

고령화 인구감소 시대에 대응하는 세대공존형 모듈러주택 사업모델 연구

Business Model Framework for Intergenerational Modular Housing
in Response to Aging and Depopulation

이지은

박윤재

김용운



연구관리 2025-074호

고령화 인구감소 시대에 대응하는 세대공존형 모듈러주택 사업모델 연구

지 은 이 이지은, 박윤재, 김용운
발 행 인 정창무
발 행 처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지 <http://lhri.lh.or.kr>

- 이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구 검토한 기초자료로써 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계가 없습니다.
- 우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

고령화 인구감소 시대에 대응하는
세대공존형 모듈러주택 사업모델 연구

연구관리 2025-074호

고령화 인구감소 시대에 대응하는 세대공존형 모듈러주택 사업모델 연구

지 은 이 이지은, 박윤재, 김용운
발 행 인 정창무
발 행 처 한국토지주택공사 토지주택연구원
주 소 (34047) 대전 유성구 엑스포로 539번길 99
홈페이지 <http://lhri.lh.or.kr>

- 이 출판물은 우리 공사의 업무상 필요에 의하여 연구 검토한 기초자료로서 공사나 정부의 공식적인 견해와 관계가 없습니다.
- 우리 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

고령화 인구감소 시대에 대응하는 세대공존형 모듈러주택 사업모델 연구

Business Model Framework for Intergenerational Modular Housing
in Response to Aging and Depopulation

이지은·박윤재·김용운

참여연구진

연구책임

이지은 LH 토지주택연구원 연구위원

연구진

박윤재 LH 토지주택연구원 연구원

김용은 LH 부산울산지역본부 차장

연구심의위원

박지영 LH 토지주택연구원 주택주거연구실 실장(심의위원장)

강동렬 디엔비 건축사사무소 부회장

권혁삼 LH 토지주택연구원 주택주거연구실 팀장

박상현 국립재난안전연구원 센터장

윤영호 한국주거학회 주거연구원 원장

이아영 희림건축 본부장

자문위원 (가나다순)

강민정 강민정건축사사무소 대표

강태웅 단국대학교 교수

강한옥 삼우종합건축사사무소 마스터

김갑봉 스튜디오 대표

박성기 연세대학교 교수

박진범 원빔 대표

백만수 (주) 고향건축사사무소 대표

서정호 (前) 국토교통부 과장

서지영 삼우종합건축사사무소 마스터

안성우 정림종합건축사사무소 본부장

윤기병 원광대학교 교수

이성기 한도엔지니어링 종합건축사사무소 부사장

천상현 스틸라이트 대표

하성민 유닛랩 대표

위탁 용역

에이프레이م (김은배, 황규광)

외부 필진

백인찬 정림건축 사원

서종관 (주) 스페이스워크 Chief Architect, 서울대 및 홍익대 겸임교수

한동욱 KB금융그룹 KB증권 부장

■ 문제의식: 인구 감소, 초고령 사회, 지방 소멸의 '삼중 과제'

2045년 고령자 가구 비율 47.9% 전망, 2050년 65세 비중 39.8% 수준임. 기존 공공 주택의 요양 중심 모델로는 세대 단절·사회적 고립을 완화하기에 한계. 세대 간 상호교류·상호돌봄이 가능한 통합 주거 해법이 필요

- 지방소멸위험지수·지역발전지수(RDI) 등 객관 지표가 비수도권 전반의 쇠퇴 심화를 확인. 2012~2024 상위권 지역의 집중 변화를 시각화하여 '선택과 집중'형 정책 설계의 근거를 제공

■ 연구목적·범위·방법: 인구감소지역을 대상으로 삶의 질 개선을 위한 세대공존 모듈러주택의 사업모델 제시

목적: 인구감소지역·관심지역 중심으로 고령·비고령 세대가 상호 교류와 돌봄이 가능한 모듈러주택의 설계(안), 커뮤니티·돌봄 프로그램, 사업·운영 모델 제시

방법: ① 전국 인구·사회경제 지표·공공시설 인프라 데이터 분석, ② 국내외 정책·연구 프로젝트 사례 검토, ③ 세대공존형 모듈러 설계(건축가 설계 및 AI LLM 대안 생성), ④ 리츠 중심의 경제성·비용편익 분석 등 정량 검증

■ 핵심 제안 ① 감정 기반·반프라이버시 구조를 결합한 '정서적 평면' 개념 제안

세대별 감정 지도를 설계 변수로 도입하여 반프라이버시·정원 네트워크 기반의 '정서적 평면'을 제안함으로써, 물리적 공존을 넘어 정서적 상호돌봄을 유도하는 한국형 세대공존 모델을 구축하였음.

이는 기존 코하우징이 물리적 공유공간 중심이었다면, 본 연구는 '정서적 상호작용 구조'를 설계 변수로 명시화했다는 점에서 차별화됨. 즉, 세대공존을 물리적 공존이 아니라 정서적 긴장 완화와 상호 돌봄을 유도하는 공간 알고리즘으로 발전시켰다는 점이 핵심 의의

■ 핵심 제안 ② 3m×3m 모듈 기반 생애주기 대응형 '가변·분리·재조합 시스템' 구축

3m×3m 모듈 체계와 세대분리형·가변형 구조를 통해 동거-분가-재통합을 수용하는 생애주기 대응형 모듈러 주택 시스템을 제안하였음. 본 연구는 가족 구조 변화에 적응하는 '시간적 확장성(time-adaptive housing)'을 제도화 가능한 모델로 구체화하였음. 특히 BF(Barrier Free) 기준을 고령자 세대뿐 아니라 비고령 세대에도 선제 적용함으로써, 고령 전환을 고려한 전 생애주기 주택을 구현함. 단지 유형은 다음과 같이 3가지로 제안함

- 단독 '마을형' (중정·클러스터 반복) : 수요 맞춤형 모듈러주택 단지 형성 및 감정기반 공간설계 방식을 적용하여 재난 후 트라우마 치료 뿐 아니라 공동체 활성화 강화 모델
- 세대연접 '빌라형' : 두 세대를 연접하여 연접한 세대간 평면 확장 및 연결 방식에 대한 고려
- 세대분리 '아파트형' : 평형이 다른 세대를 별동으로 구성하고 기반부의 커뮤니티 공간을 공유, 수직적 콤팩트 마을 조성 계획 모델

■ 핵심 제안 ③ AI-LLM 기반 통합 설계 자동화와 UrbanGraphRAG를 통한 '설명 가능한 설계 체계' 구축

AI-LLM 기반 통합 설계 자동화와 UrbanGraphRAG를 결합하여 설계를 정량화·검증·설명 가능한 의사결정 체계로 전환함으로써, 세대공존 주거를 정책 실험이 가능한 공간 플랫폼으로 발전시켰음. 즉 UrbanGraphRAG를 통해 설계 결과를 온톨로지 → 지식그래프 → 자연어 질의 응답 구조로 변환함으로써, 전문가가 아닌 이해관계자도 설계안을 질의·검토 가능토록 함.

AI활용 설계는 단순한 생성 AI 활용이 아니라, 생성 → 검증 → 복구 → 설명의 다중 에이전트 구조를 갖춘 설계 모델을 제안함.

■ 사업·재정 모델: 공공 마중물과 이중 증명 구조

재무성(개별 사업자 관점) 분석 결과, NPV -1,893~-1,404백만 원, IRR -0.8%~1.1%로 나타나 민간 단독 사업화는 곤란한 구조임을 확인함. 이는 본 사업이 순수 시장논리로 공급되기 어려운 공공재 성격임을 의미하며, 초기 공공 마중물 투자와 장기 자금 구조화가 필수적임을 시사함.

그러나 단지·입주자·지자체 수준의 직접 금전효과 분석에서는 모듈러 적용과 공유시설·돌봄 연계를 통해 비용 45.15억 원 대비 편익 145.15억 원으로 단지 단위 실익이 도출됨.

사회경제적 비용편익 분석(CBA)에서는 돌봄 대체비용, 지역소멸 방지, 정주화 촉진, 노동 시장 효과를 포함하여 ENPV 128.1억 원, B/C 1.36을 산출하여 본 사업이 공공재·복지 인프라로서 충분한 정책적 정당성을 갖는다는 이중 증명을 제시함.

■ 제도·운영·거버넌스 측면에서 포용적이고 통합적인 주택 플랫폼 설계

본 연구는 주택을 단순 물리적 공급이 아닌 주거-보건의료-사회서비스-일자리를 통합하는 플랫폼으로 재정의함. 이를 위해 지능형 홈네트워크, 정보보호, 무장애(BF)·CPTED, 복지주택 기준 등 분절된 규제를 통합 정비하고, 포괄적 성능 기준 체계를 마련할 필요성을 제안함.

특히 세대·문화 혼합 단지에서 발생할 수 있는 소음·사생활·규범 갈등, 외국인 돌봄 인력의 정주 수용성 문제를 고려하여 운영 룰북, 교육·중재 체계, 지역 파트너십 모델을 제도화해야 함. 공간 역시 리소스 풀링(Resource Pooling) 개념에 따라 고정 기능이 아닌 유동적·공유적 구조로 설계해야 지속가능성이 확보됨을 제시함.

■ 실행 로드맵: 시범-제도화-확산의 3단계 과정

본 연구는 다음의 3단계 실행 전략을 제시함.

1단계(시범): 인구감소지역 및 관심지역에서 파일럿 단지를 조성하고, 표준 모듈·AI 자동설계·커뮤니티 프로그램의 현장 검증을 수행함.

2단계(제도화): 리츠 기반 자금구조, 돌봄 보건의료 연계 협약, 정보보호·스마트홈·무장애 설계 등 통합 기준을 정비함.

3단계(확산): 성과연계형 재정·투자 구조와 지방소멸대응기금·지방채·정책금융을 결합한 공공·민간 혼합재원 조달 체계를 통해 지역별 사업을 확장함. 특히, 2단계와 3단계는 순차가 아닌 병행 추진이 필요함.

■ 기대 효과

본 사업은 모듈러 생산성, 공유 자원, 상호돌봄 구조를 통해 비용을 절감하는 동시에, 지역 정주성과 세대 간 신뢰를 회복하는 확장 가능한 공공주택 플랫폼을 제시함

단지 단위의 명확한 금전효과와 사회경제적 편익($ENPV > 0$, $B/C > 1$)이라는 정량적 근거는 예산 배분과 정책 수용성을 동시에 뒷받침함. 이는 단순한 주택 공급을 넘어, 고령화·인구감소 시대에 대응하는 지속가능한 사회투자 모델임을 의미함.

■ 활용 방안

본 사업 모델은 주택 평면, 모듈러 생산·설치, 코하우징 거주 조건, 거버넌스·리츠 구조를 하나의 세트로 통합 설계할 때 비로소 효과가 극대화됨.

공공은 초기 마중물 투자로 리스크를 제거하고, 표준 모듈과 기술 고도화를 통해 생산성을 개선하며, 민간과의 협업을 통해 농어촌 및 인구감소지역의 구조적 문제를 해결함. 실증사업을 통해 모듈러 주택에 대한 사회적 신뢰를 축적하고, 성과를 도표·도면·표준안으로 공개하며, 제도 개선을 병행 추진하는 전략이 필요함.

주제어

초고령, 인구감소, 세대공존, 모듈러주택, 리츠(REITs) 사업

차례 Contents

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	2
3. 선행 연구 분석 및 차별성	3

제2장 인구감소지역 현황 분석

1. 인구감소지역의 제도적 기반	9
2. 지역 쇠퇴의 구조와 동인	12
3. 인구 이동의 연령별 구조 분석	21
4. 생활 인프라 격차와 사업 입지	27
5. 지역 유형별 모듈러주택 활용 전략	30
6. 소 결	31

제3장 세대공존형 모듈러주택 계획(안)

1. 세대공존형 주택의 개념과 특성	33
2. 계획 개요	38
3. AI-LLM 알고리즘을 활용한 단독주택 단지 계획 및 평면 대안 생성	43
4. 세대공존형 모듈러주택 평면 계획(안)	62
5. 세대공존형 모듈러주택 주동 계획(안)	68
6. 소 결	77

제4장 시범 사업의 타당성 분석

1. 사업모델 개요	79
2. 패키지형 세대공존 리츠 모델 계획(안)	81
3. 사업모델 상세 계획 및 운영 프로그램 제안	84

4. 비용 및 편익 분석	86
5. 재무성 분석 및 경제성 분석	94
6. 소 결	99

제5장 결 론

1. 연구 내용 요약	101
2. 정책적 시사점 및 제안	103
3. 한계 및 향후 과제	104

참고 문헌	105
-------	-----

부 록	109
-----	-----

표 차례 List of Tables

〈표 2-1〉 인구감소지수 8대 지표의 산정방법	10
〈표 2-2〉 『인구감소지역법』의 기본계획 및 시행계획에서 고려사항	11
〈표 2-3〉 지역발전지수 지표	15
〈표 2-4〉 인구감소지역 및 관심지역	17
〈표 2-5〉 K-means 군집분석에 의한 4개 지역 유형별 특성	25
〈표 2-6〉 보건 및 상업시설 이변량 분석 결과	28
〈표 2-7〉 동일 시도 내 시군구 MPDI 분석 결과 비교	29
〈표 2-8〉 지역 유형별 대응 전략과 모듈러주택 모델 매칭	30
〈표 3-1〉 공용 공간 계획 관련 정량·정성 기준 및 기타 사항	48
〈표 3-2〉 장애물 없는 생활환경 인증(BF) 기준	64
〈표 3-3〉 고령자 세대 36㎡ 평면 대안	65
〈표 3-4〉 고령자 세대 46㎡ 및 비고령자 64㎡ 평면 대안	66
〈표 3-5〉 고령자 세대 54㎡ 평면 대안	67
〈표 3-6〉 일본 세대공존형 임대주택 무사시 코가네이 사진	67
〈표 3-7〉 고령자·비고령자 세대 평면 및 기준층 평면 계획(안)	76
〈표 4-1〉 국내 리츠방식 사례	84
〈표 4-2〉 편익 항목	86
〈표 4-3〉 금전적 편익 항목	87
〈표 4-4〉 비금전적 편익 항목	87
〈표 4-5〉 금전적 편익 추정	88
〈표 4-6〉 건축비 및 운영비용 추정	89
〈표 4-7〉 비용 편익 계산을 위한 추정 금액	90
〈표 4-8〉 리츠(책임임대차)의 임대 수입 산출 구조	90

〈표 4-9〉 연간 운영 비용 (OPEX, 1년차)	91
〈표 4-10〉 주요 가정 반영 계산 결과	91
〈표 4-11〉 비용편익 계산결과 : 정상금액 기준	92
〈표 4-12〉 현재금액 기준 (Discounted Price 기준)	93
〈표 4-13〉 시나리오 별 분석 결과	95
〈표 4-14〉 초기 총 투자비 절감 상세 내역	95
〈표 4-15〉 사업의 30년간 총 편익 계산	97
〈표 4-16〉 비용 편익 분석 결과	98
〈표 4-17〉 각 분석 결과 비교	99

그림 차례 List of Figures

[그림 2-1] 인구감소지역 및 관심지역 지정 현황	16
[그림 2-2] 지역소멸위험지수 3개년(2012, 2020, 2024) 결과	19
[그림 2-3] 지역발전지수(RDI)의 종합지수 부분 상위 50개 시·군 3개년 결과	20
[그림 2-4] 전북특별자치도의 순이동자수 변화 그래프	21
[그림 2-5] 전북특별자치도의 출생아수 변화 그래프	21
[그림 2-6] 전북특별자치도의 사망자수 변화 그래프	22
[그림 2-7] 전국 시군구 평균 빈집률 분포 및 청년 순이동률 공간 분포	23
[그림 2-8] 주택 노후도별 이질적 효과	24
[그림 2-9] 지역 유형별 핵심 특성 비교	25
[그림 2-10] 지역 유형별 빈집율 추이	26
[그림 2-11] 지역 유형별 청년 이동 이질적 효과	26
[그림 2-12] 지역별 유형 구분(시군구)	26
[그림 3-1] 단지계획 커뮤니티 강화 전략 개념도	35
[그림 3-2] AI-LLM 설계 개념도	42
[그림 3-3] 4가지 타입의 평면 조합 개념 설정	43
[그림 3-4] 단지와 외부와의 관계 및 접근 방식	44
[그림 3-5] 헬싱가든시티 개념도 및 설계 이미지	45
[그림 3-6] 모듈러 단독주택 단지 계획(안)	46
[그림 3-7] 모듈러주택 평면 계획(안) 3D이미지	47
[그림 3-8] 필지 분할 후 단층 모듈러주택 배치(안)	49
[그림 3-9] TargetAreaParcelSplitter 결과물	51
[그림 3-10] 유전 알고리즘 기반 필지 적응형 건물 배치 최적화 시스템	52
[그림 3-11] RoomVariantOptimizer 시스템 아키텍처	54
[그림 3-12] 3m×3m 모듈과 공간구성 원칙	55

[그림 3-13] Knowledge Graph 시각화	58
[그림 3-14] 다중 에이전트 태스크 처리 흐름도	59
[그림 3-15] LLM으로 필지와 outline 생성	59
[그림 3-16] 대안 생성 가짓수 개요	60
[그림 3-17] 단위 세대 평면 유형 및 접합 모듈 개수	62
[그림 3-18] 3m×3m 유닛 설계 개념 : 구조부터 가구까지 일체화	62
[그림 3-19] hernández·paradela·de andrés 공모전 제출안	70
[그림 3-20] 싱가포르 듀얼키 유닛 사례	70
[그림 3-21] 세대연접 빌라형 세대 평면 계획(안)_대안 1	71
[그림 3-22] 세대연접 빌라형 세대 평면 계획(안)_대안 2	71
[그림 3-23] 세대연접 빌라형 기준층 평면 계획(안)_대안 1	72
[그림 3-24] 세대연접 빌라형 기준층 평면 계획(안)_대안 2	72
[그림 3-25] 세대연접 빌라형 주동 계획(안)_주경	73
[그림 3-26] 세대연접 빌라형 주동 계획(안)_야경	73
[그림 3-27] Kampung Admiralty	74
[그림 3-28] 푸르지오 숲속의 아침	75
[그림 3-29] 세대분리 아파트형 계획(안)	75
[그림 3-30] 세대분리 아파트형 주동 계획 개념	76
[그림 3-31] 세대분리 아파트형 주동 계획(안)	76
 [그림 4-1] 사업 흐름도	 79

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1.1 연구배경

1) 복합 위기 직면

- 우리나라는 압축 성장의 시대를 지나, 사회의 근간을 뒤흔드는 거대한 구조적 전환기에 진입. 세계사적으로 유례를 찾기 힘든 속도의 저출산·고령화 현상은 생산 가능인구의 급격한 감소라는 '인구 절벽'을 현실화하며 국가 경제의 잠재성장률을 잠식하는 구조적 위협이 되고 있음.
- 1970년도부터 인구는 수도권으로 이동하는 경향이 있었으며, 출생아 수의 감소, 사망자수 증가로 지방의 인구 감소는 가속화 되고 있으며, 이는 지방 중소도시와 농어촌 지역의 공동화(空洞化) 현상을 심화시켜 '지역 소멸'이 단기간에 해결할 수 있는 문제가 아닌 인구 사회 변화의 구조적인 문제가 되고 있음.
- 과거 팽창과 성장의 시대에 맞추어 설계된 물리적, 사회적 인프라는 현재의 축소 사회와 더 이상 양립하기 어려운 임계점에 도달했음. 특히 지방의 산업 기반 붕괴는 교육·의료·문화와 같은 필수 생활 인프라의 부족을 야기하고, 이는 다시 인구 유출을 부추기는 악순환의 고리를 견고하게 만들고 있음.

2) 고령화 가속화와 세대 간 갈등

- 급속한 고령화로 인해 고령자 인구가 빠르게 증가하고 있으나, 기존의 고령자 전용 주택이나 시설은 사회적 고립과 세대 단절을 초래할 우려가 있음.
 - 2028년에는 세종(13.5%)을 제외한 우리나라 모든 고령인구 비중이 20% 이상, '38년에는 세종까지도 20%를 넘어설 것으로 전망(2024 고령자통계, 통계청). '52년에는 거의 전국 모든 지역이 고령인구 비율이 40% 전후가 됨. 2045년 고령자 가구 비율이 47.9%로 거의 절반에 가까워짐(장래가구특별추계, 통계청)

- 우리나라 65세 인구구성비가 2020년 15.7%에서 2050년 39.8%, 80세 이상의 인구 전체 4,564만명 중 689만명(15.1%)가 됨 (장래인구특별추계: 2017-2067, 통계청). 즉 고령화 극복을 위한 주거문화 필요
- 사회 전체적으로 세대 간 갈등·단절 문제가 부각되면서, 다양한 세대가 상호 교류하며 함께 살아갈 수 있는 주거 모델 필요성이 높아짐.

3) 공공주택 공급 방식의 한계

- 현재 공공주택은 주로 저소득층, 신혼부부, 청년 등을 별도로 구분하여 공급하는 경향이 강함.
- 고령자복지주택은 주로 요양·돌봄 기능에 치중되어 있어, 세대 간 교류와 지역 커뮤니티 활성화에 충분히 기여하지 못하는 실정임.

4) 새로운 공공주택 사업모델의 요구

- 세대공존형 주거 환경을 공공이 주도적으로 구축함으로써, 각 세대가 상호 보완적 역할을 수행하고 지역사회에 긍정적 영향을 미칠 수 있도록 유도해야 함.
- 이를 위해서는 주거 설계부터 운영 시스템, 관리·재정 모델 등을 종합적으로 연구할 필요가 있음.

1.2 연구 목적

- 고령층과 청년·중장년층 간 세대공존이 가능한 모듈러주택의 계획(안)을 제시하고, 커뮤니티 시설 및 돌봄 프로그램의 운영 방안을 포함하여 사업모델을 제안하고자 함.
- 2021년 행정안전부가 ‘지방소멸기금’ 활용가능 지역으로 지정한 인구감소지역 및 관심지역을 대상으로 함.

2. 연구의 범위 및 방법

2.1 연구 범위

2 • 고령화 인구감소 시대에 대응하는 세대공존형 모듈러주택 사업모델 연구

- 전국 인구, 사회-경제적 통계, 공공시설 등의 주거환경 인프라 관련 데이터 분석
 - 공공데이터를 활용하여 수도권과 2022년 행안부 지정 인구감소지역 비교분석
- 계획에 고려하는 모듈러공법
 - 상자형태(Volumetric Modular)의 철골, 목조, PC, 하이브리드 공법
- 세대 공존형 모듈러주택 설계
 - 인구감소지역을 대상으로 3가지의 건축모델 대안 제시 : 2가지 타입의 공동주택(타워형 및 타운하우스) 및 마을형 주택단지 계획
- 사업모델
 - 100세대 내외의 공동주택을 대상으로 한 민관 협력 사업

2.2 연구 방법

- 전국 인구, 사회-경제적 통계, 공공시설 등의 주거환경 인프라 등의 데이터 분석
 - 2022년 지정 인구감소 지역 외 전국의 여건 비교 분석
- 선행 연구 분석 및 프로젝트 사례 분석
 - 고령화 및 지방소멸 대응 관련 정책, 빈집 및 인구 감소 관련 연구, 고령자주택 및 모듈러주택 프로젝트 사례 분석
- 세대 공존형 모듈러주택 설계
 - AI LLM알고리즘을 활용한 대안 생성 및 기존 방식대로 건축가의 작업으로 계획(안) 작성
- 사업모델
 - 민간과 협력할 수 있는 리츠사업을 중심으로 비용편익분석, 경제성 분석 등 정량적 검증

3. 선행연구 분석 및 차별성

3.1 국내 정책 및 연구 동향

1) 주거 수요자 맞춤형 정책 강화

○ 생애단계 및 가구특성별 주거지원

- 국토교통부의 제2차 장기주거종합계획(2013~2022) 수정 방안(2018)에서는, 기존 ‘획일적 공급’에서 탈피해 고령자·신혼부부·1인가구 등 다양한 주거 수요층을 위한 맞춤형 지원을 강조.
- 고령자복지주택(무주택 저소득 고령자를 위한 임대+복지시설 복합 모델), 1인가구용 세대 혼합형 주거타운 시범사업 등 추진. 특히 최근 청년·중장년 등 세대 혼합을 통해 도시 활력을 높이는 시도가 주목받고 있음.

○ 지자체 중심의 특화사업 확산

- 서울시: 1인가구 특별대책추진단 출범(2022), ‘1인가구 세대혼합형 주거타운 조성’ 연구 착수, 고령층 1인가구를 위한 맞춤형 표준평면(냉난방, 접근성, 심리적 안정감 요소)을 개발해 영등포 쪽방촌 공공주택사업 등에 적용.
- 각 지자체별로도 고령층 커뮤니티케어, 장애인 가구 맞춤형 주택, 저소득층 리모델링 지원 사업 등 다양한 정책·시범사업을 펼치는 추세.

2) 웰빙 주거환경 조성 및 주거복지 로드맵

○ 웰빙(Well-being) 주택과 복지정책의 접목

- 국민의 주거복지 향상 수요 증가: 고령자저소득계층도 단순 보호 수준 이상을 원하며, 친환경·쾌적성·공공교통 접근성 등이 포함된 전반적인 ‘삶의 질’ 개선을 희망.
- 2017년 발표된 주거복지 로드맵은 기존의 단편 지원(임대주택, 주거급여 등)을 생애주기와 소득 수준별로 묶어, 통합형 주거지원 체계를 마련함.
- 고령자복지주택 사업, 임대주택 품질 개선, 층간소음·에너지 절감 등 주택 품질 제고책이 함께 추진되면서, 웰빙 주거환경 요소도 복지 정책과 결합되는 추세.

○ 고령사회 대비 커뮤니티케어

- 보건복지부는 ‘지역사회 통합돌봄(커뮤니티케어)’ 추진 계획(2018)을 통해, ①주거, ②보건의료, ③요양, ④돌봄, ⑤독립생활 지원을 복합적으로 연결.
- 고령자 등 돌봄이 필요한 취약계층은 가급적 살던 지역에서 계속 머무를 수 있도록 주택 개조(무장애 등), 방문형 의료·복지, 지역 커뮤니티 시설 확충 등 행정·재정적 지원이 확대됨.

3) 스마트 주거기술 분야 R&D 확대

- 국가 R&D과제 중심의 스마트하우징 연구
 - 국토교통과학기술진흥원(KAIA)을 중심으로 △AAL(Ambient Assisted Living) 기반 헬스케어 공동주택, △생활밀착형 공동주택 성능향상(층간소음, 실내공기질, 결로·누수 해결) △AI 기반 스마트하우징 플랫폼 연구 등이 진행되어 왔음.
 - 이 중 AAL 기반 스마트 공동주택 헬스케어 기술·실증 모델개발(2014~2021)은 고령층 안전·건강관리 서비스를 주거환경에 접목, 리빙랩을 구축해 실증함.
- 고령자·1인가구·돌봄 헬스케어를 위한 스마트 서비스 기술
 - AI, IoT 센서 등을 활용해 낙상·질환 등 응급 상황을 조기 감지하고, 무인배송·편의시설 안내, 미세먼지 저감 공조, 화재·범죄 안전 등 다방면 서비스를 통합하는 ‘스마트 플랫폼’ 개발이 이루어지고 있음.
 - 부산 에코델타 스마트빌리지(2021~) 등에서는 실제 입주민이 5년간 거주하며 기술을 체험·피드백하는 리빙랩 방식이 도입되어, 종합적 실증과 공동체 관점의 연구가 활발.

4) 주거복지와 스마트시티 사업의 연계

- 스마트시티 실증 지구와 주거복지 로드맵의 만남
 - 정부가 추진 중인 스마트시티 시범단지(부산 에코델타시티, 세종 5-1생활권 등)에서도 주거복지 측면의 돌봄·커뮤니티 기능, 에너지 절감과 지속가능성(제로에너지주택), 의료·교육 연계를 점진적으로 결합하고자 하는 노력이 있음.
 - 교통·환경·헬스케어 등 개별 스마트솔루션에서 나아가, 스마트+복지+웰빙 통합형 도시 만들기를 지향. 다만 아직 초기 단계이며, 향후 확산을 위해 표준화, 법·제도 개선 등이 필요함.

5) OSC공법을 활용한 공공임대주택

- 관련 선행연구로, ‘LH 모듈러주택 표준 평면의 확대 방안(2024)’연구에서 ‘마을정비형 주택사업’으로 단층 및 저층형 모듈러 주택 단지를 조성하는 방안 제시
 - 지역의 특성에 따라 주택 평면 계획 및 주차장, 공동 이용 및 단지 계획이 달라져야 하는 방향 제시

3.2 국외 정책 및 연구 동향

1) 동아시아(싱가포르·일본)의 초고령사회 대비 정책

- 싱가포르 (HDB의 스마트타운 Framework, 고령자 복지 주거)
 - 주택개발청(HDB)의 Smart HDB Town Framework 아래, 신규 지구(Punggol Northshore 등)와 기존 노후 아파트단지에 스마트홈 인프라, 커뮤니티시설을 통합.
 - 초고령화 대비 복합 콤팩트단지인 ‘Kampung Admiralty’를 건설해, 고령자용 주거+의료시설+커뮤니티 공원+상업시설을 한 건물 안에 배치하며, 지역사회 통합돌봄의 대표사례임.
- 일본 (스마트타운, 무장애 기준, 돌봄 등 종합 모델)
 - 후지사와, 도요타, 요코하마 등에서 스마트타운 실증, 재생에너지·IoT 공동관리로 에너지 자립도 상승
 - 고령자 시설 및 주택에 대한 무장애 지침(바닥높이·문턱없음, 복도·화장실 안전설비 등)과 공공 의료·돌봄 시스템을 결합해, ‘정책+건축+복지’를 통합적으로 운영하는 특징이 있음.
 - 스미토모·미쓰이 등 대기업 그룹 주도로 지자체·지역사회와 협력해 세대공존형 주거 단지를 조성하고, 장기적 주거복지 모델로 성장시키는 전략도 활발히 전개 중.

2) 고령자주택 및 스마트헬스케어 시장 확대

- CCRC(Continuing Care Retirement Communities) 등 고령자 커뮤니티 모델: 미국·유럽 등에서 ‘독립 거주→생활 지원→전문 간호’ 등 건강상태 변화에 따라 주거옵션을 단계적으로 제공해, 고령층의 ‘지역 내 장기 거주’를 지원함.
- 고령층·1인가구 증가로 AI 헬스케어, 무인배송, 소셜 로봇 등 스마트홈 서비스 수요가 커짐. 많은 국가에서 국가 차원 표준과 윤리·개인정보 보호 정책도 정교하게 구축하고 있음.

3) 미국·유럽 중심의 스마트시티와 커뮤니티케어 확산

- 미국 (NIST, GCTC)
 - 미국 국립표준기술연구소(NIST)는 Global Community Technology Challenge (GCTC) 프로그램을 운영해 교통·에너지·안전·커뮤니티 회복력 등 전 분야에 스마트

솔루션을 적용하고, IoT·CPS(사이버물리시스템) 기술의 표준화·계량화 연구를 지원.

- 연방·지방정부, 민간기업, 연구기관이 함께 참여하는 대규모 리빙랩형 프로젝트가 많아, 각 지역의 주거·환경·보건 문제 해결을 위해 스마트홈, 커뮤니티 헬스 등에 대한 R&D도 활발.

○ 유럽 (리빙랩·지속가능성 강조)

- 핀란드 ‘Smart Kalasatama’(헬싱키) 프로젝트: 지역주민과 기업, 시 당국이 함께 리빙랩을 꾸려 도시재생 및 주거환경 개선을 실증. 교통, 전력, 공공시설, 주거단지 등을 연결해 일상에서 스마트 기술을 시험하고 피드백을 얻음.
- 덴마크 DOLL Living Lab: 조명·에너지·교통·실외공간 관리 등 스마트시티 관련 기술을 대규모 실험단지에서 검증. 향후 주거·에너지효율 솔루션과 연계되어야 ‘웰빙’ 측면에서도 확장 가능.
- 영국은 범죄예방환경설계(CPTED)를 제도화하여 ‘Secured by Design(SBD)’ 인증 운영. 안전한 주거단지를 만들어 도시 범죄를 예방하면서, 고령자·청년 등 다양한 계층이 안심하고 거주하도록 함.
- 스웨덴은 파드그네펜 코하우징(Sættedammen) 단지 등을 통해 사회적 고립 문제를 코하우징으로 해결하는 시도를 하고 있음. 코하우징의 지속가능성과 관련하여 사람의 행동 연구에 집중하고 공동체 회복을 위한 주택 디자인에 대해 설계 및 운영 측면에서 시도함.

3.3 시사점

- 국내 정책은 맞춤형 주거, 커뮤니티케어, 스마트기술 접목 등 핵심 방향이 제시되어 있으며, 이를 위해서는 실증 확대, 제도 개선이 필요함. 국외 사례에서도 ‘스마트 + 웰빙/돌봄 + 에너지/환경 + 안전’을 통합하는 추세가 뚜렷하므로, 한국도 스마트하우징을 차세대 핵심 분야로 삼고 정책연구·민간투자를 유기적으로 연결해야 함.
- 통합형 스마트복지 체계: 국내외 모두 고령화·복지 수요 증가 속에서, 주택과 보건·의료·사회서비스를 유기적으로 연결해야 한다는 공감대가 큼. 특히 싱가포르 Kampung Admiralty나 미국 일본의 CCRC 사례처럼, 복합화·콤팩트화가 효과적임. 이에 본 연구에서도 인구감소지역을 고려한 계획임에도 불구하고 공동주택 형태의 계획 모듈 2가지를 구체적으로 제안함. 사업모델도 이러한 유형을 기반으로 제안함.

- 사업화·확산 전략: R&D 성과를 실제 주거단지에 적용하고, 민간 참여를 유도해 시장을 형성해야 지속 가능. 세대 간 교류, 지역사회 연계(의료·문화·돌봄) 등 사회적 가치도 반영해야 시민 수용도와 경제성이 균형을 이룰 수 있음.
- 제도·법규 개선: 국내에서는 지능형 홈네트워크 설비(국토부), 정보보호기준(과기부), 복지주택 기준(복지부) 등이 분절적. 해외에서도 IoT 보안, CPTED, 무장애 설계 기준 등이 제도화되고 있음을 볼 때, 한국도 포괄적 법·제도 정비가 시급.
- 사업의 지속가능성을 위해 행정안전부, 국토교통부, 보건복지부 등 관계 부처가 함께 사회적 고립 및 지방 소멸 문제를 해결해야 함.

3.4 선행연구와의 차별성

- 본 연구에서는 고령화 시대의 핵심 과제인 고령자 돌봄과 세대 간 교류를 동시에 해소할 수 있는 ‘세대공존형 공공주택’ 모델과 구체적 설계안을 제시하는데 차별성이 있음. 그리고 고령층 밀집 지역이나 청년 유입이 필요한 지역 등 특정 지역 상황에 맞춰 유연하게 적용할 모델을 모색함.
 - 기존 연구들은 주로 고령자를 위한 주거의 질을 높이는 방향에 집중하고 있으나, 본 연구는 고령화 부양의 문제와 세대 간의 갈등을 주된 사회 문제로 인식하고 고령자·중년·청년 등이 함께 거주하며 상호 보완할 수 있는 통합형 공공주택 마련을 목표로 함.
 - 기존 연구는 웰빙·복지 주택정책이 스마트홈 및 스마트시티와 결합하는데 초점을 맞추었으나, 본 연구는 커뮤니티 및 사회통합 관점에 초점을 맞춰 수행하여 스마트 홈과 같은 기술은 사업 추진 과정 중에 개선할 수 있는 보조적 수단으로 고려함.

제2장 인구감소지역 현황 분석

1. 인구감소지역의 제도적 기반

1) 인구감소지역의 개념과 지정

- (정의) 인구감소지역이란 『지방자치분권 및 지역균형발전에 관한 특별법』(이하 지방분권균형발전법) 제2조 제12호에 따라 인구감소로 인한 지역 소멸이 우려되는 시·군·구를 말함¹⁾
 - 65세 이상 고령인구, 14세 이하 유소년인구, 생산가능인구의 수, 인구감소율, 출생률, 인구감소의 지속성, 인구의 이동 추이 및 재정여건 등을 종합 고려하여 지정
- (지정절차) 행정안전부장관이 관계기관 협의(중앙행정기관, 시·도지사 등) 후 지방시대위원회 심의를 거쳐 지정·고시²⁾
 - 전국 89개 지역을 인구감소지역으로 지정한 상태
 - 이외에 인구감소지수 상위 20% 내외를 관심지역으로 별도 지정(행정안전부 제2024-6호, 2024.1.16.)
- (지정기준) 인구감소지수 8대 지표를 지수화하여 표준화한 값으로 산정
 - 고령화비율을 제외하면 값이 높아질수록 인구가 감소하고 있음을 의미
- (지정현황) 인구감소지역 89개 시군구, 관심지역 18개 시군구(행정안전부고시 제2024-15호, 2024.2.2.)

1) 『지방분권균형발전법』 제2조 제12호: "인구감소지역"이란 인구감소로 인한 지역 소멸이 우려되는 시(특별시는 제외하고 광역시, 특별자치시 및 행정시는 포함한다)·군·구를 대상으로 출생률, 65세 이상 고령인구, 14세 이하 유소년인구 또는 생산가능인구의 수 등을 고려하여 대통령령으로 정하는 지역을 말한다.

2) 『지방분권균형발전법 시행령』 제3조: 광역시, 특별자치시 및 시·군·구 중에서 65세 이상 고령인구, 14세 이하 유소년인구 또는 생산가능인구의 수, 인구감소율, 출생률, 인구감소의 지속성, 인구의 이동 추이 및 재정여건 등을 고려하여 지방시대위원회의 심의·의결을 거쳐 행정안전부장관이 지정·고시하는 지역을 말한다.

<표 2-1> 인구감소지수 8대 지표의 산정방법

지표명	산정식(활용 자료명)	기간(년)
연평균 인구 증감률	$\left(\frac{2020\text{년 인구}}{2001\text{년 인구}}\right)^{1/19} - 1$, $\left(\frac{2020\text{년 인구}}{2016\text{년 인구}}\right)^{1/4} - 1$ (통계청, 주민등록인구 현황)	2001-2020, 2016-2020
인구밀도	$\frac{\sum \text{총인구}}{\sum \text{행정구역면적}}$ (통계청, 행정구역 현황)	최근 5년(2016-2020)
청년 순이동률	$\frac{\sum \text{청년 순이동자수}}{\sum \text{청년 연양인구수}}$ (통계청, 국내인구이동통계)	최근 5년(2016-2020)
주간인구	상주인구 + (주간유입인구 - 주간유출인구) (국가교통DB, 통근·통학·업무 통행인구)	2020년
고령화 비율	$\frac{\sum 65\text{세이상인구}}{\sum \text{총인구}}$ (통계청, 주민등록인구 현황)	최근 5년(2016-2020)
유소년 비율	$\frac{\sum 14\text{세이상인구}}{\sum \text{총인구}}$ (통계청, 주민등록인구 현황)	최근 5년(2016-2020)
조출생률	$\left(\frac{\sum \text{출생아수}}{\sum \text{연양인구수}}\right) \times 1,000$ (통계청, 인구동향조사)	최근 5년(2016-2020)
재정자립도	$\left(\frac{\sum \text{자체수입}}{\sum \text{지자체예산규모}}\right) \times 100$ (통계청, 재정자립도)	최근 5년(2016-2020)

출처 : 행정안전부, 인구감소지역 지정(<https://www.mois.go.kr/frt/sub/a06/b06/populationDecline/screen.do>)

2) 인구감소지역의 지원과 특례

- 인구감소지역은 『인구감소지역 지원 특별법』(이하 인구감소지역법)에 따라 지방소멸대응기금과 연계한 지원을 받을 수 있음
 - 지방교부세 지원, 생활인구의 확대, 청년·중장년 정착 지원, 생활환경·경관 개선 등 사업 추진 가능
 - 보육, 교육, 의료, 주거·교통, 문화, 외국인 체류, 노후·유희시설 정비 등의 특례 지원
 - 주택 분야: 공공임대주택 우선 공급, 노후주택 개선 비용 일부 지원 가능³⁾

3) 『인구감소지역법』 주택관련 특례: ① 인구감소지역 이주자에 대해 공공임대주택 우선 공급, ② 거주 주민의 정주여건 개선을 위하여 노후 주택 신축·개수·보수·철거 등 비용의 일부 지원 가능.

『지방자치분권 및 지역균형발전에 관한 특별법』 제2조 제12호

- ① 국가와 지방자치단체는 인구감소지역으로 이주하는 사람에 대하여 「공공주택 특별법」에서 정하는 바에 따라 공공임대 주택을 우선 공급할 수 있다.
- ② 국가와 지방자치단체는 인구감소지역에 거주하는 주민의 정주여건 개선을 위하여 노후화된 주택의 개선을 위한 신축 및 주택개수·보수·철거 등에 필요한 비용의 일부를 지원할 수 있다.

○ 인구감소지역은 5개년 중기계획 수립이 의무화되어 있으며, 광역시(시·도)는 기본계획, 기초지자체(시·군·구)는 시행계획을 수립하여야 함

<표 2-2> 『인구감소지역법』의 기본계획 및 시행계획에서 고려사항

	시·군·구 기본계획 및 시행계획 (법 제6조 제2항)	시·도 기본계획 및 시행계획 (법 제7조 제2항)	국가 기본계획 및 시행계획 (법 제8조 제2항)
현황 분석	지역의 인구증감, 인구구조, 인구이동 변화 등	인구증감과 인구구조, 인구이동 변화 등	
기본 구상	지역 특성을 반영한 인구감소 대응 기본구상과 전략	인구감소지역 지원에 관한 기본구상과 전략	지원에 관한 기본구상과 전략
중점 과제	전략에 따라 우선 추진할 중점과제		
연계	시·도 재정지원 및 국고보조사업 등 재정지원과 연계방향	인구감소지역 시·군·구 기본계획 간 효율적인 연계 및 조정	시·도와 시·군·구의 기본계획의 지원에 관한 사항
협약 협력	국가와 지방자치단체 간 협약	국가와 지방자치단체 협약 및 다른 시·도의 지방자치단체 상호 간 협력	맞춤형 지원시책 및 특례에 관한 사항
생활권	생활권 연계·협력 추진 사항	시·군·구 생활권 연계·협력의 지원	
생활 인구	시·군·구 생활인구 확대	시·도 생활인구 확대	
재원 확보	시·군·구 기본계획 시행에 필요 재원의 산출 및 연도별 확보계획	시·도 기본계획의 시행에 필요한 재원 산출 및 연도별 확보	국가기본계획 추진을 위한 필요 재원의 산출 및 조달과 연도별 배분
성과 평가			지원 및 성과평가에 관한 사항
기타	인구감소 위기 대응에 필요한 사항	시·도 인구감소 위기 대응에 필요한 사항	인구감소지역 지원을 위하여 필요한 사항

2. 지역 쇠퇴의 구조와 동인

1) 지역 쇠퇴의 메커니즘

- 지역 쇠퇴는 산업경쟁력 상실 → 일자리 감소 → 청년 인구 유출 → 세수 감소 → 인프라 악화 → 추가 인구 유출이라는 악순환 구조를 가짐
 - 고도성장기의 이촌향도(농촌에서 도시 인구이동)가 출발점이었으며, 현재는 낮은 출산율에 따른 자연 감소까지 겹쳐 인구감소가 가속화
 - 수도권과 비수도권, 도시 간 인구 이동이 지역 쇠퇴의 핵심 동인
- 이러한 쇠퇴 패턴은 국내외에서 공통적으로 관찰됨
 - 해외: 미국 디트로이트(자동차), 영국 리버풀(항만·제조업), 독일 도르트문트(광업) 등 기간산업 몰락으로 쇠퇴한 뒤, 도시재생·산업전환 정책으로 대응
 - 국내: 군산시(조선·자동차), 태백시(광업) 등 주력 산업의 쇠퇴로 인구 유출이 발생하며 지역 쇠퇴가 진행
- 해외 사례의 공통 교훈은 경쟁력을 상실한 산업의 전환이 불가피하며, 새로운 성장동력 이식 과정에서 원주민 감소와 이주민 증가 등 인구 구조의 재편이 수반된다는 것임.
- 지역 쇠퇴가 심화되면 사회간접자본의 유지·관리가 어려워짐
 - 지방세수 감소로 도로, 상하수도, 교육, 의료, 소방, 치안 등 기본 서비스 유지가 곤란해지고, 중국에는 지자체가 지역을 관리하는 데 한계에 봉착
 - 상위위계 대도시에 인구와 기능이 집중되면서 국토 이용의 불균형(과밀·과소)이 심화되고, 이에 대응해 거점도시·압축도시·축소도시 전략이 논의되고 있거나 장기적·지속적 투자가 필요한 상황임.

2) 지역 쇠퇴 측정 지표의 비교

- 실행력 있는 정책 수단의 자료가 되는 행정안전부의 인구감소지역 외에도 지방소멸 위험지수, 지역발전지수와 같은 지표는 계속 조사 중에 있어 이를 활용하기로 함
 - 한국고용정보원의(지방소멸위험지수), 한국농촌경제연구원(지역발전지수)를 시·군·구로 조사하여 발표하고 있는 중
 - 한국고용정보원은 지방소멸위험지수의 원자료를 공개 중으로 2000년부터 자료를 제

공하며, 읍면동 단위를 최소단위로 하여 발표 중

- 한국농촌경제연구원은 지역발전지수를 2010년부터 2년마다 발표 중

○ 지역 쇠퇴의 양상은 인구감소지역, 지방소멸위험지수, 지역발전지수를 통해 살펴봄.

• 행정안전부는 인구감소지역을 고시하고 주기적으로 발표하지 않아 이를 보조할 지표로 지방소멸위험지수, 지역발전지수를 기간별로 살펴봄.

- 지역발전지수가 안정적으로 제공되기 시작한 시점을 2012년으로 보아 지방소멸위험지수와 함께 2012년, 2020년, 2024년의 조사결과를 지역쇠퇴 양상으로 살펴봄.

■ 지방소멸위험지수(한국고용정보원)

○ 지역 쇠퇴는 인구 감소로 중국에 지역 소멸로 이어지기 때문에, 행정안전부는 인구 감소에 대응하여 인구감소지역과 관심지역 지정하여 대응하고 있음

○ 우리와 지리적으로 가까운 일본 역시 극심한 지역 불균형을 겪고 있으며, 마스다(2014)⁴⁾에 의해 지방소멸위험지수가 발표됨.

