보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
국토교통기술사업화지원사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 20TBIP-C144203-03

제로에너지 건축물 인증 등급 3단계 구현을 위한 인공지능 기반 엑티브-패시브 융합 친환경 건축설계 솔루션 개발

최종보고서

2021. 2. 4.

주관연구기관 / (주)텐일레븐
공동연구기관 / 홍익대학교
공동연구기관 / 한국건설기술연구원

국토교통부
(전문기관) 국토과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'제로에너지 건축물 인증 등급 3단계 구현을 위한 인공지능 기반 액티브-패시브 융합 친환경 건축 설계 솔루션 개발'(연구개발 기간 : 2018. 4. 1 ~ 2020. 12. 31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2021. 1. 4.

주관연구기관명 : (주)텐일레븐 (대표자) 이 호 영 (인)

공동연구기관명 : 홍익대학교 산학협력단 (대표자) 하 정 훈 (인)

공동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한 승 헌 (인)

주관연구기관책임자: 이 호 영

공동연구기관책임자: 김 형 규

공동연구기관책임자: 박 근 수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>20TBIP-C144203-03</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2020.1.1.~
2020.12.31</td><td>단계구분</td><td>3단계/3단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화지원사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">제로에너지 건축물 인증등급 3단계 구현을 위한 인공지능 기반 액티브-패시브 융합 친환경 건축 설계 솔루션 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이 호 영</td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총: 46명
내부: 46명
외부: 0명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부:1,500,000천원
민간:1,000,000천원
정부외: 0천원
상대국: 0천원
계:2,500,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총: 46명
내부: 46명
외부: 0명</td><td>총 연구비</td><td>정부:2,612,000천원
민간:1,741,334천원
정부외: 0천원
상대국: 0천원
계:4,353,334천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="2">(주)텐일레븐
홍익대학교 산학협력단
한국건설기술연구원</td><td colspan="3">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명:</td><td colspan="3">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="2">연구기관명:</td><td colspan="3">연구책임자: 이호영</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 보안등급 및 사유</td><td colspan="5">해당없음</td></tr>
</table>

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록・기탁 번호	2	3	7	-	-	1	-	-	-	-	-

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	○ 연구의 목적 제로에너지 건축물(ZEB) 인증 등급 3단계 (에너지 자립률 60 이상 80% 미만) 구현을 위한 인공지능 기반 액티브-패시브 융합 친환경 건축 설계 솔루션 개발 ○ 연구의 내용 1) 친환경 건물 **요소기술 설계** - 모듈러주택 실증단지(천안 두정)에 대한 패시브 / 액티브 디자인 분석 및 친환경 디자인 요소 추출 - 시뮬레이션을 통한 검증 및 친환경 외피 디자인 설계 - 빅데이터 기반 일조, 대기흐름 시뮬레이터 프로토타입 개발 - 에너지 절약형 프리패브 외벽체에대한 인공지능 기반 시뮬레이터 개발 - 모듈 조합된 BIM 설계 시뮬레이터 개발 - 액티브 디자인적용 모듈러건축 프로토타입 설계 2) **인공지능 기반 친환경 모듈러 주택 시뮬레이터 개발** 및 1차 검증 - 에너지 절약형 프리패브 외벽체에 대한 인공지능 기반 시뮬레이터 개선 - 인공지능 기반 친환경 모듈 조합 알고리즘 개발 - 친환경 시뮬레이터 테스트 및 천안두정 모듈러 주택단지에 적용 - 천안두정 실증 단지에 친환경 패시브/액티브 디자인 시뮬레이터 검증 - 친환경 모듈러주택을 위한 에너지 절약형 프리패브 외벽체 시스템 제작 3) **인공지능 기반 친환경 모듈러 주택단지 시뮬레이터 개발** 및 제작 - 액티브-패시브 융합형 제로에너지건축을 위한 인공지능 배치 설계 솔루션 제작 - 패시브/액티브 디자인 적용된 친환경 모듈러 주택 및 단지 프로토타입 설계 - 중고층 모듈러 실증연구단(2020년 실증 사업 예정)과 협업 및 디자인 - 에너지 절약형 BIPV 외벽체 시스템 및 중고층 모듈러주택 실증단지 설계
연구개발성과	○ 기술 성과 (특허출원 11건/ 등록 6건, 디자인 2건, SCI 논문 3건, 녹색인증 1건, 인력양성 5명, SW 4건) - 2018년 : 특허출원 4건, SCI 논문 1건, 시제품 1건, SW 2건 - 2019년 : 특허출원 2건/ 등록 2건, 디자인 1건, SW 1건 - 2020년 : 특허출원 5건/ 등록 4건, 디자인 1건, SCI 논문 2건, S/W등록 1건, 녹색인증 1건 ○ 사업 성과 - 2019년 : 도시재생사업 등 친환경 계획 설계 SW 사업화 매출 1억 - 2020년 : 친환경 건축설계, 모듈러건축 사업 등 사업화 매출 7.3억 - 2021년 : 디지털 그린뉴딜 및 대형 건설사, 건축설계사무소 등의 사업화 매출 30억 ○ 일자리 창출 성과 (신규 채용 26명) - 2018년 9명, 2019년 8명, 2020년 9명 신규 채용 ○ 인력양성 : 2019년 석사 2명, 2020년 석사 2명 / 박사 1명 박사 인력 양성

연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용계획 - LH공사, SH공사 등 도시재생 및 디지털 뉴딜 정책의 주거지 재생 사업 중 소규모주택정비 사업 등에 친환경 주택 공급 사업성 검토 및 기획/계획 설계 제공 - 임대주택 공급 사업에 사업성 검토 및 친환경 계획 설계 제공 (건축설계 이해당사자 간의 커뮤니케이션 및 사업성 검토안 제공) - 건축사무소의 친환경 건축설계 초기검토를 위한 계획 설계 도구로 활용 - 삼성물산, 현대건설 등 대형 건설사에 친환경 설계가 가능한 계획 및 사업성 검토안 제공 - 서울시 공간정보담당관/도시계획 부서 “버추얼서울” 플랫폼 내 건축심의 도구 활용 - LH와 3기 신도시 구축을 위한 디지털트윈 플랫폼 기술탑재를 통한 스마트시티 설계 - 재건축/재개발 지역 조합의 이해당사자 간 커뮤니케이션 도구로 활용 - 향후 건물 에너지효율등급 시뮬레이션 및 제로에너지건축물인증등급 시뮬레이션을 위한 기초자료로써 활용 - 제로에너지건축설계에 익숙하지 않은 건축가들도 3차원 지형공간정보 기반의 직관적인 사용자 인터페이스로 쉽게 활용 - 그 외 시행사 및 자산운용사 등에서 대략적 건축개요 파악 및 친환경성 분석 ○ 기대효과 - 기술적 측면 · 반복적이고 다양한 건축법규를 인공지능이 3차원 시뮬레이션 하여 자동 설계 · 국내 전체 지형 및 건물정보를 DB화 하여 친환경적 일조/일사/바람길에 대한 정확도 높은 시뮬레이션 가능 · 인공지능과 병렬처리 기술을 활용한 빠르고 정확한 친환경 건축설계 솔루션 - 경제적 측면 · 건축설계의 단순 반복적인 작업을 자동화 기술로 개발하여 업무 생산성 향상 · 자동화 설계 및 모듈러 공법을 통한 공기 단축, 그로 인한 비용 절감 · 액티브/패시브 디자인이 적용된 친환경 건축설계로 국민들의 주거의 질 향상 뿐만 아니라 에너지절감과 같은 경제적 효과가 있을 것으로 기대 - 사회적 측면 · 건물 환경 성능 개선을 설계 초기 단계부터 자동화 설계 솔루션으로 제공하여 에너지 효율 향상 및 쾌적하고 건강한 실내 환경 조성 · 직관적인 사용자 인터페이스로 건축가들의 반복적인 작업을 줄여주어 건축 산업 전반의 품질향상에 기여

국문핵심어 (5개 이내)	제로에너지건축	친환경건축	인공지능	모듈러주택	패시브/액티브 디자인
영문핵심어 (5개 이내)					

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
가. 사업화 추진 배경 ····· 1
나. 사업화 대상기술 요약 ····· 2
(1) 사업화 대상 기술의 개념도 ····· 3
(2) 국내외 유사기술과 수준 비교 ····· 3
(3) 사업화 대상 기술의 우수성에 대한 상세 설명 및 근거 ····· 4
다. 인공지능 및 친환경 건축설계 시장 ····· 5
(1) 인공지능 건축설계 시장 ····· 5
(2) 글로벌 친환경 건축설계 시장 ····· 5
(3) 국내 친환경 건축설계 시장 ····· 6
(4) 제로에너지건축물인증 솔루션 및 사업화 계획 ····· 6
2. 연구수행내용 및 성과 ····· 7
가. 3차년도 연구수행 내용 ····· 7
(1) 인공지능 기반 친환경 건축설계 시뮬레이터 개발 ····· 7
(2) 인공지능 기반 친환경 건축설계 시뮬레이터 개선 ····· 41
(3) 에너지절약형 BIPV 외벽체 시스템 제작 및 적용 ····· 41
(4) 제로에너지건축물인증등급 도출용 친환경 건축설계 최적화 기술개발 ··· 50
(5) 친환경 액티브/패시브 융합형 제로에너지건축 인공지능 단지 배치 설계 솔루션 ·· 55
(6) 태양광(재생에너지) 발전설비의 효율을 위한 분석 ····· 65
나. 연차별 성과점검 기준표 ····· 68
(1) 1차년도 성과점검기준표 ····· 68
(2) 2차년도 성과점검기준표 ····· 69
(3) 3차년도 성과점검기준표 ····· 70
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 71
4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 73
가. 초기 단계 인공지능 기반 친환경 건축설계 솔루션 활용 ····· 73
(1) 기존 친환경 건축설계의 문제점을 인공지능 기술로 해결 ····· 73
(2) 기존 모듈러공법에 액티브/패시브 디자인을 적용한 제로에너지 모듈러 설계안 개선 · 73
나. 기관별 친환경 인공지능 건축설계 솔루션 활용 방안 ····· 74
(1) 주식회사 텐일레븐 ····· 74
(2) 홍익대학교 ····· 75
(3) 한국건설기술연구원 ····· 75
다. 사업화 계획 ····· 75

(1) 건축 설계시장 현황 ····· 75
(2) 건축 통합 서비스 플랫폼으로 성장 ····· 78

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 사업화 추진 배경

○ 2017년 1월부터 “제로에너지 건축물 인증제”를 시행

○ 2025년부터 **모든 신축 건축물은 제로에너지 인증제 의무화**

○ 현실적으로, 현재의 공법 및 설계기술로 이를 구현하기에는 매우 어려움

- 신재생에너지, 즉 **액티브 기술을 구현하기 위해서는 초기 투자 비용이 많이 소요됨**
- **패시브 기술을 구현하기 위해서는** 현재의 현장에서 직접 시공하는 방식으로는 **시공의 질 저하와 하자 발생 등 에너지 부하 저감에 한계가 있음**

○ 이에 본 BM은 **최근 준공된 모듈러 주택에 액티브 및 패시브 기술을 접목시켜 향후 ZEB(Zero Energy Building) 모델 구현에 선험적이고, 선도적인 실증 기술을 구현하고자 함**

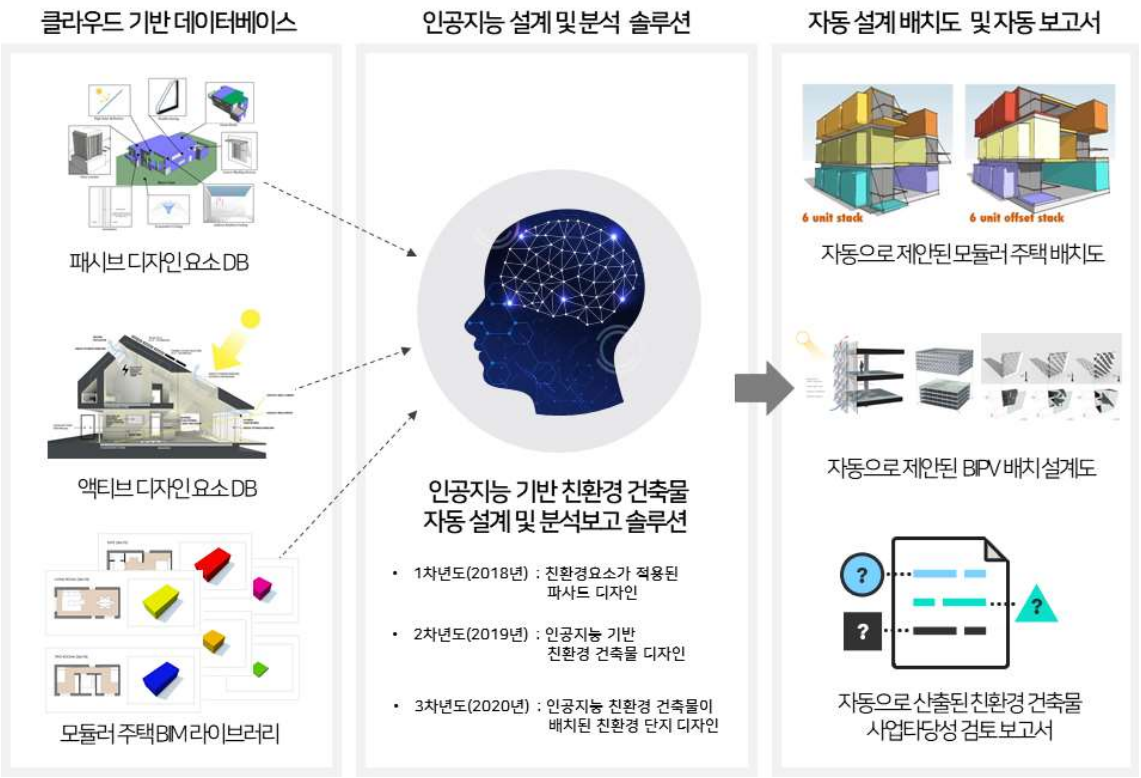
○ 특히, 액티브 기술과 패시브 기술의 최적화된 융합을 위하여 <u>인공지능 기술을 활용하여 제로에너지 주택 설계 모델 개발</u>



나. 사업화 대상기술 요약

구분	기존 보유기술 또는 이전받은 기술	사업화 기술
▪ 과제명	1) 모듈러 주택의 인공지능 기반 자동 설계 솔루션 개발 2) 인공지능 기반 건축설계도면 자동 추천 시스템 3) 일조량 적응형 건물 자동 배치 솔루션	제로에너지 건축물 인증 등급 3단계 구현을 위한 인공지능 기반 액티브-패시브 융합 친환경 건축 설계 솔루션 개발
▪ 사업화 기술 및 분야	■ 자체보유 □ (이전 받은 기관명)에서 기술이전	□ 공공기술 중소기업 이전 및 사업화 ■ 중소기업 보유기술 및 아이디어 사업화 □ 국토교통 안전기술 사업화 □ 서비스 R&D 융합기술 사업화
▪사업화 대상이 되는 기술의 지식재산권 특허, 실용신안 등 유형별 기재	(특허번호) 1) 제10-1787473호 2) 제10-1674970호	(특허번호) 1) 제10-1952587호 2) 제10-1967729호 3) 10-2018-0080532 4) 10-2019-0127789 5) 10-2019-0127748 6) 30-2019-0044038
	(특허명) 1) 용적률 극대화된 건축물 배치를 결정하기 위한 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 방법 2) 일조량 적응형 건축물 배치를 위한 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 방법	(특허명) 1) 면분할 방식을 이용한 상세한 건축물의 일사량 계산방법 2) 건물 동평면 생성 방법 3) 주택세대별 조망점수 산정 방법 4) 최대발전량을 가지는 BIPV 설계 시뮬레이션 방법 5) 건축물의 설계 방법 6) 건축용 차양장치
	(권리자) 주식회사 텐일레븐	(권리자) 주식회사 텐일레븐
▪기존 사업화 과제 신청 전 보유(이전)한 기술과 비교하여 성능 개선 등 차별화한 내용	○ 4차 산업 시대의 인공지능 기술과 건축설계 분야의 융복합 솔루션 - 3차원 지형공간정보 기반의 일조량과 용적률을 고려한 건축설계 자동배치 도면 추천 - 클라우드 기반의 건축설계 - 사업타당성 분석용 소프트웨어로 초기 배치설계 시간 단축	○ 친환경 요소기술이 적용된 인공지능 기반 건축설계 솔루션 - 건물 입면을 대상으로 태양광 발전 최적 설계 가능한 일사 시뮬레이터 개발 - 외벽체의 재질을 고려한 친환경 설계를 위하여 건물 동평면을 자동으로 생성하는 기술 개발

(1) 사업화 대상 기술의 개념도



(2) 국내외 유사기술과 수준 비교

(가) 인공지능 건축설계 분야

구분	해당기술	유사기술1(삼성물산)	유사기술2(스페이스워크)
기능 / 성능	▪ 친환경 건축 법규검토 및 사업타당성 분석 - 건축규모검토 (대-중-소 규모) - 도시계획	▪ 건축 법규검토 및 사업타당성 분석 - 건축규모검토 (대-중 규모)	▪ 건축 법규검토 및 사업타당성 분석 - 건축규모검토 (소규모)
장점 / 단점	▪ 일조/일사, 바람길, 에너지 시뮬레이션이 가능한 친환경 건축 시뮬레이션	▪ 개발 사업성만 고려하여 친환경적 요소에 대한 고려 부족	▪ 개발 사업성만 고려하여 친환경적 요소에 대한 고려 부족
경제성	▪ 비용 : 클라우드 기반 서비스로 시뮬레이션 면적당 비용 산정 ▪ 작업시간 : 50,000m^2 -> 약 30분	▪ 비용 : In-house 소프트웨어로 삼성물산에서만 비공개 사용 ▪ 작업시간 : 50,000m^2 -> 미확인 (소규모 검토 불가)	▪ 비용 : 1회 시뮬레이션 당 30만원 ▪ 작업시간 50,000m^2 -> 불가 (600m^2 이하만 가능)

구분	해당기술	유사기술1(삼성물산)	유사기술2(스페이스워크)
정확성	▪ 3차원 지형공간 정보를 활용하여 정확한 시뮬레이션 가능	▪ 2차원 평면 시뮬레이션	▪ 2차원 평면 시뮬레이션
직관성	▪ VR/AR 및 클라우드 서비스로 고객이 어디서든 PC 및 스마트폰으로 건축사업성 검토 가능	▪ 삼성물산 내부에서만 사용 가능	▪ 3차원 가시화 기능을 제공하지만 건물 규모검토 가시화 수준이며, 편집이 불가능하여 상호작용이 어려움
건축법 적용범위	▪ 모든 공동주택의 건축법 적용 가능 (아파트, 빌라, 도시형생활주택, 연립, 다세대주택 등)	▪ 아파트 규모의 공동주택에 대해서만 건축법 적용	▪ 빌라규모 1개동 수준의 공동주택에 대해서만 건축법 적용

(나) 친환경 건축설계 분야

구분	해당기술	유사기술1(레이디버그)	유사기술2(ECO2)
기능 / 성능	▪ 친환경 건축 시뮬레이션 - 일조, 일사 시뮬레이션 - 바람길 시뮬레이션 - 에너지 시뮬레이션	▪ 친환경 건축 시뮬레이션 - 일조, 일사 시뮬레이션	▪ 친환경 건축 시뮬레이션 - 에너지 시뮬레이션
장점 / 단점	▪ 초기 건축 계획설계 시 다양한 친환경 요소 검토	▪ 일반적으로 마지막 단계 일사 분석을 위한 용도	▪ 에너지 인증등급을 받기 위한 용도
사용성	▪ 누구나 편리하게 사용 가능	▪ 전문가용 도구	▪ 전문가용 도구

(3) 사업화 대상 기술의 우수성에 대한 상세 설명 및 근거

(가) 인공지능 건축설계 분야

① 건축 법규에 대한 자동 스크리닝

· 건물의 형태를 결정짓는 용도지역별 건축기준을 만족하는 설계안 도출

· 건폐율, 용적률, 정북일조, 인동거리, 대지안의 공지 등을 자동 추출하여 설계에 반영

② 건축 디자인에 해당하는 요소를 반영한 인공지능 설계

· 계획하고자 하는 건물 타입에 대한 직관적인 사용자 인터페이스

· 디자인에 해당하는 스카이라인, 통경축을 만족하는 설계안 도출

③ 지형공간정보 3차원 자동 모델링
· 계획한 사업영역의 지형 및 주변 건물정보 자동 3차원 모델링
· 정확한 스카이라인과 주변 지형 및 건물과의 형태적 연관성 파악에 용이
④ 쉽고 직관적인 사용성으로 빠르고 정확한 건축 계획설계 검토
· 기존 건축설계 시 사용되는 캐드와 3차원 모델링 도구의 반복적인 작업 최소화
· 기존 수작업으로 설계 시 5일 소요되는 시간을 인공지능 기술로 30분 안에 처리

(나) 친환경 건축설계 분야
① 일조, 일사, 바람길, 에너지를 고려한 건물의 형태 및 배치 계획
· 건물의 형태와 배치는 건축설계 초기 단계에서 결정
· 건축설계 단계가 높아질수록 형태 및 배치 디자인 변경이 어려워짐
· 초기단계부터 친환경적 요소를 고려한 건물의 형태와 배치 도출
② 건축 디자인의 친환경적 성능을 향상
· 친환경성 건물 모델링을 위해 겨울에 햇빛이 잘 도달하는 위치로 건물을 배치
· 겨울철 난방에너지요구량 최소화를 위한 친환경 채광창 계획
· 여름철 건물 내 통풍을 위한 친환경 바람길 계획
③ 자동화된 친환경 건축설계 기술로 디자인 도구의 직관성 강화
· 기존 친환경 분석 도구는 사전지식 및 복잡한 사용법으로 전문 엔지니어가 수행
· 본 과제의 결과물을 활용하면 간단한 조작만으로 초기 건물의 형태와 배치안을 도출
· 초기설계 단계부터 형태와 배치안에 대한 다양한 친환경성을 분석 수행 가능
· 다양한 친환경 설계안을 고려하여 설계자가 직접 계획안을 개선할 수 있는 환경 제공
· 직관적인 친환경 도구를 적용하여 건축물의 품질 및 설계 시간의 혁신적인 절감 예상

다. 인공지능 및 친환경 건축설계 시장

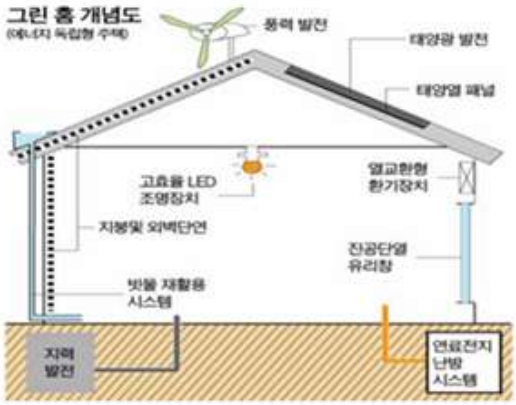
(1) 인공지능 건축설계 시장
○ 세계 인공지능 시장규모는 2017년 약 1,650억 달러로 연평균 14%의 고성장 전망
○ 인공지능 관련 건축설계는 Aditazz, Katerra, Alice Technologies, Spacemaker 등의 기업이 소프트웨어를 통한 건축설계를 수행
○ 전세계적으로 스마트건설 기술에 대규모 투자가 진행되고 있으며, Katerra의 경우 1조 5000억원, Spacemaker의 경우 300억원의 투자금 확보
○ 국내에서 추진하고 있는 인공지능 기술응용 분야는 제조업 및 서비스업 분야에 집중되어 있어 건축분야의 인공지능 연구가 매우 뒤쳐진 상황

(2) 글로벌 친환경 건축설계 시장
○ **2015년 녹색건축 시장은 167조원 규모**
○ 미국은 건축무의 에너지 효율화 관련 연방정부, 주정부, 지방정부 등 다양한 지원제도 실시, 10만 달러 이상의 보조금과 융자지원 정책이 전체의 40% 이상 차지

○ 독일 재건은행은 1%대 융자지원 사업으로 2.2조원의 재원을 갖고 가구당 최대 25%까지 그린 리모델링 공사비 지원

○ 영국, 일본도 친환경건축에 대한 국가적 재원을 이용하여 친환경 건축 지원정책 운영





(3) 국내 친환경 건축설계 시장

○ 2001년 이후 에너지효율등급 인증제도 실행

○ 2002년 이후 친환경건축물 인증제도 실행

○ 2004년 “신재생 및 재생에너지개발·이용·보급 촉진법” 개정으로 태양광 10만호 보급사업 시작, 2020년까지 주거용 신재생에너지 그린홈 100만호 보급을 목표

○ 2014년 녹색건축물 기본계획 수립 ZEB활성화 방안 발표

○ 2016년 제로에너지건축물인증제 도입예고

○ 2017년 제로에너지건축물인증제 시행

○ 2020년 공공건축물 제로에너지건축물인증 의무화

○ 2025년 민간건축물 제로에너지건축물인증 의무화

(4) 제로에너지건축물인증 솔루션 및 사업화 계획

○ 제로에너지건축물인증을 위한 조건은 건축물에너지효율등급 1++

○ 건축물에너지효율등급은 일반적으로 ECO2 시뮬레이터를 이용하여 계산

○ ECO2는 ISO13790, DIN V 18599 국제표준을 기반으로 개발된 국내 공식 건물에너지 성능평가 프로그램

○ 본 연구는 DIN V 18599 기준으로 패시브 성능 계산을 위한 에너지 요구량을 계산하고 ECO2를 모사할 수 있는 인공지능 솔루션을 개발하여 제로에너지건축물 인증등급을 대략 계산할 수 있는 솔루션을 개발

○ 향후 친환경 건축 관련 협회와 연계하여 솔루션에 대한 인지도 향상을 모색 중

○ 인공지능 기반 친환경 건축설계 솔루션의 빠르고 다양한 친환경 건축설계 사례를 발굴하여 업계인지도 향상을 도모

2. 연구수행내용 및 성과

가. 3차년도 연구수행 내용

(1) 인공지능 기반 친환경 건축설계 시뮬레이터 개발: 패시브 주거단지 배치안 도출

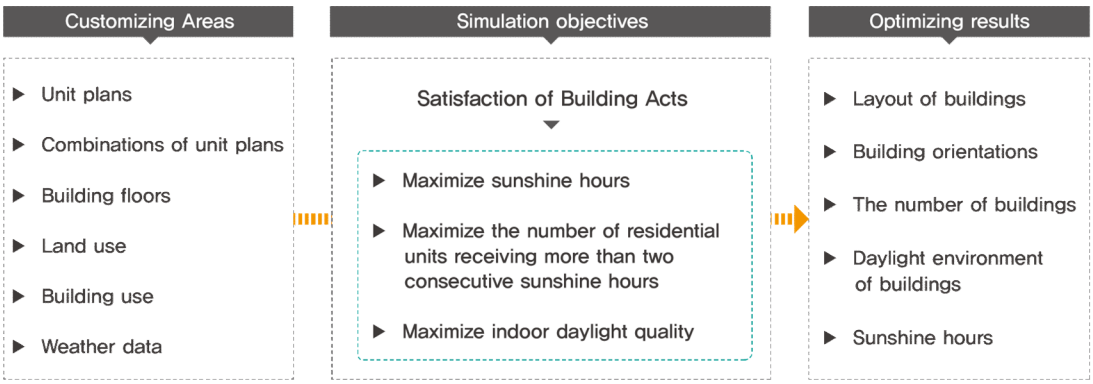
(가) 주거단지 배치에 따른 빛 환경 분석 : 일조 관련 법규 검토 및 단지 배치에 따른 일조 시간

○ 연구 배경 및 목표

- 거주자 생활 만족도에 큰 영향을 주는 요소 중 하나인 실내 빛 환경에 초점을 맞추어 다양한 도시 맥락 안에서도 적합한 건물 배치 방법을 찾아낼 수 있도록 도와주는 시뮬레이션 방법론 개발 목표
- 특히, 한국의 도심지는 굉장히 좁은 지역에 고층 건물이 들어서는 형태로 형성되고 있음. 이러한 현상 때문에 건물의 그림자가 다른 건물의 일조권에 악영향을 주기 쉬워 한국의 건축법은 건물 간 인동거리 간격에 관한 규정이 상당히 많고 복잡한 실정
- 실내 빛 환경에 초점을 맞추어 다양한 도시 맥락 안에서도 적합한 건물 배치 방법을 빨리 찾아낼 수 있도록 도와주는 시뮬레이션 방법 개발 목표
- 한국의 대표적인 아파트 형태로는 판상형, 타워형, L자형 아파트가 있어 이를 대상으로 함
- 현재 판상형 아파트의 배치 형태는 주변 환경과 관계없이 일괄적으로 남향을 바라보며 단조롭게 형성
- 과연 남향만을 바라보는 배치 형태가 정말 일조시간 확보에 가장 좋은 배치 형태인지 확인

