 강동 도시농업 박람회 참가 및 개발제품 홍보



[그림 2.2.67] 2019 과천 도시농업 박람회 참가 및 개발제품 홍보



[그림 2.2.68] 개발 인공경량토양(K-Soil) 조경신문 광고 게재



[그림 2.2.69] 경량인공토양 K soil 홍보 팜플렛

(나) 입도별, 형상별 등 다양한 고객 맞춤형 제품 리스트 구축

① 가공 원자재 활용 제품군의 다양화

○ DBA 원자재의 입도별선별 및 가공 방식에 따른 형상별 제품군 다양화를 위하여 가공 과정에서 크러셔를 저속가동, 입형을 볼타입으로 가공한 K-SOIL M, 가공되지 않은 입형이 불규칙한 6-20mm 입도의 K-SOIL B는 배수용, 채움재로 사용되며, K-SOIL D는 0~8mm 입도를 선별 후 양액을 분사, 흡착시킨 제품으로 토양혼합용 또는 배수용으로 사용됨.

<표 2.2.40> 원자재의 가공에 따른 입도, 형상별 분류

분 류	용 도	입 도
K-SOIL M	멀칭용	8~20mm 크러셔 입형가공(원형)
K-SOIL B	채움재, 배수용	6~20mm
K-SOIL D	인공지반 및 자연지반 배수용, 토양혼합용	0~8mm



[그림 2.2.70] 원자재의 가공에 따른 입도, 형상별 특성

② 개발 제품의 용도별 (인공토양용, 배수용, 멀칭용) 톤백, 소포장 등 패키징 라인의 다양화(시험생산)

○ 기존 톤백 포장방식에서 추가적으로 소포장 패키징 라인을 추가하면서 소포장(K-SOIL α)제품 생산 실시하였음.

○ 향후 원자재(인공토양용, 멀칭용 등) 제품군 및 기타 제품을 대상으로 패키지 디자인의 통일성을 유지하며 브랜드 이미지를 강화하고, 소포장 라인 제품군을 점차 확대생산 예정임.



[그림 2.2.71] 소포장(K-SOIL α) 제품 사진



[그림 2.2.72] 제품 패키지별 적재



[그림 2.2.73] 제품군별 소포장 패키지 디자인 시안

③ 시제품의 경제성 향상 방안 및 가격 경쟁력 검토

○ 성능 및 사양에 충족되는 리사이클링 소재(커피박, 정수장 슬러지등)를 활용한 토양 제조 기술을 개발함.

○ 펄라이트 대비 시장가격 경쟁력 강화를 위해 “기존 생산라인과의 연계 및 운전 효율성” 을 해 원자재 파분쇄 생산원가를 절감함.

○ DBA 파분쇄 생산시 운반량 7대/25톤 덤프 정량운반 조건에 따른 운반비 부담 경감 및 바크 퇴비 등 부자재의 대형차량 운반 및 대량구매를 통한 원가 절감요인 확보.

○ PILOT PLANT 운영 및 개선을 통해 주재료인 DBA의 생산원가 절감을 통해 개발 인공경량토양은 2017년 판매가격은 m^3 기준 70,000원 대비 2018년 59,500원으로 약15% 가격절감 목표를 달성함.

○ 2019년 PILOT PLANT Pilot 생산설비 간 연계상산체계 구축 시스템 및 재활용 혼합소재(소주오니, 한약박 등) 신규소재 적용성 검토를 통해 기존제품(2018년) 대비 15% 이상 가격 절감이 가능할 것으로 예상됨.

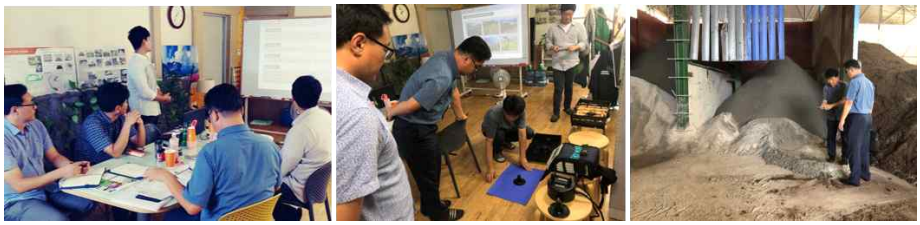
<표 2.2.41> 인공경량토양 제품 가격 산정

분 류	2017년	2018년	2019년
판매가격(원/m^3)	70,000	59,500	50,575
감소율	-	▼15%	▼15% (30%)

(다) 개발기술의 인증 활동

① 녹색기술 인증 획득

○ 개발 시스템인 “재활용 인공경량토양을 사용한 일체형 유닛 시스템 인공지반 경량녹화기술”로 19년 9월 녹색기술인증을 획득함.



[그림 2.2.74] 녹색기술인증 현장평가

<표 2.2.42> 녹색기술 인증 개요

명칭	재활용 인공 경량토양을 사용한 일체형 유닛시스템의 인공지반 경량녹화기술		
신청자	㈜한국도시녹화 대건케미칼(주)	인증번호	GT-19-00740 GT-19-00743
최초 인증일	2019. 09. 05	유효기간	2019-09-05～ 2022-09-04

② 건설신기술 인증 신청

○ 개발기술의 결과를 정리, 2019년 12월 건설신기술을 신청함.

<표 2.2.43> 건설신기술 인증 신청 개요

명칭	버텀애시 재활용 인공경량토양과 유도가열 부착 일체형 경량 유닛박스 시스템을 이용한 인공지반 기술		
신청자	㈜한국도시녹화 대건케미칼(주) 에이치디씨현대산업개발(주)	서류접수일	2019. 12. 11
		접수번호	건설-2293(지정신청)

(7) 개선된 시제품의 현장적용, 모니터링 평가 및 개선방안 도출

(가) 시제품의 모니터링 진행

○ 시제품의 현장적용을 통한 개선사항 검토 및 시제품의 내구성, 식물생육상태, 배수성능 등 에 관한 지속적인 모니터링을 실시하고 있음



[그림 2.2.75] 개선된 시제품에 다양한 식생류 적용 및 모니터링 실시



[그림 2.2.76] 숭상형 유니트박스 적용 현장(2017년 시공) 및 모니터링을 통한 개선사항 검토

(나) 기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출

○ 기능성 인공토양이 적용된 격막형 유니트시스템 및 교관목 혼합 식재 옥상녹화 현장에 개발 토양의 적극 적용.

① 시범적용 사례 1 : 서울시 송파구 소재 공동주거단지 옥상 및 지상부 (헬리오시티) : 4,500m^2

○ DBA 기반 인공토양 적용 : k-soil2 : 200m^3, k-soil B : 150m^3, k-soil M : 50m^3

○ DBA기반 식물매트 적용 : 숭상형유니트 100m^2, Bio-unit, Sedum mat 3,000m^2,

○ 기타 교관목 식재

② 시범적용 사례 2 : 서울시 에코스쿨사업 동구마케팅고등학교 옥상 : 400m^2

○ DBA 기반 인공토양 적용 : k-soil2 : 80m^3, k-soil B : 20m^3, k-soil M : 10m^3

○ DBA기반 식물매트 적용 : 유니트 200m^2, Bio-unit, Sedum mat 100m^2

○ 기타 교관목 식재



[그림 2.2.77] 송파 헬리오시티 현장적용



[그림 2.2.78] 동구 마케팅고등학교 현장적용

(다) 개발기술의 현장적용을 위한 내풍압성 검토(풍속 50m/s 기준)

○ 개발기술을 적용하는 인공지반은 낮은 지역은 물론 건축물의 옥상에 설치할 수 있으므로 풍하중에 따라 구조적 안전여부를 확인할 필요가 있음.

○ 따라서, 개발 녹화시스템의 요소기술 (유니트박스, 고정콘, 방수방근시트)를 적용한 시험체를 제작, 개발 시스템의 내풍압 안정성 검증을 위해 건설생활환경시험연구원을 통해 50m/sec 풍속조건에서 시험체 정면, 후면, 측면 3회(1회 1분 풍속기 가동)에 실시함.

○ 시험체는 1m x 1m 면적으로 개발 유니트 박스 6개가 적용하였으며, 유니트 박스 4개는 격막결합형 및 2개는 격막을 제거하였음.

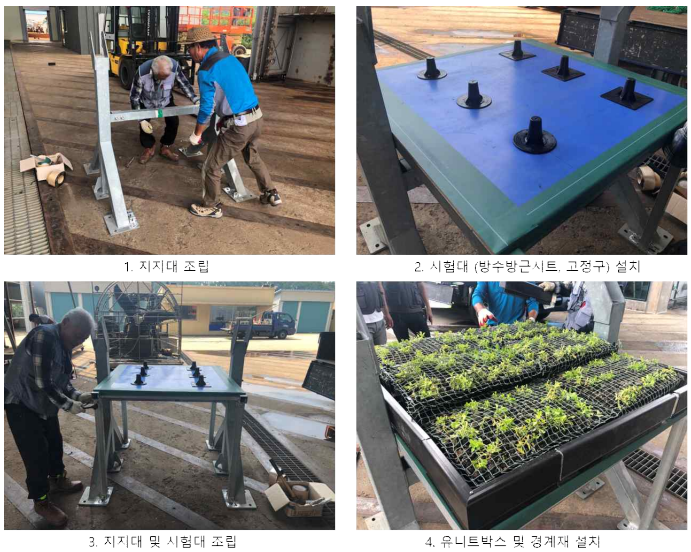
○ 유니트 박스 6개는 동일한 경량형 충진재, 토양, 멀칭재, 비산방지망 및 식물 본수를 적용하였고, 테두리 부분은 경계재를 고정하여 최종마감을 실시함.

○ 유니트박스와 고정콘과의 결속 안정성 확인을 위해 고정콘은 부틸테이프방식과 본 연

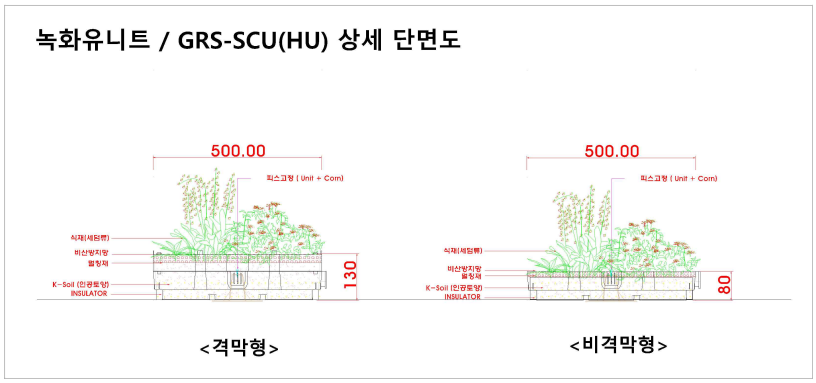
구개발제품인 열융착고정방식의 콘을 적용, 비교 시험을 진행하였음.

○ 시험결과 상부 멀칭재의 일부 날림 및 멀칭재의 풍속방향 밀림 등의 현상 외 시스템 자체의 파손, 탈락 등의 문제는 발생하지 않았음.

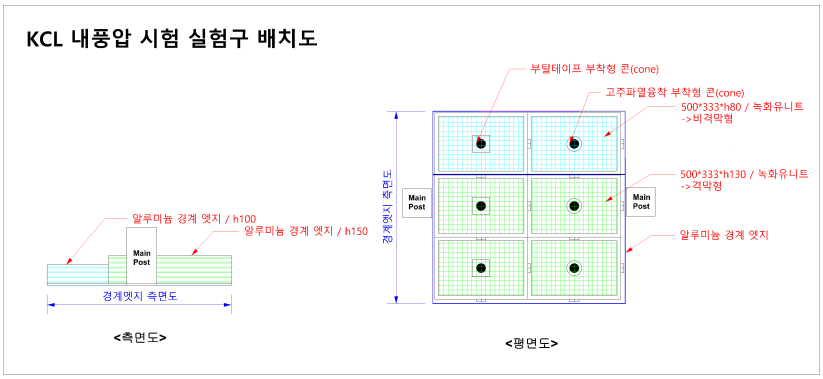
○ 건설생활환경시험연구원 시험결과 3회 풍속시험 결과 “이상없음” 결과로 개발 시스템의 내풍압 안정성을 확인하였음.



[그림 2.2.79] 내풍압 시험 시험대 및 시험구 제작



[그림 2.2.78] 설치 녹화유닛 상세



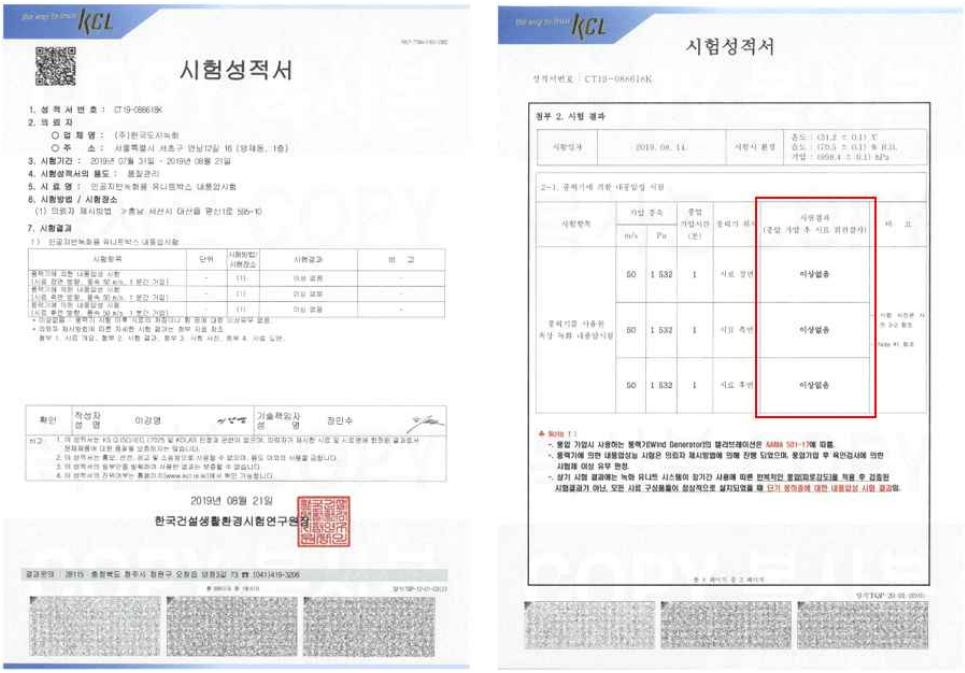
[그림 2.2.80] 내풍압 시험 시험체 배치



[그림 2.2.81] 50m/sec 조건 내풍압 시험(건설생활환경시험연구원 / 서산)



[그림 2.2.82] 내풍압 시험 3회 실시 후 시험체 상태



시험성적서

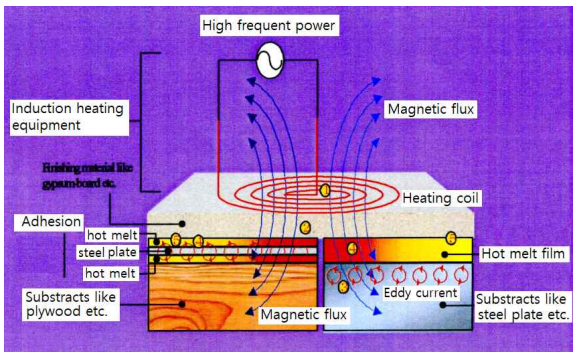
시험성적서

[그림 2.2.83] 내풍압 시험성적서

다. 에너지 절감형 옥상녹화 시스템의 일체화를 위한 방수·방근층 및 유닛박스 결합방법 개발 및 상용화

(1) 기존 보유기술 분석

○ 고정구 접착기에 사용하는 부착방식은 전자기 유도가열방식으로 주방용품의 인덕션 방식과 동일하게 가열코일에 의해 자기장을 발생시키고, 이 자기장은 다시 거리가 떨어져 있는 금속재료를 가열하여 금속재료에 코팅된 열가소성 접착제를 용융, 융착시킴[3].



[그림 2.3.1] 전자기 유도가열방식의 원리

○ 개발기술은 구조체부터 방수・방근시트, 고정구, 유닛박스의 순으로 설치하는 일체화 시스템으로 구조체와 방수・방근시트는 에폭시 아크릴레이트 수지 접착제를 도포하여 경화시킨 금속디스크를 구조체와 시트의 부착위치에 놓고 고주파 융착기를 이용하여 금속디스크에 120℃에서 170℃까지 유도가열해 용융한 후 상호 융착 시키는 고주파 융착 공법을 적용하여 기존 고정방식에 의한 접합부 파손을 저감하는 기술을 포함하고 있음.

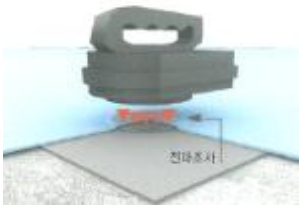


(a) 구조체에 금속플레이트 고정구 고정

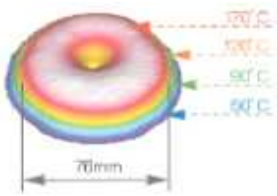


(b) 방수방근시트와 금속 고정구 고주파 가열 접합

3) Takamitsu S, Hideo T, Yukio S, Shuji O, Shinzo Y, Characteristics of Induction Heating Device for Dismantlable Adhesion in Interior Construction. Proceedingso fo the 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronoics Society(IECON); 2007 Nov 5-8; The Grand Hotel, Tapei, Taiwan. Taiwan: IEEE; 2007. p. 1357-62.



(c) 고주파 가열기



(d) 가열온도 분포

[그림 2.3.2] 옥상녹화 시스템에 사용하는 비노출 부착형 금속 디스크 및 원리

○ 그러나 방수·방근시트와 유닛박스를 고정하는 콘형 고정구는 부틸 양면테이프로 부착하여 시간이 경과하면 부착력이 감소되어 유닛박스가 밀리는 현상이 발생됨. 따라서 금속 플레이트형 고정구와 동일한 방식으로 고주파 유도가열 융착 방식에 의한 부착이 가능한 콘형 고정구의 개발이 필요하였음.



(a) 접착테이프 고정구의 설치



(b) 유닛박스의 결합형태

[그림 2.3.3] 유닛박스의 결합방식



[그림 2.3.4] 시간 경과 후 탈락된
기존 접착테이프 고정구 보수

○ 가열 융착식 콘형상 고정구는 플라스틱 고정구 부착면 내부에 금속판을 삽입하여 접착제가 아닌 고정구의 부착면 자체를 가열하여 동일 재질의 방수방근시트와 융착 일체화하는 방식으로 별도의 접착제를 코팅할 필요가 없으며 기존의 콘형 고정구에 사용한 양면 부틸테이프의 시간경과에 따른 부착력 저하를 방지하고자 개발하고자 하였음.

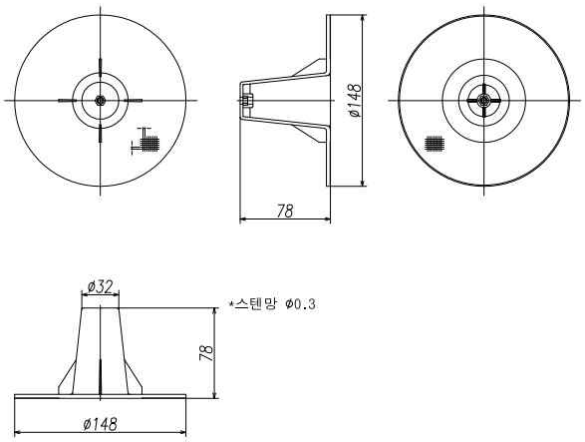
(2) 금속플레이트를 삽입한 일체형 고정구 개발

(가) 개발과정

○ 일체형 고정구 내측에 고주파 유도전류를 수용 가능한 금속성 도체가 있어야 하며, 이를 완성하기 위해서 1차로 원형의 금속망을 계획하고 시제품을 제작하였으나, 금속망의 특성으로(금속망을 구성하는 선과 선의 접촉 불량으로 고주파 가열효율 30% 이하) 접착 시험을 실패함.

○ 2차로 갈바륨 0.5mm 강판에 다수의 용융접착 구멍을 형성하여 사출시 금속면의 하층부와 상층부의 모재가 융합되어 한 몸이 되도록 설계, 다수의 구멍을 형성하는 프로다이 금형을 다시 제작함.

○ 그러나 원형으로 타공시 강판에 벤딩이 심하게 발생하여 인서트 사출시 수평유지가 불가능하여 시편 내, 외측에 절곡 형상을 만들어 벤딩되는 문제점을 해결함.



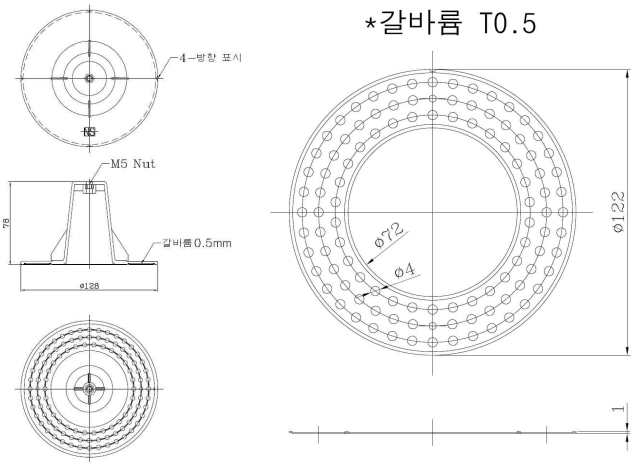
[그림 2.3.5] 스테인레스 철망을 삽입한
콘형상 고정구 초기 개발도면

○ 인서트 사출시 금속시편을 넣고 사출하여 검사결과 금속면과 PE재질의 분리형상과 용융액의 흐름불량으로 완성품에 문제가 발생하여 금속시편를 가열하여 약 60~80도를 유지, 인서트 사출하여 문제점을 해결함.

(나) 개발결과

○ 콘형상 고정구와 지면의 sheet 접착을 용이하게 만들기 위해서 시편 내측에 다수의 구멍을 만들어 일체형 고정구 접착면에서 금속과 PE 재질의 분리현상을 방지하도록 4mm 구멍을 형성함. 이는 사출에 의한 일체형 고정구 제작시 시편 구멍으로 PE(폴리에틸렌) 재질이 용융되어 시편 상하부가 일체형 모체를 이루는데 도움이 됨.

○ 금속시편 밑면으로 PE(폴리에틸렌)층을 0.2~0.3mm로 유지시켜야 고주파 접착시 접착시간 단축과 접착성능에 최적화를 달성함.