○ 지방소멸위험지수는 65세 이상 고령자 대비 젊은 여성(20~39세) 비율에 의하며, 이는 국내 통계지표 중 노년부양비⁵⁾와 유사한 지표로 보임

• 지방소멸의 근간은 인구 수 감소에 있는데, 인구 수의 변화를 일으키는 요인은 최종적으로 인구의 자연적 증감과 사회적 이동에 따른 증감으로 표현하며, 출생률과 인구이동이라는 통계 지표로 나타남

• 지방소멸위험지수는 인구의 자연적 증감에 초점을 맞춘 지표로, 출산할 수 있는 여성의 수가 고령인구를 상회하는지를 측정

- 지역이 재생될 수 있는 바탕은 출산율에 있다는 것이 근간을 이루어, 가임기 여성의 수가 중요하게 작용

- 지역의 사회·경제적 출생환경이 잘 갖추어져 있는 상태를 점검할 수 있는 지표가 되기도 함 (가족 부양의 경제적 기회, 육아, 보육, 교육 등의 시설 등을 대변 가능)

- 송미령 외(2021)⁶⁾의 연구에서 15세~49세 여성인구 수, 총 여성인구 수, 총 출생아 수, 둘째 이상 출생아 수는 매우 높은 상관관계 보여 이를 뒷받침하지만, 지방

4) 마스다 히로야(2014), 지방소멸, 김정환(역), 와이즈베리

5) 총인구중에서 생산가능인구(15~64세)에 대한 고령인구(65세이상)의 백분비

6) 송미령 외(2021), '지역재생잠재력지수'의 의의와 시사점, 한국농촌경제연구원 이슈페이퍼, KREI 농정포커스 제197호, 한국농촌경제연구원, pp.1-17.

재생의 핵심 전략이 되는 출생률을 높이는 것은 지역에서 출산과 육아의 환경 조성 노력이 필요함을 시사

- 인구의 사회적 이동을 설명하지 못하는 한계가 있으며 중장기적인 현상을 관측하는 지표로 의미가 있음
 - 허문구 외(2022)⁷⁾은 출생률과 지방소멸 간 관계를 한국에 적용시 지방소멸 지역의 출산율이 낮아야 하지만 그렇지 않은 지역도 나타나 설명력이 떨어짐을 지적
 - 중장기적인 현상 보는데 의미를 두기도 함(이동수 외, 2024)⁸⁾
- 현재 이상호(이상호, 2016; 2018; 2021; 2023)⁹⁾에 의해 한국고용정보원에서 주기적으로 발표되고 있음

■ 지역발전지수(한국농촌경제연구원)

- 인구감소지역, 지방소멸위험지수와 같이 지역의 쇠퇴를 직접적으로 측정하는 지수 외에 반대로 지역의 발전정도와 잠재역량을 측정하는 지역발전지수도 있음
- 지역발전지수(RDI: Regional Development Index)는 2008년 송미령의 연구¹⁰⁾를 통해 지금에 이르고 있으며, 한국농촌경제연구원에 의해 지속적으로 발표되고 있음
- 159개 시군을 분석단위로 하여 상대적인 현황을 진단하는 지표로, 삶터, 일터, 쉼터, 공동체의 터를 개념화하여 각각 생활서비스 지수, 지역경제력 지수, 삶의 여유 공간 지수, 주민활력 지수의 합으로 나타냄
 - 영역별 지수의 합은 전문가 조사를 통한 가중치를 반영하여 산출
 - 생활서비스 지수 0.321, 지역경제력 지수 0.269, 삶의 여유공간 지수 0.179, 주민

7) 허문구 외 16(2022), 지방소멸 시대의 인구감소 위기 극복방안 : 지역경제 선순환 메커니즘을 중심으로, 협동연구총서 시리즈, 경제·인문사회연구회.

8) 이동수 외2(2024), 지방소멸지수에 대한 고찰: 지역소멸지수는 지역공동화 현상을 설명하는가?, 지방정부 연구 제28권 제3호, 한국지방정부학회, pp.75-97.

9) 이상호(2016), 한국의 지방소멸에 고나한 7가지 분석, 지역고용동향브리프, 2016년봄호, 한국고용정보원, pp.3-17.

이상호(2018), 한국의 지방소멸 2018, 고용동향브리프, 2018년 7월호, 한국고용정보원.

이상호 외 4(2021), 지방소멸 위기 극복을 위한 지역 일자리 사례와 모델, 한국고용정보원.

이상호·나경원(2023), 지방소멸위험 지역의 최근 현황과 특징, 지역산업과 고용, 2023년 봄호, 한국고용정보원, pp.112-119.

10) 송미령 외3(2008), 살기 좋은 농촌 만들기를 위한 정책제언 방안(Ⅱ), 한국농촌경제연구원.

활력 지수 0.250

- 2년마다 결과를 발표하며, 부문 및 종합으로 나누어 상위 50개 시군을 제시
- 상대적인 현황 진단이기 때문에 순위 상승이 발전을 의미하지 않을 수 있음

<표 2-3> 지역발전지수 지표

지수	부문	지표	영향
삶터 : 생활서비스	기초생활 여건	노후주택화 : 준공 30년 초과 주택 비율 식수보급 및 하수처리 현대화 : 상하수도 보급률	- +
	교육 여건	공교육 기반 : 1㎢당 학교 수 (초·중·고) 사교육 기반 : 인구 천 명당 사설학원 수	+ +
	보건·복지 여건	의료서비스 질 : 인구 천 명당 의료인 수 의료시설기반 : 인구 천 명당 병상 수	+ +
		아동복지기반 : 영유아(6세 미만) 천 명당 보육시설 수 노인복지기반 : 1㎢당 노인여가복지시설 수	+ +
일터 : 지역경제력	산업기반	사업체기반 : 총사업체 수 경제활동력 : 지난 5년간 연평균 사업체증감률 고용기회 : 15세 이상 인구 대비 총일자리 수 비율 (사업체 종사자 수 + 농업종사자 수)	+ + +
	소득수준	소득 수준 : 1인당 지방소득세	+
	지자체 재정	재정기반 : 재정자립도	+
	지자체 경제규모	경제규모 : 지역내총생산(GRDP)	+
쉼터 : 삶의 여유공간	녹색휴양기반	녹색휴양공간 : 인구 천 명당 도시공원 면적 (도시공원 : 어린이 공원, 소공원, 근린공원, 역사공원, 문화공원, 수변공원, 묘지공원, 체육공원, 기타공원)	+
	녹지기반	녹지확보율 : 녹지율(임야, 염전, 하천, 제방, 구거, 유지)	+
	문화체육기반	문화시설 : 문화기반시설 수 (공공도서관, 등록박물관, 등록미술관, 문예회관, 지방문화원)	+
		체육시설 : 인구 천 명당 마을체육시설 수 (체육공원, 고수부지, 마을공터, 아파트 단지, 약수터, 등산로, 도시공원, 기타)	+
공동체의 터 : 주민활력	인구변화	인구증가율 : 연평균 인구 증가율(2018년-2023년)	+
	인구구조	고령화율 : 총인구 중 65세 이상 인구 비율	+
	인구활력	출생률 : 연양인구 천 명 대비 출생아 비율	+

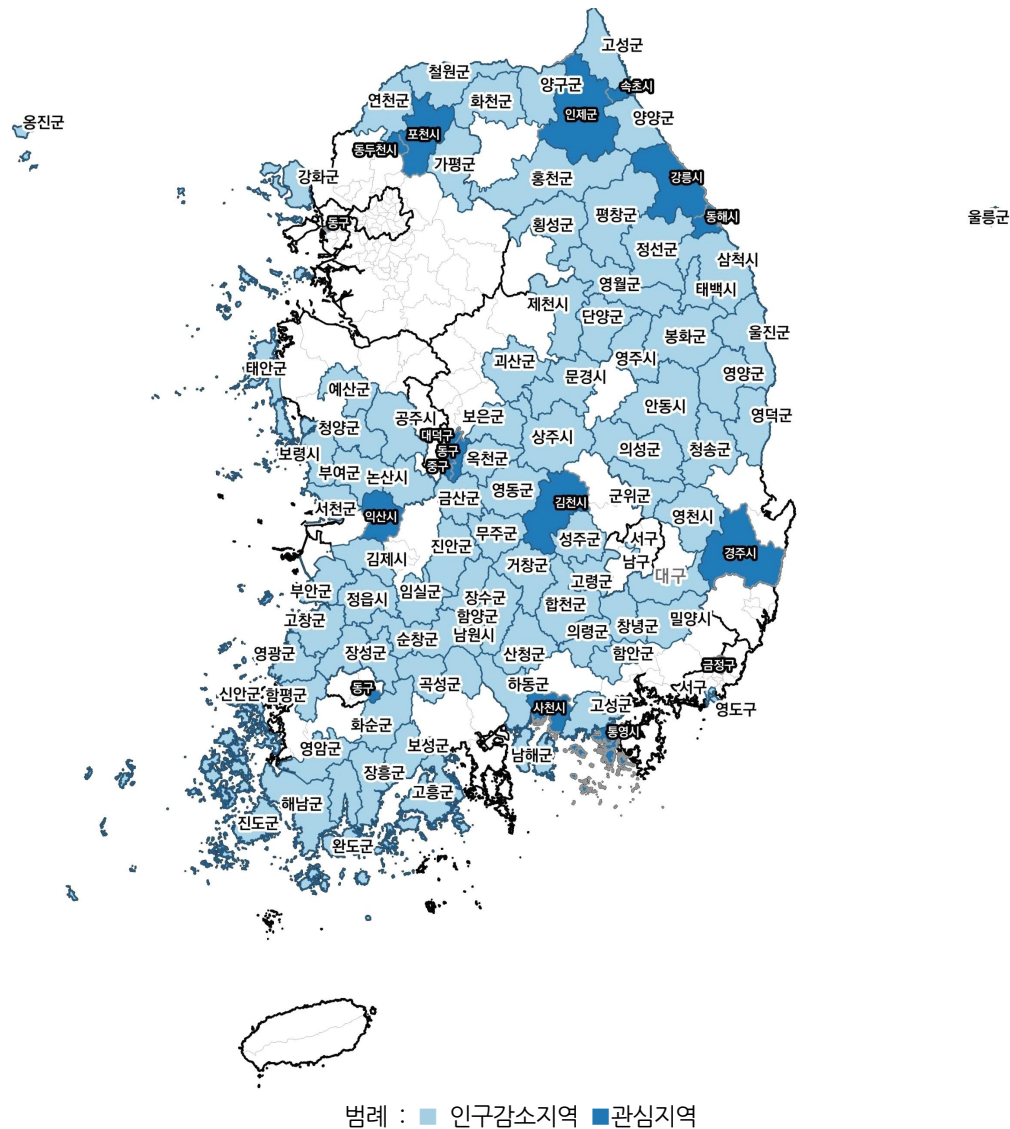
출처 : 송미령 외(2022)¹¹⁾; 성주인 외(2025)¹²⁾ p.3 재인용

11) 송미령 외(2022), “2022 지역발전지수(RDI)”, KREI 농정포커스, 제212호, 한국농촌경제연구원.

12) 성주인 외(2025), “2024 지역발전지수(RDI)”, KREI 농정포커스, 제227호, 한국농촌경제연구원.

3) 쇠퇴의 시계열 변화

- 인구감소지역은 비수도권 전역에 분포하며, 광역시로까지 확산 진행중임.
 - 광역시 중 부산(동구, 서구, 영도구), 대구(남구, 서구, 군위군), 인천(강화군, 옹진군) 8개소가 인구감소지역으로 지정
 - 관심지역 18개 중 광역시 7개 포함(부산 중구·금정구, 인천 동구, 광주 동구, 대전 동구·중구·대덕구)
 - 비수도권 시·군 단위에서 인구감소가 일반화되며, 광역시까지 확산하는 추세



[그림 2-1] 인구감소지역 및 관심지역 지정 현황

<표 2-4> 인구감소지역 및 관심지역

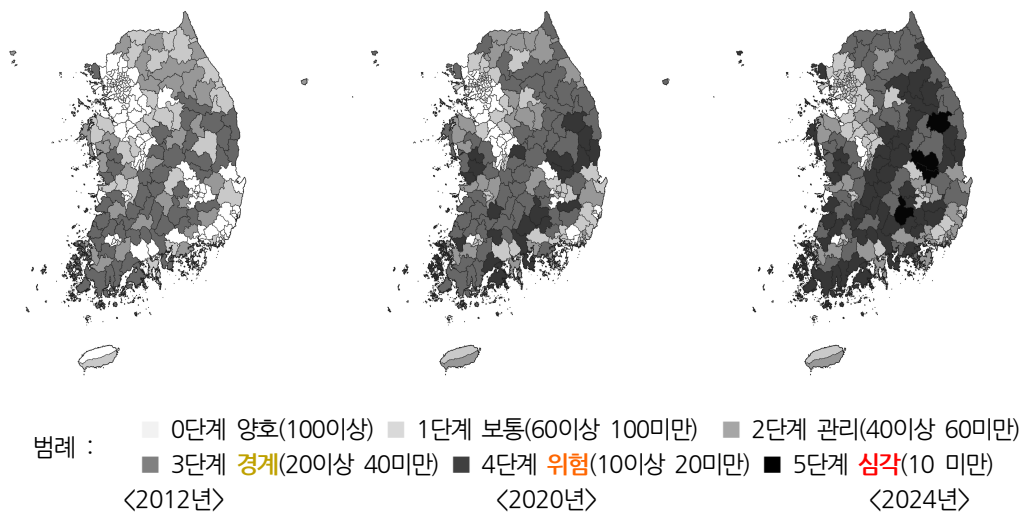
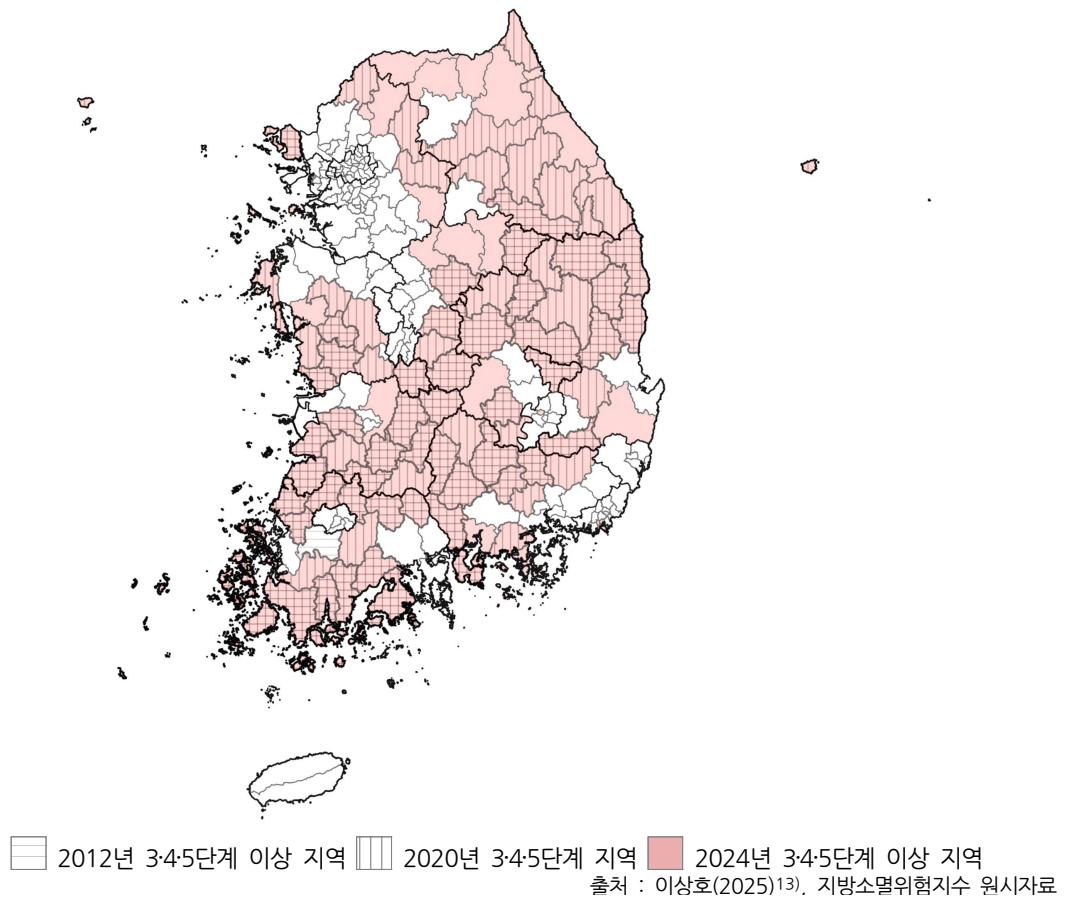
구분	시도(개소)	시군구
인구 감소 지역 (89)	부산(3)	동구, 서구, 영도구
	대구(3)	남구, 서구, 군위군
	인천(2)	강화군, 옹진군
	경기(2)	가평군, 연천군
	강원(12)	고성군, 삼척시, 양구군, 양양군, 영월군, 정선군, 철원군, 태백시, 평창군, 홍천군, 화천군, 횡성군
	충북(6)	괴산군, 단양군, 보은군, 영동군, 옥천군, 제천시
	충남(9)	공주시, 금산군, 논산시, 보령시, 부여군, 서천군, 예산군, 청양군, 태안군
	전북(10)	고창군, 김제시, 남원시, 무주군, 부안군, 순창군, 임실군, 장수군, 정읍시, 진안군
	전남(16)	강진군, 고흥군, 곡성군, 구례군, 담양군, 보성군, 신안군, 영광군, 영암군, 완도군, 장성군, 장흥군, 진도군, 함평군, 해남군, 화순군
	경북(15)	고령군, 문경시, 봉화군, 상주시, 성주군, 안동시, 영덕군, 영양군, 영주시, 영천시, 울릉군, 울진군, 의성군, 청도군, 청송군
	경남(11)	거창군, 고성군, 남해군, 밀양시, 산청군, 의령군, 창녕군, 하동군, 함안군, 함양군, 합천군
관심 지역 (18)	부산(2)	중구, 금정구
	인천(1)	동구
	광주(1)	동구
	대전(3)	동구, 중구, 대덕구
	경기(2)	포천시, 동두천시
	강원(4)	강릉시, 동해시, 속초시, 인제군
	경북(2)	경주시, 김천시
	경남(2)	사천시, 통영시
	전북(1)	익산시

출처 : 행정안전부, 인구감소지역 지정(<https://www.mois.go.kr/frt/sub/a06/b06/populationDecline/screen.do>)

○ 지방소멸위험지수로 살펴보면 2012년부터 인구감소가 확산·심화되고 있는 상태

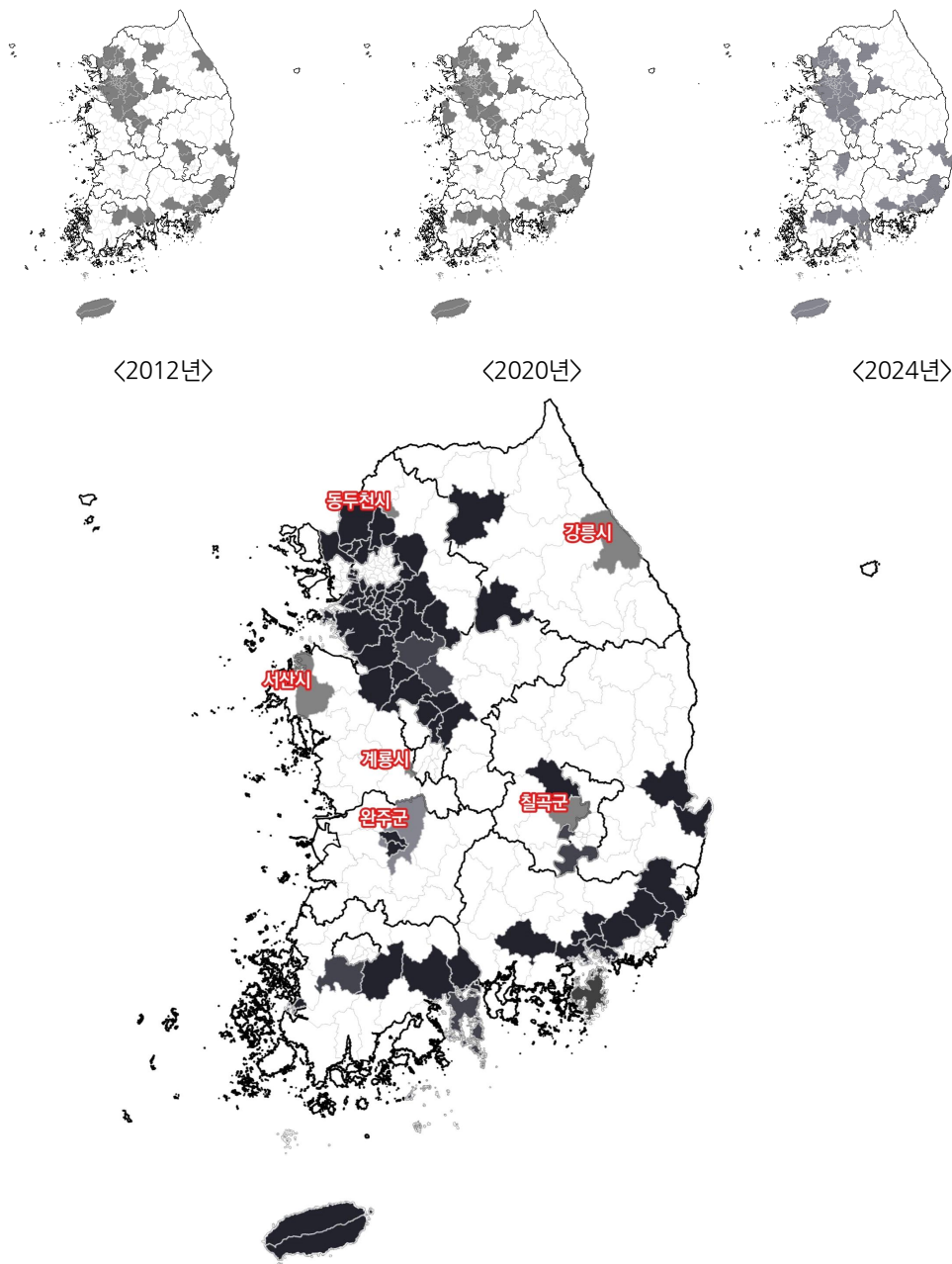
- 2012년, 2020년, 2024년 지방소멸위험지수 단계를 보면, 3단계 경계 이상으로 구분되는 지역이 확산되고 있어 자연적 인구 증가를 기대하기 어려운 상태
- 20세~39세 여성 인구가 65세 이상 인구의 40% 미만인 지역이 점차 확산하여 인구의 자연적 증가를 기대하기 어려운 상태
- 비수도권에서 수도권으로 확산, 3단계 관리 지역이 5단계 심각으로 진입하면서 인구감소가 심화되는 상태
- 수도권은 2012년 0단계로 양호였으나 2024년 2단계 관리 지역이 증가

- 비수도권 지역은 3단계 경계에서 5단계 심각으로 심화되고 있음
- 인구 자연 감소가 시작되면서 개선되지 않고 지역적으로 확산되고 있음
 - 2012년 가로 패턴, 2020년 세로 패턴, 2024년 적색으로 하여 3개 년의 지방 소멸지수 중 3단계 경계 이상 지역을 겹쳐 분석(Overlap)([그림 2-2] 하단 참고)
 - 나주시를 제외한 모두 3단계 이상 분류 지역은 인구감소는 심화
 - 나주시는 혁신도시로 인한 공공기관 이전(2023년 기준 16개기관, 직원 8,000명 이상)으로 인한 효과로 보임
 - 지역 거점에 해당하는 비수도권 광역시 주변부의 지방소멸위험지수가 높게 나타남
 - 부산, 광주, 울산, 대구, 대전
 - 수도권 및 충청 북부권은 3단계 경계이상으로 지정되지 않은 것 역시 특징
- 지역발전지수(RDI)로 살펴보면, 종합지수가 높은 지역이 편중된 상태로 지속 중으로 새로운 지역의 진입이 어려워 지역 중소도시의 발전이 쉽게 확인되지 않음
 - 2012년, 2020년, 2024년 지역발전지수의 종합지수 상위 50개 시군을 보면 대부분 동일한 지역이 차지하고 있음([그림 2-3] 상단 참고)
 - 수도권 경기도 화성이 종합 1위를 유지 중이며, 나머지 지역은 순위 변동만 있을 뿐 대부분 50위 권을 유지
 - 2012년, 2020년, 2024년 3개년의 종합지수 상위 50개 시군을 보면, 변화없이 대부분 같은 지역이 차지하고 있는 상태([그림 2-3] 하단 참고)
 - 점정색에 가까울수록 상위 50개 시군을 유지
 - 새롭게 추가된 지역은 6개 시군에 불과하며, 이들 대부분 상위 50의 순위 유지하지 못하며 지속적인 발전이 어렵다는 것을 확인 가능
 - 상위 50개 시군에 새롭게 진입한 경우는 동두천시(2012), 강릉시(2012), 서산시(2020), 계룡시(2012), 완주군(2024), 칠곡군(2012) 6개 시군 중 차기 순위확인이 안되는 완주군을 제외하면 상위 50개 시군에 재진입하지 못함
- 지역발전지수와 지방소멸위험지수와 대비해보면, 지역발전지수 상위 50개 시군을 유지하는 지역 대부분이 지방소멸위험지수(3단계 경계)에 해당하지 않는 것을 확인
- 따라서 지역의 발전은 편중, 쇠퇴 지역은 확산심화 되고 있는 지역 쇠퇴 경향을확인



[그림 2-2] 지역소멸위험지수 3개년(2012, 2020, 2024) 결과

13) 이상호(2025), 지방소멸 2025: 신분류체계와 유형별 정책과제, 지역산업과 고용 2025년 가을호, 한국고용정보원(지방소멸위험지수 원시자료)



출처 : 송미령 외4(2012) p.91, 송미령 외3(2021) p.102, 성주인 외6(2025) p.2314).

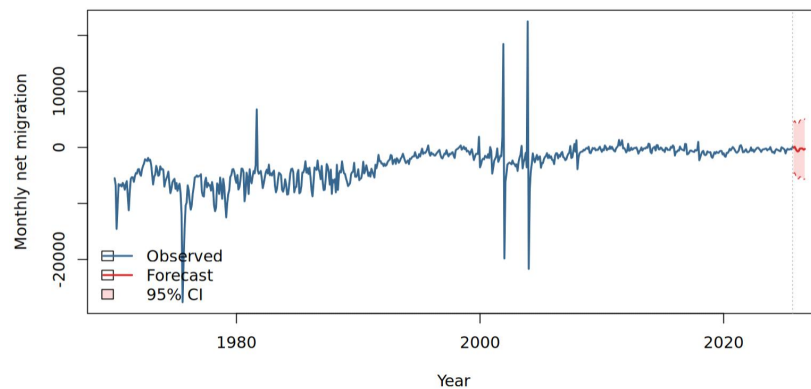
[그림 2-3] 지역발전지수(RDI)의 종합지수 부분 상위 50개 시·군 3개년(2012, 2020, 2024) 결과

- 14) 송미령 외4(2012), 2012 지역발전지수를 활용한 농어촌 실태 분석과 정책 개선방안 연구, 정책연구보고서 P162, 농촌경제연구원.
 송미령 외3(2021), 2020 지역발전지수, 정책연구보고 P265, 한국농촌경제연구원.
 성주인 외6(2025), 2024 지역발전지수(Regional Development Index: RDI), KREI농정포커스 제227호(2025.1.17.), 한국농촌경제연구원.

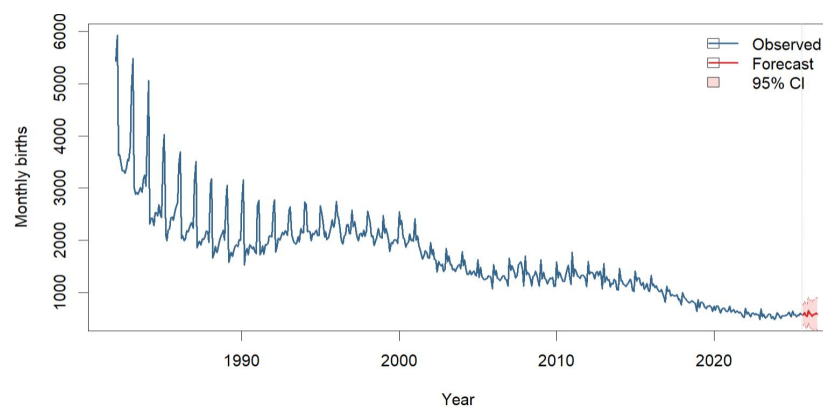
3. 인구의 연령별 구조 분석

1) 전국 인구감소 추세와 읍면동 단위 분석

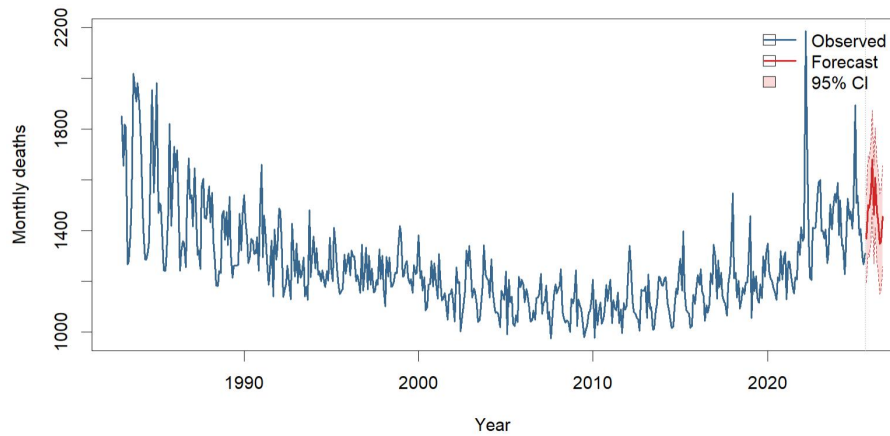
- 지방 소멸과 발전은 장기간 한 방향으로 진행되어온 변화이며, 출산율 감소 현상도 장기간 지속됨.
- 1964년 2월 국회 내무위에서 서울시장 윤치영은 서울시가 도시계획을 하지 않는다는 지적에 방치는 서울 인구 집중을 방지하기 위한 방안이라 말함. 이러한 사례에서도 보여주듯 서울시의 인구집중은 60년 이상 진행 되어온 흐름임.
- 전라북도의 경우 1970년대부터 전출이 전입을 지속적으로 초과하여 순이동이 마이너스 영역에 머물며, 출생아수 감소와 사망자수 증가가 동시 진행 중임. 군산은 2018년 GM공장 폐쇄 및 조선업의 위기로 산업 종사자가 5,000명에서 100명으로 급감, 아파트 공실률과 폐점 식당의 수가 급증했음. 이러한 변화가 전라북도의 인구 변화에 포함되어 있으나 그래프에 큰 변화로 포착되지 않음.



[그림 2-4] 전북특별자치도의 순이동자수 변화 그래프



[그림 2-5] 전북특별자치도의 출생아수 변화 그래프



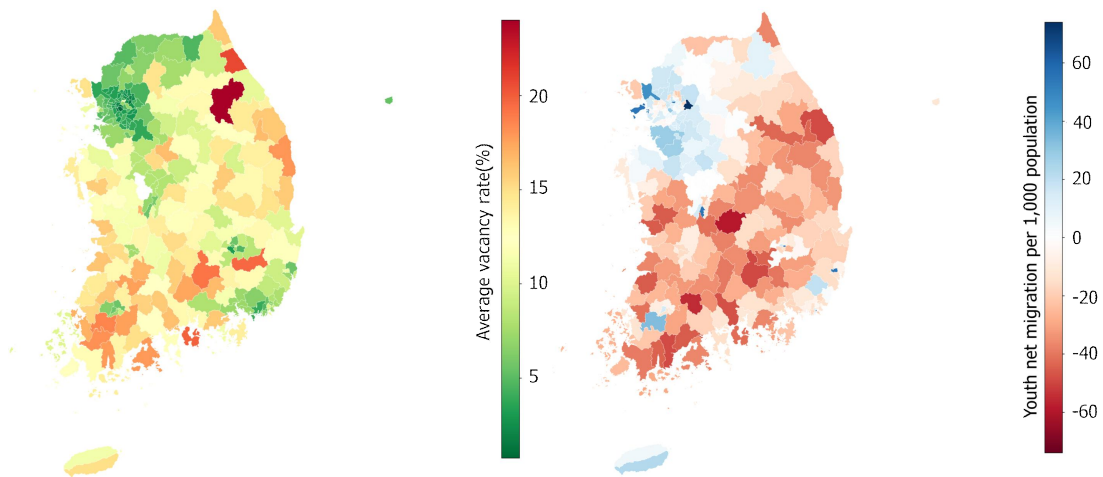
[그림 2-6] 전북특별자치도의 사망자수 변화 그래프

- 2018~2023년 인구를 세부적으로 분석해 본 결과 광역권을 보면 출생아 감소 및 사망자 증가와 같은 자연 감소가 반영되어 전반적으로 인구 감소 추세를 보이거나 그 안의 읍·면·동 수준의 세부 지역을 분석하면 일부 읍·면·동은 인구가 증가함.
 - 1,011개 읍·면·동, 11개 광역의 2018→2023년 인구 흐름·감소 등급을 정량화함.
 - 전체 인구는 5,015,281명→4,703,790명(-311,491명, -6.21%)으로 줄었고, 표본의 84.1%가 '급격 감소' 구간에 속함.
 - 면 지역이 154,101명(-7.37%)으로 가장 빠르게 축소되고, 전남·경북·경남·충남이 전체 감소의 59%를 차지함. 세부적으로 보면, 전남(-49,253명), 경북(-48,982명), 경남(-44,868명), 충남(-41,788명), 전북(-40,403명)이 전체 감소의 59%를 기여하며, 지역소멸위험지수 3개년(2012, 2020, 2024) 결과와 같은 흐름임.
 - 증가 지역 89곳(총 +94,431명)은 대구·부산·충남·경북에 집중돼 다핵 거점 전략 마련이 필요함.
- 증가 지역 89개의 특징은 다음과 같으며, 공통 요소는 대규모 재개발·혁신도시·철도 및 항만 정비가 결합된 투자 축, 주변 면 지역 인구를 흡수한 주거 공급, 공공·민간 일자리 연계 등의 특징이 있었음. 신규 사업이나 시설투자는 인구를 늘리는 효과는 있지만, 주변 인구를 흡수하여 주변 지역의 소멸 위험이 가속화되는 문제가 있었음.
 - 증가 지역 89곳, 총 +94,431명의 상세 내용은 대구(13개, +27,963명), 부산(9개, +17,340명), 충남(5개, +14,880명), 경북(21개, +14,775명)으로 전체 증가분의 79%를 흡수함.
 - 그 중에서도 큰 증가폭이 있었던 읍면동은 대구 군위읍(+8,069명, 행정구역 편입

효과), 부산 초량3동(+6,295명, 구성개발·역세권 재생), 충남 삽교읍(+6,007명, 혁신도시 배후), 보령 대천4동(+5,203명, 해양관광·휴양형), 영천 완산동(+4,389명, 철도·산단 수요) 등이 있었음.

2) 연령별 인구이동과 빈집률의 관계

- 본 연구에서는 228개 시군구, 2014~2024년(2,503개 관측치) 패널데이터에 대해 양방향 고정효과(Two Way Fixed Effect) 분석을 수행하여, 누가 이동하는가보다 얼마나 이동하는가보다 중요함을 실증함
 - 전국 평균 빈집률 9.24%(SD=5.87), 범위 0.82~38.64%
 - 청년(20~39세) 평균 순이동률 -8.34%(SD=31.52)
 - 노후주택(30년 초과) 비율 평균 26.45%(SD=17.82)
- 연령 코호트별 인구이동의 빈집률 효과:
 - 청년(20~39세) 순유입은 빈집률을 유의하게 감소시키며, 효과가 2년까지 지속됨
 - 동시기 효과: -0.0103%p($p<0.01$), 1년 시차: -0.0108%p($p<0.01$), 2년 시차: -0.0109%p($p<0.001$)
 - 누적 효과: 청년 순유입 10% 지속 증가 시, 3년간 빈집률 약 0.33%p 감소

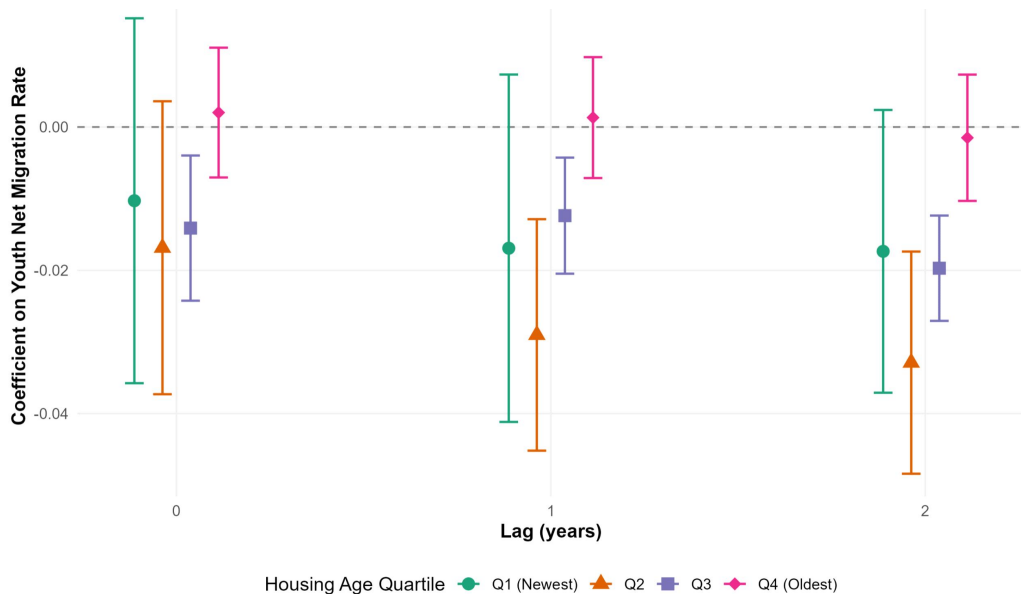


[그림 2-7] 전국 시군구 평균 빈집률 분포(좌) 및 청년(20~39세) 순이동률 공간분포(우)

- 가족(0~19세) 이동은 주택시장 마찰과 측정 시점 차이로 인해 단기적으로 양(+)의 효과(+0.0092~+0.0168)를 보임. 그러나 고령(65세 이상) 이동은 빈집률에 유의한 영향 없음.

3) 주택노후도의 조절효과와 임계점

- 주택재고의 노후도가 청년 인구이동의 효과를 조절하는 핵심 구조 변수로 작용함
 - 노후주택 비율 25%(평균 수준): 청년유입 한계효과 -0.017%p 수준으로 나타나지만, 노후주택 비율 50%(90분위): 한계효과 -0.006%p까지 효과 약화됨. 이는 청년 유입이 빈집을 줄이는 일반적인 경향은 존재하지만 주택 재고가 지나치게 노후한 지역에서는 그 효과가 제한될 수 있음을 의미함.
 - 정책적으로는 청년 유입 만으로 빈집 문제가 해소되기 어렵고 노후주택 정비, 리모델링, 철거 및 재생, 즉 공급 및 품질 개선이 병행되어야 효과가 커질 가능성이 시사함.
- 주택노후도 사분위별 분석:
 - Q1(노후 주택 비율 가장 낮은 그룹, 노후비율 8.2%): 청년유입 효과 가장 강함(-0.0285, $p < 0.01$)
 - Q4(노후 주택 비율 가장 높은 그룹, 노후비율 52.3%): 청년유입 계수 통계적으로 비유의
 - 시사점: 주택갱신 없이 청년유치 정책만으로는 한계가 있으며, 주택 공급·갱신이 선행 또는 병행되어야 함



[그림 2-8] 주택 노후도별 이질적 효과: 청년(20~39세) 순이동률의 노후주택 분위별 효과(95% 신뢰구간)

[Note] X축: 인구감소지역 지정 이후 시차(년), Y축: 청년 순이동률 계수

4) 4개 지역유형의 차별적 동태

- K-means 군집분석을 통해 4개 지역유형을 도출하였으며, 동일한 청년유치 정책이라도 유형에 따라 효과가 크게 다름.



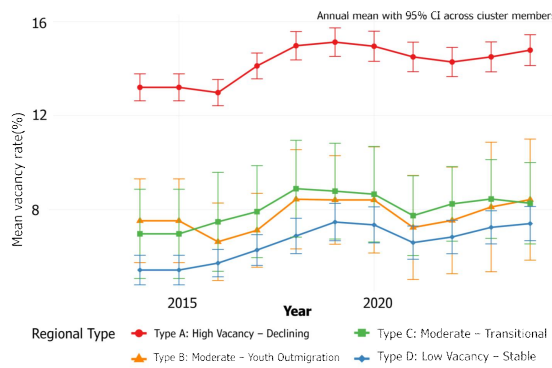
[그림 2-9] 지역 유형별 핵심 특성 비교

- A형(전남·경북·전북 집중): 구조적 빈집이 인구이동 효과를 압도 → 인구유치보다 주택재고 관리가 우선
- D형(서울 25개구 전체 포함, 대도시권): 청년 유치가 예방적 수단으로서 가장 효과적 → 안정 상태에서의 선제 투자 필요
- C형(경기도 교외 확장지역): 급성장 중 인구감소지역지정(2021년) 시점, 즉 매우 단기적인 효과만 유의 → 개발 단계에 따른 유동적 대응 필요

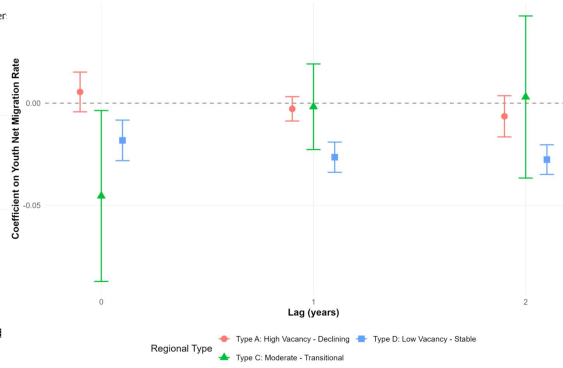
<표 2-5> K-means 군집분석에 의한 4개 지역유형별 특성

유형	해당 지역수 (비중)	평균 빈집률	청년 순이동률	노후주택 비율	독거노인 비율	청년유입 효과
A형(고빈집·쇠퇴)	94개 (41.2%)	14.2%	-28.8%	39.1%	12.8%	없음(비유의)
B형(중빈집·청년유출)	7개 (3.1%)	7.8%	-4.2%	28.4%	9.2%	전환 시점(경계)
C형(전환·성장)	26개 (11.4%)	8.0%	+20.9%	22.1%	7.8%	동시지만 유의 (-0.0454, $p < 0.05$)
D형(저빈집·안정)	101개 (44.3%)	6.6%	-2.1%	18.5%	8.1%	가장 강함 (-0.0182~0.0276, 전 시차 $p < 0.001$)

- 이 결과는 인구감소 대응이 전국 일률적이 아닌 지역유형별 맞춤 전략이어야 함을 보여줌



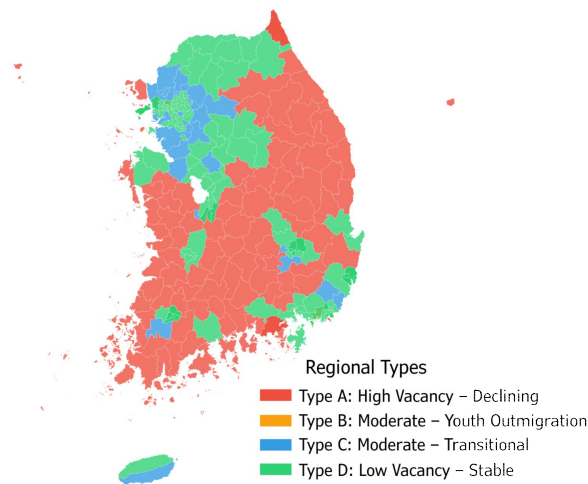
[그림 2-10] 지역 유형별 빈집율 추이



[그림 2-11] 지역 유형별 청년이동 이질적 효과

5) 발전-쇠퇴 연결 전략

- '성장거점-인접 위기권(B와 C형)' 연계 모델이 필요하며, 본 연구는 이러한 연계 지역에 주택을 공급하는 것을 목표로 함.
 - 증가 지역의 생활SOC 확충, 광역교통망 정비, 공공임대 배치 등을 통해 면 지역의 인구를 통근·정주 가능한 거리로 묶어야 함
- 비수도권 광역시는 구도심 쇠퇴와 새 성장거점이 동시에 존재하므로, 정비구역·통합재개발·산단 리모델링을 교차 배치하고, 모듈러주택을 활용하여 빠른 주거 공급과 인구 순환을 지원할 필요가 있음
- 지역만이 갖는 장점(생활환경, 자연환경 등)을 부각시키고, 기존과 다른 방식의 주거 모델을 통해 정주 인구를 증가시키는 방향을 모색해야 함



[그림 2-12] 지역별 유형구분 (시군구)

4. 생활 인프라 격차와 사업 입지

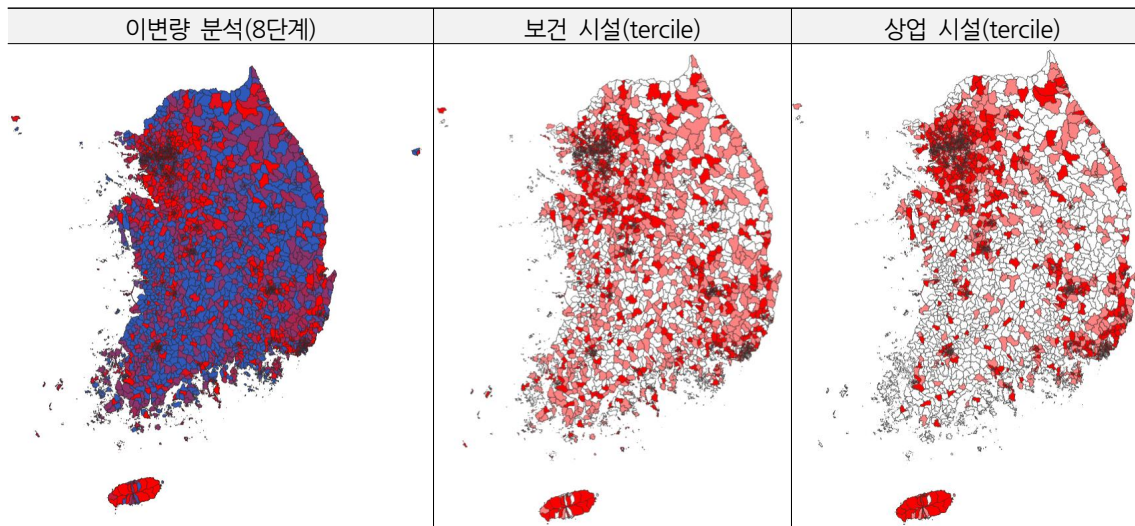
1) 보건·상권 이변량 분석

- 전국 3,558개 행정동을 대상으로 복합 인프라 지표를 생성하여 생활 인프라 수준을 정량적으로 평가하고, 공간적 클러스터링 패턴을 파악
 - 보건시설 (7개 시설 전체, 약 38,000개 이상) : ① 병원 (1,425개): 일반 병원 ② 보건소 (243개): 공공 보건기관 ③ 보건지소 (15개): 보건소 지소 ④ 보건진료소 (1,260개): 농촌/벽지 1차 의료기관 ⑤ 상급종합병원 (~100개): 3차 의료기관 (대형 병원) ⑥ 약국 (~20,000개): 약품 구입 및 상담 ⑦ 한의원 (~15,000개): 한방 의료기관
 - 상권 : 도소매점 2,697,338개
- 필수적인 생활 시설인 두 개의 인프라 지표(보건인덱스, 상권인덱스)를 동시에 고려하여 지역을 분류함으로써 단일 지표로는 놓칠 수 있는 복합적 패턴 파악. 예를 들면, 보건의 좋은데 상권은 부족한 지역, 둘다 좋은 지역 등을 선별함.
- 이변량클래스 = 보건클래스 × 3 + 상권클래스로 구분하여 0~8단계의 복합 지표를 도출
 - class 0(파란색): 보건·상권 모두 하위 33% → 시설 열악
 - class 8(빨간색): 보건·상권 모두 상위 33% → 시설 양호
- 각각 3개의 그룹으로 구분하고 아래 그림과 같이 결과를 도출함. 지도에서 파란색과 빨간색 중간 영역에 속하는 부분들에 이러한 주택을 공급하여 파란 지역까지 영향이 확대되도록 사업을 추진할 수 있음. 4장은 이러한 사업지에 사업을 하는 것으로 가정하고 사업모델을 기획하고 비용-편익 분석 결과를 제시함.
- 공공서비스는 인구가 적은 지역의 경우 서비스가 상대적으로는 열악하지만, 상권과 비교하면 편차가 완화되어 있음. 상권의 경우 민간에서 이익을 고려하고 공급하므로 편차가 더 심함. 즉, 수도권이나 대도시가 생활 인프라 때문에 살기 편리하고, 점점 사람들이 대도시 인근으로 이동하게 되는 상황을 추측할 수 있음.
- 인구 감소 지역은 소수를 위한 인프라를 유지해야 하는 문제로 도로·상하수도·교육·의료·소방·치안 등 유지비용을 감당하지 못하는 어려움을 만들고 있음. 이는 부동산의 가치 변화와도 관련되어 있으며, 서울과 같은 가격 급등 지역과 인구감소지

역은 부동산 가치 변화 면에서 매우 큰 차이가 있음. 이러한 부의 격차를 줄이기 위해서는 공공이 유지비용이 높더라도 공급해야 하는 상황임. 이에 인프라 공급 및 유지 비용을 지속가능한 방향으로 고려하여 압축 도시 형태의 발전을 제안함.