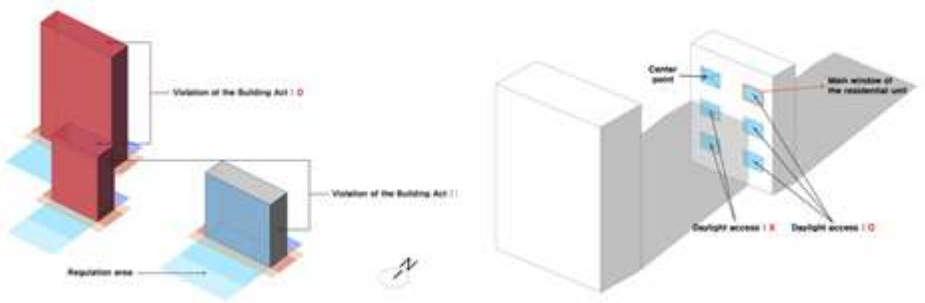
○ 법규 체크 및 분석 과정

- 실내 빛 환경에 초점을 맞추어 다양한 도시 맥락 안에서도 적합한 건물 배치 방법을 찾아낼 수 있도록 도와주는 시뮬레이션 방법 개발



<시뮬레이션 프로세스 및 최적화 목표>

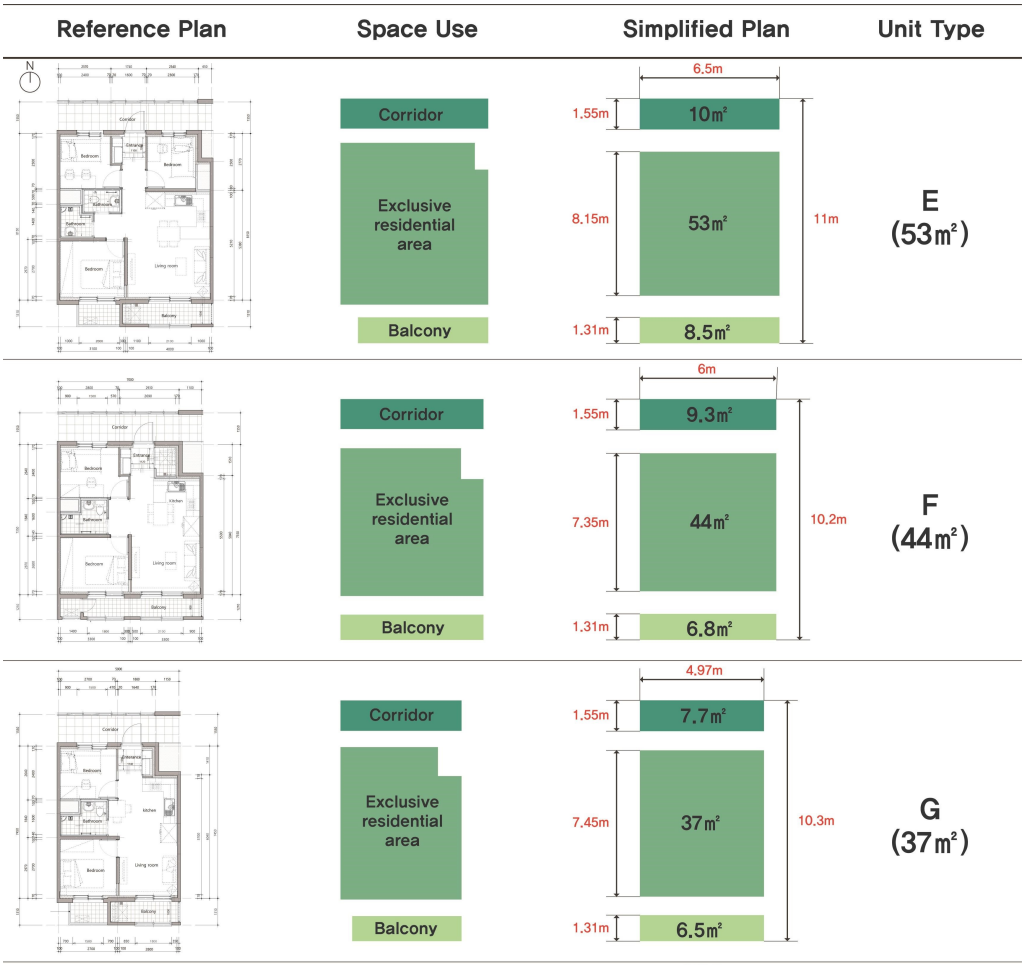
- 국내 건축법에 따르면 대표적으로 고려해야 할 사항은 건물의 용도에 따른 건폐율 용적률, 채광창에 따른 인동거리 간격, 건물 용도에 따른 인동거리 간격, 공지에 접한 경우의 일조권 확보 거리, 도로너비에 따른 건축선 이격, 일조권 등이 존재
- 건축법규를 어기면 시각적으로 파악할 수 있게 알고리즘을 구성하고 법규에 맞지 않는 사항을 발견하였을 때 건축법에 저촉되는 건물의 색상이 붉은색으로 바뀌게 설정



<건축법 저촉시 붉은색으로 변화하는 아파트 객체(좌), 각 세대별 일조 여부를 파악하는 방법(우)>

○ 건물 생성 및 분석 과정
- LH공사에서 이용되고 있는 공동주택 평면도를 이용하여 평면을 복도 공간 크기, 전용주거 공간 면적 크기, 발코니 크기 3개로 나누어 각각의 가로세로 크기와 면적을 산출
- 시뮬레이션 분석을 보다 용이하게 만들기 위하여 면적은 그대로 유지한 채로 직사각형 형태로 변화시켜 적용했으며, 코어 공간의 면적은 제외
- 각기 다른 유형의 세대들을 여러 가지 순서로 조합할 수 있고, 층수 역시 변화시킬 수 있어 다양한 종류의 공동 주거 건물의 생성 가능

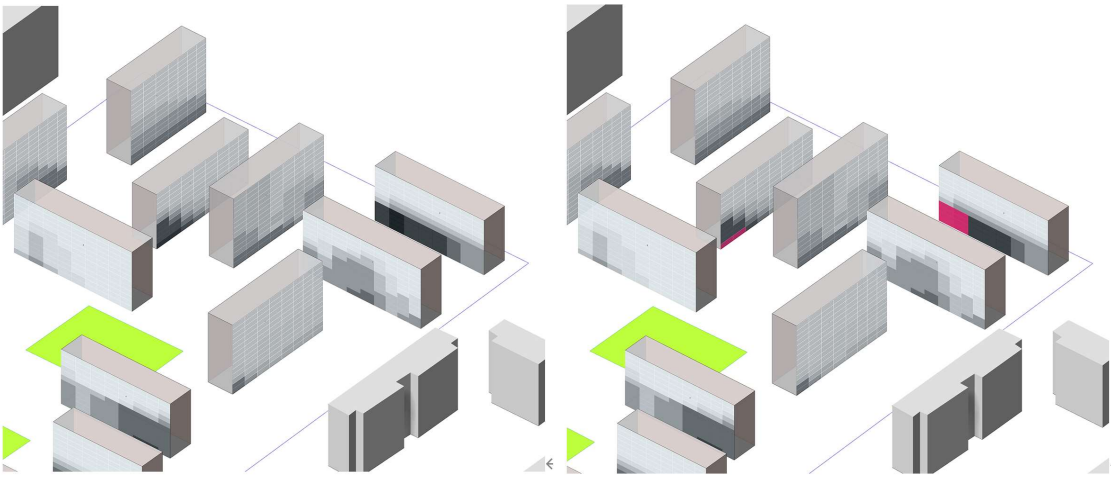
○ 건물 배치 방식 및 분석 과정
- 건물을 배치하고자 하는 대지 용도를 설정하면 건축법에 따른 최대 건폐율, 용적률을 넘지 않도록 앞서 조합된 건물들이 추가 생성
- 생성된 건물들은 직육면체로 구성되어 면마다 속성이 적용되고 해당 면 속성에 따라 건물과 건물 간 또는 건물과 건축선 간의 법적인 이격 거리가 계산
- 기본이 되는 건물의 향을 설정 가능하며 기존 향 기준으로 0도, 90도 회전되어 배치되는 두 가지 형태로 무작위로 선택 됨
- 대지 내부에 배치하고 싶지 않은 지역을 설정하여 해당 지역을 제외한 나머지 공간에 건물들이 배치되도록 설정



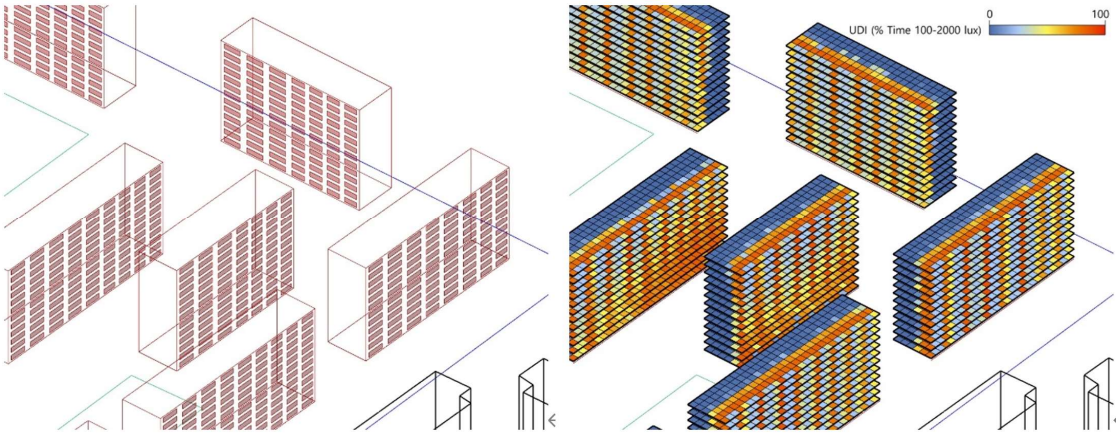
<시뮬레이션에 이용되는 일부 기준 평면들>

○ 건물 일조 시간 분석 과정

- 한국의 경우 동지(12월 21일), 9시부터 15시를 기준으로, 각 주거세대에 들어오는 일조시간으로 빛환경을 평가하는 법규 항목이 존재
- 각 세대의 주요 창문이 그림자에 의해 가려지는 정도로 일조 여부를 판단
- 각 세대별로 일조가 들어오는 시간에 따라 색 표현을 다르게 하여 시각적으로 쉽게 파악할 수 있게 하였고, 9시부터 15시 사이, 총 6시간 전부 일조가 들어오면 하얀색으로 전혀 일조가 안 들어오면 검은색이 되도록 표현
- 연속 일조 2시간이 들어오지 않는 세대 역시 파악할 수 있도록 알고리즘을 구성하여 해당 사항에 걸리는 세대는 자주색으로 표현
- 실내 빛환경에 대한 평가를 하기 위해 Useful Daylight Illuminance를 기준으로 시뮬레이션
- UDI는 1년 동안 설정된(100~2000lux)유효조도를 충족하는 시간을 %로 나타내는 값으로 실내 빛환경을 보기 위해 주로 사용
- 각 세대별로 얼마나 적절한 조도가 제공 되는지 평가를 하기 위해 Useful Daylight Illuminance를 기준으로 시뮬레이션
- 빛환경을 분석하기 위해 사용된 재료값은 아래 이미지와 같음



<일조시간에 따른 각 세대별 색상 표현>



<UDI 분석 예시>

○ 최적화 프로세스

- 법규는 기본적으로 만족하면서 빛환경을 바람직하게 조성할 수 있는 단지 배치를 찾을 수 있도록 알고리즘을 구성
- Rhino-Grasshopper에 있는 갈라파고스 컴포넌트에 내장된 유전 알고리즘을 통해 단지 배치 최적화를 시도
- 유전 알고리즘은 크게 1) 적합도 계산, 2) 염색체 선택, 3) 자손 생산, 4) 돌연변이 생성 4가지 단계로 이루어 짐
- 필요로 하는 값에 도달하기 까지 해당 단계를 반복시켜 최적화 시키는 알고리즘 프로세스
- 다음은 본 연구에서 사용된 적합도를 계산하기 위한 수식임

Setting values		Derived values		Variables	
L_k	Land use	N_{max}	Number of all created buildings	θ	Rotation angle of buildings
B_k	Building use	h	Building height (m)	$x_k y_k$	Footprint centroid
W	Weather data	V	Building volume (m^3)		coordinates of buildings
U_k	Unit plans	n	Total number of residential unit	.	
F	Building floors	a_k	Sum of the sunshine	.	
$\vec{C}$	A building		hours of each residential unit	.	
	by combination	p	Total sum of residential units	.	
	of unit plans		satisfying more than two	.	
.			consecutive sunshine hours	.	

[수식에 사용된 기호 설명]

$$f(\vec{v}) = g(\vec{v}) + h(\vec{v}) + i(\vec{v}) \ , \ T = N_{max}$$

$$\vec{v} = (x_1, y_1, \theta_1, \cdots, x_k, y_k, \theta_k)$$

$$g(\vec{v}) = \frac{1}{7n}\sum_{t=1}^{n} a_t$$

$$h(\vec{v}) = \frac{p}{n}$$

$$i(\vec{v}) = UDI\ mean$$

○ 알고리즘 적용 지역 아파트 단지 특성

- 압구정 한양아파트 1차(B), 3차(A) 단지가 연구에서 개발된 최적화 방안을 적용해 보기 위한 사이트로 선정
- A, B 지역 둘을 합쳐서 시뮬레이션하여 대지면적에 따라 A, B 두 지역을 합친 평균값으로 계산
- 본 시뮬레이션에서는 L자형 건물의 경우 2개의 건물로 나누어 독립된 건물로서 고려하였고 단지 특성에 대한 사항은 아래 표에 정리

District	Land use	Land area	Current BCR	Current FAR	Number of buildings	Building floors
A	B-3 zoning district	21,073.5㎡	22%	293%	5	13
B	B-3 zoning district	38,323.4㎡	17%	211%	10(12) [1]	12
A + B	B-3 zoning district	59,396.9㎡	19% [2]	240% [2]	15(17)	12, 13

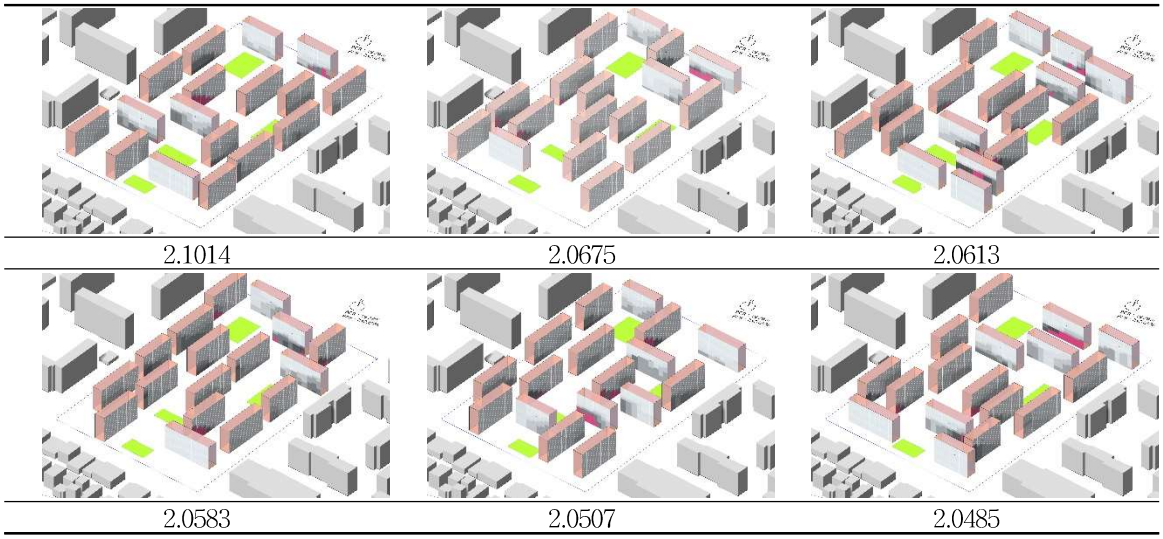
[1] 괄호 안의 숫자는 L 타입 건물을 2개로 산정 했을 때 나오는 숫자.

[2] 대지 크기에 따른 평균값.

[압구정 한양아파트의 건물 및 대지 특성]

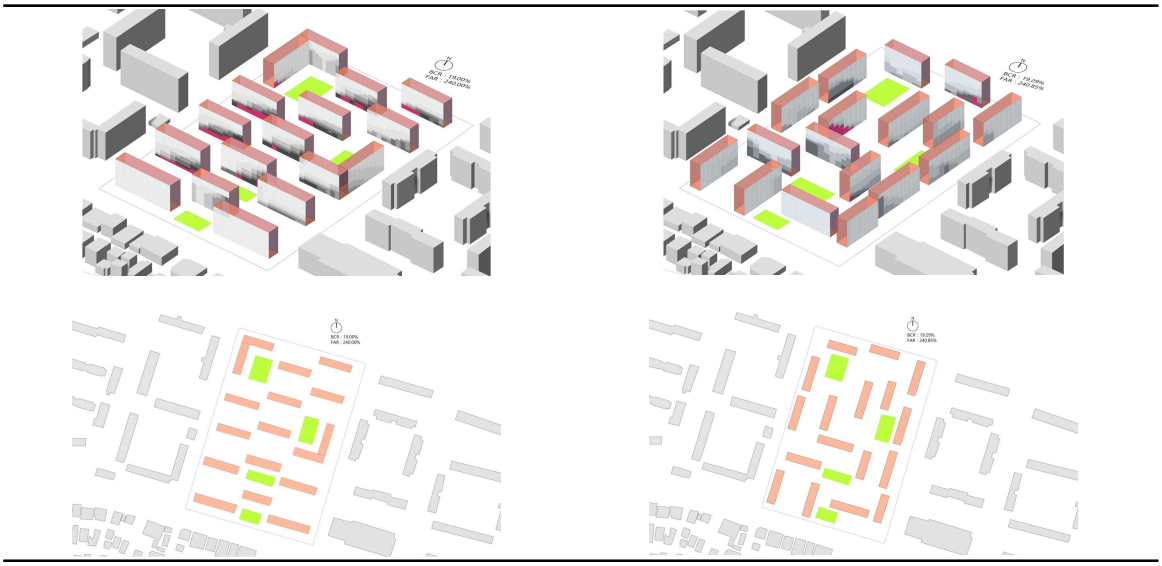
○ 최적화 결과

- 건폐율, 용적률의 경우 실제 한양아파트가 19%, 240%이며, 시뮬레이션의 경우 각각 19.29%, 240.85%로 가능한 유사하게 설정
- 기존 한양아파트 단지 내부에 존재하는 공원의 위치 역시 똑같이 지정하여 해당 지역은 건물이 배치되지 않도록 설정
- 해당 조건 아래에서 유전 알고리즘을 통해 단지 내의 전체 세대를 고려했을 때 가장 빛환경이 좋은 배치를 찾아내도록 시도



[점수가 가장 높게 나온 6개 배치안]

- 유전 알고리즘의 경우 1세대의 개수를 100개로 설정하였고 Fitness value 상위 10개가 다음 세대로 정보를 넘겨주도록 설정
- 총 1300번의 시행 횟수를 거쳐 12세대까지 최적화가 진행되었고 가장 높은 점수를 가진 배치 안은 2.1점이 도출



[기존 배치(좌측)와 개선된 배치(우측)의 비교]

○ 결론

- 한국 실정에 맞는 일조시간 분석을 할 수 있도록 하였고 이를 통해 빛환경을 최대화 할 수 있는 계획안을 도출
- 다양한 변수를 고려하여 파라메트릭으로 계획할 수 있는 방식을 만들어 두었으며 이는 친환경 설계를 포함한 초기 단계 계획 시 빠른 친환경 의사결정이 가능
- 각 세대마다 빛환경 상황이 어떤지 알 수 있는 알고리즘을 추가하여 주거 세대를 이용하는 주민들에게 더 나은 빛환경 제공 가능
- 일반적인 방법으로는 다양한 변수를 모두 고려하여 건물 배치 계획 및 매스 디자인을 하기 힘들기 때문에 최적화 방법 중 하나인 유전 알고리즘을 통해 최고의 경우의 수를 도출
- 다양한 안을 서로 비교하여 가장 원하는 조건에 부합되는 배치안을 선택하여 공동주거 단지를 설계하는 건축가들은 앞서 분석된 결과물을 그대로 이용하거나 일부 참고하여 더 빠른 시간 안에 더 좋은 빛환경을 가진 계획안 제안이 가능

○ 일조 분석과 제로에너지건축물인증

- 실내환경에서의 자연채광은 조망, 위생, 건강 나아가 업무 생산성 향상과 삶의 질에 이르기까지 많은 개념을 내포하고 있는 패시브요소
- 자연채광은 에너지소비 관점에서 난방부하 및 조명부하 절감을 담당
- 또한, 추후 태양광 발전설비를 건물 입면에 설치 시, 위치 선정에 이용될 수 있으며 발전량에 1차적인 영향을 미치는 중요한 요소로 작용
- 현행하는 에너지소비관점의 인증시스템에서 정량적 비율이 당장 많은 부분을 차지하지 않더라도, 이러한 패시브 요소가 고려된 설계가 결국은 에너지소비절감에 직접/간접적으로 기여

(나) 주거단지 배치에 따른 빛 환경 분석(2): **일사데이터 실증**

○ 일사량 시뮬레이션 검증

- BUILDIT의 빛환경 시뮬레이션 프로그램의 정확도를 증명하기 위해 Ladybug의 일사 분석 결과와 BUILDIT의 일사 결과 분석 결과를 비교
- MAPE를 활용하여 오차율이 얼마나 차이 나는지 파악하였으며, 이를 통해 BUILDIT 프로그램의 분석 정확도를 검증
- 두 프로그램 간의 정확한 비교를 위해 가능한 동일한 조건으로 분석을 진행하였으며 해당 조건은 아래 표와 같고 전체적인 프로세스는 아래 그림과 같음
- 간단한 Box 모델에서 복잡한 건물의 형태까지 일사 분석의 복잡도 5단계로 높여가면서 비교분석

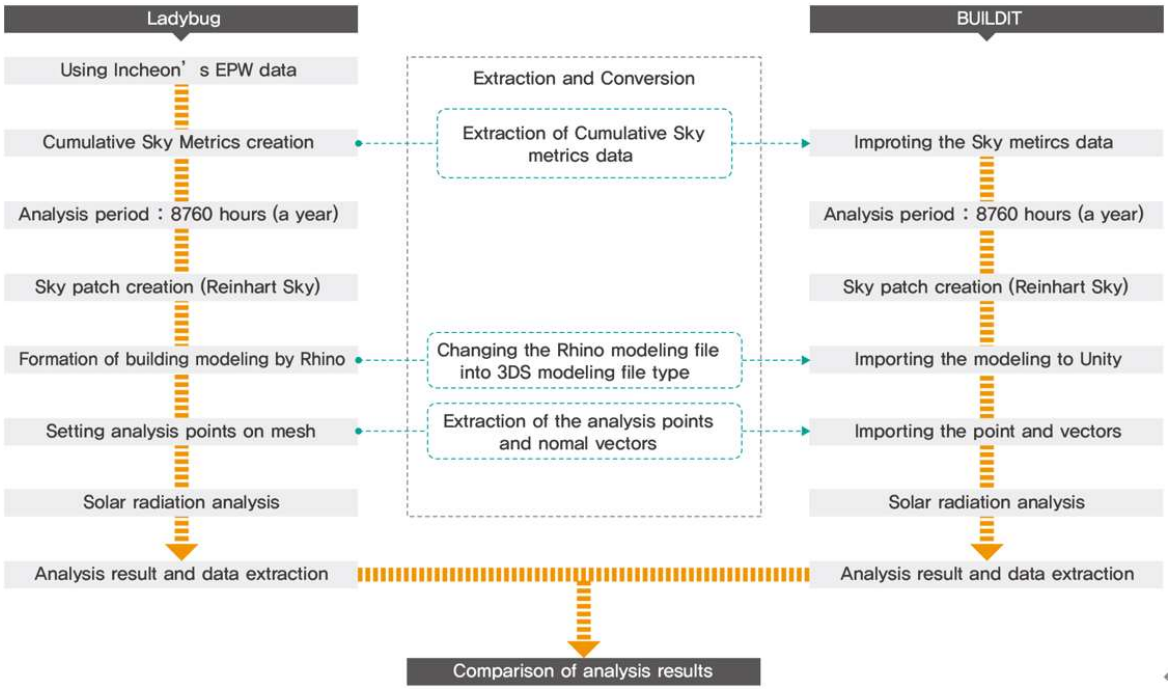
Test number	Contents
Test 1	Simple box

Test 2	Simple box with shading
Test 3	Sphere with shading
Test 4	Building shape with shading
Test 5	Building shape with windows and shading

[5가지 단계의 모델링 방법]

Category	Ladybug	BUILDIT
Climate data	Cumulative Sky Metrics based on Incheon's Energy Plus weather file (EPW)	Imported Cumulative Sky Metrics fr om Ladybug
Analysis period	8760 hours(a year)	8760 hours(a year)
Sky patch type	Reinhart Sky	Reinhart Sky
Modeling tool	Rhino	Unity
3D Modeling type	Mesh and Non-Uniform Rational B-spline(NURBS)	Mesh(Imported modeling file from R hino)
Analysis point	Center point of each Mesh faces	Center point of each Mesh faces

[레이디버그와 빌드잇의 시뮬레이션 설정]



<일사 시뮬레이션 분석 프로세스>

○ 분석 정확도 향상을 위한 보간 방법 적용

- 기존 빛환경 시뮬레이터들은 기상센터에서 제공하는 날씨 데이터를 가져와 그대로 이용하고 있는 상황
- 에너지공단에서 제공하는 **전국 기후 데이터는 16개 지역일 뿐**이며 이는 전국을 대표하기에는 부족한 현실

- 빛환경 분석의 경우 날씨데이터에 굉장히 의존하여 결과가 나오기 때문에 그 지역의 정확한 날씨 데이터를 가져오지 못해서 해당 데이터의 신뢰도가 떨어지면 필연적으로 분석 결과의 정확도 역시 낮아짐. 그렇기에 주변 날씨 데이터를 가져오는 방식에 대한 문제를 보완할 방법이 필요
- 기후 데이터가 없는 지역을 보다 정확하게 분석하기 위해 보간 방법을 이용하였고, **전 지역을 1km 간격으로 기후 데이터를 재형성하여 전국 어디를 분석**하든 더욱 정확한 일사 분석이 가능
- 보간된 기후 데이터를 사용하여 분석하는 것이 분석 지점에서 근접해 있는 기후 데이터를 이용하는 것보다 더 나은 결과값을 나타낸다는 것을 보여주기 위해 다음과 같은 방법을 시도
- 실제 기상 데이터가 존재하는 16개 도시를 분석할 기준 도시로 선정하고 도시별 가장 가까운 도시 1개를 함께 지정

Name of cities	The closest city	Distance between two cities (km)
Busan	Daegu	87
Chuncheon	Seoul	74
Cheongju	Daejeon	33
Daegu	Pohang	72
Daejeon	Cheongju	33
Gwangju	Mokpo	59
Jeonju	Daejeon	62
Jinju	Daegu	84
Gangneung	Wonju	95
Mokpo	Gwangju	59
Pohang	Daegu	72
Seosan	Incheon	78
Seoul	Incheon	29
Wonju	Cheongju	86
Incheon	Seoul	29
Jeju	Mokpo	144

[지정 도시와 해당 도시에서 가장 가까운 다른 도시]

○ 일사량 비교분석

- 절대 백분율 편차를 활용하여 일사량의 포인트별 일사량 오차 평균치와 분석된 오차율 중 최대치, 최소치가 얼마나 나타나는지 파악
- **모든 테스트에서 평균 오차 비율이 0.00017% 이하**로 나타났으며, Test 순서에 따라 점차 복잡도가 증가하지만, 오차율에는 유의미한 변화 없음
- Test 전체 평균 오차율은 0.000077%, 최대치 평균은 0.033054%, 최소치 평균 0%로 나왔으며, 가장 오차가 심했던 결과도 0.163500%이므로, 프로그램 간의 분석 결과값이 거의 오차 없이 동일한 것으로 확인

Test number	Mean Absolute Percentage Error	Maximum Absolute Percentage Error	Minimum Absolute Percentage Error
Test 1	0.000170%	0.000852%	0 %
Test 2	0.000033%	0.000093%	0.000001%
Test 3	0.000108%	0.000723%	0 %
Test 4	0.000041%	0.163500%	0 %
Test 5	0.000034%	0.000100%	0%
Total1	0.000077%	0.033054%	0%

[1] Mean value.