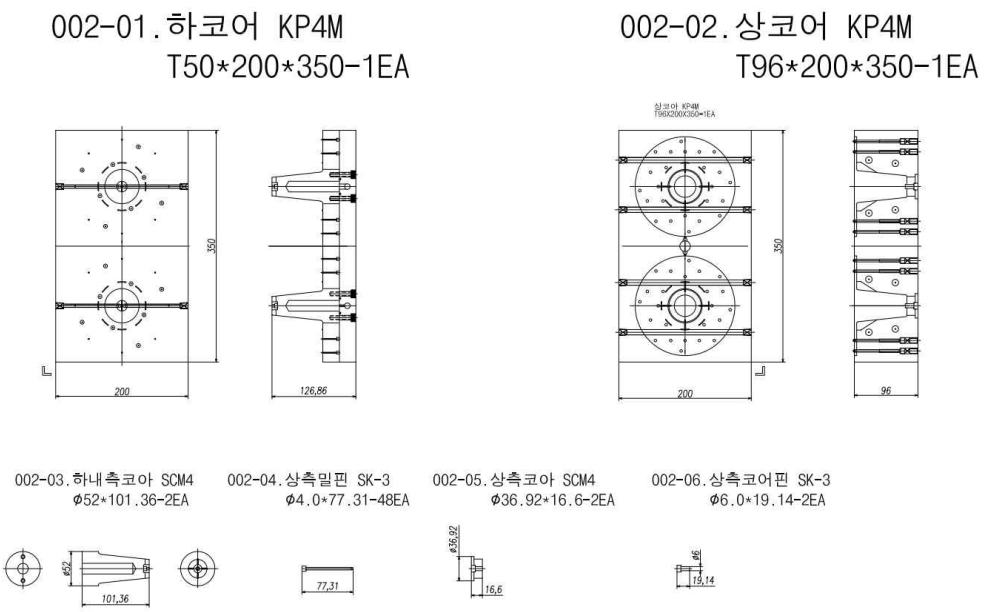
(a) 콘형상 고정구 (b) 콘형상 고정구 내측 금속 시편

[그림 2.3.6] 금속플레이트를 삽입한 일체형 콘형상 고정구 도면

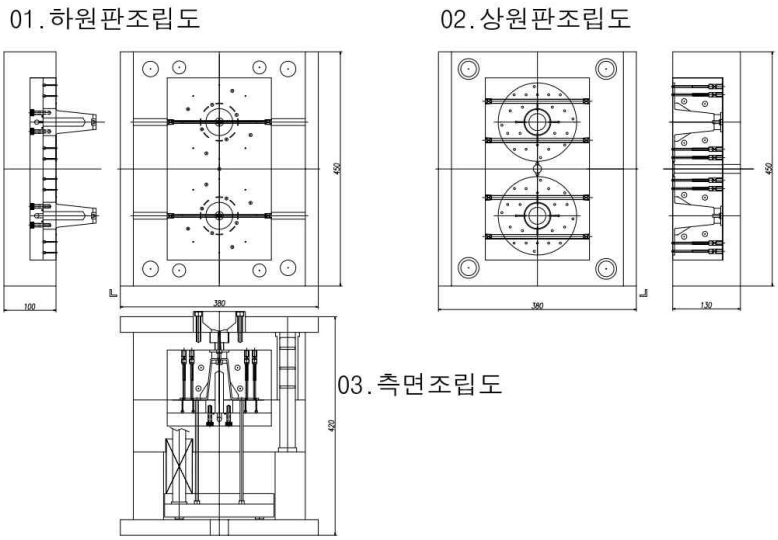


(a) 고정구에 삽입되는 금속시편 (b) 금속시편이 삽입된 콘형 고정구 하면 (c) 콘형 고정부 상부

[그림 2.3.7] 개발한 유닛박스 고정용 콘형 디스크



[그림 2.3.8] 콘형상 고정구 금형 부품도면



[그림 2.3.9] 콘형상 고정구 금형 조립도면



(a) 콘형상 고정구 금형 상판 (b) 콘형상 고정구 금형 하판 (c) 콘형상 고정구 사출장면

[그림 2.3.10] 콘형상 고정구 시제품 제작

(3) 기존 고주파 융착기의 개선 보완기술 개발

(가) 기존 금속플레이트용 고주파 융착기의 문제점

○ 기존 고주파 융착기의 하단 재질을 온도에도 견디는 PBT재질로, 상부면을 PVC로 제작하여 사용결과 PBT재질의 강성부족, 작은 충격에도 깨짐이 발생하여 파손에 의한 부품 교체가 빈번함. 공사 현장은 높이가 높고, 사다리에 의존하는 공정이 많은 관계로 떨어뜨리는 일이 빈번하여 재질을 변경하여 새로운 디자인으로 시작품의 개선이 요구되고 있음.

○ 기존 고주파 코일은 플레이트를 가열하므로 중앙부 공간을 크게 둘 필요가 없으나, 개발 고정구에 사용하는 고주파 융착기는 중앙부의 콘형상의 고정구가 삽입되야 하므로 코일 중앙부에 콘의 지름이상의 빈 공간을 형성시켜야 할 필요가 있음.



(a) 지속적인 깨짐 발생



(b) 밀착면 강성 부족 마모 발생

[그림 2.3.11] 기존 고주파 융착기 문제점



[그림 2.3.12] 기존 고주파 코일 형상

(나) 콘형 디스크 적용 고주파 접착기 개발

○ 사출 금형을 재설계하여 재질을 내마모성이 높은 세라믹 또는 화이버 그라스등의 특수 재질로 변경 필요하여 설계, 금형제작, 사출 등 연구기간에 걸쳐 완제품을 제작함.

○ 일체형 고정구 전용의 고주파 접착기를 제조하여 접착 실시하였으나, 고정구 내측의 도체에 과도한 열의 발생으로 일체형 고정구 상단부가 하단부보다 먼저 용융으로 접착에 어려움이 발생하였음.

○ 듀티 작동에 의한 도체의 온도를 상승을 제한하면서 하부의 일체형 고정구를 용융하도록 컨트롤하여 접착한 결과, 양호한 결과를 얻어 접착시험 지그를 만들어 시험을 실시함.

○ 개발 고주파 접착기에는 중앙부에 콘형 디스크가 들어갈 정도의 공간을 형성해야 하므로 기존 코일보다 접촉면적이 저감되므로 코일의 수를 증가시켜 효율성은 증대됨.



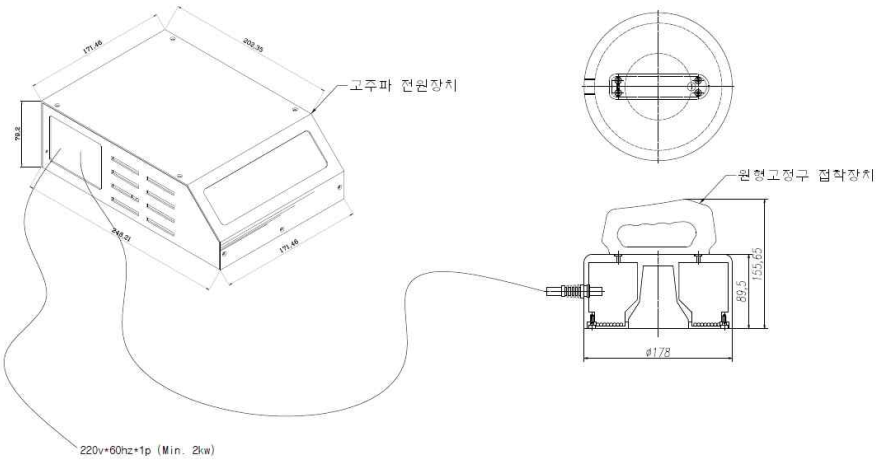
[그림 2.3.13] 금속 플레이트형 고정구 적용 일반고주파 접착기



[그림 2.3.14] 콘형 디스크 적용 원형 고주파 접착기



[그림 2.3.15] 개선한 일체형
고정구 고주파 코일 형상



[그림 2.3.16] 콘형상 고정구 부착용 전자기 유도가열 장치의 도면



[그림 2.3.17] 콘형상 고정구 부착용 전자기
유도가열 장치 시제품

(4) 개발 고주파 융착기를 이용한 콘형 디스크의 성능 평가

(가) 초기 부착성능 시험

○ 상기 개발한 고정구의 부착성능 시험을 위해 고정구에 고정가능한 지그를 개발, UTM

을 이용하여, 부착성능을 테스트함. 개발 고정구는 기존의 KS 규격시험이 없고, 시험과정에서 시험체 고정을 위한 지그가 없어 지그를 같이 제작해야만 하는 문제가 있음.

○ 고정구는 부착을 위한 PE시트를 고정할 수 있는 바닥판과 고정구의 고정을 위한 인발용 지그가 필요함. 상단 인발용 지그는 고정구의 홈에 고정시킬 수 있도록 볼트를 이용, 고정하는 방법을 고안하였고, 바닥판은 PE시트에 구멍을 뚫어 볼트로 고정할 수 있도록 홈을 내고, 고정하도록 고안함.

○ 부착시험용 장비인 UTM은 ISTRON 5982를 이용, 5m/min의 속도로 시험체를 잡아당겨 파단되었을 때의 값을 파괴하중으로 산정함. 시험체는 총 3개를 준비하였고, 시험결과는 평균 1,121N으로 측정되었음.

<표 2.3.1> 고주파 가열 콘형 고정구의 부착하중 시험결과

구분	1	2	3	평균
부착하중(N)	1,297	1,039	1,029	1,121

○ 특히 시험체의 파괴형상을 보면, 고정구와 PE시트와의 부착면이 파괴되지 않고, 고정구가 먼저 파괴되는 형상을 보여주었음.

○ 이는 고정구의 파괴하중이 부착하중보다 낮게 나타난 것으로 볼 수 있는데, 고정구의 파괴강도가 낮거나, 시험과정에서 편심이 작용하여 시험체의 손상을 가중시켰을 수 있음. 향후 부착시험에서는 지그와 시험체와의 수직정도를 확인하고 편심이 가해지지 않도록 보완할 필요가 있음.



(a) 시험장면



(b) 시험성적서



(c) 시험체의 하단 파괴형상



(d) 시험체의 측면 파괴형상

[그림 2.3.18] 고주파 접착 콘형 고정구의 부착시험 결과

(나) 부착 조건에 따른 부착성능 시험

○ 본 연구에서는 방수·방근시트의 재질에 따른 부착성능 분석을 위해 현재 옥상녹화에 많이 사용되는 PVC(Polyvinil chloride) 시트, TPO(Thermoplastic Polyolefin) 시트, PE(Polyethylene)와 EVA(Ethylene vinyl acetate)를 혼합하여 개발한 개질 PE시트에 대해 전자기 유도가열장치의 가열시간에 따른 접착제 코팅 금속 디스크의 부착성능과 옥상녹화용 박스 유닛 고정용 콘형상 고정구와 시트와의 부착성능을 시험하였음.

○ 또한 온도의 반복적인 변화가 부착성능 주는 영향에 대해서도 챔버를 이용하여 연구를 수행함. 기존[4]에 수행하였던 연구와 본 연구[5]의 범위차이를 다음과 같이 정리함.

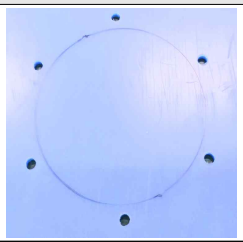
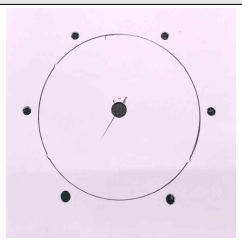
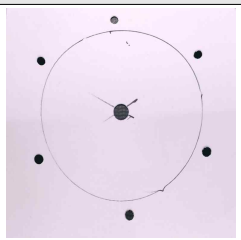
<표 2.3.2> 연구 범위

구분	기존의 연구	본 연구
방수・방근시트	PE 시트	PE 시트, PVC 시트, TPO 시트
콘형상 고정구	부틸테이프 부착	전자기 유도가열 방식
전자기 유도가열 방식 적용 범위	시트부착용 금속 플레이트 고정구에 한정	시트 부착용 금속플레이트 고정구와 유닛박스 고정용 콘형상 고정구

① 사용재료

○ 본 연구에 사용하는 방수·방근시트는 Table 2와 같이 PE 시트, PVC 시트, TPO 시트 3종류로 모두 2mm의 동일한 두께로 200×200 mm 크기로 절단 제작하고, 부착시험을 위해 볼트로 원형 지그와 결합시키기 위한 ϕ7mm 크기의 구멍을 6군데에 뚫어 준비함.

○ 본 연구에 사용하는 고정구는 같이 금속고정구와 콘 형상 고정구의 2가지를 이용함. 특히 콘 형상 고정구는 기존의 부틸테이프 부착방식도 성능 비교를 위해 포함함.

PE 시트	PVC 시트	TPO 시트
		

[그림 2.3.19] 시험 대상 방수·방근시트의 종류

○ 금속 고정구는 콘크리트 슬래브에 스크류 피스 등을 이용, 앵커 고정하고, 방수・방근시트를 위에 펼친 후 방수・방근시트 상부에 전자기 유도가열장치를 이용, 금속플레이트에 코팅된 열가소성 수지 접착제를 가열하여 방수・방근시트에 융착되도록 하는 비

4) 오창원외. 엔지니어링 PE 방수·방근시트가 결합된 박스 유닛형 옥상 녹화 시스템 적용을 위한 성능평가, 한국건축시공학회 논문집, Vol. 16, No. 2, 125~131, 2016. 3

5) 오창원, 방수·방근시트와 옥상녹화 박스유닛 시스템의 이렟화를 위한 전자기 유도가열 융착 고정구의 부착성능, 한국건축시공학회 논문집, Vol. 18, No. 5, 463-469, 2019. 10

파괴 고정구로 ϕ 85mm, 두께 1mm의 원형 스테인레스 금속판임.

<표 2.3.3> 시험 대상 고정구의 구분

구분	부착방식	부착 대상
금속 플레이트형 고정구	전가기 유도가열방식	구조체와 방수·방근시트의 고정
콘 형상 고정구	전자기 유도가열방식	콘형상 고정구와 방수·방근시트의 고정
	부틸 테이프	

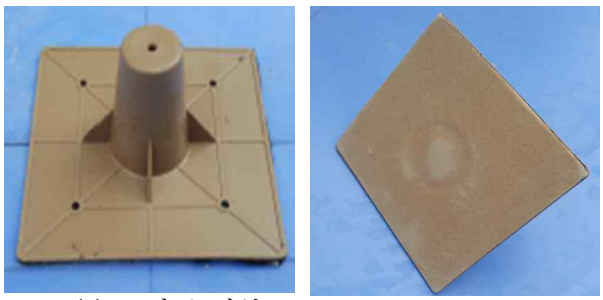
○ 콘형상 고정구는 기존에 하부면에 양면 브틸테이프를 부착, 방수・방근시트와 부착하던 방식에서 전자기 유도가열 방식을 이용한 부착방식을 적용하기 위하여 고정구 부착부위 자체를 용융, 융착시키는 방식을 적용, ϕ 148 mm의 고정구 하부 판 내부에 와전류 형성을 위한 금속판을 매입시켜 제작함.

○ 최초 개발한 콘형상 고정구의 부착시험에서 부분 파손 형상을 고려, 이를 보강한 시제품을 다시 제작, 본 시험에 사용함.



(a) 구조체와의 고정면 (b) 시트와의 부착면

[그림 2.3.20] 금속플레이트 고정구



(a) 고정구 상부 (b) 고정구 하부(부틸 테이프 스티커 제거 전)

[그림 2.3.21] 부틸테이프 부착형 콘형상 고정구



(a) 고정구 상부



(b) 고정구 하부
(금속판 매립)

[그림 2.3.22] 전자기 유도가열방식 콘형상 고정구

② 가열온도의 사전 범위 설정

○ 본 연구에 사용하는 전자기 유도가열장치는 고정구의 종류에 따라 형상이 다르고, 고정구의 재질 또한 다르므로 고정구의 가열온도는 다르게 나타남.



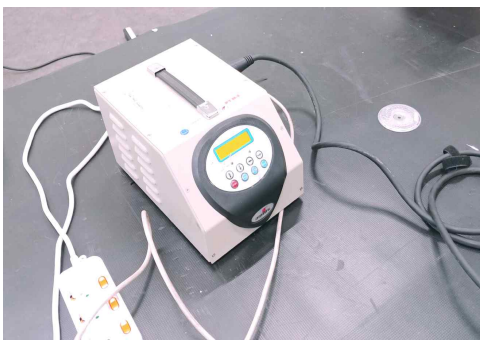
(a) 금속 플레이트형
고정구용



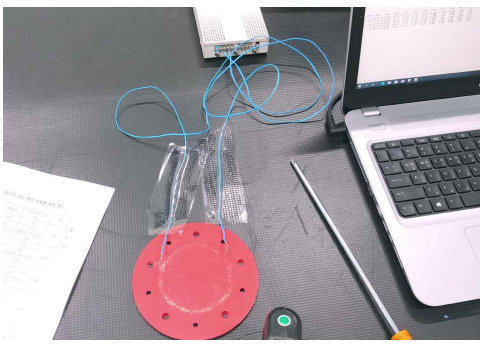
(b) 콘형상 고정구용

[그림 2.3.23] 전자기 유도가열 장치 타입

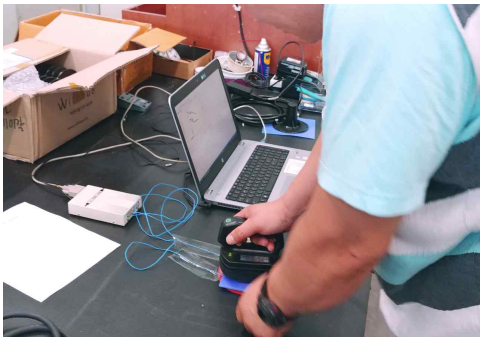
○ 따라서 고정구에 따른 가열온도 및 시간을 먼저 측정할 필요가 있다. 2종류의 고정구 가열장치를 사용하여 가열시 금속 고정구 및 콘형상 고정구와 방수·방근시트 사이에 2개의 열전대를 삽입하고, 고정구의 융착상태를 확인하면서 온도와 시간을 측정함.



[그림 2.3.24] 전자기유도 가열장치



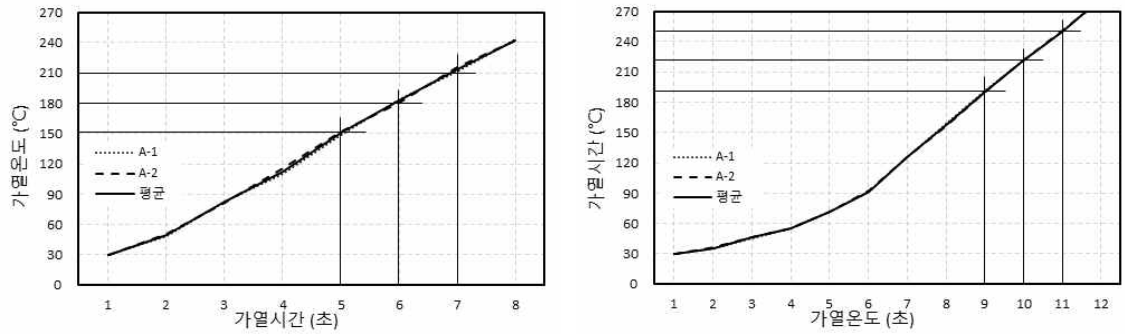
[그림 2.3.25] 열전대 부착



[그림 2.3.26] 시간에 따른 가열온도 측정

○ 그 결과, 금속 고정구는 (a)와 같이 가열온도 약 130℃ 이상부터 융착이 시작되는 것으로 측정되어 가열온도 150℃, 180℃, 210℃ 시점에서 시트와 가열융착한 금속 고정구 시험체를 제작함.

○ 콘형상 고정구는 (b)와 같이 가열온도 약 170℃ 이상의 온도에서 융착이 시작되어 가열온도 190℃, 220℃, 250℃ 시점에서 시트와 가열 융착한 콘형상 고정구 시험체를 제작함.



(a) 금속플레이트 고정구 가열시간 및 온도 (b) 콘형상 고정구의 가열시간 및 온도

[그림 2.3.27] 시험을 위한 가열시간의 선정

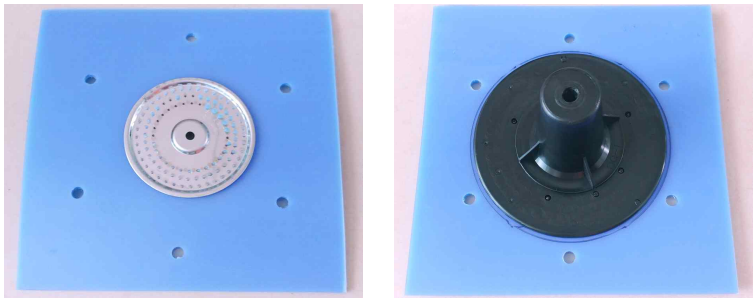
③ 부착시험

○ 본 연구는 3종류의 방수·방근시트에 전자기 유도가열 방식을 이용한 금속고정구와 콘형상 고정구의 가열융착 온도에 따른 부착성능을 평가하기 위한 것으로 일반조건에서의 부착성능시험과 내구성 평가를 위해 냉열 온도 조건을 주기적으로 반복시킨 후 부착성능을 평가하는 냉열반복 시험으로 구분하여 실시하였음.

○ 부착성능 및 내구성 시험은 모두 정치조건이 다를 뿐 동일한 부착성능 시험으로 평가하므로 시험체는 동일함.

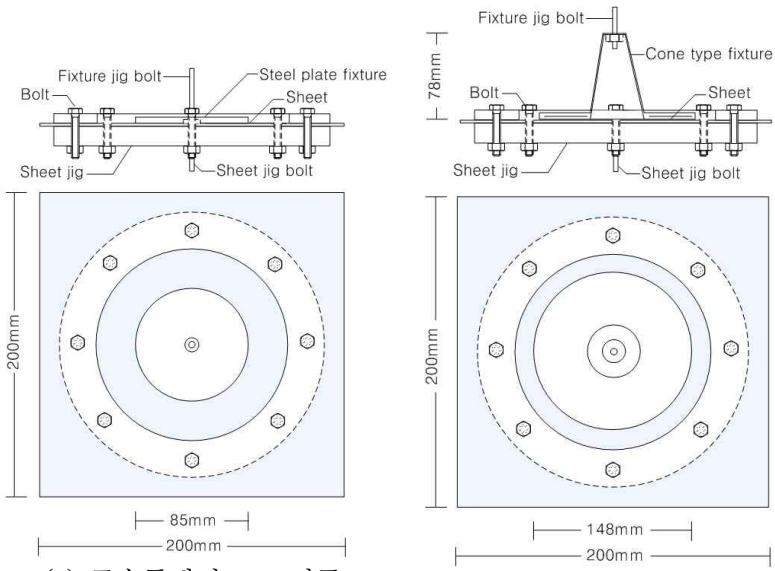
○ 먼저 부착성능 시험을 위하여 지그 고정이 가능하도록 구멍을 뚫은 방수·방근시트의 중심부에 금속 고정구를 150℃, 180℃, 210℃ 까지 가열 융착한 시험체를 각각 부착성능 시험용 3개, 내구성 시험용 3개, 총 6개씩 제작하고, 콘형상 고정구도 방수·방근시

트에 190℃, 220℃, 250℃ 까지 가열 융착한 시험체를 각각 부착성능 시험용 3개, 냉열 반복 시험용 3개로 총 6개씩 제작함.



(a) 금속 플레이트형 고정구 (b) 콘형상 고정구

[그림 2.3.28] 방수・방근시트에 고정구를 부착한 시험체



(a) 금속플레이트 고정구 시험체 고정

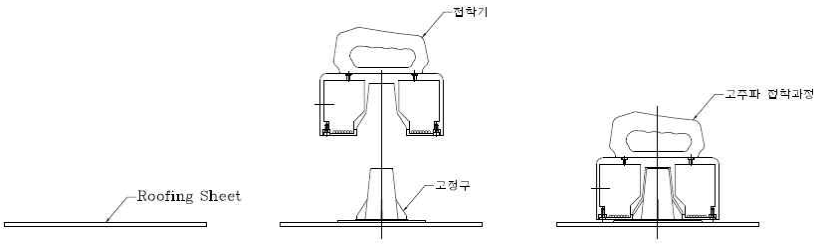
(b) 콘형상 고정구 시험체 고정

[그림 2.3.29] 부착시험용 시험체 고정 방식

○ 시험체에 인장하중을 가하기 위하여 금속 플레이트형 고정구 및 콘형상 고정구는 중앙부에 볼트를 연결하고, 시험체의 시트 부위를 고정한 지그는 하단에 볼트가 연결되어 부착시험이 가능하도록 지그를 제작, 설치함.

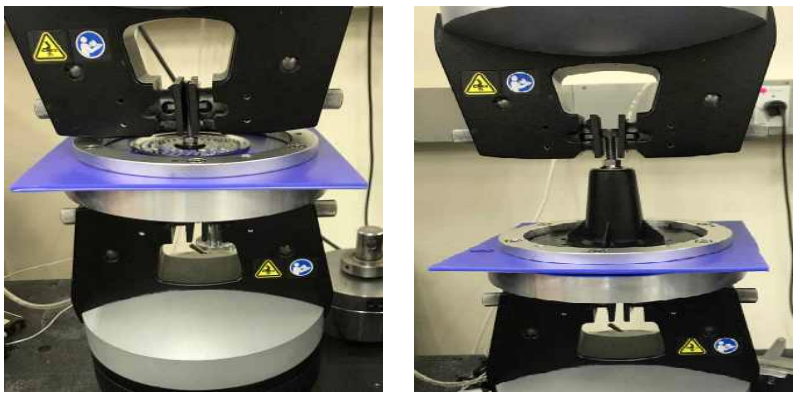
○ 콘형상 고정구 시험용 시험체 제작은 방수・방근시트 상부에 콘형상 고정구를 설치위치에 올려놓고 콘형상 고정구를 완전히 감싸는 형상의 전자기 유도가열장치를 콘형상 고정구 위에서 살포시 압력을 가하여 누른 뒤 가열시킨 후 소정의 시간이 지난 뒤 전자기 유도가열장치를 제거함.

○ 이 때 융착된 콘디스크는 아직 용융상태에 있을 수 있으므로 충격을 주지 않도록 하며, 충분히 냉각되면 콘디스크는 방수・방근시트와 일체화되어 떨어지지 않음.