- 인구밀도·재정자립도·생활서비스 접근성이 어느 수준 이하로 떨어지면 교육, 의료 등 공공서비스도 악화될 수 밖에 없음. 이에 시설 접근성 균등 측면을 고려하여 누구나 30~60분 이내에 핵심 서비스에 접근할 수 있게 하는 것을 목표로 잡고, 빨간 영역과 파란 영역을 적정 거리로 연결할 수 있는 곳에 사업을 제안함.

<표 2-6> 보건 및 상업시설 이변량 분석결과



[Note] 전국 3,558개 행정동을 대상으로 각 행정동에 포함된 시설의 수를 기준으로 하위 33%(0), 중위 33%(1), 상위 33%(2)로 그룹을 나눔. 지역의 접근성(접근 거리)을 확인하기 위해 영역의 면적을 기준으로 개수를 산정하여 z-score 화하여 상대비교함. 보건시설은 7개의 시설(병원, 보건소, 보건지소, 보건진료소, 상급 종합병원, 약국, 한의원)이 포함되어 있으며, 개수로는 약 38000개 이상임. 상권분석은 상업시설로 구분된 모든 시설을 포함함. 두가지를 합쳐 이변량 분석을 하였으며, 보건 관련 시설은 3의 가중치를 두고 이변량 클래스를 구분함. class 0(파란색)이 의미하는 것은 보건과 상권 모두 하위 33% 이하로 시설이 열악함을 의미하며 class 8(2(보건)*3+2(상업), 빨간색)는 보건서비스 및 상권이 편리한 것을 의미함. 이변량 분석을 8단계로 색이 구분되며, 보건시설과 상업시설은 각각 3단계로 구분된 결과임. 빨간 색이 상위 33%를 의미함.

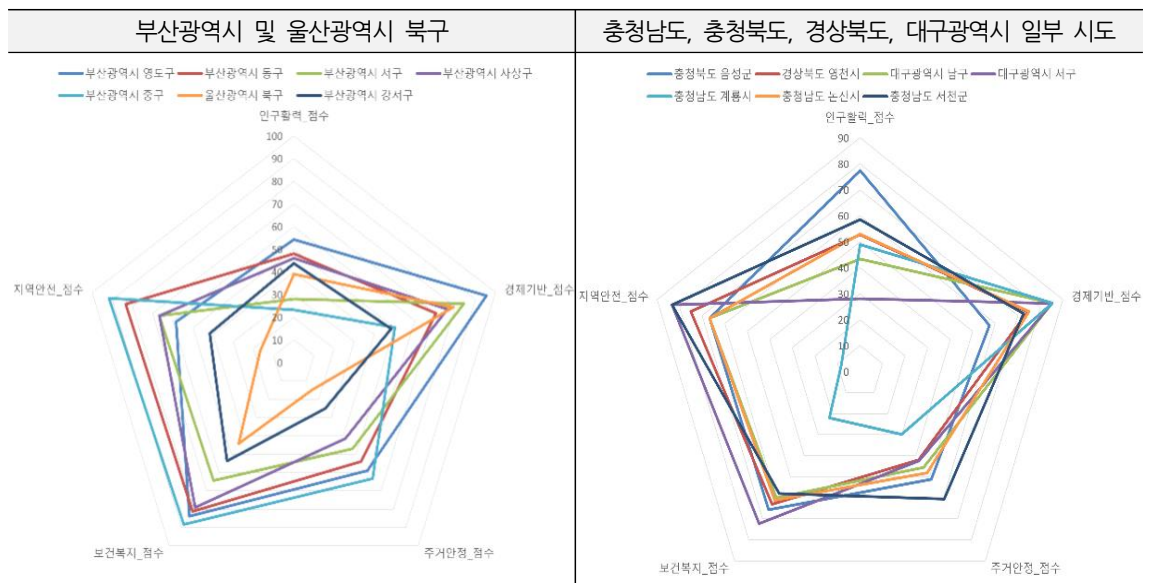
2) MPDI (Multidimensional Poverty Index, 다차원 박탈지수) 평가

- MPDI는 5개 차원, 15개 지표로 구성하고, 모든 지표는 Min-Max 스케일링을 통해 0-100점으로 표준화되며, 값이 높을수록 박탈 정도가 심함을 의미하도록 방향을 설정함.

- 인구활력 : 인구증가율, 청년층 비중(15~39세), 외국인 비중
- 경제기반 : 고용률, 사업체밀도(인구 1만명당 사업체), 재정 자립도

- 주거안정 : 빈집률, 무주택가구 비율, 주택 노후도
 - 보건복지 : 의료기관 접근성, 보건업 사업체수, 기초생활수급자 비율(역산)
 - 지역안전 : 교통사고 발생률, 범죄 발생률, 자살률
- MPDI가 상대적으로 높은 곳, 즉 경제·사회·주거·복지·안전 영역의 상대적 결핍(deprivation)이 복합적으로 축적되어 있는 정도는 수도권에서 거리가 멀수록 심화되는 경향이 있으며, 도 안에서도 일부 영역이 상대적으로 열악하게 나타남.
- 울산광역시 북구과 부산 강서구는 상대적으로 양호한 지역이며, 부산 영도구, 동구, 사상구, 중구, 서구는 열악함. 거리는 가깝게 위치해 있는데도 불구하고 시도간 편차가 크게 나타남. 이런 경우 열악한 지역의 인프라를 보완하여 지역 소멸이 되지 않도록 조치를 취할 필요가 있음. 실제로 부산의 강서구는 지역 통생산이 부산 내에서 압도적으로 높고 인구가 증가하고 있음.
 - 중부 지역의 경우 계룡시가 상대적으로 양호한 지역인데, 이 지역의 경우 경제 기반은 다른 시도보다 열악하지만, 다른 여건은 우수한 것으로 나타남. 즉 군 부대가 있어 관련 정주민구가 안정적으로 유지되고 있는 지역임. 대구광역시 서구와 남구의 경우 광역시의 인프라가 잘 갖춰져 있음에도 불구하고 보건 및 지역 안전에 대한 환경이 열악하고 관련하여 인구 활력이나 주거안정도 함께 낮아져 있는 상태임. 보건 및 지역안전이 정주민구를 유치하는데 중요한 요소임을 알 수 있음.

<표 2-7> 동일 시도 내 시군구 MPDI 분석결과 비교



5. 지역유형별 모듈러주택 활용 전략

1) 인프라-인구 매트릭스에 의한 4개 지역유형

- 인프라-인구-소멸위험을 동시에 고려하여 전국을 4개 유형으로 구분하고, 각 유형에 적합한 모듈러주택 모델을 매칭함.

<표 2-8> 지역유형별 대응 전략과 모듈러주택 모델 매칭

유형	인구	인프라	해당 지역 예시	핵심 전략	모듈러주택 적용
① 성장관리형	많음	양호	수도권 핵심부, 광역시 중심구	고밀·혼합용도 재편, 외곽 난개발 제한, 비수도권 거점 이관	본 연구 대상 외
② 재도약거점형	적음	양호	인프라 양호한 산업·관광·혁신도시	삶의 질·주거 보완, 공공기관 이전 집중	세대분리 타워형 주동
③ 인프라보강형	많음	취약	제조단지 주변, 급성장 베드타운	기본 인프라 우선 보강, 소규모 콤팩트 존 설정	세대인접 빌라형 주동
④ 관리전환형	적음	취약	지방소멸위험 3~5단계 읍·면	로컬 거점마을 조성, 나머지 공간 기능 전환	단독주택 마을형 모듈러

2) 유형별 세부 전략

① 성장 관리형 콤팩트 시티 (인구 많고 인프라 양호)

- 예: 수도권 핵심부, 광역시 중심구,
- 문제: 사람 및 시설이 많고, 주변 파란 지역을 빨아들이는 블랙홀 역할을 함.
- 전략: 1) 도시 내부 고밀·혼합용도 재편: 재개발이 아니라, 역세권·도심에 주거+업무+돌봄+문화 복합 배치. 2) 외곽 난개발(신도시, 난립한 택지지구) 제한 → 중심부로 되 압축. 3) 수도권은 특히 추가 집적보다는, 핵심기능의 일부를 비수도권 광역 콤팩트 거점으로 이관하는 역할을 해야 함.

② 재도약 후보형 거점 (인구 적고 인프라 양호)

- 지도에서 빨갈게 보이는데, 지방소멸위험지수는 3·4단계 이상인 도시들(산업도시, 관광도시, 혁신도시 일부)이 여기에 속함.
- 도로·학교·병원은 좋은데, 청년 및 가임여성이 빠져나가는 곳.
- 전략: 1) 고급 인프라 위에 삶의 질·주거를 엮는 작업이 필요. 2) 세대공존형 중고밀 주거, 보육·돌봄 패키지, 문화·여가 시설을 역세권에 집적. 본 연구의 세대분리 타워형 주동 모델 적용 3) 공공기관·대학·연구소 이전은 이 유형에 집중: 이미 인프라가 있으니 효과가 빠름. 4) 주변 파란 농촌·어촌 지역의 고령가구

를 이 빨간 거점으로 자발적 이주하게 만드는 주거·복지 패키지를 설계 (임대료 지원, 이동 서비스 포함).

③ 인프라 보강형 성장지역 (인구 많고 인프라 취약)

- 제조업 단지 주변, 급성장 베드타운·신도시인데 생활SOC가 부족한 동네들이 여기에 속함.
- 전략: 1) 인프라를 따라 사람을 움직이는 게 아니라, 이미 있는 사람에게 인프라를 맞추는 관점. 2) 학교·보건·대중교통·공원 같은 기본 인프라를 우선 보강해서 이 지역이 다시 도심 및 주거 콤팩트 거점으로 진화하도록 유도. 다만 전부를 빨강게 만들기보다, 내부에서 소규모 중심지(역·터미널·상업축)를 선정 → 그 주변 500m~1km를 우선 콤팩트 존으로 설정하고 집중 투자. 콤팩트 존 외곽에 세대인접 빌라형 주동 모델을 적용할 수 있음.

④ 관리·전환형 지역 (인구 적고 인프라 취약)

- 지도에서 파랑고, 지방소멸위험지수도 3~5단계인 읍·면 지역들
- 이 지역을 다 빨강게 만드는 건 재정적으로도 불가능하고, 기후·환경 측면에서도 좋지 않은 선택
- 전략: 1) 생활권 단위로 몇 개의 로컬 콤팩트 거점마을만 살리고 나머지는 완만한 축소·전환을 전제로 함. 특히 이러한 지역은 산불, 홍수 등의 재난에도 취약한 경우가 많으므로 재난 예방적 차원의 주거지 이전과 함께 거점 마을 조성. 2) 거점마을에 노인·청년이 함께 사는 단독주택 마을형 세대공존 모듈러주택, 보건소·소규모 학교·돌봄센터·생활편의시설을 함께 배치. 4) 나머지 공간은 농업·생태·재생에너지(태양광, 풍력 등) 기능으로 전환하여 사라지는 공간이 아니라 다르게 쓰이는 방식으로 설계.

6. 소 결

- 본 장에서는 인구감소지역의 지정 현황, 지역 쇠퇴의 구조적 메커니즘, 연령별 인구이동과 주택시장 간의 관계, 생활 인프라 격차 등을 종합적으로 분석하였음.
- 첫째, 인구감소지역은 단순한 인구 규모의 감소가 아니라 고령화, 청년 유출, 출생률 저하, 재정 여건 악화가 복합적으로 작용한 구조적 문제임을 확인하였음. 전국 89개 시·군·구가 지정되어 있으며, 광역시 중심부까지 확산되고 있다는 점에서 지역 쇠퇴는 특정 농촌의 문제가 아니라 국토 전반의 문제로 전환되고

있음. 지방소멸위험지수는 2012년 이후 3~5단계 지역이 지속적으로 확대·심화되고 있음을 보여주며, 지역발전지수 상위권은 고착화되어 있어 발전 지역과 쇠퇴 지역 간 격차가 구조적으로 고정되는 경향이 나타났음.

- 둘째, 인구이동의 연령별 구조 분석 결과, ‘얼마나 이동하는가’보다 ‘누가 이동하는가’가 더 중요함을 실증하였음. 청년(20~39세) 순유입은 빈집률을 유의하게 감소시키는 효과를 보였으나, 그 효과는 주택 노후도가 낮은 지역에서만 뚜렷하게 나타났음. 노후주택 비율이 높은 지역에서는 청년 유입 효과가 약화되거나 통계적으로 유의하지 않았음. 이는 단순한 인구 유치 정책만으로는 주거 문제를 해결할 수 없으며, 주택 재고의 질적 개선이 병행되어야 함을 의미함.
- 셋째, K-means 군집분석을 통해 도출한 4개 지역유형은 동일한 정책이 지역에 따라 전혀 다른 결과를 초래할 수 있음을 보여주었음. 고빈집·쇠퇴형 지역에서는 주택재고 관리가 우선이며, 저빈집·안정형 지역에서는 청년 유치가 예방적 전략으로 효과적임. 성장·전환 단계에 있는 지역은 단기적 효과에 그치는 경향이 있어 개발 단계에 맞춘 유연한 대응이 필요함. 즉, 인구감소 대응은 전국 단일 해법이 아니라 유형별 맞춤 전략이어야 함.
- 넷째, 보건·상권 이변량 분석과 MPDI 분석을 통해 생활 인프라의 공간적 불균형이 인구 이동과 밀접히 연결되어 있음을 확인하였음. 보건과 상권이 모두 열악한 지역은 다차원으로 열악함이 가중되어 있으며, 인구 유출과 주택 공실 증가로 이어질 가능성이 높음. 반면, 인프라가 양호함에도 인구 활력이 낮은 지역은 주거·돌봄·문화 기능의 결핍이 문제일 가능성이 큼. 이는 사업 입지가 단순히 인구 규모가 아니라 인프라-인구-소멸위험을 함께 고려한 전략적 선택이어야 함을 시사함.
- 인구감소지역의 문제는 구조적 수요와 주거·인프라 공급 간의 불일치에서 비롯됨. 청년 유입 효과는 존재해도 노후 주택과 열악한 인프라가 이를 흡수하지 못하면 지속적 정착으로 이어지지 않음. 따라서 다음 장에서 제시할 모듈러주택 계획과 사업모델은 다음의 원칙 위에서 설계될 필요가 있음.
 - 지역유형별 차별화 전략을 고려하여 다양한 방식으로 지역에 맞게 공급함. 청년·고령층의 세대공존 구조를 통해 인구 구조를 재편함. 노후주택 정비와 생활 인프라 접근성을 동시에 개선함. 성장거점과 인접 위기지역을 연결하는 전략을 포함하여 생활 서비스 시설을 구성함
 - 모듈러주택은 단순한 주거 공급 수단이 아니라, 인구이동의 방향을 조정하고, 노후 재고를 대체하며, 인프라 효율성을 높이는 구조적 개입 도구로 기능해야 함.

제3장 세대공존형 모듈러주택 계획(안)

1. 세대공존형 주택의 개념과 특성

- 본 세대공존 모듈러주택 모델은 감정 기반 공간 설계, 반(半)프라이버시와 정원 축 네트워크, 공동 식사와 생활동맹, 물복에 기반한 자율 규범, 모듈러·공유시설을 활용한 지속가능성을 결합함. 이를 통해 고령자와 비고령자가 ‘각자의 방에서’가 아니라 ‘공유된 일상과 의무 속에서’ 서로의 회복과 삶을 지지하는 한국형 세대공존 코하우징 모델을 제안함.

■ 세대공존 코하우징(Intergenerational Co-living)

- 고령자와 청년·가족 등 서로 다른 생애주기를 가진 세대가, 각자의 독립된 공간을 유지하면서 공용 공간과 생활 규범을 공유하는 주거 환경을 조성함.
- 핵심은 돌봄의 일방향 구조(젊은 세대→노인)가 아니라, 경험·시간·능력을 서로 교환하는 생활동맹으로 보는 관점임.
- 공동 관리에 참여하되, 고령자·비고령자 모두 수혜자이자 제공자가 되는 구조로 계획.
 - 세대분리형(Dual-key) : 현관·주방·보일러를 자녀·부모가 각각 갖는 ‘두 집 한 지붕’ 구조—사생활과 ‘동등 자원 사용’ 보장
 - 가변형 모듈 : 모듈 내에 비내력벽으로 가변형 평면계획을 적용해 동거 평면으로 구축한 후, 분가 시 모듈만 분리·이전, 동일 평면을 20% 축소 및 확장 가능하도록 평면 계획시 고려
 - 공유 기능 극대화 : 대형 급식형 주방·세탁실·창고는 공동으로 사용하도록 프로그램 고려하여 중복 설비 비용을 낮출 수 있도록 함.

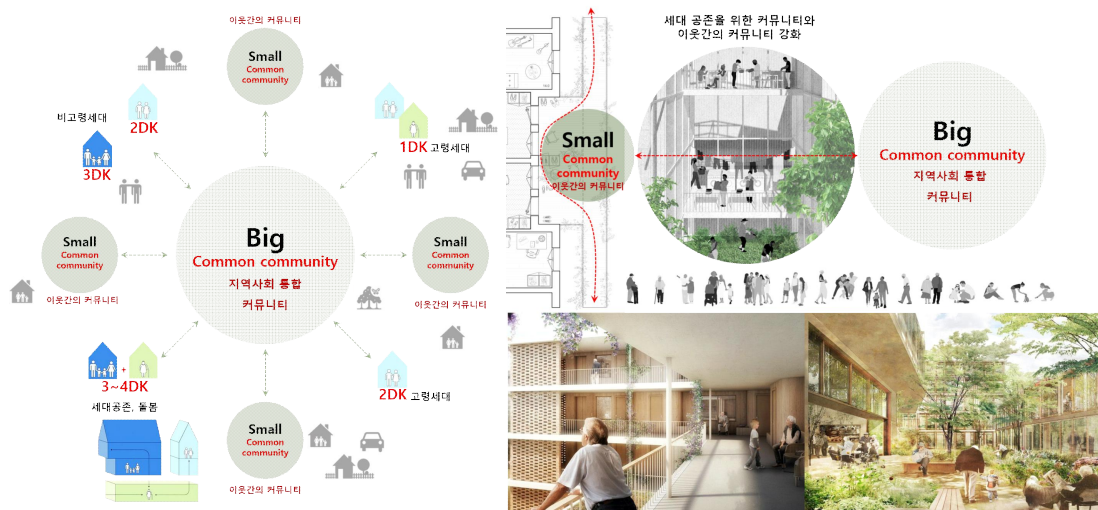
■ 감정 기반 공간 설계(Emotional Healing Design & 감정 지도)

- 강제성에 의하지 않고 자연스럽게 관계를 형성할 수 있는 공간 구조를 고려하여 계획하고, 복도·세탁실·창가까지 ‘감정적 기능’을 갖는 공간으로 설계함.

- 세대공존형 주택에서는 세대별로 감정 지도가 다른, 각 세대의 일상 생활에서 가능한 시나리오로 ‘어디에서 불편해하고, 어디에서 편안함을 느끼는지’를 지도화하고, 부정 감정이 쌓이는 지점은 조도·재료·동선 재구성으로 수정함.
 - 고령자는 불안·낙상 두려움·고립감이 생기기 쉬운 동선, 청년이나 비고령자 가족은 소음·사생활 침해·돌봄 부담이 생기기 쉬운 지점을 고려함.
- 설계상 차별점은 세대공존 모듈러주택은 물리적 평면이 아니라, 세대별 감정 지도를 바탕으로 조정되는 ‘정서적 평면’을 갖추는 것임.
 - 주택이 점차 개인 맞춤형으로 진화할 수 있으며, 현재의 표준화된 주택과 차이점임. 이런 방식의 설계를 구현하기 위해 건축가가 각각을 처음부터 설계하는 방식이 아닌 AI와 협업할 수 있는 설계 방식이 필수적임. 데이터를 기반으로 공간이 제안되어야 하고, 수요자가 자신의 감정과 취향을 제시하고 설계에 참여하여 집을 완성하는 과정으로 진행될 필요가 있기 때문임. AI를 활용한 설계는 본 보고서 부록에서 제안함.

■ 반프라이버시(Semi-privacy)와 정원 축 네트워크

- 완전 개방 또는 완전 차단이 아닌 ‘반(半)프라이버시’가 중요함. 즉, 정원과 마당은 세대를 섞는 거실이 되도록 계획하고, 현관 앞 공간은 너무 가깝지도, 너무 멀지도 않은 관계를 유지하는 거리를 만들어 줌.
- 세대공존형에서는 특히 세 가지 층위가 필요함.
 - 1) 개인 및 가족 단위의 완전한 사적 공간 2) 현관 앞 작은 마당, 공용 정원과 마주보는 창 등 가볍게 눈인사하는 반공적 공간 3) 공동 식당·공유 거실·공유 주방 등 명백한 공적 공간
- 개인 및 가족 단위의 완전한 사적 공간에서도 더 세부적으로 프라이버시 계층화가 필요함.
 - 공용 영역(현관~거실)-세미공용(서재·다이닝)-개인 영역(침실)을 단계적으로 분리해 함께 있고 싶을 때만 교류 가능하도록 계획함.
 - 정원과 산책길을 세대 교차점으로 설계해 고령자는 천천히 걸으며 사람을 만나고, 아이·청년은 놀이·운동을 통해 자연스럽게 섞이게 함.



[그림 3-1] 단지계획 커뮤니티 강화 전략 개념도

■ 생활동맹(Alliance of Everyday Life)과 공동 노동

○ 파드그네펜(Färdknäppen) 주택 단지의 사례처럼, ‘함께 밥하고 치우는 일’을 통한 신뢰의 축적을 고려함. 세대공존형에서는 이것을 세대 간 상호 돌봄 구조로 확장함.

- 파드그네펜(Färdknäppen) 코하우징 단지 개요
 - 스웨덴 스톡홀름에 1990년대 초 건설된 고령 친화형 코하우징(co-housing) 단지.
 - 입주자 대부분이 40~80대이며, 고령자의 고립 문제를 해결하기 위해 만들어졌으나, 세대교류를 염두에 둔 운영 시스템이 매우 발달해 있음.
 - 공동체 운영 규범이 명확하게 정리된 룰북(Rule Book) 기반의 자율운영이 특징.
- 고령자: 요리·전통 음식·생활 기술(장 담그기, 재봉, 농사)을 제공
- 청년·중년: 디지털 지원, 이동 보조, 자녀 돌봄, 행정 처리 지원

○ 이러한 교환을 정기적 공동식사·공동 프로그램으로 구조화하면, 돌봄 받는 고령자와 돌봄 제공 청년의 위계가 아니라, 서로 필요한 것을 주고받는 생활동맹이 됨.

- 생활동맹이란, 세대가 각자의 강점을 바탕으로 일상 노동과 돌봄을 교환하며 서로의 삶을 지탱하는 준(準)경제적·정서적 계약임.

■ 룰북과 자율 규범: ‘납득 가능한 의무’의 거버넌스

○ Färdknäppen 사례에서 통찰은 공동체 운영에는 자율보다 명확한 규칙이 필수라는 점임.

- 세대공존형에서는 세대별 기대가 다르므로, 세대 혼합 주민회의를 통해 아래를 명확히 함.
 - 청소·식사·정원 관리 등 공동 노동의 종류와 주기
 - 세대별 참여 방식(고령자의 신체 부담을 고려한 역할 분담)
 - 야간 소음·방문객·아이 활동 시간 등 생활 규범
- 이때 의무를 ‘강제 노동’이 아니라, 주민이 직접 만든 ‘납득 가능한 의무’로 만드는 것이 핵심임. 이것이 곧 세대 간 불만과 오해를 줄이는 장치가 됨.

■ 모듈러공법 및 공유시설에 의한 공간·환경·경제 효율성

- 욕실·주방 등의 공유를 통해 1인당 실제 사용 가능한 면적은 넓히고, CO₂ 배출은 줄이는 것이 가능함.
- 세대공존 모듈러주택에서는 개인 유닛은 모듈러로 구성해 생애주기 변화에 맞춰 재배치 가능하게 하고, 식당·세탁실·작업실·놀이방 등은 공유 공간으로 계획하여 세대 간 만남을 유도함.
- 이 구조는 고령자에게 돌봄·관찰의 안전망, 청년·가족에게 저렴한 주거비와 다양한 생활 편의, 사회 전체에게 탄소·토지 자원의 절감이라는 다양한 측면의 이익을 줌.

■ 리소스 풀링(Resource Pooling)

- 다세대 동거를 고정형이 아닌 유동적(shared) 주택 전략으로 규정. 사업모델도 이 부분을 고려하여 입주 계층을 포용적으로 구성함. 이용·관리는 공동자원의 기준과 절차를 명확히 해 ‘공유-조정-배분’이 가능한 운영체제로 제안함.
- 리소스 풀링(Resource Pooling)은 여러 이해관계자가 물리적·금융적·사회적 자원을 하나의 ‘풀(pool)’로 모아 두고, 필요에 따라 공동으로 이용·관리·투자하는 메커니즘. 자원을 각자 분산 보유할 때보다 규모의 경제, 위험 분산, 접근성 향상 효과를 기대할 수 있음. 이 개념을 도시로 확장하면 압축 도시 개념이 됨.
- 핵심 원리
 - 집적(Aggregation) : 공간, 돈, 시간 등 자원을 한데 모아 효율을 높임. (예: 공동 주방·세탁실, 가족공동 기금)

- 탄력성(Flexibility) : 수요에 따라 가용량과 용도를 유연하게 조정함 (예 : 손님방을 게스트·재택근무실로 전환)
- 공유 규칙(Governance) : 이용, 비용, 책임의 배분 규칙을 사전에 합의하고 투명하게 운영함. (예 : 예약 앱, 관리비 정산표)
- 상호성(Reciprocity) : 필요할 때는 도움을 받고, 여유가 있을 때는 기여한다는 상부상조 원리로 순환시킴 (예 : 차고·차량 공동 사용, 시간 은행)
- 운영방식 적용 예시
 - 설비·가전: 공용 대용량 태양광 ESS, 공유 전동차·자전거 및 충전 스테이션→(기대 효과) 일괄 구매로 초기비용이 낮아지고, 사용률은 향상될 수 있음.
 - 돌봄·노동: 가족 간 ‘케어 타임뱅크’(아이·노인 돌봄, 장보기)→(기대 효과) 유급 서비스 지출은 낮추고, 돌봄을 공정하게 분담함.
 - 금융·자산: 세대공동 주택수리·보험 적립계좌, 주택담보 대출 공동 상환·이익 공유→(기대 효과) 이자 부담 분산, 미래 가치 상승 공유
 - 데이터·IT: 스마트홈 서버·IoT 센서, 통합 예약·정산 앱→(기대 효과) 에너지·시설 사용량 실시간 배분 투명
- 공유 자원 풀은 각자 부담하는 구조를 함께 모으고 나누는 구조로 바꿔 경제성·돌봄·환경 문제를 한 번에 개선. 주거 설계 단계에서 공간·설비·금융·돌봄을 풀 단위로 재구성하고, 명확한 규칙과 스마트 관리 시스템을 결합하면 세대 간 동거를 지속 가능한 ‘상호이익의 생활 플랫폼’으로 만들 수 있을 것으로 판단하여 계획에 반영함.
- 주택계획 적용 예시
 - 설계 초기부터 공유 인프라(대형 주방, 세탁실, 보육·재택근무실)와 독립 인프라(작은 팬트리·미니 거실)를 병렬 배치해, 필요에 따라 자원 공유·분리를 선택함
 - 자녀와 부모세대가 분가 시 부모 세대가 소형 임대 유닛(예: 1.5 룸)으로 전환할 수 있게 수도·전기 배관을 모듈화하는 것도 유용함
 - 무장애 설계(900 mm 문 폭·레벨 플로어·욕실 손잡이)와 스마트 케어 IoT(낙상 감지, 원격 모니터링)를 계획의 기본 사항으로 고려함.
 - 주택 내·단지 내에 공유 보육실 및 실버 케어 라운지를 배치해 ‘아이 돌봄·부모 돌봄’ 자원을 결합

- 정책·금융 장치 병행
 - 본 연구에서 제안하는 세대공존형 주택을 활성화하기 위해서는 세대분리형 주택 취득세 감면, 공공 모기지(청년+부모 연대 보증) 등 세제·금융 지원이 필요
 - 저소득·무주택 가구를 위해 장기 공공임대 및 선택적 분양전환 프로그램을 마련해, 가족 지원이 어려운 계층의 주거 불평등을 완화

2. 계획 개요

2.1 계획 방향

- 시스템 가구에서 모듈러주택으로 확장하고 라이프스타일과 생애주기 변화에 대해 주택은 유연한 변화 및 정착, 적응하며, 세대 공존을 위한 코리빙(Co-living)으로 확장하고 세대간, 이웃간 커뮤니티를 강화하고 마을을 이룸
 - 코하우징(co-housing) : 주민이 설계·운영 과정에 직접 참여하는 공동체 지향형 주거
 - 코리빙(co-living) : 운영 주체(기업·기관)가 제공하는 서비스형 공유주거, 공동체 참여는 선택적, 운영 규칙은 제공자(운영사)가 결정
- AI를 활용한 건축설계는 형상을 그리는 행위가 아니라 알고리즘, 규칙, 지표의 결합으로 구성된 절차적 시스템으로 재구성하는 하나의 설계 방법론임. 통합 건축 설계 자동화 시스템은 필지 분할에서 개별 세대 평면, 실·가구 배치에 이르기까지 전 과정을 하나의 계층적 파이프라인으로 묶고, 각 단계마다 최적화된 설계 대안을 생성하는 알고리즘을 적용하여 주택을 설계하는 의사결정 과정의 틀을 정립함.
- 통합 시스템의 기본적인 전략은 복잡한 건축 설계 문제를 세 수준의 하위 문제로 분해하는 것임. 첫째, 도시·블록 스케일에서의 필지 분할 및 도로망 설계, 둘째, 개별 필지 내 건물 매크로 평면 및 모듈화된 공간 설계, 셋째, 실 내부의 상세 평면 및 가구·개구부 배치임. 상세한 내용은 부록에서 기술함.
 - 전반적인 데이터 흐름은 필지 경계 커브 → 필지 곡선 집합 → 셀 좌표 및 실 타입이 포함된 스켈레톤 JSON → 실 변형과 가구·문·창·동선 기하학으로 이어지며, 각 단계는 이전 단계 결과를 제약 조건으로 받아 불연속적이지만 일관된 설계 계층 구조를 형성함.
- 모듈러주택으로 구성하는 단지 및 주동의 형태는 다양한 지역의 여건을 반영하기 위해 3가지 타입으로 규정하고 계획함

- 타워형 주동 및 커뮤니티 : 고령자세대(전용 46㎡) 와 비고령자세대(전용64㎡)가 별동으로 구성, 지하층 및 저층부에 커뮤니티공간 배치
- 빌라형 주동 및 커뮤니티 : 고령자세대(전용 36㎡)와 비고령자세대(전용 54㎡)가 연접으로 구성, 연접의 형태는 외부공간이 될 수도 있고 가변공간으로 내부가 될 수도 있음.
- 단독주택 단지형 및 커뮤니티 : 고령자세대(전용36,46㎡) 와 비고령자세대(전용 54, 64㎡) 가 4가지타입 단독으로 이격으로구성, 마을 중심부에 커뮤니티공간 배치

2.2 디자인 컨셉

1) 지역사회 통합 커뮤니티 : 주변에 사는 사람과 연대

- 주택을 지탱하는 에너지와 교통기반시설, 간호·간병 체계, 이웃과 상부상조하는 양육 구조, 그리고 주택 공급시스템까지 함께 고려
 - 다양한 세대 구성을 수용할 수 있는 여러 전용 면적의 모듈러 주택을 활용한 합리적 이고 유연한 대응
- 고령자 세대와 비고령자 세대의 세대 공존을 통해 지역사회 활력과 서비스 보완
- 지역 사회권 시스템 : 작은 지역사회권 실현
 - 지역 커뮤니티 프로그램과 이웃간의 커뮤니티 강화를 통한 사회적 통합

2) 유니버설(universal) 디자인

- 유니버설 디자인은 ‘모든 사람을 위한 디자인’ 또는 ‘범용 디자인’으로도 불리며, 장애물없는 생활환경과 접근성을 포괄하는 개념임.
- ‘장애물 없는 생활환경(Barrier Free)’는 인증 제도로 정착되어 있고, 고령자 사용 공간은 BF인증 기준을 충족하도록 폭, 높이, 공간 구조 등을 고려하여 계획함.

3) 이웃과 함께하는 경제활동 및 경제적 자생력을 가진 주택

- 생계를 유지하기 위한 생업으로서의 경제 활동과 특기나 취미가 깊어져 부업처럼 하는 개인 활동을 영위할 수 있는 운영 프로그램 계획

- 예) 피아노, 미술 교습, 외국어(한국어, 영어 등) 학습, 개인이 타인이나 지역사회를 상대하는 활동
- Alvin Toffler 'The Third Wave(1980)'에서 제시한 '생산 소비자' 개념을 반영하면 인터넷이 주체가 되는 정보기술의 발전과 침투력은 취마나특기를 가볍게 공유하면서 기술을 향상하거나 다품종 소량 생산을 가능하게 함
- 경제적 자생력을 가진 주택 : 커뮤니티를 위해서 그곳에 사는 사람들이 어떤 형태로든 경제 활동에 참여할 수 있는 주택으로, 임금노동자 외에도 다양한 경제활동을 창출하는 단지임을 의미함.
- 예전 가업처럼 특정 장소와 함께 존재하는 경제활동 : 생활하는 장소와 경제가 하나되어 움직이는 경제활동. 이러한 경제활동의 고착화는 지역의 인구감소를 지연시킬 수 있으며, 주변에 산업 거점이 형성되어 경제활동의 형태가 바뀌어도 심리적인 안락함으로 거주지는 이동하지 않으려는 성향이 생길 수 있음.
 - 예) 텃밭에서 재배한 채소로 김치 담가 판매, 허브티를만들어 판매, 카페 및 식당(+공유주방) 운영, 세탁소(+공용세탁실)운영, 집수리점(+텃밭용품 및 컨설팅) 운영, 고령자 및 어린이 보호시설, 식료품점, 그리고 입주자를 위한 혜택으로 예를 들면, 택배 등을 수령, 방범활동, 공용화장실 청소, 모임장소 제공 등도 있음.
- 건축공간의 설계 방식은 근처에 사는 사람 및 방문하는 모든 사람과의 관계를 고려함. 즉, 경제 활동을 위한 장소, 고객을 상대하는 장소, 이웃과의 접촉을 위한 장소 등 각각의 용도를 활용하여 계획함.
- 지역 주민이 거주지에서 일하며 지역 경제에 적극적으로 참여할 경우, 커뮤니티는 단순한 친분 관계를 넘어 공동의 의사결정 과정에 직접 관여하는 실질적 관계망으로 확장됨.

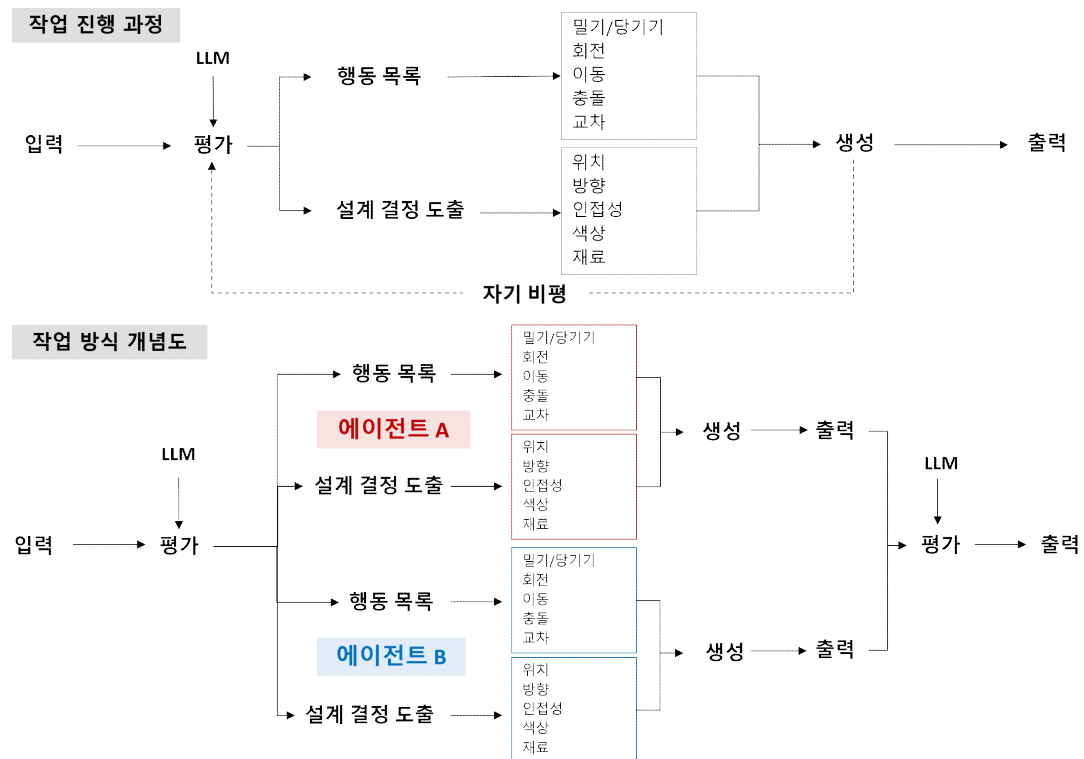
2.3. 계획 방법 : AI-LLM적용 대안 생성

- 전통적인 건축 설계 방식은 숙련된 설계자의 경험과 직관에 크게 의존해 왔음. 그러나 이러한 방식은 상당한 시간을 소요할 뿐만 아니라, 설계자마다 결과물의 편차가 발생하는 일관성 부족 문제와 제한된 시간 내 소수의 대안만을 검토하게 되는 한계를 내포하고 있음. 이러한 문제들을 극복하고 설계 프로세스의 효율성과 품질을 극대화하기 위해 '통합 건축 설계 자동화 시스템'을 제안함.

- 본 시스템은 대규모 필지 분할부터 개별 건물의 상세 평면 생성에 이르기까지 건축 설계의 핵심 워크플로우 전반을 자동화하는 포괄적인 솔루션임. 특히, 본 시스템은 단순히 기술적으로 유효한 솔루션을 생성하는 것을 넘어, 채광, 환기, 동선, 프라이버시와 같은 핵심적인 건축적 품질 지표를 고려하여 거주 가능하고 기능적인 공간을 창출하는 것을 목표로 함.
 - 시스템의 핵심 혁신은 각기 다른 설계 단계를 전담하는 세 가지 핵심 모듈, 즉 TargetAreaParcelSplitter(지능형 필지 분할), MacroLayoutGenerator(공간 배치 최적화), RoomVariantOptimizer(상세 평면 배치)를 계층적으로 통합한 데 있음. 이러한 세 모듈은 독립적으로 작동하면서도 전 단계의 출력을 입력으로 연계하여 점진적으로 설계의 상세도를 높여가는 유기적인 파이프라인을 구축함. 이를 통해 복잡하고 다면적인 설계 문제를 관리 가능한 하위 문제로 분해하고, 각 단계에 최적화된 알고리즘을 적용하여 전체 설계 품질을 극대화함.
- 전체 프로세스는 초기 필지 데이터가 완전한 건축 도면 데이터로 변환되는 3단계 과정으로 요약할 수 있음. 세 모듈은 모두 알고리즘(탐색·최적화 절차) - 규칙(설계 제약과 도메인 지식) - 지표(품질을 정량화하는 척도)의 조합으로 구성되며, 앞 단계의 출력이 다음 단계의 제약이자 입력이 되는 방식으로 연결됨.
 - 1단계 변환 (필지 분할): TargetAreaParcelSplitter가 사용자가 입력한 대규모 필지 경계를 건축적으로 유용한 형태와 목표 면적을 가진 작은 필지들의 집합으로 분할함. 이 단계에서는 도로 접근성과 같은 법적, 실용적 요건이 함께 최적화됨.
 - 2단계 변환 (매크로 레이아웃 생성): MacroLayoutGenerator가 1단계에서 분할된 개별 필지를 입력받아, 평형 및 생애주기 등 건축 프로그램의 요구사항에 맞는 최적의 실 배치 구조(매크로 레이아웃)를 생성함.
 - 3단계 변환 (상세 평면 배치): RoomVariantOptimizer가 2단계에서 생성된 매크로 레이아웃의 각 실 또는 모듈러 유닛에 가구, 벽, 문 등을 포함한 상세 변형(Variant) 라이브러리를 배치하여 기능적으로 완전한 건축 평면을 완성함.
- 설계자가 실제로 시스템을 사용하는 과정은 다음과 같은 실무적 시나리오를 따름.
 - 1단계_필지 경계 설정: 설계자는 Rhino 환경에서 개발 대상 필지의 경계를 직접 그리거나 CAD 파일로부터 불러옴.
 - 2단계_필지 분할 실행: 목표 필지 면적, 도로 접근 요구사항 등의 파라미터를 설정하고 TargetAreaParcelSplitter를 실행함. 시스템은 최적의 분할안을 시각적으로 제시하며, 설계자는 결과를 검토하고 필요 시 파라미터를 조정하여 여러 대안을 신

속하게 탐색함.

- 3단계_매크로 레이아웃 생성: 만족스러운 필지 분할안이 확정되면, 각 필지를 대상으로 MacroLayoutGenerator를 실행함. 세대 전용 면적(예: 36㎡, 46㎡)과 생애주기(예: 신혼부부, 영유아 가족)를 선택하면, 유전 알고리즘이 최적의 공간 배치 구조를 탐색함. 설계자는 최적화 과정을 모니터링하고, 최종적으로 생성된 셀 그리드와 실 타입 배치를 확인함.
- 4단계_상세 평면 완성: 마지막으로, 확정된 매크로 레이아웃(스켈레톤 데이터)을 RoomVariantOptimizer에 입력함. 설계 목적에 따라 '신속 검증(RANDOM)' 또는 '최고 품질(OPTIMIZED)' 등의 배치 전략을 선택하면, 시스템은 수백 개의 실 변형 라이브러리 내에서 제약조건을 만족하는 최적의 조합을 찾아 벽, 문, 가구가 모두 포함된 완전한 평면도를 생성함. 이 최종 결과물은 Rhino에서 즉시 활용 가능한 도면 데이터로 출력됨.