[테스트 조건별 절대값 오차]

○ 보간 일사데이터 비교분석

- BUILDIT은 16개 기상 센터에서 제공되는 TMI날씨데이터를 활용해 그 중 전일사량을 보간하여 새롭게 데이터를 생성하고 이를 분석에 자동적으로 사용되도록 개발
- 보간된 데이터를 이용하는 것이 얼마만큼의 효용성이 있는지에 대한 의문이 있으므로 해당 유용성을 보여주기 위한 연구를 진행
- 일사량 시뮬레이션을 하기위해서는 전일사량 뿐만이 아니라 최소한 수평면 산란 일사량과 직달 일사량이 필요
- 오차를 줄이기 위해 TMY 데이터 단계에서 보간하는 것이 아니라 전일사량 및 직산분리를 통해 나온 직달 일사량, 산란 일사량으로 형성된 Sky patch를 보간
- 단순한 직육면체 형태의 Simple Box에 조사되는 일사량과 실제 건물을 토대로 모델링 하여 복잡한 형태의 건물에 조사되는 일사량을 보는 두 가지로 분석
- 복잡한 형태의 건물은 **천안시 두정동에 있는 LH 공사 모듈러 실증주택을 분석** 대상 건물로 지정
- 3D Simple box의 경우 6563개, **천안두정 모델링의 경우 8001개의 분석 포인트를 설정**
- 해당 포인트별 전체 일사량(kWh), 단위 면적당 평균 일사량(kWh/m2) 분석
- 16개 도시 중 11개 도시가 보간된 데이터를 이용하는 것이 더 좋은 결과가 나왔으며, 대구, 대전, 목포, 강릉, 원주는 반대의 결과를 보여주는 도시. 가장 낮은 오차를 보여주는 도시는 광주였으며 다음은 부산
- **복잡한 형태의 모델링을 분석하여도 거의 동일한 결과가 도출**



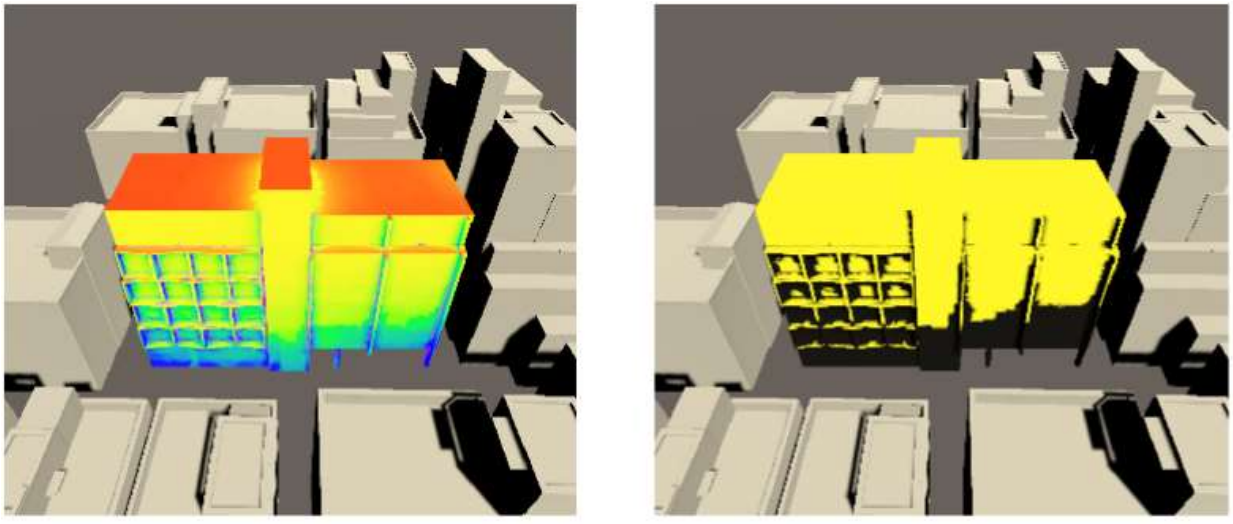
<LH 공사 모듈방식 실증주택의 3D 모델링.>

Standard Cities	RMSE between interpolated data and original data	RMSE between the closest city's data and original data
Busan	9.0391	39.9823
Chuncheon	32.6300	71.7890
Cheongju	58.4103	69.2927
Daegu	52.5794	49.9623
Daejeon	72.7336	69.2927
Gwangju	8.0933	50.8029
Jeonju	74.1061	88.5714
Jinju	72.8546	75.7371
Gangneung	35.6304	24.6292
Mokpo	66.4357	50.8029
Pohang	47.7759	49.9623
Seosan	19.6704	19.8412
Seoul	88.7979	100.9437
Wonju	26.0826	19.0689
Incheon	76.9751	100.9437
Jeju	142.3167	143.0066

[간단한 박스 형태 모델링의 1년 평균 일사량 오차 분석]

Standard Cities	Comparison of RMSE with original weather data	
	RMSE between interpolated data and original data	RMSE between the closest city's data and original data
Busan	5.6836	29.2970
Chuncheon	21.7269	48.2550
Cheongju	32.9944	40.1105
Daegu	36.4886	35.0553
Daejeon	44.5293	40.1105
Gwangju	6.9780	35.4430
Jeonju	50.1161	59.1222
Jinju	49.4638	52.0668
Gangneung	25.2517	18.1483
Mokpo	45.3569	35.4430
Pohang	32.2571	35.0553
Seosan	9.9656	11.2555
Seoul	58.6256	65.7836
Wonju	14.3662	8.76543
Incheon	50.6789	65.7836
Jeju	96.5365	96.8122

[복잡한 형태 모델링의 1년 평균 일사량 오차 분석]



<입면에 떨어지는 일사량 분석과 연간 평균 일사량이 800kWh인 부분 분석>

○ 결론

- 동일한 날씨 데이터를 이용할 경우 레이디버그와 빌드잇의 일사량 계산 결과는 오차가 거의 0% 이며, 분석 결과가 거의 동일한 것으로 해석되고, 분석 정확도가 높음
- 날씨 데이터가 없는 지역의 분석 정확도를 높이기 위해서 사용된 기후 데이터 보간 방법은 기존 분석 방법인 근처 도시의 기후 데이터를 가져와 분석하는 방법보다 더 효과적

- 분석 3D 모델의 복잡도를 변화시켜도 분석 결과는 거의 동일한 결과를 나타내며, 실제 프로젝트에 활용되는 수준의 분석에도 충분히 활용 가능
- 16개 도시 중 11개 도시가 보간된 데이터를 이용하는 것이 더 좋은 결과를 나타낸 것을 보여주었으며, 모든 지역에서 긍정적인 결과를 보여주는 것은 아니므로 이를 보완할 다른 방식을 찾는 것이 향후 과제

(다) 주거단지 배치에 따른 열 환경 분석: **단지 배치에 따른 열 쾌적성**

○ 분석 계획

- 단지 내부의 건축물 배치를 달리하여, 이에 따른 바람순환, 열 분포 그리고 열 쾌적성에 미치는 영향을 분석
- 이를 비교하기 위하여 아래 표와 같은 세 가지 모델을 구축
- 배치모델 M0는 14층에서 16층 사이의 판상형 건축물이 주를 이루고 있으며, 대상지 북축과 서측의 건축물들은 도로 및 단지 경계를 따라 중정형으로 배치
- 대상지의 중앙과 남동쪽의 건축물들은 남향으로 나란하게 배치

Envi-met 시뮬레이션을 위한 모델

M0	M1	M2
		

시뮬레이션 입력조건

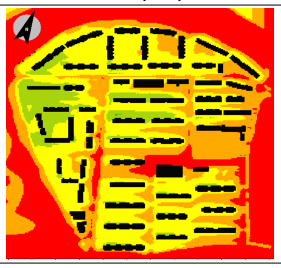
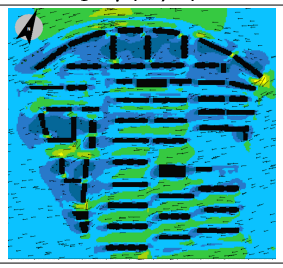
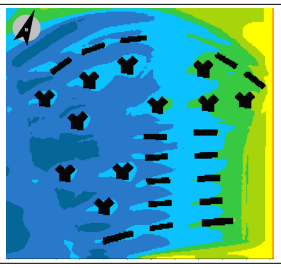
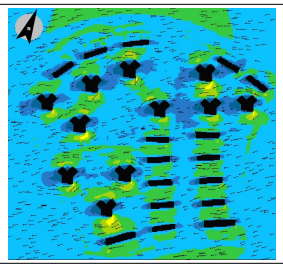
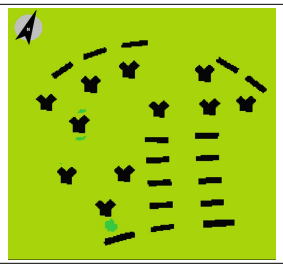
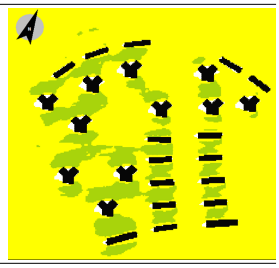
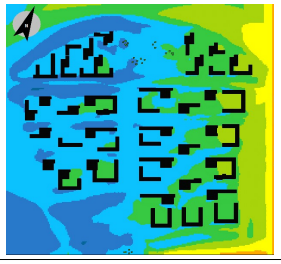
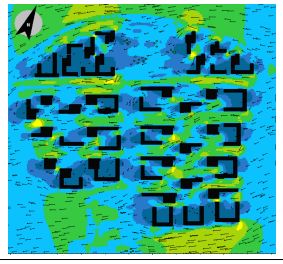
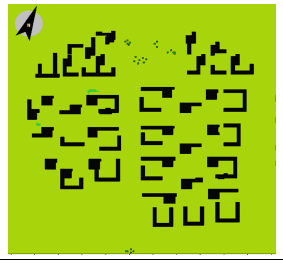
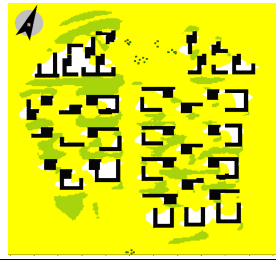
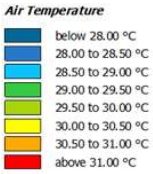
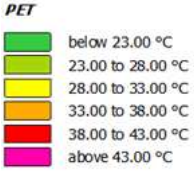
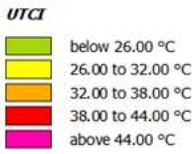
Time and day	15:00 August 5, 2016
Air temperature	26.5 ℃
Wind direction	56.5 °
Wind speed at 10m above ground level	1.6m/s
Solar adjustment factor	0.9

[단지 내 건축물 배치에 따른 시뮬레이션 모델 및 분석조건]

- 배치모델 M1은 고층의 탑상형 건축물과 저층 판상형 건축물이 혼재되어 있으며, 45층에서 50층 사이의 고층 탑상형 건축물이 주를 이루기 때문에 상대적으로 인동간격이 크게 증가되고, 한강변으로부터 북측 건축물까지의 거리 확장

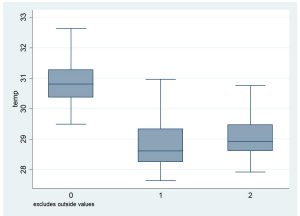
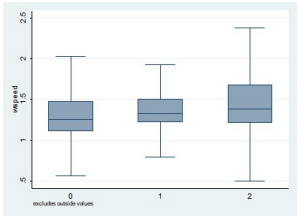
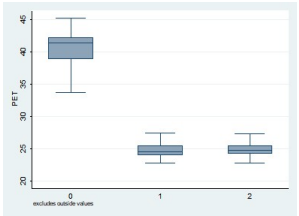
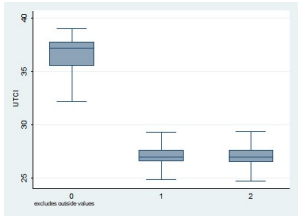
- 대상지 중앙의 남북 방향으로 계획 된 도로면 양측으로 저층의 판상형 건축물이 대칭으로 배치되었으며, 이로 인하여 판상형 건축물의 단변 간 거리가 증가
- 배치모델 M2는 대상지 남쪽의 준주거용지와 북쪽 한강변의 수변공간이 계획 되었으며, M1과 마찬가지로 남북 방향으로 계획된 도로면 양측으로 12~16층 사이의 판상형 건축물과 30~40층 사이의 탑상형 건축물이 U자 형태로 배치
- 2016년 8월 5일 오후 3시의 대상지 일대의 피복 구성 변화에 따른 풍속, 온도, 열쾌적성(PMV, PET, UTCI)을 분석하기 위하여 오전 11시부터 오후 5시까지 6시간 동안의 시뮬레이션을 수행
- 시뮬레이션 구동에 있어 처음, 마지막 시각의 분석결과물이 초기화 및 수렴 오류가 발생 할 수 있기에, 분석하고자 하는 시간대에서 충분한 여유 구간을 설정하기 위하여 6시간의 시뮬레이션을 수행
- 풍속 및 풍향, 온도와 관련된 분석조건은 2011년부터 2016년까지의 기상청 자료를 바탕으로 평균풍속 1.6m/s, 주풍향 56.5°, 초기온도 값 26.5℃의 입력 값을 설정
- 이 외의 토양 특성, 습도, 태양 복사에너지, 운량, 난류모델, 측면의 경계조건, 식생의 증발조건 등의 입력은 ENVI-met의 기본 값을 적용

○ 시뮬레이션 분석 결과
- 풍속 부문에서 M0의 평균풍속이 가장 낮게 나타나며, 대상지 서쪽과 북쪽의 중정형 건축물 배치 안쪽으로 풍속이 1.0m/s 이하의 영역이 다수 분포
- M1은 전반적으로 1.0~1.5m/s의 바람이 동쪽에서 서쪽으로 불고, 판상형 건축물의 장변 사이를 지날 때 1.5~2.0m/s으로 일시적으로 가속하는 것을 확인
- M2는 M0와 같이 중정형 배치를 안쪽 대부분의 지역에서 1.0m/s 이하의 영역이 다수 나타나고 있으나, 그 외 영역은 1.5~2.0m/s의 바람이 단지 내부를 통과
- 온도 부문에 있어서 배치 모델 별 평균온도는 M0에서 가장 높게 나타났으며, M1과 M2를 비교하였을 때 상당한 수준의 차이가 육안으로 확인
- 세 모델 모두 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 단지 내부의 온도가 낮아지는 경향을 나타내고 있으며, 그 경향성이 풍속이 1.5~2.0m/s인 영역과 대부분 일치
- 열 쾌적성 지표인 PET와 UTCI부문에서는 두 지표 모두 온도가 주요 요인으로 작용하기 때문에, PET와 UTCI의 분석 결과 역시 M0에서 가장 높게 나타나며, M1과 M2와 비교하였을 때 큰 차이가 존재
- M1과 M2의 열 쾌적성 지표는 이미지 상으로 보았을 때 큰 차이가 나타나지 않지만, 대부분의 영역이 23~28℃로 나타나는 PET와 달리 UTCI 분석결과는 26~32℃의 영역과 26℃미만의 영역으로 명확하게 구분이 되며, 이 때 26℃미만의 영역은 온도 분석 결과와 마찬가지로 풍속 분석결과 이미지 상의 1.5~2.0m/s의 영역과 유사

모델	온도(℃)	풍속(m/s)	PET(℃)	UTCI(℃)
M0				
평균	30.97	1.27	39.70	35.31
M1				
평균	28.81	1.35	25.29	27.37
M2				
평균	29.05	1.41	25.50	27.41
범례				

[단지 내 건축물 배치에 따른 시뮬레이션 분석결과]

○ 기술 통계

온도(℃)	풍속(m/s)	PET(℃)	UTCI(℃)
			

[단지 내 건축물 배치 변화에 따른 열 쾌적성 시뮬레이션 결과]

- 위의 표는 단지 내 건축물 배치 변화에 따른 온도, 풍속 그리고 열 쾌적성 지표인 PET, UTCI의 분석 결과
- M0의 평균풍속은 1.27 m/s로 세 모델 중 가장 낮으며, 표준편차는 0.34, 범위는 0.30~2.94

- M2의 평균풍속은 1.41 m/s로 세 모델 중 가장 높으며, 표준편차는 0.41로 세 모델 중 가장 높으며, 범위는 0.30~3.26
- M0의 평균온도는 30.97℃로 세 모델 중 가장 높으며, 범위는 29.49~33.44로써 최솟값과 최댓값 모두 세 모델 중 가장 높음
- M1의 평균온도는 28.81℃로 세 모델 중 두 번째로 높으며, 범위는 27.63~30.29로 최솟값과 최댓값 모두 세 모델 중 가장 낮음
- 열 쾌적성 지표인 PET와 UTCI의 모델 별 분석 결과는 그 경향성에 있어 상당히 유사하게 나타났으며, M0은 PET와 UTCI 모두 평균, 표준편차 그리고 범위의 최솟값, 최댓값에 대해 모두 세 모델 중 가장 높음
- M1은 PET와 UTCI 모두 평균과 표준편차는 M2보다 낮았으며, 범위의 최솟값, 최댓값은 M2보다 높음
- 각 모델의 PET, UTCI 평균 수치에 대한 열 인지 단계는 PET와 UTCI 모두 M0가 Hot(strong heat stress) 단계로, M1과 M2는 Slightly warm(slight heat stress) 단계

○ ANOVA 분석

Model	Variable	F-statistics	p-value
M0, M1, M2	Temperature	1991.91	< 0.01
	Wind speed	1.4e+05	< 0.01
	PET	3.7e+05	< 0.01
	UTCI	3.9e+05	< 0.01

[단지 내 건축물 배치 변화에 따른 부문별 ANOVA 분석 결과]

- ANOVA 분석은 3개 이상의 그룹간의 평균을 검정 할 때 사용하는 분석방법
- 본 연구에서는 기술통계를 통해 공동주택단지의 배치변경에 따른 세 가지 모델의 평균풍속, 평균온도 그리고 열 쾌적성 지표(PET, UTCI)의 평균에 차이가 있음이 확인
- 이후 모델 간의 평균풍속 차이에 대한 통계적 유의성을 검증하기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 수행
- 세 모델 간의 ANOVA 분석결과 f-value는 풍속이 1991.91, 온도가 1.4e+05, PET가 3.7e+05, UTCI가 3.9e+05로 나타났으며, 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의함
- 이 결과는 세 모델을 비교 했을 때 적어도 하나의 유의한 차이가 있음을 의미 할 뿐, 각 모델 간의 구체적인 통계적 유의한 차이는 확인 할 수 없음

○ Bonferroni 검정

- ANOVA 분석을 통해 세 모델 사이에 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인 한 뒤, 각 모델 간의 평균풍속, 평균온도 그리고 열 쾌적성 지표(PET, UTCI)의 평균 사이의 구체적인 통계적 유의성을 확인하고자 본페로니 검정(Bonferroni correction)을 수행
- 분석 결과, 세 모델 간의 평균풍속, 평균온도 그리고 열 쾌적성 지표(PET, UTCI)의 평균 사이에는 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의한 차이를 확인

Variable		M0	M1
Temperature	M1	0.076**	
	M2	0.136**	0.060**
Wind speed	M1	- 2.160**	
	M2	- 1.924**	0.237**
PET	M1	- 14.416**	
	M2	- 14.204**	0.212**
UTCI	M1	- 8.938**	
	M2	- 8.900**	0.038**

Note: ** p<0.01

[단지 내 건축물 변화에 따른 부문별 Bonferroni 교정 t검정결과]

○ 결과 및 논의

- 빌드잇으로 도출한 다양한 단지 배치 결과물 중 이해당사자 간 협의를 통해 선별된 배치설계안을 타 솔루션에서도 시뮬레이션 할 수 있는 호환성 실험
- ENVI-met 시뮬레이션 분석 결과 이미지의 비교를 통해 PET, UTCI 등의 열 쾌적성 지표는 온도와 바람(풍속)의 영향을 받는다는 다른 선행연구의 결과를 확인 할 수 있었으며, 특히 풍속과 UTCI 그리고 PET의 분석결과 이미지의 범례별 분포를 보았을 때, UTCI가 풍속으로부터 받는 영향이 PET가 풍속으로부터 받는 영향보다 큰 것으로 판단
- M0는 대상지 북쪽과 서쪽의 판상형 건축물에 의해 둘러싸인 중정형 배치가 주풍향으로부터 불어오는 바람의 경로를 차단하고, 이로 인해 해당 영역에서의 풍속은 현저하게 낮아지는 것으로 판단
- 풍속이 낮은 영역에서는 높은 온도가 관찰되는데, 그 원인은 외부로부터 차가운 바람이 유입되지 못하고 대기가 정체되기 때문이며, 대기가 정체될 경우 지표면이나 건축물 표면은 바람에 의한 냉각효과를 받지 못 하여 표면 온도가 상승
- M0와 M2에 존재하는 중정형 배치로 인한 낮은 풍속이 나타나는 영역의 넓이는 큰 차이가 없으나, 대상지 내부를 통과하는 풍속이 상대적으로 낮았기 때문에 이처럼 독보적인 고온현상이 나타난 것으로 판단
- 이것은 현대 아파트 단지의 현재 건축물 배치가 여름철 이상고온의 완화 및 거주민이 느끼는 열 쾌적성의 개선에 불리하다는 것을 의미
- M2는 평균풍속은 세 모델 중 가장 높게 나타났지만 M0와 마찬가지로 건축물의 U자 배치로 인해 바람 경로가 차단되어 해당지점의 풍속은 낮아지고, 온도는 상승하였는데, 이러한 배치가 대상지 전반에 걸쳐 다수 존재하기 때문에 M2의 평균온도가 M1보다 높은 것으로 판단
- 열 쾌적성 지표의 평균은 PET와 UTCI 모두 M2가 M1보다 높았으며, Bonferroni 검정을 통해 이 차이가 통계적으로 유의함을 확인했으나 M1과 M2 사이의 각 지표 수치에 따른 열 인지 단계는 PET, UTCI 모두 Slightly warm (slight heat stress)으로 동일하기 때문에, 실질적으로 거주민들이 느끼는 열 쾌적성은 차이가 없음
- ENVI-met 시뮬레이션을 통해 나타난 풍속과 온도의 분석결과 이미지를 보았을 때, 대상지의 온도가 낮게 나타나는 영역의 분포는 일정 수준 이상의 풍속이 나타난 영

역의 분포와 상당한 유사성을 보였으며, **대상지의 바람환경은 온도 분포에 영향**을 미치는 것으로 판단하여 **빌드잇을 이용한 다양한 배치 대안 적용이 단지내 열쾌적성**을 분석하는 타 시뮬레이터에서 호환성을 확인

- 풍속과 UTCI 분석결과 이미지를 비교하였을 때 역시 UTCI 수치가 상대적으로 낮게 나타난 영역의 분포는 일정 수준 이상의 풍속이 나타난 영역의 분포와 상당한 유사성을 보였으며, UTCI 수치는 바람환경의 영향을 받는 것으로 판단
- 풍속, PET, UTCI 분석 결과를 종합적으로 비교하였을 때, M2가 M1에 비해 풍속이 낮은 영역이 넓게 존재함에도 불구하고 두 모델 간의 PET, UTCI 평균의 차이는 통계적으로는 유의하나, 실제 인간이 느끼는 열 인지 단계에는 차이가 없었기 때문에, 대상지의 PET, UTCI와 같은 열 쾌적성 지표는 풍속보다는 온도의 영향을 더 크게 받는 것으로 판단

(라) 단지 내 **피복, 식재의 종류 및 배치에 따른 환기 성능 및 열 쾌적성 분석**

○ 분석 계획

- 단지 내부의 피복의 구성을 달리하여 각각의 피복재가 단지 내 열 쾌적성에 미치는 영향을 분석
- 아래 표는 분석을 위한 두 가지 모델이며, 모델 내부의 피복은 잔디와 화강감으로 설정하였고, 잔디와 화강암의 비율을 7:3, 3:7로 다르게 설정

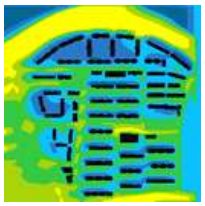
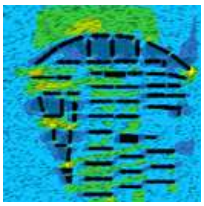
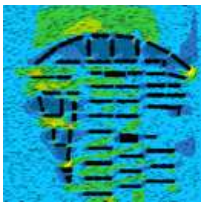
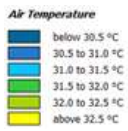
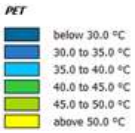
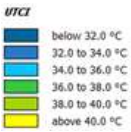
1) ENVI-met 모델 구축 및 분석조건

Envi-met 시뮬레이션을 위한 모델				
Model	Model Lauout	Pavement Type	Tree Type	Planting Type
시뮬레이션 입력조건				
Time and day		15:00 August 5, 2016		
Air temperature		31.2 ℃		
Wind direction		56.6 °		
Wind speed at 10m above ground level		1.6m/s		
Solar adjustment factor		0.9		

[단지 내 피복 종류에 따른 시뮬레이션 모델 및 분석조건]

- 2016년 8월 5일 오후 3시의 대상지 일대의 피복 구성 변화에 따른 풍속, 온도, 열쾌적성(PMV, PET, UTCI)을 분석하기 위하여 오전 11시부터 오후 5시까지 6시간 동안의 시뮬레이션을 수행
- 시뮬레이션 구동에 있어 처음, 마지막 시각의 분석결과물이 초기화 및 수렴 오류가 발생 할 수 있기에, 분석하고자 하는 시간대에서 충분한 여유 구간을 설정하기 위하여 6시간의 시뮬레이션을 수행
- 풍속 및 풍향, 온도와 관련 된 분석조건은 2011년부터 2016년까지의 기상청 자료를 바탕으로 평균풍속 1.6m/s, 주풍향 56.5°, 초기온도 값 26.5℃의 입력 값을 설정
- 토양 특성, 습도, 태양 복사에너지, 운량, 난류모델, 측면의 경계조건, 식생의 증발조건 등의 입력은 ENVI-met의 기본 값을 적용

2) 시뮬레이션 분석 결과

모델	온도(℃)	풍속(m/s)	PMV	PET(℃)	UTCI(℃)
M1					
평균	31.700	1.298	3.750	42.435	37.785
M2					
평균	31.815	1.296	3.820	42.959	38.057
범례					

[단지 내 피복 종류에 따른 시뮬레이션 분석결과]

- 시뮬레이션 분석 결과 모델의 평균온도는 잔디와 화강암의 피복 구성비가 7 : 3인 M1이 피복 구성비가 3 : 7인 M2보다 낮게 나타났으며, 평균풍속은 두 모델 간에 큰 차이가 나타나지 않음
- 열 쾌적성 지표인 PMV, PET 그리고 UTCI는 피복 구성비가 7 : 3인 M1이 피복 구성비가 3 : 7인 M2보다 모두 낮게 나타났으며, 이는 열 쾌적성 지수의 주요 변수로 작용하는 온도의 영향을 받음
- 두 모델의 평균온도, 평균풍속 그리고 열 쾌적성 지표들의 t검정 결과 아래 표와 같이 나타났으며, 평균풍속을 제외 한 평균온도, PMV, PET, UTCI 부문에서 통계적으로 유의 한 차이가 존재
- 잔디와 화강암의 피복 구성비가 7 : 3인 M1이 단지 내부의 열 쾌적성 개선에 유리한 것으로 판단

모델	M1				
	온도	풍속	PMV	PET	UTCI
M2	0.115*	-0.002	0.070*	0.524*	0.272*

* $p < 0.05$

[단지 내 피복 종류에 따른 부문별 t검정결과]

- 위와 같은 결과를 토대로 잔디와 화강암의 피복 구성비가 7 : 3인 M1의 피복 모델을 채택 한 뒤, 식재의 종류 및 배치유형에 따른 열 쾌적성의 변화를 비교하기 위해, 식재의 종류를 활엽수와 침엽수로, 식재 배치 유형을 단일 식재(Individual

array)와 2열 식재(Paired array)로 구분하여 총 4개의 모델의 시뮬레이션을 계획

○ 식재 종류 및 배치에 따른 열 쾌적성의 변화

- ENVI-met 모델 구축 및 분석조건

Envi-met 시뮬레이션을 위한 모델				
Model	Model Lauout	Pavement Type	Tree Type	Planting Type
M3		grass : granite = 7 : 3	Broadleaves	Paired
M4		grass : granite = 7 : 3	Broadleaves	Individual
M5		grass : granite = 7 : 3	Conifers	Paired
M6		grass : granite = 7 : 3	Conifers	Individual

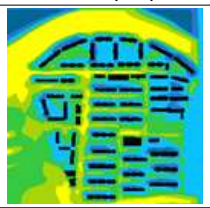
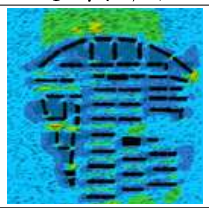
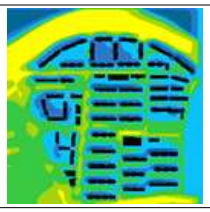
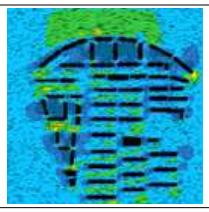
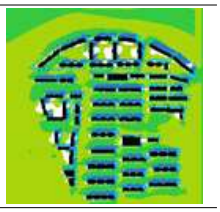
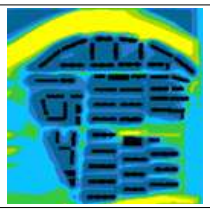
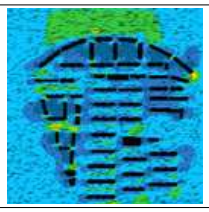
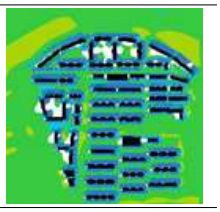
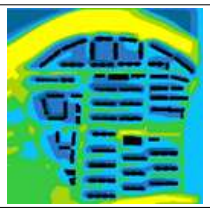
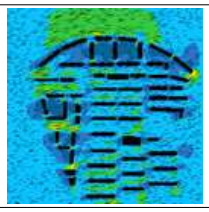
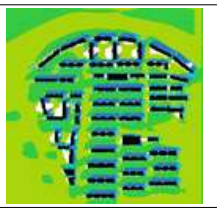
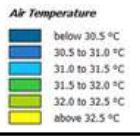
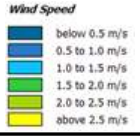
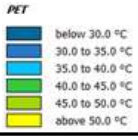
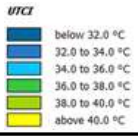
시뮬레이션 입력조건	
Time and day	15:00 August 5, 2016
Air temperature	26.5 ℃
Wind direction	56.5 °
Wind speed at 10m above ground level	1.6m/s
Solar adjustment factor	0.9

[단지 내 식재 종류 및 배치 변화에 따른 시뮬레이션 모델 및 분석조건]

- 2016년 8월 5일 오후 3시의 대상지 일대의 식재 유형 및 배치 변화에 따른 풍속, 온도, 열 쾌적성(PMV, PET, UTCI)을 분석하기 위하여 오전 11시부터 오후 5시까지 6시간 동안의 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 입력조건은 동일

- 활엽수(Broadleaves)가 2열로 배치 된 M3, 활엽수가 단일로 배치 된 M4, 침엽수(Conifers)가 2열로 배치 된 M5, 침엽수가 단일로 배치 된 M6의 ENVI-met 모델을 구축

○ 시뮬레이션 분석 결과

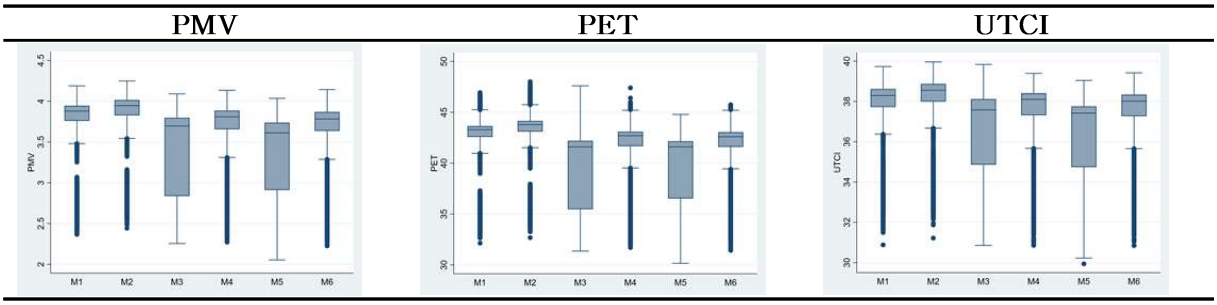
모델	온도(℃)	풍속(m/s)	PMV	PET(℃)	UTCI(℃)
M3					
평균	31.788	1.151	3.442	39.8781	36.808
M4					
평균	31.677	1.205	3.638	41.493	37.435
M5					
평균	31.119	1.158	3.370	39.733	36.388
M6					
평균	31.535	1.216	3.621	41.452	37.347
범례					

[단지 내 식재 종류 및 배치 변화에 따른 시뮬레이션 분석결과]

- 위의 표는 서로 식재의 종류와 배치를 달리 구성 한 4가지 모델의 온도, 풍속, PMV, PET, UTCI의 시뮬레이션 분석결과
- 온도 부문에 있어서 M3이 눈에 띄게 높게 나타나며, 이는 상대적으로 잎 면적이 넓은 활엽수가 2열 식재 되어있기 때문에 원활한 바람의 흐름이 이루어지지 않았기 때문인 것으로 여겨지며, 실제로 풍속 부문에서 M3의 평균풍속이 가장 낮음
- 동일한 활엽수가 단일로 식재 된 M4이 M3에 비해 평균풍속은 높게, 평균온도는 낮게 나타나는 것 역시 같은 맥락으로 해석
- M3와 M5은 식재가 2열로 배치되었으나 잎 면적이 넓은 활엽수로 식재 된 M3가

잎 면적이 적은 침엽수로 식재된 M5보다 평균온도는 높고, 평균풍속은 낮음
- 각각 활엽수와 침엽수가 단일 배치 된 M4와 M6를 비교할 때에도 동일
- 열 쾌적성은 식재를 배치하지 않은 M1, M2보다 식재를 배치 한 M3~M6 모델들보다 평균온도가 낮으며, PMV, PET, UTCI를 비롯한 열 쾌적성 지표도 낮음
- 이는 열 쾌적성을 고려했을 때 식재를 배치하는 것이 여름철의 열 쾌적성 개선에 효과적이라는 것을 의미
- 식재를 2열 배치 한 M3과 M5는 각각 식재를 단일 배치 한 M4와 M6보다 열 쾌적성 지표가 낮게 나타나며, 이는 2열 배치 식재를 하였을 때가 단일 배치 식재를 하였을 때보다 식재의 양이 늘어남에 따른 녹지율의 증가로 인하여 열 쾌적성을 개선시키는데 유리함을 의미
- M3와 M5의 열 쾌적성을 보면, 2열 배치 모델 중에서도 침엽수를 식재한 M5가 더 낮은 수치를 나타내고 있으며, 특히 PMV 부문에서 두드러진 개선사항을 확인
- 식재를 단일 배치 한 M4와 M6간의 열 쾌적성 지표는 큰 차이가 나타나지 않음