[그림 2.3.30] 콘형상 고정구의 부착방법

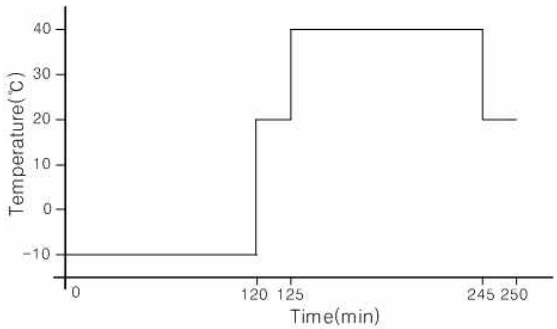
○ 방수·방근시트와 고정구의 부착시험은 KS 시험규격이 없으므로 유사한 시험방법인 KS F 4715 “얇은 마무리용 벽 바름재”의 부착강도 시험방법을 참고하여 시험하였다. 부착시험은 만능시험기(UTM, AG-582KNIS MS, Shimadzu, Japan)를 이용하여 온도 20±2℃, 상대습도 65±10%의 조건에서 하중 속도는 1,500~2,000 N/min으로 인장력을 가하여 파단시의 최대 하중값을 부착하중으로 하며, 3개의 평균값으로 제시하였음.



(a) 금속 플레이트 고정구 시험 (b) 콘형상 고정구 시험

[그림 2.3.31] 부착성능 시험

○ 방수·방근시트와 촉진내구성 시험은 제작한 부착성능 시험체를 KS M 3705 “접착제의 일반 시험방법” 중 냉열 반복 접착강도시험 조건을 참고하여 -10℃에서 2시간 냉각 후 실온에서 5분 방치, 40℃로 2시간 가열 후 5분간 방치하는 조건을 1싸이클로 정하고 3싸이클을 반복한 후 20±2℃, 상대습도 65±10%의 조건에서 24시간 정치한 시험체를 3개씩 부착 하중을 측정하고 평균값으로 제시함.



[그림 2.3.32] 촉진 내구성 부착성능 시험 조건

④ 시험결과 및 분석

○ 개질 PE, TPO, PVC 등 3종류의 방수·방근시트에 금속 고정구를 전자기 유도가열 장치를 이용하여 가열온도에 따른 부착성능을 측정한 결과, 모두 가열온도가 150℃에서 210℃로 높아질수록 부착하중이 증가하는 것으로 나타남.

○ 시트의 재질에 따른 부착하중은 PE 시트가 3,705～4,596N으로 가장 높게 나타났으며, TPO시트, PVC 시트 순으로 부착하중이 낮게 나타남.

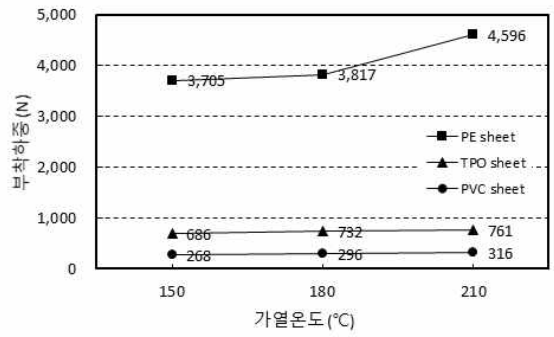
○ 특히 PE 시트는 PVC 시트보다 약 13배의 우수한 부착하중을 보여주었는데, 이는 금속 고정구에 코팅된 열가소성 접착제가 동일한 PE계로 열융착에 의한 일체화가 용이하기 때문으로 판단됨. 따라서 전자기 유도가열 방식의 금속 고정구는 PE 시트에 적용시 최상의 부착성능을 갖는 것으로 판단됨.

○ 또한 3종류의 방수·방근시트에 콘형상 고정구를 전자기 유도가열 장치를 이용하여 가열온도에 따른 부착성능을 측정한 결과, 모두 가열온도가 190℃에서 250℃로 높아질수록 부착하중이 감소하는 것으로 나타남.

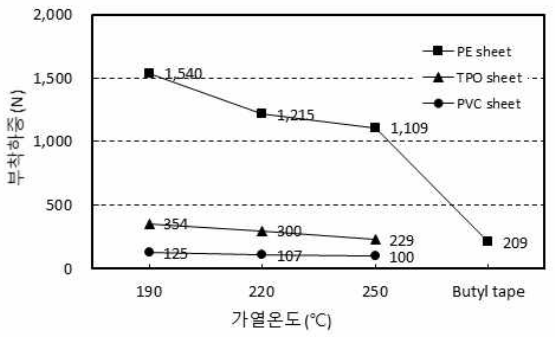
○ 시트의 재질에 따른 부착하중은 개질 PE 시트가 1,540～1,109N으로 가장 높게 나타났으며, TPO시트, PVC 시트 순으로 부착하중이 낮게 나타남.

○ PE시트와 콘형상 고정구의 부착하중이 가장 높은 이유는 콘형상 고정구가 PE수지로 제작되었기 때문으로 금속고정구의 접착제와 같이 동일 계통 수지의 열융착에 의한 일체화 효과가 우수하기 때문으로 판단됨.

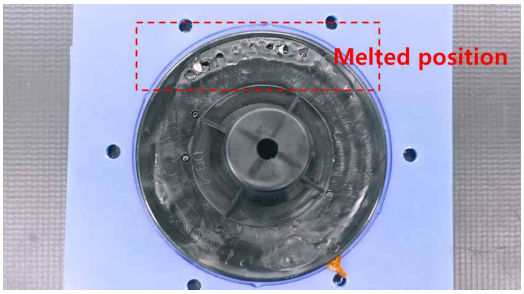
○ 특히 금속고정구의 부착하중과 달리 콘 형상 고정구의 부착하중은 온도의 상승에 따라 반비례하는 데, 220℃ 이상의 콘 형상 고정구의 융착 접착면을 보면, 높은 온도에 의한 용융 손실부위가 발생됨을 확인, 따라서 콘 형상 고정구의 적정 가열온도는 190℃ 내외로 판단됨.



[그림 2.3.33] 금속 플레이트 고정구의 부착성능 시험



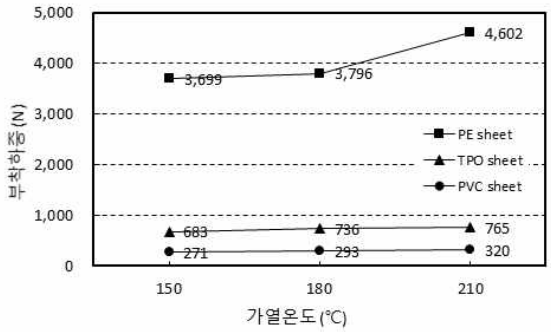
[그림 2.3.34] 콘형상 고정구의 부착성능 시험



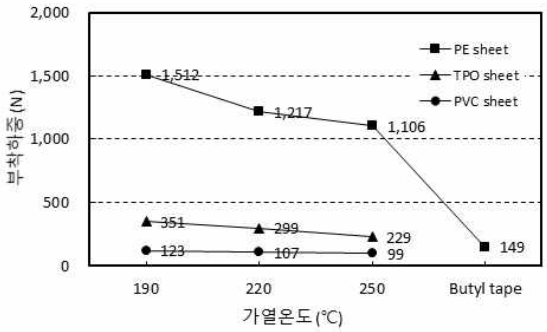
[그림 2.3.35] 콘형상 고정구의 고온 융착에 의한 용융현상

○ 또한 기존의 양면 부틸테이프로 부착한 콘형상 고정구의 부착하중을 측정한 결과, 209N으로 190℃ 가열조건에서의 콘형상 고정구의 부착하중값인 1,540N과 비교하면 유도가열방식의 콘형상 고정구의 부착성능이 7배 이상 우수함을 확인함.

○ 3종류의 방수·방근시트에 금속 고정구를 가열온도에 따라 융착한 시험체를 3싸이클에 걸쳐 냉열 반복과정을 거친 후 부착하중을 측정한 결과는 상온조건에서 측정한 결과와 차이가 없는 것으로 나타남.



[그림 2.3.36] 냉온반복에 따른 금속플레이트 고정구 부착성능



[그림 2.3.37] 냉온반복에 따른 콘형상 고정구 부착성능

○ 또한 콘타입 고정구를 가열온도에 따라 융착한 시험체도 3싸이클에 걸쳐 냉열반복과정을 거친 후 부착하중을 측정한 결과에서도 상온조건에서의 부착하중값과 차이가 없는 것으로 나타났음.

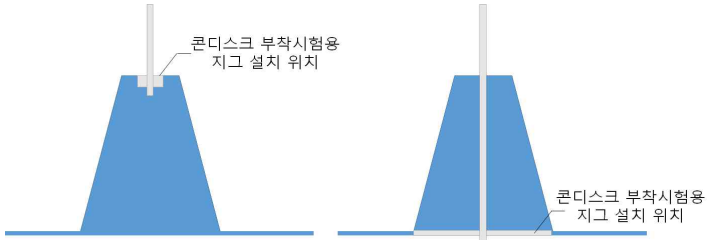
○ 그러나 기존의 부착방법인 양면부틸테이프 고정방법은 냉열반복시험시 상온조건에서보다 약 28%의 성능이 저감되는 것으로 나타남.

○ 따라서, 전자기 유도가열방식을 이용하여 부착하는 고정구의 경우 국내의 계절변화를 고려하면 방수·방근시트 일체화 옥상녹화 공법에 적절한 부착방식임을 확인함.

⑤ 수정 부착시험 방법에 의한 부착성능 시험 결과

○ 부착성능 시험과정에서 콘디스크에 인장력을 가할 때 콘 상단부위에 국부 파손이 발생되어 방수 · 방근시트와 콘디스크의 실질적인 부착하중값이 측정되지 않은 문제가 제기됨.

○ 따라서 시험체에 설치한 지그의 위치를 변경 콘 상단이 아닌 콘 내부의 방수·방근시트와 콘고정구와의 부착면에 위치하도록 변경하여 제작함.

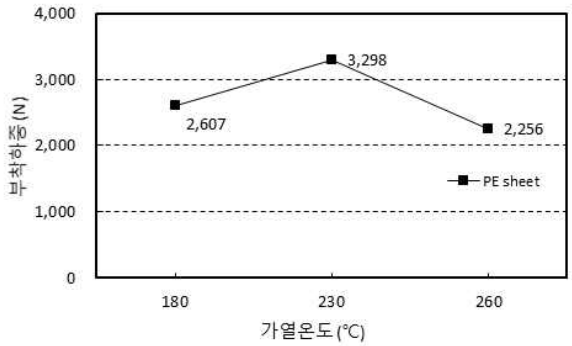


(a) 기존 시험 지그 설치 위치 (b) 수정 시험 지그 설치 위치

[그림 2.3.38] 수정 부착성능 시험의 개략도

○ 수정 부착시험에서는 PE 시트의 부착성능만을 가열온도를 달리하여 측정함. 그 결과, 가열온도 230℃에서의 콘형상 디스크와 PE시트와의 부착력이 3,298N으로 가장 높게 나타났고 180℃의 경우 2,607N, 가장 높은 260℃의 경우 2,256N으로 측정됨.

○ 그러나 가열온도 180℃에서도 충분한 부착성능을 확보할 수 있으므로 시공시간 등을 고려하면 콘디스크의 가열시간이 짧은 가열온도 180℃로 부착시공을 하는 것이 타당할 것으로 판단됨.

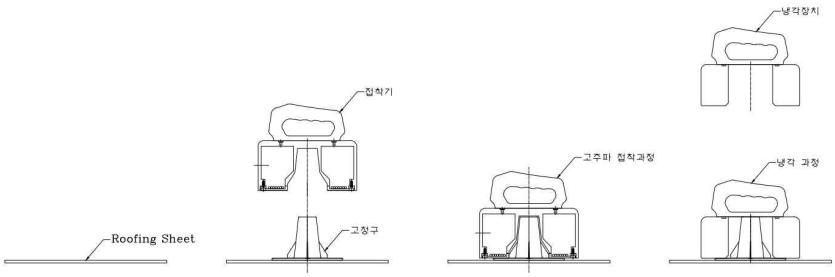


[그림 2.3.39] 수정 부착시험 방법에 따른
콘형상 고정구 시험결과

○ 또한 지그 고정방식을 변경하여 콘형상 고정구를 220℃의 가열온도에서 부착 시험체를 제작하고 냉열반복시험을 실시한 결과, 최대 부착하중은 2,662N으로 측정됨. 이는 기존 시험결과의 동일한 220℃ 시험체의 부착하중과 비교시 50% 이상 부착하중이 높게 나타남.

(다) 콘형상 고정구 냉각기 개발 및 적용에 따른 부착성능 평가

○ 콘형상 고정구 융착시 바닥에 삽입된 금속플레이트가 냉각 과정에서 휘는 문제가 발생되어, 부착성능을 저하시킬 수 있는 요인으로 작용하는 것으로 판단, 콘형상 고정구 냉각장치를 개발, 융착기로 가열 후 알루미늄으로 제작된 냉각기로 다시 압력을 가한 상태에서 냉각할 때까지 유지한 후 제거하면 콘형상 고정구의 변형을 억제할 수 있음.



[그림 2.3.40] 고정구의 융착 및 냉각 과정 개략도

○ 전자기 유도가열장치로 콘형상 고정구를 PE 시트에 180℃ 온도까지 가열 후 바로 냉각장치를 이용하여 압력을 가하면서 냉각 시킨 시험체의 부착하중을 측정한 결과, 평균 3,504N 으로 이전 시험결과보다 향상됨을 확인함.

<표 2.3.4> 고주파 가열 콘형 고정구의 부착하중 시험결과

구분	1	2	3	평균
부착하중(N)	3,064	3,903	3,547	3,504



(a) 콘형상 고정구 냉각장치 (b) 부착성능 시험결과

[그림 2.3.41] 콘형상 고정구 냉각장치를 이용한 부착시험

(라) 콘형상 고정구의 압축하중 평가

○ 콘형상 고정구를 설치시 시공인부 또는 기타 작업하중에 의한 압축력을 받을 수 있으므로 개발 콘형상 고정구의 파괴 압축하중을 측정함.

○ 측정은 Instron 5982를 이용, 시험속도 10mm/min으로 압축하중을 가하였으며, 파괴시의 하중은 평균 2,939N으로 측정됨.

<표 2.3.5> 콘형상 고정구의 압축하중 평가

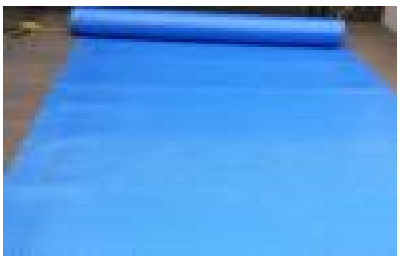
구분	1	2	3	평균
최대압축하중(N)	2,903	3,805	2,111	2,939

(5) 엔지니어링 PE 방수·방근시트의 성능 평가

○ 본 연구에 사용하는 엔지니어링 PE 방수・방근시트는 본 연구과제 시작 이전인 2015년부터 PE(Polyetheylene)와 EVA(Ethylene vinyl acetate)를 혼합한 개질 PE를 주재료

로 개발을 착수, 최초 제작 당시는 두께를 1mm로 제작하고 한면에 1mm 부직포를 부착, 일체화한 형상의 PE시트를 개발하였으나, 물리적 성능이 부족하여 추가적 연구가 필요한 상황에서 본 연구과제에 포함하여, 주요 원료인 PE와 EVA의 배합을 변경하고, 2mm의 단일 두께로 방수·방근시트를 제작하여 성능을 평가함.


(a) 기 개발 방수·방근시트


(b) 연구 개발 방수·방근시트

[그림 2.3.42] 개발 엔지니어링 PE 방수·방근시트

○ 인공지반 녹화에 사용하는 방수·방근시트는 KS F 4911 “합성 고분자계 방수시트”의 성능기준과 ASTM D 5385 “Standard Test Method for Hydrostatic Pressure Resistance of Waterproofing Membranes”, KS F 4938 “방근성능 시험방법”에 따라 시험을 수행하였음.

○ 본 개발 기술에 사용하는 방수방근시트는 단일 균질시트로 에틸렌아세트산 비닐수지계 성능기준에 준하여 시험하였으며, 시험결과 만족하는 것을 확인함.


(a) 인장성능 시험


(b) 인열성능 시험


(c) 온도의존성 시험


(d) 가열 신축성상 시험


(e) 신장시 열화성상 시험


(f) 접합성상 시험



(g) 열화처리후 인장성능 시험(알칼리 처리)



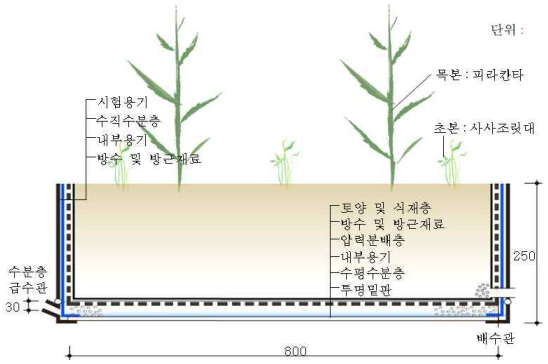
(h) 패임저항성 시험

[그림 2.3.43] 방수·방근시트의 물리적 시험

〈표 2.3.6〉 개발기술 사용 방수방근시트의 물리적 성능평가 결과

성능항목			성능기준		시험결과		
물리적 성능	인장성능	인장강도 (N/mm^2)	10이상		무처리	길이	18
						나비	16
					가열처리 (50℃, 56일)	길이	17
						나비	15
					수분열화처리 (70℃, 56일)	길이	16
						나비	14
		신장률 (%)	450 이상		무처리	길이	780
						나비	731
					가열처리 (50℃, 56일)	길이	744
						나비	691
					수분열화처리 (70℃, 56일)	길이	759
						나비	713
	인열성능	인열강도 (N/mm)	40 이상		길이		139
					나비		138
	온도의존성	인장강도 (N/mm^2)	60℃	1.5 이상	길이		10.0
					나비		8.6
		신장률 (%)	-20℃	200 이상	길이		323
					나비		311
	가열신축성상	신축량 (mm)	신장 2 이하 수축 6 이하		길이		-1.8
					나비		-0.7
	열화 처리후 성능	인장 강도비	알칼리처리 (%)	80 이상	길이		97
					나비		98
		신장률비	알칼리처리 (%)	80 이상	길이		98
					나비		99
	신장시의 열화성상		가열처리	잔금이 없을 것	길이		잔금없음
					나비		잔금없음
	접합성상		무처리	어긋남, 박리	어긋남, 박리현상 없음		
			가열처리	길이 5mm 이하	어긋남, 박리현상 없음		
방수성	수압저항성(1시간)		15psi	투수여부 확인	passed		
			30psi		passed		
			45psi		passed		
			60psi		passed		
			75psi		passed		
			90psi		passed		
			100psi		passed		

○ 방근성능 평가는 14~35℃의 유리온실에서 6개의 방근시험 용기에 펀칭메탈로 제작된 내부용기 안쪽에 방근재료를 시공하고, 내부에 시험식물을 식재하여 식물 뿌리가 방근재료에 침입하거나 관통하는지를 24개월간 평가하였음.



[그림 2.3.44] 방근시험체 구성 단면도



(a) 방근시험동 전경



(b) 방수・방근 시트 시험체



(c) 초기 식재현황



(d) 6개월 경과 후



(e) 12개월 경과 후



(f) 18개월 경과 후



(g) 24개월 경과 후 측면



(h) 24개월 경과 후 아랫면



(i) 24개월 경과 후 식생, 토양 제거



(j) 24개월 경과 후 내부

[그림 2.3.45] 엔지니어링 PE 방수·방근시트의 방근시험 결과

○ 시험결과 6개의 방근시험체 모두 뿌리 관통 및 침입이 없음을 관찰하여 방수·방근시트의 방근성능을 확인함.

<표 2.3.7> 엔지니어링 PE 방수·방근시트의 방근성능 시험결과

시험항목	시험결과
방근성능 시험체 1	뿌리 관통 및 침입 없음
방근성능 시험체 2	뿌리 관통 및 침입 없음
방근성능 시험체 3	뿌리 관통 및 침입 없음
방근성능 시험체 4	뿌리 관통 및 침입 없음
방근성능 시험체 5	뿌리 관통 및 침입 없음
방근성능 시험체 6	뿌리 관통 및 침입 없음

라. 개발기술의 현장적용 및 장기 성능평가(변형, 단열), 시공매뉴얼 개발

(1) 사례분석 및 개선방안 도출

(가) 일본의 기존 인공지반 녹화시스템 관련 문제점 및 디테일 분석

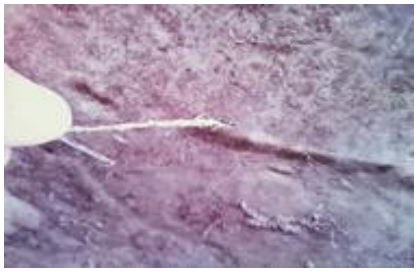
○ 일본최대 방수회사인 '타지마루핑'과 고주파 열융착회사 '협창'의 관련 기준 검토 결과, 지붕층 녹화시스템 설치에 따른 내풍압의 성능기준을 약 50m/s로 설정하고 있어, 이를 토대로 국내 기준에는 없지만 개발 시스템의 내풍압 성능을 50m/s이상 만족하도록 설계를 진행함.




[그림 2.4.1] 일본 관련업체 방문

○ 100년의 역사를 가진 일본 방수회사 '타지마루핑'社는 전체 종업원 1,200명, 연매출 5000억원의 일본 1위 방수재 기업으로 본 과제의 공동연구기관((주)한국도시녹화, 대건케미칼(주))과 함께 일본 본사를 방문하여 일본 내 법규 및 기준, 방수/방근 하자 사례, 옥상녹화사례 등에 대한 세미나를 진행함.

○ 일본의 경우, 법적인 방근 설치 기준은 없으나 조경설계자가 발주처 및 조합원에 필요성을 제기에 의해 설계반영하고 있으며, 국내와 마찬가지로 점차 방수,방근층에 대한 사회적 이슈가 점차 부각될 것으로 판단됨.

[그림 2.4.2] 일본의 옥상녹화 방수층 파손 사례

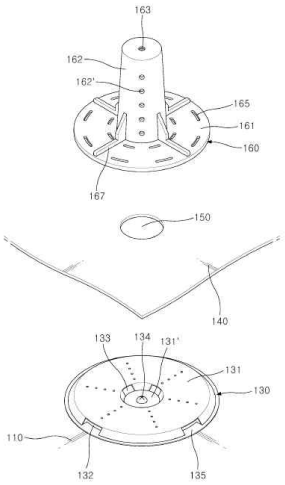
(나) 기존 녹화시스템과 차별화 된 아이디어 창출

○ 기존녹화시스템의 고정구에 Air Vent를 이용한 탈기작용을 반영하여 Sheet방수의 결함

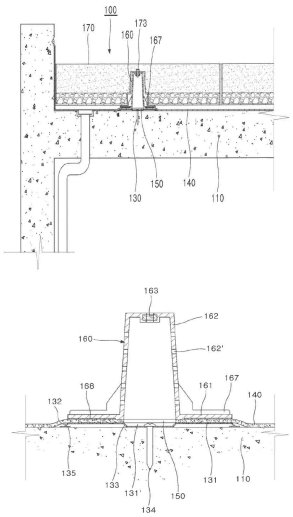
(부풀음)을 개선하였음. 기존의 시트방수 및 도막방수의 경우 콘크리트면의 잔습이 존재하여 시간경과에 따라 시트 또는 도막재의 수증기 미배출로 인한 부풀음 하자를 보다 체계적으로 개선하기 위해 탈기반의 형태를 고정구에 응용하여 단계별로 기능을 개선시킴.

<표 2.4.1> 탈기(Air Vent) 기능을 지닌 고정구의 특징

1) 기존 고정구의 역할은 콘크리트 슬라브와 식생유니트 박스의 결합기능 2) 방수방근 시트의 시공후의 단점은 시트의 들뜸현상에 대해 다소 취약할 수 있음 3) 이를 개선하기 위하여 콘크리트 슬라브와 시트 사이의 잔습을 배출하기 위한 용도로서 고정구에 구멍을 뚫어 탈기기능을 접목시킴 4) 고정구를 시트에 부착시킬시에는 주변영역의 열융착 이외에 우레탄 도막재를 이용하여 밀실하게 물의 침투를 막음



(a) 콘크리트 구체에 접합되는 탈기 기능을 지닌 고정구



(b) 콘크리트 슬래브 위에 탈기 기능을 지닌 고정구의 접합으로 시트방수재의 들뜸에 대한 현상을 저감

[그림 2.4.3] 기존 녹화시스템과의 차별화 방안

(다) 식생 유닛박스의 적층구조 개선 및 방수, 방근체와의 접합부 개선

○ 건축물 녹화 시공시 도심지의 부족한 녹지공간 확대를 위해 건축물의 옥상에 조성한 녹지는 다단계로 구성된 복합구조로 이루어져 있으며, 방수공사 및 조경의 별도 시공 및 관리로 인해 하자 발생증가의 요인임. 이러한 문제점을 개선하기 위해 식생 유닛박스의 적층구조에서 누름콘크리트 공정을 삭제하며 수밀성을 향상시킨 방수, 방근성능을 구현하여 방수층과 조경의 일체화 시스템을 구현하였고, 접합부의 고주파 열융착을 이용하여 방수, 방근체 유닛구조의 접합부를 개선함.