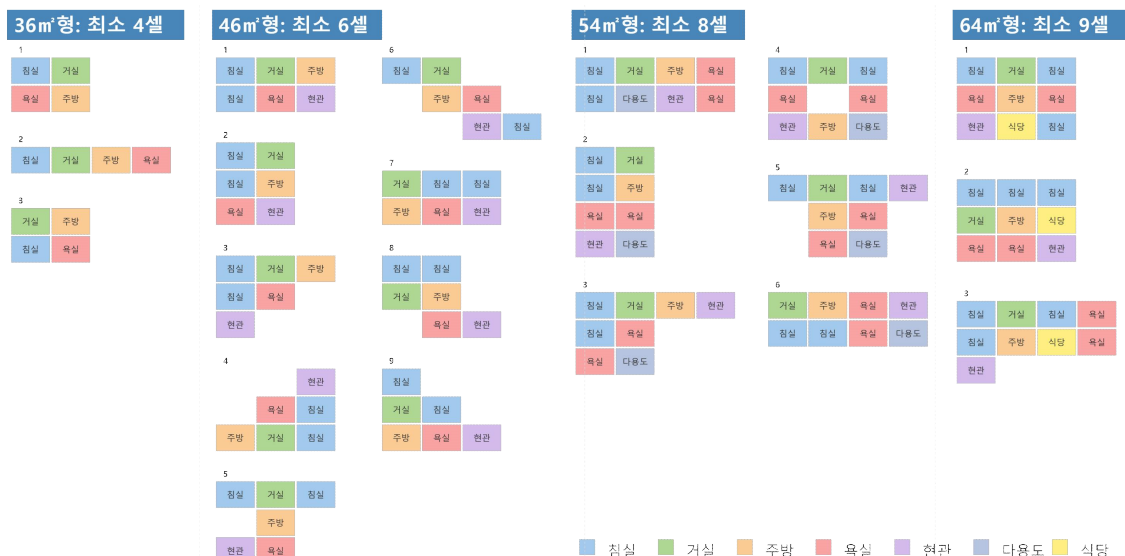
[그림 3-2] AI-LLM 설계 개념도

- 이처럼 각 모듈은 독립적으로 실행될 수 있으면서도, JSON 형식의 표준화된 데이터 인터페이스를 통해 유기적으로 연결됨. 이러한 모듈식 아키텍처는 개발 및 유지보수의 효율성을 높일 뿐만 아니라, 특정 단계의 결과만 수정하여 재실행하는 등 실무적 유연성을 극대화함.

3. AI-LLM 알고리즘을 활용한 단독주택 단지 계획 및 평면 대안 생성

3.1 알고리즘 기반 설계 프로세스

- 본 연구는 3m×3m 모듈을 기본 단위로 하는 소규모 모듈러 주거단지를 대상으로 함. 이에 따라 고령자·비고령자 세대를 혼합 수용하는 36m², 46m², 54m², 64m² 네 가지 평형의 유닛 평면과 필지를 분할하고, 각 필지에 주택이 한 채씩 배치되는 단독주택 단지 배치안을 AI-LLM으로 생성코자 함.
- 설계 전 과정은 세 단계의 알고리즘 모듈을 연속적으로 연결한 통합 시스템을 통해 생성되었음.
 - TargetAreaParcelSplitter - 대지의 계층적 필지 분할 및 내부 도로 공동 생성
 - MacroLayoutGenerator - 필지별 주동·유닛 스케ले톤 배치 최적화
 - RoomVariantOptimizer - 각 셀에 실 변형(방·거실·주방 등)과 가구·개구부 배치



[그림 3-3] 4가지 타입의 평면 조합 개념 설정

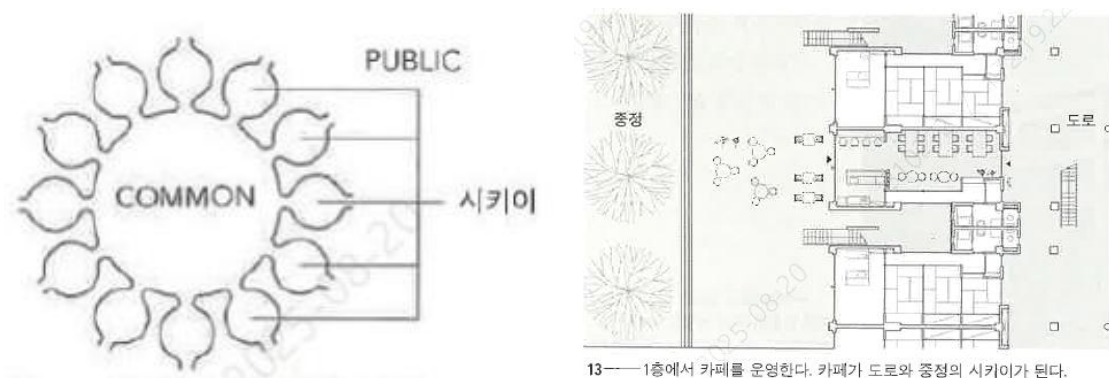
- 이를 통해 필지-건물 스케레톤-실 단위 다테일에 이르는 설계의 해상도가 점진적으로 높아지는 구조를 가지며, 이런 결과 산출을 위해 AI가 정보를 축적할 수 있는 평면 계획안 및 개념을 설정하는 것이 필요함. 설정된 개념 및 평면을 근거로 조합하여 새로운 평면을 생성함. 이때는 유전 알고리즘과 Wave Function Collapse를 사용

3.2 단지계획 가이드라인 설정

- 계획 목표는 집과 집, 건물과 건물의 관계를 만들다 보면 자연스럽게 사람과 삶의 연결로 동네 아이덴티티가 형성되고, 나아가 함께 일궈나가는 주체적 동네 만들기가 가능한 계획 방식을 제시하고자 함.

1) 커뮤니티를 형성하는 방식

- 커뮤니티 형성은 물리적 공간과 사회적 시스템을 통합하여, 주민 주도형 네트워크를 구축하는데 초점을 맞춤.
- 인프라와 복지 시스템을 지자체에만 의존하지 않고, 지역 주민이 적극적으로 참여하도록 설계하는 것이 중요
 - 구체적으로, 단지내 소규모 클러스터를 형성하고 공유 코트와 라운지를 배치하여 이웃 간 상호작용을 촉진. 이를 통해 세대 간 연결을 강화하며, 예를 들어 앱 기반 디지털 플랫폼을 도입하여 주민 간 일정 공유와 자원 교환(예: 고령자 돌봄 일정)을 실시간으로 관리함.
 - 주민 주도의 교육 프로그램(예: 지속 가능성 워크숍)을 운영하여 지식 교환을 장려하고, 생태 친화적 요소(예: 텃밭과 빗물 수집 시스템)를 통합하여 환경 의식을 높임.
- 이러한 방식은 지역경제 참여를 촉진하고, 고령화 시대의 사회적 고립을 방지하는데 기여함. 물리적인 계획안을 위해 단지와 외부와의 관계 및 접근하는 방식은 ‘탈주택’에서 야마모토 리켄이 제시한 아래 개념을 참조하여 계획했음.



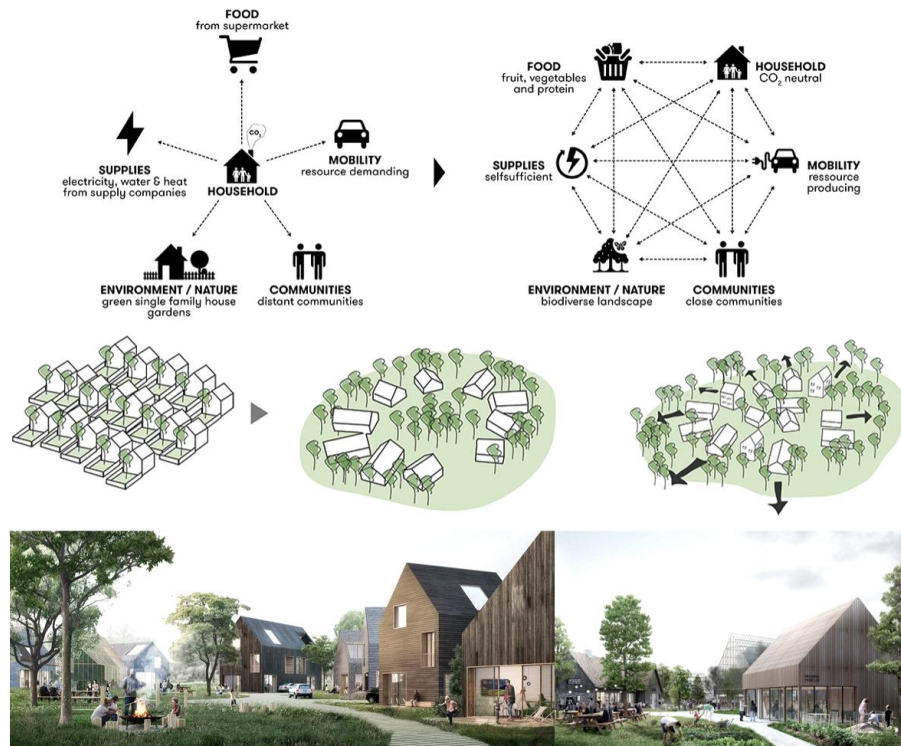
[그림 3-4] 단지와 외부와의 관계 및 접근 방식(야마모토 리켄_호타쿠보 제 1단지)

[출처] 야마모토 리켄, 니카 도시하루(2025)

- 중간 영역(중정)은 입주민들의 공간이라는 생각 + 카페, 노인시설, 아이 교육시설 (탁아소) + 단지 주민 뿐 아니라 주변에 사는 사람들도 중정에 들어올 수 있음.

○ 이러한 개념을 실제 마을로 구현한 사례로 헬싱가든 시티(HelsingGarden City)를 참조했음.

- 헬싱가든 시티는 덴마크 시골에서 주변 풍경과 밀접하게 연결되어 강한 정체성과 공동체 의식을 지닌 새로운 생활 방식을 제안함. 단지는 넓은 공용 공간과 높은 수준의 공유를 통해 보다 지속 가능한 생활 방식을 가능하게 하는 클러스터로 구성되어 있음. 마스터 플랜은 환경적, 사회적, 경제적 지속 가능성이라는 세 가지 주요 매개변수를 염두에 두고 개발되었으며, 이는 코펜하겐으로 통근 가능한 거리에서 보다 건강하고 자급자족하는 삶을 살 수 있는 새로운 가능성을 제공하는 의의가 있음.



[그림 3-5] 헬싱가든시티 개념도 및 설계 이미지

2) 프로그램 배치 개념

○ 소규모 클러스터(8-12세대)를 단위로 하여, 공유 공간을 중심으로 프로그램을 배치함. 이는 50m 이내 접근성을 보장하여 주민 이동을 최소화하고, 자연스러운 참여를 촉진함.

- 예를 들어 클러스터 중앙에 다기능 라운지를 위치시켜 디지털 플랫폼(예 : 앱 기반

자원 공유 시스템)과 교육 프로그램(예: 친환경 및 지속 가능 워크숍)을 통합함.

○ 구체적 설계 요소는 다음과 같음.

- 디지털 프로그램 배치 : 라운지 내 디지털 허브(예: 터치스크린 키오스크)를 설치하여 주민들이 실시간으로 커뮤니티 일정(예: 고령자 돌봄 스케줄)을 관리할 수 있도록 함. 이는 주민 주도형 네트워크를 강화하기 위해 필수적이며, 앱, SNS 등의 무선 연결성을 우선 고려함.
- 교육 프로그램 배치 : 클러스터 주변에 소규모 워크숍 공간 (예: 20-30㎡ 규모의 다목적 룸)을 배치하여, 세대 간 지식 교환 (예: 도시 농업 세미나)을 촉진함. 이 공간은 유연성을 위해 이동식 가구를 도입하며, 고령자 접근성을 위해 낮은 높이의 설비를 적용함.
- 코트 중심의 변환형 모듈활용 : 작은 공공시설(고령자, 어린이, 장애인들 돌보기 위한 시설)과 편의점을 일체화하고 자원봉사자 사무실을 함께 배치하며, 공유보육실과 실버케어를 운영하며 각 세대와의 접근 거리가 짧고 상시 협조를 받을 수 있는 아파트 관리사무소와 같은 공간 운영
- 생태 프로그램 배치: 클러스터 외곽에 생태 친화적 공간 (e.g., 텃밭과 빗물 수집 시스템)을 통합하여, 환경 교육을 실현함. 단지 내 녹지 면적 및 에너지 사용량 등을 정량적으로 관리하도록 권장함.



[그림 3-6] 모듈러 단독주택 단지 계획(안)

- 고령자의 사용 편의성을 고려하여 보편적 설계(Universal Design) 원칙을 도입함. 예를 들어, 모든 프로그램 공간에 장애인 접근성을 위한 경사로와 음성 안내 시스템을 추가하여, 고령화 사회의 다양성을 반영함. 이는 주민 참여율을 높이고, 사회적 포용성을 강화함.
- 모든 프로그램이 물리적 공간과 유기적으로 연결되도록 설계하여, 주민 주도형 커뮤니티를 실현함.

3) 세대 전용 공간 계획



[그림 3-7] 모듈러주택 평면 계획(안) 3D이미지

- 설계 가이드라인: 각 주거 단위 예를 들면 36~64㎡ 모듈을 1~2세대 규모로 구성하고, 내부에 가정용 워크스테이션 등의 다기능 공간을 배치함. 이는 디지털 플랫폼과의 연계를 위해 고속 인터넷과 스마트 홈 시스템을 표준으로 적용하는 것을 제안함.
- 구체적 요소: 고령자 주거에는 낮은 문턱과 비상 호출 버튼을 설치하여 안전성을 확보함. 또한, 내부 공간의 10~15%를 공유형으로 설계하여, 이웃 간 소규모 모임을 가능하게 함.
- 추가 계획 개념: 지속가능성 지표를 도입하여 내부 공간의 LED 조명 및 태양광 패널 등 에너지 효율 설비를 의무화하고, 건축물 환경성능 평가를 통해 효과를 검증하며 주민 주도의 에너지 절감 프로그램과 연계함.

4) 외부 공용 공간 및 동선 계획

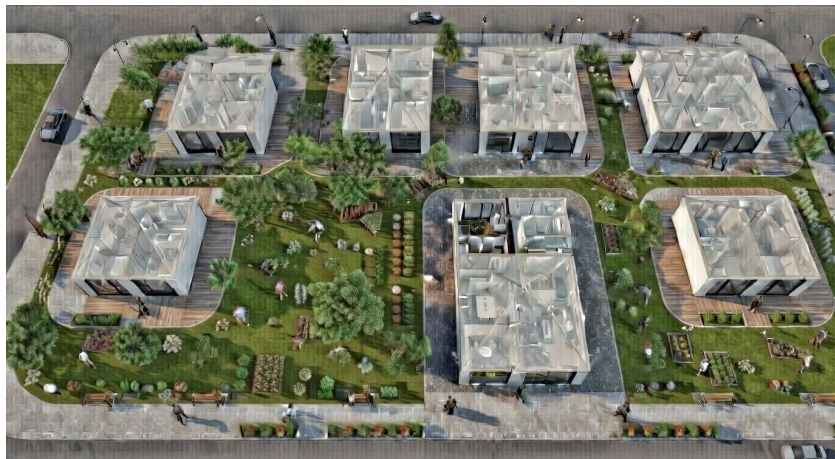
- 설계 가이드라인: 클러스터를 단지 내 도로망으로 연결하여, 프로그램 공간과 주거 단위 간의 이동을 원활하게 함. 예를 들면, 산책로와 같은 녹지를 활용하여 텃밭, 공동 정원가꾸기와 같은 생태 프로그램과 연계할 수 있음.
- 구체적 요소: 커뮤니티 garden과 같은 외부와 함께 사용하는 공용 공간을 클러스터 외곽에 배치하여, 지역 주민들과 입주자들이 함께 커뮤니티를 형성할 수 있도록 연결 고리 역할을 함. 이는 50m 이내 접근성을 유지하며, 안전을 위해 조명과 CCTV를 설치함. 지역 주민들을 수요층으로 고려한 영업도 가능하도록 제안.
- 친환경 계획 적용 : 녹지 통합 모델을 제안하며, 단지 내 녹지 면적을 증가시키고, 빗물 관리 시스템을 잘 구축함. 이는 기후 변화 적응성을 높이기 위해, 지역 생태계 분석을 기반으로 설계해야 함.

<표 3-1> 공용 공간 계획 관련 정량·정성 기준 및 기타 사항

구분	정량 기준/권장사항	비고
고령자 세대 위치	≥90% 1층, 나머지는 엘리베이터 1층 이내	수평 12m 이내 접근
고령자↔가족 세대 거리	세대 현관 간 ≤20m	같은 코트/1개층
라운지 접근	현관↔라운지 ≤30m	실내 이동 권장범위
식당 접근	현관↔식당 ≤50m, 고저차 <1:20	
복도 폭	필수 1.5m, 권장 1.8m	
휴게좌석	복도·보행로 30m마다 1석	팔걸이·등받이 포함
코트 면적	12~30㎡/세대	30㎡ 초과 비효율
주차장 접근	고령자 세대↔주차면 ≤10m(지정면), 외곽배치	장애인·고령자 우선
주차공급	고령자 0.5면/세대, 일반 1.0면/세대, 방문 0.2	세대수 80% 수준
드롭존/차량 승하차장	폭 ≥3.6m, 길이 ≥12m(캐노피, CCTV, 벤치 등)	
보행자 우선 설계	횡단부 30m마다 승강식 횡단보도(raised crosswalk), 보행로 폭 1.8m+손잡이+LED(10lx 이상)	
공용 식당/라운지	순면적 2㎡/세대 이상	층별 소라운지 추가
버스정류장/시설 접근	현관↔대중교통·편의 ≤400m(10분 내)	
드롭존	폭 ≥3.6m, 길이 ≥12m, 평슬래브, 캐노피	응급차/셔틀 대기
플렉서블 존(미래대응)	5% 확보(카셰어링·자율주행·EV 충전 등)	

3.3 AI-LLM 기반 단독주택 단지계획 모델 생성

- 도시 및 건축 설계 과정은 대지·도로·필지 수준의 거시적 결정에서 시작해 매스 및 평면의 공간 구조, 실 단위의 상세 구성(문·창·가구), 그리고 계획 대안의 검토 및 설명에 이르기까지 표현 해상도와 제약조건이 단계적으로 증가하는 특징을 가짐. 이때 상위 단계의 의사결정은 하위 단계의 계획 대안을 제한하며, 반대로 하위 단계의 충돌(동선 불가, 개구부 미정렬, 가구 간섭 등)은 상위 구조를 재조정하도록 요구함. 따라서 실무적으로 유효한 설계 자동화는 단일 알고리즘의 한 번 생성이 아니라, 단계별 산출물을 연결하는 계층적 파이프라인과 각 단계에서의 품질 평가·제약 검증·복구 메커니즘을 함께 갖춘 형태가 요구됨. 이러한 과정으로 알고리즘과 LLM을 이용한 설계는 설계 품질을 안전하게 만들고 설계 자동화를 검증 가능한 의사 결정 체계로 재구성함.
- 기존 건축설계는 정성적 판단과 경험 지식에 크게 의존하며, 대지조건·법규·구조·설비·거주성·시공성의 상충 관계를 설계자가 각각 고려하며 조율함. 본 시스템은 이러한 복잡도를 계산 모델로 정량화하고, 탐색(Optimization)과 생성(Generation)을 결합하여 설계 대안을 신속하게 생산·평가·검증함.
- 이는 산불 등 재난 시에도 신속하게 마을을 복구할 때 활용될 수 있으며, AI설계를 활용하여 설계 시간을 크게 단축할 수 있음. 알고리즘을 활용하여 대지 형태에 맞춰 형평성에 맞고 수요가 반영된 모듈러 디자인이 적용된 주택으로 마을을 복구할 수 있음. 즉, 필지 분할부터 주택 배치까지 거주자의 평면에 대한 요구에 따라 다음과 같은 계획안을 만들 수 있음.



[그림 3-8] 필지 분할 후 단층 모듈러주택 배치(안)

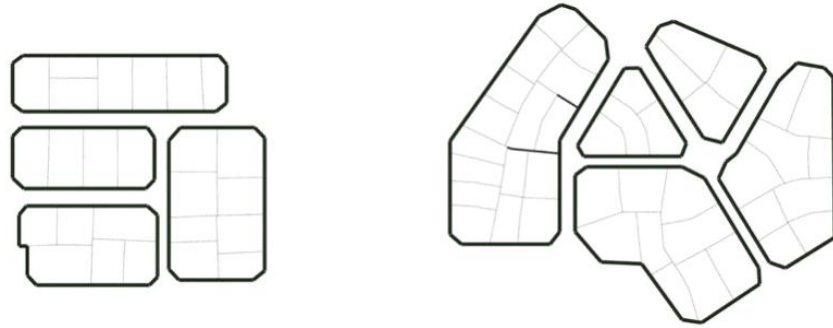
- 본 연구의 통합 설계 자동화 파이프라인은 다음 4단계 모듈로 구성됨.
 - TargetAreaParcelSplitter : 목표 면적 기반 필지 분할과 접도 확보를 동시에 수행
 - MacroLayoutGenerator : 유전 알고리즘(GA)을 이용한 셀 기반 매크로 배치 최적화
 - RoomVariantOptimizer : 파동함수붕괴(WFC) 기반 실 변형 라이브러리를 활용한 상세 평면 생성
 - UrbanGraphRAG : 결과를 온톨로지·지식그래프로 변환하여 LLM이 자연어 질의로 설계안을 설명·분석할 수 있도록 하는 지능형 인터페이스

1) 필지 분할 및 도로망: TargetAreaParcelSplitter

- TargetAreaParcelSplitter는 대지를 목표 면적에 맞춰 자동 분할하고, 모든 필지가 도로에 접근 가능하도록 도로망까지 함께 생성하는 통합 자동화 시스템임. 수작업으로 수일 걸리던 필지 분할을 수분 내에 수행하며, 객관적이고 일관된 결과를 제공함.
- 필지 분할은 단순한 기하 문제가 아니라, 면적·형상·최소폭·도로접근성이라는 서로 충돌하는 목표를 동시에 만족해야 하는 다목적 최적화 문제임. 정사각형에 가깝게 만들수록 목표 면적을 딱 맞추기 어렵고, 모든 필지를 도로에 접하게 하려면 도로·경계가 늘거나 필지 수가 줄 수 있는 등 상충 관계(trade-off)가 발생함.
- 이를 해결하기 위해 6가지 품질 메트릭을 활용한 분할선 평가를 수행함. 각 후보 Streamline으로 가상의 분할을 수행한 뒤 다음 항목을 동시에 평가함.
 - 면적 균형 (Q_{size}) - 두 필지 면적 비
 - 형태비 (Q_{aspect}) - 방향있는 경계 사각형(Oriented Bounding Box) 장·단변 비
 - 규칙성 (Q_{regu}) - 각도·변 길이 분산 기반 불규칙성(Irregularity) 지표
 - 도로 접근성 (Q_{acce}) - 도로 접촉 길이 비율
 - 최소 폭·데드스페이스 (Q_{width}) - 전면폭 및 내부 활용 가능 면적
 - 분할선 방향 ($Q_{orientation}$) - 원래 필지의 장변에 수직/평행 관계
- 가중합 $Q_{total} = 0.12Q_{size} + 0.18Q_{regu} + 0.10Q_{acce} + 0.35Q_{aspect} + 0.15Q_{width} + 0.10Q_{orientation}$ 이 최대인 Streamline을 선택함으로써, 불규칙한 필지를 억제하고 도로 접근성을 확보한 필지 체계를 형성함. 이는 Kevin

Lynch의 '읽기 쉬운 도시(legible city)' 개념을 정량화한 것으로, 설계자의 직관을 수치화된 품질지표로 전환하여 대안 간 비교를 투명하게 만들고, 이해관계자 합의를 용이하게 함.

- 시스템은 입력→도로→분할→접근성→형태개선→출력으로 이어지는 6단계 모듈형 파이프라인으로 작동함. 핵심 단계인 계층적 분할은 반복적으로 실행되며, 각 'iteration'마다 가장 큰 필지를 선택하고 QuadMesh 기반 Streamline 후보를 생성한 뒤 품질 평가로 최적 분할선을 선택하여 분할을 실행함. 이후 도로 미접 필지를 탐지하여 I형 또는 L형 접근로를 자동 생성하고, 종횡비 2.5를 초과하는 세장형 필지는 인접 필지와 병합 후 재분할하는 로컬 최적화를 수행함.
- 이 과정을 통해 36·46·54·64m² 세대동과 커뮤니티 센터가 들어갈 개별 필지를 자동 생성하고, 각 필지는 건축 가능한 폭과 형태를 확보한 상태에서 다음 단계의 건물 배치를 위한 입력으로 사용됨.



[그림 3-9] TargetAreaParcelSplitter 결과물

2) 주동 및 유닛 스케레톤: MacroLayoutGenerator

- MacroLayoutGenerator는 분할된 필지 내부를 3m×3m 셀 그리드로 표현하고, 유전 알고리즘(GA)을 통해 매크로 레이아웃 즉, 형태 패턴 및 실 타입 배치를 탐색함. 매크로 배치는 다변수·비선형·불연속 제약을 동시에 포함하는 문제로, GA는 파생 가능한 설계 대안의 다양성을 유지하면서 시뮬레이션 기반의 적합도 평가를 결합하기에 적합함.
- 3m 그리드와 모듈 체계를 따르는 유닛 평면은 모두 3m×3m Unit을 기본으로, 이는 MacroLayout 단계에서 설정한 셀 개수·형태와 1:1로 대응됨.

- 36㎡ : 3m×6m 모듈 2개
 - 46㎡ : 3m×9m 모듈 2개
 - 54㎡ : 3m×9m 모듈 2개 + 3m×6m 모듈 1개
 - 64㎡ : 3m×9m 모듈 3개
- 36㎡ 고령(1~2인), 46㎡ 고령(2인), 54㎡ 비고령(3인), 64㎡ 비고령(4인) 세대와 같이 평형별 요구 방 개수와 공용 및 개인 영역의 비율을 설정값으로 입력하여, 각 평형 스켈레톤이 해당 생애주기별 프로그램에 맞는 공간 구조를 갖도록 함.
- GA는 6개 목표를 동시에 최적화하는 다목적 최적화 방식으로 작동함.
- 형태 품질(Shape Quality) : 들쭉날쭉함(Jaggedness), 함몰(Indentation), 매끄러움(Smoothness) 지표로 불규칙하거나 비효율적인 형태를 필터링
 - 공간 인접성(Adjacency) : 주방-거실 인접(가중치 +12), 거실-테라스 연결(+10), 침실 간 이격(-7) 등 기능적 인접성 점수화
 - 압축도(Compactness) : 바운딩 박스 대비 실제 점유율(Rectangularity)로 외피면적 최소화 및 에너지 효율 평가
 - 필지 포함률(Site Containment) : 모든 셀의 필지 내부 위치 검증, 필지 밖 셀 1개당 50점 감점
 - 방 개수 일치(Room Count) : 목표 셀 개수와 실제 배치 셀 개수의 일치도 평가
 - 중심 위치(Position) : 건물과 필지 중심 간 거리로 주변 여백의 균등 분포 평가
- ShapeGenerator는 STAGGERED(계단형), COMPACT(정방형), LINEAR(일자형), L_SHAPE/COURTYARD(중정형) 등 다양한 형태 패턴을 생성하고, 엘리트 선택·교배·돌연변이·이민(25세대마다 10% 교체)을 통해 전역 탐색과 국소 탐색을 균형 있게 수행함.
- 이 단계에서 얻어진 '셀 스켈레톤 및 실 타입 정보'는 RoomVariantOptimizer의 입력으로 전달됨.



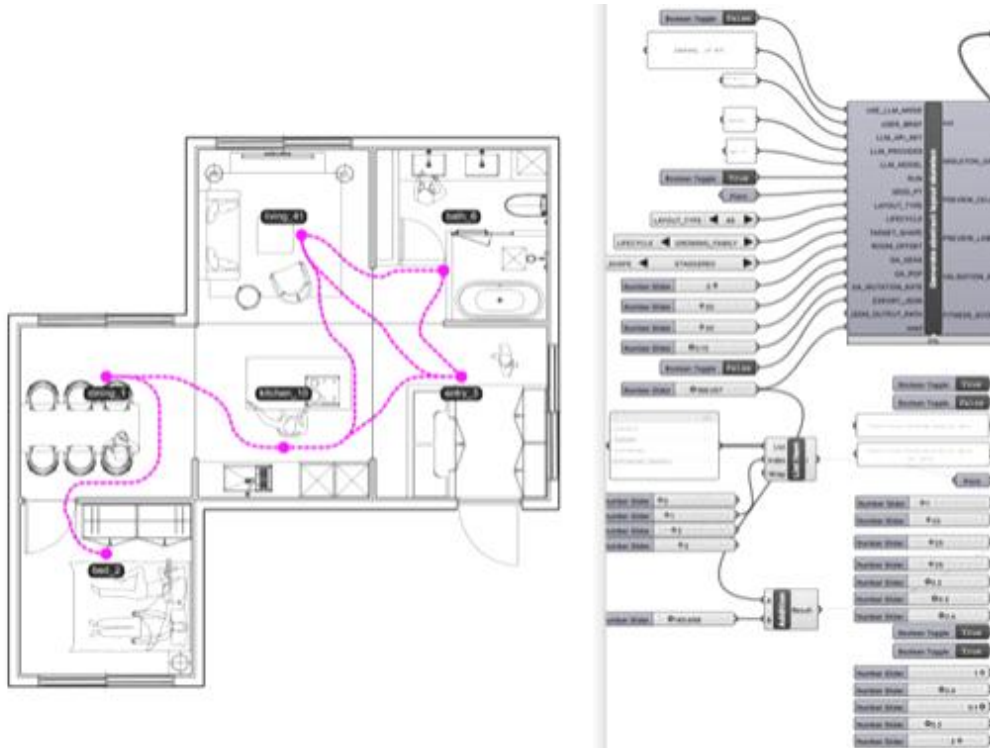
[그림 3-10] 유전 알고리즘 기반 필지 적응형 건물 배치 최적화 시스템 산출물

3) 실 변형 배치: RoomVariantOptimizer

- RoomVariantOptimizer는 Wave Function Collapse(WFC) 및 Minimum Remaining Values(MRV) 휴리스틱을 결합한 하이브리드 접근으로 각 셀에 실제 실 변형 평면 템플릿을 배치함. 이는 건축 규칙을 이해하는 지능형 퍼즐 솔버(solver)로, 제약 만족(가능한 해 만들기)·지능형 탐색(빠른 수렴)·최적화(품질 향상)를 동시에 추구함.
- 1단계 : 제약 조건
 - 모서리 타입 호환 규칙 (WALL-WALL, OPEN-OPEN, DOOR-OPEN 허용, DOOR-DOOR 금지 등)
 - 현관의 외부 문 요구, 테라스의 비도어 에지 규칙, LIVING_SOUTH_WALL (거실 남측 벽) 옵션 등 프로그램별 특수 제약
 - 가구 충돌·동선 원 기반 검증(0.4m 간격 샘플링, 반경 0.1m 개구부 정렬 확인, 반경 0.4m 통과 가능성 확인), 창 배치를 위한 외벽·가구 여유공간 검증
- 2단계 : 배치 전략 (건축 프로그램의 복잡도에 따라 선택)
 - RANDOM: 스마트 백트래킹 기반의 빠른 제약 만족. ENTRY(현관)를 먼저 외벽에 배치하고, MRV로 선택지가 가장 적은 셀부터 채우며, 전방 확인(Forward checking)으로 사전 검증
 - OPTIMIZED: 유전 알고리즘으로 유효 해 20개를 초기 집단으로 생성한 뒤, 토너먼트 선택→교차→돌연변이→엘리트 유지를 30세대 반복하여 연결성·공간 품질이 높은 해 탐색
 - OPTIMIZED_PROCESS: 유효 해 풀(POOL)을 만든 뒤 지역 탐색(Local Search)으로 개선. RANDOM보다 품질이 좋고, GA보다 빠르게 고품질 결과 도출
- 3단계 : 연결성 분석 및 복구
 - 실 내부에 보행 가능 그리드(0.1m 간격)를 생성하고, 실 사이 연결부에 포털 브리지를 생성한 뒤, NetworkX 그래프 기반 Dijkstra 최단경로로 실 간 도달 가능성을 계산하여 연결성을 점수화함(95%+ 우수, 70% 이하 고립/차단 가능성)
 - 연결이 약한 셀은 Degree(연결 수)·Betweenness(경로 중심성) 등 그래프 지표로 탐지하고, 대안 변형을 탐색하여 탐욕적 언덕 오르기(Greedy hill-climbing)¹⁵⁾ 방식으로 개선

○ 4단계 : 출력

- ROOM_GEOS(실 외곽선), WALL_GEOS(벽 중심선), DOOR_GEOS(문 스윙), FURNITURE_GEOS(가구 외곽), WINDOW_GEOS(창 위치), CIRCULATION_PATHS(동선 경로) 등으로 구성된 완전한 평면 데이터가 생성됨.
- 이 모듈을 통해 세대별 세부 평면(주방 배치, 욕실·드레스룸 위치, 가구 레이아웃 등)이 자동으로 생성·조합됨.



[그림 3-11] RoomVariantOptimizer 시스템 아키텍처

3.4 단위세대 평면 대안 생성 프로세스

1) 3m×3m 모듈과 공간 구성 원칙

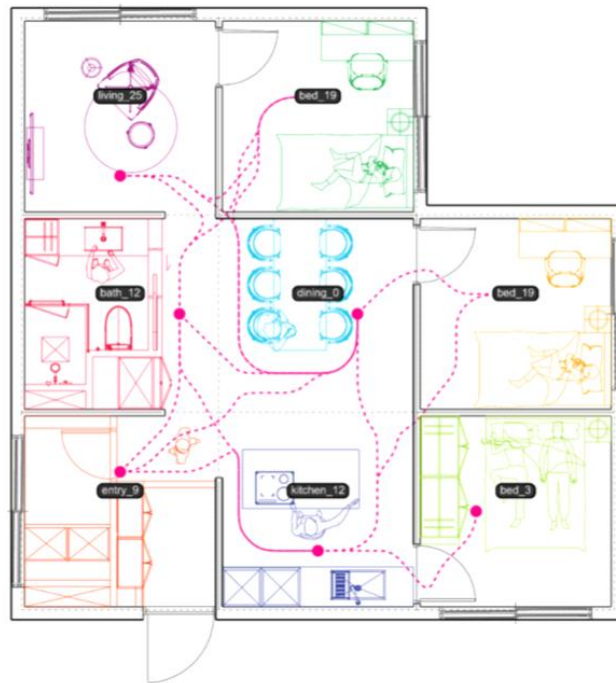
- 모든 유닛 평면은 3m×3m 그리드를 기본으로 함. MacroLayout 단계에서 생성된 스켈레톤이 이 그리드 상의 셀 군집으로 표현되며, RoomVariantOptimizer는 각 셀에 LIVING, KITCHEN, ROOM, BATH, UTILITY, DRESS RM.,

15) 탐욕적 언덕 오르기 : 목적함수를 개선하는 인접한 후보 중 가장 좋은(탐욕적) 변형 하나만을 반복적으로 적용하다가, 더 이상 개선되는 변형이 없을 때(즉, 국소 최적해에 도달할 때) 종료하는 지역 탐색 휴리스틱.

TERRACE 등의 실 변형 계획안을 생성함.

○ 공통적인 평면 원칙은 다음과 같음.

- 공용-사적 영역의 직선형 동선 : 현관-주방 및 식당-거실-침실로 이어지는 직선형 또는 ㄱ자형 동선 구조를 채택해 고령자 세대에서도 장애물 없는 이동이 가능하도록 함.
- 수직설비 코어 집중화 : 욕실·유틸리티·드레스룸을 한 축에 모아 배치함으로써 설비 배관을 최소화하고, RoomVariantOptimizer의 가구 충돌 검사와 병행하여 설비 코어 주변의 데드 스페이스를 줄임.
- 외피를 향한 거실·침실 배치 : 채광과 환기가 중요한 실(Living, Room 1/2/3)은 가능한 한 외벽을 접하도록 배치되며, 창 자동 배치 규칙에 의해 외벽 상의 가구 비충돌 영역에 창이 생성됨.



[그림 3-12] 3m×3m 모듈과 공간 구성 원칙

2) 36㎡ 고령자세대

- 구성: 1~2인, 방 1개 또는 스튜디오 + 욕실 1개
- 모듈: 3m×6m 모듈 2개 (총 36㎡)

■ 알고리즘과의 연계

- MacroLayoutGenerator는 4~6 셀 규모의 COMPACT/LINEAR 패턴을 선호하도록 설정되어, 최소 깊이의 단순 직사각형 형태가 선택됨.
- RoomVariantOptimizer는 고령자 세대를 위해
 - 문-가구 간 최소 거리 확보,
 - 욕실·유틸리티의 단일 코어화,
 - 현관에서 침실까지의 직선형 동선이 유지되도록 변형을 선택함.

3) 46㎡ 고령자세대

- 구성: 2인, 방 2개 + 욕실 1개
- 모듈: 3m×9m 모듈 2개 (총 46㎡)

■ 알고리즘과의 연계

- MacroLayout 단계에서 6~8 셀 규모 GRID/LINEAR 패턴을 통해 3m×9m 모듈 두 개가 연결한 장방형 스켈레톤을 형성함.
- RoomVariantOptimizer는 두 침실 사이의 프라이버시 최소 거리와 욕실 공유 제약을 동시에 만족하는 변형 조합을 탐색함.

4) 54㎡ 비고령자세대

- 구성: 3인, 방 2개 + 욕실 1개
- 모듈: 3m×9m 모듈 2개 + 3m×6m 모듈 1개

■ 알고리즘과의 연계

- RoomVariantOptimizer는 TERRACE 실의 'DOOR 없음' 규칙과 인접 Living의 OPEN 에지 규칙을 활용해 실내-외 연계를 만드는 동시에, 가구 충돌을 회피하는 테이블·소파·침대 배치를 생성함.

5) 64㎡ 비고령자세대

- 구성: 4인, 방 3개 + 욕실 2개
- 모듈: 3m×9m 모듈 3개 (총 64㎡)

■ 알고리즘과의 연계

- MacroLayout는 9~11 셀, GRID/COURTYARD 선호 설정에 따라 주변부에 실을 두르고 중앙부에 공용 공간을 배치하는 스켈레톤을 생성함.
- RoomVariantOptimizer는 두 개의 욕실 변형을 선택하여 부모·자녀 영역 간 위계와 동선 분리를 동시에 만족하도록 배치함.

3.5 UrbanGraphRAG: LLM 기반 공간 이해 및 자연어 인터페이스

- 앞서 서술한 세 모듈(TargetAreaParcelSplitter → MacroLayoutGenerator → RoomVariantOptimizer)은 필지에서 실 단위까지의 계획안을 자동으로 생성하지만, 생성된 결과물의 활용·검토·의사결정에는 여전히 전문지식과 수작업 검토가 필요함. UrbanGraphRAG는 이 간극을 메워, 설계자가 자연어로 질문하면 시스템이 공간 분석을 실행하고 인사이트까지 돌려주는 지능형 인터페이스임.

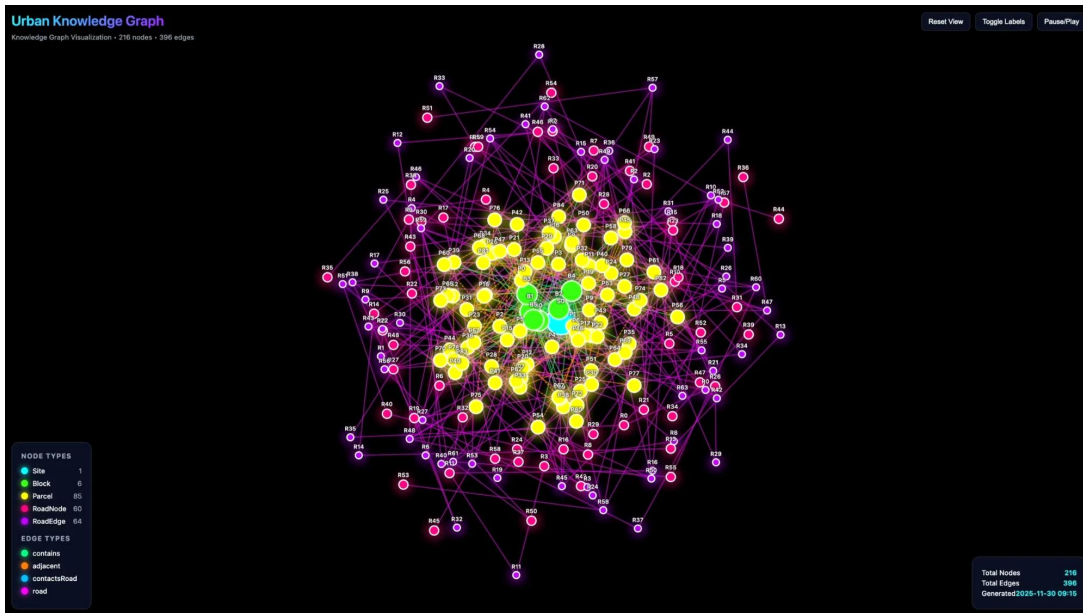
1) LLM의 공간 이해 한계와 해결 전략

- LLM은 대규모 텍스트 코퍼스 기반으로 학습되어 '건물', '도로', '필지' 같은 언어적 개념은 잘 다루지만, (172.5, 45.2, 0)과 같은 좌표값이나 기하 표현은 단순한 숫자 나열로 인식함. 즉, 좌표·폴리곤(WKT 등)을 보고 면적·중형비·형상 같은 기하 특성을 직접 계산하거나 추론하지 못함.
- 본 시스템의 핵심 전략은 LLM에게 기하학을 가르치는 것이 아니라, 기하 계산은 외부 함수가 수행하고 LLM은 그 함수들을 오케스트레이션하여 해석과 판단을 수행하도록 역할을 분리한 것임. 예를 들어 LLM은 "이 필지의 면적을 구하라"는 요청을 받으면 `compute_area()` 함수를 호출하고, 그 결과를 바탕으로 "이 필지는 245m²로 소규모 단독주택에 적합합니다"라는 추론을 수행함.

2) 4단계 파이프라인: Geometry → Ontology → Knowledge Graph → LLM Reasoning

- Stage 1. Geometry(기하 정보 수집) : 세 알고리즘 모듈의 출력(블록/필지 분할, 셀 그리드, 상세 평면 데이터)을 수집함. 리스트 인덱스와 ID를 일치시켜 LLM이 "필지 12번"이라고 말하면 시스템이 정확히 동일 객체를 참조하도록 ID 동기화를 수행함.

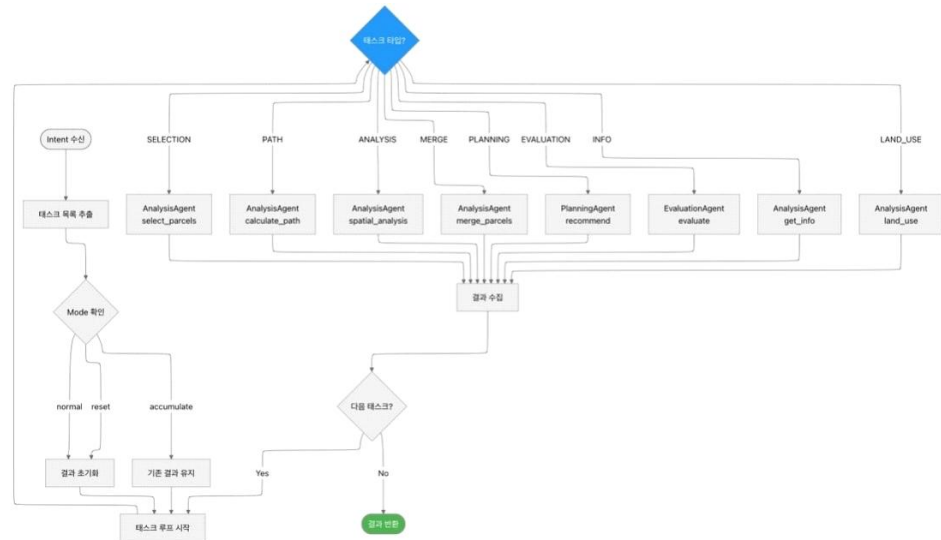
- Stage 2. Ontology(의미론적 변환) : 기하 데이터를 속성과 관계의 정형 표현으로 변환함. 각 공간 요소(Site, Block, Parcel)에 대해 면적·중형비·최소폭·비정형도·접도율 등의 정량적 속성을 계산하고, 폴리곤의 꼭짓점 수·불록성·중형비를 분석하여 rectangular(직사각형), L-shaped(ㄱ자형), triangular(삼각형), irregular(비정형) 등으로 자동 분류함. 또한 LLM의 컨텍스트 윈도우에 직접 주입 가능한 자연어 설명(OntologyText)도 함께 생성함.
- Stage 3. Knowledge Graph(관계의 명시화) : 온톨로지를 지식그래프(노드-엣지)로 변환함. Site→Block→Parcel→Cell→Room의 계층적 포함관계(contains), 인접관계(adjacentTo), 도로접합(contactsRoad), 실연결(connectsTo) 등이 명시적으로 모델링됨. 이 그래프 덕분에 "거실과 인접한 모든 침실을 찾아라" 같은 질의를 거실 식별 → 인접 탐색 → 침실 필터링 순으로 처리할 수 있음.



[그림 3-13] Knowledge Graph 시각화 (D3.js 기반)

- Stage 4. LLM Reasoning(다중 에이전트 추론) : 복잡한 공간 질의를 역할 분담 에이전트 구조로 처리함.
 - CoordinatorAgent : 의도 파악, 태스크 분해/순서 결정
 - ParameterAgent : 분석 파라미터 결정
 - ValidationAgent : 파라미터·결과 검증 및 자동 보정
 - ResponseAgent : 결과를 사용자 친화적 자연어로 정리

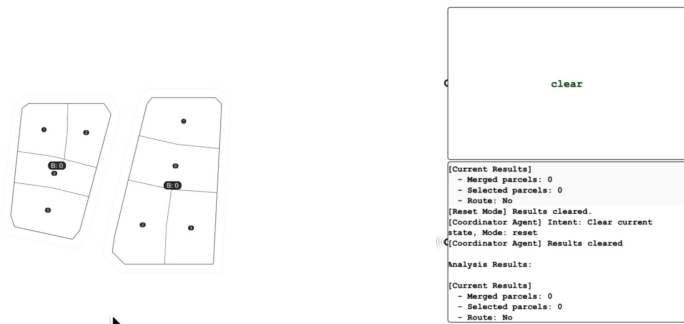
- 지원 태스크는 선택(SELECTION), 최단경로(PATH), 분석(ANALYSIS), 합필(MERGE), 배치추천(PLANNING), 품질평가(EVALUATION) 등 8종으로, "남쪽에 있는 정방형 필지 10개를 선택하고 중심 필지까지의 최단경로를 구해줘"와 같은 복합 질의도 처리할 수 있음. 시스템은 Claude, GPT, Gemini 등 다중 LLM 제공자를 지원함.