○ 기술 통계



[단지 내 식재 유형 및 배치 변화에 따른 열 쾌적성 시뮬레이션 결과]

- 시뮬레이션 결과로부터 추출 한 세 가지 열 쾌적성 지표의 기술통계를 수행
- 식재 배치를 하지 않은 M1과 M2는 식재 배치를 한 M3~M6보다 세 가지 열 쾌적성 모든 부문에서 낮은 평균을 보이면서, 더 나은 열 쾌적성을 나타냄
- M1은 세 가지 열 쾌적성 지표 모두 M2보다 더 낮은 열 쾌적성 수치를 나타내었으며, 이는 잔디 피복이 화강암 피복보다 열 쾌적성 개선에 효과적
- M3~M6을 비교하였을 때, 식재를 2열 배치 한 M3, M5가 각각 식재를 단일 배치 한 M4, M6과 비교하였을 때 보다 낮은 열 쾌적성 수치를 보임으로써 식재의 2열 배치가 단일 배치보다 열 쾌적성 개선에 유리

○ ANOVA와 Bonferroni 교정 t검정
- 기술 통계를 통하여 확인 한 각 모델별 열 쾌적성의 수치적 차이를 통계적으로 검증하고자 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)과 본 페로니 사후검정을 수행
- ANOVA는 두 개 이상의 집단들의 평균을 비교할 때 사용하는 통계분석 기법으로써, 집단들의 평균의 차이에 대하여 통계적 유의성 검증을 위해 사용하는 방법
- 분석 결과 온도, 풍속, 세 가지 열 쾌적성의 모든 부문에서 6개 모델 간의 평균 사이

에 통계적으로 유의한 차이가 있음이 확인

- 분산분석은 6개 모델 중 어떠한 모델 간에 유의한 차이가 있는지를 알 수 없음

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
온도	F(5, 310,821) = 5,340.97, p < 0.000					
평균	31.700	31.815	31.788	31.677	31.119	31.535
M2	0.115*	-	-	-	-	-
M3	0.088*	-0.027*	-	-	-	-
M4	-0.023*	-0.138*	-0.111*	-	-	-
M5	-0.581*	-0.696*	-0.669*	-0.558*	-	-
M6	-0.165*	-0.280*	-0.253*	-0.142*	0.416*	-
풍속	F(5, 310,821) = 1,686.72, p < 0.000					
평균	1.298	1.296	1.151	1.205	1.158	1.216
M2	-0.002	-	-	-	-	-
M3	-0.146*	-0.144*	-	-	-	-
M4	-0.092*	-0.090*	0.054*	-	-	-
M5	-0.139*	-0.137*	0.007*	-0.047*	-	-
M6	-0.082*	-0.080*	0.065*	0.010*	0.057*	-
PMV	F(5, 310,821) = 7,847.05, p < 0.000					
평균	3.750	3.820	3.442	3.638	3.370	3.621
M2	0.070*	-	-	-	-	-
M3	-0.308*	-0.377*	-	-	-	-
M4	-0.112*	-0.182*	0.196*	-	-	-
M5	-0.380*	-0.450*	-0.073*	-0.269*	-	-
M6	-0.129*	-0.198*	0.179*	-0.017*	0.252*	-
PET	F(5, 310,821) = 8,884.15, p < 0.000					
평균	42.435	42.959	39.871	41.493	39.733	41.452
M2	0.524*	-	-	-	-	-
M3	-2.564*	-3.088*	-	-	-	-
M4	-0.942*	-1.466*	1.622*	-	-	-
M5	-2.702*	-3.226*	-0.138*	-1.760*	-	-
M6	-0.983*	-1.507*	1.581*	-0.041	1.719*	-
UTCI	F(5, 310,821) = 6,708.43, p < 0.000					
평균	37.785	38.057	36.808	37.435	36.388	37.347
M2	0.272*	-	-	-	-	-
M3	-0.978*	-1.249*	-	-	-	-
M4	-0.350*	-0.622*	0.627*	-	-	-
M5	-1.397*	-1.669*	-0.419*	-1.047*	-	-
M6	-0.439*	-0.710*	0.539*	-0.088*	0.959*	-

* p < 0.05

[단지 내 식재 유형 및 배치 변화에 따른 부문별 ANOVA 및 Bonferroni 교정 t검정결과]

- Bonferroni t검정은 사후검정 중 하나로써 다중 비교 중의 오류를 보정하는 통계적 기법으로 비교 대상인 6개 모델 간의 구체적인 통계적 유의성 분석 가능
- 분석 결과 세 가지 열 쾌적성 지표인 PMV, PET, UTCI 부문에서 대부분의 모델 간

의 평균의 차이가 통계적으로 유의함이 나타났으나, PET 부문의 M4와 M6 사이에서는 통계적 유의성이 나타나지 않음

○ 결론

- 본 연구에서는 ENVI-met 시뮬레이션을 통하여 6가지 모델의 온도 및 풍속, 열 쾌적성 수준을 시각적으로 비교하고, 결과 데이터를 바탕으로 통계분석을 실시함으로써 각 모델별 열 쾌적성 수준의 통계적 유의성을 검증
- 피복 구성(잔디, 화강암)에 따른 열 쾌적성의 변화를 알아보는 M1, M2의 시뮬레이션 분석 결과 잔디와 화강암의 비율이 7 : 3인 M1은 비율이 3 : 7인 M2보다 평균온도, PMV, PET, UTCI 부문에서 더 낮게 측정되었으며, 이는 단지 내부의 열 쾌적성 개선의 관점에서는 잔디 피복이 화강암 피복보다 더 효과적
- 식재가 배치 된 M3~M6의 열 쾌적성 지표는 식재가 배치되지 않은 M1, M2에 비하여 더 낮은 열 쾌적성 수치를 나타내며, 이는 식재 배치계획이 단지 내부의 열 쾌적성 향상에 유리
- 풍속 부문에서 침엽수를 식재 한 M5, M6의 평균풍속은 각각 활엽수가 식재 되어 있는 M3, M4의 평균풍속보다 더 높게 나타나며, 이는 동일한 식재 배치계획에서 침엽수가 활엽수보다 환기성능이 우수
- 열 쾌적성 부문에서 식재가 2열 배치 된 M3와 M5가 단일 배치 된 M4와 M6보다 더 낮게 나타났으며, 식재가 2열 배치 된 모델 M3과 M5 중 침엽수가 식재 된 M5가 활엽수가 식재 된 M3보다 더 낮음
- 동일 한 식재 배치계획에 있어 침엽수를 식재하는 것이 활엽수를 식재 하는 것보다 열 쾌적성 향상에 효과적
- **향후 빌드잇에도 단지내 다양한 피복상태를 고려한 친환경 시뮬레이션** 기능 탑재를 통해 **단지내 쾌적성을 확보 필요**

○ 논의 및 연구의의

- 본 연구의 분석 결과를 통하여 단지 내부의 열 쾌적성의 향상을 위해서는 잔디 피복이 화강암 피복보다 효과적이며, 식재를 배치를 하는 것이 그렇지 않은 경우보다 효과적임을 확인 할 수 있었으며, 이러한 다양한 선행연구에서도 확인 (Alavipanah et al., 2015; Bowler et al., 2010; Dimoudi and Nikolopoulou, 2003; Feyisa et al., 2014; Lindén et al., 2016; Oliveira et al., 2011; Streiling and Matzarakis, 2003)
- 동일한 식재배치에서 식재의 종류 및 배치를 달리 함으로써 잎 면적에 의한 차양(遮陽) 효과에 의해 열 쾌적성이 향상 될 수 있다는 선행연구 결과를 확인 (Shahidan et al., 2010; de Abreu-Harbich et al., 2015)
- 본 연구는 식재의 종류 및 배치에 따른 앞 면적에 의한 바람의 투과성이 열 쾌적성에 영향을 미칠 수 있는 또 다른 중요한 요소임을 확인하였으며, 밀도 높은 잎사귀들은 단지 내 기류 순환을 감소시킬 수 있다는 새로운 사실을 확인
- 단지 내의 열 쾌적성을 증진시키기 위하여 식재의 잎 면적에 의한 차양은 향상시키

되 바람순환은 저해시키지 않기 위해 식재 종류의 선택과 배치 계획이 필요

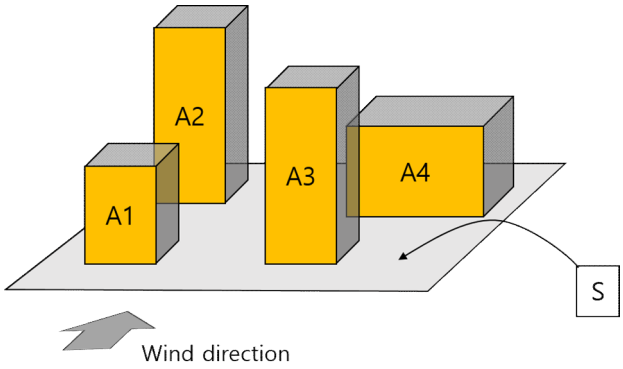
- 오늘 날 우리나라의 단지 설계는 미기후 조건이나 열 쾌적성 지표를 크게 고려하지 않고 있으나, 점진적으로 상승하는 여름철 이상고온 현상의 완화와 냉방을 위해 소모되는 건축물 내부 소모 에너지 절감을 위해서는, 단지 내부의 피복, 식재 요인을 고려하는 새로운 접근 방식이 필요

(마) 주거단지 배치에 따른 풍 환경 분석: **단지내 쾌적성을 위한 도시캐노피분석(앞면적비)**

1) 앞면적비를 활용하여 단지의 풍환경 예측

○ 앞면적비 계산 모듈 개발

- 앞면적비(Frontal Area Index)는 대상물의 바람길 성능을 표현하는 지표로 대상물이 위치한 대상지의 면적과 해당 풍향 벡터 방향으로 가려지는 대상물의 투영면적의 총합에 대한 비율



$$Frontal\ Area\ Index = \sum_{k=0}^{n} An\ /\ S$$

<앞면적비 계산 방법>

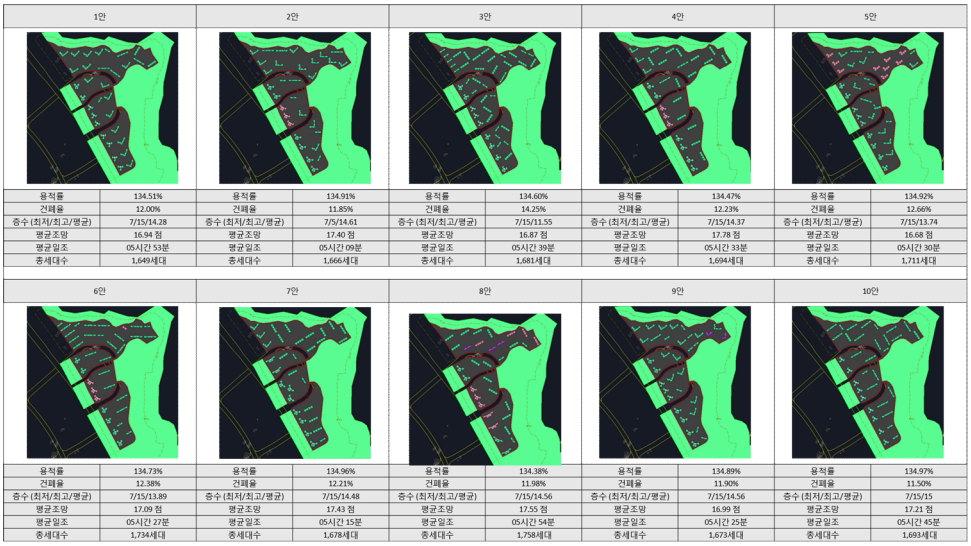
- 앞면적비는 특정 풍향(그림-Wind direction)을 기준으로 산정되며, 해당 풍향에 직각 방향으로 투영되는 각 건물 면적(그림-An)을 총 합산한 후 대상지의 전체 면적(그림-S)으로 나눈 값
- 여기서 An 계산시 풍향에 직교한 ㄱ자 판상은 동평면 형상으로 바람의 영향을 많이 받아 바이어스 가중치 1.5를 추가
  (향후 동평면의 형상을 반영한 앞면적비에 대한 가중치 모델링 연구가 필요)
- 앞면적비가 낮을수록 해당 방향으로 건물이 열리게 배치되고, 통풍성이 좋음
- 해당 계산식에서 건물의 위치에 따른 영향도가 크지 않기 때문에 동일한 배치안을 대상으로 앞면적비-CFD-풍동실험을 비교
- 향후 **단지내 쾌적성을 위한 지표로서 건폐율/용적률/입면차폐율과 같이 앞면적비**에 대한 정책적 반영을 위한 기초자료

○ 분석대상용 기준 단지 배치안

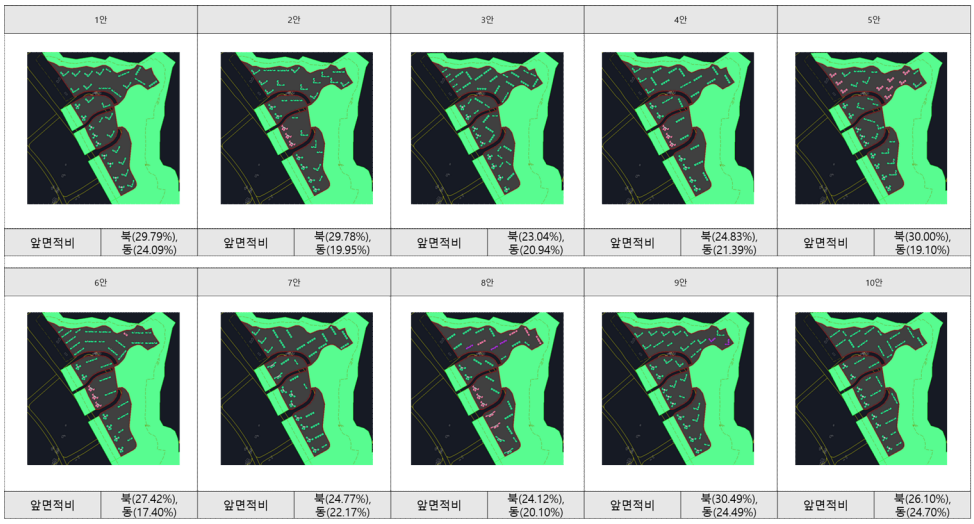
- 분석 대상지를 선정하고 해당 지역에 인공지능 건축설계 솔루션을 활용하여 가상의 단지 배치안을 생성
- 단지 배치안의 대상지 및 설계 조건은 해당 지역의 지구단위계획 기준을 적용

바람길 분석대상지 정보	
대상지	세종특별자치시 5-1 생활권
대지면적	137,956.29m2
지역지구	세종시 5-1 생활권 스마트 리빙 L9, L10, L12, L13
용적률	법정 135%이하
건폐율	법정 50%이하
최고높이	15층
비고	탑상 배치구간, 직각 배치구간 적용

[바람길 분석대상지 설계 제한요소 정보]



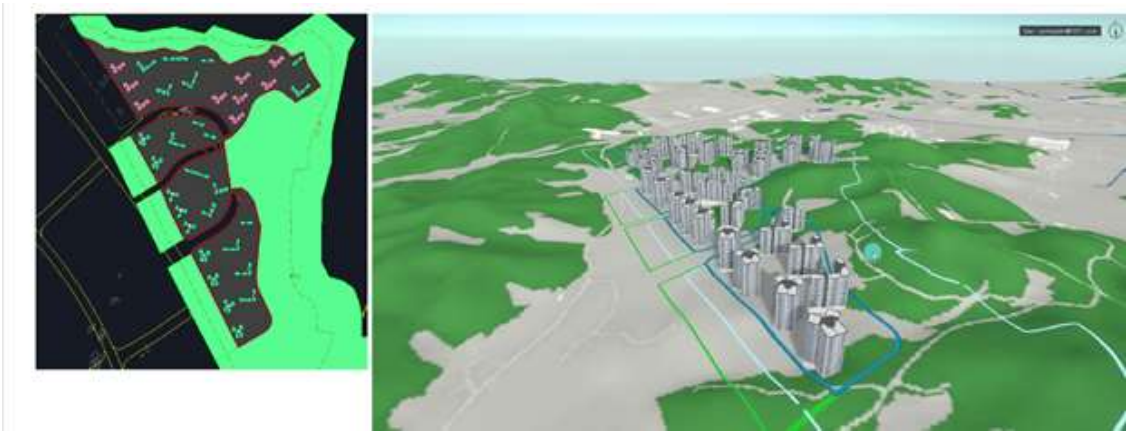
<인공지능 건축설계 솔루션 빌드잇을 활용하여 생성한 10의 배치안>



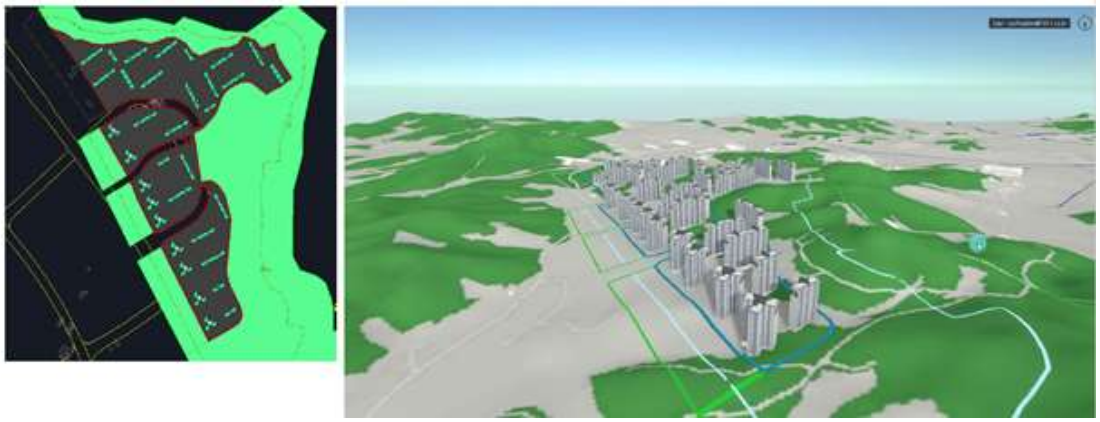
<빌드잇을 활용하여 생성한 10개의 배치안에 대한 앞면적비>

- 앞면적비 계산 결과 북풍과 동풍을 기준으로 가장 앞면적비의 편차가 큰 안은 5안과 10안으로 실험 대상으로 선정
- 선정된 실험대상 5안은 10안보다 북풍기준으로 앞면적비가 높고 동풍기준 앞면적비가 낮음

- 선정된 실험대상 10안은 5안보다 북풍기준으로 앞면적비가 낮고 동풍기준 앞면적비가 높음
- 따라서 <u>5안은 동풍기준으로 통풍성이 유리하고 10안은 북풍기준 통풍성이 유리할 것으로 예상</u>



< 5안 앞면적비 (북 30.0%, 동 19.1%) >



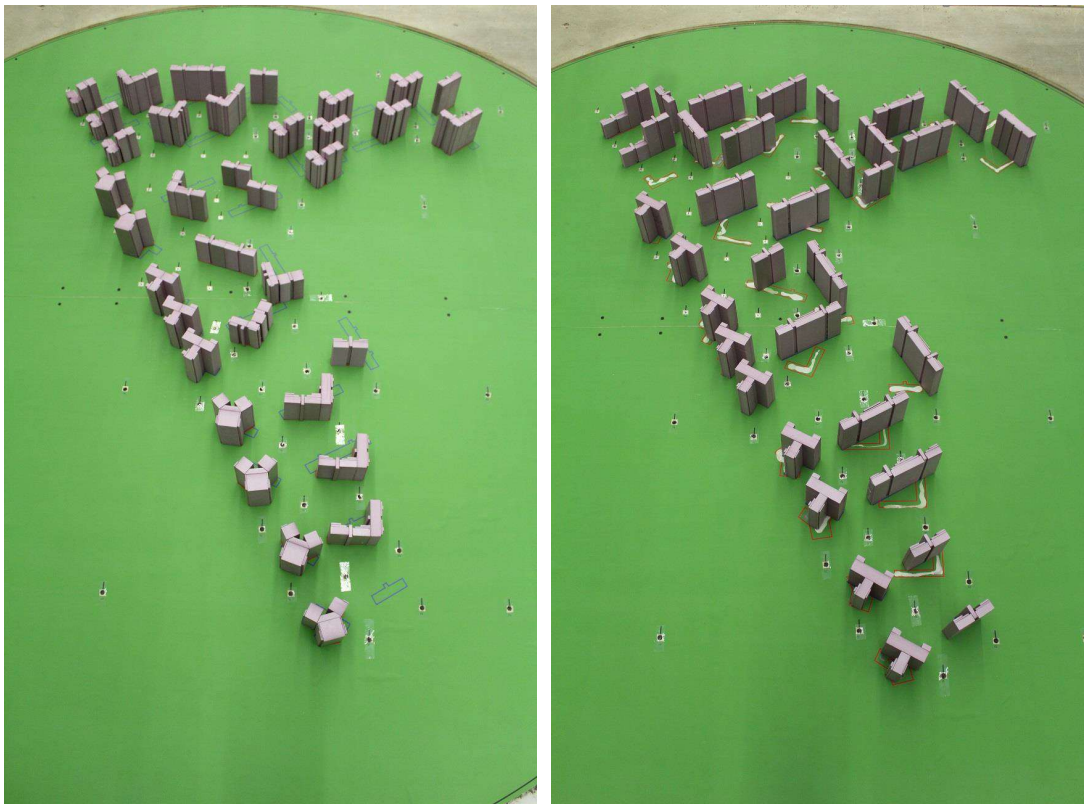
< 10안 앞면적비 (북 26.1.0%, 동 24.7%) >

2) 앞면적비를 활용하여 단지의 풍환경 예측 결과의 검증 01

○ 기준 단지배치안을 대상으로 스케일모형제작 및 풍동실험을 통한 풍환경 예측

- 5안과 10안을 대상으로 스케일모형을 제작하여 풍동실험 실시
- 각 스케일모형에 대해 동일한 위치에 60개의 측정지점을 선정하여 각 지점에서 풍속비(해당 지점에서의 풍속을 기준점에서의 풍속으로 나눈 값) 측정
- 기존에 선택된 북풍은 유지하는 반면, 서풍을 선택할 경우에는 대상지 서쪽의 도시화예정 지역에서는 상대적으로 높은 온도가 형성되어 서풍에 의해 상대적으로 더운 공기가 대상지로 유입되어 쾌적성을 감소시킬 것으로 예상되고 오히려 대상지 동쪽에는 녹지의 시원한 공기가 대상지로 유입되어 쾌적성을 증진시킬 수 있을 가능성을

고려하여, 풍동실험은 북풍과 동풍을 이용하여 실시함



< 5안(좌) 및 10안(우)에 대한 스케일모형 제작 및 측정지점 선정 >

- 풍동실험 실시 결과, 북풍의 경우 5안의 풍속비의 평균(0.655) 및 RMS(0.691)가 10안의 풍속비의 평균(0.710) 및 RMS(0.750)에 비해 모두 낮게 나타나, 5안이 통풍에 상대적으로 불리하여 단지 내 여름철 쾌적성 수준이 낮게 형성될 것으로 예측
- 동풍의 경우 5안의 풍속비 평균(0.765)과 및 RMS(0.796)가 10안의 풍속비 평균(0.725) 및 RMS(0.756)에 비해 모두 높게 나타나, 5안이 통풍에 상대적으로 유리하여 대상지 동쪽에 위치한 녹지의 시원한 바람 유입에 따라 여름철 단지 내 쾌적성 수준이 높게 형성될 것으로 예측
- 종합적으로, 북풍의 대해서는 10안이, 동풍에 대해서는 경우 5안이 통풍에 유리하여 단지 내 쾌적성 수준이 높을 것으로 예측

풍속비	5안 - 북풍	10안 - 북풍	5안 - 동풍	10안 - 동풍
평균	0.655	0.710	0.765	0.725
RMS	0.691	0.750	0.796	0.756

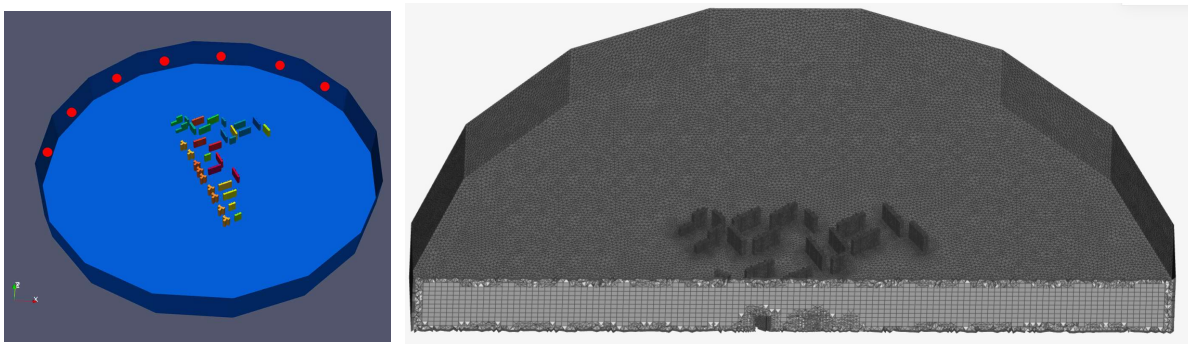
< 5안 및 10안에 대한 풍동실험 수행 결과 >

3) 앞면적비를 활용하여 단지의 풍환경 예측 결과의 검증 02

○ 기준 단지배치안을 대상으로 CFD 분석을 통한 풍환경 예측

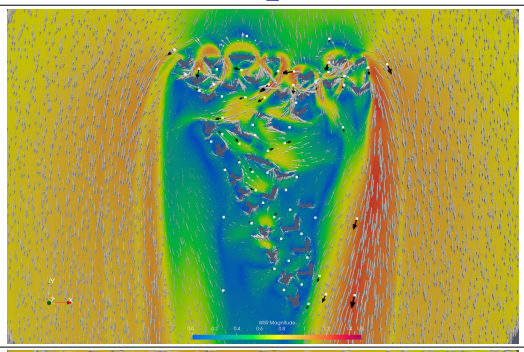
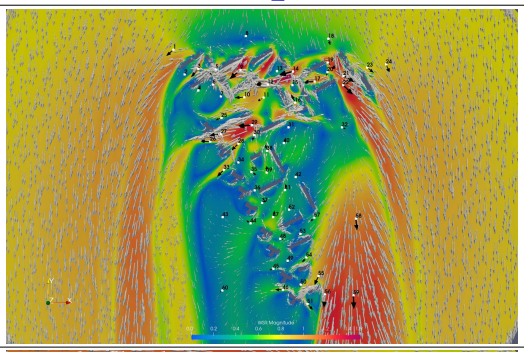
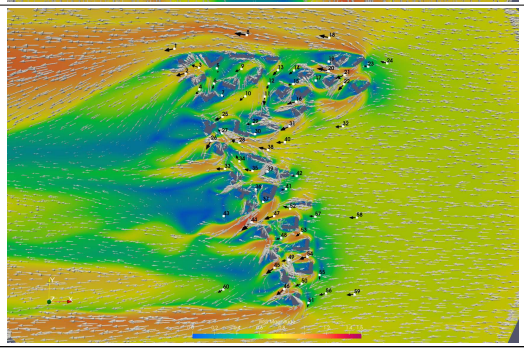
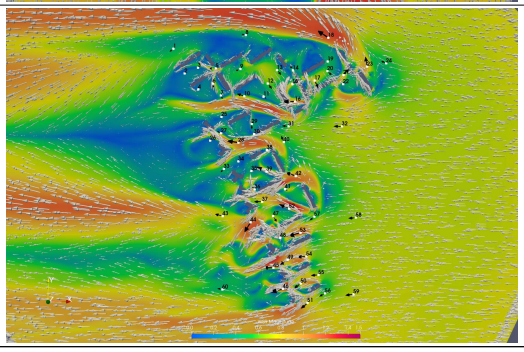
- 5안과 10안을 대상으로 CFD 분석 실시

- 풍동실험에서와 동일 조건으로 CFD 분석 수행
- CFD 분석에 활용된 소프트웨어는 '상용 CFD 소프트웨어 Simscale' 과 '빌드잇 내 CFD 분석 모듈'을 활용
- 상용 CFD 소프트웨어 중 하나인 Simscale을 이용하여 3차원 모델 구축 및 Mesh 구성
- 빌드잇은 오픈소스 솔버인 MantaFlow를 탑재하여 Navier-Stokes 격자해상도 256^3CFD를 수행하여 실험

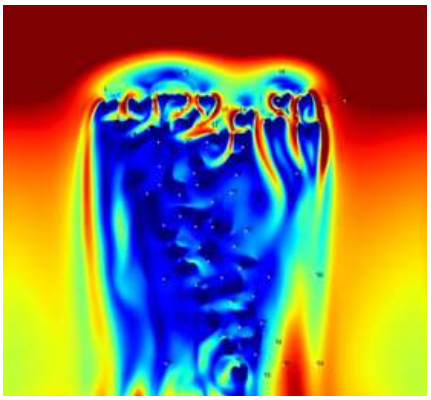
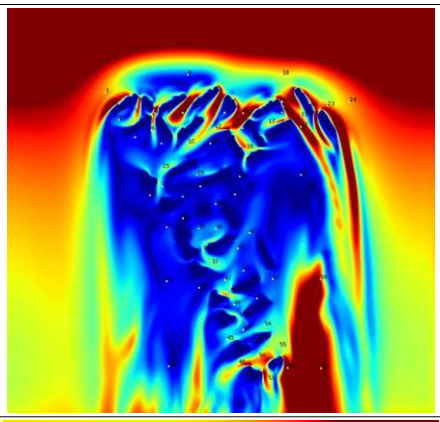
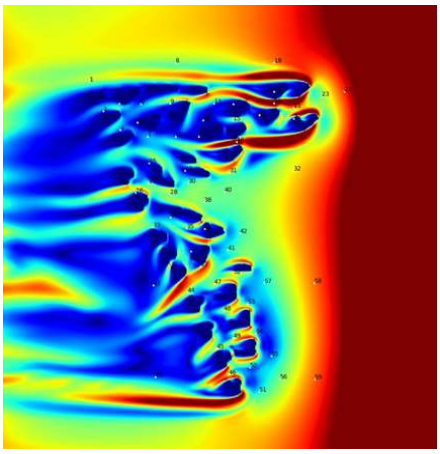
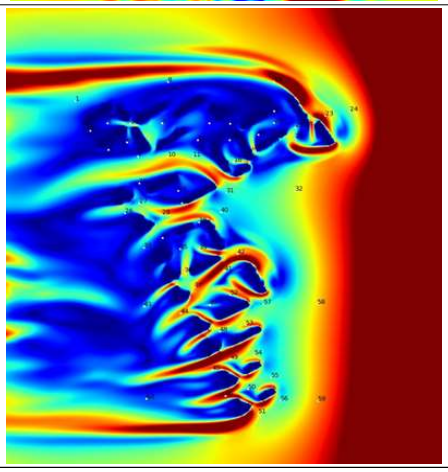