[그림 2.4.4] 다층구조의 옥상녹화시스템의 기존구조

○ 식생유닛박스의 적층구조에 대한 개선과 공정혁신: 다층구조의 녹화시스템의 단계적인 결합을 통해서 공정개선 및 품질향상에 적극적으로 개선이 가능할 것으로 판단됨. 이를 통해 골조의 바탕정리부터 최종 녹화시스템이 구현되기까지의 단계별 공종에 대한 결합으로 준공 후, 유지보수에 대한 체계적인 시스템을 이룰 것으로 예상됨



(a) 여러공종의 시스템을 결합한 녹화시스템

(b) 누름콘크리트 공정을 생략한 공정개선 방안

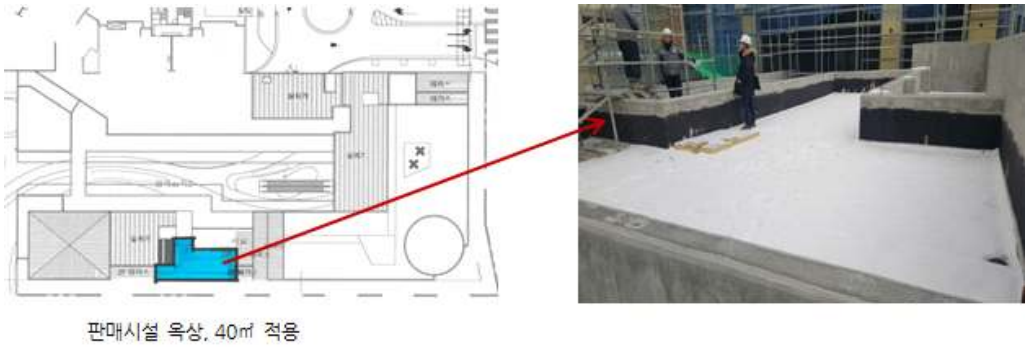
[그림 2.4.5] 기존 옥상녹화 시스템의 개선방안

(2) 개발 기술의 현장 적용 및 장기모니터링 분석

(가) 신설 건축물 현장 적용

① 구리 갈매IPARK 현장 판매시설 옥상 일부 현장 적용

○ 2017년 12월경 구리갈매 IPARK 현장 판매시설 옥상 일부 약 40m^{2}에 에너지 저감형 옥상 녹화 유닛시스템을 시공하였음. 현장 내 옥상녹화 유닛시스템의 설치 위치와 설치 전 현장 상황은 다음 그림과 같음.



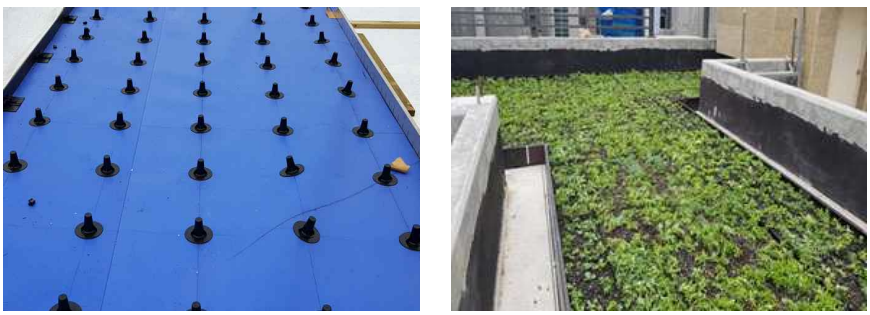
[그림 2.4.6] 구리갈매IPARK 현장 내 에너지 저감형 옥상녹화 유닛시스템 적용 부분 및 초기 현황

○ 옥상녹화 유닛시스템 시공 전 상황은 콘크리트 슬래브 위에 액체 방수를 마친 상태 위에 현장 적용을 진행하였음. 아래 그림은 시험 시공 하기 전 현장 바닥 현황 그림으로 판매시설 옥상 일부로 조경 부분이 조성되어야 할 부분에 본 옥상녹화 유닛시스템을 현장 시험 시공을 하였음.



[그림 2.4.7] 판매시설 옥상 일부 전경

○ 옥상녹화 유닛시스템 시공 순서는 위에서 언급하였듯이 1) 바닥정리 => 2) 방수·방근층 설치를 위한 PE시트 시공 ==> 3) 유닛박스 고정을 위한 콘 설치 ==> 4) 유닛박스 설치 순으로 시공되었음.



(a) 유닛박스 고정 콘 설치 (b) 녹화유닛시스템 시험시공완료

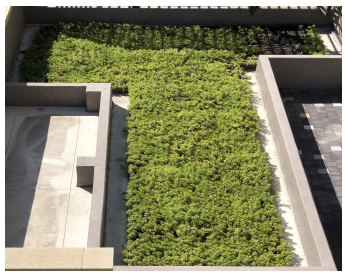

(c) 옥상녹화 시공 완료 전경 1


(d) 옥상녹화 시공 완료 전경 2

[그림 2.4.8] 구리갈매 현장 옥상녹화 시험 시공

○ 2017년 시공 후 2018~2019년 식물생육 상태를 모니터링을 실시하였음. 해당 현장은 관수장치 또는 관리인을 통한 별도의 관수를 실시하지 않고 자연 강우를 기반으로 무관리형으로 유지되고 있으며 시공 직후 인접한 실외기 시설의 관리로 발생한 답압에 의한 일부 고사부위를 제외하고 2019년 현재까지 식물생육상태는 전반적으로 매우 양호한 것으로 확임됨.

○ 테스트배드 운용 결과 하절기 기간 중 일부 잡초발생에 대한 수요처(발주처)의 개선, 요구사항이 있었으나, 동일 대상건물 내 포설형으로 조성된 타사 시공 옥상녹화 대상지와 비교 시 식물생육 및 유지 상태는 상대적으로 매우 양호한 상태임.


2018년 (하절기)


2019 (하절기)

[그림 2.4.9] 테스트배드 식물생육 상태 모니터링





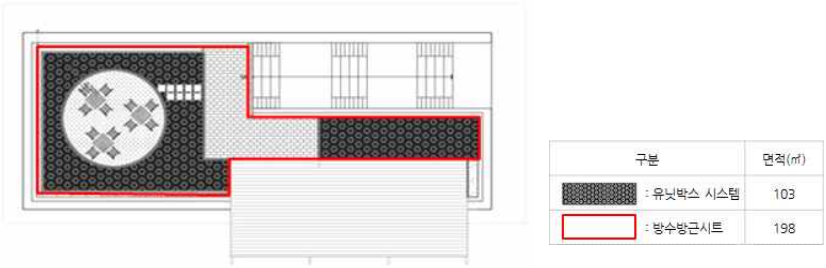
[그림 2.4.10] 식물생육 상태 및 하자 발생 여부 확인



[그림 2.4.11] 동일 건물옥상 포설형 옥상녹화지 현황

② 송파헬리오시티 현장 어린이집 옥상 현장 적용

○ 2018년 9월~10월초 송파 헬리오시티 현장 어린이집 옥상 103m^{2}에 에너지 저감형 옥상녹화 유닛시스템을 시공하였음. 옥상녹화 유닛시스템이 적용된 어린이집 옥상 평면 및 적용 위치는 아래 그림과 같음.



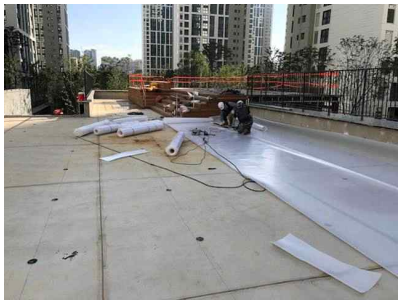
[그림 2.4.12] 송파헬리오시티 어린이집 옥상 적용 도면



[그림 2.4.13] 옥상녹화 유닛시스템 적용 전 전경

○ 송파 헬리오시티 현장 어린이집 옥상 부위에 개발된 옥상녹화 유닛시스템을 2018년 9월 ~ 10초순까지 현장 시공을 진행하였음. 1차 시험 시공보다 규모와 면적 등을 확 대하여 송파헬리오시티 부속동인 어린이집 옥상에 들어가는 조경 부분 모두를 개발된 방 수・방근 일체형 옥상녹화 유닛시스템을 적용하여 현장 시공하였음.

○ 방수・방근시트 면적은 옥상 일부 조망 데크가 적용된 부분을 제외한 198m^{2}를 시공하였고, 옥상녹화 유닛시스템은 조망 데크 부분과 보도 부분을 제외한 103m^{2}를 현장 시공하였음. 현장 시공 순서는 다음 그림과 같이 진행되었음.



(a) 금속 디스크 설치 및 PE시트 열융착



(b) PE시트와 금속디스크 고주파 융착



(c) 가열 융착식 고정구 설치



(d) 유닛박스 설치



(e) 유닛박스 주변 마무리 작업

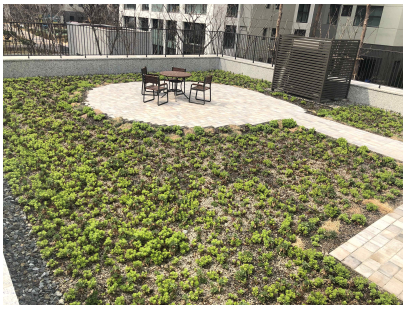


(f) 유닛시스템 완료

[그림 2.4.14]송파 헬리오시티 현장 옥상녹화 시험 시공

○ 구리갈매 I-PARK현장 모니터링 결과 및 수요처(발주처)의 잡초발생에 대한 개선, 요구사항을 반영하여 개발 토양 혼합소재, 제조과정에서 유입되는 매토종자를 최소화. 추가적으로 기존 대비 멀칭재의 토심을 추가 적용하여 잡초유입을 방지하였음.

○ 해당 대상지는 기존 대상지와 마찬가지로 무관리형 대상지로 별도의 관수 관리가 없는 조건에서 2019년 현재까지 양호한 식물생육 상태를 유지하고 있는 것으로 확인되었으며, 별도의 수요처(발주처) 개선, 요구사항은 없음.



2018년 (조성 후)



2019년 (간절기)

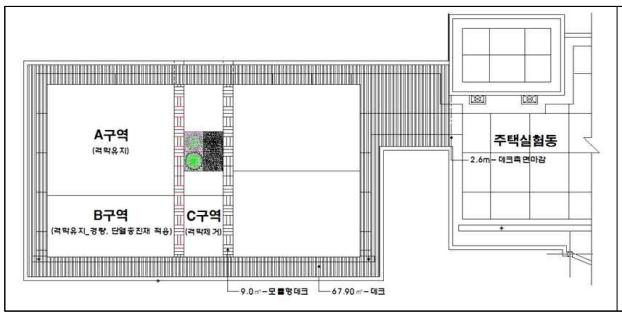
[그림 2.4.15] 옥상녹화 유닛시스템 적용 전 전경

(나) 기존 건축물 현장적용

○ 2019년 11월 4일에서 11월 12일까지 에이치디씨현대산업개발(주) 연구전담개발부서 건물 옥상에 기존 녹화유닛을 제거 후 개발 기술을 적용함.

○ 해당 대상지에는 기존 유닛시스템과 3차년도 개발기술인 EPP 소재의 경량형 충진재가 적용된 유닛시스템을 혼합 적용. 경량형 충진재 적용 유닛시스템 적용을 통해 건축물 시공성, 단열성능 등 검증 예정.

○ 건축물 옥상 특성상 풍압에 의해 발생 가능한 토양유실, 유닛박스 탈락 등의 문제에 대비 가능한 내풍압 방지 요소 기술이 적용된 유닛박스를 일부 혼합 적용하여 기존 기존 유닛시스템 대비 내풍압 성능 검증 예정.



구분	면적(m^2)
A 구역(격막유지)	$34m^2$
B 구역(격막유지 경량 단열 충진제 적용)	$23m^2$
C 구역(격막제거)	$8m^2$

[그림 2.4.16] 리모델링 현장(HDC현대산업개발 연구전담부서 건축물 옥상)



(a) 기존 유닛 제거



(b) 기존 유닛 제거 완료


(c) 개발 유닛 설치


(d) 개발 유닛 설치 완료

[그림 2.4.16] HDC 현대산업개발 연구개발부서 옥상녹화 리모델링

(다) 현장 적용 옥상녹화 유닛시스템의 계절별 생육상태 모니터링

① 구리갈매IPARK 판매시설 옥상녹화 유닛시스템의 계절별 생육상태 점검

○ 에너지저감형 옥상녹화 유닛시스템을 적용한 구리갈매 IPARK 판매시설 옥상녹화의 계절변화에 따른 식생 유지 상태와 계절별 주변 환경의 온도 분포 상태 및 환경 변화를 모니터링하였음. 사용된 장비는 계절별 현장 적용 온도 분포 사항을 분석하는데 열화상 카메라(FLIR 75)를 이용하여 계절 변화에 따른 시스템 표면 온도 변화를 측정하였음.

○ 또한, 비교 분석을 위한 옥상녹화 유닛시스템이 적용된 부위와 적용되지 않은 콘크리트 바닥 부위를 열화상카메라로 측정하여 계절별 온도 분포를 비교 분석하였음. 다음은 이에 따른 모니터링 결과임.

㉮ 식생의 생육상태

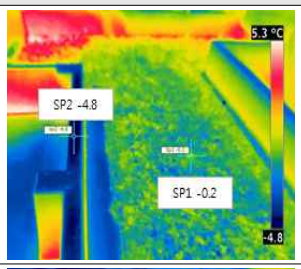
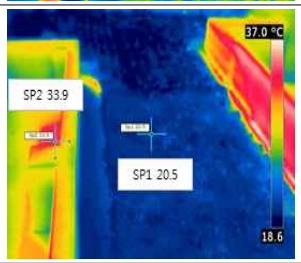
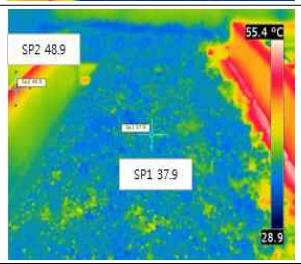
○ 동절기 식생은 발아 전으로 유닛 시스템 상부에 토피만 존재하고 있는 상태였으며, 간절기에 접어들어 식생의 발아 및 생육 과정이 정상적으로 진행되고 있는 것을 볼 수 있었음.

㉯ 계절별 표면 온도

○ 동절기 기간 동안에는 식생부위(토피 부위)에서의 표면 온도가 다른 부위(콘크리트) 보다 높게 측정되었음. 이는 토피가 햇빛 등의 열원을 흡수하는 능력이 타 부위보다 높다는 것을 알 수 있었음.

○ 간절기 및 하절기에는 식생부위 표면온도가 타 부위보다 낮게 측정되었음. 이는 식생에 의한 햇빛 등의 열원을 타 부위 보다 낮게 흡수한다고 볼 수 있음. 그리므로 식생에 의한 주변 온도를 낮출 수 있을 것으로 보여짐.

<표 2.4.2> 구리갈매IPARK 판매시설 옥상녹화 계절별 식생 변화 및 표면온도 측정

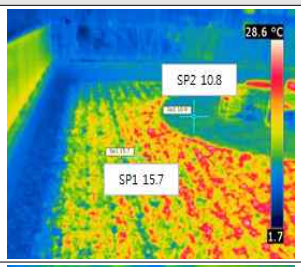
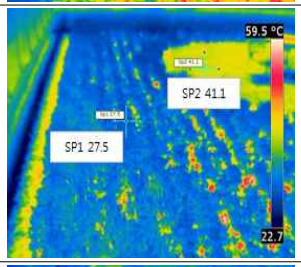
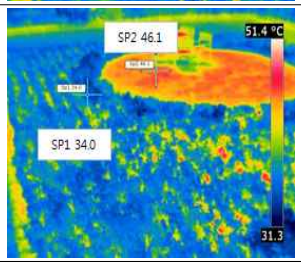
계절	현황 사진	열화상 카메라 이미지	표면온도
동절기			유닛박스 표면온도 : -0.2℃ 콘크리트 표면온도 : -4.8℃
간절기			유닛박스 표면온도 : 20.5℃ 콘크리트 표면온도 : 33.9℃
하절기			유닛박스 표면온도 : 37.9℃ 콘크리트 표면온도 : 48.9℃

② 송파헬리오시티 어린이집 옥상녹화 유닛시스템의 계절별 생육상태 점검

○ 2차년도 현장 적용 건으로 수행된 송파헬리오시티 어린이집 에너지저감형 옥상녹화 유닛시스템을 대상으로 옥상녹화의 계절변화에 따른 식생 유지 상태와 계절별 주변 환경의 온도 분포 상태 및 환경 변화를 모니터링하였음.

○ 사용된 장비는 계절별 현장 적용 온도 분포 사항을 분석하는데 열화상카메라(FLIR 75)를 이용하여 계절 변화에 따른 시스템 표면 온도 변화를 측정하였음. 또한, 비교 분석을 위한 옥상녹화 유닛시스템이 적용된 부위와 적용되지 않은 콘크리트 바닥 부위를 열화상카메라로 측정하여 계절별 온도 분포를 비교 분석하였음. 다음은 이에 따른 모니터링 결과임.

<표 2.4.3> 송파헬리오시티 어린이집 현장 옥상녹화 유닛시스템 계절별 식생 변화 및 표면온도 측정

계절	현황 사진	열화상 카메라 이미지	표면온도
동절기			유닛박스 표면온도 : 15.7℃ 콘크리트 표면온도 : 10.8℃
간절기			유닛박스 표면온도 : 27.5℃ 콘크리트 표면온도 : 41.1℃
하절기			유닛박스 표면온도 : 34.0℃ 콘크리트 표면온도 : 46.1℃

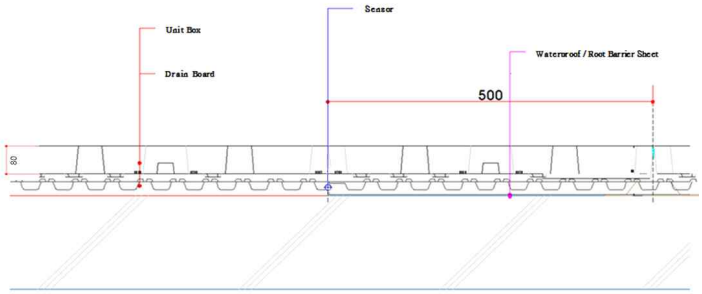
○ 한국건설기술연구원 실험자료에 따르면 여름철 녹화시스템 표면온도는 22~38℃, 콘크리트 표면온도는 23~50℃로 평균 6.5℃ 녹화시스템이 낮으며, 겨울철은 녹화시스템 표면 온도가 0~4℃, 콘크리트는 -3~10℃로 녹화 시스템이 평균 1℃ 높은 것으로 분석됨[6]. 본 시험결과와 비교하면 개발 기술이 문헌에서 제시한 기존 녹화공법보다 여름철에는 더 시원하고, 겨울철에는 더 따뜻한 것으로 분석됨.

(라) 기존 유닛시스템과 장기 내부 온도변화 비교 분석

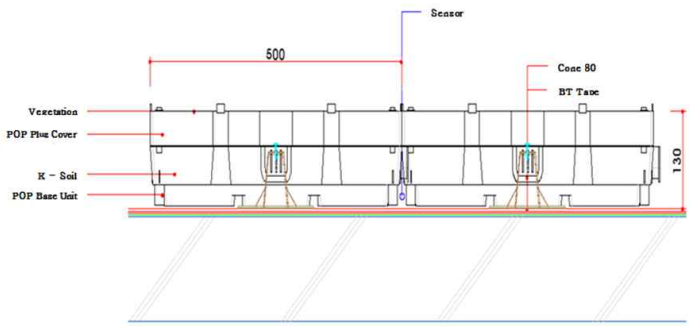
① 계절별 옥상녹화 시스템의 온도 차단 효과 분석 개요

○ 에너지저감형 옥상녹화 유닛 시스템의 개선 전·후 시스템의 유닛시스템의 결합부에서의 대기온도 차단 효과를 알아보기 위하여 2019년 1월부터 8월까지 7개월 동안 동절기(12/31~3/15), 간절기(3/16~5/31) 및 하절기(6/1~8/6)로 나누어 온도 변화 모니터링을 실시하였음. 개별 시스템에 설치된 온도 센서는 다음 그림과 같이 설치하였음.

6) 김기형, 대도시의 옥상조경실태와 개선방안에 관한 연구 - 대구광역시를 중심으로 -, 영남대학교 환경보건대학원 석사논문, 2008



[그림 2.4.14] 기존 옥상녹화 시스템에 설치한 온도센서 위치



[그림 2.4.17] 개발 옥상녹화 시스템에 설치한 온도센서 위치

○ 기존 유니트 공법은 토양이 유니트에 담겨있어 유니트간 조인트 사이가 외기에 노출되어 있는 반면 개발 기술은 유니트 상단에 탈착식 격막을 설치, 유니트 설치 후 격막을 제거하여 상단 토양이 연속된 토양층을 형성하는 특징이 있음. 이는 외기와 유니트 내부와의 공기 흐름을 차단하는 효과가 있음.



[그림 2.4.18] 기존 시스템 온도센서 설치

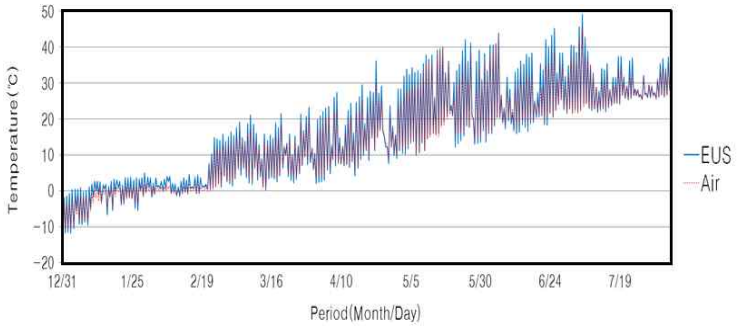


[그림 2.4.19] 개발 유니트 시스템 온도센서 설치

○ 측정기간 동안 대기온도, 기존 녹화 유닛시스템 하부, 개발 녹화 유닛시스템 하부의 하루 중 최소 및 최대온도를 측정하였음. 최소온도는 하루 중 기온이 가장 낮은 오전 6시 기준의 데이터이며, 최대온도는 하루 중 기온이 가장 높은 오후 4시 기준으로 측정하였음.

<표 2.4.4> 개선 전 시스템(50T) Vs. 대기온도의 일평균 온도차

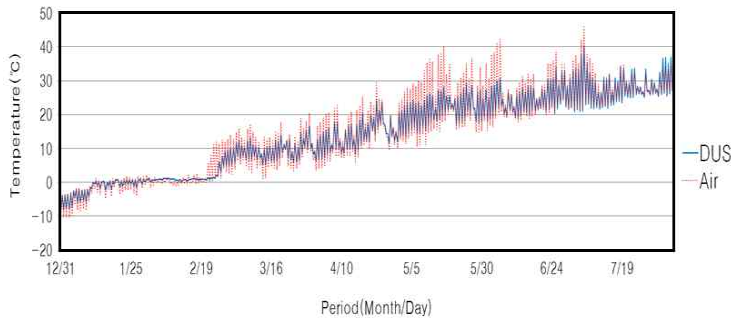
구 분	일평균 온도차(℃)		
	동절기	간절기	하절기
대기(Air) 온도	7.6℃	15.3℃	10.8℃
기존 유니트 시스템 온도(EUS)	10.3℃	19.5℃	15.8℃
개발 유니트 시스템 온도(DUS)	2.9℃	7.4℃	9.8℃



[그림 2.4.20] 기존 유니트시스템(EUS) 하부와 대기(Air)온도 변화

○ 측정 결과, 바텀애시 인공경량토양을 적용한 기존 유니트 시스템(EUS)의 내부 일교차는 외기온도와 비교하면 동절기는 2.7℃ 높고, 간절기는 4.2℃ 높으며, 여름철은 5℃ 높게 나타났음. 이는 외기에 비하여 일교차가 더 크게 측정된 것으로 유니트 박스 사이의 조인트를 통하여 겨울철은 찬 공기가 내부로 유입되고, 여름철은 뜨거운 공기가 유입되기 때문으로 판단됨.