[그림 3-14] 다중 에이전트 태스크 처리 흐름도

3) 통합 알고리즘과의 연동

- TargetAreaParcelSplitter의 분할 필지는 Parcel 노드로, 도로망은 RoadNode·RoadEdge로 변환되어 "남쪽 + 정방형 + 접도율 상위 10개" 같은 복합 조건 선택 질의가 가능함.



[그림 3-15] LLM으로 필지와 outline 생성

- MacroLayoutGenerator의 SKELETON_DATA는 Cell 노드로 변환되어 "거실과 인접한 침실의 위치를 분석해줘"와 같은 공간 구성 질의가 가능함.

- RoomVariantOptimizer의 상세 평면 데이터는 Room 노드로 변환되어 "현관에서 거실까지의 동선을 분석해줘"와 같은 동선 분석 질의가 가능함.

3.6 알고리즘 적용의 효과와 의의

- (설계 전 단계의 일관성 확보) 필지 분할-동 배치-유닛 평면-실 디테일에 이르는 모든 단계가 서로 다른 알고리즘 모듈로 분리되면서도 JSON 기반 데이터 인터페이스로 연결되어, 형식적·공간적 일관성이 유지됨. 모듈식 아키텍처는 느슨한 결합(loose coupling) 덕분에 컴포넌트별 독립 개발·테스트가 가능하고, 요구 변경 시 전체 재실행 없이 특정 단계부터 재개할 수 있음.
- (정량화된 품질 관리) 필지 단계에서는 면적·형태·도로접근성 지표(Q_{total} 가중합), 건물 스켈레톤 단계에서는 Shape Quality·Compactness·Site Containment(6개 목표 Fitness 평가), 실 배치 단계에서는 모서리 호환성·동선 연결성(NetworkX 그래프 분석) 등이 모두 수치화되어 평가됨. 이를 통해 단순히 가능한 대안이 아니라, 사전에 정의한 건축적 품질 기준을 만족하는 계획안만이 최종 결과로 선택됨.
- (대안 생성 및 조합의 자동화) 동일 스켈레톤에서 서비스 코어·테라스 배치가 다른 여러 평면 변형을 자동 생성하고, 세대 조합 패턴을 동 단위로 재배열함으로써 Building Plan을 생성함. 설계자는 LLM을 계산적 매개자로 활용하여 창작의 역할에 더 집중할 수 있음.



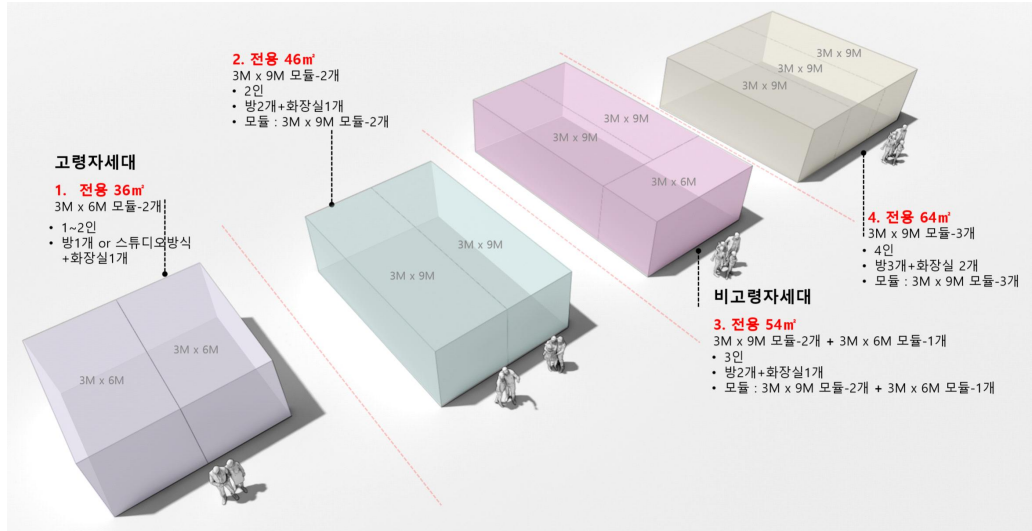
[그림 3-16] 대안 생성 가짓수 개요 (자동 생성 화면 캡처 이미지)

- (자연어 기반 설계 검토와 의사결정 지원) UrbanGraphRAG를 통해 생성된 설계안을 자연어로 질의·분석할 수 있어, 전문가가 아닌 이해관계자도 설계 의도와 공간 구

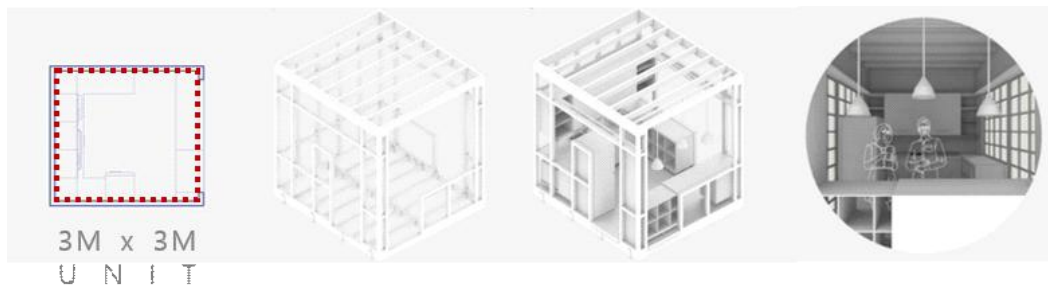
성을 이해하고 검토에 참여할 수 있음. 이는 단순 조화를 넘어 "세장형 필지 합필 고려" 등의 분석 기반 조건까지 제공함으로써, 설계 의사결정의 근거를 투명하게 만들.

- 생성 중심 접근이 아닌 요구사항 만족 중심 반복 구조로 검증 중심 다중 에이전트 체계를 구현함. 파라미터 결정, 생성, 검증, 복구를 역할별로 분리하고 Validation agent가 규칙 위반 탐지 및 자동 복구를 수행하여 설계자동화를 검증 가능한 의사결정 과정으로 재정의함.
- (세대 공존형 커뮤니티 모델의 실험 플랫폼) 프로그램 비율, 모듈형 유형, 커뮤니티 가중치 요소를 매개변수화함으로써, 이 프레임워크는 다양한 세대 구성 시나리오를 신속하게 테스트할 수 있도록 함. 따라서 이 시스템은 단순한 설계 도구가 아니라, 다양한 인구 구성에 따른 커뮤니티 구조를 평가하는 공간 연구 도구로서의 역할을 수행함. 테스트 가능한 시나리오의 사례는 다음과 같음.
 - 세대 혼합비 30:70 / 50:50 / 70:30
 - 커뮤니티 시설 위치 가중치 변화
 - 모듈 크기 변화 등 생산을 고려한 설계 안의 변경
 - 설계 구조 변화와 공간 네트워크 지표 상관 분석
 - 독립변수 : 입력 파라미터로 프로그램 및 세대 구성 변화
 - 매개변수 : 배치, 형태 구조 변화에 영향을 미치는 밀도, 동선의 주요 축 등 외부 요소
 - 종속변수 : 접근성과 연결성, 중심성과 커뮤니티 구조, 동선 및 형상 효율 등
- (설계자-AI 역할 분담) 본 시스템이 제안하는 AI-LLM설계의 핵심 개념은 AI가 설계를 대체하는 것이 아니라, 설계 흐름 전체를 계층적으로 최적화하고 설계자를 더 강하게 만드는 투명한 조력자를 구현하는 것임. 설계자는 개념 형성·맥락 판단·창의적 결정에 집중하고, 시스템은 반복 분석·대안 비교·자연어 인터페이스·일관된 품질 생성을 담당함.
- 이와 같이 본 연구의 평면 및 건물·단지 배치는 통합 건축 설계 자동화 시스템의 네 모퉁이 계층적으로 연동된 결과로 이해할 수 있음. 필지 단위의 도시 조직에서부터 실 단위의 가구 배치에 이르기까지, 각 수준의 설계 결정이 명시적 알고리즘과 정량적 지표에 의해 뒷받침되며, 최종적으로 LLM 기반 자연어 인터페이스가 이 모든 결과를 설명 가능한 형태로 변환함으로써, 복합적인 세대구성·모듈 시스템·커뮤니티 구조를 갖는 주거단지를 체계적으로 생성·분석·설명할 수 있게 됨.

4. 세대공존형 모듈러주택 평면 계획(안)



[그림 3-17] 단위세대 평면 유형 및 접합 모듈 개수



[그림 3-18] 3m×3m 유닛 설계 개념 : 구조부터 가구까지 일체화

4.1 평면계획 가이드라인

- 공동체 주택은 대체로 공동육아를 핵심 결속 기제로 설계되어 왔으나, 공동육아 수요가 감소·종료되면 유지 동인이 약화되어 지속가능성이 저하될 가능성이 큼. 이러한 취약성은 조부모 등 상위 세대가 돌봄을 보조하는 경우에도 나타날 수 있음. 따라서 3세대 동거의 지속가능성을 위해서는 돌봄이 필요한 기간과 필요하지 않은 기간 모두에서 가족 구성원 각자의 생활 독립성과 사생활이 제도·공간적으로 보장되어야 하며, 이를 핵심 전제조건으로 설정해 설계·운영 조건에 반영함.

1) 공법 및 생산 방식

- 구조체: 경량목구조(Light Wood Frame), 중목구조, 경량철골(LSF) 등 상자형(Box

Type) 모듈 사용

- 공장 제작 완성도:
 - 외부/내부 마감(단열, 창호, 바닥, 벽지, 욕실, 주방 등)까지 모두 공장 제작
 - 현장에선 최소한의 조립만 진행, 설치 후 미세 조정과 연결
 - 설비(급·배수, 전기, 난방, 통신 등)도 공장에서 모듈화 시공
- 품질관리: 주요 공정 90% 이상 공장 내 통제, 결로·누수·소음 등 하자 저감, 현장 공기 단축
- 모듈과 모듈의 연결시, 연결부위에서 설비(전선, 배관, 바닥난방 등), 마감, 방수의 뒹김이 발생하여 하자 가능성이 높아지므로 이를 고려하여 계획

2) 생애주기 및 가족구성 대응

- 2~3세대 동거 및 분가를 전제로, 가족 변화에 따라 공간 교환(본채+별채, 코어분리 등)
- 가변형 평면/비내력벽(Partition/Non-Load Bearing Wall), 이동식 모듈 욕실·주방 등 적용
- 부모-자녀 모두 자립이 가능해질 경우 각 세대의 독립성 보장
 - 대안적인 방식으로 독립·공존을 모두 지원하는 ‘두 겹 구조’를 고려해 볼 수 있음.
 - 1층(부모)·2층(자녀)처럼 세대별 층분리 또는 현관·보일러·세탁실을 분리한 세대 분리형(semi-duplex) 평면을 고려하면 사생활 침해를 줄이면서 돌봄 접근성은 유지 : 1층(부모)·2층(자녀) 수직 분리 또는 이동식 파티션·비내력벽을 이용한 가변형 평면으로, 가족 구성 변화에 따라 면적을 유연하게 조정.
 - 향후 세대 구성이 바뀔 때를 대비해 내부 경량벽은 비내력·조립식으로 시공(리모델링 용이 및 빈집 해소 전략으로 미리 반영 고려 필요).
 - 조립식 모듈 욕실·주방을 설치해 동거에서 분가로 변경시 모듈만 분리·이전할 수 있도록 함.
- 유아 및 고령자의 돌봄 필요성을 고려해 수평적·근접 배치(20m내 위치)하되 공간의 독립성 갖추고, 상호 케어 가능한 동선을 확보함.

3) 무장애 및 고령친화 디자인을 위한 BF인증 기준 적용(안)

- 문 폭 0.9m 이상, 복도 1.2m 이상 바닥 단차 없는 무장애 공간

- 욕실 보조손잡이, 미끄럼방지 타일 등 유니버설 디자인 기본 적용
- 실시간 낙상감자·원격 모니터링 등 스마트 케어 IoT 배선 확보
- 가급적 장애물 없는 생활환경 인증기준(BF)을 준수하도록 계획하였으며, 계획 치수 관련 인증 기준은 아래와 같음.

<표 3-2> 장애물 없는 생활환경 인증(BF) 기준(2. 내부시설)

구분	정량 기준	
	최우수	우수 및 일반 중 최소 기준
일반 출입문 유효폭	모든 문 유효폭 1m이상	모든 문 유효폭 0.9m이상
일반 출입문 전후면 유효거리	전후면 유효거리 1.8m 이상	전후면 유효거리 1.2m 이상
복도 및 경사로 유효폭	모든 복도 유효폭 1.5m이상	모든 복도 유효폭 1.2m이상
승강기 전면 공간	전면에 1.5m×1.5m 이상의 활동공간	전면에 1.4m×1.4m 이상의 활동공간
승강기 유효바닥면적	폭 1.6m이상, 깊이 1.4m이상	폭 1.6m이상, 깊이 1.35m이상
화장실 접근 통로	1.5m이상 통로폭 확보	0.9m이상 통로폭 확보
화장실 출입문 유효폭	1.2m이상 유효폭 확보	0.9m이상 유효폭 확보
대변기 활동공간	유효바닥면적 폭 2.0m이상, 깊이 2.1m이상	바닥면적 폭 1.6m이상, 깊이 2.0m이상, 대변기 측면활동공간 0.75m이상, 전면 활동공간 1.4m×1.4m 이상 확보
침실 활동공간	침실 내부 휠체어 회전 가능하도록 1.4m이상 활동공간 확보	침실 내부 휠체어 회전 가능하도록 1.2m이상 활동공간 확보

[참조] 장애물 없는 생활환경 인증제도 건축물 자체 평가서

4) 세대구성 및 전용면적 계획

- 고령자 세대: 전용 36~46㎡, 방 1개+욕실 1개
- 비고령자 세대: 전용 54~64㎡, 방 2~3개+욕실 1개(3인: 2개, 4인: 3개)
- 독립성 확보에 대한 선호에 따라 한 대지에 고령자세대 및 비고령자 세대를 연접 또는 이격하여 계획
- 전용면적은 이동 가능한 모듈 기본 사이즈 (1unit = 3m × 6m 또는 3m × 9m)를 기준으로 3m×3m(1M) 테트리스와 같이 고려, 2M 또는 3M을 붙임. 세대 전용 면적에 맞춰 맞는 개수의 모듈을 붙여 unit개수를 선정함.
 - 고령자 세대 전용면적 36~46㎡ 평면은 4M(2M+2M)~ 6M(3M+3M)으로 2개 유닛(units, 연결하여 제작하는 단위)으로 계획
 - 비고령자 세대 전용면적 54㎡ 평면은 3개 유닛(units)으로 계획
 - 비전용면적 64㎡ 평면은 3개 유닛(units)으로 계획
- 가변형 서재 및 재택 근무 등을 고려한 알파룸을 계획하며, 벽은 이동식 파티션이

나 비내력 조립식 벽을 이용

- 공용 거실 및 주방은 바닥면적을 20㎡ 이상으로 계획
- 세대분리형(dual-key) 평면은 현관·보일러·세탁실 등을 분리하여 사용할 수 있도록 계획함. 수직(1층 또는 2층)분리와 수평(본채 또는 별채)분리 등 다양한 분리·연결 방식을 적용하되, 필요시 실내 연결과 외부 동선 모두 가능하도록 평면 대안을 마련함.
- 친환경 계획 즉, 일조환경, 통풍 등을 고려하여 평면 구조를 계획하고, 거실 큰 창은 일조를 우선하여 남향 또는 동향의 위치를 확보하여 방향을 선택함.

4.1 고령자 세대 36㎡ 평면

- 전면 중앙에 현관을 두고, 한쪽으로 길게 주방 및 거실을 반대쪽으로 방과 욕실, 드레스룸, 유틸리티를 나누어 배치한 일자형(COMPACT+LINEAR) 형태임.
- 거실-침실 사이에는 짧은 복도 또는 슬라이딩 도어를 통해 프라이버시를 확보하면서도 이동 거리를 최소화함.
- 대안 1과 대안 2는 욕실 및 유틸리티 배치의 세부 변형에 차이를 두어, 동일 스켈레톤 안에서 서비스 공간 구성의 옵션을 제시하는 사례라 볼 수 있음.

<표 3-3> 고령자 세대 36㎡ 평면 대안

대안 1_드레스룸 및 화장실	대안 2 _ 넓은 폭 화장실

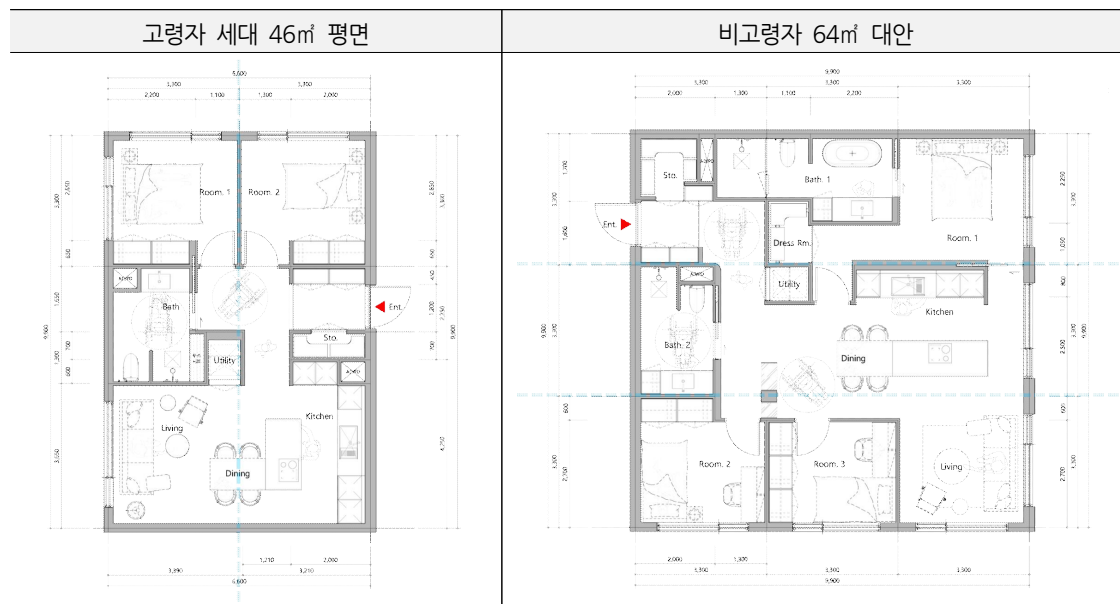
4.2 고령자 세대 46㎡ 및 비고령자 세대 64㎡ 평면

- 비고령 세대도 고령자의 이용을 고려하여 BF기준을 충족할 수 있도록 평면 계획.
- 이 두 가지 타입의 평면은 세대가 분리된 동에서 기반부를 공유하는 형태의 주동에 적용되는 형태로 계획함. 이에 세대 간의 연결 및 가변형 확장을 고려하지 않음.

■ 46㎡ 평면 구조

- 세대의 짧은 변을 따라 현관과 유틸리티 및 욕실을 배치하고, 장변을 따라 거실-다이닝(식사 공간)-주방의 일자형 공용 공간과 침실 1·침실 2의 침실군을 전후로 배치함.

<표 3-4> 고령자 세대 46㎡ 평면 및 비고령자 64㎡ 대안



■ 64㎡ 평면 구조

- 3×3 셀 3열×3행 GRID 패턴 위에 배치되며, 중앙에 거실 및 주방이 위치하고, 침실을 양쪽으로 나눠 배치함.
 - 부부침실(Room 1)과 공용욕실, 부속 드레스룸, Utility가 한 덩어리 코어를 이루고, 나머지 두 침실은 공용공간에 인접시켜 가족 구성원의 동선이 자연스럽게 교차하도록 함.

4.3 비고령자 세대 54㎡

- 독립적인 건물 또는 36㎡ 세대와 연결하여 확장형 평면의 독채 또는 연결한 형태로 4층 이하 빌라 또는 5층 이상 타워형 주동을 만드는데 활용될 수 있도록 계획함.

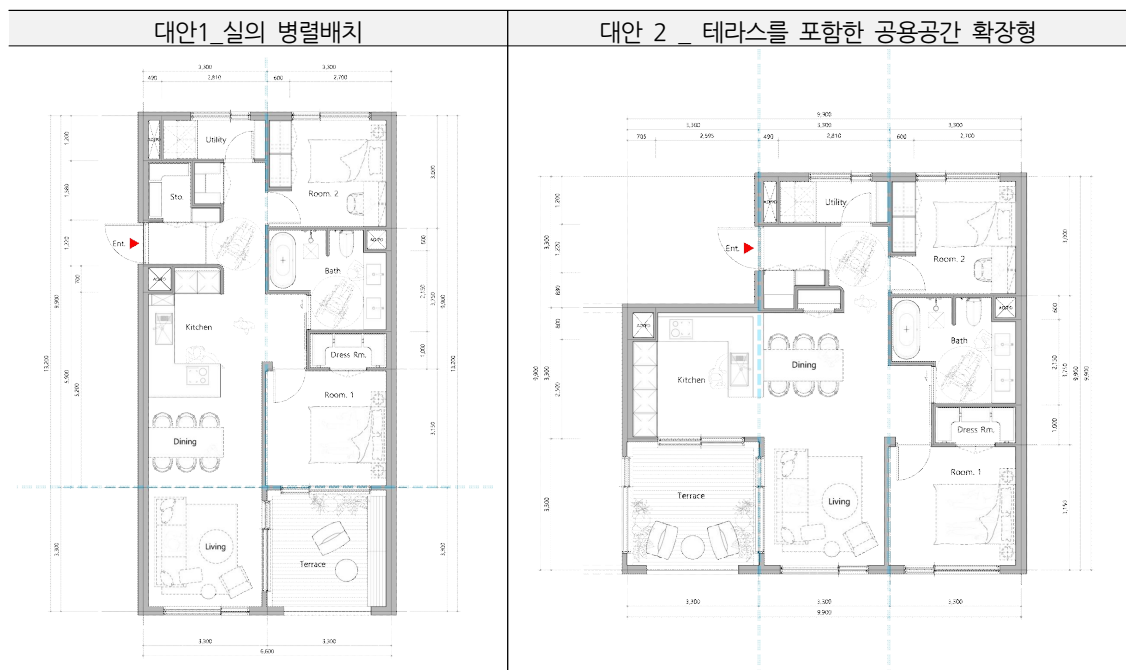
■ ALT.1 - 선형형 + 전면 테라스

- 장변 방향으로 거실(Living) - 식사공간(Dining) - 주방(Kitchen)이 길게 연결되고, Living 앞에 폭 3m의 테라스(Terrace)가 부착됨.
- 사적 영역인 Room 1, Room 2 및 Dressing, Bath는 공용 영역의 후면에 일렬로 배치됨.
- MacroLayout 측면에서 보면 LINEAR+COURTYARD 패턴으로, Living - Terrace가 하나의 가상 중정을 형성하며 외부와의 연속성을 강조함.

■ ALT.2 - ㄱ자형 중정형

- 3m×9m + 3m×6m 모듈 조합을 L_SHAPE로 재구성하여, Terrace-Living - Dining·Kitchen이 ㄱ자형으로 둘러싼 외부/내부 중정을 형성함.
- 이 배치는 MacroLayout의 L_SHAPE/Courtyard 패턴이 활성화된 결과로 볼 수 있으며, Terrace와 Living이 서로 마주보는 형태로 프라이빗한 야외 공간을 제공함.

<표 3-5> 고령자 세대 54㎡ 평면 대안



5. 세대공존형 모듈러주택 주동 계획(안)

- 본 연구에서 제시한 계획안은 2장에서 제시한 바와 같이 압축 도시(compact city) 및 도시 축소(urban shrinkage)의 개념을 제안함. 이에 따라 인구감소지역에서 지역 주민의 삶의 질 향상에 집중하고 4장에서 제안하는 사업성을 고려하여 2가지 형태의 저층 주동 계획안을 제안함.
 - 2가지 형태는 수평적인 빌라형과 수직적인 주동형 구분과 고령자와 비고령자 세대를 배치한 방법에서도 차별화됨.

5.1 세대 연접 빌라형

1) 해외 사례

■ 일본 세대공존형 임대주택 무사시 코가네이

- 도쿄도 고가네이시 혼마치 4-7-33번지 무사시 코가네이는 노인전용주거(40세대)와 일반 주거(204세대)를 통합 개발한 모델임. 도쿄도 주택공급공사는 10,822㎡의 노후 임대주택 부지에 시니어주택과 일반 임대주택, 고령자 복지시설, 공원이 어우러진 복합시설로 재건축함.
- JKK도쿄는 정부 지원 없이 자체 자금으로 사업을 성공적으로 완료했으며, 기업의 경영시스템이 공공택지 직접 시행에 따른 교차보전 시스템을 활용했기 때문임.
 - JKK도쿄는 노후된 임대주택을 철거하고 공동주택을 새로 지으면서 변화한 사회상을 반영, 노인주택이나 고령자 복지시설도 확충하는 사업모델을 시행중임.
 - JKK도쿄의 차별점은 예산지원 없이 자체자금으로 임대주택 재건축을 진행함. 이유는 민간임대시장에 있으며, 무사시 코가네이 임대료를 보면 시니어 주택의 월 임대료는 평형수 27.01㎡ 기준 월 임대료는 79~89만원임. 일반 임대주택도 50.26~54.71㎡ 평형 기준 130~150만원의 임대료를 받음. 현재 도쿄도 주택공급공사가 관리하는 235개 단지 7만 1555호의 임대주택이 민간과 동일한 시세로 운영되고 있음.
 - JKK도쿄가 시세대로 임대료를 받으면서도 공공성을 인정받는 이유는 주거의 진입장벽을 낮추고 거주 안정성을 높였기 때문임. 그리고 고령자 등 민간에서 기피하는 계층을 적극적으로 수용하고, 낡은 단지를 개발하면서 사회간접자본(SOC)과 주거복지에 재 투자함.

- 임대료 수입이 주택의 질 향상과 안정적인 사회 서비스 제공으로 이어지는 선순환 구조를 구축, LH가 참고할 사업모델 사례 임. 이에 본 연구는 교차보전 및 임대수익으로 사업성을 개선하는 사업모델을 제안함.

<표 3-6> 일본 세대공존형 임대주택 무사시 코가네이 사진



[출처] 좌 : 땅집고 홈페이지, 집값 비싼 도쿄서 이 가격에? ‘월 70만원’ 시니어주택 첫 공개(2025.2.5.)
우 : 대한경제 홈페이지, ② 도시세임대·사회복지주택, 재무 안정·공공성 병행(2026.01.13.)

■ El Patio de mi Casa(No) es Particular

- [그림 3-19]과 같은 El Patio de mi Casa(No) es Particular(내 집의 안뜰은 사적이지 않다/사적이다)는 의미를 지닌 hernández·paradela·de andrés의 공모전 제출안은 다른 세대가 연접해 있는 상황에서 균형을 찾는 탐구를 보여줌. 이 건축 개념은 안달루시아 전통에서 ‘야낫(yannat, 폐쇄형 정원)’¹⁶⁾이라 불리는 공간 개념도 반영되어 있음.

- 맛통풍 구조를 만들고 남향은 테라스를 활용하여 가슴과 그늘, 쾌적한 온습도 환경을 유지하도록 설계 하였고 건축가는 이를 와이너리에서 와인을 발효시키는 얇은 막을 형성하는 방식을 활용한 것으로 설명함.

16) 스페인·안달루스 맥락에서 쓰이는 표기로, 아랍어 잔나트/잔나(Jannat/Jannah, جنة)—본래 ‘정원’이자 ‘낙원’을 뜻함. 폐쇄된 중정과 교차하는 물길(수로), 중앙 연못/저수지—도시의 열과 건조함을 누그러뜨리는 미기후 장치.



[그림 3-19] hernández·paradela·de andrés 공모전 제출안
출처 : <https://afasiaarchzine.com/2017/07/hernandez-paradela-de-andres/>

■ 싱가포르의 듀얼키(Dual-Key) 주택

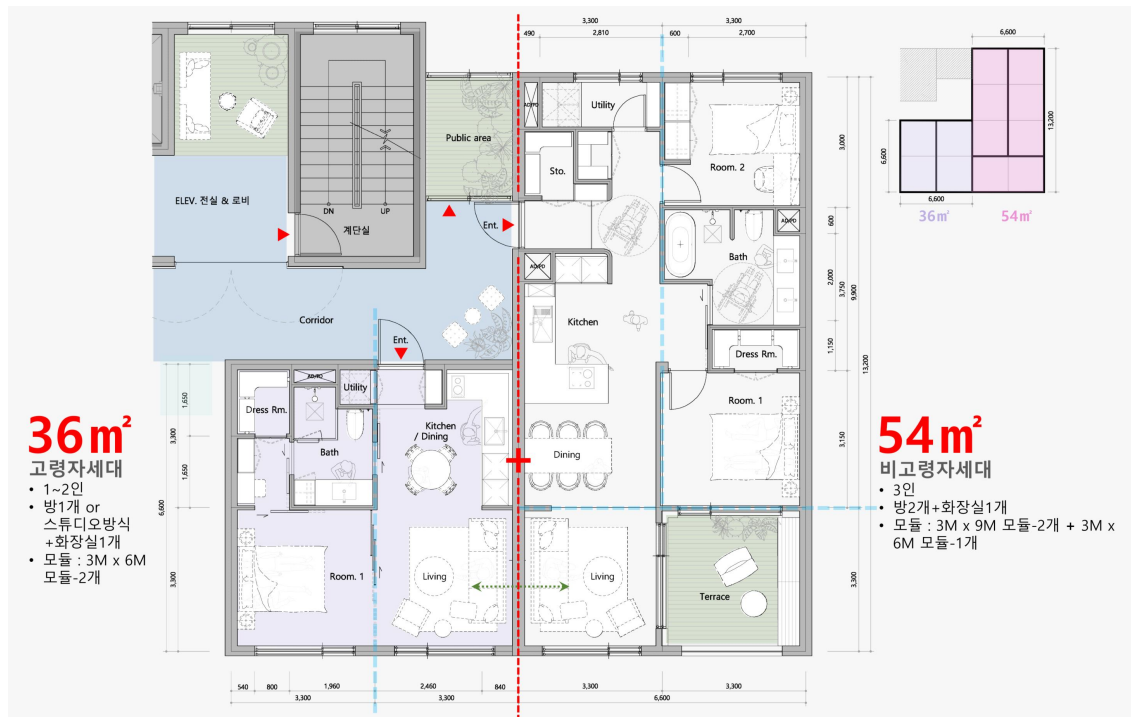
- 한 개의 층기 아래 두 개의 독립 생활공간이 공동현관을 공유하도록 설계된 주택형태. 즉, 두 집 같은 한 채임.



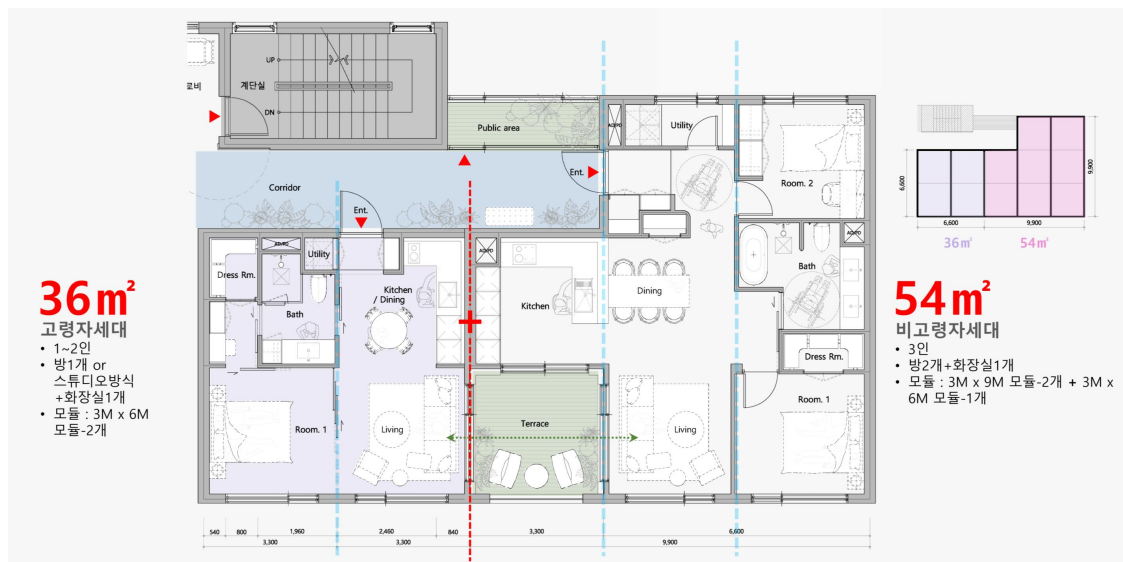
[그림 3-20] 싱가포르 듀얼키 유닛 사례

2) 계획 개요

- 고령자세대(전용36㎡)와 비고령자세대(전용54㎡)가 연접으로 구성
- 두 세대 연접시, 내부로 공용공간을 연결하거나 외부공용공간을 공유할 수 있음



[그림 3-21] 세대연접 빌라형 세대 평면 계획(안)_대안 1



[그림 3-22] 세대연접 빌라형 세대 평면 계획(안)_대안 2



[그림 3-23] 세대연접 빌라형 기준층 평면 계획(안)_대안 1



[그림 3-24] 세대연접 빌라형 기준층 평면 계획(안)_대안 2



[그림 3-25] 세대연접 빌라형 주동 계획(안) _ 주경



[그림 3-26] 세대연접 빌라형 주동 계획(안) _ 야경

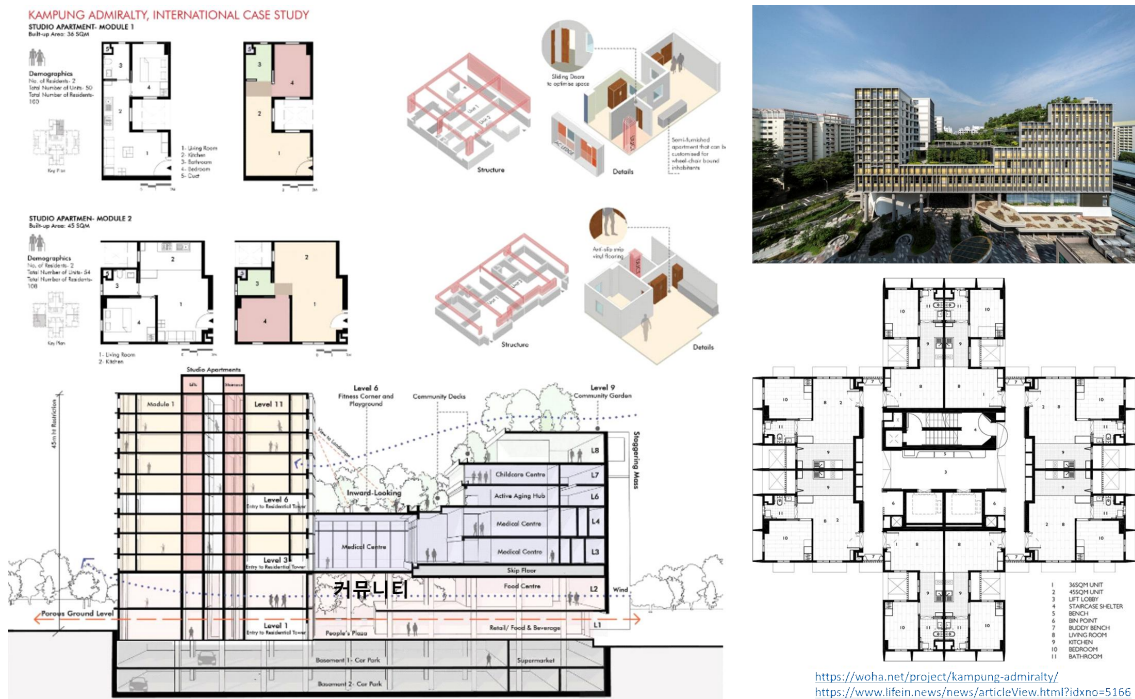
5.2 세대 분리 아파트형

1) 해외 사례 : Kampung Admiralty

- 고령자 주택을 의료, 돌봄, 보육, 시장, 공원까지 한 건물에 수직으로 겹쳐올린 수직 마을 모델이며, 집에서 엘리베이터를 타면 일상적인 서비스 시설에 모두 접근 가능한 단지임. 본 연구에서도 물리적인 구성을 참조하여 제안함. 즉 수직적인 마을

구성의 기법과 평형이 다른 주동을 중층으로 연결하여 단지내 서비스와 동선을 연결하는 방식으로 계획함.

- 공공 보행통로와 같은 층에 위치한 부분은 개방적인 형태로 구성하여 주변의 부족한 인프라를 보완하는 것으로 계획함.
- 단지 내 서비스, 공공을 위한 서비스는 지역의 여건에 따라 다르게 기획되어야 하며, 이러한 프로그램 기획 방식에 대해서는 연구 범위에서 제외함.



[그림 3-27] Kampung Admiralty

2) 국내 사례 : 국내 푸르지오 숲속의 아침

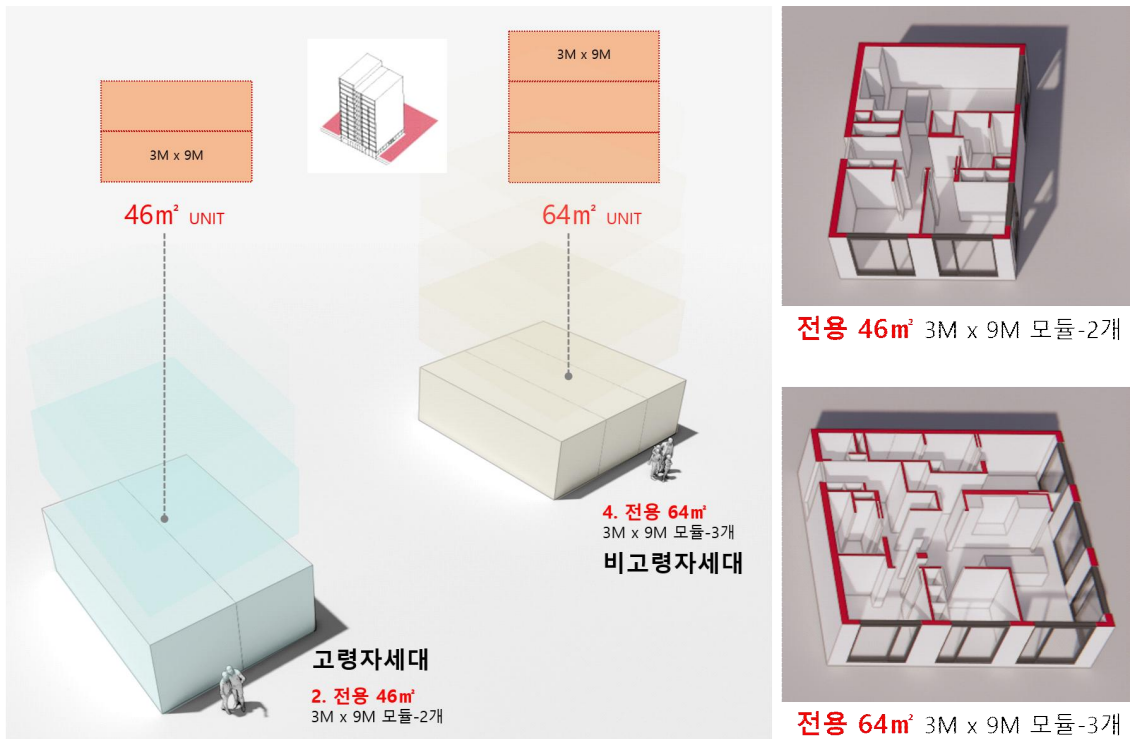
- 다양한 세대가 한 단지(혹은 건물) 내에서 각 세대별 독립공간을 보장받고, 필요 시 상호 교류와 돌봄, 커뮤니티 활동이 가능한 주거 모델임. 즉 세대분리의 독립성과 세대통합의 상호지원-커뮤니티 요소를 모두 혼합한 형태가 특징임.



[그림 3-28] 푸르지오 숲속의 아침

3) 계획 개요

- 고령자세대(전용 46m²) 와 비고령자세대(전용64m²) 가 별동으로 구성
- 1층,저층부에 커뮤니티공간 배치



[그림 3-29] 세대 분리 아파트형 계획(안)

<표 3-7> 고령자 세대(46㎡)·비고령자 세대(64㎡) 평면 및 기준층 평면 계획(안)



[그림 3-30] 평면을 고려한 주동 계획(안)



[그림 3-31] 세대 분리 아파트형 주동 계획(안)

6. 소결

- 세대공존형 모듈러주택의 계획 원칙과 단지·주동·평면 계획 체계를 제시함. 모델의 핵심은 감정 기반 공간설계, 반프라이버시와 정원 축 네트워크, 생활동맹과 물복에 의한 자율 규범, 모듈러와 공유시설·리소스 풀링을 결합해 세대 간 상호돌봄과 비용 절감을 동시에 달성하는 한국형 세대공존 코하우징을 구축하는 데 있음.
- 계획 방향으로는 첫째, 고령자와 비고령자 세대가 함께 거주하며 에너지·교통·돌봄 인프라까지 아우르는 ‘지역사회 통합 커뮤니티’를 형성하고, 둘째, 장애물 없는 생활환경(Barrier Free) 기준을 준수하는 유니버설 디자인을 통해 생애주기 전반에 걸쳐 안전한 거주성을 확보하며, 셋째, 텃밭·공유주방·소규모 점포 등을 통해 ‘이웃과 이어지는 작은 경제’를 지원하여 거주와 경제 활동이 결합된 자립형 마을을 지향함.
- 평면계획 가이드라인은 3m×3m 모듈을 기본으로 36·46·54·64m² 네 가지 전용면적을 조합하고, 가변형 파티션과 비내력벽, 조립식 욕실·주방을 활용해 2~3세대 동거와 분가를 유연하게 수용하도록 함. 고령자 세대는 무장애 기준에 따라 문 폭·복도 폭·욕실 보조시설을 강화하고, 비고령자 세대도 고령기 전환을 고려한 동일 기준을 적용함. 세대분리형(dual-key) 평면, 본채·별채 조합, 수직·수평 분리 구조 등을 통해 프라이버시와 접근성을 동시에 확보함.
- 또한 AI-LLM 기반 통합 건축 설계 자동화 시스템을 도입하여 필지 분할, 주동 매크로 레이아웃, 단위세대 평면까지 알고리즘·규칙·지표에 의해 단계적으로 생성함으로써, 다양한 입지와 수요에 대응하는 표준 단지 모델을 신속하게 생산하는 방식을 제안함. 이러한 계획 체계는 본 연구에서 제안하는 세대공존형 모듈러주택 사업모델의 공간·기술적 기반이 됨.
- 단독 주택 형태로 마을을 이루는 모델의 단지 계획에서는 평지·건폐율 40% 이하 20~30세대 규모를 기본 단위로 설정하고, 남향 위주의 일조, 도로 접도, 개별 대지 분할 가능성을 고려함. 중앙 커뮤니티 코어와 이를 둘러싼 주거 클러스터를 배치하여 중정이 주민과 인근 주민이 함께 사용하는 ‘중간 영역’이 되도록 하는 구성으로 계획함. 외곽에는 근린생활시설과 텃밭, 에너지 생산시설을 배치하고, 차량은 외곽에 집중해 보행 중심의 저속 단지를 만듦. 동선과 외부공간은 넓은 복도, 순환 교차 동선, 30m마다 휴게공간과 고원식(plateau) 횡단보도¹⁷⁾를 두는 원칙으로 계획함.
- 공동주택 형태의 모델 2가지는 인구감소 지역 내 서비스 거점을 만드는 방식으로 컴

팩트 시티 또는 컴팩트 마을 개념을 고려함. 즉, 기능을 집중하고 혼합하여 사업성을 개선하고, 주변으로의 효과를 극대화 하는 방식으로 고려함. 서비스 프로그램은 2장에서 제시한 바와 같이 지역마다 요구사항과 부족한 시설이 다르므로 이를 반영하여 결정할 수 있음. 공간은 프로그램 변경이 용이한 구조로 설계하여 공간의 구획 및 크기 변경이 용이하도록 라멘구조로 제안함.

- 세대연접 빌라형은 보도와 같은 레벨에 위치한 1층 부분에 가로주택과 같은 방식으로 외부에서도 이용 가능한 시설을 배치함.
- 세대분리 타워형 주동은 수직적인 마을 형성 개념을 고려하여, 보도와 다른 레벨로 입주민을 위한 서비스 영역을 만들고 이 부분을 통해 다양한 세대가 공유할 수 있도록 계획함. 두 동사이 정원을 만들어 일반적인 아파트 단지의 정원을 서비스 시설의 상부에 옥상 정원과 같이 배치하는 방식으로 계획함. 이러한 공간은 싱가포르의 고령자 주택 캄퐁어드미럴티(Kampung admiralty)와 유사함.