< CFD 분석을 위해 3차원 모델 구축(좌) 및 Mesh 구성(우) >

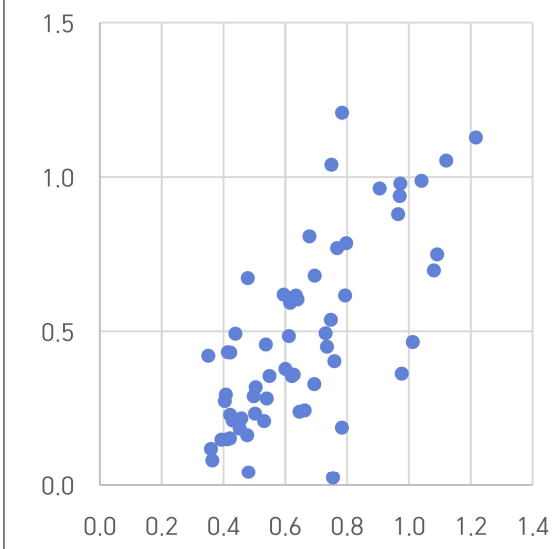
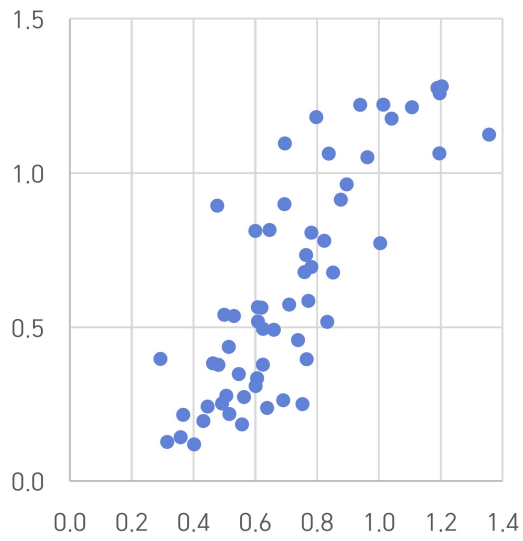
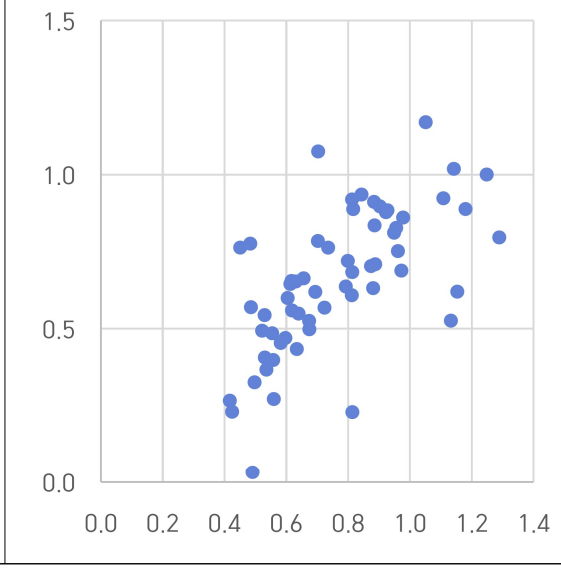
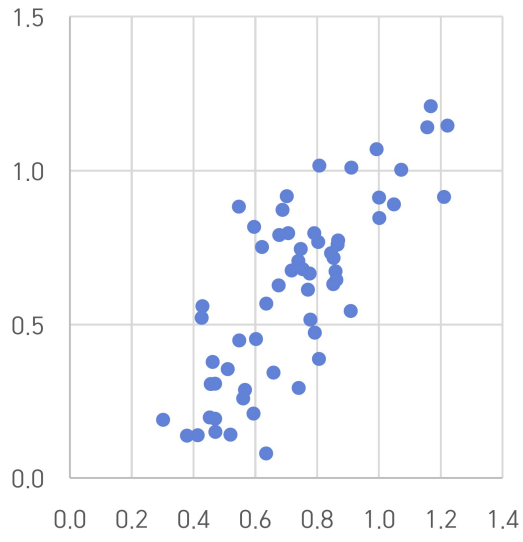
4) 기준 단지배치안을 대상으로 앞면적비 / CFD / 풍동실험 결과와 비교 검증
- 앞면적비 분석과 풍동실험을 비교한 결과, 두 결과 모두 5안은 동풍에서 유리하고 10안은 북풍에서 유리한 결과를 보임
- 풍동실험과 기존 상용소프트웨어인 Simscale 분석을 비교한 결과, R^2 값이 0.42~0.67로 나타나며, 이는 다양한 형태를 가진 다수의 주동으로 이루어진 단지 특성을 고려할 때 양호한 수준으로 볼 수 있음
- 풍동실험 결과와 CFD 분석 결과 사이에 양호한 수준의 동일성이 존재하여 CFD 분석 결과를 일정 수준 이상 신뢰할 수 있음을 확인
- 풍동실험과 Simscale 간에 편차의 RMS 값은 0.215~0.272
  풍동실험과 빌드잇 내 CFD 분석 간에 편차의 RMS 값은 0.324~0.416
- 풍동실험 결과와 Simscale 분석 결과 간에 분석 지점별 풍속비는 값의 차이가 일부 있지만 풍속비 증감의 경향성은 유사
- 풍동실험 결과와 빌드잇 분석 결과 간에 분석 지점별 풍속비는 값의 차이는 다소 있지만 풍속비 증감의 경향성은 유사
- 본 연구과제로 개발된 앞면적비와 빌드잇 CFD 모듈은 공동주택 단지의 바람길의 경향성을 예측하는 도구로 활용 가능

	5안	10안
북풍		
동풍		

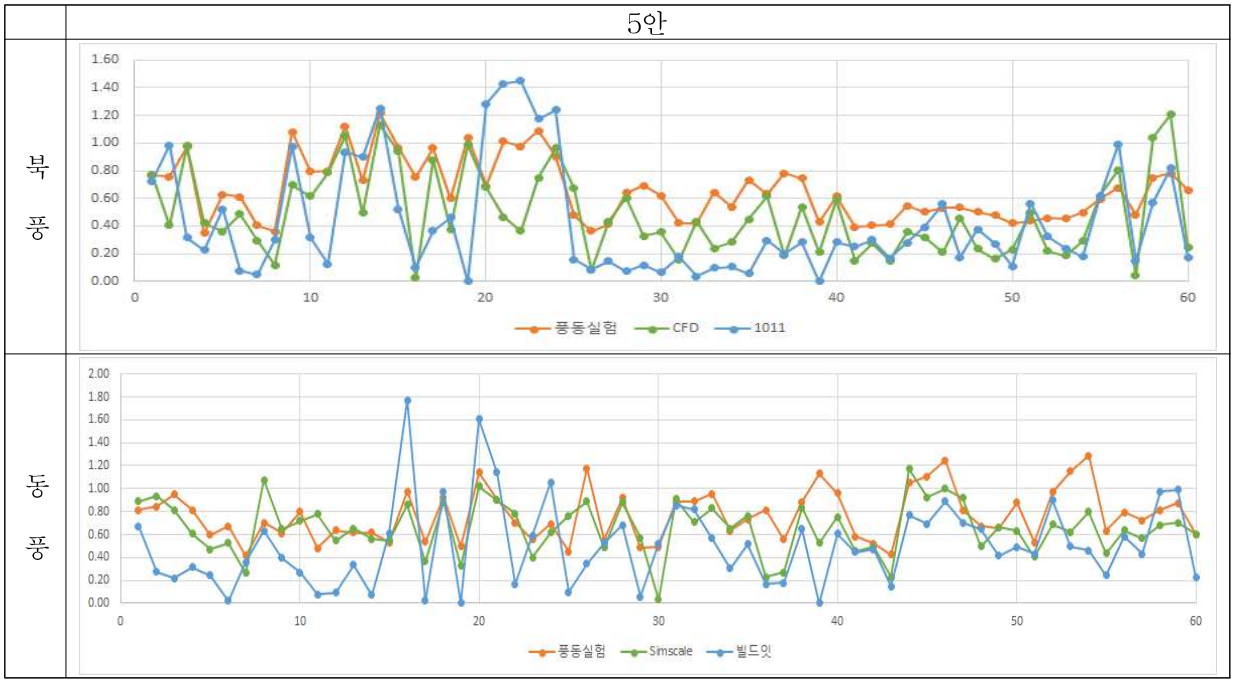
< Simscale을 이용한 CFD 분석 결과 이미지 >

	5안	10안
북풍		
동풍		

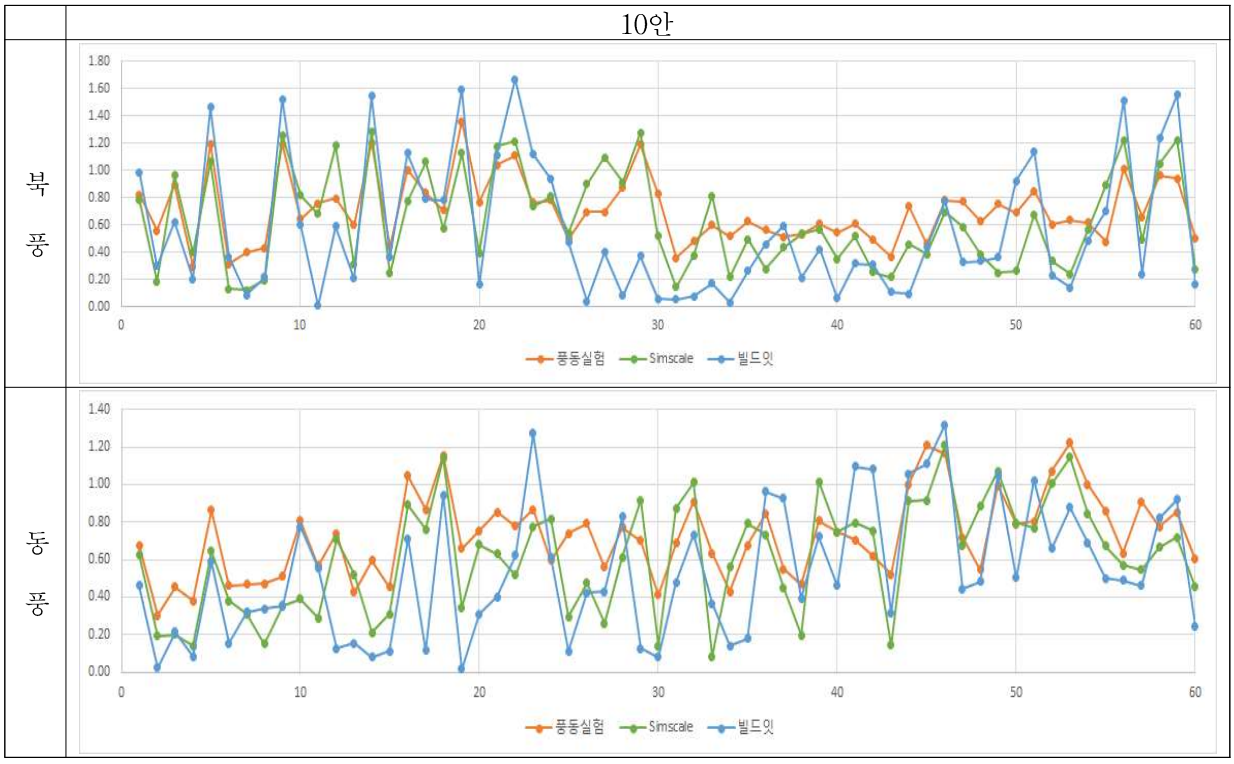
< 빌드잇 내 MantFlow CFD 분석 결과 이미지 >

	5안	10안
북풍		
동풍		

< 풍동실험 결과와 Simscale 분석 결과와의 비교 >



< 5안 기준 풍동실험 / Simscale / 빌드잇 결과 지점별 풍속비 비교 >

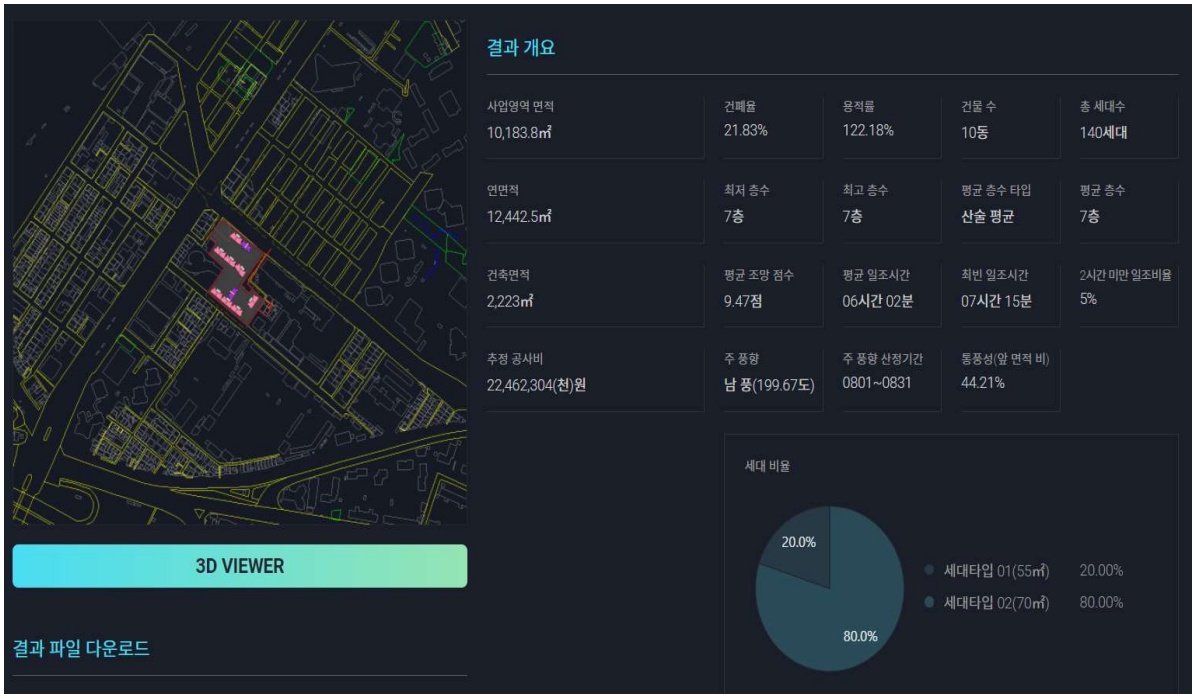


< 10안 기준 풍동실험 / Simscale / 빌드잇 결과 지점별 풍속비 비교 >

4) 풍환경이 고려된 단지 배치안 도출

○ 풍환경 최적 단지 배치안 도출

- 본 연구에서 개발된 앞면적비를 인공지능 건축설계 솔루션 빌드잇에 적용하여 배치된 건물의 앞면적비(통풍성)를 자동 계산
- 본 연구의 솔루션의 사용자는 배치된 건물의 통풍성을 고려하여 배치안을 선택하여 발전적인 설계안 도출이 가능
- 앞면적비 계산을 위해 필요한 풍향 데이터는 본 과제 1차년도에 DB화한 TMY 풍향 풍속데이터를 활용
- 대상지의 풍향데이터의 8월 1일부터 8월 31일까지 한달간 데이터 중 빈도수가 높은 풍속/풍향을 주풍향으로 산정
- 풍향산정을 위한 기간 입력과 주풍향은 사용자가 수정할 수 있으며, 아래 그림은 주풍향에 따른 앞면적비 결과 화면



<인공지능 건축설계 솔루션 빌드잇의 단지 내 환경 분석 결과>

○ 풍환경 분석 활용과 제로에너지건축물인증

- 풍환경 분석의 목적은 기류를 예측하여 실내, 외 환경 '쾌적성'을 도모
- 건물의 에너지 소비의 근간은 실내환경의 '쾌적성'을 유지하기 위함
- 단지규모 관점에서는 열섬현상 및 오염된 기류 정체 해결
- 실외의 효과적인 기류작용은 실내 자연환기에도 유리하게 작용
- 자연환기는 냉방 및 환기부하를 줄이므로, 에너지 소비 절감 효과를 기대
- 제로에너지건축물인증에는 1차 에너지소요량과 에너지자립률과 같은 정량적 평가와 BEMS(건물에너지관리시스템)설치가 인증의 평가항목에 포함
- BEMS 평가항목 중 '실내외 환경 정보 제공' 항목은 온도, 습도, 기류 등 실내외환경

정보 제공 및 활용 관련 내용을 다룸

- 실내에는 통풍효과를 기대할 수 있는 위치에 실내 기류를 측정하여 BEMS 관련 데이터 확보
- 바람길 시뮬레이션의 성능 향상을 위하여 현재 기후데이터 보다 세밀한 미기후 데이터 확보가 필요
- 기후데이터의 보간으로 바람길 시뮬레이션 정확도 확보 노력에도 한계점을 발견하여 향후 미기후 데이터를 보유한 기관에 정보공개 요청으로 데이터 확보 예정

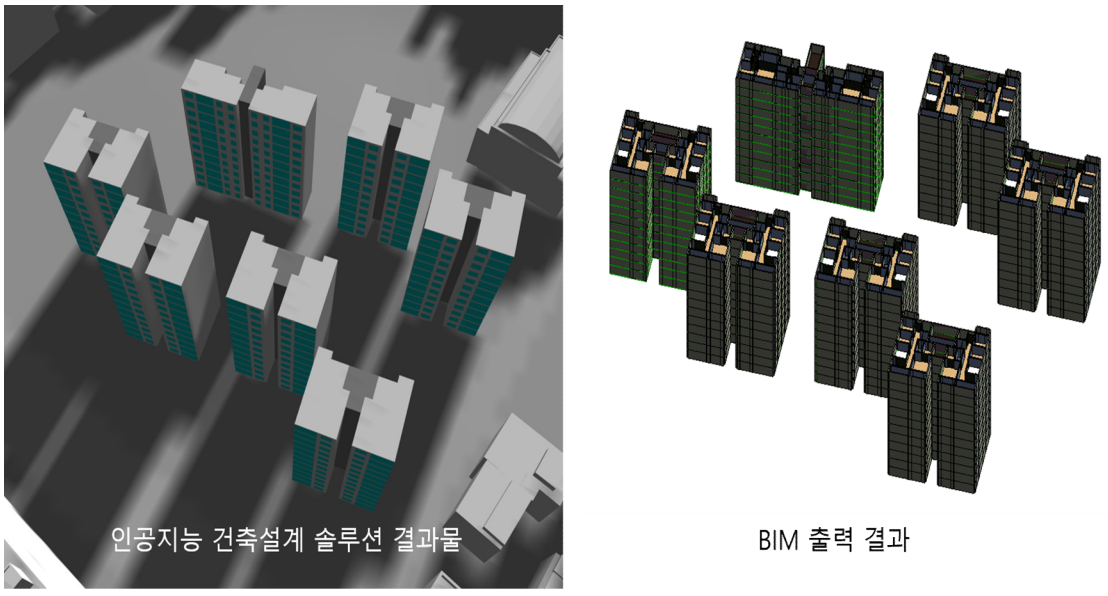
(2) 인공지능 기반 친환경 건축설계 시뮬레이터 개선

(가) **인공지능 기반 친환경 건축설계 기술을 활용한 모듈러 건축 설계**

○ 모듈러 건축에서도 단위 모듈을 기준으로 인공지능 기반 설계 가능

- 단위 평면도는 해당 프로그램 내 DB를 활용할 수 있고, 사용자가 자신의 캐드파일(동평면 정보를 담은 2D 캐드 파일, DXF포멧)을 등록하여 사용
- 단위 평면도를 단위 모듈 사이즈로 자동 분할하여 BIM 파일포멧으로 자동 변환
- BIM 프로그램 내에서 플러그인 형태로 개발
- 인공지능 건축설계 솔루션 결과 **건물을 단위 모듈러 사이즈로 자동 분할하여 LOD100 수준의 모델링** 파일을 생성
- BIM 모듈러 변환과정

1) **인공지능건축설계 솔루션으로 배치안** 생성
2) **BIM 프로그램 내 플러그인**으로 해당 배치안 **자동 BIM 모델링**
3) 생성된 B**IM 모델링 파일을 모듈러 기준 사이즈로 자동 분할**



<인공지능 건축설계 솔루션 자동 BIM 화>

(3) **에너지절약형 BIPV 외벽체 시스템 제작 및 적용**

(가) BIPV 외벽체 시스템 시작품 제작 및 현장 적용

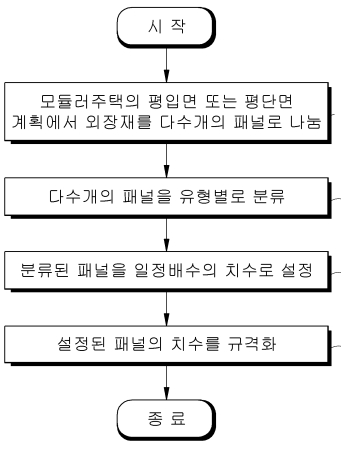
1) 외장재 규격화를 위한 설계방법

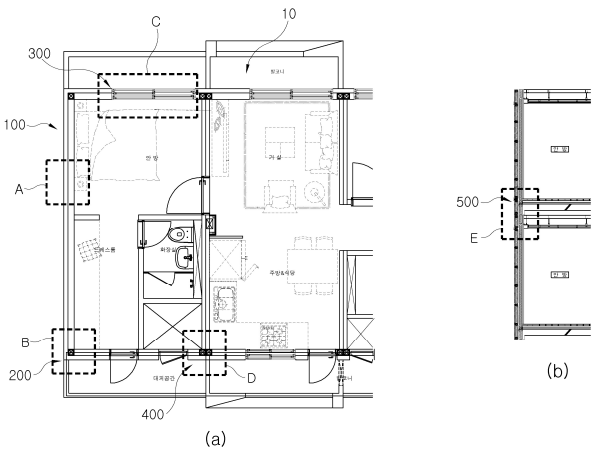
○ 외장재 규격화 설계기준 기반

- 최근 모듈러주택의 설계표준화를 위한 일련의 설계도서 작성기준이 법령으로 고시될 예정
- 모듈러 구조체 유닛과 내장재는 물론 외장재의 표준화와 규격화도 가능할 수 있는 기본 구축 단계
- 현재 국내 외장재의 KS 기준에는 외장재에 대한 모듈 호칭 치수가 부재한 실정
- 모듈러주택의 외장재는 유닛모듈 간의 수평 및 수직 접합부 등에 의해 부득이하게 현장설치를 하여야 하는 부분이 발생
- 외장재의 쪽 나눔에 대한 기준이 부재하고 업체 또는 프로젝트마다 상이한 실정
- 외장재의 선 제작이 불가능하여 현장에서 실측을 통해 제작되므로 공기지연의 원인이 될 수 있으며, 선 제작을 하더라도 현장에서 오차가 발생할 경우 이 또한 공기지연의 사유
- 모듈러 외장재의 표준화 및 규격화를 통해 특정 치수체계로 정리할 수 있는 설계기술이 필요

○ 모듈러주택 외장재 규격화를 위한 설계기준

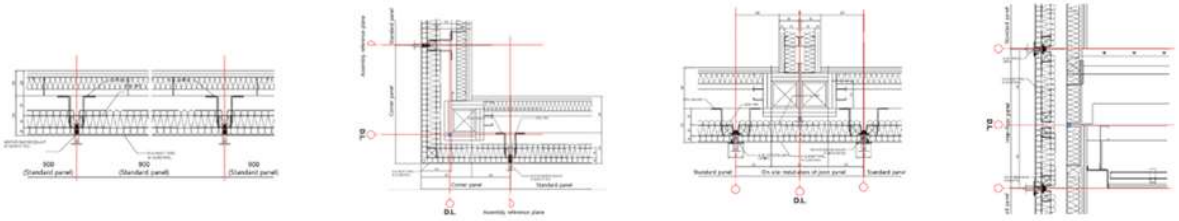
- 모듈러주택의 평/입면 또는 평/단면 계획에서 안목 기준선을 설정하고 외장재를 다수개의 패널로 나누는 제1단계와, 다수개의 상기 패널을 유형별로 분류하는 제2단계와, 분류된 상기 패널을 일정배수의 치수로 설정하는 제3단계와, 설정된 상기 패널의 치수를 규격화하는 제4단계를 구비하고, 상기 제2단계에서는 규격패널과, 상기 안목 기준선에 의해 상기 규격패널이 미설치된 부분을 포함한 기둥의 외각부를 감싸는 형태로 구비되며, 상기 안목 기준선이 설정된 위치에 따라 현장에서 비모듈 치수로 모듈러주택의 최외곽부 모서리에 설정되는 코너패널과, 상기 모듈러주택의 개구부에 설정되는 창호패널과, 상기 모듈러주택을 형성하는 복수개의 유닛모듈 간의 수평접합부에 설정되는 조인트패널과, 상기 모듈러주택을 형성하는 복수개의 유닛모듈 간의 수직접합부에 설정되는 층간대패널로 상기 패널을 분류하는 것이 특징



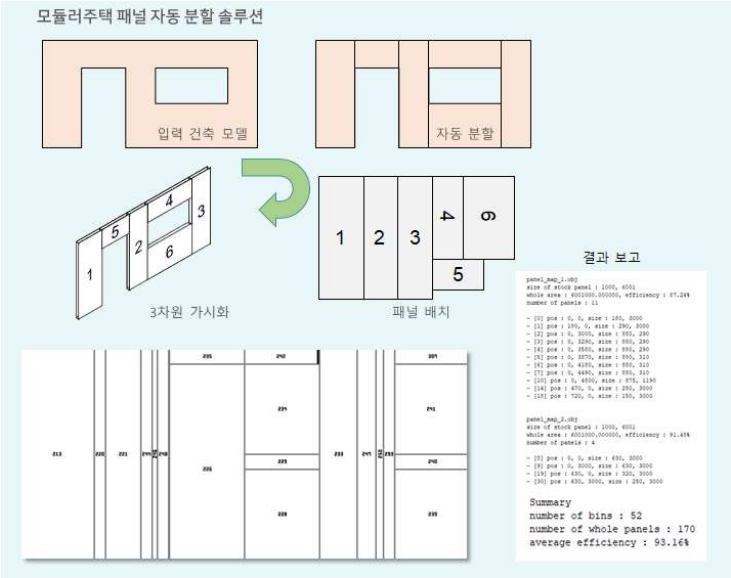


- 안목 기준선은 상기 규격패널과 상기 코너패널 사이에 형성되고, 안목치수로부터 10센티미터의 배수 치수로 이격되어 설정되는 것을 특징으로 하고, 상기 규격패널을 30센티미터의 배수 치수로 설정하고, 상기 조인트패널 및 상기 층간대패널을 10센티미터의 배수 치수로 설정하는 것이 특징
- 규격패널에 수평방향으로 이웃하게 조인트패널을 설치시, 상기 규격패널과 상기 조인트패널 사이에는 상기 규격패널과 상기 조인트패널 사이 틈새를 막는 제1보호케이스가 구비되는 것이 특징으로 하는 모듈러주택 외장재 규격화를 위한 설계

○ 규격화 패널 대표유형



규격패널 코너부패널 접합부 패널 층간대 패널

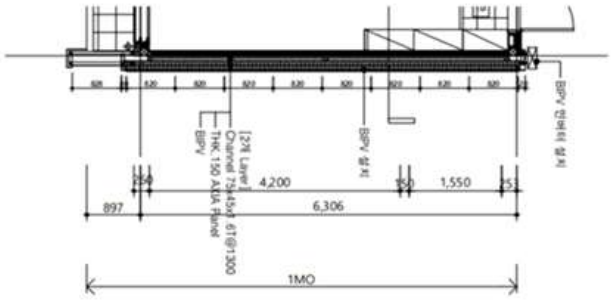


〈모듈러주택 패널 자동 분할 솔루션〉

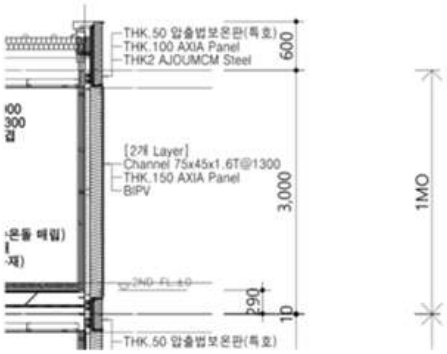
2) **BIPV 일체형 외벽시스템의 개발**

- 모듈러 건축의 BIPV 시스템 적용을 위해 설치되는 BIPV 시스템의 외장 마감재로 활용 가능한 것에 검증
- BIPV 일체형 외벽체시스템이 건축물의 단열성능을 위해 외단열 시스템을 적용
- 신소재 기반의 경량단열패널을 바탕패널로 하고 태양광모듈의 전기배선 영역을 확보하기 위해 바탕패널에 트렌치를 조성

- 여러 장의 태양광모듈을 도면에 기반하여 전용본드(글루)로 단열바탕패널에 부착



평면도



단면도

- 벽체의 규격은 6300㎜ x 2600㎜으로 다소 크기가 큰 형태이나 무게는 150kg 이다. 제작공장에서 현장까지의 운송시 BIPV 일체형 제품이다 보니 통상적으로 적층해서 패널운송을 하는 것이 여의치 않는 5톤 차량 1대에 패널 한 개를 운송
- 시작품을 현장에 양중을 하여 설치하였으나, 원래 이 설치공정은 모듈러 제작공장 내에서 지게차 등을 이용해서 설치가 되는 것이 정상적인 프로세스