○ 그러나 개발 유니트 시스템(DUS)의 내부 일교차는 외기온도와 비교하여 동절기는 7.4℃ 낮고, 간절기는 12.1℃ 낮으며, 여름철은 6℃ 낮게 나타났음.



[그림 2.4.21] 개발 유니트 시스템(DUS) 하부와 대기(Air) 온도 변화

○ 기존 연구[12]에 따르면 여름철 외기온도의 평균 일교차가 13℃일 때 녹화 유니트 시스템이 아닌 현장 토양포설 녹화 시스템의 10cm 내부 토양 온도는 평균 6℃의 일교차를 나타냈고, 겨울철 외기온도의 평균 일교차가 11℃ 일 때 녹화 시스템은 평균 4℃의 일교차가 측정된 것으로 보고하였음. 다시 정리하면 여름철은 녹화시스템의 일교차가 외

기온도보다 7℃ 낮고, 겨울철 또한 녹화시스템의 일교차가 외기온도보다 7℃ 낮은 것으로 요약됨.

○ 이 결과와 본 연구결과를 비교하면, 기존 유니트 박스 시스템은 현장 포설 녹화시스템보다 열차단성이 좋지 않은 반면 격막을 제거하여 바텀애시 인공경량토양층이 현장 포설 토양과 유사하게 연속된 토양층을 형성하는 개발 유니트 시스템은 유사한 열차단성을 갖는 것으로 사료됨.

(3) CO_2 저감량 분석

(가) 개발기술 적용에 따른 CO_2 저감량

① 인공경량토양에 따른 CO_2 저감량

○ 기존 인공지반 경량토양에 사용하는 펄라이트는 소성과정을 거치므로 CO_2를 배출하나 개발기술은 천연자원인 석탄 연소 잔재물인 버텀애시를 재활용하므로 CO_2를 발생하지 않음.

<표 2.4.5> 개발기술 사용 인공경량토양의 CO_2 저감량

기존 인공경량토양 CO_2 발생량(m^2당)				개발기술 인공경량토양 사용 버텀애시 CO_2 발생량	기존인공토양 대비 개발기술 인공경량토양의 CO_2 저감량 ($kg-CO_2/m^2$)
인공경량토양 포설 높이(mm)	펄라이트 사용량 (m^3)	펄라이트 CO_2 환산 배출량 (gCO_2e/L)	CO_2 배출량 ($kg-CO_2/m^2$)		
80	0.04	37.98	1.519	0	1.519

⇒ 인공경량토의 펄라이트 혼합비율 1:1 적용
⇒ 개발기술 인공경량토양에 사용하는 버텀애시는 화력발전소의 원료로 사용하는 석탄의 연소 잔재물로 재활용을 위한 추가적인 CO_2 발생은 없음.

② 방수・방근시트에 따른 CO_2 저감량

○ 기존 인공지반 녹화공법은 방수시트, 방근시트를 별도로 시공함. 방수, 방근시트의 재료별 생산단계의 CO_2 발생량은 기존 연구를 참고로 각 공법별 사용 방수, 방근시트를 고려한 CO_2 발생량을 계산하고, 개발기술에 사용하는 엔지니어링 방수・방근 일체형 PE시트의 CO_2 발생량과 비교하여 CO_2 저감량을 산정함.

<표 2.4.6> 신청기술 사용 방수·방근시트의 생산 단계의 CO_2 발생량

자재사용량			CO_2 배출량 ($kg-CO_2/m^2$)	적용대상
자재명	사용량	단위		
하이브리드 방수・방근 일체형 PE시트	1.2	m^2	34.763	방수・방근 단일층

⇒ 시트 CO2 배출량은 노승준외, 건축방수공사 방식에 따른 건축자재 생산단계의 CO2 배출량 평가에 관한 연구(대한건축학회 2010년 가을 학술발표대회 논문집)에서 에틸렌 아세트산 수지계 시트방수에 준하여 설정.

<표 2.4.7> 기존 방수・방근공법과 신청기술의 자재별 CO_2 발생량 비교

구분	CO_2배출량 ($kg\text{-}CO_2/m^2$)					기존공법 대비 신청기술의 CO_2배출 저감량($kg\text{-}CO_2/m^2$)
	기존공법				신청기술	
	아스팔트계 열공법	염화비닐수지계 시트공법	우레탄계도막공법	평균		
방수층	72.810	48.991	133.768	85.189	69.526	68.358 (평균 50%저감)
방근층	52.695	52.695	52.695	52.695		
계	125.505	101.686	186.463	137.884	69.526	

⇒ 건축방수공사 방식에 따른 건축자재 생산단계의 CO_2 배출량 평가에 관한 연구(대한건축학회 2010년 가을 학술발표대회 논문집)의 방수공사 방식별 자재투입량 및 CO_2 배출량을 참고하여 설정(표준품셈의 사용자재량 기준 적용, 시트 두께 1-2mm 고려).
⇒ 방수층은 방수공법 사용자재의 평균 CO_2 발생량을 적용
⇒ 방근층은 에틸렌아세트산 수지계 시트 중 시트와 접착제 CO_2 발생량 합계를 적용
⇒ 기존 참고한 방수, 방근 시트의 두께를 1mm로 고려시, 신청기술은 두께 2mm로 CO_2량을 2배 산정함

③ 무근콘크리트 생략에 따른 CO_2 저감

○ 인공지반의 방수층 보호를 위해 사용되는 무근콘크리트는 CO_2 발생원인 시멘트를 사용하나 개발기술은 엔지니어링 방수·방근 PE 시트를 적용하여 무근콘크리트 시공을 하지 않음.

<표 2.4.8> 공동주택의 인공지반 무근콘크리트 미시공에 따른 세대당 CO_2 저감량 계산

인공지반 무근콘크리트 부피(m^3/m_2)	무근콘크리트 시멘트량(kg/m^2)	CO_2저감량($kg\text{-}CO_2/m^2$)
0.1	30	28.32

⇒ 방수층보호용 무근콘크리트 높이는 일반적인 100mm, 무근콘크리트의 시멘트량 $300kg/m^3$ 적용
⇒ 시멘트 1t 생산시 CO_2 발생량은 0.944t(국가 LCI 데이터베이스 정보망, http://www.edp.or.kr/lci)로 시멘트를 미사용하므로 저감량이 됨.

④ 녹화면적에 의한 CO_2 저감 효과

○ 인공지반 녹화에 따른 녹지 면적 $1m^2$ 당 약 $0.2kg\text{-}CO_2$를 저감하는 것으로 보고됨[7].

⑤ 개발기술 적용에 따른 총 CO_2 저감량

○ 개발기술에 적용하는 인공경량토양, 방수・방근시트, 무근콘크리트 미시공, 녹지증가 효과에 따른 단위 CO_2 저감량을 계산하고 이를 예상 점유 공동주택 인공지반 면적에 적용시 저감되는 총 CO_2 저감량을 계산한 결과, 209천톤의 저감이 예상됨.

7) 김영환외, 도시재생사업에서 저탄소 녹색 계획요소 활용 및 탄소 저감효과에 관한 연구, 한국도시설계학회지, 2014. 2

<표 2.4.9> 개발기술 적용시 CO_2 저감량

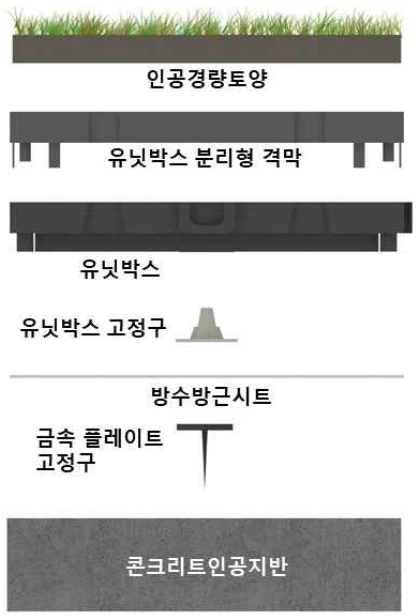
단위 CO_2 저감량(kg-CO_2/m^2)					1세대 당 인공녹화 면적(m^2)			적용면적 (m^2) (50,000세대기준)	개발기술 적용시 총 CO_2 저감량(t)
인공경량토양	방수방근시트	무근 콘크리트 미시공	녹지증가 효과	계	옥상	주차장 상부	합계		
1.519	68.358	28.32	0.2	98.397	5.57	36.97	42.54	2,127,000	209,290

⇒ 인공녹화면적은 현대산업개발 아파트공사 현황 조사 정리자료 활용(세대당 옥상층 바닥면적: 5.57m^2/세대, 지하주차장면적: 36.97m^2/세대)

⇒ 적용면적은 공동주택 년간 신축 세대수 500,000세대 중 10%인 50,000세대의 인공녹화면적 점유 예상 산정

(4) 구조안전성 검토

○ 개발기술의 적용을 위하여 풍하중에 대한 구조안전성을 국토교통부 국가건설기준 건축구조기준(KDS41 : 2019), 국토교통부 고시 건축구조기준 및 해설 (2016, 대한건축학회, KBC 2016)에 준하여 검토하였음.



- 인공경량토양의 단위중량 : 680kg/m^3

- 유닛박스 크기 : 500×333×130mm (토심 : 120mm)

- 유닛박스 중량 : 1.35kg/EA

- 유닛박스와 고정구 고정 : 스크류 볼트 ϕ 6mm

- 유닛박스 고정구 설치 : 유닛박스당 1개(6개/m^2)

- 금속플레이트 고정구 설치 : 1×1m2 당1개 이상
  (구조검토후 필요시 추가 설치)
- 금속플레이트 고정구 콘크리트 인공지반 고정 힐티 앵커 제품 사용

[그림 2.4.20] 인공지반 녹화유닛의 개요

(가) 적용 하중

① 연직하중

토심 (6.80kN/m^3 * 0.12m)	0.82 kN/m^2
유닛박스 중량(500x333x130(h) = 0.0135kN/ea)	0.08 kN/m^2
DEAD LOAD	0.90 kN/m^2

② 풍하중

㉮ 외장재설계용 풍하중

$$W_C = p_C \times A_C \text{ (N)}$$

p_C : 외장재설계용 설계풍압 (N/㎡)　　A_C : 외장재등의 유효수압면적 (㎡)

* 외장재설계용 설계풍압은 500N/㎡ 보다 작아서는 안된다.

㉯ 기준높이 20m 이상 건축물의 외장재용 설계풍압(부압)

$$p_C = q_H (GC_{pe} - GC_{\pi})$$

q_H : 기준높이 H에 대한 설계속도압(N/㎡)

$GCpe$: 외장재설계용 피크외압계수

$GC\pi$: 외장재설계용 피크내압계수

* 지붕면에 부착되는 외장재경우이므로 피크내압계수는 본검토에서 제외함

㉰ 설계속도압

$$q_H = \frac{1}{2} \times \rho \times V_H^2$$

ρ : 공기밀도로써 균일하게 1.22 kg/m^3 적용

V_H : 설계풍속(m/s)

㉱ 설계풍속

$$V_H = V_0 \times K_{zr} \times K_{zt} \times I_w$$

V_0 : 기본풍속 (m/s)　　K_{zr} : 풍속고도분포계수

K_{zt} : 지형계수　　I_w : 건축물의 중요도계수

㉲ 기본풍속

○ 기본풍속 V_0는 지표면상태가 건축구조기준 5.5.3에서 정한 지표면조도구분 C인 경우, 지상 10 m 높이에서 10분간 평균풍속의 재현기간 100년에 대한 값이고, 건설지점이 위치한 지역에 따라 <표 2.4.10>에 의해 정함.

○ 다만, 건설지점 부근의 유효한 풍관측자료가 있는 경우에는 그 값에 따라 설정할 수 있다. 이 경우 풍속자료를 처리할 때에는 공인된 극치통계해석법을 사용하고, 자료의 길이, 측정오차, 평가시간, 풍속계높이, 풍속계 주변의 지표면상태 등을 고려해야하며, 풍속자료는 지표면조도구분 C인 지상 10 m에서 10분간 평균풍속의 재현기간 100년 값으로 균질화해야 함. 바람은 항상 수평방향에서 불어오는 것으로 가정함.

〈표 2.4.10〉 지역별 기본풍속 V_0(m/s)

지 역		v_0 (m/s)
서울특별시 인천광역시 경기도	옹진	30
	인천, 강화, 안산, 시흥, 평택	28
	서울, 김포, 구리, 수원, 군포, 오산, 화성, 의왕, 부천, 고양, 안양, 과천, 광명, 의정부, 동두천, 양주, 파주, 포천, 남양주, 가평, 하남, 성남, 광주, 양평, 용인	26
	안성, 연천, 여주, 이천	24
강원도	속초, 양양, 강릉, 고성	34
	동해, 삼척, 홍천, 정선, 인제	30
	양구	26
	철원, 화천, 춘천, 횡성, 원주, 평창, 영월, 태백	24
대전광역시 충청남북도	서산, 태안	34
	당진	32
	서천, 보령, 홍성, 청주, 청원	30
	예산, 세종, 대전, 공주, 부여	28
	아산, 계룡, 진천	26
	천안, 증평, 청양, 논산, 금산, 음성, 충주, 제천, 단양, 괴산, 보은, 영동, 옥천	24
부산광역시 대구광역시 울산광역시 경상남북도	울릉(독도)	40
	부산	38
	포항, 경주, 기장, 통영, 거제	36
	양산, 김해, 남해, 울산, 울주	34
	영덕, 고성	32
	울진, 창원, 사천, 영천	30
	청송, 대구, 경산, 청도, 밀양, 하동	28
	영양, 군위, 칠곡, 성주, 달성, 함안, 고령, 창녕, 진주	26
	봉화, 영주, 예천, 문경, 상주, 추풍령, 안동, 의성, 구미, 김천, 의령, 거창, 산청, 합천, 함양	24
광주광역시 전라남북도	완도, 해남	36
	진도, 여수, 고흥, 신안, 무안, 장흥	34
	목포, 부안, 영암, 강진	32
	영광, 함평, 나주	30
	익산, 김제, 순천, 고창, 광양	28
	광주, 보성, 완주, 전주, 장성	26
	무주, 진안, 장수, 임실, 정읍, 순창, 남원, 담양, 곡성, 구례	24
제주도	서귀포, 제주	44

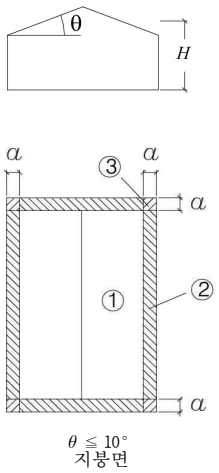
㈅ 외장재용 피크외압계수

1) 기준높이 20m 미만 박공지붕형 건축물

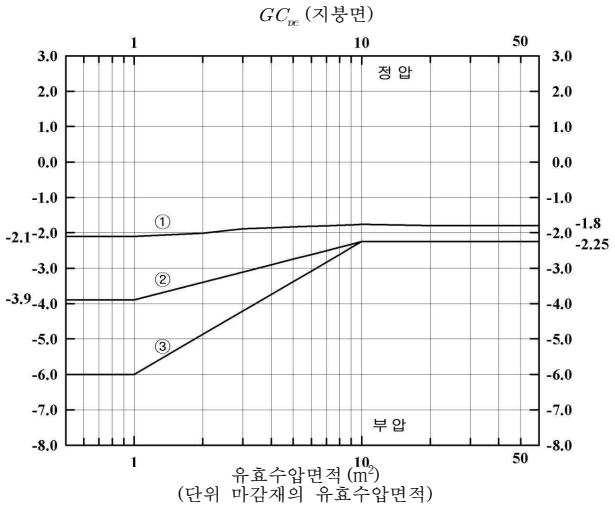
○ 기준높이가 20m 미만인 평지붕 및 박공지붕형 건축물의 벽면에 대한 외장재설계용 피크외압계수 GC_{pe}는 [그림 2.4.21]에 따르고, 지붕면의 피크외압계수 GC_{pe}는 [그림 2.4.22]에 따른다. 피크외압계수는 정압 및 부압 모든 경우에 안전하도록 설계함.

○ 본 구조검토는 평지붕 조건으로 파라펫 등의 영향에 의하여 지붕면 테두리의 국부적인 부압이 발생하지 않는 경우임.

①



$\theta \leq 10°$
지붕면



(단위 마감재의 유효수압면적)

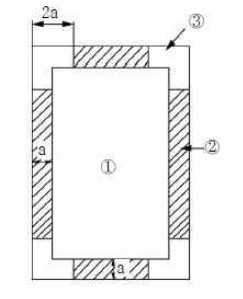
주 1) 종축은 q_H를 사용한 경우의 GC_{pe} 값이다.
2) 각 외장재는 최대정압 및 최대부압을 고려하여 정한다.
3) $\theta \leq 10°$ 인 경우는 벽면의 GC_{pe}값을 10 % 줄일 수 있다.
4) a : 건축물 최소폭의 0.1배 혹은 0.4H 중 작은 값으로 한다. 단, 최소폭의 0.04배 또는 1.0 m 보다 작아서는 안 된다.
H : 기준높이(m)

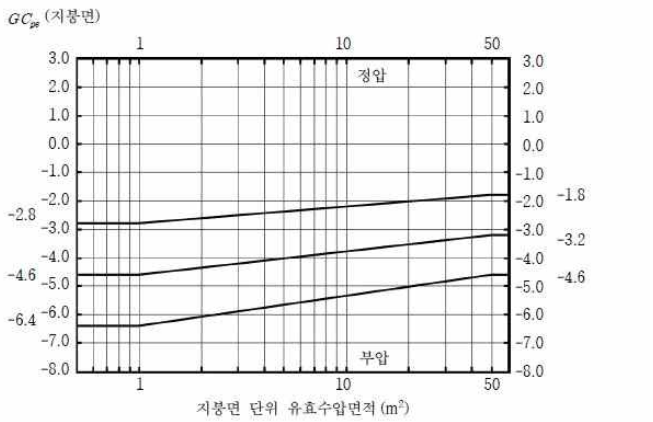
[그림 2.4.22] 기준높이 20 m 미만인 평지붕 및 박공지붕형 건축물의 벽면의 피크외압계수 GC_{pe}

2) 기준높이 20m 이상인 건축물

○ 기준높이가 20m 이상인 건축물의 외장재설계용 피크외압계수 GC_{pe}는 그림 5.8-1에 따른다. 피크외압계수 GC_{pe}는 정압 및 부압 모든 경우에 안전하도록 설계함.

○ 본 구조검토는 평지붕 조건으로 파라펫 등의 영향에 의하여 지붕면 테두리의 국부적인 부압이 발생하지 않는 경우임.





주 1) 유효수압면적은 외장재 및 마감재의 압력을 주골조에 전달하는 단위 2차 부재의 유효수압면적
2) 지붕경사각이 10° 이상인 경우 표 5.8-3의 ②, ③을 사용한다.
3) 각 외장재 벽면은 최대 정압 및 최대 부압으로 설계한다.
4) a : 건축물 최소폭의 0.1배, 단 1.0m보다 작아서는 안 된다.
H : 기준높이(m)
z : 지표면으로부터의 임의높이 (m)

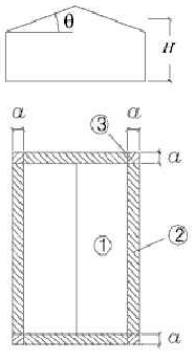
[그림 2.4.23] 기준높이 20m 이상인 건축물의 지붕면 및 벽면 피크외압계수 GC_{pe}

㈏ 풍하중 계산

1) CASE 1

○ 기본풍속 : 38m/sec, 위치 : 내륙(해안가제외) , 건물높이 : 20m미만

-. Basic Wind Speed V_o : 38 m/sec
-. Ground Exposure Category : C
-. Topographic Factor K_{zt} : 1.00
-. Importance Factor I_w : 1.00
-. Design Portion : ①



(1). Velocity Pressure at Height z above Ground
-. z = 19.99 m > Z_b = 10.00 m
-. K_{zr} = $0.71\times z^{0.15}$ = 1.11

(2). Velocity Pressure at Mean Roof Height
-. H = 19.99 m > Z_b = 10.00 m
-. K_{zr} = $0.71\times H^{0.15}$ = 1.11
-. V_h = $V_o\times K_{zr}\times K_{zt}\times I_w$ = 42.28 m/sec
-. q_h = $1/2\times\rho V_h^2$ = 1091 N/m²

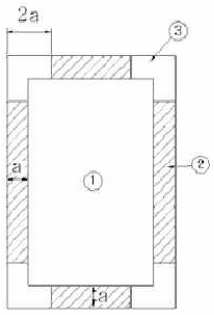
(3). Design Wind Pressures
-. $GC_{pe,P}$ = 0.000 $GC_{pe,N}$ = -2.100
-. GC_{pi} = 0.000, -0.520 k_z = 0.935

-. $P_{c,P} = q_h(GC_{pe,P}-GC_{pi})$ = 567 N/m²
-. $P_{c,N} = q_h(GC_{pe,N}-GC_{pi})$ = -2290 N/m²

2) CASE 2

○ 기본풍속 : 38m/sec, 위치 : 내륙(해안가제외), 건물높이 : 20m~50m

-. Basic Wind Speed V_o : 38 m/sec
-. Ground Exposure Category : C
-. Topographic Factor K_{zt} : 1.00
-. Importance Factor I_w : 1.00
-. Design Portion : ①



(1). Velocity Pressure at Height z above Ground
-. z = 50.00 m > Z_b = 10.00 m
-. K_{zr} = $0.71\times z^{0.15}$ = 1.28

(2). Velocity Pressure at Mean Roof Height
-. H = 50.00 m > Z_b = 10.00 m
-. K_{zr} = $0.71\times H^{0.15}$ = 1.28
-. V_h = $V_o\times K_{zr}\times K_{zt}\times I_w$ = 48.52 m/sec
-. q_h = $1/2\times\rho V_h^2$ = 1436 N/m²

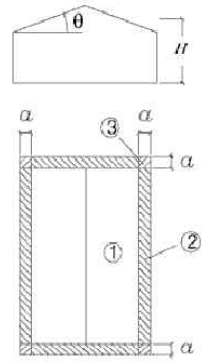
(3). Design Wind Pressures
-. $GC_{pe,P}$ = 0.000 $GC_{pe,N}$ = -2.800
-. GC_{pi} = 0.000, -0.520 k_z = 0.935

-. $P_{c,P} = q_h(GC_{pe,P}-GC_{pi})$ = 747 N/m²
-. $P_{c,N} = q_h(GC_{pe,N}-GC_{pi})$ = -4020 N/m²

3) CASE 3

○ 기본풍속 : 38m/sec, 위치 : 내륙(해안가), 건물높이 : 20m미만

-. Basic Wind Speed V_o : 38 m/sec
-. Ground Exposure Category : D
-. Topographic Factor K_{zt} : 1.00
-. Importance Factor I_w : 1.00
-. Design Portion : ①



(1). Velocity Pressure at Height z above Ground
-. z = 19.99 m > Z_b = 5.00 m
-. K_{zr} = $0.98\times z^{0.10}$ = 1.32

(2). Velocity Pressure at Mean Roof Height
-. H = 19.99 m > Z_b = 5.00 m
-. K_{zr} = $0.98\times H^{0.10}$ = 1.32
-. V_h = $V_o\times K_{zr}\times K_{zt}\times I_w$ = 50.24 m/sec
-. q_h = $1/2\times\rho V_h^2$ = 1540 N/m²

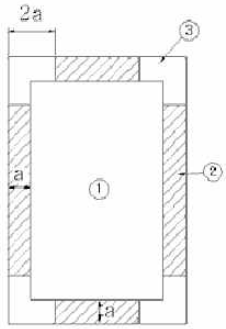
(3). Design Wind Pressures
-. $GC_{pe,P}$ = 0.000 $GC_{pe,N}$ = -2.100
-. GC_{pi} = 0.000, -0.520 k_z = 0.956

-. $P_{c,P}$ = $q_h(GC_{pe,P}-GC_{pi})$ = 801 N/m²
-. $P_{c,N}$ = $q_h(GC_{pe,N}-GC_{pi})$ = -3234 N/m²

4) CASE 4

○ 기본풍속 : 38m/sec, 위치 : 내륙(해안가), 건물높이 : 20m~50m

-. Basic Wind Speed V_o : 38 m/sec
-. Ground Exposure Category : D
-. Topographic Factor K_{zt} : 1.00
-. Importance Factor I_w : 1.00
-. Design Portion : ①



(1). Velocity Pressure at Height z above Ground
-. z = 50.00 m > Z_b = 5.00 m
-. K_{zr} = $0.98\times z^{0.10}$ = 1.45

(2). Velocity Pressure at Mean Roof Height
-. H = 50.00 m > Z_b = 5.00 m
-. K_{zr} = $0.98\times H^{0.10}$ = 1.45
-. V_h = $V_o\times K_{zr}\times K_{zt}\times I_w$ = 55.07 m/sec
-. q_h = $1/2\times\rho V_h^2$ = 1850 N/m²

(3). Design Wind Pressures
-. $GC_{pe,P}$ = 0.000 $GC_{pe,N}$ = -2.800
-. GC_{pi} = 0.000, -0.520 k_z = 0.956

-. $P_{c,P}$ = $q_h(GC_{pe,P}-GC_{pi})$ = 962 N/m²
-. $P_{c,N}$ = $q_h(GC_{pe,N}-GC_{pi})$ = -5180 N/m²

<표 2.4.11> 케이스별 설계 풍압력 및 인발하중

구 분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
지 역	내륙(해안가제외)	내륙(해안가제외)	내륙(해안가)	내륙(해안가)
건물높이	20m미만	20m~50m	20m미만	20m~50m
기본풍속(V0)	38m/sec	38m/sec	38m/sec	38m/sec
지표면조도구분	C	C	D	D
고도분포계수 (Kzr)	0.71*Z0.15 = 1.11	0.71*Z0.15 = 1.28	0.98*Z0.10 = 1.32	0.98*Z0.10 = 1.45
풍속할증계수 (Kzt)	1.0	1.0	1.0	1.0
중요도계수(Iw)	1.0(특)	1.0(특)	1.0(특)	1.0(특)
가스트외압계수 GCpe(지붕)	-2.1 (①)	-2.8 (①)	-2.1 (①)	-2.8 (①)
설계풍속(Vh)	42.28m/sec	48.52m/sec	50.16m/sec	55.07m/sec
설계속도압(qz)	1.09kN/㎡	1.44kN/㎡	1.53kN/㎡	1.85kN/㎡
설계풍압력(pf)	2.29kN/㎡	4.02kN/㎡	3.23kN/㎡	5.18kN/㎡
고정하중(pf)	0.90kN/㎡	0.90kN/㎡	0.90kN/㎡	0.90kN/㎡
인발하중	1.39kN/㎡	3.12kN/㎡	2.33kN/㎡	4.28kN/㎡

* 제주, 울릉(독도) 제외
* 기준높이 20m 미만 지붕외곽 테두리 기준 : 건축물 최소폭의 0.1배 혹은 높이의 0.4배중 작은값.
  단, 최소폭의 0.04배 또는 1.0m 보다 작아서는 안 된다.
* 기준높이 20m 이상 지붕외곽 테두리 기준 : 건축물 최소폭의 0.1배, 단 1.0m보다 작아서는 안됨.