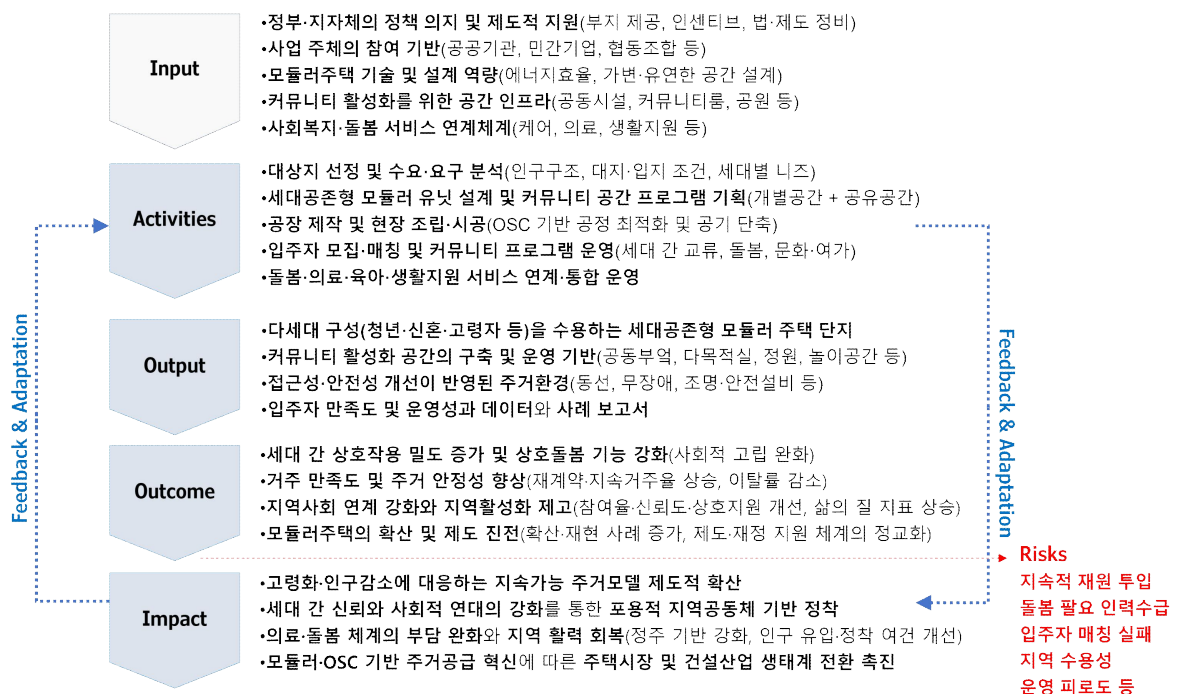
17) 고원식 횡단보도는 횡단보도를 도로보다 한 단계 올려서 만드는 방식으로 도로를 올려 보행공간과 거의 같은 높이가 되도록 조성

제4장 시범 사업의 타당성 분석

1. 사업모델 개요

1.1 사업 Input-Output Logic Diagram

- 세대공존형 모듈러 주택 사업의 비용-편익 분석 프레임워크 설계를 위해 ‘투입에서 활동·성과·결과·영향까지의 인과관계를 도식화’하면 아래와 같음.
- 본 연구에서 제안하는 사업모델은 정책·기술·거버넌스 자원을 투입(Input)하여 설계·시공·운영 활동(Activities)을 수행하고, 가시적 산출(Output)을 거쳐 세대관계·거주안정성·지역사회 역동성의 구조적 변화(Outcome)로 이어지는 인과적 단계 구조를 가짐. 동시에 성과에 대한 환류와 적응적 조정을 통해 활동을 지속적으로 재설계하며, 재정·인력·수용성 등 위험요인을 관리함으로써 장기적 사회·산업적 파급효과(Impact)를 제도적으로 확산시키는 적응형 정책모형임.



[그림 4-1] 사업 흐름도

1.2 사업성 분석을 위한 설정

- 분석 범위는 ‘100세대 단지’ 기준의 물리·운영·재정 모델로 한정
 - 지역 토착 시니어 (40세대): 본 사업의 핵심적인 공공 대상 그룹으로, 인구감소지역 내 우선적인 주거 환경 개선과 돌봄이 필요한 지역의 고령자. 이는 재난 시 주택 피해를 입은 이재민도 이에 해당될 수 있음. 안전하고 저렴한 공공임대주택과 안정적인 돌봄 서비스를 제공하는 것이 본 사업의 가장 중요한 목표
 - 귀농귀촌 은퇴 고령자 및 청년세대 (30세대): 공동체에 새로운 활력과 재무적 안정성을 보완하는 그룹. 본 연구에서 계획 모델로 주로 다루는 고령자 세대와 비고령자 세대가 함께 거주하는 경우임. 지역사회에 기여하고자 하는 은퇴 시니어와 로컬 비즈니스 창업 잠재력을 가진 청년 세대도 포함할 수 있음. 이들은 안정적인 임대료 수입의 기반이 될 뿐만 아니라, 풍부한 사회적 경험과 네트워크를 바탕으로 공동체의 구심점이자 세대 간 ‘사회적 윤활유’ 역할을 수행할 수 있음.
 - 지역 필수 산업인력 및 교육연수 인력 (30세대): 지역 산업의 필수 인력 즉, 국내외 타지로부터 근로하기 위해 유입된 인력과 보건복지부와 법무부의 ‘지역대학 연계형 글로벌(Global) 케어 인재 양성’ 시범 사업 중 하나인 ‘외국인 유학생 요양보호사 양성 시범사업’과 연계된 핵심 인력(해당 지자체 예비 정주인구)이 포함될 수 있음. 폭발적으로 증가하는 이들의 주거 수요는 사업의 공실 리스크를 원천적으로 제거하는 안정적인 임대 수요층이 됨. 동시에, 이들은 지역의 고질적인 ‘돌봄 공백’ 문제를 해결하고 시니어 세대에게 활력을 주는 핵심 솔루션이 될 수 있음. 이는 농림축산식품부가 농업 분야 필수 인력이 주거지원을 위해 ‘농업근로자 숙소사 건립 지원사업’ 이름으로 특정 국적이나 신분을 명시하여 발생할 수 있는 사회적 갈등 요소를 최소화하고, 농업의 지속가능성과 인력난 해소라는 실질적 목표에 집중하는 포용적 네이밍 전략(Naming Strategy)을 차용하는 접근임.
- ‘세대공존’은 세대(시니어·청년·지역 필수 인력)가 물리적 인접을 넘어 상호작용을 통한 기능적 융합을 의미하며, ‘다문화 통합’은 지역사회 내 상호인정·법·제도적 접근성 개선까지 포괄. 즉, ‘세대 공존’과 ‘다문화 통합’의 가치를 ‘지속 가능한 사회 투자(Sustainable Social Investment)’관점에서 재해석
- LH의 성공 모델인 ‘패키지형(Pooling) 리츠’와 ‘스폰서드 리츠(Sponsored REITs)’ 거버넌스를 기반으로, 사업성과 공공성을 동시에 달성하는 구체적인 사

업 구조와 LH-지자체-민간-사회적 경제 주체가 참여하는 다자간 협력 체계를 설계

- 스폰서 (Sponsor) : LH, 지방자치단체 등 공공이 될 수 있으며, 사업의 총괄 기획자이자 신뢰를 보증하는 핵심 주체. LH는 독보적인 사업관리 경험을 바탕으로 전체 사업을 주도하며, 리츠 자산에 대한 매입확약(Put Option)을 제공하고, 필요 시 채무보증 또는 후순위 출자로 신용보강 역할을 수행. 지자체는 지방소멸대응기금 등 공공재원을 연계하고, 유휴부지 현물출자 또는 토지임대부 방식으로 부지를 제공하며 각종 인허가를 신속 지원. 나아가, 지자체는 리츠와 책임 임대차(마스터리스, Master Lease) 계약을 체결하여 고정 임대료를 리츠에 지급하는 임차인 역할을 동시에 수행함. 이를 통해 리츠의 현금흐름 원천이 개별 입주자 신용에서 지자체 신용으로 전환되어, 투자자 관점의 신용등급이 획기적으로 개선됨.
 - 자산관리회사 (AMC) : LH 출자 전문 자회사: 리츠의 설립 및 운영을 전담하는 전문 조직. LH가 주도하여 설립함으로써 공공성을 확보하되, 민간의 효율적 자본 운용 노하우를 접목하여 사업의 전문성과 투명성을 극대화.
 - 운영주체 (Operator) : 사회적 경제 주체: 지역 필수 인력 지원센터, 지역 협동조합 등 전문성을 갖춘 기관이 입주자 간 관계 형성, 돌봄·교육 프로그램 기획, 일자리 연계 등 커뮤니티 운영을 전담하며 사업의 사회적 가치를 실현.
 - 재무적 투자자 (FI) : 민간 금융기관, 연기금: 스폰서의 신용보강을 바탕으로 안정적인 선순위 대출 및 지분 투자에 참여.
- 법·제도적 실행 로드맵 제언: 사업의 전국적 확산을 위해 필요한 「부동산투자회사법」, 「외국인고용법」 등 관련 법·제도 개선안 제언

2. 패키지형 세대공존 리츠 모델 계획(안)

2.1 '패키지형 세대공존 리츠'의 개념

1) '패키지형 세대공존 리츠'의 개념

- 패키지형 주택 개발 리츠와 '토지 지원 리츠' 모델을 창의적으로 결합한 '세대공존형 다문화 시니어 모듈러 주택' 사업 모델을 제안
- 사업성이 높은 수도권외의 공동주택사업과 공공성은 높으나 사업성이 부족한 인구감

소지역의 주택사업을 하나의 리츠(REITs)로 묶어, 수도권외의 개발이익으로 지방의 주거복지를 실현하는 '교차 보전(Cross-subsidization)' 방식을 채택

- 상호보완적인 세 그룹 예를 들면, 지역 토착 시니어, 귀농·귀촌 시니어·청년, 지역 특화 사업 인재 및 예비 정주 인구를 하나의 공동체로 엮어 돌봄, 일자리, 교육이 선순환하는 '지속 가능한 지역 활력 생태계'를 구축
- '지자체 연계형 책임임대차(Master Lease)' 구조 도입: 리츠의 현금흐름 안정성을 획기적으로 강화하기 위해 다음과 같은 3가지 안전장치를 설계함.
 - 지자체 책임 임대차 계약: 지자체가 리츠와 책임 임대차 계약을 체결하고, 리츠에 고정 임대료를 지급하는 구조. 지자체는 해당 주택을 지역 필수 산업인력, 재난 이재민, 귀농귀촌 세대 등에게 전대(轉貸)하여 운영함. 이를 통해 리츠 입장에서 임차인 신용이 '개별 입주자'에서 '지자체'로 전환되어 공실 리스크가 구조적으로 제거됨.
 - LH 매입확약 및 신용보강: LH가 리츠 자산에 대한 매입확약(Put Option)을 제공하고, 필요 시 후순위 출자 또는 채무보증으로 신용을 보강. 이는 민간 재무적 투자자(FI)의 참여를 유도하는 핵심 안전장치임.
 - 패키지형 교차보전: 수도권 개발이익과 인구감소지역 공공주택사업을 하나의 리츠로 묶어, 재무적 손실을 구조적으로 상쇄.
- 이러한 '민관 협력형' 골격은 지자체 등 공공이 임대 리스크를 흡수하고, LH가 신용보강으로 투자 안정성을 담보하며, 민간이 효율적 자본 운용에 집중하는 역할 분담 구조로서, 민관 협력에 대한 거부감 없이 각 주체의 강점을 극대화하는 현실적인 사업 틀이 됨.

2) '패키지형 세대공존 리츠'의 사업 타당성

- 정책적 타당성: 본 모델은 행정안전부의 '지방 소멸 대응 기금'을 효과적으로 활용할 수 있는 방안이며, 국토교통부의 '리츠 활성화 방안'에 따라 신설된 '프로젝트 리츠'와 '지역 상생 리츠' 제도를 통해 신속한 사업 추진과 개발이익의 지역 환원이 가능함. 보건복지부·법무부 '지역대학 연계형 글로벌(Global) 케어 인재 양성' 시범사업 중 하나인 외국인 요양보호사 양성을 위한 유학생과 그 동반 가족에게 안정적인 주거 공간을 제공함으로써, 국가 돌봄 인력난 해소 정책의 성공을 견인

하는 핵심 인프라 역할을 수행할 수 있음. 유학생들은 안정된 주거를 기반으로 학업에 전념하고, 단지 내 시니어 세대에게 전문적인 돌봄을 제공하는 '자체 공급형 인력 풀(Pool)'이 됨. 이는 지역의 고질적인 돌봄 인력난 해소와 지역 대학 활성화, 새로운 생활 인구 유입이라는 다층적인 효과를 동시에 달성하는 선순환 구조를 만들.

- 재무적 지속 가능성 : '패키지형 리츠'와 '토지 지원 리츠' 방식을 통해 초기 투자 리스크(Negative NPV)를 구조적으로 상쇄하고, 준공 1년 차부터 즉시 연간 약 1억 원의 안정적인 흑자 현금흐름(Positive Cash Flow)을 창출함. 스스로 유지·관리되는 '운영 자립형 모델'로서, 민간 투자 유치와 지속 가능한 확장의 핵심 기반이 됨.
- 운영성과의 중요성 : 초기 12개월의 성과 관리를 위해 아래와 같은 핵심 KPI 설정 필요
 - 재무·운영: 초기 12개월 평균 공실률 $\leq 5\%$, 1년차 NCF 흑자 유지, 임대료 회수율 $\geq 98\%$
 - 커뮤니티: 프로그램 정기참여율 $\geq 60\%$, 세대 간 상호지원(멘토링/시간은행) 매칭률 $\geq 50\%$.
 - 돌봄·일자리: 요양·생활지원 서비스 월평균 이용 세대 ≥ 30 세대, 지역 일자리/학습 연계 매칭 인원 ≥ 30 인/년.
 - 사회통합: 분쟁/갈등 건 중 80% 이상 사전중재로 종결, 입주자 만족도(반기조사) ≥ 85 점/100.
 - 환경: 연간 에너지사용량(m^2 당) 전년 대비 10% 절감, 생활폐기물 재활용률 $\geq 60\%$.
- 기술적 기반: 국토교통부 '리츠 활성화 방안'과 OSC 모듈러 특별법을 추진함에 따라 사업 활성화에 기여할 수 있음. 본 사업의 물리적 구현 기술인 OSC 모듈러 공법은, 정부가 「리츠 활성화 방안」(2024.6.) 및 「부동산개발사업 관리법」(2025.5. 시행)을 통해 '프로젝트 리츠'를 도입하고, 인허가 절차 간소화 및 규제 합리화를 추진하여 강력한 추진 동력을 확보했음. 본 사업모델은 관련 제도 개선의 수혜를 직접적으로 흡수할 수 있는 구조로 설계되어, 사업 추진의 효율성과 실현 가능성을 가장 높게 확보하는 실행계획(Action Plan)임.

2.2 '패키지형 세대공존 리츠' 유사 사례

1) LH 등 국내 사례

- '패키지형 리츠' 모델을 적용하여, 사업성이 높은 수도권 공동주택 개발사업(예: 양주

옥정A-24BL)과 공공성은 높으나 사업성이 부족한 인구감소지역의 세대공존형 주택사업(예: 전남 구례 귀농귀촌주택용지)을 하나의 리츠로 묶어 추진. 이는 수도권의 개발이익으로 지방의 재원 부족 문제를 해결하는 '교차보전(Cross-subsidization)' 방식으로, LH의 재무 부담 없이 지속가능한 공공주택 공급을 가능하게 하는 대안임.

<표 4-1> 국내 리츠방식 사례

구분	LH 패키지형 귀농귀촌 리츠(전남 구례)	서울리츠2호(경로당 복합개발)
사업 주체	LH, 지자체, 민간 컨소시엄이 참여하는 '패키지형 리츠'	SH공사, 서울시, 민간이 참여하는 '공공지원 리츠'
핵심 성공 요인	(사업구조) 수도권 양주옥정 개발이익을 구례 귀농귀촌단지 사업과 연계하여 사업성-공공성의 교차보전 실현	(공간 융합) 노후 경로당 부지를 활용, 저층부(경로당)와 상층부(청년주택)를 복합 개발하여 세대 간 공간적 융합 달성
주요 활동	△수도권 택지개발+ 지방 임대단지 패키지화 △민간 재원 활용 및 LH의 매입확약을 통한 리스크 관리	△유희 공공 부지 활용 △리츠를 통한 민간자본 조달 △시니어·청년 주거 공간 통합
시사점	'교차보전 금융 모델'의 현실성과 효과성 입증	'세대공존'의 공간적 구현 가능성과 사회적 가치 증명

출처: 국토교통부

- 농림축산식품부 '농업근로자 기숙사 건립 지원사업': 이주 및 계절노동자를 대상으로 특정하지 않고, 국내외 농업근로자 모두를 포괄하는 '농업근로자 기숙사'로 사업명을 설정하여 국비와 지방비를 매칭하여 집행 중임. 이는 세금을 납부하지 않는 외국인 인력을 직접 수혜 대상으로 명시할 경우 발생하는 정치적·행정적 걸림돌을 우회하면서도 실질적 수혜를 달성하는 선례로, 본 사업의 '지역 필수 산업 인력 지원 및 재난 대응형 탄력적 주거 모델'이라는 포용적 명칭 설정의 근거가 됨.

2) 일본 등 해외 사례

- 일본 임대주택 리츠의 성공 모델인 '스폰서드 리츠(Sponsored REITs)'를 벤치마킹하여, 공공의 역할과 책임을 명확히 하는 견고한 다자간 협력체계를 구축.

3. 사업모델 상세 계획 및 운영 프로그램 제안

3.1 사업 구성 및 입주 대상

- 본 사업은 인구감소지역에 지역 시니어 40세대, 세대 통합 및 귀농귀촌 세대 30세대, 지역 필수 산업인력·교육연수 인력 30세대 등 총 100세대 규모의 세대공존형 모듈러주택 단지를 조성하는 것을 골자로 함. 각 입주 대상군은 단지 내에서

물리적·사회적으로 연계되어, 돌봄·일자리·문화 프로그램을 공유하는 기능적 공존 구조를 형성함.

3. 2. 운영 주체 및 역할

- 본 연구에서 제안하는 ‘주거서비스 매니저’를 단지 운영의 핵심 주체로 설정함.
 - LH 또는 전문 위탁관리업체 소속의 매니저는 단순 시설 관리를 넘어, △입주민(특히 시니어·이주민) 간 갈등 중재 및 관계 형성 지원, △지역사회와 연계한 돌봄·일자리·문화 프로그램 기획, △커뮤니티 시설의 수익 창출 모델 발굴 등 공동체 활성화를 총괄하는 컨트롤 타워 역할을 수행해야 함.
 - 선발 기준: 대상군별(지역 시니어 40세대, 세대 통합세대 및 귀농귀촌 세대 30세대, 지역 필수 산업인력·교육연수 인력 30세대) 가점체계 도입. 예를 들면, 취약도·지역기여도·상호돌봄 의지 등을 평가기준에 고려할 수 있음.
 - 계약·임대차: 보증금·월세·연 1회 인상을 상한, 연체·분쟁 처리 프로토콜, 퇴거 유예·재할 프로그램
 - 공실 관리: 대기자풀·우선순위 규정, 공실 30일 초과 시 임시전환(단기운영/공공기관 연계).
 - 권리보호: 다국어 안내, 차별·괴롭힘 금지 정책, 성인지·아동보호 규정, 개인정보 보호·민감정보 처리지침

3. 3. 핵심 운영 프로그램

- 4대 핵심 분야(돌봄, 일자리, 교육·문화, 사회통합)의 프로그램을 유기적으로 결합하되, '수익 창출을 통한 지속가능성 확보'에 초점을 맞춤.
 - 돌봄·일자리 연계: 단지 내에 거주하는 '외국인 요양보호사' 유학생 또는 교육 이수자가 이웃 시니어에게 방문 요양 서비스를 제공하고, 이는 정부의 '통합돌봄' 사업과 연계하여 공식적인 일자리로 인정받음.
 - 수익형 커뮤니티 시설: 공유주방은 지역 농산물을 활용한 '반찬 구독 서비스'나 '쿠킹 클래스' 운영으로, 작업장/공방은 '게스트하우스'와 연계한 '귀농귀촌 체험 프로그램' 운영으로 추가 수익을 창출.
 - 다문화 통합 프로그램: 이주노동자 지원센터 등 전문 기관과의 협력을 통해, 이주민에게는 실질적인 한국 사회 적응 교육과 법률·인권 상담을, 내국인에게는 다문화 이

해 교육을 제공하여 상호 존중의 공동체 문화를 조성.

- 갈등 유형(소음·문화·가사·재정)을 분류하고, 3단계 절차(사전교육-현장중재-전문상담)를 서비스 레벨 목표(SLO)와 함께 운영함. 분쟁 건은 익명화하여 분기별 데이터 공개·학습함.

4. 비용 및 편익 분석

4. 1. 편익 항목

<표 4-2> 편익 항목

구분	편익항목	자료 출처
경제적 편익	가구별 주거비 및 생활비 절감 (공유공간, 에너지효율 및 유지관리 비용 감소)	What Are Prefabricated Multi-Generational Homes? (https://www.usmodularinc.com/build-your-multigenerational-pre-fab-home-for-generations-to-come/) The Rise of Multi-Generational Living: Modular Home Solutions for Extended Families (https://blog.nccustommodulars.com/about-modular-homes/modular-home-solutions-for-extended-families)
	육아, 요양, 돌봄 등 가족 내 상호 보조로 인한 외부 서비스(보육·요양 등) 비용 절감	The Rise of Multi-Generational Living: Modular Home Solutions for Extended Families 미래의 노인주거, '세대공존형'은 어떨까? [심형석의 부동산정석] (https://www.hankyung.com/article/202403151863Q)
	공장생산·현장조립 방식으로 공사 기간 단축 및 건설비 효율화	이지은 외(2023), “LH 모듈러주택 적용 확대를 위한 재정지원 방안 연구”
	주택 수급 안정 및 주거비 인상 억제	[필동정담] 세대공존형 주택 (https://www.mk.co.kr/news/columnists/10407295) Increasing Affordable Housing Stock Through Modular Building (https://www.americanprogress.org/article/increasing-affordable-housing-stock-through-modular-building/)
사회적 편익	세대간 교류 확대 및 가족·이웃 간 정서적 지지 증진	The Rise of Multi-Generational Living: Modular Home Solutions for Extended Families What Are Prefabricated Multi-Generational Homes?
	고령자 고립 감소, 청년·신혼부부의 주거 불안정 해소	「주택금융리서치」 통권 제27호_1부-1_따로_또_같이,세대_믹스를_위한_새로운_주거형태 미래의 노인주거, '세대공존형'은 어떨까? [심형석의 부동산정석]
	지역사회 통합 강화 및 커뮤니티 활성화(돌봄 공동체, 세대 간 교육·문화교류)	
	육아·돌봄 부담 분산 및 사회복지비용 절감	"아이돌봄 한번에 해결"...한지붕 3대 사는 '실버타운' 뜬다 [집코노미 - 집 100세 시대] (https://jipconomy.com/news/461)
환경적 편익	모듈러 공법의 친환경성과 에너지 절약(저탄소 건축, 자원 절감)	차곡차곡 레고처럼 조립하는 주택과 플랜트, 현대엔지니어링 모듈러 공법 (https://www.hyundaimotorgroup.com/ko/story/CONT0000000000094114) 이지은 외(2023), “LH 모듈러주택 적용 확대를 위한 재정지원 방안 연구”
	주택 재사용·확장·이전의 용이성, 장기적 자원 활용 효율성	Why Modular Construction is Perfect for Multi-Generational Living (https://designbuildmodulars.com/why-modular-construction-is-perfect-for-multi-generational-living/)

- 세대공존형 모듈러 주택 사업은 경제·사회·환경 분야에서 복합적인 편익을 제 공하며, 고령화·인구감소 시대의 지속가능한 주거복지 기반을 마련하는 데 기여함.

4. 2. 금전적 편익 및 비금전적 편익 항목

1) 금전적 편익 항목

- 본 사업을 통해 직접적으로 화폐가치로 환산 가능한 편익 항목과 그 산정 방법을 정리한 표임

<표 4-3> 금전적 편익 항목

항목	산정방법
주거비 및 생활비 절감	기존 주변 시세 대비 입주자의 실제 부담비 차이를 분석(월세, 관리비, 에너지비 등)
건설비 및 유지관리비 절감	일반 건설비와 모듈러 공법 건설비 비교, 유지관리비 시뮬레이션
돌봄·육아 서비스 외부 지출 감소	입주가구 설문 또는 지역 돌봄/어린이집 비용 비교, 커뮤니티 돌봄시설 운영 실적 분석
지역 경제 활성화에 따른 세수 증대	인구유입 증가·지출 증대 효과를 바탕으로 지방세 및 부가가치 유발액 추정

2) 비금전적 편익 항목

- 세대공존 및 지역 통합 효과 등 화폐화가 어려운 사회·환경적 편익을 측정 지표와 함께 제시한 표임

<표 4-4> 비금전적 편익 항목

항목	산정방법
세대간 상호 교류/정서적 지지	입주민 만족도 조사, 커뮤니티 활성화 프로그램 참여율 및 심리적 안정지표 분석
고령자 및 청년의 주거불안 해소	입주 이전·이후의 사회적 고립감, 주거불안지수, 건강/삶의 만족도 변화 분석
커뮤니티 활성화 및 삶의 질 향상	프로그램 운영 실적, 지역 커뮤니티 활동 참여율, 사회적 자본 증대 효과 측정
환경적 효율성·탄소감축 효과	건축자재별 탄소배출량/재생 가능 자원 사용량 비교, 에너지 절감효과 추정

4. 3. 금전적 편익 추정

- 본 사업을 100세대 기준으로 가정하고, 주거비·생활비·돌봄 및 육아 비용 절감, 모
둘러 적용에 따른 건설비·유지관리비 절감, 지역경제 파급 및 세수 증가 등 금전적
편익을 그룹별 비교 시나리오(대안 주거비 vs 시세 대비)와 절감 단가(월 및 연 단위)
및 계수(생산유발계수 등)를 적용해 연간 규모로 정량 추정된 결과를 제시한 표임.

<표 4-5> 금전적 편익 추정

항목	절감률	자료 출처
주거비 절감	그룹별 대안 주거비 대비 가구당 평균 월 10만원 절감 (100가구 기준 연 1.2억 원) - 시니어 40세대: 주변 노후주택 시세 50만원 대비 공공임대 40만원 → 월 10만원 절감 - 귀농귀촌/청년 30세대: 지역 내 신축 민간임대 시세 70만원 대비 준시장가 60만원 → 월 10만원 절감 - 산업인력 30세대: 적정 수준 민간 숙소 시세 77만원 대비 책임임대차 단가 67만원 → 월 10만원 절감 ※ 비교 기준은 각 그룹이 본 사업 부재 시 이용할 대안적 주거의 시장가격임	https://seokparadais7.tistory.com/entry/2025년-LH-행복주택-임대료-및-관리비-총정리 건축비 - 1.8억원 (모듈러 주택) - 2.4억원 (일반 주택)
생활비 절감 (에너지/관리비 등)	가구당 월 6.5만원, 100가구 월 합산 650만원	1인 가구 평균 생활비 분석! (2025년 기준) 당신은 얼마나 쓰고 있나요? (https://spreadingwords.tistory.com/entry/1인-가구-평균-생활비-분석-2025년-기준-당신은-얼마나-쓰고-있나요) https://seokparadais7.tistory.com/entry/2025년-LH-행복주택-임대료-및-관리비-총정리
건설비 절감률 (%)	약 25% 절감(가구당 비교) 전체 건설비 절감액 100가구 기준 60억원	https://marketin.edaily.co.kr/News/ReadE?newsId=01554726642235176
유지관리비 (㎡ 기준)	약 1,800원/㎡/년 절감, 1가구 평균 연 4.5만원	https://www.chosun.com/economy/real_estate/2024/10/07/U5RXO4YZRFEB7MHQKNXPIHNE2Q/
돌봄/육아 서비스비용 감소액	가구당 월 22만원 절감, 100가구 월 2,200만원 절감.	https://blog.naver.com/nurihapp/223743353625 https://kinfo-new.com/19
지역경제 활성화 유발액	모듈러 유닛 제작·설치비 (약 180억원) x 생산유발계수 2.006	건축업 생산유발계수 (https://eiec.kdi.re.kr/policy/materialView.do?num=260130)의 D2411250.PDF
세수증가액	54만원 x 100 = 54백만원	세대당 평균지방세 (재산세+주민세): 54만원/년으로 추정

4. 4. 건축비, 연간 운영비·유지보수 비용 추정

- 건설비 1.8억원/가구(180억 원)는 공장 제작 모듈러 유닛의 제작·운반·현장 설치비임. 이와 별도로 부지 조성(토목), 기계·전기·소방 설비, 조경, 공용시설(커뮤니티 공간·주차장 등) 공사비 약 42억 원이 추가되어, 단지 전체의 직접 공사비는 222.1억 원(총 연면적 2,160평 × 평당 1,028만 원)으로 산정됨. 여기에 설계·감리비, 인허가 부담금, 사업관리비 등 간접 비용 22.6억 원을 합산한 초기 총 투자비(CAPEX)는 244.7억 원임. 한편, 비용편익 분석(4.6절)에서 '건설비 절감액'은 모듈러 유닛 제작비(1.8억)와 일반 주택 건축비(2.4억)의 차이인 가구당 0.6억 원 × 100가구 = 60억 원을 기준으로 산정한 것임.

<표 4-6> 건축비 및 운영비용 추정

항목	계산 내역	자료 출처
건설비	모듈러 유닛 제작·설치비: 약 1.8억원/가구 (100가구 기준 180억 원)	https://marketin.edaily.co.kr/News/ReadE?newsId=01554726642235176 https://thebogi.com/1532
연간 운영비	월 평균 관리비(공용 설비, 청소, 운영): 13만원(에너지 및 기타 포함) (100가구) 13만원 × 12개월 × 100가구 = 1억5,600만원	https://blog.naver.com/gnfeel/223763789582?fromRss=true&trackingCode=rss https://seokparadais7.tistory.com/entry/2025년-LH-행복주택-임대료-및-관리비-총정리
연간 유지보수비	연 평균 시설 유지, 경상보수, 수선비: 45,000원/가구/년 (100가구) 45,000원 × 100가구 = 450만원	https://blog.naver.com/gnfeel/223763789582?fromRss=true&trackingCode=rss

4. 5. 비용-편익 계산을 위한 주요 가정

- 본 사업 타당성 분석의 신뢰도를 높이기 위해 LH의 실제 사업 데이터(패키지형 귀농 귀촌 리츠 공모지침서, 행복주택리츠 사업분석 자료 등)와 관련 법규에 근거하여 다음과 같이 확정하였음.
 - 기준시점: 2025년 (상기 수치값들도 가능한 2025년 기준값으로 정리함)
 - 분석 기간: 비용편익 계산(4.6절)은 40년간(2025~2064년) 경상금액 및 현재 가치를 산출하여 장기 추이를 제시함. 재무성 분석(5.1절) 및 경제성 분석(5.2절 CBA)은 사업의 주된 생애주기인 30년(2025~2054년)을 기준으로 NPV, IRR, B/C 비율을 산출함.
 - 사회적편익율: 4.5% (기획재정부, 2023, 「예비타당성조사 수행 총괄지침」적용)

- 물가상승률: 2.5%
- 초기 총 투자비 (CAPEX, 기준 시나리오): 244.7억 원

<표 4-7> 비용-편익 계산을 위한 추정 금액

대분류	중분류	세부 항목	추정 금액	주요 산출 근거 및 상세 내용
직접 공사비	건축, 토목, 기계, 전기, 조경 등	총 공사비	222.1	총 연면적 2,160평 × 평당 단가 1,028만 원
간접 비용	용역비	설계 및 감리비	7.8	직접 공사비 222.1억 원의 3.5%
	제세공과금	인허가 및 부담금	6.7	직접 공사비의 약 3.0%
	기타 간접비	사업관리비, 예비비 등	8.1	총사업비의 약 3.5%
합 계			244.7	

- 연간 임대료 수입 (1년차): 6.48억 원 (매년 2.4% 상승)
- 임대료는 입주 대상 그룹별 차등 적용함. 아래는 리츠(또는 지자체 책임임대차)의 임대 수입 산출 구조임.

<표 4-8> 리츠(지자체 책임임대차)의 임대 수입 산출 구조

구분	세대수	월 임대료	월 소계
지역 토착 시니어	40세대	40만원 (공공임대 기준, 주변 시세 50만원 대비 20% 할인)	1,600만원
귀농귀촌 및 청년	30세대	60만원 (준시장가)	1,800만원
지역 필수 산업인력	30세대	67만원 (지자체 책임임대차 계약 단가)	2,010만원
합 계	100세대	평균 54만원	5,410만원

- 연간 임대료 수입 = 5,410만원 × 12개월 ≈ 6.48억 원
- 시니어 40만원/월은 LH 행복주택 임대료 수준(4.3절 주거비 절감 산출 기준과 동일)
- 귀농귀촌 및 청년 60만원/월은 인구감소지역 신축 임대주택의 준시장가 수준
- 산업인력 67만원/월은 지자체가 책임임대차 계약을 통해 리츠에 지급하는 단가로, 공동 생활서비스(커뮤니티 시설, 다국어 지원 등) 운영비가 반영된 금액임
- 연간 운영비용 (OPEX, 1년차): 5.52억 원 (매년 1.6% 상승)
- OPEX는 리츠 운영에 소요되는 전체 비용으로, 아래와 같이 구성됨.
- 30년차 잔존가치: 초기 투자비의 40% (97.9억 원)

<표 4-9> 연간 운영 비용 (OPEX, 1년차)

항목	금액 (억 원)	산출 근거
시설 운영비 (관리비)	1.56	13만원/가구/월 × 100가구 × 12개월 (4.4절과 동일)
시설 유지보수비	0.05	4.5만원/가구/년 × 100가구 (4.4절과 동일)
자산관리(AMC) 수수료	1.22	CAPEX의 약 0.5%/년
위탁관리 수수료	0.32	임대료 수입의 약 5%
보험료	0.37	자산가액의 약 0.15%/년
장기수선충당금	1.22	CAPEX의 약 0.5%/년
기타 (세무·법무감사 등)	0.78	-
합 계	5.52	-

주) 4.6절 비용편익 계산표의 '비용'은 사회적 관점에서 실질 자원이 소모되는 시설 운영비(1.56억)와 유지보수비(0.05억)만 포함함. 반면, 본 재무분석의 OPEX는 리츠 사업체의 현금유출 전체(수수료, 보험, 충당금 등 포함)를 반영한 것으로, 두 분석의 비용 범위가 상이함.

- 이와 같은 설정의 근거는 기존 '건물 잔존가치 0' 가정이 비현실적이라는 LH 행복주택리츠 연구(장인석·송기욱, 2018)와 토지임대부주택 거래 사례 분석 결과를 반영, 30년 후에도 토지 가치 상승분과 건물 가치가 반영된 자산 매각이 가능함을 현실적으로 가정했음.
- 사업 타당성을 좌우하는 핵심은 모듈러 적용에 따른 건설비 약 25% 절감(100가구 60억 원)과 돌봄·육아 외부지출의 구조적 절감(가구당 월 22만 원)으로, 초기 CAPEX 부담과 장기 OPEX 압력을 동시에 낮추는 이중 절감 메커니즘을 제시함.

<표 4-10> 주요 가정 반영 계산 결과

구분	항목	계산금액(원)
가정	사회적할인율	4.50%
	물가상승률	2.50%
비용	건설비	18,000,000,000
	연간운영비	156,000,000
	연간유지보수비	4,500,000
금전적 편익	건설비 절감액 (가구당 약 6천만원)	6,000,000,000
	주거비 절감 (가구당10만원x12개월x100가구)	120,000,000
	생활비 절감 (가구당 월 6.5만원)	78,000,000
	돌봄/육아 서비스 비용 감소액 (가구당월22만원x100가구x12개월)	264,000,000
	세수증가액 (재산세 + 주민세: 가구당 연간 54만원)	54,000,000

4. 6. 비용-편익 계산 결과

<표 4-11> 비용편익 계산결과 : 경상금액 기준 (현가 기준) 물가상승률 적용, 할인율 미적용

(단위: 백만원)

항목	비용			편익					
	운영비	유지보수비	비용합계	건설비 절감	주거비 절감	생활비 절감	돌봄/육아 서비스비용 절감	세수증가 (물가상승률 적용안함)	편익 합계
2025	156	4.5	160.5	6,000	120	78	264	54	6,516
2026	160	4.6	164.5		123	80	271	54	528
2027	164	4.7	168.6		126	82	277	54	539
2028	168	4.8	172.8		129	84	284	54	552
2029	172	5.0	177.2		132	86	291	54	564
2030	176	5.1	181.6		136	88	299	54	577
2031	181	5.2	186.1		139	90	306	54	590
2032	185	5.3	190.8		143	93	314	54	603
2033	190	5.5	195.6		146	95	322	54	617
2034	195	5.6	200.4		150	97	330	54	631
2035	200	5.8	205.5		154	100	338	54	645
2036	205	5.9	210.6		157	102	346	54	660
2037	210	6.1	215.9		161	105	355	54	675
2038	215	6.2	221.3		165	108	364	54	691
2039	220	6.4	226.8		170	110	373	54	707
2040	226	6.5	232.5		174	113	382	54	723
2041	232	6.7	238.3		178	116	392	54	740
2042	237	6.8	244.2		183	119	402	54	757
2043	243	7.0	250.3		187	122	412	54	775
2044	249	7.2	256.6		192	125	422	54	793
2045	256	7.4	263.0		197	128	433	54	811
2046	262	7.6	269.6		202	131	443	54	830
2047	269	7.7	276.3		207	134	454	54	849
2048	275	7.9	283.2		212	138	466	54	869
2049	282	8.1	290.3		217	141	478	54	890
2050	289	8.3	297.6		222	145	489	54	911
2051	296	8.6	305.0		228	148	502	54	932
2052	304	8.8	312.6		234	152	514	54	954
2053	311	9.0	320.4		240	156	527	54	976
2054	319	9.2	328.4		246	160	540	54	999
2055	327	9.4	336.7		252	164	554	54	1,023
2056	335	9.7	345.1		258	168	568	54	1,047
2057	344	9.9	353.7		264	172	582	54	1,072
2058	352	10.2	362.5		271	176	596	54	1,098
2059	361	10.4	371.6		278	181	611	54	1,124
2060	370	10.7	380.9		285	185	627	54	1,150
2061	379	10.9	390.4		292	190	642	54	1,178
2062	389	11.2	400.2		299	194	658	54	1,206
2063	399	11.5	410.2		307	199	675	54	1,235
2064	409	11.8	420.4		314	204	692	54	1,264
			10,818						39,300

<표 4-12> 현재금액 기준 (Discounted Price 기준) : 물가상승률 적용, 할인율 적용

(단위: 백만원)

항목	비용			편익					
	운영비	유지 보수비	비용 합계	건설비 절감	주거비 절감	생활비 절감	돌봄/육아 서비스비용 절감	세수증가 (물가상승률 적용안함)	편익 합계
2025	156	4.5	160.5	6,000	120	78	264	54	516
2026	153	4.4	157.4		118	77	259	53	506
2027	150	4.3	154.4		115	75	254	52	496
2028	147	4.2	151.5		113	74	249	51	487
2029	144	4.2	148.6		111	72	244	50	478
2030	142	4.1	145.7		109	71	240	49	468
2031	139	4.0	142.9		107	69	235	48	460
2032	136	3.9	140.2		105	68	231	47	451
2033	134	3.9	137.5		103	67	226	46	442
2034	131	3.8	134.9		101	66	222	45	434
2035	129	3.7	132.3		99	64	218	45	425
2036	126	3.6	129.8		97	63	213	44	417
2037	124	3.6	127.3		95	62	209	43	409
2038	121	3.5	124.8		93	61	205	42	401
2039	119	3.4	122.5		92	60	201	41	394
2040	117	3.4	120.1		90	58	198	40	386
2041	115	3.3	117.8		88	57	194	40	379
2042	112	3.2	115.6		86	56	190	39	372
2043	110	3.2	113.3		85	55	186	38	364
2044	108	3.1	111.2		83	54	183	37	357
2045	106	3.1	109.1		82	53	179	37	351
2046	104	3.0	107.0		80	52	176	36	344
2047	102	2.9	104.9		78	51	173	35	337
2048	100	2.9	102.9		77	50	169	35	331
2049	98	2.8	100.9		75	49	166	34	325
2050	96	2.8	99.0		74	48	163	33	318
2051	94	2.7	97.1		73	47	160	33	312
2052	93	2.7	95.3		71	46	157	32	306
2053	91	2.6	93.4		70	45	154	31	300
2054	89	2.6	91.6		69	45	151	31	295
2055	87	2.5	89.9		67	44	148	30	289
2056	86	2.5	88.2		66	43	145	30	283
2057	84	2.4	86.5		65	42	142	29	278
2058	82	2.4	84.8		63	41	140	29	273
2059	81	2.3	83.2		62	40	137	28	267
2060	79	2.3	81.6		61	40	134	27	262
2061	78	2.2	80.0		60	39	132	27	257
2062	76	2.2	78.5		59	38	129	26	252
2063	75	2.2	77.0		58	37	127	26	248
2064	73	2.1	75.5		56	37	124	25	243
합계			4,515						14,515

5. 재무성 분석 및 경제성 분석

5.1 재무성 분석(Financial Feasibility Analysis)

- 재무적 타당성 분석은 정확한 투자·운영·수익 금액을 도출하고 그로 인한 재무적 지속가능성, 투자/운영 자금계획을 보는 것임. 본 연구에서는 재무계획차원에서 초기투자비용·운영비용, 예상수익을 추정하는 정도로만 접근함.
- 본 절에서는 사업 자체의 현금흐름을 시나리오별로 분석하여, 사업의 재무적 타당성과 확장 가능성을 다각적으로 검증하며, 분석은 4가지 경우를 가정함.
 - 시나리오 1 (기준 모델): 100세대 단독 사업 추진
 - 시나리오 2 (재건축 연계 모델): 빈집 활용 및 노후 공공임대주택 재건축과 연계하여 초기 투자비 12% 절감
 - 시나리오 3 (규모의 경제 모델): 전국적 확산을 통한 표준화, 대량생산으로 초기 투자비 20% 절감
 - 시나리오 4 (지자체 책임임대차 모델): 시나리오 3에 지자체 책임 임대차 계약(Master Lease)을 결합하여, 공실률을 5% → 0%로 구조적 제거, 임대료 회수율 100% 달성
- 본 사업의 재무 NPV가 음수인 것은 공공 임대 성격·정책 목표에 부합함. 다만 투자자 관점의 안정성 확보를 위해 운영 DSCR(=운영CF/부채서비스) 목표치 ≥ 1.20 , 리저브 규정(Debt Service Reserve ≥ 6 개월, Capex Reserve 연 0.5% 적립), 코버넌트(공실 상한, 임대료 회수율 하한)를 명문화함. 민감도는 기존 공실·임대료에 더해 금리($\pm 200bp$), 물가($\pm 1.5\%p$), 원자재($\pm 10\%$), 인건비($\pm 10\%$) 조합 시나리오를 추가함.

1) 시나리오별 분석 결과

- 각 시나리오에 따른 초기 총 투자비(CAPEX)와 그에 따른 순현재가치(NPV), 내부수익률(IRR)의 변화는 다음과 같음.

<표 4-13> 시나리오 별 분석 결과

구분	시나리오 1 (기준 모델)	시나리오 2 (빈집/재건축연계)	시나리오 3 (규모의 경제)	시나리오 4 (지자체 책임임대차)
초기 총 투자비 (CAPEX)	244.7억 원	215.3억 원 (-12%)	195.8억 원 (-20%)	195.8억 원 (-20%)
순현재가치 (NPV@4.5%)	-189.3억 원	-159.9억 원	-140.4억 원	-130.4억 원
내부 수익률(IRR)	-0.8%	0.4%	1.1%	1.5%
공실률 가정	5%	5%	5%	0% (지자체 책임 임대차)
임대료 회수율	98%	98%	98%	100% (지자체 지급)

- 시나리오 4의 산출 근거는 시나리오 3의 초기 투자비(195.8억 원)를 동일하게 적용하되, 지자체 책임임대차 계약에 따라 공실률 0%, 임대료 회수율 100%를 가정함. 시나리오 3에서는 공실률 5%와 회수율 98%가 적용되어 실효 임대수입이 약 6.03억 원이나, 시나리오 4에서는 6.48억 원 전액이 확보됨. 이 차이(연간 약 0.45억 원, 매년 2.4% 성장)를 30년간 할인하면 약 10.0억 원의 NPV 개선 효과가 발생하여, NPV가 -140.4억에서 -130.4억으로 개선됨. 이는 지자체가 임대 리스크를 흡수하고, LH가 매입확약으로 자산 리스크를 보강하는 이중 안전장치의 효과임.

<표 4-14> 초기 총투자비 절감 상세 내역

항목	절감 내용	시나리오 2 (재건축 연계)	시나리오 3 (규모의 경제)
설계 및 감리비	표준화된 설계 재활용	-3.9억	-5.5억
직접 공사비	자재 대량구매 및 생산성 향상	-17.5억	-31.1억
간접 비용	공기 단축 및 행정 간소화	-8.0억	-12.3억
합 계		-29.4억 (-12%)	-48.9억 (-20%)

2) 재무성 분석 결과

- 재무성 분석 결과, '공공의 마중물'과 '민간 투자 유치'의 필요성을 확인함.
- 기준 모델의 NPV는 -189.3억 원, IRR은 -0.8%로 순수 재무적 관점에서는 초기 투

자비를 회수하지 못하는 것으로 나타났음. 이 결과는 '공공의 선제적 투자'가 반드시 필요한 영역임을 명확하게 증명함. 민간 개발의 논리로는 공급되기 어려우므로, 공공 사업이 되어야 함.

- 사업의 확장 가능성과 가치 제고 잠재력을 보면, 이후 사업성은 개선 될 수 있는 여지가 있음을 제시함. 시나리오 2(재건축 연계)와 시나리오 3(규모의 경제)에서 보듯, 정책적 연계와 사업 확장을 통해 초기 투자비 부담이 완화될 경우 NPV 손실 폭은 크게 줄어들고 IRR은 플러스(+)로 전환됨. 특히, 시나리오 4(지자체 책임임대차)는 규모의 경제 효과에 더해 지자체 책임 임대차 계약을 통해 공실 리스크와 임대료 미수 리스크를 구조적으로 제거함으로써 IRR 1.5%를 달성함. 이는 민간 재무적 투자자(FI) 입장에서 가장 수용 가능한 구조로, LH가 신용보강만 제공하고, 지자체가 임대 리스크를 흡수하며, 민간이 효율적 자본 운용에 집중하는 역할 분담의 현실성을 보여줌. 이는 본 사업이 공공의 초기 투자를 통해 리스크가 제거 되고(De-risking), 사업 모델이 안정화 및 확장될 경우 민간 투자가 가능한 수준의 우량자산으로 성장할 잠재력이 충분함을 시사함.
- 모든 시나리오에서 사업이 운영 1년차부터 안정적인 플러스(+) 현금흐름(연간 약 1억 원)을 창출할 수 있다는 점을 확인할 수 있었음. 이는 본 사업이 한번 건설된 이후에는 추가적인 재정 지원 없이 스스로 유지되고 관리될 수 있는 '운영 자립형 모델'임을 의미하며, 향후 '지역 상생형 공공 지원 리츠' 전환의 핵심 논리적 기반이 됨.
- 편익 항목은 (i) 돌봄 대체비용 절감, (ii) 지역 필수 인력 주거환경 개선에 따른 생산성·이직률 개선, (iii) 지역소비 유발, (iv) 폐교·유허시설 대체 활용에 따른 사회적 비용절감을 포함하되, 부동산 가치상승의 사적 편익 등은 배제하여 보수성을 유지함. 산정에 사용한 사회적 할인율·가격지수·기준연도는 재현가능성(Reproducibility)을 위해 표준 양식으로 명시함.