단열 패널에 BIPV 시스템 배선을 하는 모습





단열패널과 BIPV시스템 자체본드로 부착




BIPV 시스템 패널 양중

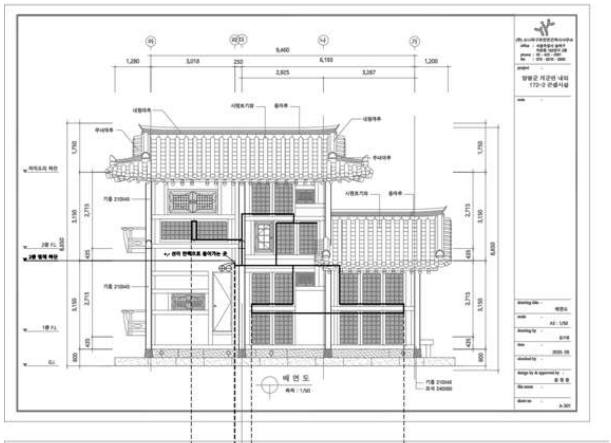


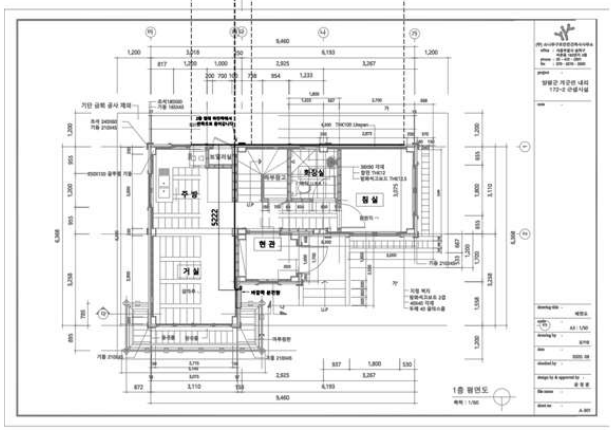

남측 상부면 최종 마감 사진　　남측 상부면 최종 마감 사진

〈현장 적용(강재 기반 모듈러, 진천)〉

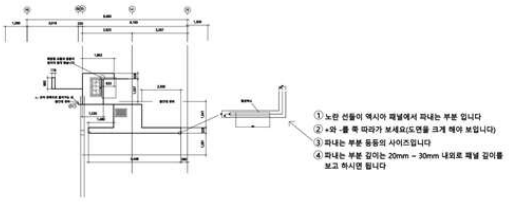
3) **개선시작품 추가 현장적용**

○ 친환경 한옥 모듈러 BIPV 적용

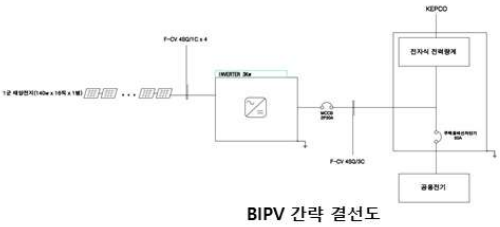




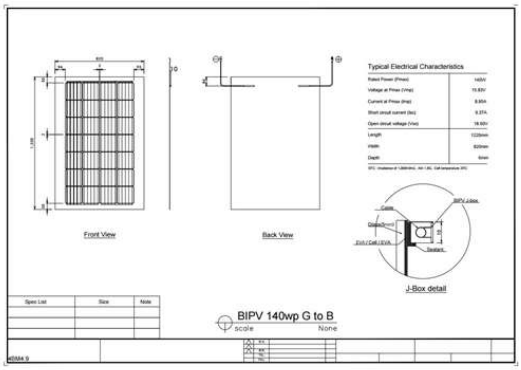
배면도 및 계통도1



한옥모듈러 BIPV 계통도



BIPV 간략 결선도

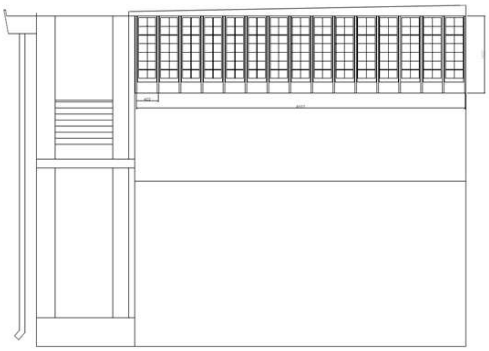


한옥모듈러 레이니 패턴모듈

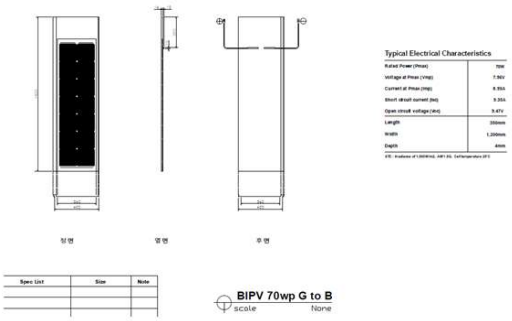


<한옥모듈러 서측에 설치된 BIPV일체형 외벽체>

○ 친환경 PC 모듈러 목업



PC모듈러 측벽에 설치된 BIPV일체형 외벽체



BIPV일체형 외벽체 사양

- 제작 및 설치













(나) 전기생산량 모니터링 기반 최적설계(안) 도출

○ 발전량 모니터링 설치 현황

- 충청북도 진천군 이월면 진광로 515

- 설치일 : 2020년 4월 20일
- BIPV 모듈 : 200W
- 모니터링 시작 : 2020년 4월 27일
- 데이터 수집 : 15분단위, 일별, 월별 데이터 수집
- 수집 항목 : 발전량, 발전시간, 전압, 전류, 출력, 역률, 주파수
- 데이터 분석 : 모니터링 데이터 수집(시간별,일별,월별), 실측값과 BIPV정격용량 비교분석

○ 전기생산량 실시간 송신기 설치

- 실시간 전기생산량을 모니터링 하기 위해서 송신기를 설치
  : ㈜HEVITON의 송신기 구매 및 설치 완료. (8/7~8/18)







○ 전기생산량 정보의 DB화 구축

- 4월 27일부터 매일 15분 단위로 전기생산량을 모니터링 중이며 DB화된 정보를 기반으로 천안두정 모듈러 실증단지의 BIPV외벽시스템의 설치위치 재설정 계획



<발전량 모니터링 메인화면>



<그림 1-02] 일별 / 월별 통계 정보 화면>

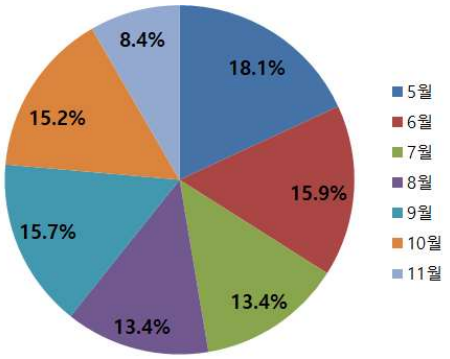
- 현재 모니터링 중인 5월에서 11월의 월별 발전량을 수집
- 5월~11월 총 발전량은 975.8 kWh이며, 평균 139.4 kWh로 분석됨
- 월별 총발전량은 5월이 176.6 kWh, 9월 153.0 kWh 순으로 분석됨

- 가장 발전량이 적은 11월은 81.6 kWh로 분석됨
- 7월~8월은 장마 및 태풍 등 흐린날이 상대적으로 많아 발전량이 다소 낮게 나타난 것으로 판단됨

<월별발전량 데이터수집>

(단위 : kWh)

구분	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
BIPV발전량(kWh)	176.6	155.1	130.4	130.4	153.0	148.7	81.6



<월별 발전량 비율>

- 지역 기상청과 발전량과의 통계 분석 결과,

: 실측값과 정격 검증을 통한 최적설계안 도출 전 사전검토 사항으로 데이터 타당성 분석이 우선 진행됨

: 진천 기상청의 상관관계를 분석하여 데이터의 타당성을 분석한 결과, 유효성(R2 70%이상) 없는 모델로 추출되었음

: 청주 기상청의 상관관계를 분석하여 데이터의 타당성을 분석한 결과, 유효성(R2 70%이상) 있는 모델로 추출되었음

: 진천과 청주기상청의 일사량과의 유효성을 검토한 결과, 상관관계가 있는 청주기상청 자료를 기준으로 정격사양을 검토함

○ 모니터링 데이터와 청주 일별 일사량

- 청주 일사량과 모니터링 데이터의 일별 변화량을 분석한 결과, 일별 유사한 패턴을 보이고 있어 월별 유효성 검토결과에 같이 일별로도 청주기상청 자료가 유사한 것으로 판단됨.

(단위 : 일사량(MJ/M2))

청주	1일	2일	3일	4일	5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일	12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일	19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일	26일	27일	28일	29일	30일	31일	합계
5월	24.22	19.51	10.48	20.54	9.18	25.9	28	24.1	4.05	7.07	25	22.4	29.1	23.55	3.62	13.72	25.24	19.11	12.09	28.14	25.7	22.64	28.33	16.34	11.8	23.35	28.48	25.04	28.11	28.87	21.79	635.4
6월	29.24	12.53	22.58	27.19	23.1	26.9	22	27.8	28.5	24.3	24.8	9.14	26.1	18.62	27	25.74	19.18	10.44	26.4	23.08	26.99	27.71	20.18	5.12	4.94	22.39	16.44	25.63	10.36	4.91		619.1
7월	11.87	24.79	11.93	19.14	20.7	22.8	15.5	23.1	27.6	15	20.2	6.87	3.87	8.8	14.61	19.7	26.17	23.55	15.68	9.03	22.51	5.27	3.71	10.46	11.07	13	10.5	9.26	5.04	7.52	17.01	456.2
8월	12.81	12.88	4.44	16.67	10.2	4.1	4.81	5.41	7.68	9.37	6.31	12.1	20.8	17.54	18.24	21.49	24.51	24.48	24.97	25.15	24.46	9.3	20.96	24.76	25.22	14.63	14.26	19.31	13.13	18.04	20.08	488.1
9월	23.34	4.46	18.43	20.46	8.27	10.2	3.52	20.1	17.9	16.9	9.64	7	21.7	20.93	21.15	6.77	7.29	18.45	16.34	21.63	16.69	16.87	12.9	15.98	18.75	19.29	20.02	20.2	15.72	17.75		468.6
10월	15.16	15.93	6.12	8.47	16.5	19.6	17.5	19.3	19.1	18.1	10.4	12.2	12.5	9.77	14.47	7.59	16.07	17.06	15.85	15.89	4.71	7.11	16.61	16.71	14.52	13.93	13.76	13	14.46	14.55	12.93	429.9
11월	1.88	13.52	10.86	15.07	12.5	3.6	11.2	14.2	13.8	13.5	13.1	13	10.9	11.31	11.6	10.61	6.35	4.14	1.53	1.38	12.1	3	11.22	7.92	11.42	10.14	4.19	11.34	5.42	11.05		281.9

출처 : 기상청 국가기후데이터센터(https://data.kma.go.kr)

<청주 일별 일사량>



<일별 BIPV발전량 및 일사량 변화(청주 데이터)>

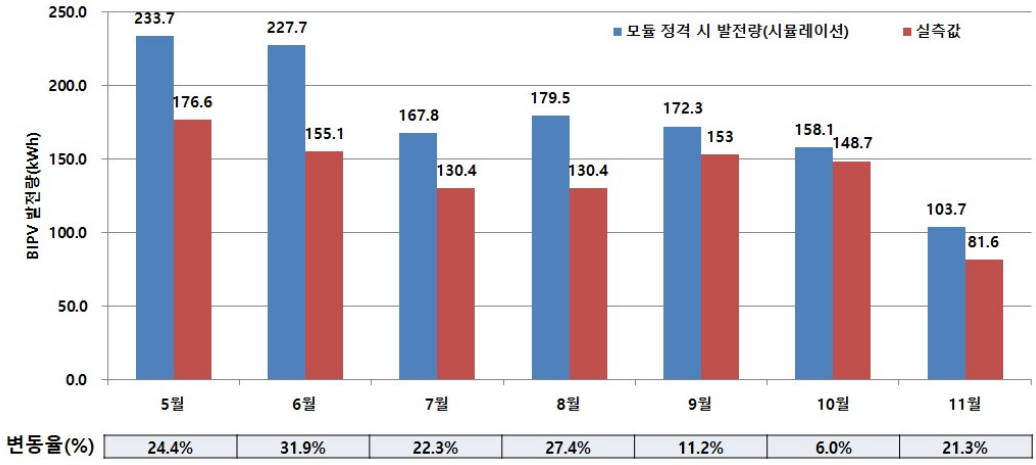
○ 실측값 및 모듈 정격 시 발전량 비교

- 시뮬레이션을 통한 모듈 정격 발전량 및 실측값 검토

: 5월~11월 실측데이터와 정격사양을 검토한 결과, 월별로 6.0%~31.9% 비율로 변동율이 나타남

: 5,6월 및 8월 편차는 데이터 확인결과, 모니터링 오류 및 off된 시간이 발생하여 실제 발전량과 차이가 있는 것으로 판단됨

: 5월~11월 전체 합계 대비 약 20.6% 의 편차가 발생함



<월별 모듈 정격 BIPV발전량 및 모니터링 실측값 비교>

(4) 제로에너지건축물인증등급 도출용 친환경 건축설계 최적화 기술개발

(가) <u>DIN V 18599 기준 건물 에너지 요구량 계산</u>

○ 제로에너지건축물 인증등급과 건물에너지 요구량의 관계

- 제로에너지건축물 인증등급(이하 ZEB)은 건물의 에너지 소비량 대비 에너지를 생산량에 대한 성능을 등급으로 표현한 기준
- ZEB향 건물의 에너지 소비량은 건축물의 패시브 성능을 대표하는 건물에너지 요구량과 액티브 설비설계 조건에 의해서 결정
- ZEB 등급을 높이기 위해선 다음의 단계로 건축설계 과정이 필요

1) 패시브 성능을 고려한 건축설계 -> 건물에너지 요구량 저감

2) 액티브 성능을 고려한 건축설계 -> 건물에너지 소요량 저감

3) 필요 신재생 생산량을 달성하는 요소기술 적용 -> 목표 ZEB 등급 달성

- 패시브 성능을 고려한 건축설계는 건축물의 표면적, 방위, 창면적 비, 단열성능 등 건축 디자인적 요소를 활용하여 건축물의 에너지 소비 효율을 높이는 설계안 도출
- 본연구의 패시브 성능 관련 요소는 국내 ZEB등급 산출에 활용되는 ECO2 프로그램의 입력값을 기준으로 선정

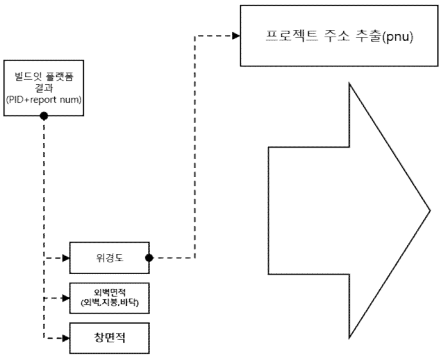
ECO2 패시브 입력 항목	패시브적 의미
입력존	건물에너지 성능 분석을 위한 공간 구분 단위
사용프로필	건물의 용도별 사용 패턴을 정의하는 기준
면적	각 입력 존 별로 중심선 면적
열저장능력	건물의 축열성능을 표현하는 기준
열교가산치	개략적인 열교 가산치 기준
침기율	기밀성능을 판단하는 기준
조명부하	필요 조명밀도에 따른 부하량
방위별 외피 면적	외기 혹은 다른 존과 접하는 외피 면적
외벽 열관류율	외벽 부분 열성능
지붕 열관류율	지붕 부분 열성능
바닥 열관류율	바닥 부분 열성능
창호 열관류율	창호 부분 열성능
일사 에너지 투과율	창호의 태양일사 획득 비율
수평/수직 차양각	차양에 의한 태양일사 차폐효과 입력
블라인드	블라인드에 의한 태양일사 차폐효과 입력

표 50 ECO2에서 입력하는 값 중에 건축물의 패시브 성능과 관련한 값

○ 건물에너지 요구량 분석 도구 개발 (단열 규제 법규 검토)

- 녹색건축물 조성 지원법에 따라서 국내에서 500제곱미터 이상의 건축물 신축 시 의무적으로 에너지절약계획서 제출
- 에너지절약계획서는 건축물의 에너지절약설계기준에 따라 부위별 열관류률과 함께 평균열관류율의 최소값을 지정
- 제도적 의무사항을 기준으로 건물에너지 요구량 분석 프로그램 내 적용되는 패시브 성능기준을 산정
- 에너지절약설계기준에서 요구하는 지역별 최소 외벽 평균열관류율 기준, 부위별 최소 열관류율 기준은 본 코드에 입력된 건물 주소를 기준으로 산정
- 대상 건물의 사이트 중심점에 해당하는 PNU를 추출하여 기준 지역을 지정
- 입력된 건물의 형상정보 중 창면적비를 기준으로 평균열관류율을 산정
- 산정된 평균열관류율에서 지역별 최소 외벽 평균열관류율 기준에 미달하는 부위별 열관류율 조합을 제외

- 아래 그림은 지역별 최소 외벽 평균열관류율, 부위별 열관류율을 추출하는 기준과 그에 따른 평균열관류율 기준에 대한 다이어그램



	부위별 열관류율 최소 기준				평균 열관류율 최소 기준
	구분	최소	최대	증감 범위	
중부 1지역	외벽	0.050	0.150	0.010	0.450
	창호	0.700	0.900	0.050	-
	지붕	0.050	0.150	0.010	**0.150**
	바닥	0.150		-	**0.180**
중부 2지역	외벽	0.060	0.170	0.010	0.500
	창호	0.700	1.000	0.050	-
	지붕	0.050	0.150	0.010	**0.150**
	바닥	0.170		-	**0.210**
남부지역	외벽	0.080	0.220	0.010	0.610
	창호	0.700	1.200	0.050	-
	지붕	0.070	0.180	0.010	**0.180**
	바닥	0.220		-	**0.260**
제주도	외벽	0.110	0.290	0.010	0.810
	창호	0.700	1.600	0.050	-
	지붕	0.100	0.250	0.010	**0.250**
	바닥	0.290		-	**0.340**

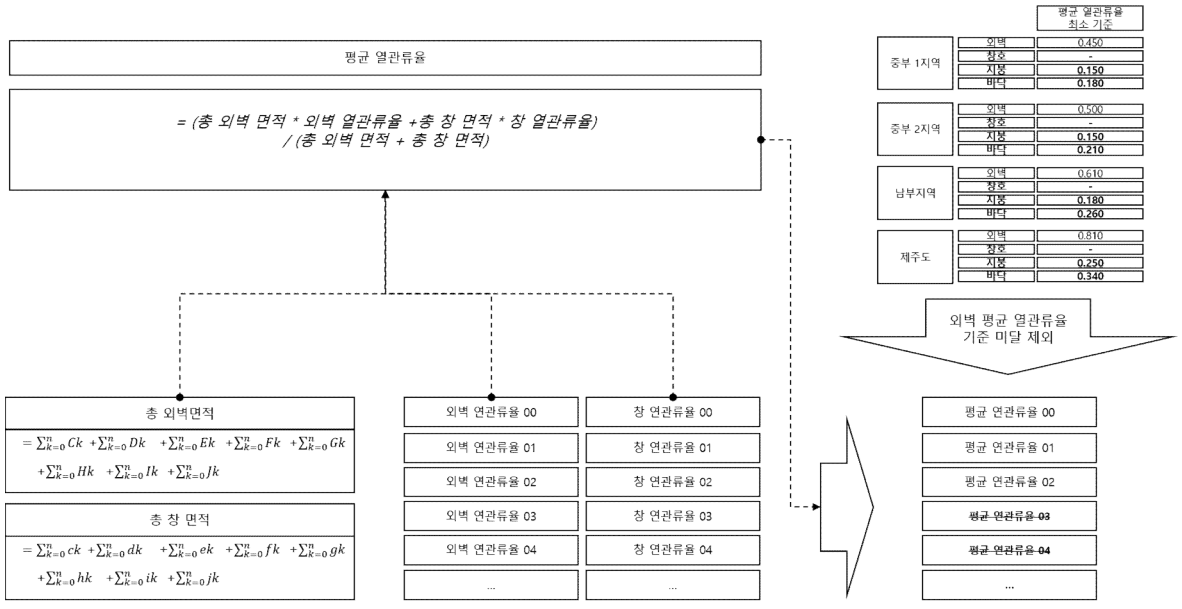
<지역에 따른 부위별, 평균열관류율 기준 추출>

○ 건물에너지 요구량 분석 도구 개발 (패시브 요소 추출)

- 패시브 성능 관련 요소는 건축설계 초기 단계서 결정되는 요소로 건축사에 의해 다양하게 패시브적 성능 요소들이 결정
- 패시브 요소는 건축 설계 초기 단계에 적용함으로서 건물에너지성능에 큰 역할
- 건축설계가 진행될수록 이 패시브 요소를 변경하는 기회비용은 크게 발생
- 본 연구는 초기 건축설계단계에서 패시브 요소를 최적화 하는 기술을 개발
- 특정 건물형상과 그 위치에 따라서 여러 가지 적용 가능한 패시브 성능 조합을 기준으로 예상되는 요구량을 분석
- 건물에너지 요구량 분석 프로그램 개발을 위해 제도권에서 사용되는 기존 도구의 입력값을 분석
- 표 23은 건물에너지요구량을 산정하는 프로그램인 ECO2의 패시브 요소 입력값
- ECO2 패시브 입력 요소 중 공동주택 건축설계 초기 단계에서 활용 가능한 요소를 추출

ECO2 패시브 입력 항목	반영 기준
면적	해당 건물의 바닥면적
열저장능력	표준 RC조 축열성능 : 90
열교가산치	내단열 / 외단열
침기율	6 *ECO2 메뉴엘에서 설명하는 예비인증시 활용되는 침기율
조명부하	7.5
방위별 외피 면적	해당 건축물의 8방위 외피 면적+ 지붕면적
외벽 열관류율	부위별 열관류 기준 적용(에너지절약설계기준)
지붕 열관류율	부위별 열관류 기준 적용(에너지절약설계기준)
바닥 열관류율	부위별 열관류 기준 적용(에너지절약설계기준)
창호 열관류율	부위별 열관류 기준 적용(에너지절약설계기준)
일사 에너지 투과율	실제 창호 제품군의 SHGC값 참조 0.45~0.75

[건물에너지 요구량 분석 도구에 활용된 패시브 요소]

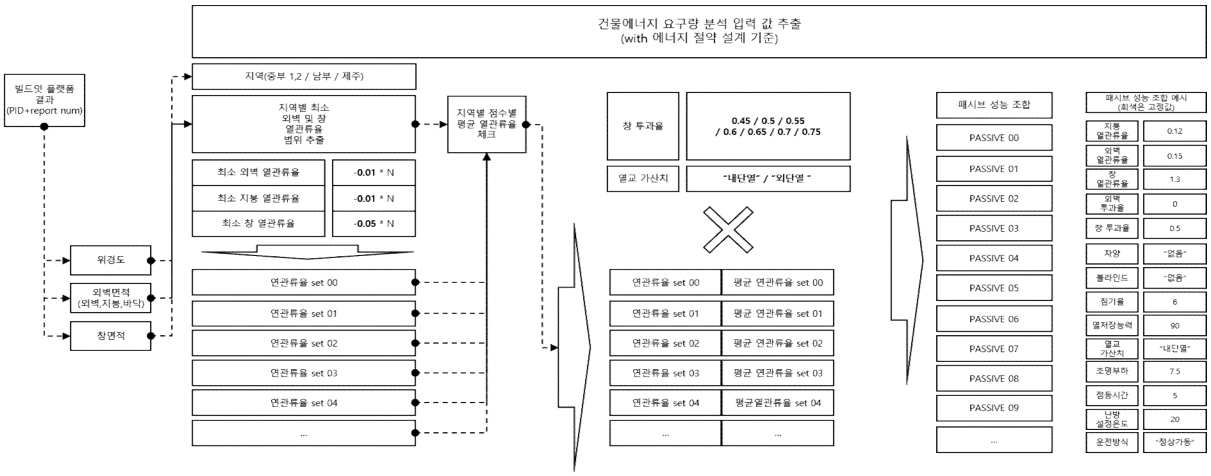


<평균열관류율 기준 적용 다이어그램>

○ 건물에너지 요구량 분석 도구 개발 (패시브 성능 조합)

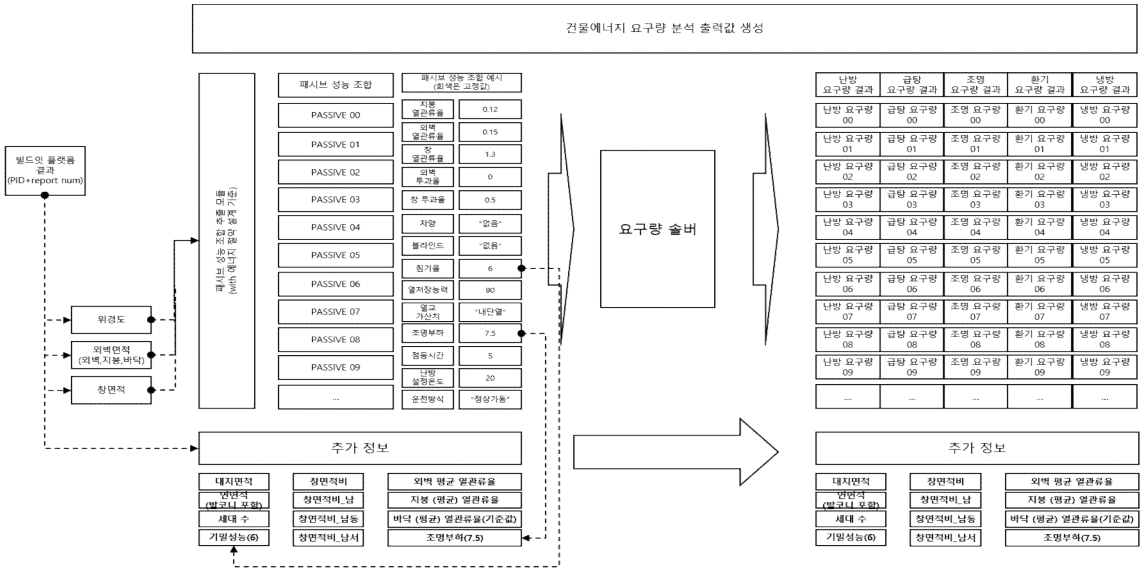
- 임의의 건축물을 입력하고 위 선별된 패시브 성능을 입력했을 때, 건물에너지 요구량을 DIN V 18599 기준으로 분석하는 도구를 개발

- 임의의 건축물을 입력하면 해당 건물의 면적, 창면적비 등과 같이 형상정보는 고정값이며, 부위별 열관류율, 평균열관류율, 열교가산치와 같이 패시브 성능 조합에 따라서 건물에너지 요구량에 차이가 발생
- 임의의 건축물의 형상정보를 고정하고 다양한 패시브 조합을 입력했을 때, 각 패시브 성능 조합에 따른 건물에너지 요구량을 계산
- 분석된 요구량 결과 중에 목표 건물에너지요구량 기반 적절한 패시브 성능을 추출



<건물에너지 요구량 분석 도구 입력값 생성 프로세스>

- 아래 그림은 건물에너지 요구량 분석 도구에 의해 도출된 출력값



<건물에너지 요구량 분석 도구 입력값에 따른 출력값 표현 다이어그램>

- 추출된 요구량리스트 중에 목표하는 건물에너지 요구량을 선택하면 해당 요구량을 달성할 수 있는 패시브 성능 조합을 추출

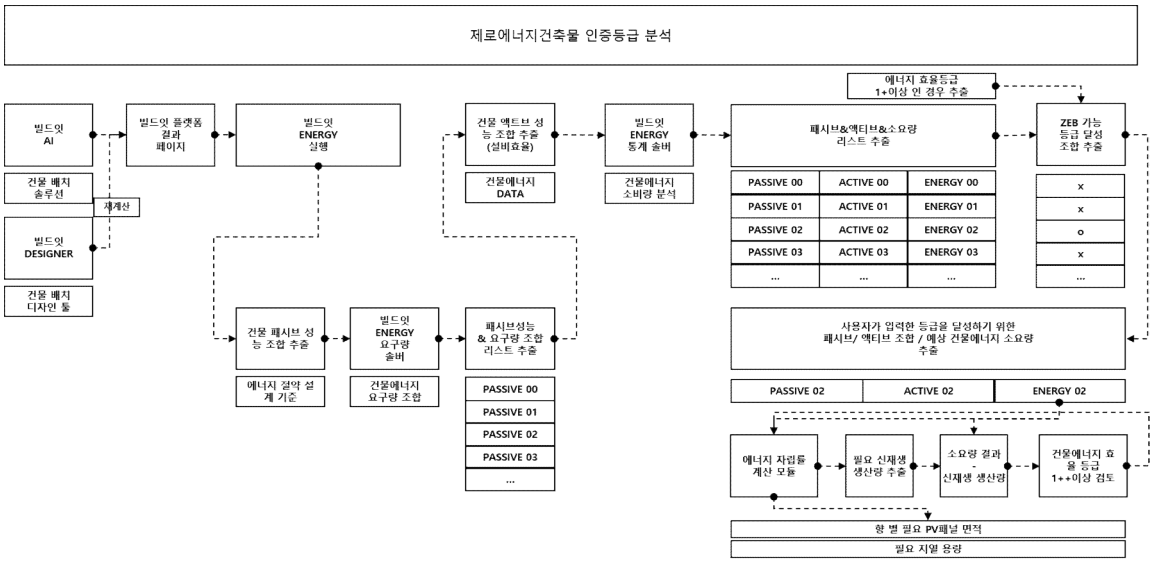
- 분석된 요구량 결과 중 목표 건물에너지요구량 기반 최적 패시브 성능 조합 추출
- 본 연구에서 개발된 건물에너지 요구량 분석 도구를 활용하여 건물 형태를 기준으로 외벽 열관류율, 창 열관류율 등을 예측하여 패시브 성능을 목표를 건축설계 시 고려

(5) 친환경 액티브/패시브 융합형 제로에너지건축 인공지능 단지 배치 설계 솔루션

(가) 건물 에너지 요구량

○ 단지 전체 건물에너지 요구량 합산

- 단지 전체의 건물에너지 요구량 = (건물별 에너지 요구량 × 건물별 연면적) / 전체 건물 연면적 총합



<제로에너지건축물 인증등급 분석 전체 프로세스>

(나) 건물 에너지 소요량 계산

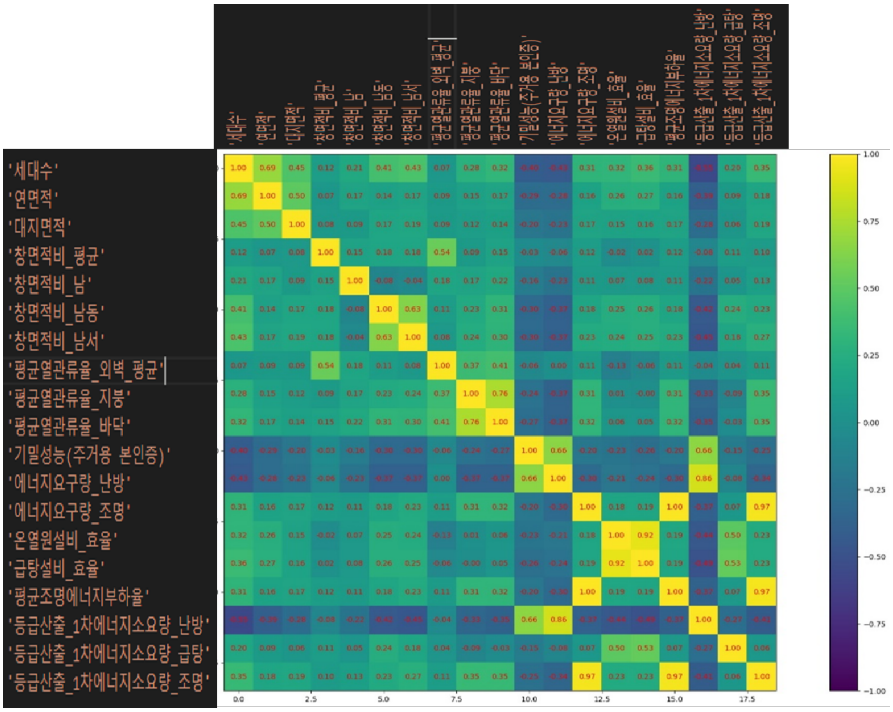
○ 통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 개발