(나) 구조계산 및 검토 DATA

① 유닛박스와 고정구 고정 스크류 볼트(ϕ 6mm) 및 접합부 안정성 검토

○ 콘 고정구 부착하중 = 3064N

○ 콘 고정구 허용부착하중 = 3064N / 2 = 1532N (안전율=2 적용)

○ ㎡ 당 허용부착력 = 1532N x 6ea/㎡ = 9192N/㎡ = 9.19 kN/㎡

1) CASE1

○ Ratio = 인발하중(kN/㎡) / ㎡ 당 허용부착력 = 1.39kN/㎡ / 9.19kN/㎡
= 0.15 < 1.0 --- O.K

2) CASE2

○ Ratio = 인발하중(kN/㎡) / ㎡ 당 허용부착력 = 3.12kN/㎡ / 9.19kN/㎡
= 0.34 < 1.0 --- O.K

3) CASE3

○ Ratio = 인발하중(kN/㎡) / ㎡ 당 허용부착력 = 2.33kN/㎡ / 9.19kN/㎡

= 0.25 < 1.0 --- O.K

4) CASE4

○ Ratio = 인발하중(kN/㎡) / ㎡ 당 허용부착력 = 4.28kN/㎡ / 9.19kN/㎡

= 0.47 < 1.0 --- O.K

<표 2.4.12> 케이스별 콘형상 고정구 안전성 검토

구 분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
인발하중(kN/㎡)	1.39kN/㎡	3.12kN/㎡	2.33kN/㎡	4.28kN/㎡
㎡당 허용부착력	9.19kN/㎡	9.19kN/㎡	9.19kN/㎡	9.19kN/㎡
Ratio = $\frac{\text{인발하중(kN/㎡)}}{\text{㎡당 허용부착력}}$	0.15	0.34	0.25	0.47

② 금속플레이트 고정구 접합부 단위면적(㎡)당 설치개소

○ STS 고정구 부착하중 = 3029N

○ STS 고정구 허용부착하중 = 3029N / 2 = 1515N = 1.52kN (안전율=2 적용)

1) CASE1

○ 설치면적 = STS 고정구 허용부착하중(kN) / 인발하중(kN/㎡) = 1.52kN / 1.39kN/㎡

= 1.09㎡, 단위면적(㎡) 설치 개소 = 1.0㎡ / 1.09㎡ = 0.92개/㎡

2) CASE2

○ 설치면적 = STS 고정구 허용부착하중(kN) / 인발하중(kN/㎡) = 1.52kN / 3.12kN/㎡

= 0.49㎡, 단위면적(㎡) 설치 개소 = 1.0㎡ / 0.49㎡ = 2.04개/㎡

3) CASE3

○ 설치면적 = STS 고정구 허용부착하중(kN) / 인발하중(kN/㎡) = 1.52kN / 2.33kN/㎡

= 0.65㎡, 단위면적(㎡) 설치 개소 = 1.0㎡ / 0.65㎡ = 1.54개/㎡

4) CASE4

○ 설치면적 = STS 고정구 허용부착하중(kN) / 인발하중(kN/㎡) = 1.52kN / 4.28kN/㎡

= 0.36㎡, 단위면적(㎡) 설치 개소 = 1.0㎡ / 0.36㎡ = 2.78개/㎡

<표 2.4.13> 금속플레이트 고정구의 단위면적당 설치 개소 산정

구 분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4
STS 고정구 허용부착하중(kN)	1.52kN	1.52kN	1.52kN	1.52kN
인발하중(kN/㎡)	1.39kN/㎡	3.12kN/㎡	2.33kN/㎡	4.28kN/㎡
설치면적 = STS 고정구 허용부착하중(kN) / 인발하중(kN/㎡)	1.09㎡	0.49㎡	0.65㎡	0.36㎡
단위면적(㎡) 설치 개소	0.92개/㎡	2.04개/㎡	1.54개/㎡	2.78개/㎡
금속플레이트 고정구 시공 개수	1개/㎡	2개/㎡	2개/㎡	3개/㎡

③ 금속플레이트 고정구 콘크리트 인공지반 고정철물 제안

○ STS 고정구 허용부착하중 이상의 고정능력을 가진 제품 사용

○ STS 고정구 허용부착하중 = 3,029N / 2 = 15,15N = 1.52kN (안전율=2 적용)

○ HILTI HRD - U10 사용(추천하중 = 1.60kN)

○ Ratio = STS 고정구 허용부착하중 / 추천하중 = 1.52kN / 1.60kN = 0.95 < 1.0 --- O.K

<표 2.4.14> 고정철물의 종류별 추천하중

앵커규격	HRD-U 10	HRD-S 10	HRD-U 14
Conrete ≥ C12/15 F_{rec} [kN]	1.6	1.2	1.8



[그림 2.4.24] HILTI HRD - U10

(5) 경제성 분석

○ 개발기술은 인공지반 녹화기술로 엔지니어링 방수·방근 시트를 전자기 유도가열 방식으로 인공지반과 녹화유닛 시스템을 일체화시키는 기술로 기존 포설형 녹화기술과 비교하면 시공단계를 단축하는 장점이 있으나, 기존 유닛박스 시스템과 비교시 유사한 시공성을 갖게 되므로 경제적인 측면에서 고려가 필요함.

○ 공사비용의 객관적 산정을 위해 본 개발기술 개발과정에서 적용한 시공 현장 품 및 소요자재를 기준으로 원가전문 조사기관인 (사)동양경제정보연구소에서 개발기술과 공법의 공사비용을 산정함.

(가) 설계・시공비 절감

① 개발기술 미 기존기술의 시공절차

○ 경제성 비교를 위한 기존기술과 개발기술의 시공절차는 다음과 같이 정리함.

<표 2.4.15> 기존기술과 신청기술의 시공절차

번호	기존기술 시공절차 (신기술 802호+ H사 유닛박스)	개발기술 시공절차
1	① 바탕정리	① 콘크리트 타설면 바탕준비
2	② 패치접착, 시트깔기	② 금속 고정구 및 엔지니어링 방수・방근 PE시트 시공 및 일체화 (금속고정구 전자기 유도가열 융착, 시트간 열풍, 철물 이음)
3	③ 아크릴폼 테이프 접착	
4	④ 저온 핫멜트 테이프 열융착	
5	⑤ H사 유닛박스 설치	③ 콘 고정구 전자기 유도가열 융착 및 식생유닛 박스 시공 (사전 제작 GRS-GCU 유닛박스와 고정구 고정, 유닛박스 간 상호 결합 후 탈착식 격막제탈거)

② 시공절차별 품 작성

○ 개발기술과 기존기술의 품과 시공절차비교를 위하여 공법별 품 및 소요재료, 장비 등을 검토함.

<표 2.4.16> 개발기술의 시공절차별 품

시공절차 세부항목	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	출 처
	품명	규격			
① 콘크리트 타설면 바탕준비					
	방수공		인	0.036	건축 표준품셈 6-1-1
	보통인부		인	0.015	건축 표준품셈 6-1-1
	공구손료	인력품의 6%	식	1.0	건축 표준품셈 6-1-1
② 금속 고정구 및 엔지니어링 PE시트 옥상 방수방근시트 시공 (바닥)					
	엔지니어링 PE Sheet (폴리에스터직물매립)	폭 1,500×2.0T	㎡	1.100	자사 기준
	고주파융착용 금속디스크	STS316, Φ40×0.5mm	㎡	0.900	자사 기준
	Fastner(시트고정용)	디스크 : GA Φ40 ×0.5mm/고정볼트 : 아연도 Φ 6×40mm	set	2.500	자사 기준
	Fastner(T-BAR고정용)	디스크 : GA Φ20 ×0.5mm/고정볼트 : 아연도 Φ 6×30mm	set	0.150	자사 기준
	Metal Sheet(실리콘)	PP coated metal-bar (실리콘)	m	0.050	자사 기준
	In-coner 엔지니어링 PE Sheet	200×200×1.5 mm	개	0.015	자사 기준
	Out-coner 엔지니어링 PE Sheet	200×200×1.5 mm	개	0.015	자사 기준
	접착시트(접착제)	수직면,경계면 Sheet 접착	식	0.500	자사 기준
	잡자재비	자재비의 5%	식	1.000	자사 기준
	방수공		인	0.040	자사 기준
	보통인부		인	0.040	자사 기준
	공구손료	인건비의 2%	식	1.000	자사 기준
③ 콘 고정구 전자기 유도가열 융착 및 식생유닛 박스 시공					
	유닛박스	333×500×130	EA	6	
	조경공		인	0.009	220㎡ 시공기준 : 1인×2일÷220
	보통인부		인	0.009	220㎡ 시공기준 : 1인×2일÷220

<표 2.4.17> 기존기술의 시공절차별 품

시공절차 세부항목	소요인력, 장비, 자재		단위	소요량	출 처
	품명	규격			
① 바탕처리					
	방수공		인	0.036	건축 표준품셈 6-1-1
	보통인부		인	0.015	건축 표준품셈 6-1-1
	공구손료	인력품의 6%	식	1.0	건축 표준품셈 6-1-1
건설신기술 802호 방수시트 시공(바닥) ② 패치접착, 시트깔기 ③ 아크릴폼 테이프 접착 ④ 저온 핫멜트 테이프 열융착					
	백색 차열방수시트	HJ Sheet, 2.5T	㎡	1.000	신기술 802호 품셈
	접착특수테이프	SF 30AG, w=30	M	1.050	신기술 802호 품셈
	마감 핫멜트 테이프	SF T66(W), w=100	M	1.680	신기술 802호 품셈
	시트고정패치	SKY LOCK, Φ130mm	EA	0.840	신기술 802호 품셈
	잡자재비	자재비의 5%	식	1.000	신기술 802호 품셈
	방수공		인	0.070	신기술 802호 품셈
	보통인부		인	0.050	신기술 802호 품셈
	공구손료	인건비의 2%	식	1.000	신기술 802호 품셈
⑤ H사 유닛박스 현장시공					
	유닛박스		EA		
	조경공		인	0.009	220㎡ 시공기준 : 1인×2일÷220
	보통인부		인	0.009	220㎡ 시공기준 : 1인×2일÷220

③ 시공절차별 일위 대가

○ 개발기술과 기존기술의 자재 및 품을 고려하여 재료비 및 노무비를 계산한 일위대가는 다음과 같음.

<표 2.4.18> 개발기술의 시공절차별 일위대가

(단위:㎡/원)

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액 (소요량×단가)				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
① 콘크리트 타설면 바탕준비												
	방수공		인	0.036		153,086			5,511.0		5,511.0	2019년하반기 공사노임
	보통인부		인	0.015		130,264			1,953.9		1,953.9	2019년하반기 공사노임
	공구손료	인력품의 6%	식	1.000	17,001			17,001.0			17,001.0	
	합계							17,001	7,464		24,465	
② 금속 고정구 및 엔지니어링 방수·방근 PE시트 시공(바닥)												
	엔지니어링 PE Sheet (폴리에스터 직물매립)	폭 1,500×2.0T	㎡	1.100	26,000			28,600.0				시중조사가격
	고주파융착용 금속디스크	STS316 , Φ40×0.5mm	㎡	0.900	3,450			3,105.0				시중조사가격
	Fastner(시트 고정용)	디스크 : GA Φ40 ×0.5mm/고정볼트 : 아연도 Φ6×40mm	set	2.500	850			2,125.0				시중조사가격
	Fastner(T-BAR고정용)	디스크 : GA Φ20 ×0.5mm/고정볼트 : 아연도 Φ6×30mm	set	0.150	360			54.0				시중조사가격
	Metal Sheet(실리콘)	PP coated metal-bar (실리콘)	m	0.050	6,400			320.0				시중조사가격
	In-coner 엔지니어링 PE Sheet	200×200×1.5mm	개	0.015	3,500			52.5				시중조사가격
	Out-coner 엔지니어링 PE Sheet	200×200×1.5mm	개	0.015	4,500			67.5				시중조사가격
	접착시트(접착제)	수직면,경계면 Sheet 접착	식	0.500	1,070			535.0				시중조사가격
	잡자재비	자재비의 5%	식	1.000	1,743			1,742.9				
	방수공		인	0.040		153,086			6,123.4			2019년하반기 공사노임
	보통인부		인	0.040		130,264			5,210.5			2019년하반기 공사노임
	공구손료	인건비의 2%	식	1.000	227			226.6				
	합계							36,829	11,334		48,162	
③ 콘 고정구 전자기 유도가열 융착 및 식생유닛 박스 시공												
	GRS-GCU<HU>녹화유닛	500mm×330mm×H130	식	1	223,589.6			223,589	1,003		224,592	자사기준
	조경공		인	0.009		175,057			1,575		1,575	2019년하반기 공사노임
	보통인부		인	0.009		130,264			1,172		1,172	2019년하반기 공사노임
	합계							223,589	3,750		227,339	
총계					**299,966**							

<표 2.4.19> 기존기술의 시공절차별 일위대가

(단위:㎡/원)

시공절차 세부항목	소요 인력, 장비, 자재		단위	소요량	단가			금액 (소요량×단가)				단가출처
	품명	규격			재료비	노무비	경비	재료비	노무비	경비	계	
① 바탕정리												
	방수공		인	0.036		153,086			5,511.0		5,511.0	2019년하반기 공사노임
	보통인부		인	0.015		130,264			1,953.9		1,953.9	2019년하반기 공사노임
	공구손료	인력품의 6%	식	1.000	17,001			17,001.0			17,001.0	
	합계							17,001	7,464		24,465	
② 패치접착, 시트깔기, ③ 아크릴폼 테이프 접착, ④ 저온 핫멜트 테이프 열융착												
	백색 차열방수시트	HJ Sheet, 2.5T	㎡	1.000	25,600			25,600.0			25,600.0	신기술 제802호
	접착특수테이프	SF 30AG, w=30	M	1.050	1,000			1,050.0			1,050.0	신기술 제802호
	마감 핫멜트 테이프	SF T66(W), w=100	M	1.680	2,800			4,704.0			4,704.0	신기술 제802호
	시트고정패치	SKY LOCK, Φ130mm	EA	0.840	2,160			1,814.4			1,814.4	신기술 제802호
	잡자재비	자재비의 5%	식	1.000	1,658			1,658.4			1,658.4	
	방수공		인	0.070		153,086			10,716.0		10,716.0	2019년하반기 공사노임
	보통인부		인	0.050		130,264			6,513.2		6,513.2	2019년하반기 공사노임
	공구손료	인건비의 2%	식	1.000	345			344.5			344.5	
	합계							35,171	17,229		52,400	
⑤ H사 유닛박스 설치												
	그린박스시스템	500×250×80 시공비포함	㎡	1	283,260			283,260.0			283,260.0	2019년 11월 물가자료
	조경공		인	0.009		175,057			1,575.5		1,575.5	2019년하반기 공사노임
	보통인부		인	0.009		130,264			1,172.3		1,172.3	2019년하반기 공사노임
	합계							283,260	2,747		286,007	
총계					362,872							

④ 개발기술과 기존기술과의 공사비 비교분석

○ 개발기술과 기존기술의 공사비 분석 자료를 비교하여 보면 다음과 같음.

<표 2.4.20> 개발기술과 기존기술과의 공사비 비교

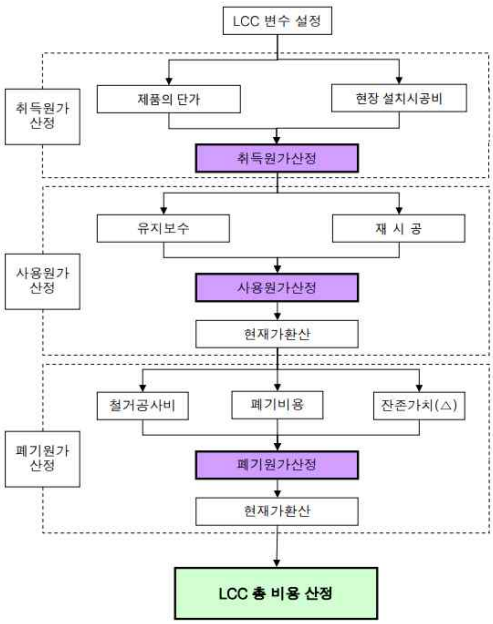
(단위 : ㎡/원)

구분	개발기술	기존기술 (신기술 802호+ H사 녹화유닛)
재 료 비	277,419	335,432
노 무 비	22,547	27,440
경 비		
합 계	299,966	362,872
증감율 (%)	- 17.3%	

○ 기존기술과 비교하여 개발기술의 일위대가가 재료비에서 58,031원/m^2, 노무비에서 4,893원/m^2 낮은 것으로 나타났으며, 전체적으로 개발기술의 일위대가가 기존 기술보다 17.3% 낮은 것으로 나타남.

(나) 유지관리비용 절감

○ 옥상녹화공법의 경우 지속적인 관리를 필요로 하는 부분으로 관리비를 적용하여 경제성을 검토하게 될 경우 공법의 시공 여건 및 관리 대상의 상황에 따라 많은 비용의 차이를 만들어 내게 됨. 기존기술과 개발기술의 경제성을 검토하기 위하여 시공에 소요되는 순공사비만이 아니라 시공, 유지, 폐기에 따른 비용을 사단법인 동양경제연구소에 의뢰하여 LCC(Life Cycle Cost)를 분석함.



[그림 2.4.24] LCC 분석 절차

○ 본 개발기술과 기존기술의 취득원가 출명세서는 다음과 같음.

<표 2.4.21> 개발기술과 기존기술의 공사원가

(단위 : ㎡/원)

구 분	비목	개발기술	기존기술 (신기술 802호 + H사 유닛박스)	비고
취득원가	시공기초원가	371,403	449,363	
	시공회수	1	1	
	현재가치	371,403	449,363	
계		371,403	449,363	

○ 본 신청기술과 기존기술의 사용원가 산출명세서는 다음과 같음.

<표 2.4.22> 사용원가 산출명세서

(단위 : ㎡/원)

구분	비 목	개발기술	기존기술 (신기술 802호 + H사 유닛박스)
교체 원가	교체기초원가	47,410	47,410
	교체횟수	1	1
	교체시기	5	5
	실질할인율	0.54%	0.54%
	현재가치환산계수(PWF)	0.97	0.97
	현재가치	45,988	45,988
유지 원가	유지보수기초원가	739,008	739,008
	관리기간	10	10
	실질할인율	0.54%	0.54%
	연등가액현재가치환산계수 (PWAF)	9.71	9.71
	현재가치	7,175,768	7,175,768
합계		7,221,756	7,221,756

○ 개발기술과 기존기술의 폐기원가 산출명세서는 다음과 같음.

<표 2.4.23> 폐기원가 (현재가치환산)

(단위 : ㎡/원)

비 목	개발기술	기존기술 (신기술 802호 + H사 유닛박스)	비 고
폐기기초원가	15,799	42,003	
폐기횟수	1	1	
폐기시기	10	10	
실질할인율	0.54%	0.54%	
현재가치환산계수 (PWF)	0.95	0.95	
현재가치	15,009	39,903	

○ 이상의 공사원가, 사용원가, 폐기원가를 집계한 결과는 다음과 같음.

<표 2.4.24> 항목별 원가집계표

(단위 : ㎡/원)

구 분	개발기술 (A)	기존기술(B) (신기술 802호+ 한설 그린박스 시스템)	대비(%) (A/B)
취득원가	371,403	449,363	82.65%
사 용 원 가	7,221,756	7,221,756	100%
폐 기 원 가	15,009	39,903	37.61%
합 계	7,608,168	7,711,022	98.67%

○ 10년 동안의 LCC(Life Cycle Cost)분석 결과, 상기 표와 같이 개발기술은 기존 기술 대비 102,854원/m^2(1.33%) 경제적인 것으로 분석됨.