5.2 경제성 분석(Economic Feasibility Analysis)

1) 비용편익분석 (Cost-Benefit Ratio Analysis)

- 사업의 주된 생애주기인 30년(2025~2054년)에 걸쳐 발생하는 모든 사회적 비용과 편익을 현재가치(PV)로 환산하여 비용 편익 비율(B/C Ratio)을 산출하였음.

① 총비용(Total Cost) 및 총편익(Total Benefit) 산정

■ 총비용(C)의 산정: 355.7억 원

- 총비용의 현재가치는 사업 시작에 필요한 초기 총 투자비(CAPEX)와 완공 후 30년간 운영·관리에 소요되는 총운영비(OPEX)를 합산하여 산출했음. 이는 사업을 현실화 하고 유지하는 데 필요한 모든 사회적 자원의 투입량을 의미함.

■ 총편익(B)의 산정: 483.8억 원

- 총편익은 본 사업으로 인해 우리 사회 전체가 얻게 되는 긍정적인 효과를 보수적인 관점에서 최대한 계량화한 값임. 편익은 크게 ①직접 사회경제적 편익, ②지역 소멸 방지 편익, ③이주민 정주화 촉진 편익의 세 가지 범주로 구성됨. 그 결과, 사회 전체가 얻게 될 총편익의 현재가치는 약 483.8억 원으로 추정되었음.

<표 4-15> 사업의 30년간 총 편익 계산

구분	편익 항목	연간 편익액 (억 원)	30년간 PV (@4.5%)
① 직접 사회경제적 편익	지역 돌봄 시스템 안정화	4.8	78.1억 원
	내수 경제 활성화	4.8	78.1억 원
	기타 편익 (산업생산성 증대 등)	2.66	43.3억 원
	소 계	12.26	199.5억 원
② 지역 소멸 방지 편익	'인구 유치' 직접 대체	6	97.7억 원
	'생활 SOC' 붕괴 방지	4.2	68.4억 원
	'기금' 운용 효율화	3	48.9억 원
	소 계	13.2	215.0억 원
③ 이주민 정주화 촉진 편익	조기 정착에 따른 추가 경제 기여	4.26	69.3억 원
	소 계	4.26	69.3억 원
	총편익 합계 (①+②+③)		483.8억 원

② 비용편익분석 결과 및 정책적 함의

- (경제적)순현재가치(ENPV = B - C): 483.8억 원 - 355.7억 원 = +128.1억 원
- 비용편익비율(B/C Ratio): 483.8억 원 / 355.7억 원 = 1.36

- 결론적으로, B/C 비율은 1.36으로 산출되었음. 통상적으로 공공사업의 시행 여부를 판단하는 기준인 B/C 비율 1.0을 크게 상회하는 결과이므로 본 사업에 투입되는 비용보다 사회 전체가 얻는 편익이 명백하게 큰 결과이며 정책적으로 매우 타당하고 효율적인 '사회적 투자'임을 객관적인 숫자로 증명함.
- (민감도 분석) 본 사업의 B/C 비율이 편익 항목의 변동에 얼마나 민감한지를 검증하기 위해, 가장 극단적인 시나리오(Worst Case)를 상정함. 아래 표는 지역 돌봄 시스템 안정화 편익과 지역 필수 인력 안정적 확보 및 인구 유입 편익이 전혀 실현되지 않는다고 가정한 경우의 결과임.

<표 4-16> 비용 편익 분석 결과

편익 항목	기준 편익 PV (억 원)	사회적 편익 제외(Worst case) PV (억 원)
지역 돌봄 시스템 안정화	78.1	0
지역 필수 인력 공백 해소 및 정주 기반 강화 편익	69.3	0
기타 편익(산업생산성 등)	43.3	↓
총 편익 합계	483.8	288.1
총 비용 (재산정)	355.7	340.5
최종 B/C 비율	1.36	0.85

- 위 표에서 B/C가 0.85로 하락하는 조건은, ①돌봄 시스템 편익이 0원(단지 내 돌봄 연계가 전혀 작동하지 않음), ②지역 필수 인력 정주 편익이 0원(유입 인력이 단 한 명도 정착하지 않음)이라는 두 가지 극단적 가정이 동시에 성립해야 가능함. 그러나 본 사업의 핵심 설계 자체가 돌봄-주거-일자리의 선순환 구조이며, 인구감소지역의 산업인력 수요가 구조적으로 존재하는 현실을 감안하면, 이 두 편익이 동시에 완전 소멸하는 것은 현실적으로 발생하기 극히 어려운 시나리오임. 따라서 이 민감도 분석은 본 사업의 B/C 비율이 극단적 악조건에서도 0.85 수준을 유지한다는 '하방 경직성'을 보여주는 것으로 해석함이 타당함.

6. 소 결

- 본 사업의 핵심 가치는 'LH의 공공적 명분'과 '사업의 재무적 지속가능성'을 동시에 충족하는 구조이며, 다음과 같은 특징이 있음.
- 본 사업은 '지역 필수 산업인력 지원 및 재난 대응형 탄력적 주거 모델'로서, 특정 대상으로 한정하지 않고 지역에 맞게 인구감소지역의 실질적 주거 수요에 대응하는 포용적 접근을 취함. 이는 농림축산식품부의 '농업근로자 기숙사 건립 지원 사업'이 대상을 포괄적으로 설정하여 정치적 걸림돌을 우회한 선례와 동일한 전략임.
- '지자체 연계형 책임 임대차(Master Lease)' 구조를 통해, 리츠의 현금흐름 원천을 개별 입주자 보증금·월임대료에서 지자체 고정 임대료로 전환함. 이로써 ①공실 리스크가 구조적으로 제거되고, ②임대료 회수율이 100%로 보장되며, ③투자자 관점의 임차인 신용이 '지자체 신용'으로 격상됨.
- LH는 매입확약(Put Option) 및 신용보강 역할에 집중하고, 지자체가 임대 운영 리스크를 흡수하며, 민간 투자자는 안정적 현금흐름을 기반으로 자본을 공급하는 '3자 역할 분담 구조'는 민관 협력을 가능하게 하는 현실적인 사업 틀임.
- 사업성에 대해 검토한 결과를 요약하면, 첫째, 본 사업은 보수적인 관점에서 진행된 비용편익분석(B/C) 결과, B/C 비율 1.36을 도출, 이는 공공 사업의 타당성 판단 기준인 1.0을 상회하는 수치로 사업의 사회적 편익을 객관적으로 증명함. 이는 지속가능한 부가가치를 창출하는 '사회적 투자'임을 의미함.

<표 4-17> 각 분석 결과 비교

구분	평가 관점(주체)	포함 항목	주요 지표	결과	정책·사업 해석
재무성 분석	사업시행자· 투자자	임대료, 운영비, CAPEX, 잔존가치, 이자 등 현금흐름	NPV, IRR, DSCR	NPV -189.3억~ -130.4억, IRR -0.8%~1.5%	민간단독사업으로는 수익성 부족 → 공공 마중물 투자 전제 필요
비용·편익 계산	단지 + 입주자 + 지자체	건설비·주거비·생활비·돌봄비 절감, 세수 증가 등 직접 금전효과	B, C, B/C	비용 45.15억, 편익 145.15억	모듈러 도입만으로도 단지 수준의 실익이 크다는 근거
경제성 분석(CBA)	사회 전체	위 항목 + 돌봄 대체비용, 지역소멸 방지, 지역 필수 인력 정주 기반 구축, 노동시장 효과 등	ENPV, B/C	B=483.8억, C=355.7억, ENPV=128.1억, B/C=1.36	공공재·복지 인프라로서 강하게 정당화되는 사업

- 재무성만 보면 민간이 단독으로 추진하기 어렵지만, 사회 전체 관점의 경제성은 충분히 크므로 공공이 선제적으로 투자하고, 사업 안정화 이후 민간 자본을 유치

하는 구조가 합리적임. 즉, 재무성은 낮지만 사회적 편익이 크기 때문에, 공공이 초기 리스크를 떠안고 사업 모델을 만든 뒤, 규모의 경제와 표준화를 통해 민간이 따라 들어올 수 있는 구조로 설계할 필요가 있음.

- 둘째, 재정적으로 지속가능한 자립 운영 모델임. 초기 투자비는 공공의 선제적 투자가 필요하지만, OSC공법을 활용하여 신속하게 준공 한 후 안정적인 임대 수요를 바탕으로 운영 1년 차부터 흑자 현금흐름(연간 약 1억 원)을 창출함. 이는 한번 건설되면 추가적인 재정 지원 없이 스스로 유지·관리될 수 있는 '운영 자립형 모델'이라는 것을 의미하며, 국가 및 지자체의 장기적인 재정 부담을 최소화하는 현명한 대안이 될 수 있음.
- 셋째, 핵심 국정 과제와 부합하는 사업으로, 본 사업은 '외국인유학생 요양보호사 양성 시범사업'(보건복지부·법무부), 'OSC 모듈러 주택 공급 활성화'(국토교통부), '지방 소멸 대응'(행정안전부) 등 여러 부처의 핵심 정책 목표를 단일 사업으로 동시에 달성하는 '통합 실행 플랫폼' 역할을 수행할 수 있음. 분절된 예산 집행의 비효율을 극복하고 정책적 시너지를 극대화하는 현실적인 대안이 될 수 있음.
- 넷째, 획기적인 공기 단축과 사업성 확보에 모듈러 공법은 매우 유리함. 공장에서 전체 공정의 80~90%를 정밀하게 제작하고 현장에서는 조립만 진행하여, 기존 RC 공법 대비 공사 기간을 30~50% 획기적으로 단축할 수 있음. 「모듈러 임대 사업 수익성 분석 연구」(윤종식 외, 2015)에 따르면, 이러한 공기 단축은 금융비용과 간접비를 크게 절감시켜, 리츠(REITs)와 같은 금융 모델과 결합 시 초기 투자비가 다소 높더라도 더 높은 내부수익률(IRR)을 달성할 수 있음을 제시함.
- 다섯째, '지자체 책임임대차 + LH 신용보강'의 이중 안전장치는 본 사업의 실행 가능성을 결정적으로 높이는 구조적 혁신임. 시나리오 4(지자체 책임임대차 모델)는 규모의 경제 효과에 지자체 책임 임대차 계약을 결합하여 IRR 1.5%를 달성하며, 이는 민간 재무적 투자자가 참여 가능한 수준의 수익성임. LH는 직접 운영 부담 없이 신용보강만 제공하면 되고, 지자체는 지방소멸대응기금 등을 활용하여 고정 임대료를 지급하며, 민간은 안정적 현금흐름을 기반으로 투자에 참여하는 '3자 최적 분업 구조'가 완성됨. 이는 LH의 공공적 명분과 사업의 재무적 지속가능성을 동시에 수용하는 현실적 해법임.

제5장 결 론

1.연구 내용 요약

- 본 연구는 인구감소·초고령 사회에 대응하기 위해 지방 소멸의 위험이 있는 지역을 대상으로 삶의 질 개선을 위한 ‘세대공존형 모듈러주택’의 사업모델을 공간·제시하였음. 이는 고령자와 함께 거주하는 1.5가구를 위한 새로운 주거모델이 될 수 있음. 1.5가구는 1은 침해 불가한 자율성, 0.5는 선천적 연결감을 지칭함. 핵심은 3m×3m 표준 모듈로 실현하는 감정기반 공간 설계를 적용한 코하우징(co-housing) 구조, 반(半)프라이버시와 정원 축 네트워크, 공유시설·리소스 풀링, 그리고 고령자와 비고령 세대가 상호 돌봄과 비용 절감을 동시에 달성할 수 있는 주거 플랫폼을 구축하는 데 있음. AI-LLM 기반 자동설계 체계를 결합해 필지 분할→주동 매크로 레이아웃→세대 평면·가구 배치까지의 전 과정을 알고리즘으로 표준화하여 다양한 입지와 수요에 대한 신속한 대안 생산이 가능함을 제시함.
- 2장에서는 인구감소지역의 지정 기준과 쇠퇴 양상을 실증 검토하여 정책·시장 환경을 정리함. 인구감소지역·관심지역의 전국 분포, 2012·2020·2024년 지방 소멸위험지수의 악화 추세, 지역발전지수 상위권의 고착화를 제시하며 세대공존형 공공주택 및 생활 SOC보완 거점으로서의 새로운 주택단지 필요성을 강화함.
- 3장에서는 전용면적 36,46,54,64㎡ 세대 표준 평면을 계획하여 제시함. 이러한 평면을 활용하여 단독주택, 공동주택 세대연접형 및 세대분리형 3가지 유형의 계획안을 제시함.
 - 3m×3m 유닛 통합 설계 개념과 접합 모듈 수를 설정하고 이를 조합하여 다양한 대안을 알고리즘으로 생산할 수 있으며, 이는 건축주가 제시하는 요구조건을 LLM으로 입력하여 산출할 수 있는 결과물임. 조건으로 BF(Barrier-Free) 세부 기준을 제시하면 그에 맞춘 설계안 중 수요를 충족하는 형태를 제시할 수 있음.
 - 세대연접 빌라형은 1층을 가로형 생활SOC·공유주방·돌봄거점처럼 외부에 열린 동네 인프라로 설계해, 인구감소 지역에서 부족한 서비스·일자리·교류를 주거와 결합해 즉시 보완하는 실천형 모델임.

- 세대분리 아파트형은 의료·돌봄·보육·상업을 수직으로 집약한 서비스 허브(컴팩트 마을)로 기능하여, 분산된 정주 수요를 한 지점에 모아 운영 효율과 사업성을 높이고 주변 지역으로 파급효과를 확장함.
- 두 모델은 생활서비스 접근성·사회적 연결·지역경제(작은 상업 및 돌봄 노동)를 동시에 설계함으로써, 인구감소 지역의 핵심 과제인 정주 여건 악화의 속도를 늦추고 지역 재생의 기반을 만드는 필수 수단이 될 수 있음.
- 4장에서는 사업 추진 방식으로 LH·지자체·민간·사회적경제가 참여하는 ‘패키지형(교차보전) 세대공존 리츠’ 모델을 제안했음. 수도권 수익사업과 인구감소지역 공공사업을 하나의 리츠로 묶고, 스폰서(LH·지자체) - AMC - 운영주체(사회적경제) - FI 구조와 KPI·리저브·코버넌트를 명시해 사업성과 공공성을 병행하도록 제안했음.
- 경제성 분석에서 사회 전체 편익은 비용을 상회($B/C=1.36$), 재무성은 초기 공공 마중물 전제가 필요하되 운영 1년 차부터 흑자 현금흐름이 가능한 ‘운영 자립형’임을 도출했음($ENPV=+128.1$ 억 원). 단지·입주자 단위 비용·편익 계산과 30년 생애주기 가정을 병행하여 실천적 지표를 제공했음.
- 주요 내용을 정리하면 아래와 같음.

■ 인구감소·초고령 사회의 구조적 전환과 대응 필요성 확인

- 지방분권균형발전법·인구감소지역법 체계, 인구감소지수·지방소멸위험지수·지역발전지수 등 객관 지표로 지역 쇠퇴의 확산·심화를 확인하였음. 특히 비수도권의 위험 심화와 수도권 일부의 관리 단계 진입은, 주거·돌봄·커뮤니티를 통합한 공공주택 해법의 시급성을 뒷받침함.

■ 세대공존 코하우징과 모듈러(OSC) 기반의 설계·기술 체계

- 감정 기반 공간설계·반프라이버시·정원 축 네트워크·생활동맹·물북 거버넌스를 결합한 한국형 세대공존 코하우징 원칙을 정립했음. BF·유니버설 디자인을 기반으로, 고령·비고령 세대 모두의 전환 가능성을 고려한 평면, 주동 및 단지 계획을 제시.
- AI-LLM 기반 자동설계 시스템(필지 분할 TargetAreaParcelSplitter - 매크로 레이아웃 MacroLayoutGenerator - 실 배치 RoomVariantOptimizer)을 제안하여 설계 품질·속도·일관성을 확보했음. $3m \times 3m$ 셀·유닛 표준과 제약 만족·유전 탐색을 결합해 다변량 대안을 신속 생성·검증할 수 있음을 제시함.

■ 유형별 사업모델과 커뮤니티 프로그램

- 물리 모델은 지역 여건과 수요에 대응하도록 세대연접 ‘빌라형’(36㎡·54㎡), 세대분리 ‘아파트형’(46㎡·64㎡), 단독주택 마을형(중정·클러스터 반복)의 표준안을 구성하고, 공유주방·세탁·창고·실버케어 라운지·보육실 등 공유 기능과 보행 중심 원칙을 통합해 계획함.
- 운영 모델은 ‘주거서비스 매니저’ 중심으로 갈등 중재·돌봄·일자리·교육·다문화 통합을 연계하는 프로그램 체계를 설계하고 공실률(≤5%), 임대료 회수율(≥98%) 등 핵심KPI와 단계별 분쟁 해결 프로토콜을 함께 제시함.

■ 경제성·재무성 검증 및 확산 로드맵

- 비용·편익 분석은 건설비(모듈러공법 적용시 약 25% 절감)와 돌봄·육아 외부 지출 절감 등 핵심 절감 항목을 계량화하여 30년 생애주기 CBA에서 B/C=1.36(ENPV +128.1억 원)을 도출함. 재무성은 초기 CAPEX 특성상 NPV가 음수로 나타나지만, 준공 후 운영 1년차부터 흑자 현금 흐름이 가능한 구조임을 확인함. 핵심은 초기 건설비 절감과 운영 비용을 동시에 낮추는 이중 절감구조를 만드는 것임.
- 패키지형·토지지원형 리츠의 교차보전과 스폰서 신용 보강(매입확약·부채상환 준비금·시설투자 적립금 규정 등)을 결합해 민간 자본을 단계적으로 유입하는 확산 시나리오를 제시함.

2. 정책적 시사점 및 제언

■ 법·제도 정비: 표준화 및 패키지 인허가 체계

- 모듈러(OSC) 상용화를 위한 성능·인증·표준 시방(차음·내화·접합부 성능, 공장 품질관리)과 BF·스마트홈·데이터 보호 기준을 일괄 적용하는 통합 표준 프레임 을 마련할 필요가 있음. 프로젝트·지역상생 리츠 제도와 연계하여 인허가 간소화, 토지임대부, 현물출자, 책임 임대차(Master lease)를 하나의 집행 패키지로 제도화함으로써 사업 추진의 불확실성을 구조적으로 제거해야 함.

■ 재정·금융 장치

- ‘패키지형 세대공존 리츠’를 도입하여 수도권 수익과 지방 공공주택을 교차보전

하고, 스폰서(LH·지자체)의 신용보강, 미임대 매입확약, DSCR 목표 및 부채상환 준비금·시설투자 적립금 규정을 명문화하여 투자 안정성을 제도적으로 확보해야 함.

- 지방소멸대응기금 등 공공 재원을 활용한 초기 CAPEX 마중물 투자로 재무 위험 요소를 제거하고, 표준화 및 규모의 경제를 기반으로 민간 자본의 단계적 유입을 유도하는 구조로 설계할 필요가 있음.

■ 기술·운영 인프라

- AI-LLM·BIM·IoT 기반의 설계-시공-운영 통합 플랫폼을 구축하여 단지별 성과를 상시 관리하고, 핵심 KPI(공실률·임대료·회수율·에너지 절감·갈등 중재율 등)를 공개하여 투자자와 지역사회 신뢰를 축적해야 함.
- ‘주거서비스 매니저’ 제도를 제도화하여 세대·다문화 혼합 구조에서 발생 가능한 갈등을 사전 관리하고, 돌봄-일자리-교육 프로그램의 실행력을 제도적으로 뒷받침할 필요가 있음.

■ 실증·확산 전략

- 인구감소지역의 폐교·유허부지 등을 활용한 세대공존형 시범단지를 단계적으로 확대하고, 36·46·54·64㎡ 표준 모듈과 자재·디테일 라이브러리를 개방형으로 축적함. 운영 데이터 기반의 비용·편익 실증치를 주기적으로 갱신해 정책·금융 스케일업의 근거로 활용함.

3. 한계 및 향후 과제

- 본 연구의 일부 추정치는 가정·시뮬레이션 및 선행자료에 기반하므로, 설계 자동화 성능, 공사비·하자율, 운영 KPI 등 핵심 지표는 시범사업에서의 체계적 모니터링과 데이터 공개를 통해 실증적으로 검증될 필요가 있음. 또한 세대·문화 혼합 단지에서의 갈등(소음·사생활·규범)과 외국인 돌봄 인력의 정주 수용성은 운영 룰북, 교육·중재 체계 및 지역 거버넌스의 설계·정착 수준에 크게 의존하므로, 후속 연구는 이를 변인화하여 성과의 차이를 비교·평가해야 함. 종합하면, 세대공존형 모듈러주택은 고령화·인구감소 맥락에서 주거-돌봄-지역활력을 통합하는 잠재적 플랫폼이며, 시범과 제도화를 병행한 단계적 확산을 통해 운영 자립성과 사회경제적 편익의 동시 달성 가능성을 추가로 확인할 필요가 있음.

참고문헌 Reference

[정부보고서 및 법령]

행정안전부 (2024.01.16.), 지방소멸대응기금 배분 등에 관한 기준 (제2024-6호)

행정안전부 (2024.02.02.), 인구감소지역 지정 고시 (제2024-15호)

통계청 (2024), 2024 고령자통계

통계청 (2019), 장래인구특별추계(2017-2067)

국토교통부 (2024), 리츠(REITs) 활성화 방안

국토교통부 (2025), 부동산개발사업 관리법(25.5 시행)

[학술 논문 및 연구 보고서]

이상호 (2016), 한국의 지방소멸에 관한 7가지 분석, 지역고용동향브리프(봄호), 3-17, 한국고용정보원

이상호 (2018), 한국의 지방소멸 2018, 고용동향브리프 (7월호), 한국고용정보원

이상호, 나경원 (2023), 지방소멸위험 지역의 최근 현황과 특징, 지역산업과 고용(봄호), 112-119, 한국고용정보원

이상호 외 4인 (2021), 지방소멸 위기 극복을 위한 지역 일자리 사례와 모델, 한국고용정보원

이상호 (2025), 지방소멸 2025: 신분류체계와 유형별 정책과제, 지역산업과 고용(가을호), 한국고용정보원

이동수 외 2인 (2024), 지방소멸지수에 대한 고찰: 지역소멸지수는 지역공동화 현상을 설명하는가?, 지방정부연구, 28(3), 75-97, 한국지방정부학회

허문구 외 16인 (2022), 지방소멸 시대의 인구감소 위기 극복방안: 지역경제 선순환 메커니즘을 중심으로, 협동연구총서, 경제·인문사회연구회

송미령 외 3인 (2008), 살기 좋은 농촌 만들기를 위한 정책재편 방안(Ⅱ), 한국농촌경제연구원(KREI)

송미령 외 4인 (2012), 2012 지역발전지수를 활용한 농어촌 실태 분석과 정책 개선방안 연구, 정책연구보고서 P 162, 한국농촌경제연구원

송미령 외 3인 (2021), 2020 지역발전지수, 정책연구보고, P 265, 한국농촌경제연구원

송미령 외 3인 (2021), ‘지역재생잠재력지수’의 의의와 시사점, KREI 농정포커스, 197, 1-17, 한국농촌경제연구원

성주인 외 6인 (2025), 2024 지역발전지수(Regional Development Index: RDI), KREI 농정포커스, 227(2025.1.17.), 한국농촌경제연구원

이지은 외 (2023), LH 모듈러주택 적용 확대를 위한 재정지원 방안 연구, 한국토지주택공사 토지주택연구원

장인석, 송가욱 (2018), 행복주택리츠 연구, 한국토지주택공사 토지주택연구원

윤종식 외 (2015), 모듈러 임대 사업 수익성 분석 연구

[단행본]

마스다 히로야 (2014), 지방소멸(김정환 옮김), 와이즈베리

아마모토 리켄, 니카 도시하루 (2025), 탈주택(공동체를 설계하는 건축), 안그라픽스

[웹자료 · 기사]

US Modular Inc. (n.d.), What Are Prefabricated Multi-Generational Homes?
[\[https://www.usmodularinc.com/build-your-multigenerational-prefab-home-for-generations-to-come/\]](https://www.usmodularinc.com/build-your-multigenerational-prefab-home-for-generations-to-come/)(<https://www.usmodularinc.com/build-your-multigenerational-prefab-home-for-generations-to-come/>) [접속일: 2025-04-18]

NC Custom Modulares (Blog) (n.d.), The Rise of Multi-Generational Living: Modular Home Solutions for Extended Families,
[\[https://blog.nccustommodulares.com/about-modular-homes/modular-home-solutions-for-extended-families\]](https://blog.nccustommodulares.com/about-modular-homes/modular-home-solutions-for-extended-families)(<https://blog.nccustommodulares.com/about-modular-homes/modular-home-solutions-for-extended-families>) [접속일: 2025-05-06]

심형석 (2024.03.15.), 미래의 노인주거, ‘세대공존형’은 어떨까? (한국경제칼럼, ‘부동산정석’)
[\[https://www.hankyung.com/article/202403151863Q\]](https://www.hankyung.com/article/202403151863Q)(<https://www.hankyung.com/art>

- icle/202403151863Q) [접속일: 2025-05-30]
- 매일경제 (n.d.), [필동정답] 세대공존형 주택
https://www.mk.co.kr/news/columnists/10407295 [접속일: 2025-06-04]
- Center for American Progress (n.d.), Increasing Affordable Housing Stock Through Modular Building,
https://www.americanprogress.org/article/increasing-affordable-housing-stock-through-modular-building/ [접속일: 2025-06-12]
- 현대자동차그룹 스토리 (n.d.), 차곡차곡 레고처럼 조립하는 주택과 플랜트, 현대엔지니어링 모듈러 공법,
https://www.hyundaimotorgroup.com/ko/story/CONT0000000000094114 [접속일: 2025-06-28]
- Design Build Modulars (n.d.), Why Modular Construction is Perfect for Multi-Generational Living,
https://designbuildmodulars.com/why-modular-construction-is-perfect-for-multi-generational-living/ [접속일: 2025-07-03]
- 집코노미(한국경제) (n.d.), “아이돌봄 한번에 해결”... 한지붕 3대 사는 ‘실버타운’ 뜬다 (집 100세 시대), https://jipconomy.com/news/461 [접속일: 2025-07-09]
- 이데일리 마켓인 (n.d.), 모듈러 주택 건설비 관련 기사(건설비 비교 수치 인용).
https://marketin.edaily.co.kr/News/ReadE?newsId=01554726642235176 [접속일: 2025-07-15]
- TheBogi (n.d.), 모듈러 주택 비용 관련 자료,
https://thebogi.com/1532 [접속일: 2025-07-15]
- 티스토리(seokparadais7) (2025), 2025년 LH 행복주택 임대료 및 관리비 총정리,

<https://seokparadais7.tistory.com/entry/2025년-LH-행복주택-임대료-및-관리비-총정리> [접속일: 2025-05-28]

티스토리(spreadingwords)(2025), 1인 가구 평균 생활비 분석 (2025년 기준),

<https://spreadingwords.tistory.com/entry/1인-가구-평균-생활비-분석-2025년-기준-당신은-얼마나-쓰고-있나요> [접속일: 2025-05-28]

네이버 블로그(gnfeel)(n.d.), 공동주택 관리비·운영비 관련 자료,

<https://blog.naver.com/gnfeel/223763789582> [접속일: 2025-06-20]

네이버 블로그(nurihapp)(n.d.), 돌봄·육아 서비스 비용 관련 자료,

<https://blog.naver.com/nurihapp/223743353625> [접속일: 2025-06-20]

Kinfo-new.com(n.d.), 돌봄 서비스 비용 관련 자료,

<https://kinfo-new.com/19> [접속일: 2025-06-20]

조선일보 (2024.10.07.), 아파트 관리비 절감 관련 보도,

[https://www.chosun.com/economy/real_estate/2024/10/07/U5RXO4YZRFEB7MHQKNXPIHNE2Q/](https://www.chosun.com/economy/real_estate/2024/10/07/U5RXO4YZRFEB7MHQKNXPIHNE2Q/) [접속일: 2025-07-22]

KDI 경제정보센터(EIEC)(n.d.), 건축업 생산유발계수(문서번호 D2411250),

<https://eiec.kdi.re.kr/policy/materialView.do?num=260130> [접속일: 2025-04-29]

행정안전부(n.d.), 인구감소지역 지정 안내(웹페이지).

<https://www.mois.go.kr/frt/sub/a06/b06/populationDecline/screen.do> [접속일: 2025-04-22]

AI-LLM설계 방법론

1. AI-LLM설계의 배경 및 목적

- 도시 및 건축 설계 과정은 대지, 도로, 필지 수준의 거시적 결정에서 시작해 매스 및 평면의 공간 구조(매크로 레이아웃), 실 단위의 상세 구성(문·창·가구), 그리고 계획 대안의 검토·설명에 이르기까지 표현 해상도와 제약조건이 단계적으로 증가하는 특징을 가짐. 이때 상위 단계의 의사결정은 하위 단계에서 가능한 계획 대안을 제한하며, 반대로 하위 단계의 충돌(동선 불가, 개구부 미정렬, 가구 간섭 등)은 상위 구조를 재조정하도록 요구함. 따라서 실무적으로 유효한 설계 자동화는 단일 알고리즘의 한 번 생성보다, 단계별 산출물을 연결하는 계층적 파이프라인과 각 단계에서의 품질 평가·제약 검증·복구 메커니즘을 함께 갖춘 형태가 요구됨.
- 기존 건축설계는 정성적 판단과 경험 지식에 크게 의존하며 대지조건, 법, 구조, 설비, 거주성, 시공성의 상충 관계를 사람이 각각 고려하며 조율함. 본 시스템은 이러한 복잡도를 계산 모델로 정량화하고 탐색(Optimization)과 생성(Generation)을 결합하여 설계 대안을 신속하게 생산, 평가, 검증함.
- 본 연구의 목적은 (i) 목표 면적 기반 필지 분할과 접도 확보를 동시에 수행하고, (ii) 필지 내부에서 프로그램 요구를 반영한 유전 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)을 이용한 매크로 배치를 최적화, (iii) 실 변형 라이브러리를 활용해 상세 평면을 제약 만족 방식 즉, 파동함수붕괴(Wave Function Collapse; WFC)로 완성하고, (iv) 최종 결과를 온톨로지·지식그래프로 변환해 자연어 질의로 설명·분석할 수 있도록 하는 통합 건축 설계 자동화 파이프라인을 제시하는 데 있음. 이때, GA와 WFC는 단독 사용 시 결과값의 품질과 안정성이 제한되므로 제약(Constraints) 처리, 다목적 최적화, 실행 안정성을 위한 백트랙킹·복구 전략, 그리고 구조, 설비, 법규의 상호 의존성을 함께 다룸.
- 본 연구의 목적을 달성하기 위한 연구과정은 다음과 같음.

- 첫째, ‘블록-필지-셀-실’의 다층 표현을 기반으로 단계별 해상도와 제약 강도를 증가시키는 파이프라인을 구성하였음.
- 둘째, 필지 분할 단계에서 면적 편차뿐 아니라 중횡비·최소 폭·방향성·접도 등 실무 제약을 가중 품질지표로 통합하였음.
- 셋째, 매크로 레이아웃 단계에서 유전 알고리즘과 형태 품질 필터링(비연결 및 불량 형태 제거 등)을 통해 탐색의 다양성과 안정성을 동시에 확보하였음.
- 넷째, 상세 평면 단계에서 WFC·MRV 기반의 제약 전파와 기하·동선 검증(샘플링 기반) 및 연결성 복구 절차를 통합하였음.
- 다섯째, 결과를 Geometry→Ontology→Knowledge Graph→LLM Reasoning으로 변환하여, 설계 대안의 선택·경로·분석을 자연어 질의로 수행할 수 있는 UrbanGraphRAG 구조를 제시하였음.

2. 주요 설계 방법론

2.1. 시스템 개요 및 전체 파이프라인

- 제안 시스템은 Rhino 및 Grasshopper 기반 기하 객체(커브·폴리라인 등)와 JSON 기반 데이터 교환을 병행하며, 중간 산출물의 독립적 검토·재실행이 가능하도록 느슨한 결합(loose coupling) 구조를 채택함.
- 입력하는 정보는 대지경계(polygon), 레벨 및 고도 정보, 도로·접면, 주변 건물(높이 및 이격), 법규 파라미터(용적률, 건폐율, 일조 사선, 주차 등), 모듈러 규격, 세대 통합(고령, 청년, 공용) 관련임.
- 전체 파이프라인은 다음 4단계로 구성되며, 다음과 같음.
 - TargetAreaParcelSplitter: 대지/블록 경계 입력을 기반으로 목표 면적을 만족하는 필지를 분할하고, 도로 접근성(접도) 확보를 위한 내부 접근로를 함께 생성. 일조 사선, 이격, 경사를 고려하여 건축 가능 영역을 산정하고 접근성 네트워크 구축, 방향성(정면 및 주요 채광방향), 주요 축을 추정.



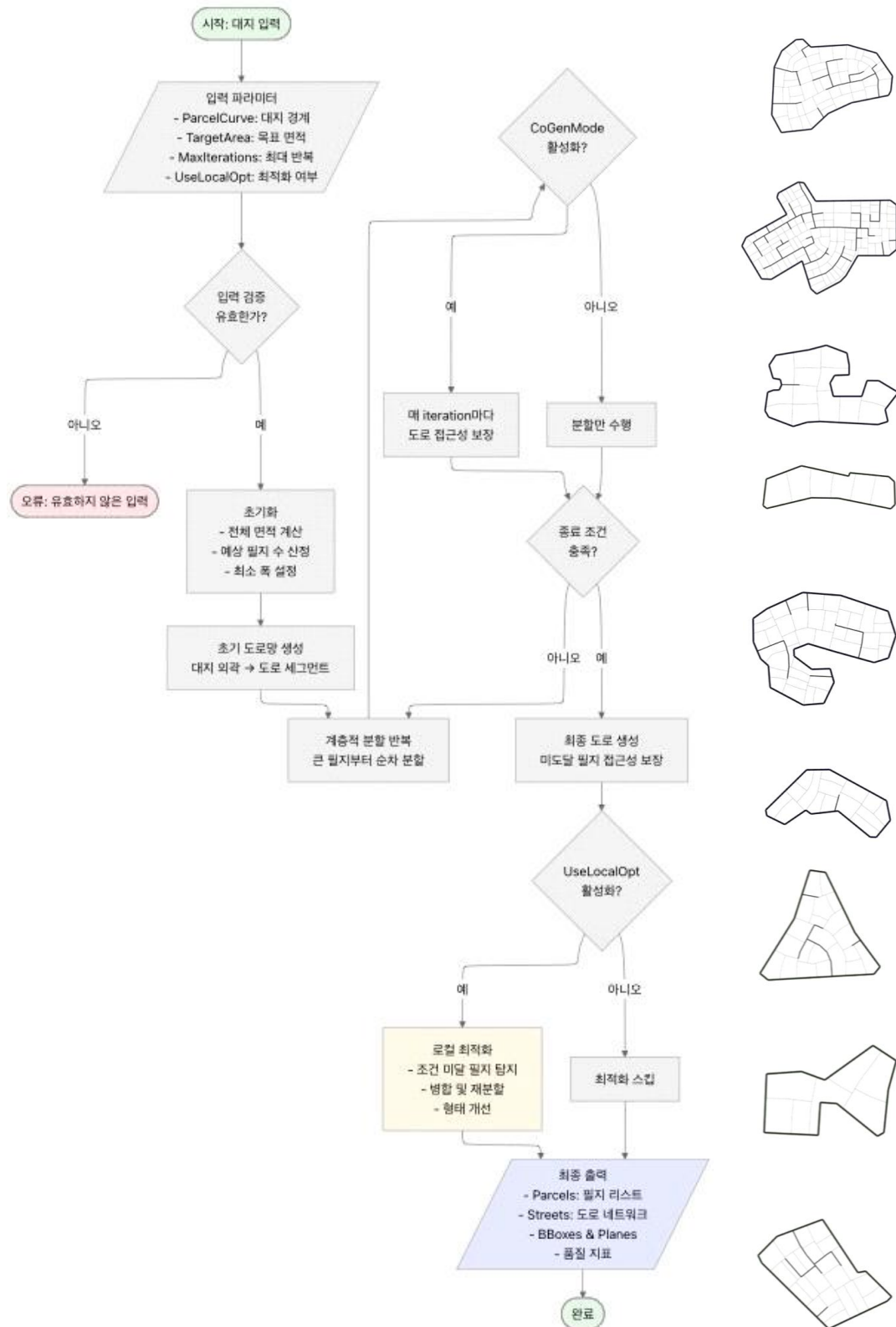
<그림 1> 블록 경계 입력 기반 목표 면적 충족 필지 분할

- MacroLayoutGenerator: 분할된 필지 내부를 셀 그리드로 표현하고, 유전 알고리즘을 통해 매크로 레이아웃(형태 패턴 및 실 타입 배치)을 탐색함.
- RoomVariantOptimizer: 매크로 레이아웃(스켈레톤)을 입력으로 받아, 마이크로 평면을 생성. 즉, WFC로 실 변형(벽·문·창·가구 포함) 후보를 제약 만족 방식으로 배치하고, 충돌·동선·연결성을 검증 및 필요 시 복구.
- 검증 및 피드백(UrbanGraphRAG): 앞 단계 결과를 Geometry→Ontology→Knowledge Graph→LLM Reasoning으로 변환하여, 선택·경로·분석 등의 공간 질의를 자연어 기반으로 수행. 규칙 엔진 및 RAG가 위반 항목을 설명 가능 형태로 반환하고, GA 및 WFC파라미터에 패널티로 반영하여 반복 개선.
- 모듈 간 인터페이스는 다음과 같이 정의됨.
 - ParcelSplitter의 필지 경계 커브 배열 및 품질 보고(JSON)는 MacroLayoutGenerator의 SITE_BOUNDARY 입력으로 전달됨.
 - MacroLayoutGenerator는 SKELETON_DATA(JSON)를 생성하고, 이는 RoomVariantOptimizer의 SKELETON_JSON 입력으로 전달됨.
 - RoomVariantOptimizer의 상세 결과(ROOMS/ROOM_GEOS 등)와 도로, 필지, 셀 정보는 UrbanGraphRAG의 Ontology 및 Graph 생성 입력으로 사용됨.

2.2 모듈 1: TargetAreaParcelSplitter(계층적 필지 분할 및 도로 공동 생성 시스템)

1) 목적 및 범위

- 대지를 목표 면적에 맞춰 자동 분할하고, 모든 필지가 도로에 접근 가능하도록 도로망까지 함께 생성하는 통합 자동화 시스템임. 수작업으로 수일 걸리던 필지 분할을 수분 내에 수행하며 객관적·일관된 결과를 제공함.



<그림 2> 작업 흐름도 및 산출물

○ 핵심 목표(5가지)

- 목표 면적 충족 : 지정 면적에 가깝게 분할해 계획 밀도, 세대수, 용적률 달성을 안정화함.
- 건축 가능한 형태 보장 : 폭·형태가 부적절한 필지를 피하도록 Aspect Ratio (세장도), Irregularity(비정형도) 등 지표로 품질 관리함.
- 도로 접근성 확보 : 도로 미접 필지를 감지하고 내부 도로를 자동 생성해 모든 필지의 접도(접근)를 보장함(인허가·소방·상하수도 등 실무 필수).
- 계층적(단계적) 분할 전략 : 큰 필지를 반복적으로 쪼개며 목표 면적에 도달하는 방식으로 자연스럽고 균형 잡힌 배치를 유도함.
- 형태 최적화(로컬 개선): 세장한 필지(예: 종횡비 2.5 초과)를 탐지해 인접 필지와 병합 후 재분할하는 단계로 전반적 형태 품질을 끌어올림.

○ 적용 대상 및 범위는 중·대규모 도시개발에 유용하며 구체적 사례는 다음과 같음.

- 신도시/마스터플랜 : 다양한 분할 시나리오를 빠르게 생성·정량 비교
- 택지개발 : 필지 및 도로망을 통합 최적화해 단지 동선 체계까지 함께 설계
- 구도심 재개발 : 불규칙 블록을 현대 기준에 맞는 합리적 패턴으로 재구성
- 산업단지 : 대형 차량 접근 가능한 도로 체계와 필지 배치 지원

○ 전통 방식의 한계와 자동화 필요성은 시간 단축, 반복 작업 많으며, 설계자별 결과 편차로 객관 비교 어려움. 그리고 면적·접도·최소폭 등 오류가 후반에 발견되는 경우도 있어 일정 및 비용 리스크가 있고, 수작업 특성상 대안 탐색이 제한됨.

○ 이에 따라 본 연구 제안은 필지 분할의 원칙을 수학적 모델과 품질지표로 정량화해, 빠른 대안 생성, 탐색, 비교가 가능하도록 만든 자동화 도구임.

2) 필지 분할 문제 정의

- 필지 분할은 기하 문제가 아니라, 상충 목표를 동시에 만족시키는 최적화 문제이며, 이를 Kevin Lynch의 도시 이미지 이론처럼 정량화해 평가함.
- 필지 분할 문제는 면적·형상·최소폭·도로접근성이라는 서로 충돌하는 목표를 동시에 만족해야 하는 다목적 최적화 문제임.
- 정사각형에 가깝게 만들수록 목표 면적을 딱 맞추기 어렵고, 모든 필지를 도로에

접하게 하려면 도로·경계가 늘거나 필지 수가 줄 수 있는 등 상충 관계(trade-off)가 발생함.

○ 4가지 핵심 목표는 다음과 같음.

- 면적은 계획 밀도, 세대수, 용적률을 맞추기 위한 기본 조건이며, 목표 면적을 동시에 달성하도록 분할함.
- 형상은 불규칙·꺾임이 크면 데드스페이스, 구조·시공 복잡성, 비용 증가로 이어지므로 규칙성과 단순함을 가짐.
- 최소폭은 예컨대 단독주택은 전면 폭 최소 기준(예: 6m)처럼 실무·법규 요구를 만족해야 가용 필지가 됨.
- 도로 접근성(접도)은 인허가·차량, 소방, 상하수도 연결 등 때문에 모든 필지가 도로에 접해야 하므로 도로 배치까지 함께 고려해야 함.

○ Kevin Lynch의 도시 이미지 이론을 알고리즘화한 해석으로, Lynch의 5요소(Path, Edge, District, Node, Landmark) 중 District를 특성을 공유하는 구역으로 보고, 알고리즘에서는 각 필지를 잠재적 District로 해석함.

- 분할선(Streamline)은 경계(Edge)이자 잠재적 길(Path)이 되며, 지나치게 구불구불하지 않도록 품질 평가로 통제함.
- 예를 들면, AngleThreshold 파라미터는 방향 전환의 허용 각도를 제어하여 예측 가능한 분할선 생성

○ Lynch가 주장한 읽기 쉬운 도시의 개념을 다음과 같이 정량화함.

- 면적 균형(Q_size), 형태 규칙성(Q_regu), 종횡비(Q_aspect), 접근성(Q_acce) 등 0~1 정규화 지표를 만들고, 가중합으로 최종 품질(Q_total)을 산출해 분할안을 평가함.
- 이러한 접근의 의의는 설계자의 직관을 수치화된 품질지표로 바꿔 대안 간 비교가 투명해지고, 이해관계자 합의가 쉬워지며, 파라미터 조정으로 프로젝트 요구를 반영할 수 있는 유연성이 생김.

3) 시스템 개요

○ TargetAreaParcelSplitter는 입력→도로→분할→접근성→형태개선→출력으로 이어지는 6단계 모듈형 파이프라인으로 작동함. 각 단계가 독립 책임을 갖고

앞 단계 출력을 받아 다음 단계로 넘기며, 필요하면 단계별로 켜고 끌 수 있게 설계됨.

○ 6단계 파이프라인 핵심

- 입력 처리는 ParcelCurve, TargetArea 등 파라미터를 검증하고, 전체 면적 계산과 예상 필지 수 산정을 수행함.
- 초기 도로망 생성에서는 대지 외곽 경계에서 도로 세그먼트를 추출하고 초기 street_network 구성하며, 이후 내부도로 생성의 기준점이 됨.
- 계층적 분할은 시스템의 핵심이며, 반복적으로 실행됨. 각 iteration마다 가장 큰 필지를 선택하고, QuadMesh를 생성한 후 Streamline 후보를 생성함.
- 품질 평가로 최적 분할선 선택하여 분할을 실행하며, 모든 필지가 목표 범위에 들어가거나 MaxIterations 도달할 때까지 반복함. 각 국소 최적화를 반복하면서 전체 균형을 유지하는 방식임.
- 도로 접근성 보장에서는 도로 미접 필지 그룹을 탐지하고, I형 또는 L형 접근로 생성 후 기존 도로에 최단경로로 연결하여 모든 필지의 접근도를 확보함.
- 로컬 최적화는 종횡비(Aspect Ratio)가 2.5 초과 필지를 탐지하고, 인접 필지와 병합 후 더 나은 형태로 재분할함. 개선이 없을 때까지 반복하고, 이는 단순 분할만으로 못 잡는 형태 품질을 끌어올림.
- 결과 출력은 분석 및 후속작업용 산출물 묶음과정이며, Parcels(최종 필지), Streets(도로망), BBoxes(OBB), Planes(로컬 좌표계), Oriented Aspect Ratio, 선택된 분할선, 자동 생성 접근로/연결도로, 로컬 최적화 후 필지, 디버그 로그 및 통계를 출력함.