- 건물에너지요구량 분석도구는 건축설계 패시브 성능을 계산
- 건물에너지 소요량에 따른 액티브 성능 예측을 위하여 본 연구에서는 건물에너지 소요량 계산 결과 데이터를 수집하고 그 결과를 통계적으로 활용하여 액티브 성능조건에 따른 건물에너지 소요량 예측 도구를 개발
- 통계적 예측 도구에 활용할 건물에너지 소요량 데이터를 생성하기 위해 인공지능 건축설계 프로그램을 활용하여 다양한 샘플 프로젝트를 생성하고 건물에너지 소요량 계산에 활용하는 ECO2 프로그램을 활용하여 건물에너지 소요량 데이터를 생성

입력필드 데이터 요소
세대수, 연면적, 대지면적, 전체 창면적 비, 남측 창면적 비, 남동측 창면적 비, 남서측 창면적 비, 평균 외벽 열관류율, 평균 지붕 열관류율, 평균 바닥 열관류율, 기밀성능, 난방에너지 요구량, 조명에너지 요구량, 급탕에너지 요구량, 온열원설비 효율, 급탕설비 효율, 평균 조명에너지 부하율
출력 필드 데이터 요소
등급산출용 난방 1차 에너지소요량, 등급산출용 급탕 1차 에너지소요량, 등급산출용 조명 1차 에너지소요량, 난방 1차 에너지소요량 급탕 1차 에너지소요량, 조명 1차 에너지소요량

<통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 학습 데이터 요소>

- 건물에너지소요량 예측 도구는 뉴럴넷 개념의 인공지능 알고리즘으로 개발
- 학습 데이터 요소의 전처리 과정을 통해 데이터의 타당성과 분포를 검사하고 정규분포의 경향성을 확인하였으며, 오차를 발생시킬 수 있는 아웃라이너는 학습에서 제외
- 정확도를 높이기 위해 각 요소별 상관관계를 정의하였으며, 비례관계 또는 반비례관계의 데이터 상관성은 사전에 정의



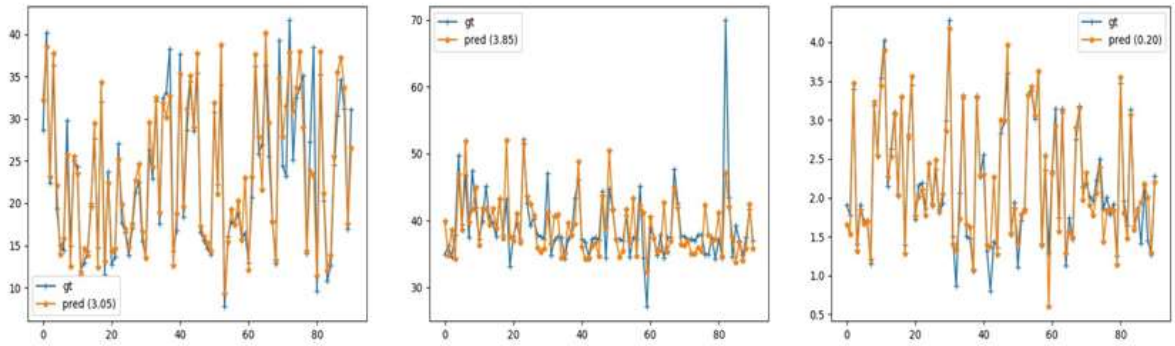
<통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 데이터 요소 상관관계>

- 건물에너지 소요량 예측 도구 개발을 위해 생성한 데이터 수는 전체 909개이며, 이 중 90%인 818개를 학습에 사용하였고 10%인 91개를 테스트에 사용

- 데이터의 각 변수 마다 최소/최대값을 이용해 [0-1] 범위로 정규화
- 32개의 샘플을 학습 배치로 사용하며, 총 200 epoch(전체 데이터셋에 대한 200번 학습) 동안 학습

○ 통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 검증

- 아래 그림은 학습 알고리즘의 검증에 활용한 10%(91개)의 테스트 결과



<등급산출 난방(左), 급탕(中), 조명(右) 1차 에너지소요량 검증 결과, 원본(파랑), 예측값(주황)>

- <u>오차의 합은 7.1kWh/m2</u>로 건물에너지소요량 <u>등급 기준이 20kWh/m2</u> 단위로 구분되어 있으므로 <u>각 등급의 중간값으로 에너지소요량을 모델링하면 등급간 오차가 발생하는 것을 방지</u>

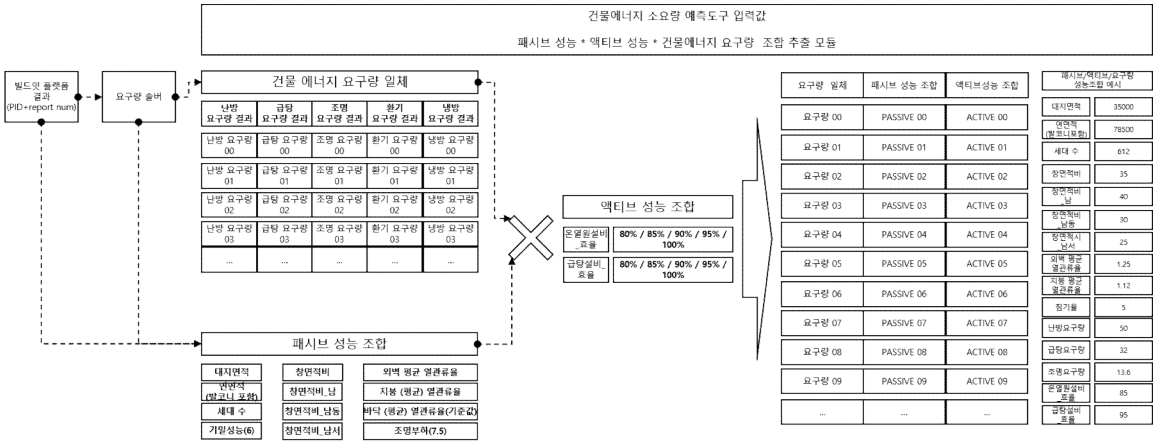
○ 통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 활용 프로세스

- 다음 그림은 통계적 건물에너지 소요량 예측 도구의 입력값

통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 입력값	
대지면적	m2
연면적(발코니포함)	m2
세대 수	num
창면적비	%
창면적비_남	%
창면적비_남동	%
창면적비_남서	%
외벽 평균열관류율	W/m2
지붕 평균열관류율	W/m2
바닥 평균열관류율	W/m2
침기율	1/h
난방요구량	kWh/m2
급탕요구량	kWh/m2
조명요구량	kWh/m2
온열원설비_효율	%
급탕설비_효율	%

<통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 입력값>

- 입력값 중 건물형상정보를 통해 추출하는 값은 ‘대지면적’, ‘연면적’, ‘세대 수’, ‘창면적비’, ‘창면적비_남’, ‘창면적비_남동’, ‘창면적비_남서’로 고정값
- 각 입력값 중 건물에너지 요구량 솔버에 의해 도출되는 값은 ‘외벽 평균열관류율’, ‘지붕 평균열관류율’, ’바닥 평균열관류율‘, ’침기율‘, ’난방요구량‘, ’급탕요구량‘, ’조명요구량‘이며, 이 값들은 요구량 성능차에 따라서 다양한 값 도출
- 입력값 중 ’온열원설비_효율‘, ’급탕설비_효율‘의 경우 80%~100%를 5단위로 구분되어 입력되어, 입력범위는 80, 85, 90, 95, 100 다섯 단계
- 건물에너지 요구량 분석 도구로 패시브 성능 조합에 따른 다양한 요구량 결과를 도출하고 액티브 성능을 대변하는 ’온열원설비_효율‘과 ’급탕설비_효율‘의 변수를 반영 다양한 건물에너지 소요량 입력값 리스트 생성
- 건물에너지 소요량 예측 도구는 결과로 도출된 난방, 급탕, 조명 등급산출 1차 에너지소요량을 합산하여 총 1차 에너지소요량을 산출하고 그 소요량을 기준으로 건물에너지 효율등급을 추출



<통계적 건물에너지 소요량 예측 도구 입력값 리스스 생성 다이어그램>

- 도출된 결과의 소요량 중 1+등급 이상의 값만 추출하고 제로에너지건축물인증 등급의 최소 건물에너지 효율등급 기준은 1++를 만족하는 신재생에너지 생산량을 반영

(다) 제로에너지건축물 인증등급 계산

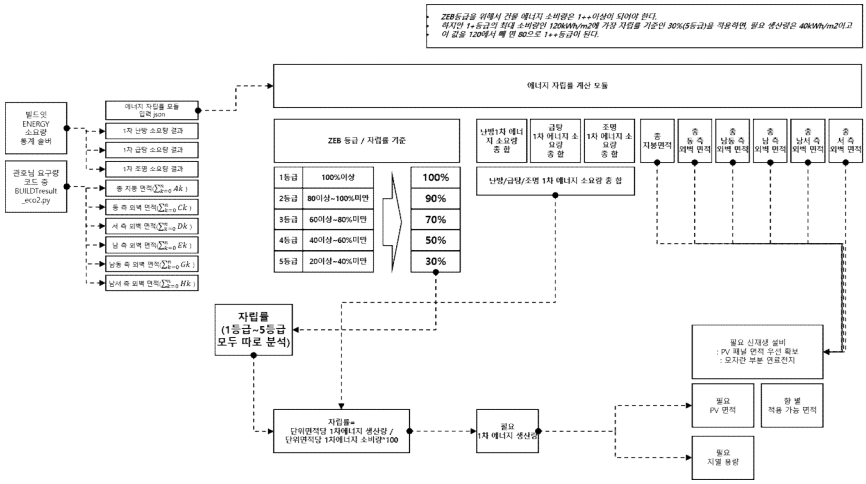
○ 필요한 신재생 에너지 생산량 및 에너지 자립률 계산

- 제로에너지건축물인증등급은 건물에너지소비량 대비 건물에너지 생산량의 비율별 등급으로 생산 건물에너지 비율을 에너지자립률이라고 하며 등급별 기준은 아래와 같음

ZEB 등급	에너지 자립률
1등급	에너지 자립률 100% 이상
2등급	에너지 자립률 80이상 ~ 100%미만
3등급	에너지 자립률 60이상 ~ 80%미만
4등급	에너지 자립률 40이상 ~ 60%미만
5등금	에너지 자립률 20이상 ~ 40%미만

<ZEB 등급에 따른 에너지 자립률 구분>

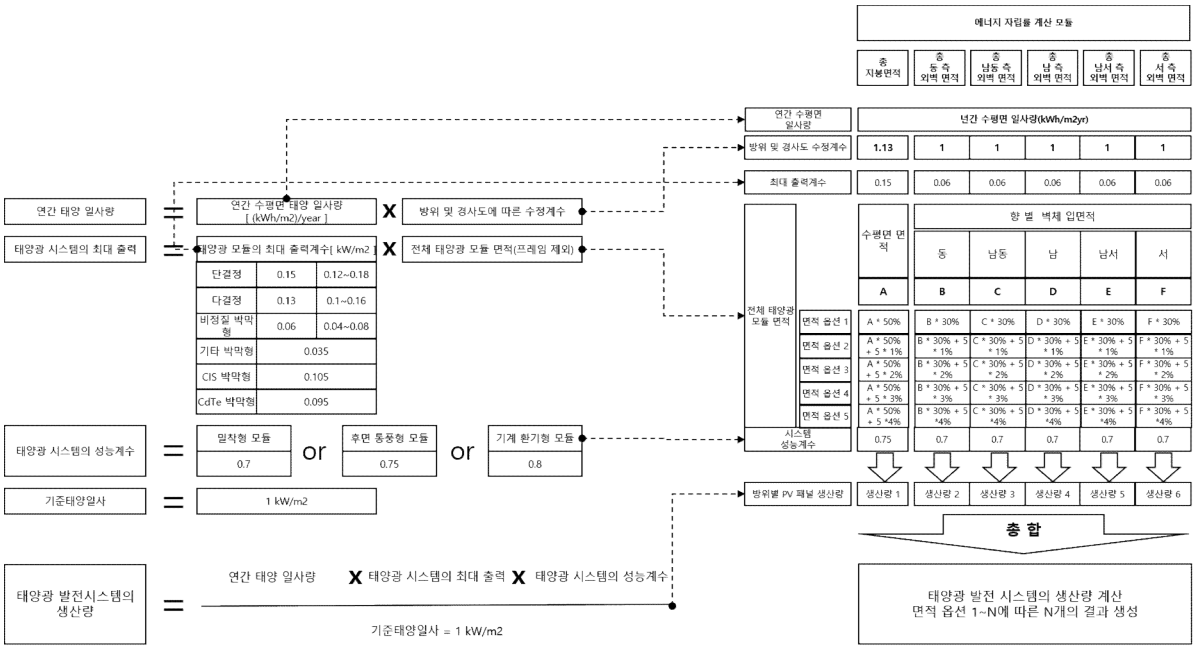
- 예를들어 본 과제의 목적인 제로에너지건축물 인증등급 3등급을 달성하려면 전체 건물 1차 에너지소비량이 100kWh/m2일 때, 생산량은 범위는 60~80kWh/m2
- 에너지자립률 분석 결과 적정 PV패널 면적과 효율, 지열히트펌프 용량을 도출



<에너지자립률 분석 프로세스>

○ 태양광설비 발전량 계산 알고리즘

- 태양광 발전 생산량은 아래 그림과 같은 분석 프로세스로 진행되며, 먼저 건축물 표면적 향별 분리 (지붕면, 입면 - 동, 서, 남, 남동, 남서)
- 지붕면은 수평 태양광 패널(후면통풍형 단결정, 기울기 45도) 기준이며, 그 외 향별 입면은 수직 설치 태양광 패널(밀착형 비정질 박막형, 90도)을 기준



<태양광 발전 생산량 분석 프로세스>

- 건물에너지 요구량 분석 도구에서 활용된 월별 일사량 데이터를 활용하여 년간 수평면 누적 일사량을 도출하고 월별 일사량 데이터에 각 월의 총 시간을 곱하고 총 합을 통해 값을 도출

(라) 제로에너지건축물인증등급 3단계 구축을 위한 패시브/액티브 조합 도출

○ 건물에너지시뮬레이션 분석도구 통합

- 건물에너지 요구량 분석도구, 건물에너지 소요량 예측도구, 에너지자립률 분석도구를 통합하여 건축설계 초기단계에서 확보 가능한 제로에너지성을 예측
- 예측된 제로에너지건축물인증등급에 따라서 필요한 패시브적 성능을 가진 배치안을 도출하고 건물의 표면적, 건물의 창면적비에 따른 달성 가능한 제로에너지건축물인증등급을 판단

(마) 용인 영덕 모듈러주택 실증단지 제로에너지건축물인증등급 확보안 도출

○ 패시브/액티브 디자인 요소 기술을 모듈러 주택 단지에 적용

- 건물에너지효율등급 분석 내용

〈분석 내용〉

사전 조사	• 대상 단지 현안 분석 – 용인영덕 실증단지 ECO2 원안 분석 및 빌드잇 에너지분석 • 관련 법규 검토 – 공동주택 에너지성능 관련 기준 및 법규(서울시, 에너지절약설계기준) – 관련법규 최근 동향
법규 수준 분석	• 법규 최소 설계 성능 도출 – 대상단지별, 도면 반영 수준의 에너지설계 적용 – 에너지절약설계기준 만족을 위한 최소 설계 성능 도출 • 법규 최소 설계에 대한 건축물에너지효율등급 분석
최적 설계 도출	• 건축물에너지효율등급 향상 방안 분석 – 건축물에너지효율 1++등급을 위한 최적 설계안 분석 – 비용성능 지수에 의한 우선순위 도출 방법 활용(에너지성능 및 비용 산출) • 제로에너지건축물 최종안 도출(신재생에너지 적용) – 제로에너지건축물 등급 적용 우선순위 도출 (제로에너지 3등급 구현 목표) – 건축물에너지효율 등급별 적용 신재생에너지 적용 비용 도출

– 에너지성능 설계요소

〈에너지성능 설계요소 List (패시브)〉

분야		항목		용인영덕 실증단지 단열 적용값	현 공사 구간 (기본모델)	추가공사비 발생 구간 (성능 향상)	
					LEVEL1	LEVEL 2	LEVEL 3
					법규 최소 기준	빌드잇 추천안	제품 스펙 및 성능
패시브	건축	외벽 측벽	외기 직면	C1 : 0.155 W/㎡K	**0.155 W/㎡K**	**0.150 W/㎡K**	**0.130 W/㎡K**
				비드법2종1호 151 mm + 글라스울50 mm	**비드법2종1호 151 mm + 글라스울50 mm**		**비드법2종1호 190 mm + 글라스울50 mm**
			외기 간면	P1 : 0.296 W/㎡K	**0.239 W/㎡K**	-	**0.194 W/㎡K**
				비드법2종1호 100mm	**비드법2종1호 125mm**		**비드법2종1호 155mm**
		지붕	외기 직면	R1 : 0.15 W/㎡K	**R1 : 0.15 W/㎡K**	**0.150 W/㎡K**	**0.113 W/㎡K**
				경질2종1호150 mm	**경질2종1호150 mm**		**경질2종1호200 mm**
		최하층바닥	외기 직면	F1 : 0.158 W/㎡K	**F1 : 0.158 W/㎡K**	**0.150 W/㎡K**	**0.124 W/㎡K**
				비드법2종1호30 mm + 경질2종1호 110mm	**비드법2종1호30 mm + 경질2종1호 110mm**		**비드법2종1호30 mm + 경질2종1호 150mm**
		창호	외기 직면	1.0 W/㎡K	**1.0 W/㎡K**	**0.89 W/㎡K**	**0.89 W/㎡K**
				24mm로이복층 이중창 (6CL+12Ar+6LE)+(6CL+12Ar+6CL)	**24mm로이복층 이중창 (6CL+12Ar+6LE) +(6CL+12Ar+6CL)**		**LG하우시스 (5CL+12Ar+5LE) +(5CL+12Ar+5CL**
		세대현관문	외기 간면	1.8 W/㎡K (법규 : 1.9)	**1.76 W/㎡K (법규 : 1.9)**	**0.180 W/㎡K**	**0.94 W/㎡K**
				단열 20mm이상, 열교차단재미적용	**국일도어테크(주) : KD-고기밀성 결로방지 단열문**		**(주)삼선CSA : CSA-60T-1**
		침기율 (ACH50 (회, 1/h))		6.0	**6.0**	**6.0**	**2.0**

〈에너지성능 설계요소 List (액티브, 신재생)〉

분야		항목	용인영덕 실증단지 단열 적용값	추가공사비 미발생구간 (기본모델)	추가공사비 발생 구간 (성능 향상)	
				LEVEL1	LEVEL 2	LEVEL 3
				법규 최소 기준	빌드잇 추천안	제품 스펙 및 성능
액티브	기계	개별보일러	고효율 보일러 효율 87%	**고효율 보일러 효율 87%**	**고효율 보일러 효율 96.8%**	**고효율 보일러 효율 90%**
	기계	환기방식	자연환기	**자연환기**	**자연환기**	**전열교환기(기계환기) (난방75%/냉방50%)**
	전기	LED 조명기구	고효율조명기기, LED 2 7.8% 7.47 W/㎡	**고효율조명기기, LED 27.8% 7.47 W/㎡**	**LED 100.0% 5 W/㎡**	**LED 100.0% 4.5 W/㎡**
신재생		BIPV	-	**서울시 5%의무 20kWp (100장× 200W)**	**지붕면: 320 Wp * 370 ㎡ 입면: 120 Wp * 700 ㎡**	**229.6kWp (1,080장 × 200W)**



<용인 중고층 모듈러 현안(좌), 빌드잇 추천안(우)>

○ 패시브 디자인 관점 에너지소비량 절감 전략 비교

- 건축물의 에너지소비량 절감의 핵심은 난방부하를 절감하는 것이 핵심
- 빌드잇은 다양한 에너지소비량을 제시하여 절감 요소를 선택 가능
- 체적대 면적비가 낮은 볼륨(빌드잇 추천안)은 외기에 접한 면을 줄여주기 때문에 열손실을 감소
- 평면의 세장비는 동, 서측으로 길게 뻗어 있어 남측의 선택적 일사획득을 극대화하여 난방부하를 저감

○ 액티브 디자인 관점 에너지소비량 절감 전략 비교

- 단위면적당 소비하는 에너지에 대하여 신재생에너지원을 이용한 자립률을 계산
- 빌드잇 추천안은 남향 판상형으로 BIPV 설치 면적을 남쪽으로 확보하는데 용이
- PV 설치 공간 확보를 지붕면 뿐만 아니라 입면의 현실적인 설치면적을 자동 제안

바) '비용성능 지수' 분석

○ '비용성능 지수' 산출식

- 비용성능 지수는 '에너지성능 설계요소' 적용을 위해 투입되는 '추가공사비 대비 에너지절감 효과'를 통해 산출한다. 즉, 앞서 실시한 '추가공사비' 및 '에너지절감량' 분석 결과를 통해

비용성능 지수를 산출

- 비용성능 지수 산출식

$$\text{비용성능 지수} = \frac{\text{에너지절감 효과}(kWh/\text{㎡}yr)}{\text{추가공사비(천만원)}}$$ 수식 6 비용성능 지수 산출식

○ 추가공사비 산출

- '기본 모델'의 추가공사비를 0으로 설정, '기본 모델'에 대하여 에너지성능 설계요소를 개별 적용하여 각 추가공사비를 산출
- 각 에너지성능 설계요소 단가 정보는 한국물가정보(http://www.kpi.or.kr), 한국유통물가정보(http://www.koris.or.kr)를 기준으로 산출

○ 에너지절감 효과 분석 방법

- '기본 모델'에 대하여 에너지성능 설계요소를 개별 적용하여 에너지절감효과 분석
- 건축물에너지효율등급, 제로에너지 건축물인증등급은 ECO2 프로그램을 이용
- 에너지절감효과는 단위면적당 1차 에너지 소요량을 의미

사) 최적 설계안 도출

○ '에너지성능 설계 요소' 적용 우선순위

- 에너지성능 설계요소를 '비용성능 지수' 분석 결과에 따라, 우선 순위가 높은 순서대로 나열하면 아래 표와 같음
- '비용성능 지수'가 높은 순서에 따라 차례대로 '에너지성능 설계 요소'를 적용하는 것이 비용대비 효율(에너지절감량)이 가장 좋으며, 이를 최적 설계안이라 함
- 빌드잇도 에너지분석 시 비용성능지수를 고려한 시뮬레이션 기술을 연구하는 것이 향후 목표

<용인영덕 모듈러 주택 최적설계안(요약)>

분야	항목			용인영덕 실증단지 현안 적용값		법규 최소 기준		제로에너지 3등급	
				도면 작성 내용		상향된 에너지절감기술요소		상향된 에너지절감기술요소	
패시브	외벽 및 측벽	외기직면 (측벽포함)	열관류율	0.155 비드법2종1호 151 mm + 글라스울 50 mm	W/m²K 201 mm	0.155 비드법2종1호 151 mm + 글라스울 50 mm	W/m²K 201 mm	0.155 비드법2종1호 151 mm + 글라스울 50 mm	W/m²K 201 mm
		외기간면	열관류율	0.296 비드법2종1호 100mm	W/m²K 100 mm	0.296 비드법2종1호 100mm	W/m²K 100 mm	0.296 비드법2종1호 100mm	W/m²K 100 mm
	지붕	외기직면	열관류율	0.15 경질2종1호 150 mm	W/m²K 150 mm	0.15 경질2종1호 150 mm	W/m²K 150 mm	0.15 경질2종1호 150 mm	W/m²K 150 mm
	최하층바닥	외기직면	열관류율	0.158 비드법 2종1호 30 mm + 경질2종1호 110mm	W/m²K 140 mm	0.158 비드법 2종1호 30 mm + 경질2종1호 110mm	W/m²K 140 mm	0.158 비드법 2종1호 30 mm + 경질2종1호 110mm	W/m²K 140 mm
	창호	외기직면	열관류율	1.00 W/m²K 24mm로이복층 이중창 (6CL+12Ar+6LE)+(6CL+12Ar+6CL)		1.00W/m²K (법규 : 1.0) 24mm로이복층 이중창 (6CL+12Ar+6LE)+(6CL+12Ar+6CL)		1.00W/m²K (법규 : 1.0) 24mm로이복층 이중창 (6CL+12Ar+6LE)+(6CL+12Ar+6CL)	
	세대 현관문	외기 간면	열관류율	1.8 W/m²K (법규 : 1.8) 단열 20mm이상, 열교차단재 미적용		1.76 W/m²K (법규 : 1.8) 국일도어테크(주) : KD-고기밀성 결로방지 단열문		1.76 W/m²K (법규 : 1.8) 국일도어테크(주) : KD-고기밀성 결로방지 단열문	
	침기율		ACH50(회, 1/h)	6.0 (1/h)		6.0 (1/h)		2.0 (1/h)	
액티브	개별보일러			고효율보일러 효율 87%		고효율보일러 효율 87%		고효율보일러 효율 87%	
	환기방식			자연환기		자연환기		자연환기	
	LED 조명기구			고효율조명기기, LED 27.8% 7.47 W/m²		고효율조명기기, LED 27.8% 7.47 W/m²		고효율조명기기, LED 100% 4.5 W/m²	
신재생	에너지절약형 친환경주택의 건설기준(2017.12.15 서울특별시 녹색건축물 설계기준(2017.9.28 시행) BIPV일체형 외벽시스템			-		전체 조명설비 용량 5%의무(2020년기준) 20kW (100장 × 200W)	친환경주택기준 / 서울시 녹색건축물설계기준 만족 범위	9.2kW (216kW : 1,080장 × 200W)	
건축물에너지효율등급 (단위면적당 1차에너지소요량)				3등급(190~230) 192.40 kWh/m²yr		2등급(150~190) 190.60 kWh/m²yr		1+++(60미만) 9.70 kWh/m²yr	
제로에너지 건축물인증등급				에너지자립률 0.00%		에너지자립률 5.52%		3등급(60~80) 에너지자립률 62.40%	
추가 공사비				-		약 1천 6백만원		약 8천 8백만원	

(아) 향후 건물에너지시뮬레이션 분석 도구의 개선 및 고려사항

○ 건물에너지 요구량 분석 도구

- 유저 수준에 맞는 단계별 입력 요소 구분
- 조닝과 조닝의 구성면 등 패시브 입력 요소 확장은 정교한 요구량 도출을 기대할 수 있음

○ 통계적 건물에너지 소요량 예측 도구

- 장기간 누적된 데이터를 확보하여 학습 알고리즘의 정확도 향상
- 냉방, 난방, 환기 중심의 액티브 입력 요소 확장
- 신, 재생에너지원 입력 요소 확장
- 향후, 주거(공동주택)용 건축물뿐만 아니라, 비주거 건축물 에너지 소비 예측 도구로서 활용 범위 확장 가능성 고려

○ 제로에너지건축물인증 목표 단계의 패시브/액티브 조합 도출

- 도출된 건축 자재 및 설비 기기의 SPEC 관련 성능 정보 안내
- 시장 제품의 DB화를 통한 예산 예측

(6) 태양광(재생에너지) 발전설비의 효율을 위한 분석

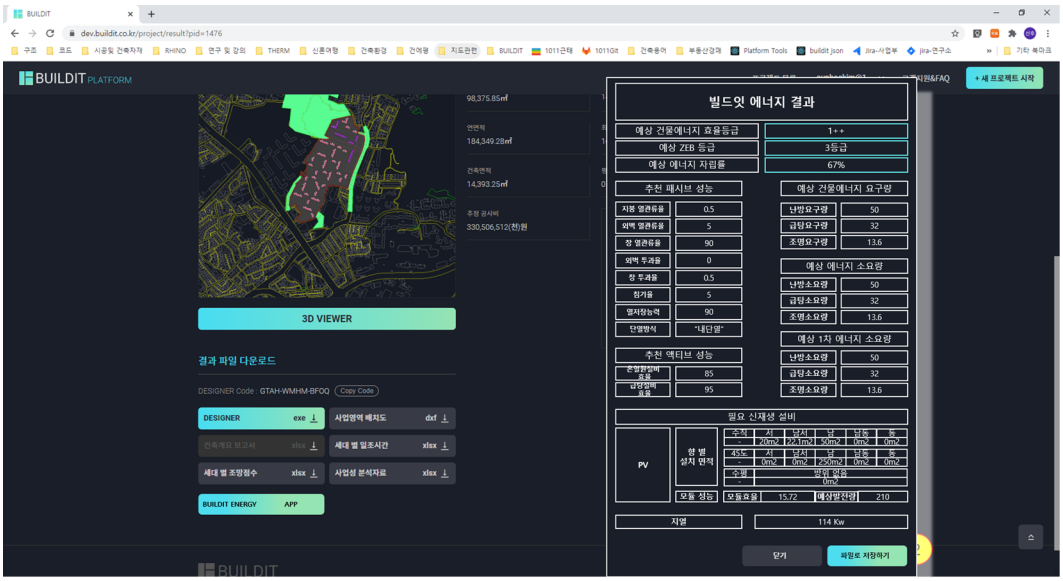
(가) 일사 시뮬레이터를 활용하여 태양광 발전설비 배치안 도출

○ 태양광설비 발전량 계산 수식

- 태양광에너지 시스템의 생산량은 해당 지역의 수평면 누적일사량을 기준으로 방위 및 각도에 따른 수정계수를 곱는 방식으로 적용
- ECO2의 태양광발전시스템에 의해 생산되는 에너지 $E_{el.po.out}$는 아래와 같이 계산

$$E_{el.po.out} = \frac{E_{sol} \circ P_{peak} \circ f_{perf}}{I_{ref}}$$

- 여기서 $E_{sol}(= E_{sol,hor} \circ f_{tlt})$은 태양광시스템의 연간 태양 일사량이며, P_{peak}는 태양일사 1kW/m2에서의 태양광시스템의 전기 최대 출력, f_{perf}은 태양광시스템 성능 계수, I_{ref}는 기준태양일사, $E_{sol,hor}$는 연간 수평면 태양 일사량, f_{tlt}는 방위 및 경사도에 따른 수정계수 (한국건설기술연구원, 태양일사 산정방법 발췌)
- 여기서 '방위 및 경사도에 따른 수정계수'는 해당 규격 annex B.1의 table B.2의 값을 사용