마. 연구개발 성과

(1) 논문개제성과

<표 2.5.1> 논문 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신 저자	공동 저자				
2018. 12	바텀애시를 활용한 인공경량토양의 개발 및 성능평가	김철민	김철민	김민우, 조근영, 최나래	한국건설순환자원학회 논문집	6 (4)	국내	-
2018. 10	방수·방근시트와 옥상녹화 박스 유닛 시스템의 일체화를 위한 전자기 유도가열 융착 고정구의 부착성능	오창원	오창원		한국건축시공학회 논문집	18 (5)	국내	-
2020. 3 (게재 예정)	바텀애시 재활용 인공경량토양 적용 옥상녹화 유니트 시스템의 열특성	유종수	이종찬	오창원	한국건설순환자원학회 논문집	8 (1)	국내	-

(2) 특허성과

<표 2.5.2> 특허 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2017. 10.31	바텀애쉬의 선별방법	㈜한국도시녹화	대한민국	10-2017-0144132	2019. 1.14	바텀애쉬의 선별방법	㈜한국도시녹화	대한민국	10-1940088
2017. 8.28	유니트 고정부가 구비된 옥상녹화 구조물	현대산업개발(주) 대건케미칼(주)	대한민국	10-2017-0108450	2018. 9.11	유니트 고정부가 구비된 옥상녹화 구조물	현대산업개발(주) 대건케미칼(주)	대한민국	10-189940
2017. 8.28	옥상녹화 식생 유니트의 공기배출시스템 및 이의 시공방법	현대산업개발(주) 대건케미칼(주)	대한민국	10-2017-0108449	2018. 9.11	옥상녹화 식생 유니트의 공기배출시스템 및 이의 시공방법	현대산업개발(주) 대건케미칼(주)	대한민국	10-1899439
2018. 6.11	태양광 패널이 시공되는 공간에 녹지를 조성하기 위한 내풍압 녹화방법	㈜한국도시녹화	대한민국	10-2018-0067095					

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
2018.8.23	파라펫이 구비된 옥상녹화 식생유니트의 공기배출시스템 및 이의 시공방법	대건케미칼(주)	대한민국	10-2018-0098549	2019.12.04	파라펫이 구비된 옥상녹화 식생유니트의 공기배출시스템 및 이의 시공방법	대건케미칼(주)	대한민국	10-2054402
2019.5.31	석탄회 기반 경량인공토 및 식생용 함체를 이용한 식생 유니트 및 이를 이용한 녹화시스템	㈜한국도시녹화	대한민국	10-2019-0064662					

(3) 인증성과

<표 2.5.3> 인증 성과

인증구분	녹색기술인증	기술명	재활용 인공 경량토양을 사용한 일체형 유닛시스템의 인공지반 경량녹화기술		
신청자	㈜한국도시녹화 대건케미칼(주)	인증번호	GT-19-00740 GT-19-00743	유효기간	2019-0905~ 2022-09-04

<표 2.5.4> 건설신기술 인증 신청

명칭	버텀애시 재활용 인공경량토양과 유도가열 부착 일체형 경량 유닛박스 시스템을 이용한 인공지반 기술		
신청자	㈜한국도시녹화 대건케미칼(주) 에이치디씨현대산업개발(주)	서류접수일	2019. 12. 11
		접수번호	건설-2293(지정신청)

(3) 기술요약정보

<표 2.5.5> 기술요약정보

연도	기술명	요약내용	기술완성도
2019	하이브리드 방수 방근공법을 이용한 유니트박스 녹화시스템 및 이의 시공방법	건축물의 옥상의 상면에 형성된 도막층에 방수시트를 융착 고정하여 2중의 방수방근구조를 형성함 방수시트의 고정부재에 장착된 유니트박스를 결합하고, 이 유니트박스에 숭상부를 적층시켜 토심을 높이고, 유니트박스와 숭상부 측면에 다수의 절곡부를 형성하여 외압에 의한 강도를 보강한 하이브리드 방수방근공법을 이용한 유니트박스 녹화시스템 및 이의 시공방법에 관한 것임.	일체형 유니트 박스 녹화시스템 실용화 단계

연도	기술명	요약내용	기술완성도
2019	건식 석탄재를 이용한 인공토양 및 그 제조방법	건식 석탄재, 암면 및 패화석(굴패각)을 혼합하는 1차 혼합단계, 코코피트, 피트모스 및 분변토를 제혼합하는 2차 혼합단계, 제1혼합기내의 혼합물을 제2혼합기로 투입하여 혼합하는 3차 혼합단계, 상기 3차 혼합단계에서 보수력 향상제를 투입하는 것을 특징으로 하는 건식 석탄재를 이용한 인공토양 제조방법임.	바텀애쉬 인공토양 시장개척 단계
2019	바텀애쉬의 선별방법	발전소 바텀애쉬를 공급받아 집하시키는 1단계, 제1선별수단을 통하여 인공토양으로 사용할 특정 크기의 바텀애쉬를 선별하여 수집하는 2단계, 2단계에서 선별되지 않은 바텀애쉬를 크러셔에서 적어도 20mm이하의 입도로 파쇄시키는 제3단계, 제2선별 수단을 통하여 크러셔에서 파쇄된 바텀애쉬를 기특정된 입도를 기준으로 인공토양과 멀칭용으로 선별하여 수집하는 4단계, 산도(pH)가 알칼리성의 바텀애쉬에 강하제를 기특정된 비율로 혼합하여 중성 또는 산성화 시키는 5단계로 이루어진 바텀애쉬 선별방법	바텀애쉬 인공토양 시장개척 단계
2019	유니트 고정부가 구비된 옥상녹화 구조물	슬라브 상단에 금속 고정구를 고정, PE시트를 고주파 융착하고, 통기 가능 고정구를 열융착하고 식생 유니트를 볼트 고정하여 풍압에 의한 분리, 훼손을 방지하는 옥상녹화 구조물에 관한 것임.	열융착 방식 고정구 실용화 단계
2019	옥상녹화 식생 유니트의 공기배출 시스템 및 이의 시공방법	금속 고정구 및 유니트 고정부재와 PE시트의 융착력을 강화하여 슬라브와 PE시트 사이에서 생성되는 습한 공기를 PE시트와 식생 유니트 사이로 배출시켜 들뜸을 방지하는 옥상녹화 식생 유니트의 공기배출시스템 및 이의 시공방법	열융착 방식 고정구 실용화 단계
2019	태양광 패널이 시공되는 공간에 녹지를 조성하기 위한 내풍압 녹화방법	방수방근시트 상단에 초음파 융착에 의한 태양광 패널 기둥 고정용 고정구 설치 및 기둥 시공 후 양광 패널 하부에 보습매트, 토양 포설, 식물을 식재하고, 태양광패널을 기둥 상단에 시공하는 내풍압 녹화방법에 관한 것임.	특허만 신청
2019	파라펫이 구비된 옥상녹화 식생유니트의 공기배출 시스템 및 이의 시공방법	금속 고정구 및 유니트 고정부재와 PE시트의 융착력을 강화하고 파라펫과 PE시트 사이의 습한 공기를 공기배출부재의 외부로 배출시키도록 하여 PE시트의 들뜸을 방지하는 공기배출시스템 및 이의 시공방법에 관한 것임.	특허만 신청
2019	석탄회 기반 경량 인공토 및 식생용 함체를 이용한 식생 유니트 및 이를 이용한 녹화시스템	토양이 채워지도록 구비된 토양채움부와 관수된 물이 흐르도록 구비된 유로가 형성된 평판형 경량 식생용 함체를 내부에 구비한 식생 유니트에 관한 것임.	경량 함체 포함 유니트 실용화 단계

바. 연구결과

(1) 기술적 성과

○ 본 연구개발 과정에서 2018년 국내 학회에 2건의 논문을 게재하였고, 2020년 3월 1

건의 논문이 게재예정 확정됨.

○ 본 연구개발 과정에서 2017년 3건, 2018년 2건, 2019년 1건의 국내 특허를 출원하였고, 4건의 특허가 등록되었음.

○ 본 연구개발과정에서 인공경량토양 시제품, 유닛박스 고정용 고정구 시제품, 고정구 융착을 위한 고주파 부착기 시제품을 제작하여 시범 현장에 적용하였음.

○ 본 연구개발과정에서 개발 시제품의 현장적용성을 파악하기 위해 현대산업개발 현장중 2017년 12월 구리 갈매 IPARK 판매시설 옥상, 2018년 9월 송파 헬리오시티 어린이집 옥상, 2019년 11에 개발기술을 적용, 모니터링을 수행중임.

○ 기존의 인공지반 녹화기술은 방근층, 방수층 및 방근층의 보호를 위한 콘크리트 누름층, 보수층, 배수층, 투수/필터층, 인공토양, 식생류의 다층구조로 되어 있어 시공이 복잡한 반면, 개발기술은 방수·방근층, 식생 및 인공토양 포함 유닛박스의 2층 구조로 인공지반 녹화기술의 단순화, 간편화, 프리훼브화, 유지관리의 편의성을 향상시켰음.

○ 개발기술을 인공지반에 적용시 예상되는 CO_2 저감량은 209천톤(공동주택 5만세대 적용시)정도로 예상됨.

○ 기존 녹화기술은 일반적으로 진주암을 파쇄, 소성시킨 펄라이트 인공경량토양의 사용, 방수층과 방근층의 별도 시공, 무근콘크리트 시공이 적용되는 반면, 개발기술은 개발기술은 화력발전소 부산물인 버텀애시를 재활용한 인공경량토양의 개발 사용, 방수·방근 일체화 시트 사용, 무근콘크리트 무시공 등으로 CO_2 발생량이 약 59% 저감됨.

○ 개발 인공경량토양은 대부분 매립되는 버텀애시를 재활용하므로 국내 주택시장의 약 10% 적용시 화력발전소 버텀애시 배출량의 약 6% 재활용이 가능한 친환경 기술임.

○ 개발기술은 기존 펄라이트 혼합 인공경량토양 대비 약 10% 경량성이 우수하고, 기존 유닛박스 고정용 부틸테이프 대비 약 400% 부착성능이 향상되는 것으로 파악됨.

○ 개발기술은 타 인공지반 녹화기술 대비 녹색성 향상, 기술의 우수성 향상으로 녹색기술 인증을 2019년 9월 획득함.

(2) 경제적 성과

○ 본 연구개발을 통하여 버텀애시를 주원료로 다양한 재활용 소재를 혼합 인공경량토양을 개발하고 균질한 품질의 인공경량토양 제품 생산 및 보급이 가능하게 되어 기존 인공경량토양보다 저렴한 인공경량토양 보급이 가능할 것으로 예상됨.

○ 개발기술은 2020년 기준 28억원, 2024년 약 40억원의 매출이 기대됨.

<표 2.5.6> 기술요약정보

단위 : 백만원

연 도 별		2020년	2021년	2022년	2023년	2024년
옥상녹화 유니트시스템	국내	800	850	900	960	1,010
	해외	160	170	181	193	205
인공경량토양	국내	1,900	2,090	2,299	2,530	2,781
합계		2,860	3,110	3,380	3,683	3,996

1) 옥상녹화 유니트 시스템 시장은 회사 창업 초기 매출, 환경신기술 299호 개발 후 초기 매출을 고려 적용
2) 옥상녹화 유니트 시스템의 해외 판매는 중국, 동남아 등을 대상으로 고려, 국내 매출 수준의 20%로 예측
3) 옥상녹화유니트 시스템은 인공토양을 제외한 유닛박스 + 고정구 + 시트를 포함함
4) 옥상녹화 시장 현황자료에 따라 국내 옥상녹화시장은 CAGR 6.0%, 해외시장은 CAGR 6.5% 성장률 적용
5) 인공경량토양의 초기 매출은 펄라이트 매출의 10%를 고려, 옥상녹화 시스템을 포함한 국내, 상토시장 CAGR 10% 성장률 적용

○ 개발기술은 인공경량토양, 유닛박스, 고정구 등 신규 자재 생산업체 및 소재 생산업체 등 supply chain 관련 산업의 발전 및 버텀애쉬 발생 화력발전소의 신규 사업분야 진출 등에 기여할 것으로 기대됨. 또한 기술 보급 증대시 관련 생산업체의 생산인력과 개발기술의 시공 증가로 요구되는 시공인력의 고용이 창출될 것으로 기대됨.

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

■ **건식 버텀애시 재활용 친환경 인공경량 토양 및 일체화 선재배 유닛박스 녹화시스템 개발**

- 조경용 토양기준 품질 만족 건식 버텀애시 재활용 친환경 인공경량토양 개발
- 내풍압성(50m/sec)를 만족하는 격막재 탈착형 선재배 유닛박스 개발
- 개발기술의 건설신기술 신청

■ **방수 · 방근층 및 유닛박스의 건식 결합기술 개발**

- 부착하중 1500N 이상 고정구 개발
- 이면온도 150℃ 이상 가열 가능한 고주파 가열 부착기 개발

■ **개발기술의 현장적용 및 장기 성능평가(변형, 단열), 시공 매뉴얼 개발**

- 현장시범 적용 및 개발기술의 장기 변형, 온도변화 분석
- 개발기술의 시공지침 및 유지관리지침 개발

나. 목표 달성여부

구분 (연도)	사업화 목표	사업화 내용 및 범위	목표치	성과물	달성도
1차년도 (2017)	■DBA기반 다목적 인공토양 개발 및 원자재등 가공, 생산시스템 구축, 녹화지 적용 식물모델 도출	■ 다목적 인공토양 개발을 위한 기초연구 - 기존 인공토양 이화학적 요구 특성 정립 - 기존 문헌 및 자료 분석 및 개발 인공토양의 디테일 분석 - 기존 인공토양 및 유닛박스 적용 시스템의 문제점 정립 - 중금속 용출에 대한 장기적 검토 ■1차 물리적 가공기반 구축(원자재) - 파쇄입도별, 운전조건별 인공토양의 물리, 화힉적 특성 평가 - 습식공정 바텀애시 대체 건식공정 바텀애시 인공토양 소재화를 위한 PILOT PLANT 설계 및 최적화 - PILOT PLANT 설비 spec 및 구성 ■ 투수계수 0.4×10-3, EC 0.6 ~ 0.8 성능확보를 위한 고도화 공정 개발1 - 물리, 화학적 특성특성 평가를 통	■특허 출원 1건 ■인공토양 시제품 1건	■특허 출원 1건 ■인공토양 시제품 1건	100%

		한 유기계 혼합 및 양액흡착형 최적화 기술 확보, 제품화 : 배수용, 육성용, 멀칭용 - 미생물 재재 반영 생태적 성능 개선 기능성 인공토양 생산기술 개발 - PH, EC관리형 양액흡착 기술 - 적정 보습량 확보등으로 기존 펄라이트 현장시공의 취약점인 비산 및 체적감소, 관수후 시공, 동절기 작업금지등의 문제점 개선 ■ 기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출 - 숭상형 옥상녹화 시스템 현장 시험적용 - 교관목 식재등 관리형 옥상녹화 현장 시험적용			
	■ 부착용 고정구 및 고주파 융착기의 개선기술 개발	■ 기 개발 엔지니어링PE시트의 방근성능 시험 의뢰 및 진행 ■ 기존 분리된 고정구의 단점 보완(디자인, 소재 등의 검토) 기술 개발 ■ 기존 고주파 융착기의 개선 보완(가열 헤드의 형상, 온도, 가열시간 등의 검토) 기술 개발	■ 특허출원 1건	■ 특허출원 1건	100%
	■ 인공지반 녹화시스템의 개선방향 도출 ■ 인공지반 녹화시스템의 아이디어 보완 ■ 인공지반 녹화시스템의 선진사례 분석	■ 기존 인공지반 녹화시스템의 디테일 및 현장 적용시 문제점 정립(현 개발 시스템의 수정 및 보완 분석) ■ 기존 녹화시스템과 차별화 된 아이디어 창출 ■ 식생 유닛박스의 적층구조 개선 및 방수방근체와의 접합부 개선 ■ 추가 성능시험에 대한 검토(단열성, 내풍압성, CO2 저감량 분석 등) ■ 개발 진행중인 녹화시스템의 시작품 제작 전 수정보완 사항 및 개선사항을 국내 시장 제품 및 해외 시장에서 개발된 제품을 통해 아이디어 접목 및 분석	■ 특허출원 1건	■ 특허출원 1건 ■ 현장적용 1건	100% ■ 현장적용 1건 초과 달성)
2차년도 (2018)	■ PILOT PLANT 운영 및 개선을 통한 시제품 생산 및 제품 다양화 기술 확보	■ 원자재 및 양액흡착형등 다목적형 인공토양 제품 파이럿 생산 라인 구축 - 파이럿라인과 기존 연속생산 제품화 라인 연계 구축 - PILOT PLANT 설비 운영 최적화, 제조비용 및 경제성 평가 ■ 투수계수 0.4×10-3, EC 0.6 ~ 0.8 성능확보를 위한 고도화 공정 개발2 - 혼합 예정 원자재 포함 매토종자 및 지역 수산업부산물(축분, 굴패각등 유무기성 슬러지) 살균 및 건조등 활용 전처리 기술 개발 ■ 기능성 인공토양에 적용 가능한 식생모델 도출 - 숭상형 옥상녹화 시스템 시제품	■ 논문 게재 1건 ■ 특허출원 1건 ■ 특허등록 1건 ■ 유닛박스 시제품 1건 ■ 인공경량토양 시제품 1건	■ 논문 게재 1건 ■ 특허출원 1건 ■ 특허등록 1건 ■ 유닛박스 시제품 1건 ■ 인공경량토양 시제품 1건	100%

		적용 농장 생산 및 현장 적용성 평가, 모니터링, 개선 방안 도출 - 교관목 식재등 관리형 옥상녹화 소재 농장 생산 및 현장 적용에 따른 생육 특성 모니터링, 제품개선			
	■ 부착용 고정구 및 고주파 융착기 시작품 제작	■ 기 개발 엔지니어링 PE시트의 방근 성능시험 진행 (약 20개월) ■ 일체용 접착식 고정구 성능을 개선하여 시작품 제작(디자인, 소재 등의 검토, 압축하중 1,000N, 부착하중 1,000N 이상 확인) ■ 1차 현장시험 적용 후 전용 고주파 융착기 시작품 제작 (가열 헤드의 형상, 온도, 가열시간 등의 검토, 융착기 가열온도 120℃ 이상) ■ 현장 시범적용	■ 논문 게재 1건 ■ 특허출원 1건 ■ 특허등록 1건 ■ 고정구 시제품 1건 ■ 고정구 고정용 고주파 부착기 시제품 1건	■ 논문 게재 1건 ■ 특허출원 1건 ■ 특허등록 1건 ■ 고정구 시제품 1건 ■ 고정구 고정용 고주파 부착기 시제품 1건	100%
	■ 인공지반 녹화 시스템의 현장 적용 (1단계) ■ 인공지반 녹화 시스템의 시방서 작성	■ 방수방근 일체형 시트와 식생유닛박스의 결합시스템에 대한 현장적용 1건(1차) ■ 생육상태의 정도를 단계별 모니터링 ■ 방수방근 일체형 식생유닛박스 시스템에 대한 시방서 및 유지관리 지침서 작성 (1차)	■ 논문 게재 1건 ■ 특허출원 1건 ■ 특허등록 1건 ■ 공동주택 현장적용 1건	■ 특허등록 1건 ■ 공동주택 현장적용 1건	80% ■ 논문게재 미달성→3차년도 예정 ■ 특허출원 3차년도 예정
3차년도 (2019)	■ DBA기반 다목적 인공토양 상용제품 생산 및 현장 적용 ■ 건설신기술 신청	■ 개발기술의 건설신기술 신청 및 보완(3차년도 상반기) ■ 신보령화력 DBA 30,000톤 규모(설계량의 50%이상) 처리 및 상용제품화 라인 구축 - 제품의 고품질화 기술 적용(단위용적질량 800kg/m3 이하, 투수계수 0.4×10-3, EC 0.6 ~ 0.8 성능확보) - 제조된 제품의 품질 균일성 확보 방안 검토, 적용 - 대량생산체제 구축 및 생산 ■ 신규 인공토양의 경쟁력 도출 - 기존 제품 적용현장 대비, 숭상형 옥상녹화 시스템 모니터링 결과 확보 및 제품 지속개선 - 교관목 식재등 관리형 옥상녹화 현장 적용 모니터링 결과확보, 개선제품 개발 및 내풍압성 검토(풍속 50m/s 기준) ■ 개선 시제품 현장 적용 시방서 및 도면화	■ 특허등록 1건 ■ 최종 유닛박스 시제품 1건 ■ 건설신기술 인증 신청	■ 특허출원 1건 ■ 최종 유닛박스 시제품 1건 ■ 녹색기술 인증 ■ 건설신기술 인증 12월 신청 완료	95% ■ 특허등록 1건 미달성 ■ 특허출원 1건 추가 달성
	■ 고정구 및 고주파 융착기 최종 시제품 제작 및 현장 적용	■ 최종 고정구 및 고주파 융착기 시제품 제작(제작용 설계 및 생산라인 등 검토, 고정구 압축하중 1,000N, 부착하중 1,500N 이상, 융착기 가열온도 150℃ 이상 확인) ■ 개발 부착기술의 내풍압성 검토(주관기관의 시스템 내풍압성 시험체 개발시 기술 적용) ■ 현장 적용	■ 특허등록 1건 ■ 최종 일체용 고정구 시제품 1건 ■ 최종 고정구 고정용 고주파 부착기 시제품 1건	■ 특허등록 1건 ■ 최종 일체용 고정구 시제품 1건 ■ 최종 고정구 고정용 고주파 부착기 시제품 1건	100%

	■ 인공지반 녹화 시스템의 현장 적용 (2단계) ■ 인공지반 녹화 시스템의 시방서 작성 및 유지관리 지침서 작성	■ 방수방근 일체형 시트와 식생유닛 박스의 결합시스템에 대한 현장적용 1건(2차, 신기술 연계 일정조정) - 현장적용 녹화시스템의 구조안전성 및 경제성 검토 - 생육상태의 정도를 단계별 모니터링 - 방수방근 일체형 식생유닛박스 시스템에 대한 시방서 및 유지관리 지침서 보완 작성 (2차)	■ 현장적용 1건 ■ 특허출원 1건 ■ 시방서 1건 ■ 유지관리지침서 1건	■ HDC현대산업개발 연구전담부소 축물 옥상 현장 적용 ■ 시방서 1건 ■ 유지관리지침서 1건 ■ 논문 1건 2020년 3월 게재예정(2차년도 성과)	95% ■ 특허출원 1건 미달성(한국도시녹화에서 1건 추가 출원)

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

○ 현재 전체적으로 미달성 양적목표는 특허 등록 1건으로 출원 중인 2건의 특허에 대해 결과를 기다리고 있음.

출원연도	특허명	출원인	출원번호
2018.6.11	태양광 패널이 시공되는 공간에 녹지를 조성하기 위한 내풍압 녹화방법	㈜한국도시녹화	10-2018-0067095
2019.5.31	석탄회 기발 경량인공토 및 식생용 함체를 이용한 식생 유니트 및 이를 이용한 녹화시스템	㈜한국도시녹화	10-2019-0064662

○ 특허 출원 목표치 중 1건은 에이치디씨현대산업개발(주)의 성과목표치로 2018년 회사분리로 인한 연구비 집행 및 연구인력의 재배치 등으로 특허진행이 어려운 상황으로 ㈜한국도시녹화에서 특허출원을 1건 추가 출원한 상황으로 전체 특허 출원 목표치는 동일함.

○ 에이치디씨현대산업개발(주)가 한국건설순환자원학회에 논문을 제출, 2020년 3월 개제 예정 확정으로 판정됨.

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 추가연구의 필요성

○ 국내 미세먼지의 증가로 미세먼지 저감방안에 대한 연구가 필요하여 각 부처별로 미세먼지 저감 관련 연구가 상당 수 진행중임.

○ 녹화기술은 CO_2 저감, 열섬현상 저감 등의 효과가 있음은 알려져 있으며 대규모 녹지공간은 미세먼지를 저감시키는 효과가 있다고 알려져 있음[8].

○ 인공지반 녹화기술은 건축물의 옥상, 주차공간 상부 등 인위적인 건축물 부위에 녹지공간을 확대하는 기술로 좁게는 건축물 단지 내부, 넓게는 도심지 내부로 확대하여 인공지반 녹화기술 적용시 미세먼지 저감효과를 연구할 필요가 있음.

○ 특히 개발 기술은 녹화 유닛시스템으로 벽면 녹화 기술로 응용하여 녹지공간을 입체적으로 확대할 수 있는 기술로 미세먼지 저감에 효과가 있을 것으로 예상됨.

○ 향후 방수·방근시트의 종류와 다양한 형상의 녹화 유니트에 다양한 적용이 가능한 고정구의 가변성 관련 연구가 필요할 것으로 판단되며, 바텀애쉬의 화학적 안전성, 중금속 용출성에 대하여 지속적인 검증 연구가 필요할 것으로 판단됨.

나. 타 연구에의 응용

○ 추가연구 필요성에 언급한 바와 같이 기존 미세먼지 관련 연구가 다양하게 진행되고 있으며, 그 중 국토교통과학기술진흥원에서 관리하는 도로 미세먼지 저감기술 및 관리시스템 개발 연구단에서는 버스 정류장 주변 도로 미세먼지 저감을 위한 double effect green wall system을 계획하고 있음을 인지함.

○ 상기 시스템은 한면은 통기가 가능한 다공성 구조체 벽체, 다른 한 면은 벽면 녹화기술을 적용하도록 계획되어 있으나, 구체적인 녹화기술 계획이 없는 상황이었음.

○ 상기 시스템에 본 연구개발 결과물인 유닛박스 시스템을 적용할 경우, 탈부착 용이, 유관리 용이 등으로 연구단에서 계획하는 double effect green wall system에 응용이 가능할 것으로 연구단과 상의 결과 인정됨.

○ 현재 연구단과 지속적인 미팅 및 협의 과정 중에 있으며, 향후 연구 진행 과정 중에 참여가 가능할 것으로 예상되며, 본 개발 기술 성과물을 응용하여 적용이 가능하리라 판단됨.

다. 사업화 추진 방안

8) 서울연구원, 그린인프라의 미세먼지 저감효과 분석과 확대방안, 2018년

○ 개발기술은 2012년부터 아이디어 특허 등록 및 시작품 제작 후 한국건설생활환경시험연구원의 성능평가 및 수요기업인 ㈜현대산업개발과 공동으로 기업부설연구소 옥상에서 장기간 mock-up test를 실시, 현장적용성을 평가하여 사업화 가능성을 확인함.

○ 이후 본 국토교통기술사업화 지원사업의 지원을 받아 연구 수행을 진행하고 있으며, 그 결과 성능이 개선된 인공지반 일체형 녹화시스템을 개발하고 사업화 추진에 많은 도움을 받고 있음.

○ 현재까지 진행한 사업화 추진 사항은 다음과 같음.

(가) 시제품의 홍보

○ 인공지반녹화 시장에서 펄라이트 대체 인공토양으로서 입지 확보 및 경쟁력 강화를 위해 TV노출, 관련 박람회 출품 홍보 및 신문 광고 게재, SNS 활용 등의 적극적인 마케팅, 영업을 통해 제품 홍보를 위한 노력을 기하고 있음.



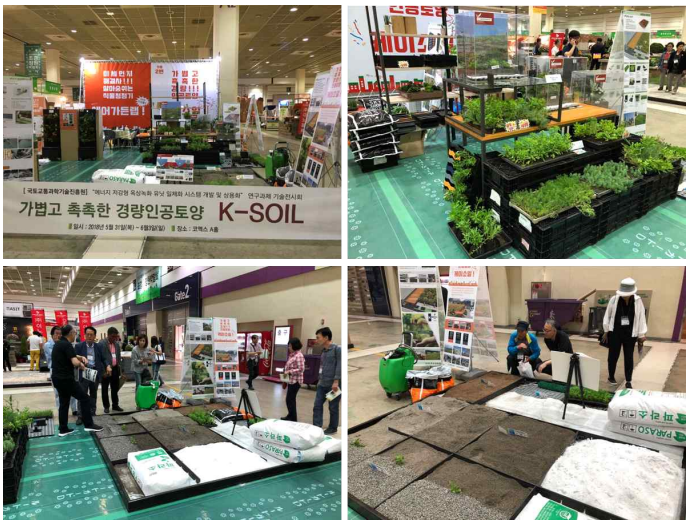
[그림 4.3.1] 개발 인공경량토양(K-Soil)의 국방TV 노출(2017년)

○ 영업 확대를 통한 공장 가동율 증대 : 전시회 참가, 홍보물 제작, 판촉 행사 등을 통해 경제형, 고급형 제품 홍보 강화.

○ 2018년 연구를 통해 개발된 시제품을 대상으로 “2018년 조경박람회”, “안산시 도시농업 한마당”, “서울정원박람회”에 참가하여 부스전시를 통한 홍보, 제품 상담을 실시.

○ 2019년 국토교통부 국토교통 기술대전에 부스 참가 및 개발 제품 홍보

○ 인공경량토양(K-SOIL) 제품 카탈로그, 리플렛 등을 제작하여 영업자료로 적극 활용하고, 한국조경신문 광고를 지속적으로 개제하며 홍보하고 있음.



[그림 4.3.2] 2018 서울정원 박람회 출품/ 홍보



[그림 4.3.3] 안산시 도시농업한마당 출품/ 홍보



[그림 4.3.4] 2018 서울정원 박람회 출품/ 홍보



[그림 4.3.5] 2019 킨텍스 국토환경대전 전시회 부스참가 및 개발제품 홍보



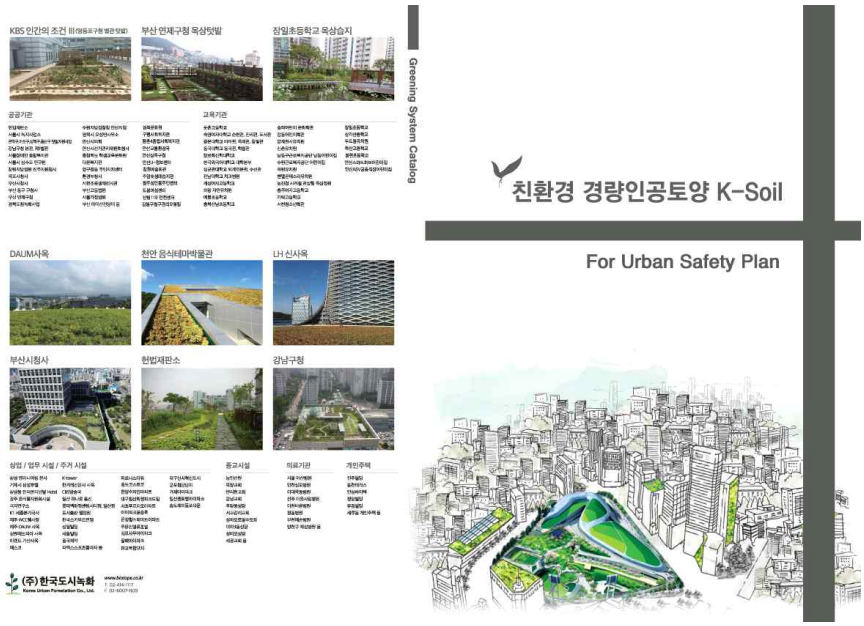
[그림 4.3.6] 2019 강동 도시농업 박람회 참가 및 개발제품 홍보



[그림 4.3.7] 2019 과천 도시농업 박람회 참가 및 개발제품 홍보



[그림 4.3.8] 개발 인공경량토양(K-Soil) 조경신문 광고 게재



[그림 4.3.9] 경량인공토양 K soil 홍보 팜플렛

(나) 입도별, 형상별 등 다양한 고객 맞춤형 제품 리스트 구축

① 가공 원자재 활용 제품군의 다양화

○ DBA 원자재의 입도별선별 및 가공 방식에 따른 형상별 제품군 다양화를 위하여 가공과정에서 크러셔를 저속가동, 입형을 볼타입으로 가공한 K-SOIL M, 가공되지 않은 입형이 불규칙한 6-20mm 입도의 K-SOIL B는 배수용, 채움재로 사용되며, K-SOIL D는 0~8mm 입도를 선별 후 양액을 분사, 흡착시킨 제품으로 토양혼합용 또는 배수용으로 사용됨.

<표 4.3.1> 원자재의 가공에 따른 입도, 형상별 분류

분 류	용 도	입 도
K-SOIL M	멀칭용	8~20mm 크러셔 입형가공(원형)
K-SOIL B	채움재, 배수용	6~20mm
K-SOIL D	인공지반 및 자연지반 배수용, 토양혼합용	0~8mm



[그림 4.3.10] 원자재의 가공에 따른 입도, 형상별 특성

② 개발 제품의 용도별 (인공토양용, 배수용, 멀칭용) 톤백, 소포장 등 패키징 라인의 다양화(시험생산)

○ 기존 톤백 포장방식에서 추가적으로 소포장 패키징 라인을 추가하면서 소포장(K-SOIL α)제품 생산 실시하였음.

○ 향후 원자재(인공토양용, 멀칭용 등) 제품군 및 기타 제품을 대상으로 패키지 디자인의 통일성을 유지하며 브랜드 이미지를 강화하고, 소포장 라인 제품군을 점차 확대생산 예정임.



[그림 4.3.11] 소포장(K-SOIL α) 제품 사진



[그림 4.3.12] 제품 패키지별 적재



[그림 4.3.13] 제품군별 소포장 패키지 디자인 시안

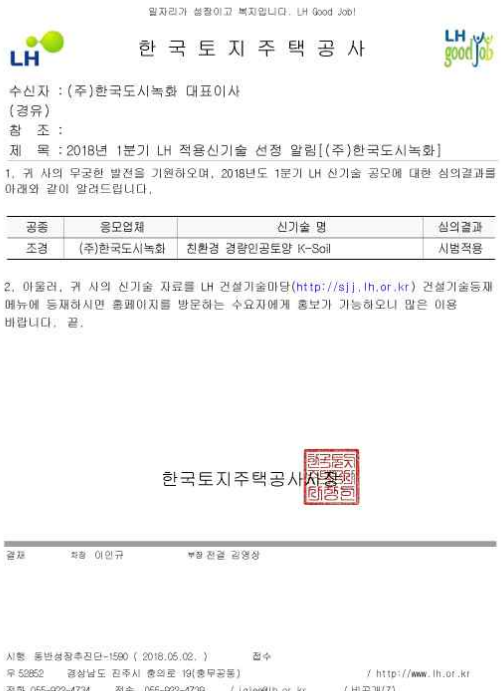
(다) 개발기술의 인증 활동

① LH 적용 신기술 선정

○ 2018년도 상반기 LH 신기술 공모에 신청, LH 신기술로 선정됨.

<표 4.3.2> 녹색기술 인증 개요

명칭	친환경 경량인공토양 K-Soil		
신청자	㈜한국도시녹화	공종	조경



일자리가 성장이고 복지입니다. LH Good Job!

한 국 토 지 주 택 공 사

수신자 : (주)한국도시녹화 대표이사
(경유)
참 조 :
제 목 : 2018년 1분기 LH 적용신기술 선정 알림[(주)한국도시녹화]

1. 귀 사의 무궁한 발전을 기원하오며, 2018년도 1분기 LH 신기술 공모에 대한 심의결과를 아래와 같이 알려드립니다.

공종	응모업체	신기술 명	심의결과
조경	(주)한국도시녹화	친환경 경량인공토양 K-Soil	시범적용

2. 아울러, 귀 사의 신기술 자료를 LH 건설기술마당(http://sjj.lh.or.kr) 건설기술등재 메뉴에 등재하시면 홈페이지를 방문하는 수요자에게 홍보가 가능하오니 많은 이용 바랍니다. 끝.

한국토지주택공사사장

결재 처장 이인규 부장 전결 김영상

시행 동반성장추진단-1590 (2018.05.02.) 접수
우 52852 경상남도 진주시 충의로 19(충무공동) / http://www.lh.or.kr

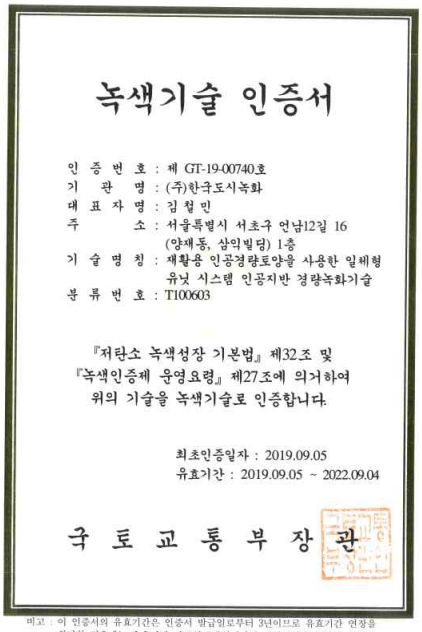
[그림 4.3.14] LH 적용 신기술 선정 공문

② 녹색기술 인증 획득

○ 개발 시스템인 “재활용 인공경량토양을 사용한 일체형 유닛 시스템 인공지반 경량 녹화기술”로 19년 9월 녹색기술인증을 획득함.

<표 4.3.3> 녹색기술 인증 개요

명칭	재활용 인공 경량토양을 사용한 일체형 유닛시스템의 인공지반 경량녹화기술		
신청자	㈜한국도시녹화 대건케미칼(주)	인증번호	GT-19-00740 GT-19-00743
최초 인증일	2019. 09. 05	유효기간	2019-09-05~ 2022-09-04



녹색기술 인증서

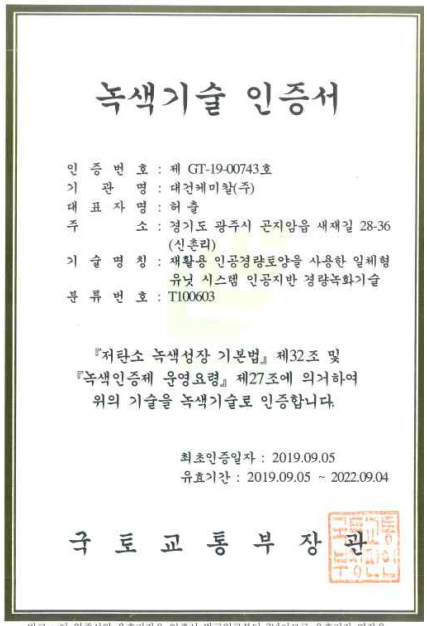
인 증 번 호 : 제 GT-19-00740호
기 관 명 : (주)한국도시녹화
대 표 자 명 : 김 철 민
주 소 : 서울특별시 서초구 언남12길 16 (양재동, 삼익빌딩) 1층
기 술 명 칭 : 재활용 인공경량토양을 사용한 일체형 유닛 시스템 인공지반 경량녹화기술
분 류 번 호 : T100603

『저탄소 녹색성장 기본법』 제32조 및
『녹색인증제 운영요령』 제27조에 의거하여
위의 기술을 녹색기술로 인증합니다.

최초인증일자 : 2019.09.05
유효기간 : 2019.09.05 ~ 2022.09.04

국 토 교 통 부 장 관

비고 : 이 인증서의 유효기간은 인증서 발급일로부터 3년이므로 유효기간 연장을 희망할 경우에는 유효기간 만료일 3개월전까지 연장신청을 하여야 합니다.



녹색기술 인증서

인 증 번 호 : 제 GT-19-00743호
기 관 명 : 대건케미칼(주)
대 표 자 명 : 허 출
주 소 : 경기도 광주시 곤지암읍 새재길 28-36 (신촌리)
기 술 명 칭 : 재활용 인공경량토양을 사용한 일체형 유닛 시스템 인공지반 경량녹화기술
분 류 번 호 : T100603

『저탄소 녹색성장 기본법』 제32조 및
『녹색인증제 운영요령』 제27조에 의거하여
위의 기술을 녹색기술로 인증합니다.

최초인증일자 : 2019.09.05
유효기간 : 2019.09.05 ~ 2022.09.04

국 토 교 통 부 장 관

비고 : 이 인증서의 유효기간은 인증서 발급일로부터 3년이므로 유효기간 연장을 희망할 경우에는 유효기간 만료일 3개월전까지 연장신청을 하여야 합니다.

㈜한국도시녹화 대건케미칼(주)

[그림 4.3.15] 개발기술의 녹색기술 인증서

② 건설신기술 인증 신청

○ 개발기술의 결과를 정리, 2019년 12월 건설신기술을 신청함.

<표 4.3.4> 건설신기술 인증 신청 개요

명칭	버텀애시 재활용 인공경량토양과 유도가열 부착 일체형 경량 유닛박스 시스템을 이용한 인공지반 기술		
신청자	㈜한국도시녹화 대건케미칼(주) 에이치디씨현대산업개발(주)	서류접수일	2019. 12. 11
		접수번호	건설-2293(지정신청)

(라) 개발기술의 사업화 전략 및 마케팅 전략

○ 개발기술은 개발단계, 시장진입 단계, 고속 성장단계, 안전 성장 단계, 시장 쇠퇴단계로 구분하여 사업화 전략을 설정하고 사업화 추진 중에 있으며, 현재는 연구개발 단계로 본 연구의 성과물인 성능개선 버텀애시 재활용 인공경량토양, 성능 개선 유닛박스, 성능개선 유닛박스 고정용 고정구 및 고정을 위한 전용 고주파 접착장비는 조경시장에서 차별화된 녹화기술로 각광을 받을 것으로 판단됨.

○ 특히 본 연구 성과로 기 획득한 녹색기술 인증은 본 연구성과물의 우수성을 객관적으로 인정받음으로써 사업화에 많은 기여를 할 것으로 예상되며, 2019년 12월 신청한 건설신기술 인정 또한 성공할 경우 시장 확장에 많은 도움을 줄 것으로 기대됨.

<표 4.3.5> 개발기술의 사업화 전략

단계	사업화 전략
개발 단계 (2017년~2019년)	- 인공경량토양의 품질 및 생산량 향상을 위한 보령 공장 추가 투자 진행 - 녹화용 유닛박스, 엔지니어링 방수·방근 PE시트와 PE 고정구의 시제품 제작 및 대량 생산 시설 확보 - 신청기술 개발단계에서 기술 수요기업((주)현대산업개발)과 공동국가 R&D 사업 참여 및 진행으로 자연스런 시장 초기 진입 추진 ⇒ 현대산업개발 신축 아파트 현장 적용 2건 적용 완료, 1건 예정 - 신청기술의 학술적 홍보(국내 저명 학회 논문 게재 2건, 1건 예정 - 신청기술 관련 지식재산권 강화(특허출원 2건, 등록 3건 등) - 대한민국 조경·정원 박람회 매년 참가 기술 홍보 실시 - 신청기술의 우수성 검증을 위한 국가 인증 신청 및 인증(녹색기술 인증, 건설신기술 인증)
시장진입 단계 (2020년~2024년)	- 건설사 대상 기술홍보자료 배포, 건설사별 기술담당자 면담 등을 통한 개발 기술 설명 - 기존 진출 시장인 공공시설물 등을 대상 우선 적용 추진, 기성 실적 확보(건설신기술 인증으로 수의계약 사유) - 그린홈 대상 공동주택 시범적용 추진 - 해외시장 시범 진출 (중국) 및 관련 해외인증 취득 - 유사기술 출현시 대응을 위한 해외 지적재산권 획득
고속성장 단계 (2025년~2029년)	- 단독주택 또는 빌라 등 저층 건축물의 옥상녹화시장 점유 확대 - SH공사, LH공사 등 그린홈 추진 발주처 대상 개발기술 설명회 개최 - 공동주택 인공녹화시장 본격 진출(고층 건축물 대상) - 기존 공동주택 리모델링 시장 진출 - 해외시장 본격 시장개척(중국, 동남아 등 개발도상국)
안정성장 단계 (2030년~2034년)	- 고층 공동주택 최적화 옥상녹화기술의 발주처와 공동 개발 추진 - 기술적용 대상 건축물의 유지관리 시스템 운용 - 해외시장 확장(러시아, 동유럽 등)
시장쇠퇴 단계 (2035년~2039년)	- 해외 개발도상국 대상 기술 이전 추진 - 시장 트렌드 대응 신규 옥상녹화 시스템의 개발 및 적용

<표 4.3.6> 개발기술의 과제수행기간 사업화 실적 및 종료 후 사업화 목표

구분		과제 수행 단계			과제 종료 사업화 단계		
		(2017년) 개발 1차년	(2018년) 개발 2차년	(2019년) 개발 3차년	(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2022년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	-	-	-	6%	8%	10%
	판매량(단위: m3)	-	722	6,159	8,000	11,000	16,000
	판매 단가(원)	70,000원/m3	59,500원/m3	50,575원/m3	48,000원/m3	46,000원/m3	45,000원/m3
	국내 매출액(백만원)	-	43	246(목표:65)	384	506	720
당사 생산 능력		5천톤	5천톤	1만톤	2만톤	4만톤	6만톤

[대한민국 조경박람회 참가 홍보]

○ 과제 수행기간인 2017년부터 2019년까지 매년 (주)한국도시녹화의 옥상녹화, 벽면녹화, 지붕녹화제품군의 홍보를 위해 **“대한민국 조경·정원박람회” 외 다수의 유관 전시회 및 박람회에 참가하여 개발**제품을 위한 홍보부스를 설치하고 제품시공과정을 파악할 수 있도록 단계별 전시를 통하여 홍보를 실시해왔음.

○ 과제 종료 후인 2020년을 시작으로 매년 조경, 정원박람회, 리빙페어, 건축박람회 등 유관전시회 참가 및 매체 광고 등을 통해 개발제품의 판매처 확대 및 매출확대를 위한 홍보 예정에 있음.

[온라인 마케팅 추진]

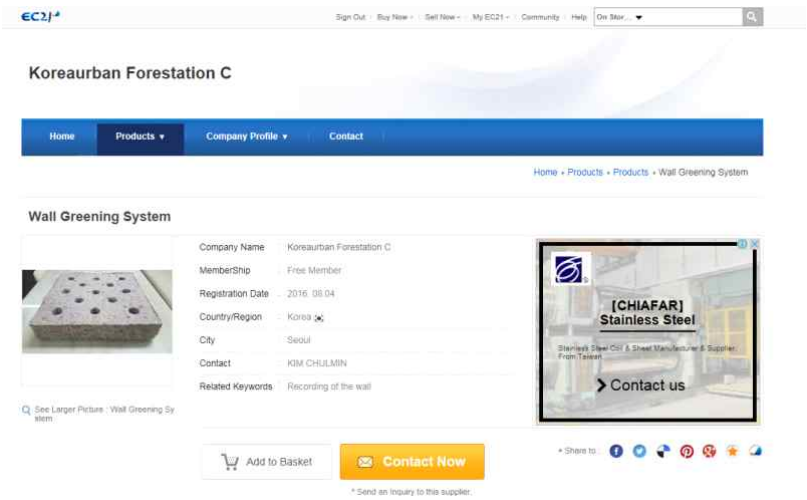
· EC21[9]의 활용

○ EC21은 대한민국 최대의 수출마케팅 및 무역컨설팅 전문기업으로 지난 2000년 한국무역협회(KITA)로부터 분사한 이후 글로벌 B2B e-Market Place인 EC21 사이트 운영을 비롯하여 수출 인프라 구축, 해외 시장조사, 해외 바이어 발굴, 무역 실무교육에 이르기까지 한국 중소기업의 해외시장 개척을 활발히 지원하고 있음.

○ 구체적인 사업 분야로는 해외 바이어 발굴, 해외 유명 검색엔진 마케팅 등 바이어 알선 사업과 해외시장조사, 무역컨설팅, 무역전문가양성 등 컨설팅 및 교육사업, 해외전시회 마케팅대행, 해외시장개척단, 해외바이어 초청 등 컨벤션 사업, 그리고 수출대행 및 실무지원, 수출인큐베이팅 등 무역대행사업을 수행하고 있음.

9) http://www.ec21.com/

○ 본 **국제마케팅 B2B 서비스인 “EC21” 에 연구 개발된 인공토양 및 유니트 제품을 다음 [그림 4.3.16]와 같이 등록하여 홍보 예정**임.



[그림 4.3.16] “EC21” 국제마케팅 B2B 서비스 사용 예

· Gobiz[10]의 활용

○ 고비즈코리아는 중소기업의 온라인 수출 지원 무역사이트로 1996년부터 정부지원사업을 통해 중소기업의 수출증대에 기여하고 있으며, 온라인 마케팅 지원사업은 수출홍보 온라인 인프라 구축 및 실무 애로사항 등에 대한 교육, 상담과 더불어 바이어 확보를 위한 1대1 밀착 서비스를 지원함.

○ 고비즈코리아 웹사이트는 60만 여명의 해외등록바이어와 국내 중소기업의 글로벌 e-마켓플레이스로서, 온라인 마케팅에 활용되는 외국어 홈페이지 및 상품페이지 제작, 검색엔진마케팅을 지원함.

○ 고비즈코리아 기업회원에게 제공되는 무상 온라인 마케팅 교육센터가 운영되고 있으며 해외바이어와의 화상상담에 필요한 통역을 지원 및 해외 신규 바이어 알선을 지원하고, 방한바이어 상담 현장에 무역전문가를 서비스 하고 있음.

○ 또한, 신용조사를 거친 전 세계바이어 DB를 제공하고, 해외 구매오퍼를 알선하기 이하여 본 **국제마케팅 B2B 서비스인 “Gobiz” 에 연구 개발된 신제품을 다음 그림[그림 4.3.17]와 같이 등록하여 홍보 예정**임.

10) http://kr.gobizkorea.com/support/index.jsp



[그림 4.3.17] “Gobiz” 국제 마케팅 B2B 서비스 사용 예

붙임. 참고문헌

1) 강재식외. 옥상녹화 시스템의 동·하계 열특성 분석, 대한건축학회 논문집 계획계 17권 11호, 2011년 11월

2) 강태호외, 식생모듈박스를 이용한 저토심 무관리형 옥상녹화, 한국조경학회지 제40권 3호, 2012년 6월

3) 강태호, 우수저장형 옥상녹화 시스템 및 공법개발, 동국대학교, 2011

4) 김기형, 대도시의 옥상조경실태와 개선방안에 관한 연구 - 대구광역시를 중심으로 -, 영남대학교 환경보건대학원 석사논문, 2008

5) 박영욱, KISTI MARKET RESEARCH, 옥상녹화 시스템-시장 활성화를 위한 정부와 기업의 전략이 필요, 2014

6) 서울연구원, 그린인프라의 미세먼지 저감효과 분석과 확대방안, 2018년

7) 선윤숙외, 국내 옥상녹화에 적용된 방수·방근 공법의 유형 분석, 대한건축학회 논문집 구조계, 제28권 11호, 2012년 11월

8) 오창원, 방수・방근시트와 옥상녹화 박스유닛 시스템의 이렛화를 위한 전자기 유도가열 융착 고정구의 부착성능, 한국건축시공학회 논문집, Vol. 18, No. 5, 463-469, 2019. 10

9) 오창원외. 엔지니어링 PE 방수・방근시트가 결합된 박스 유닛형 옥상 녹화 시스템 적용을 위한 성능평가, 한국건축시공학회 논문집, Vol. 16, No. 2, 125～131, 2016. 3

10) 윤은주 외, 그린홈 적용을 위한 옥상녹화 방안 연구, LH 토지주택연구원, 2010.3

11) 김영환외, 도시재생사업에서 저탄소 녹색 계획요소 활용 및 탄소 저감효과에 관한 연구, 한국도시설계학회지, 2014. 2

12) 한국건설생활환경시험연구원, 구조물 녹화용 고내구성 방근시트 및 친환경 인공경량토양 기술 개발, 국토교통부 건설기술혁신사업 최종보고서, 2012.10