<인공지능 건축설계도구에 적용된 제로에너지건축물 인증 분석결과>

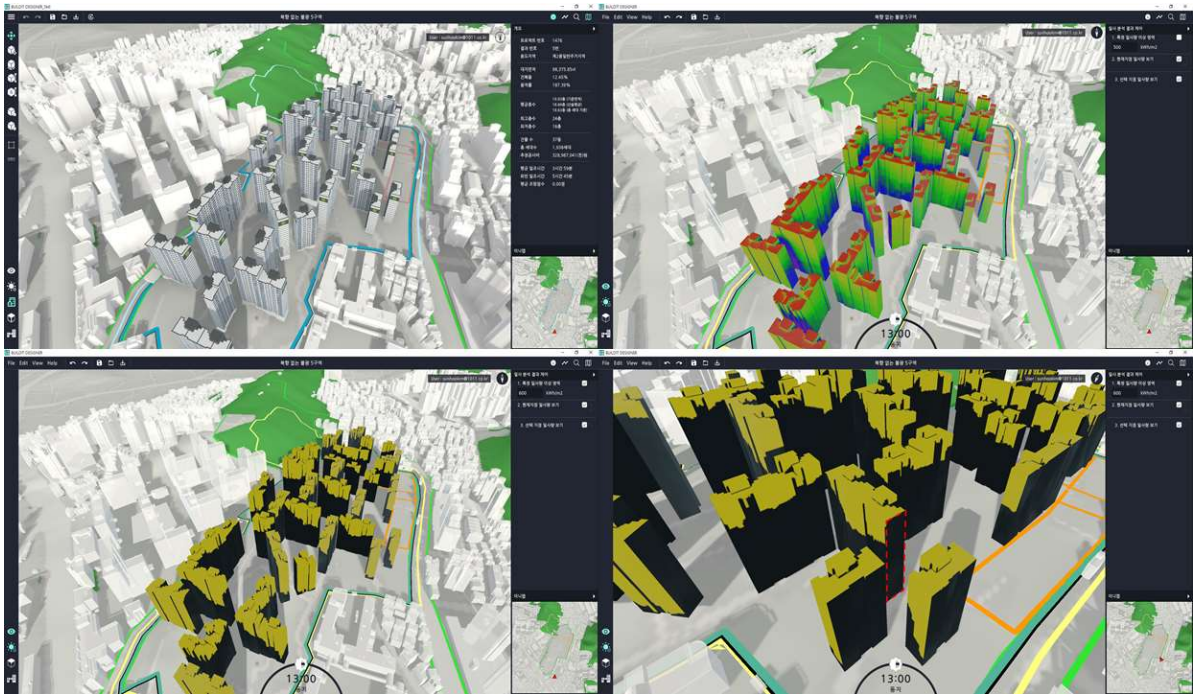
○ 일사 시뮬레이터 활용에 따른 PV 패널 배치 분석

- 태양광시스템의 생산량의 결정적인 요인인 일사량을 정밀하게 분석하여 대상지 주변의 지형 및 주변건물에 의한 음영과 태양 고도각과 건물의 방위를 고려한 누적 일사량 계산
- 기존 ECO2에서 사용하는 월별 태양일사 기후데이터가 아닌 8760개의 연간 시간별 일사량 데이터를 활용하여 분석
- 인공지능 건축설계 솔루션으로 생성한 건물 배치안을 기준으로 일사량을 분석
- 태양광 시스템의 생산효율을 높이기 위해 연간 누적 일사량이 일정 규모 이상인 영역을 계산
- 해당 영역(노란색영역)에 태양광 시스템을 적용한다면 동일 면적의 태양광 시스템을 기준으로 최대의 효율 달성이 가능
- 태양광 잠재성은 남측 입면이라 하더라도 다른 건물의 음영으로 누적 일사량이 낮아 발전효율이 낮을 가능성이 있으며, 이에 본 연구의 솔루션은 태양광발전 효율을 극대화할 수 있도록 정밀하게 검토가 가능

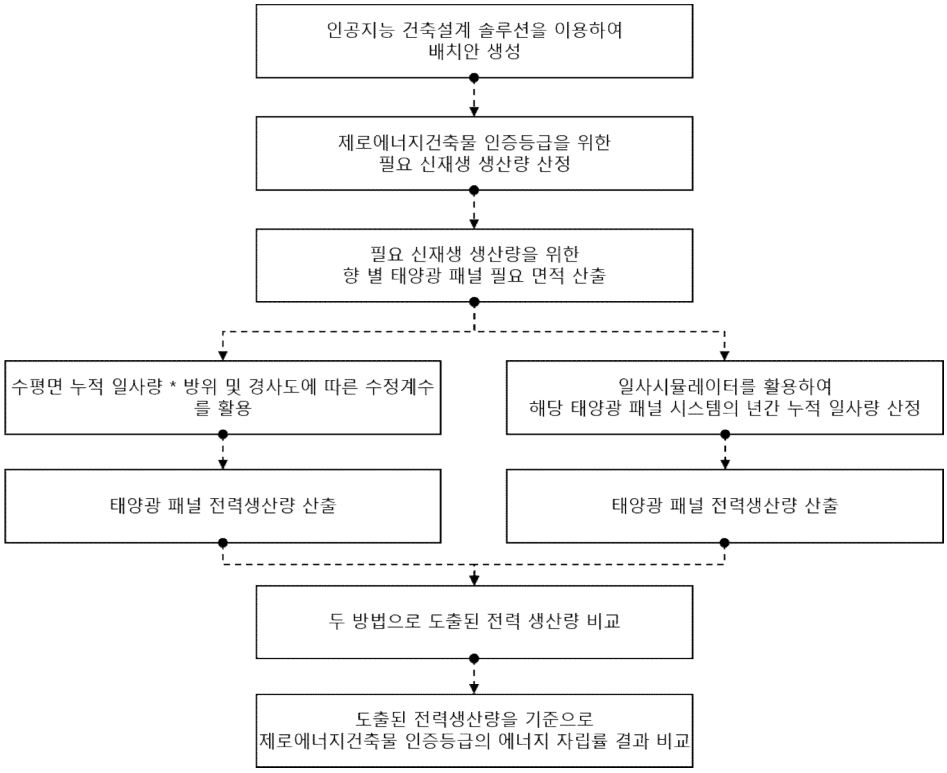
(나) 일사 시뮬레이터를 활용하여 태양광 발전설비 생산량 예측

○ PV 패널 발전 효율은 누적 일사량에 비례

- 인접한 건물의 음영에 의해 그 편차가 크게 발생할 가능성이 있으므로 아래 그림과 같이 편차에 대한 영향을 분석



<인공지능건축배치안(左上)의 전일사분석(右上)과 600kWh이상/이하영역(下)을 노랑/검정으로 표시>



〈일사시뮬레이터를 활용한 태양광 전력생산량 비교분석〉

나. 연차별 성과점검 기준표

(1) 1차년도 성과점검기준표

구분	핵심연구성과(level1)		단위 성과(level2)		1차년도 질적 성과						해당기관	예산(백만)	1차년도 양적 목표		
					성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치			가중치	달성치
총괄	A	친환경 건물 요소 분석 및 패시브/액티브 디자인 설계	A-1	모듈러주택 실증단지(가양 천안 두정)의 친환경 디자인 요소 추출	①	디자인요소 추출 및 분석	1건	1건	디자인 요소 분석	보고서	4	홍익대	90	20	논문 게재 : 1건
	B	에너지 절약형 외벽체 시스템 제작	B-1	액티브 디자인적 용 기본 설계 도서 작성	①	시스템 설계서로 기존 제품과 비교 평가	1건	1건	시스템 설계서로 기존 제품과 비교 평가	최종 보고서	4	한국건설기술연구원	90	20	특허 : 출원 1건 시제품 : 0건
	C	액티브-패시브 융합 친환경 건축물 인공지능 배치설계 솔루션 개발	C-1	비즈니스 모델수립 및 시뮬레이터 프로토타입 개발	①	프로토타입 시뮬레이터 개발	1건	1건	SW 실행파일로 시연 평가	동영상 증빙	5	텐일레븐	216	20	특허 : 출원 4건 신규고용 : 9명 SW : 2건 포상 : 2건
					②	NS 격자해상도	250^3 이상	250^3 이상	자체 실험	자체 확인	3			20	
					③	비즈니스 모델수립	1건	1건	비즈니스모델 사업계획서	최종 보고서	4			20	
계											20		396	100	특허 : 출원 2건 논문 게재 : 1건 시제품 : 0건 신규고용 : 8명 SW : 1건 특허 : 출원 5건 논문 게재 : 1건 시제품 : 1건 신규고용 : 9명 SW : 2건 포상 : 2건

(2) 2차년도 성과점검기준표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		2차년도 질적 성과						해당 기관	예산 (백만)	2차년도 양적 목표		
					성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치			가중치	달성치
총괄	A	천안두정 모듈러주택 친환경 디자인 설계 및 검증	A-1	친환경 디자인 설계안 제시	①	제로에너지건축물 인증 등급 5등급 확보안 도출 (ECO2)	1건	1건	친환경 건축 디자인 설계안	보고서	4	홍익대	150	인력양성 : 2명	10	인력양성 : 2명
	B	에너지 절약형 외벽체 시스템 제작	B-1	에너지 절약형 프리패브 외벽체 시스템 개발	①	에너지효율 등급 2등급 확보 (3등급에서 2등급으로 상향)	1건	1건	시스템 설계서로 기존 설계안과 비교 평가	최종 보고서	4	한국건설기술연구원	150	-	-	-
	C	인공지능 친관경 건축설계 솔루션	C-1	친환경 인공지능 공동주택 주동 설계 솔루션 개발	①	건물 입면 일사 시뮬레이터 정확도 검증	99% 이상	99.9% 달성	시험 성적서	KCL V&V 통과	4	텐일레븐	490	특허 : 출원 2건 등록 1건 디자인 1건 SW : 1건 매출액 300백만원 신규고용 : 6명 녹색인증 : 1건	10 10 10 10 20 10 20	특허 : 출원 2건 등록 1건 디자인 1건 SW : 1건 매출액 450백만원 신규고용 : 8명 녹색인증 : 0건 포상 : 2 건
					②	BIM 설계안 자동생성	100%	100% 달성	시험 성적서	KCL V&V 통과	4					
					③	기술가치 평가	가치평가 도출	TCB-3 등급 달성	기술가치 평가기관	평가기관 보고서	4					
계											20		790	인력양성 : 2명 특허 : 출원 2건 등록 1건 디자인 1건 SW : 1건 매출액 300백만원 신규고용 : 6명 녹색인증 : 1건	100	인력양성 : 2명 특허 : 출원 2건 등록 1건 디자인 1건 SW : 1건 매출액 450백만원 신규고용 : 7명 녹색인증 : 0건 포상 : 2건

(3) 3차년도 성과점검기준표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		3차년도 질적 성과						해당 기관	예산 (백만)	3차년도 양적 목표		
						성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치			목표치	가중치	달성치
총괄	A	패시브/액티브 건축설계안 검증 및 설계 방안도출	A-1	친환경 디자인 설계안 제시	①	친환경 모듈러 주택단지 디자인 설계및시안	제로에너지 건축물인증 3등급 확보안 도출 (ECO2)	1건	친환경 단지 배치 디자인 설계안	보고서	3	홍익대	365	SCI 논문 : 2 건 인력양성 : 3 명	10 5	SCI 논문 : 2 건 인력양성 : 3 명
	B	패시브/액티브 건축설계안 검증 및 설계 방안도출	B-1	에너지 절약형 프리패브 외벽체 시스템 개발	①	에너지절약형 BIPV 외벽체시스템 개발	모듈러주택의 에너지효율 등급 1++ 확보를 위한 패시브 및 액티브 융합	1건	시스템 설계서로 기존 제품과 비교평가	시제품 시연	3	한국건설기술연구원	365	특허 : 출원 1 건 등록 1 건	5 10	특허 : 출원 0 건 등록 0 건 시제품 : 1 건
	C	인공지능 친관경 건축설계 솔루션	C-1	친환경 인공지능 공동주택 단지설계 솔루션 개발	①	주택단지 조합	단지배치도 파일 출력	달성	시험 성적서	KCL V&V 통과	7	텐일레븐	1,096	특허 : 출원 2건 등록 1건 디자인 1건 SW : 1건 매출액 2,255백만원 신규고용 : 5명 시제품 : 1건 신기술인증 : 1건	10 10 5 5 10 10 10 10	특허 : 출원 5 건 등록 3 건 디자인 2 건 SW : 1 건 매출액 733백만원 신규고용 : 9 명 시제품 : 1 건 신기술인증 : 0 건 녹색인증 : 1 건 포상 : 1 건
					②	친환경 에너지 보고서 자동 생성	친환경 에너지 보고서 출력	달성	시험 성적서	KCL V&V 통과	7					
					③											
계											20		1,826	특허 : 출원 3 건 등록 2 건 시제품 : 1 건 SW : 1 건 디자인 : 1 건 SCI 논문 : 2 건 매출액 2,255백만원 신규고용 5 명 신기술인증 1 건 인력양성 : 3 명	100	특허 : 출원 5 건 등록 3 건 시제품 : 2 건 SW : 1 건 디자인 : 2 건 SCI 논문 : 2 건 매출액 733백만원 신규고용 9 명 신기술인증 0 건 인력양성 : 3 명 녹색인증 : 1 건 포상 : 1 건

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

○ 제로에너지 건축물(ZEB) 인증 등급 3단계 (에너지 자립률 60 이상 80% 미만) 구현을 위한 인공지능 기반 액티브-패시브 융합 친환경 건축 설계 솔루션 개발

- 1차년도 : **친환경 건물 요소기술 설계**

주관기관 (텐일레븐)	공동연구기관1 (홍익대학교)	공동연구기관2 (한국건설기술연구원)
- 빅데이터 기반 일조, 일사, 대기흐름 시뮬레이터 프로토타입 개발 - 에너지 절약형 프리패브 외벽체에 대한 인공지능 기반 시뮬레이터 개발 - 모듈 조합된 BIM 설계 시뮬레이션 개발	- 모듈러주택 실증단지에 대한 패시브/액티브 디자인 분석 및 친환경 디자인 요소 추출 및 친환경 디자인 방안 도출 - 시뮬레이션을 통한 검증 및 친환경 외피 디자인 설계	- 액티브 디자인 적용 모듈러건축 프로토타입 설계 - 모듈러주택 외벽체에 적용 (시제품 제작)

- 2차년도 : **인공지능 기반 친환경 모듈러주택 시뮬레이터 개발 및 1차 검증**

주관기관 (텐일레븐)	공동연구기관1 (홍익대학교)	공동연구기관2 (한국건설기술연구원)
- 에너지 절약형 프리패브 외벽체에 대한 인공지능 기반 시뮬레이터 개선 - 인공지능 기반 친환경 모듈 조합 알고리즘 개발	- 친환경 시뮬레이터 테스트 및 천안두정 실증단지에 적용 가능한 설계안 기획 - 천안두정 단지에 친환경 패시브/액티브 디자인 시뮬레이터 검증	- 친환경 모듈러주택을 위한 에너지 절약형 프리패브 외벽체 시스템 제작

- 3차년도 : **인공지능 기반 친환경 모듈러주택단지 시뮬레이터 개발 및 제작**

주관기관 (텐일레븐)	공동연구기관1 (홍익대학교)	공동연구기관2 (한국건설기술연구원)
- 액티브-패시브 융합형 제로에너지건축을 위한 인공지능 배치 설계 솔루션 개발	- 패시브/액티브 디자인 적용된 친환경 모듈러 주택 및 단지 프로토타입 설계 - 중고층 모듈러 실증연구단 (2020년 실증사업예정)과 협업	- 에너지 절약형 BIPV 외벽체 시스템 제작 - 중고층 모듈러주택 실증단지 설계 적용

3-2. 목표 달성여부

(가) 연도별 사업화 목표 및 결과

구분(연도)	사업화 목표	사업화 전략 및 방법	성과물
1차 연도 (2018)	■ 비즈니스 모델 개발	■ 주관기관(텐일레븐)에서 비즈니스 모델 개발 ■ 비즈니스 모델 사업계획서 작성	■ BM 보고서 1부
	■ 기존 기술 개선 및 검증	■ 모듈러주택 목업에 검증	■ 시제품 제작 ■ 모듈러주택 제작 공장에 적용(최적 BIPV 디자인 도출)
2차 연도 (2019)	■ 테스트베드 구축 (test.buildit.co.kr)	■ 모듈러주택 실증건물을 활용한 디자인 안 도출	■ 모듈러주택 실증건물에 디자인 보고서 1부
	■ 시장진입 및 양산, 판로개척 (인공지능 건축설계 컨설팅)	■ 주관기관(텐일레븐)에서 친환경 건축설계 솔루션 런칭 ■ 마케팅 및 판로개척	■ 매출액 45,200(천원) 달성
3차 연도 (2020)	■ 사업화 관련 인증 신청	■ 건설신기술 인증 신청중 ■ 녹색기술 인증 평가중	■ 매출액 7억원 달성

(나) 제안 당시 기술 수준 및 현재의 기술개발 성숙도

구분		1차년도	2차년도	3차년도	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	해당없음	해당없음	해당없음	【기초실험】 기본원리발견
	TRL 2				【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립
실험 단계	TRL 3				【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증
	TRL 4				【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발
시작품 단계	TRL 5				【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증
	TRL 6	■	□	□	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발
실용화 단계	TRL 7	□	■	□	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모
	TRL 8	□	□	■	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증
양산 단계	TRL 9	□	□	□	【사업화】 상용제품생산(R&D 지원대상 아님)

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 초기 단계 인공지능 기반 친환경 건축설계 솔루션 활용

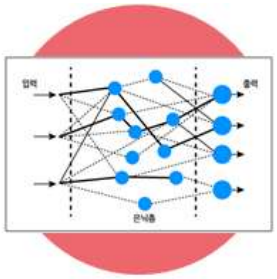
(1) 기존 친환경 건축설계의 문제점을 인공지능 기술로 해결

○ 패시브 디자인은 동일사양의 건축물과 비교하여 약 10~15% 이상 공사비 증가

○ 패시브 관련 자재를 과다 혹은 잘못 적용했을 경우, 동일 에너지효율 상태에서 공사비가 증가하거나 동일 공사비 대비 에너지효율이 낮아짐으로써 공사비 회수기간 지연

○ 본 과제의 솔루션을 활용하여 건축물 에너지계산을 건축설계 초기단계에 도입함으로써 공사비 낭비요소를 제거하고, 가능한 최대 에너지효율을 확보할 수 있도록 설계

○ 소요되는 시간과 비용을 절감하고 도시의 주거환경 설계 구조를 혁신하여 설계자들의 친환경 디자인 능력과 전문적 기술 역량을 증대



인공지능 병렬처리
기술개발



친환경 건축설계 산업의
품질향상 및 시장확대



친환경 건물 설계
비용절감 사회적 기여

(2) 기존 모듈러공법에 액티브/패시브 디자인을 적용한 제로에너지 모듈러 설계안 개선

○ 모듈러공법은 친환경적 측면에서 모듈의 설치나 철거가 용이하여 재활용 효과가 크기 때문에 모듈러주택은 차세대 주택으로 각광을 받을 것으로 기대

○ 본 과제의 솔루션은 친환경 모듈러주택 설계 기술을 크게 향상 시켜 건물의 쾌적성 및 에너지 성능과 함께 다양한 디자인안을 도출하여 초기 친환경성 분석에 활용

○ 모듈러공법은 일반 RC조 주택에 비해 공기단축, 현장시공 최소화, 소음, 분진 저감 효과로 주변 민원 소지를 최소화

○ 파라매트릭 수치들로 건축설계 변수들을 조정하고 실제 분석 결과를 건축설계에 피드백함으로써 설계 초기단계에서부터 친환경적으로 다양한 설계안을 도출하여 합리적 의사결정의 근거로써 활용

○ 액티브/패시브 디자인이 적용된 모듈러주택의 자동화된 설계기술 개발로 제로에너지건축물인증등급 초기 검토에 활용



나. 기관별 친환경 인공지능 건축설계 솔루션 활용 방안

(1) 주식회사 텐일레븐

○ 인공지능 기반 친환경 건축설계 기술 확보를 통한 서비스 런칭

○ 건축설계사에게 인공지능 친환경 건축설계 플랫폼을 제공함으로써 일정 수준 이상의 품질이 확보된 서비스 제공

○ 건축사무소, 건설사, 시행사 등에서 설계 비용을 낮추면서도 친환경성을 확보한 설계안 도출에 활용할 수 있는 서비스 제공

○ 도시재생 및 디지털 뉴딜 정책의 주거지 재생, 소규모주택정비사업 등에 친환경 주택 공급 사업성 검토 및 계획설계에 활용

○ 임대주택 공급사업에 사업성 검토 및 친환경 계획설계 도구로써 건축설계 이해당사자 간의 커뮤니케이션 및 사업성 검토에 활용

○ 건축사무소의 친환경 건축설계 초기검토를 위한 계획설계 도구로 활용

○ 대형 건설사에 친환경 설계가 가능한 계획 및 사업성 검토에 활용

○ 서울시 공간정보담당관/도시계획 및 각종 위원회 “버추얼서울” 플랫폼 내 건축심의도구로 활용하여 친환경성 분석

○ LH와 3기 신도시 구축을 위한 디지털트윈 플랫폼 기술탑재를 통한 스마트시티 설계

○ 재건축/재개발 지역 조합의 이해당사자 간 커뮤니케이션 도구로 활용

○ 향후 건물에너지효율등급 및 제로에너지건축물인증등급 시뮬레이션을 위한 기초 설계도구로 활용

○ 제로에너지건축설계에 익숙하지 않은 건축가들도 3차원 지형공간정보 기반의 직관적인 사용자 인터페이스로 쉽게 친환경설계에 활용

○ 그 외 시행사 및 자산운용사 등에서 대략적 건축개요 파악 및 친환경성 분석에 활용

(2) 홍익대학교

○ 인공지능 시뮬레이션 기반 설계 기법 정립

- 일조 일사 시뮬레이션을 활용한 설계기법 정립
- 유전 알고리즘을 활용한 파사드 설계기법 및 활용 방안 정립
- 바람길 최적화 시뮬레이션을 활용한 설계 기법 적용 방안 도출

○ 인공지능 시뮬레이션 기반 설계 교육 및 확산

- 대학 설계 수업에 인공지능 시뮬레이션 기반 친환경 설계기법을 적용하여, 새로운 기법을 활용하여 설계를 수행할 수 있는 전문 인력 양성
- 설계사무소, 시행사, 건설사 등의 전문인력을 대상으로 한 직무 교육을 시행하여 인공지능 기반 솔루션을 현장 적용 확산을 유도함
- 공공기관 담당자의 활용 교육을 통해 공공심의, 시민 커뮤니케이션 활성화 역량 강화

(3) 한국건설기술연구원

○ 에너지 절약형 프리패브 외벽체 시스템 및 모듈러주택 건축 기술 보유

○ 중고층 모듈러 주택에 외장재 일체형 BIPV 시범적용 추진(경기도시공사, 용인)

○ 에너지자급 가능한 도시재생 및 재난재해 대응 임시주거 모델에 대한 수요처 발굴

○ 코로나 19 등 전염병 대비 방역시설의 외장재 일체형 BIPV 적용추진 (기획재정부 2021 예산 주요사업)

○ 향후 고층형 친환경 모듈러공법을 활용한 건축설계 솔루션 연구에 활용

○ 모듈러공법 설계 표준화 기준을 도출함으로써 “공업화주택 인증” 업무에 대한 제도적, 기술적 선도 연구기관 위치 확보

○ 외장재 및 BIPV 일체형 대형 패널라이징 상용화 추진 및 SH공사 고덕 강일 에너지 제로주택 적용 추진

다. 사업화 계획

(1) 건축 설계 시장 현황

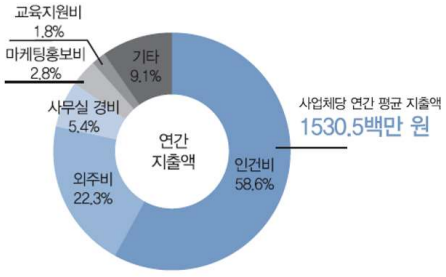
○ 서비스 제공 항목

- 건축법규를 고려한 인공지능 건축설계 서비스
- 쉽고 직관적인 사용성으로 빠르고 정확한 건축계획설계 서비스
- 일조, 일사, 바람길을 고려한 건물의 형태 및 배치계획 서비스
- 건축 디자인의 친환경적 성능향상을 위한 에너지 시뮬레이션 서비스
- 자동화된 친환경 건축설계 기술로 디자인 도구의 직관성 강화

○ 건축/건설시장은 인건비가 많은 비중을 차지하고 IT화가 미흡한 시장
- 2015년 건축서비스산업의 매출액 약 25.7조(2007년보다 110% 증가)
- 인건비의 비중(58.6%)이 높은 산업
- 노동 집약적이고 반복적인 설계 과정
- 숙련도에 따른 작업속도와 설계 품질의 차이

구분		사업체 수 (개)	종사자 수 (명)	매출액 (백만원)	인건비 (백만원)
건축 서비스업	건축설계 및 관련 서비스업	9,767	57,897	5,145,827	2,272,846
	도시계획 및 조경설계 서비스업	741	5,041	466,465	197,646
	건물 및 토목 엔지니어링 서비스업	3,672	60,262	6,800,373	2,760,505
	기타 엔지니어링 서비스업	3,928	52,155	6,543,325	2,260,645
	인테리어 디자인업	1,083	4,092	592,431	111,612
	총합	19,191	179,447	19,548,421	7,603,254

[출처] 건축사신문 기사, 성장하는 '건축서비스산업' 시장...매출액 25.7조, 2018.03.02



[출처] 건축설계산업 동향 및 실태 2018, 건축도시공간연구소

- 10년간 건축허가 면적 평균 101,213,000㎡, 건축허가 건수 평균 566,532건

단위(1000㎡)

건축허가 면적 (주거용, 상업용)										
	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
총계(천㎡)	78,081	90,559	91,589	83,956	98,354	137,969	126,564	118,480	102,078	84,500
전년대비증감율(%)	17.8	16.0	1.1	-8.3	17.1	40.3	-8.3	-6.4	-13.8	-17.2
주거용	51,464	56,557	59,255	50,237	60,935	85,520	78,420	70,254	57,324	46,241
상업용	26,617	34,002	32,334	33,719	37,419	52,449	48,144	48,226	44,754	38,259

주거용 : 단독, 다가구, 다중주택, 연립, 다세대, 아파트
상업용 : 근린생활, 숙박, 업무시설(오피스텔) 등

출처 : 통계청, 국토교통부, 「건축허가 및 착공 통계」

단위(건)

주택 규모별 주택건설 인허가 실적											
시도별	규모	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
전국	계	386,542	549,594	586,884	440,116	515,251	765,328	726,048	653,441	554,136	487,975
	40㎡이하	53,755	123,566	127,223	71,193	53,286	77,214	79,628	81,691	76,764	62,708
	40㎡~60㎡	70,008	99,601	114,330	101,307	121,817	171,014	147,239	153,048	142,062	133,303
	60㎡~85㎡	159,990	222,753	242,688	186,644	254,657	374,124	357,285	291,038	238,364	210,636
	85㎡~135㎡	71,228	65,441	66,932	51,723	55,944	102,902	96,223	87,260	60,754	56,443
	135㎡초과	31,561	38,233	35,711	29,249	29,547	40,074	45,673	40,404	36,192	24,885

출처 : 통계청, 국토교통부, 주택규모별 주택건설 인허가실적

○ 관련 서비스 현황 및 동향
- 인공지능 건축설계 솔루션 관련 서비스 현황

	Company	Our Solution	스페이스 워크	삼성물산	씨브데브	Robert McNeel	Integrated Environmental Solutions
개요	나라	한국	한국	한국	한국	미국	영국
	제품명	BUILDIT	Land Book	In-house Tool	Sanalyst	Grasshopper	IESVE

	Company	Our Solution	스페이스 워크	삼성물산	씨브데브	Robert McNeel	Integrated Environmental Solutions
	서비스내용	인공지능 친환경 건축설계안 추천 도구	인공지능 토지 가치 분석 도구	파라메트릭 건축설계안 분석 도구	친환경 건축 설계안 분석도구	파라메트릭 친환경 건축설계안 분석 도구	친환경 건축 설계안 분석도구
인공지능	인공지능 기술 반영	O	O	O	X	Δ (사용자 직접 코딩)	X
건축시장 계획설계	건축 규모 설계	O	Δ (<660m2)	O	X	X	X
	건축 매스 설계	O	O	O	X	X	X
친환경 분석기능	지형 공간정보 반영	O	X	X		X	X
	일조	O	X	X	O	O	O
	일사	O	X	X	X	O	O
	바람길	O	X	X	X	O	O
	열성능	O	X	X	X	O	O
	조망성능	O	X	X	X	X	X
건 물 에 너 지 분석기능	건물 에너지성능	O	X	X	X	Δ (사용자 직접 코딩)	O
	신재생 에너지	O	X	X	X	O	O
자동화 디자인 및 분석기술 특징	분석 방식	데이터 기반 계산	데이터 기반 계산	데이터 기반 계산	동적 계산	동적 계산	동적 계산
	분석 시간	1시간	-	-		1 ~ 12 시간 (경우에 따라 다름)	20분
	AI 디자인 프로세스	O	X	O	X	Δ (사용자 직접 코딩)	X
	AI 디자인 드로잉	O	X	X	X	X	X
유지관리	상업적 이용시 유지관리	O	O	X 비 상업용	O	X 개별 사용자 개발	O

○ 친환경 해석과 인공지능 성능 강화을 통한 기존시장의 확장 및 고객층 증대

- 주거용 건물을 위한 기존 빌드인 솔루션에 대한 기능 확장
- 지형 공간정보 활용, 건물 외피 및 평면도 자동설계 기법을 통한 생산성 최대화
- 공공성 높은 데이터를 무료 제공하는 등의 다양한 고객 확보 전략 수립
- 시행사, 건축사, 건설사, 엔지니어링 회사, 도시 계획자, 부동산 개발자, 공무원 등을 다양한 고객층의 요구 사항을 분석하여, 특화된 서비스를 제공

(2) 건축 통합 서비스 플랫폼으로 성장

○ 공공기관 및 심의기관에 납품하여 기업의 사용을 유도

- 국토부 경관심의 공모전 최우수 업체로 선정되어 납품을 목표함
- 스마트심의 테스트SW로 사용 논의 중
- 국토부 경관심의를 시작으로 사용 행정지역 확대 목표
- 공공기관 납품을 위하여 녹색기술인증을 확보하였으며, 추가적으로 웹서비스의 안정성 및 우수성을 입증하기 위한 GS 인증을 확보할 계획

○ B2B

- 건축 사업 타당성 발표 도구로 활용 가능
- 건축설계사무소 : 녹색 인증된 기술로 에너지 및 친환경적인 건축설계 활용
- 대형 건설사 : 투자업체와의 협력으로 아파트 단지의 친환경을 고려한 빠른 사업타당성 검토 도구로 포지셔닝

○ B2G

- LH, SH, 경기도시공사
- LH 디지털트윈 API 기술 제공 논의 중
- 공공임대주택 기획설계에 적용

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.