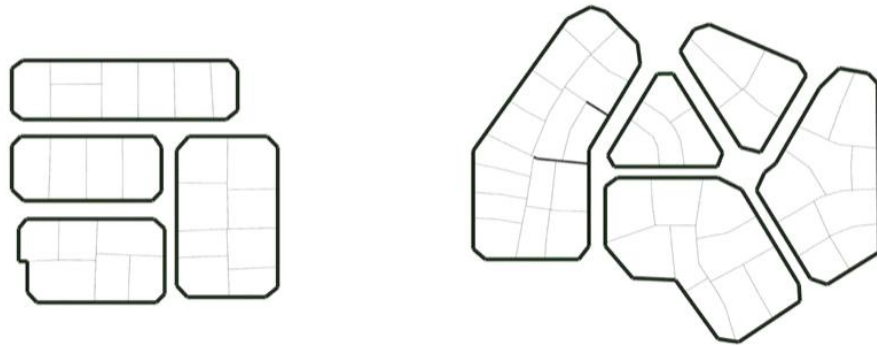
○ 시스템 전체는 입력 검증 후 분할 반복을 기본으로 수행하며, CoGenMode가 켜지면 iteration마다 접근성 보장을 함께 수행, UseLocalOpt가 켜지면 마지막에 로컬 최적화 수행함. 이와 같이 프로젝트 특성에 맞게 단계별 on/off가 가능한 구조임.

○ 시스템은 7개 핵심 입력 파라미터(ParcelCurve, TargetArea, MaxIterations, AngleThreshold, MinWidth, CoGenMode, UseLocalOpt, Debug)로 분할 행동을 제어함.

- ParcelCurve(달린 경계)와 TargetArea(목표 면적)가 기본이며, 반복횟수(MaxIterations)로 세분화 정도·시간이 결정됨.
- AngleThreshold는 분할선(Streamline)의 곡률 및 방향 전환 허용도를 조절해

직선형~곡선형 분할을 바꿈.

- MinWidth는 법규 및 실무 기준의 최소 폭을 보장하도록 동적으로 적용됨.
 - CoGenMode는 매 반복마다 도로 생성 및 접근성 점검을 할지결정함.
 - UseLocalOpt는 세장형 필지를 병합·재분할하는 로컬 최적화 수행 여부임.
- 출력은 9종(Parcels, Streets, ParcelBBoxes, ParcelPlanes, ParcelAspects, SelectedStreamlines, GeneratedStreets, LocalOptParcels, Out)으로 결과·과정·진단을 모두 제공함. 이어지는 과정에서 QuadMesh를 TargetArea 기반 해상도로 만들고, 경계 정점에서 시작해 양방향 streamline 후보를 추적함. 후보는 길이 등으로 필터링해 최대 30개만 남기고, 각 후보를 가상 분할로 시뮬레이션(끝점 스냅·분할 성공 여부·면적 계산)한 뒤 품질지표로 최적안을 선택함.



<그림 3> TargetAreaParcelSplitter 결과물

4) 품질지표(6개) 및 가중합 평가

- 분할 품질은 6개 지표의 가중합 Q_{total} 로 평가한다.
 - $Q_{total} = 0.12Q_{size} + 0.18Q_{regu} + 0.10Q_{acce} + 0.35Q_{aspect} + 0.15Q_{width} + 0.10Q_{orientation}$
 - Q_{size} (면적 균형도) : 두 필지의 면적이 얼마나 균형있게 나뉘었는지를 측정하며, $Q_{size} = \min(A1, A2) / \max(A1, A2)$ 공식으로 계산됨. Q_{size} 는 0과 1 사이의 값을 가지며, 1에 가까울수록 균등한 분할을 의미함. 예를 들어 100㎡와 100㎡로 나뉘면 Q_{size} 는 1.0이고, 80㎡와 120㎡로 나뉘면 Q_{size} 는 0.67입니다. MIN_QSIZE_THRESHOLD는 0.12로 설정되어 있어, Q_{size} 가 0.12 미만이면 너무 불균형한 분할로 간주하여 제외함. 이는 한 필지가 다른 필지의 12%보다 작으면 실용적이지 않다는 경험적 기준임.
 - Q_{regu} (형태 규칙성) : 필지가 얼마나 규칙적인 형태인지를 측정하는 지표로, 불규칙성 메트릭은 각도의 분산과 변 길이의 분산을 결합하여 계산됨. 각 코너의 내각

을 계산하여 angles 리스트를 만들고, 각 변의 길이를 계산하여 lengths 리스트를 만들. angle_variance는 각도들의 분산을 계산하고, length_variance는 길이들의 분산을 평균 길이의 제곱으로 나눈 값으로 정규화함. irregularity는 $0.75 \times \text{angle_variance} + 0.25 \times \text{length_variance}$ 로 계산되며, 각도 불규칙성에 더 높은 가중치를 부여함. Q_{regu} 는 $1.0 \div (1.0 + I1 + I2)$ 로 계산되며, 불규칙성이 낮을수록 높은 값을 가짐. 완벽한 직사각형은 각도 분산과 변 길이 분산이 모두 0이므로 Q_{regu} 가 1.0임.

- Q_{acce} (도로 접근성) : 각 필지가 도로와 얼마나 잘 접하는지를 측정함. compute_street_access_ratio 함수는 필지 경계 중 도로와 가까운 부분의 길이를 평균 변 길이로 나눈 값을 계산함. ACCESS_THRESHOLD는 0.4로 설정되어 있으며, 접근 비율이 0.4 이상이면 충분한 도로 접근을 가진 것으로 간주함. acc 변수는 두 필지 중 몇 개가 충분한 도로 접근을 가지는지를 세며, s1이 0.4 이상이면 1을, 아니면 0을 더하고 s2도 마찬가지로 처리함. Q_{acce} 는 acc를 2.0으로 나눈 값이므로 0, 0.5, 1.0 중 하나의 값을 가짐. 두 필지 모두 충분한 도로 접근을 가지면 1.0, 하나만 가지면 0.5, 둘 다 없으면 0임.
- Q_{aspect} : 두 필지의 aspect score 평균으로 계산되며, MAX_ASPECT_ALLOWED는 2.8로 설정되어 있음. aspect1과 aspect2가 모두 2.8을 초과하면, 즉 둘 다 너무 가느다란 필지면 이 streamline을 제외함. 적어도 하나의 필지는 합리적인 형태를 가져야 한다는 기준임.
- Q_{width} (최소 폭 충족) : 필지의 최소 폭이 기준을 만족하는지를 측정함. 최소 폭은 $(4 \times \text{면적}) \div \text{둘레}$ 값으로 추정됨. 이는 직사각형 근사에 기반한 간단한 추정 방법임. estimate_min_width 함수는 이 공식을 사용하여 w1과 w2를 계산함. width_score 함수는 실제 폭 w와 최소 요구 폭 min_width를 비교함. w가 min_width 이상이면 완벽한 점수인 1.0을 반환하고, 미달이면 w를 min_width로 나눈 비율을 반환하되 0 이하로 떨어지지 않도록 함. ws1과 ws2는 각 필지의 폭 점수임. Deadspace score는 필지 내부에 5미터 offset을 적용한 후 다시 복원했을 때 면적 손실을 측정함. compute_deadspace_score 함수는 복잡한 형태의 필지가 offset 후 많은 면적을 잃게 되므로 낮은 점수를 받도록 설계되었음. Q_{width} 는 ws1 곱하기 ds1 더하기 ws2 곱하기 ds2를 2.0으로 나눈 평균값으로 계산됨.
- $Q_{\text{orientation}}$ (분할선 방향) : 분할선이 필지의 형태에 적합한 방향으로 놓였는지를 측정함. 가로로 긴 필지는 세로로 분할하는 것이, 세로로 긴 필지는 가로로 분할하는 것이 더 좋은 결과를 만들. 필지의 bounding box를 계산하여 폭 w와 높이 h를 구함. streamline의 방향 벡터는 끝점에서 시작점을 뺀 값으로 계산됨. w가 h 곱하기 1.2 보다 크면 가로로 긴 필지로 판단하고, $Q_{\text{orientation}}$ 은 streamline 방향의 Y 성분 절대

값을 길이로 나눈 값으로 계산됨. 세로 방향으로 분할할수록 높은 점수를 받음. h/w 곱하기 1.2보다 크면 세로로 긴 필지로 판단하고, $Q_{orientation}$ 은 X 성분 절대값을 길이로 나눈 값으로 계산됨. 가로 방향으로 분할할수록 높은 점수를 받음. 정사각 형에 가까운 필지면 방향이 중요하지 않으므로 0.5의 중립 점수를 부여함.

5) 운용 파라미터 사례

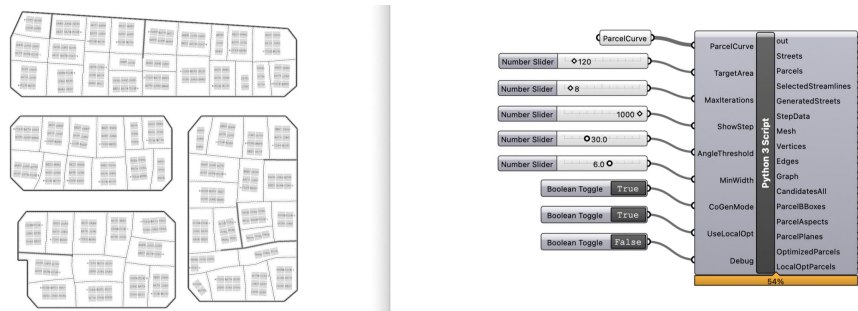
- 설계 유형별로 다음과 같이 다르게 파라미터를 설정할 수 있음.
 - 주거 단지: TargetArea 150m², MaxIterations 12, AngleThreshold 25°, MinWidth 6m, UseLocalOpt=True, CoGenMode=False
 - 소규모 상가: TargetArea 50m², MaxIterations 15, AngleThreshold 45°, MinWidth 4m, UseLocalOpt=True, CoGenMode=True
 - 산업 단지: TargetArea 500m², MaxIterations 8, AngleThreshold 20°, MinWidth 15m, UseLocalOpt=False, CoGenMode=True

2.3 모듈 2: MacroLayoutGenerator(셀 기반 매크로 레이아웃 탐색)

- 매크로 배치는 다변수·비선형·불연속 제약을 동시에 포함함. GA는 파생 가능한 설계 대안의 다양성을 유지하면서, 시뮬레이션 기반의 적합도 평가(일조, 동선, 비용 등)를 결합하기 용이함. 본 절은 GA 설계의 핵심 결정(인코딩, 제약 처리, 다목적 최적화, 연산자 설계, 수렴 판단, 병렬화)을 정리함.
- Macro Layout Generator는 복잡한 건물 배치 작업을 자동화하여, 설계자가 여러 대안을 신속하게 탐색하고 비교할 수 있도록 지원하며, 상세 기능은 다음과 같음.
 - ‘필지 경계 준수’는 시스템이 주어진 필지 내에서 건물을 배치하며, 필지 밖으로 나가는 셀을 자동으로 감지하고 제거하는 것임. Plane 오프셋과 회전을 유전 알고리즘으로 최적화하여 필지 포함률을 극대화하며, 이는 건축법규 준수와 효율적인 부지 활용을 보장함.
 - ‘평형별 최적화’는 36평, 46평, 54평, 64평 등 다양한 평형에 대해 각각 최적화된 셀 구성과 공간 배치를 제공함. 각 평형마다 최소 및 최대 셀 수, 선호 형태, 유전 알고리즘 파라미터가 사전 설정되어 있어, 평형 특성에 맞는 최적의 결과를 생성함.
 - ‘라이프스타일 적응’은 신혼부부, 영유아가족, 성장기가족, 노년부부 등 생애주기 단계에 따라 필수 공간 구성이 자동으로 조정되는 것임. 예를 들어 영유아

가족은 침실 2개가 필수이며, 성장기가족은 침실 3개를 포함함.

- ‘형태 품질 보장’은 단순히 공간을 배치하는 것이 아니라, 실제로 거주 가능한 적절한 형태를 갖춘 레이아웃을 생성함. Jaggedness인 들쭉날쭉함, Indentation인 함몰, Smoothness인 매끄러움 등의 지표를 통해 불규칙하거나 비효율적인 형태를 필터링함.
- ‘다목적 최적화’는 형태 품질, 공간 인접성, 압축도, 필지 포함률, 방 개수 일치, 중심 위치 등 여러 목표를 동시에 최적화하는 것임. 각 목표는 가중치를 통해 균형을 맞추며, 프로젝트 특성에 따라 조정 가능함.



<그림 4> 유전 알고리즘 기반 필지 적응형 건물 배치 최적화 시스템 산출물

1) 건물 배치의 다목적 최적화 문제

- 형태 품질(Shape quality) : 건축물이 효율적으로 시공되고 이용, 관리 되기 위해서는 적절한 형태가 필요함. 지나치게 요철이 많고 불규칙하면 어려움이 있으며 이런 형태적 결함을 정량적으로 평가하여 최소 기준 충족 레이아웃만 선택함.
- 공간 인접성(Adjacency) : 공간간의 기능적 인접성을 평가하여 최적 배치를 탐색. 예를 들면 주방과 거실은 인접(가중치 +12), 거실과 테라스는 연결(+10), 반대로 침실들 간에는 서로 이격(-7) 등 설정된 규칙으로 점수화하여 최적 배치 도출
- 압축도(Compactness) : 압축도는 건물 형태가 직사각형에 가까운지 평가함. 압축도가 높을수록 외피 면적이 감소하고 에너지 효율이 좋아지며 구조가 단순하여 시공 용이. Rectangularity 지표를 통해 바운딩 박스 대비 실제 점유율을 계산함.
- 필지 포함률(Site containment) : 모든 셀이 필지 내부에 위치, 필지 밖에 위치하면 오류로 간주함. 각 셀의 꼭지점이 필지 내부에 있는지 contains테스트를 통해 검증하고, 필지 밖 셀 1개당 50점씩 감점하여 필지 준수를 강제함.
- 방개수 일치(Room count) : 목표로 정한 셀 개수(n_{cell})와 실제 필지 내부에 배

치된 셀 개수가 일치해야 함. 차이가 날수록 패널티 증가, 특히 목표보다 적을 경우 40점/개 부과, 이는 공간 프로그램 요구사항을 충족하도록 보장함.

- 중심 위치(Position): 건물이 필지 중심에 배치될수록 주변 여백이 균등하게 분포되어 조정 및 주차 공간 계획이 용이함. 시스템은 각 셀의 중심점의 평균 위치와 필지 중심점 간 거리를 계산하여 거리가 가까울수록 높은 점수 부여

2) 유전 알고리즘을 활용한 설계 대안 생성

① 핵심 개념

- 전역 탐색 : 국소 최적해에 갇히지 않고 광범위한 해 공간을 탐색, 초기 해가 좋지 않더라도 세대를 거듭하며 점진적으로 개선됨.
- 병렬 탐색 : 여러 개체(Population)를 동시에 평가하고 진화시키므로, 다양한 레이어아웃 패턴을 병행하여 탐색함.
- 적응적 최적화 : 교배(Crossover)와 돌연변이(Mutation)를 통해 해의 다양성을 유지하면서도, 우수한 해를 중심으로 탐색을 집중함.
- 파라미터 튜닝 : 평형별로 최적화된 세대 수, 개체 수, 돌연변이율을 사전 설정하여, 각 문제 규모에 맞는 탐색 효율을 확보함.

② 설계 과정

■ 기본 형태 생성(ShapeGenerator)

- ShapeGenerator는 여러 형태 패턴을 만들고, 형태는 그리드 좌표 또는 셀 목록으로 표현됨. 모든 형태는 상·하·좌·우 4방향으로 서로 이어진 연결형이어야 함.
- 형태 유형
 - STAGGERED : 계단/지그재그처럼 꺾임이 많은 불규칙 형태(좁거나 비정형 필지, 외부공간 다양화에 유리).
 - COMPACT : 정사각형에 가깝게(외피면적 최소 → 에너지 효율↑, 구조 단순 → 시공 용이).
 - LINEAR : 일자 배열(좁고 긴 필지, 도로 전면 극대화; 채광·통풍·조망 유리).

- L_SHAPE / COURTYARD : 중정형으로 내부-외부 공간 구성(프라이버시, 채광·환기, 가족/게스트 분리, 실내정원에 유리).

■ 연결성 보장(Connectivity)

- 생성된 형태는 반드시 연결성 테스트를 통과해야 함. `is\_connected()`가 BFS(너비우선탐색)로 모든 셀이 한 덩어리인지 검사하며, 실패하면 Fitness 0점 → 자동 탈락됨.
- `ensure\_unique\_positions()`함수의 역할:
 - 중복 좌표 제거
 - 연결 복구 : 분리되면 가장 큰 연결 덩어리만 유지, 나머지는 제거
 - 셀 개수(n_cells) 맞춤
 - 추가 : 경계(frontier) 중 이웃이 많은 위치에 추가(연결/밀도 유지에 유리)
 - 제거 : 연결을 깨지 않는 범위에서 이웃이 적은 셀부터 제거(형태 붕괴 방지)

■ 돌연변이 및 교배(유전 연산)

- 유전 알고리즘에서 형태가 좋아지도록 두 방식으로 변형됨.
- 돌연변이 Mutation — 무작위 변형
 - MOVE : 제거 가능한 셀 1개를 골라 경계의 랜덤 위치로 이동(국소적 형태 변화)
 - ROTATE : 전체를 90도 회전(필지 방향/조건에 맞는 배치 탐색에 유리)
 - STAGGERED 재생성 : 목표 형태가 STAGGERED일 때 50% 확률로 완전 재생성
- 교배 Crossover — 좋은 것끼리 섞기
 - `crossover\_shapes()`가 두 부모의 일부 셀을 섞어 하이브리드 자손 형태를 만들고, 마지막에 `ensure\_unique\_positions()`로 연결성과 셀 개수를 다시 강제로 만족시킴. 목적은 부모의 장점을 결합하여 더 나은 자손을 만들어 탐색 성능을 높이는 것임.
- 정리하면, (형태 생성) → (연결성/중복/개수 정제) → (돌연변이·교배로 진화) → (연결성 실패는 바로 탈락) 이 흐름으로 돌아가는 구조임.

③ Genetic Algorithm 최적화 엔진

- MacroLayoutGA 클래스는 유전 알고리즘 전체를 자동으로 운용함 : 초기 개체 생성 → 세대 반복(선택·교배·돌연변이) → 이민(다양성 주입) → 평가·정렬 → 최종 해 결정
- 평형별 기본 GA 파라미터(세대 수, 개체 수, 돌연변이율 등)를 적용할 수 있어 탐색 효율을 높임(ga_params가 None이면 기본값 사용).

■ 초기화 및 초기 개체 생성의 핵심

- 입력으로 받는 핵심 정보
 - 평형/생애주기(layout_type, lifecycle), 선호 형태(target_shape), 목표/가중치(objectives, weights), 필지·좌표계(base_plane, site_boundary, site_center), GA 파라미터(세대수/개체수/돌연변이율)
- _create_random_genome()가 탐색의 출발 다양성을 보장: 무작위 형태(ShapeGenerator), 평면 오프셋($\pm 10\text{m}$ 범위), 회전($0/90/180/270^\circ$ 중 랜덤)
 - 이러한 다양성은 해 공간의 광범위한 영역을 탐색하는 출발점이 됨.

■ 세대별 진화 프로세스(run)의 핵심 흐름

- 선택(Selection) : Fitness로 정렬 후 상위 50% 생존(엘리트주의), 즉 좋은 해를 다음 세대에 보존함.
- 교배(Crossover) : 생존자 2개를 뽑아 자손 생성, _crossover_genomes() 함수는 다음을 수행함. 형태는 섞고, 위치는 평균, 방향은 선택 구조로 실행함.
 - 형태 : 부모 형태를 혼합(crossover_shapes)
 - 오프셋 : 부모 오프셋의 평균값
 - 회전 : 부모 중 하나를 랜덤 상속
- 돌연변이(Mutation) : mutation_rate에 따라 자손을 변경함. 국소 탐색 및 방향 전환을 통해 탐색을 확장함.
 - 형태: 셀 이동 및 회전 등 변형(mutate_shape)
 - 오프셋: $\pm 2\text{m}$ 랜덤 조정, 단 $\pm 10\text{m}$ 범위 넘지 않게 클램핑

- 회전: 90° 또는 270° 추가 회전(steps +1 또는 +3)
- 이민(Immigration) : 25세대마다 개체의 10%를 새 랜덤 개체로 교체하며, 이는 지역 최적해에 갇히는 걸 방지하고, 탐색되지 않은 해 공간의 새로운 영역을 발견하는 메커니즘임.
- 조건: population_size $\geq$ 200이고 generation % 25 == 0
- 평가 및 정렬(Evaluate & Truncate) : 모든 개체를 FitnessEvaluator로 평가 후 내림차순 정렬함. 상위 population_size만 유지하고 개체 수를 고정하여 매 세대 좋은 해 위주로 정리가 일어남.

■ 최종 해 선택의 핵심

- 모든 세대가 끝나면, 세대별 최고 개체를 계속 추적해 전체 과정에서 최고 Fitness를 낸 Genome을 최종 해로 선택.
- 최종 결과로 제공되는 정보는 최적 형태 좌표(positions/effective_positions), 최적 배치(plane_offset_x/y)와 회전(rotation_steps, 목표별 점수(fitness_scores)이며, 목표별 점수로 좋은 이유 분석이 가능함.

3) 유전 알고리즘을 활용한 필지 통합 시스템

- Plane 기반 좌표 변환과 필지 포함(Site Containment) 검증으로, 생성된 레이아웃이 필지 내부에 놓이도록 보장함. 유전 알고리즘은 배치 변수로 Plane 오프셋($\pm 10m$)과 회전($0 \cdot 90 \cdot 180 \cdot 270^\circ$)을 동시에 최적화해 필지 형태에 맞는 최적 배치를 찾음. Rhino의 Plane(원점, X축, Y축)을 이용해 그리드 좌표를 월드 좌표로 변환함.
- 요약하면, Plane(오프셋·회전)로 레이아웃을 월드 좌표에 놓고, 필지 포함 검증으로 밖으로 나간 셀을 제거한 유효 레이아웃만을 가지고 유전 알고리즘이 최적 배치를 찾는 구조임.

① Plane 기반 좌표계(좌표 변환·오프셋·회전)

- 좌표 변환 : 'get_world_point_from_plane'가 로컬(local_x, local_y)을 월드 좌표로 변환해 셀(예: (2,3))의 실제 위치를 만들고 Geometry를 생성함.

- 오프셋 평면 생성 : 'create_offset_plane'이 base_plane을 genome의 'plane_offset_x/y'만큼 이동한 새 Plane을 만들며, GA가 이 값을 최적화해 배치 중심성을 조정함.
- 90도 단위 회전 : 'rotate_local_coords'가 'rotation_steps(0~3)'에 따라 로컬 좌표를 0·90·180·270° 로 회전시켜, 필지 방향에 맞는 배치 탐색을 가능케 함.

② Site Containment 검증(필지 밖 셀 판별)

- 'check_site_containment'는 각 셀이 필지 내부인지 단계적으로 검사함:
 - 좌표변환·회전 적용 후 셀 Polyline 생성
 - Polyline의 꼭지점 추출
 - 각 꼭지점이 필지 Curve 내부인지 'Contains'로 테스트(허용오차 0.01m)
 - 전부 내부면 카운트 증가, 하나라도 밖이면 outside 목록에 기록

③ Effective Layout 생성 및 평가에 쓸 유효 레이아웃 정리

- 'FitnessEvaluator._prepare_effective_layout'는 필지 밖 셀을 제거한 effective_positions를 만든 뒤, 이후의 Fitness 평가는 effective_positions 기준으로만 수행함. 즉, 필지 밖으로 튀어나간 셀은 점수에 영향을 못 주게 해서 현실적으로 가능한 배치만 평가되도록 함.

4) Fitness 평가 체계 핵심 요약

- 레이아웃(Genome)을 6개 목표(Shape, Adjacency, Compactness, Site Containment, Room Count, Position)로 채점한 뒤, 가중합으로 최종 Fitness(0~100)를 산출함. 각 목표 점수는 0~100으로 정규화되고, 활성화된 목표만 사용하며, 사용되는 가중치는 자동으로 합=1이 되도록 재정규화됨.

① FitnessEvaluator의 역할

- FitnessEvaluator는 Genome의 적합도를 평가하는 핵심 모듈.
 - 입력: 활성 목표(objectives), 목표 가중치(weights), 레이아웃 설정(layout_type/target_shape/n_cells), 필지 정보(base_plane/site_boundary/site_center).

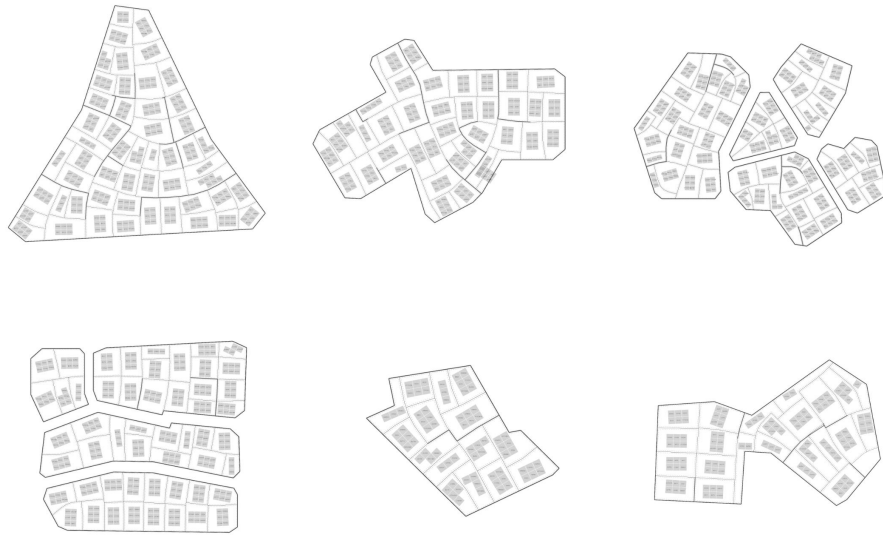
- `\_normalize\_weights`가 활성 목표만 추려 가중치를 다시 맞추므로, 옵션을 꺼도 스코어 구조가 자동으로 정리됨.

② 목표별 평가 로직

- Shape(형태 품질) : jaggedness/indentation/smoothness를 검사해 평균을 Shape 점수로 사용. 기준 미달이면 0점 처리(강한 필터).
- Compactness(압축도) : 바운딩 박스 대비 실제 셀 점유율(직사각형 충실도)을 계산. 높을수록 외피면적↓ → 에너지 효율↑.
- Adjacency(인접성) : 현재 버전은 50점 고정(placeholder). 향후 가중치 딕셔너리로 실제 인접성 평가로 확장 가능.
- Site Containment(필지 포함) : 점수 = $(\text{contained}/\text{total} \times 100) - (\text{outside_count} \times 50)$
 - 필지 밖 셀 1개당 50점 감점으로, 필지 준수를 매우 강하게 유도.
- Room Count(방/셀 개수 일치) : 유효 셀 수와 목표 셀 수 차이를 패널티로 반영.
 - 차이 0이면 100점
 - 많으면 1개당 20점 감점
 - 적으면 1개당 40점 감점(더 큰 페널티)
- Position(중심성) : 셀 중심 평균점과 필지 중심 간 거리로 점수화. 가까울수록 고득점(최대 100). 기준 반경은 10m×1.5로 정규화.

③ 최종 Fitness 계산 흐름(탈락 조건이 핵심)

- `evaluate()`는 다음 순서로 계산하며, 중간에 ‘즉시 0점 탈락’ 조건이 여러 번 있음.
 - `is\_connected`로 연결성 확인 → 끊기면 0점
 - `\_prepare\_effective\_layout`로 필지 밖 셀 제거 후 유효 레이아웃 생성
 - 유효 셀이 비어있거나(또는) 연결이 깨지면 0점
 - 활성 목표별 점수 계산 → scores 딕셔너리에 저장
 - 최종 점수 = $\sum(\text{목표점수} \times \text{정규화된 가중치})$
 - genome.fitness_scores에 개별 점수와 최종 점수를 기록



<그림 5> MacroLayoutGenerator의 결과

2.4 모듈 3: RoomVariantOptimizer(파동함수 붕괴(WFC) 기반 내부 공간 최적화 (상세 평면 생성))

1) 시스템 개요

- Variant Optimizer는 복잡한 공간 제약(실 연결, 가구 배치, 동선 등)을 만족하도록 건물 평면도에 실 변형을 자동 배치하는 레이아웃 생성 시스템임. 건축 규칙을 이해하는 지능형 퍼즐 솔버(solver)처럼 작동함.
- 배치 엔진을 완전 재작성하여 고급 디버깅, 포괄적 제약조건 검증, 다양한 최적화 전략을 제공함.
- 핵심 혁신은 하이브리드 접근:
 - Wave Function Collapse(제약 만족 기반 생성 원리) + Minimum Remaining Values(가장 선택지가 적은 변수부터 채우는 휴리스틱) + 유전 알고리즘(진화적 최적화)을 결합하여, 제약 만족(가능한 해 만들기), 지능형 탐색(빠른 수렴), 최적화(품질 향상)를 동시에 추구함.
- 변형 최적화 시스템이 특별한 이유는 건축 프로그램의 복잡도에 따라 선택할 수 있는 3가지 뚜렷한 배치 전략을 사용함.
 - RANDOM: 스마트 백트래킹 기반의 빠른 제약 만족 → 반복 테스트/빠른 시도
에 유리

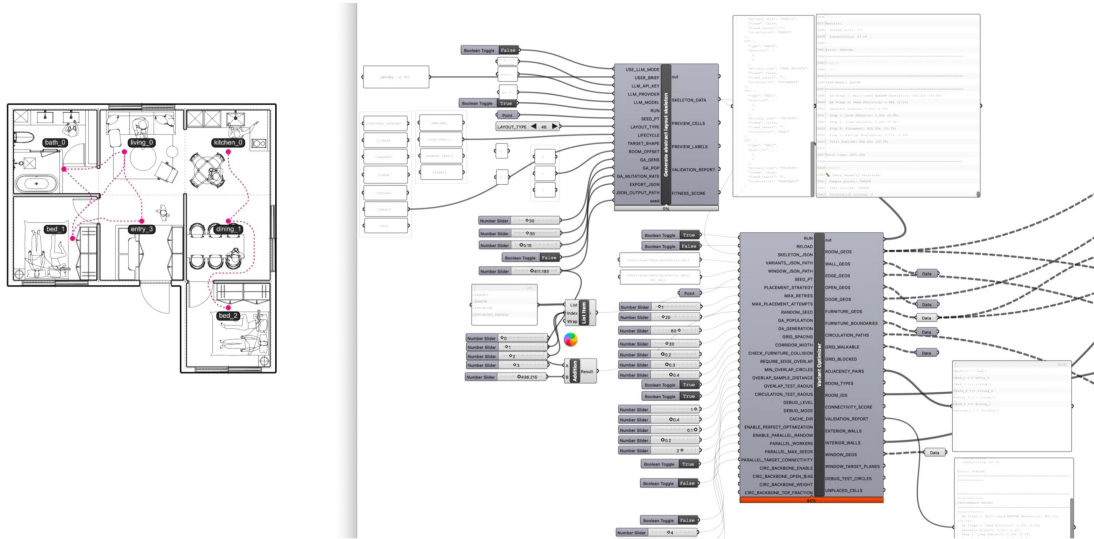
- OPTIMIZED: 유전 알고리즘으로 해를 진화시켜 연결성·공간 품질을 개선
- OPTIMIZED_PROCESS: 일단 유효 해를 만든 뒤 지역 탐색(local search) 으로 추가 개선
- DebugStorage로 배치 과정의 기하학 검증 데이터를 기록해, 어떤 배치가 왜 실패/성공했는지 시각화 할 수 있어 시스템을 투명하고 조정 가능하게 만듦.

2) 시스템 아키텍처

- 변형 최적화 시스템은 각 구성 요소가 특정 책임을 가진 계층화된 아키텍처로 구축되어 있음. 이 구조는 각 부분이 어떻게 결합되어 완전한 레이아웃 생성시스템을 만드는지 제시함.

① 역할 중심의 핵심 구성요소

- SmartWFC_MRV : Wave Function Collapse 및 Minimum Remaining Values 로 배치를 조율하는 메인 배치 엔진.
- DebugStorage : 겹침 검사, 동선 분석 등 검증 과정의 시각화 데이터를 기록하는 중앙 디버깅 인프라.
- CompatibilityRules : 공간 제약조건과 검증 규칙을 정의하는 룰/설정 객체
- MultiEdgeConstraintChecker : 배치된 변형이 주변 인접 셀들과 호환되는지 (인접 제약 충족 여부)를 검사하는 검증 모듈.
- ConnectivityRepairer : 그래프 분석으로 실 간 연결(동선) 문제를 찾아 경로를 개선/복구하는 후처리 시스템.
- CirculationAdjacencyGenerator : 보행 가능한 그리드와 포털을 만들어 사람 이동 가능 동선과 인접성을 분석하는 생성 및 분석 모듈.
- 요약하면, SmartWFC_MRV가 배치를 만들고, CompatibilityRules·MultiEdgeConstraintChecker가 규칙 준수를 보장하며, CirculationAdjacencyGenerator·ConnectivityRepairer가 동선을 분석·개선하고, DebugStorage가 그 모든 과정을 보이게 기록하는 구조임.



<그림 6> RoomVariantOptimizer 시스템 아키텍처

3) 시스템 작동 방식

- 시스템 작동 방식 개념은 제약 만족으로 가능한 평면을 만들고 (RANDOM/WFC·MRV), 필요하면 GA나 지역탐색으로 품질을 끌어올린 뒤, 기하동선 검증과 그래프 기반 연결성 분석 및 복구로 실제로 걸어 다닐 수 있는 평면까지 다듬는 5단계 엔진임.
- 전체 과정을 요약하면, 설정·초기화 → 전략적 배치(3가지 전략 중 선택) → 제약 조건 검증(모서리/기하/가구) → 연결성 분석(동선 그래프) → 연결성 복구(후처리 개선)이며, 상세한 내용은 다음과 같음.

① 1단계: 설정 및 초기화

- 스켈레톤 로딩(JSON) : 존재하는 셀, 위치, 각 셀이 요구하는 실 타입을 읽어 내부 매핑 구조 생성하며, 이진 건물의 평면 형태와 프로그램으로 고려할 수 있음.
- 변형(Variant) 로딩 : 벽·문·창·가구가 포함된 실 디자인 후보들을 로드하고, 반복 실행을 대비해 캐싱(caching)¹⁸⁾함.
- 가구 타입 파싱¹⁹⁾ 강화 : BED 같은 단순 배열부터 중첩 JSON 문자열까지 다양

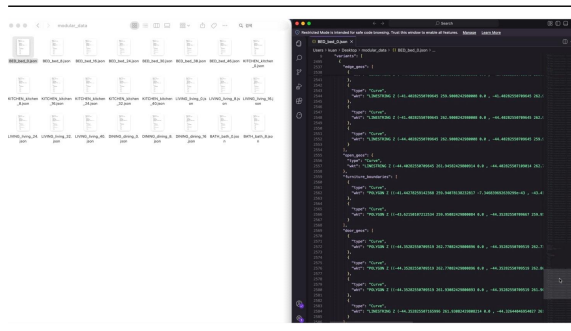
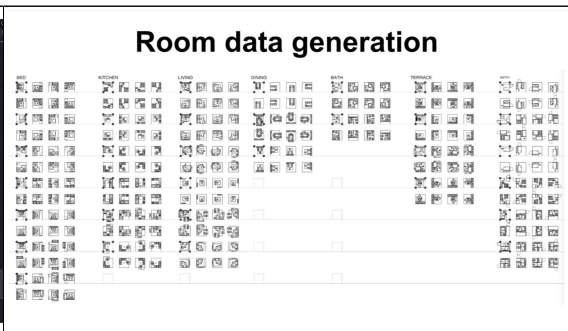
18) 캐싱(caching) : 한번 불러오거나 계산한 결과를 임시 저장해 두고, 다음에 또 필요할 때 재사용하는 것

19) 파싱(parsing) : 입력으로 들어온 문자열/데이터를 규칙에 따라 해석, 프로그램이 쓰기 쉬운 구조로 분해·변환

한 형식을 정규화된 가구 리스트로 변환하여 침실의 침대 요구 등 매칭에 활용함.

- 규칙 생성(CompatibilityRules) : 벽 연결 허용, 겹침 원 최소 개수, 가구 충돌 검사 등 제약 적용 강도 및 매개변수를 설정.

[표 1] Room generator 데이터 구축 및 설정 작업

	
유닛 데이터 생성 과정	유닛 데이터 생성

② 2단계: 전략적 배치(3가지 모드)

■ RANDOM: 빠른 제약 만족을 위해 스마트 백트래킹 사용

- RANDOM 전략은 교육받은 추측을 하고 막다른 골목에 부딪히면 되돌아가는 스마트 퍼즐 솔버와 같은 방식으로, 다음과 같은 특징으로 일반 백트래킹과 구분됨.
 - 첫째, ENTRY(현관) 먼저 외벽에 배치(문이 외부를 향하게)해 접근성 확보.
 - 둘째, MRV(최소 남은 값)로 선택지 가장 적은 셀부터 채움(스도쿠식).
 - 셋째, 전방 확인(Forward checking)으로 배치가 주변을 해결 불가능하게 만들지 사전 검증
 - 넷째, 여러 후보가 가능하면 가중 확률 선택(모서리 호환성/인접 선호 반영).
 - 다섯째, 실패 시 충돌 원인 분석 기반 백트래킹으로 문제 셀을 전략적으로 되돌림.
 - 연속 실패에 따라 백트랙 깊이 증가 및 문제 셀만 지우는 스마트 재시작 가능.

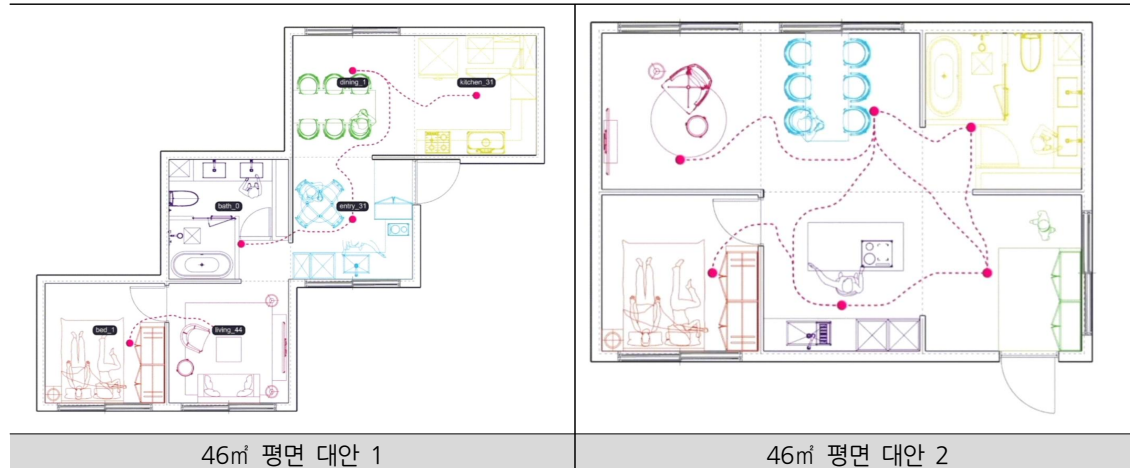
■ OPTIMIZED: 유전 알고리즘(GA)로 품질 진화

- 과정을 요약하면, RANDOM으로 유효 해 20개 초기 집단 생성 → 적합도 평가 → 토너먼트 선택 → 교차(배치 교환) → 돌연변이(실 위치 교환) → 엘리트 유지하며 30세대 반복.
- 유효한 해를 넘어 연결성 및 공간 품질이 더 좋은 해를 찾는 데 강점.

■ OPTIMIZED_PROCESS: 지역 탐색(Local search)

- 유효 해를 만든 뒤 작은 변경으로 개선하는 중간 전략.
- RANDOM보다 품질 좋고, GA보다 빠르게 고품질 결과를 노릴 때 유리.

[표 2] 생성된 평면 대안 (46㎡ 유형)



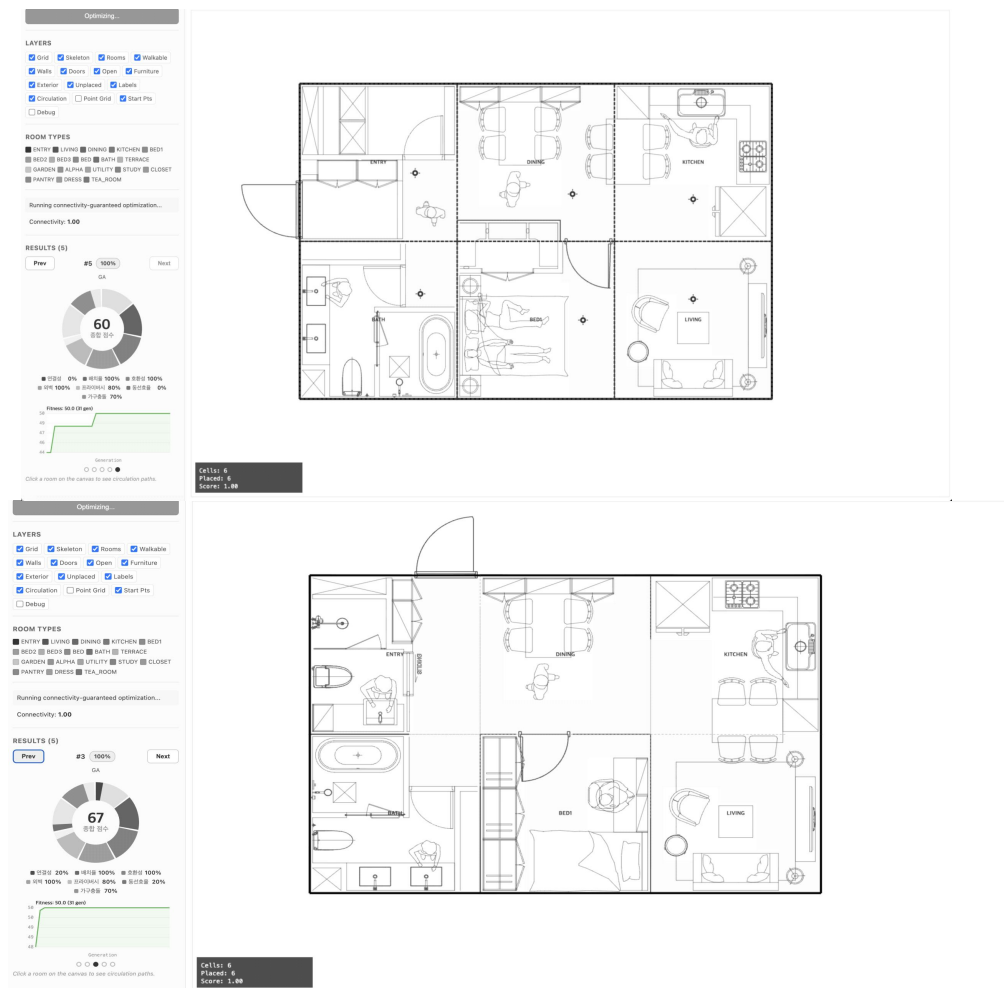
③ 3단계: 제약조건 검증(배치 내내 상시 수행)

- 모서리 호환성 규칙으로 인접 실의 경계가 맞는지 검사하며, 다음 규칙 적용
 - WALL-WALL 허용, OPEN-OPEN 허용, DOOR-OPEN 허용, DOOR-DOOR 불허(동선 문제) 등
 - ENTRY/테라스/남쪽 벽 거실 같은 특수 규칙도 적용.
- 기하학적 겹침·동선 검증(원 기반 샘플링²⁰⁾):
 - 모서리 따라 포인트 샘플(기본 0.4m 간격)
 - 작은 원(반경 0.1m)으로 개구부 정렬(겹침) 확인
 - 큰 원(반경 0.4m)으로 가구 충돌(통과 가능) 확인
 - 최소 1개 겹침 성공 및 동선 차단 없음일 때만 연결 인정.
- DebugStorage 시각화로 샘플 포인트, 검사 원, 동선 원 등을 기록해 성공·실패 이유를 시각적으로 식별하도록 만듦.

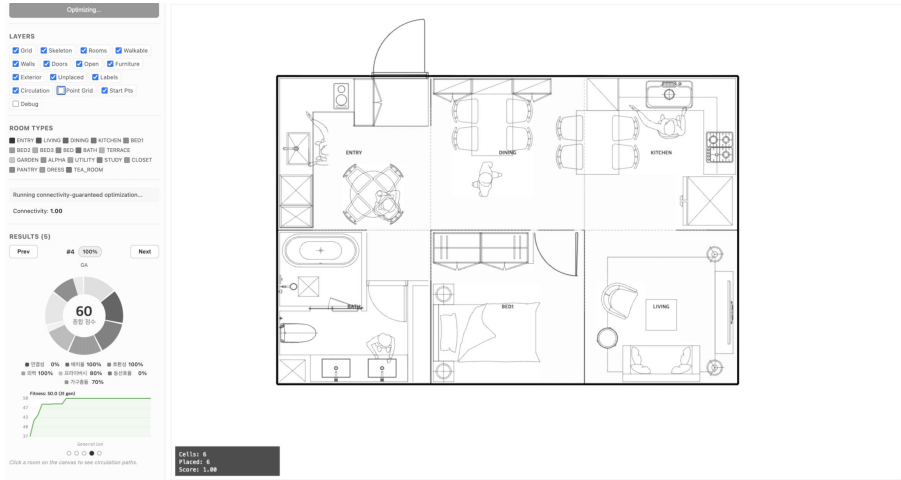
20) 원 기반 샘플링(circle-based sampling)은 연결부(문, 개구부) 주변을 여러 지점에서 '원'을 찍어가며 통과 가능성을 검사하는 방법임. CAD, 기하에서는 복잡한 폴리라인·메쉬끼리 정확한 교차, 가시성, 통과 가능성을 매번 해석적으로 계산하는 게 비싸고 까다롭기 때문에, 작은 테스트 도구(원)를 이용해 대략이지만 안정적으로 판정

④ 4단계: 연결성 분석(동선 성능 평가)

- 실 내부에 보행 가능 그리드 생성(기본 0.1m 간격). 벽 근접·가구 내부는 차단.
- 실 사이 연결부에 포털 브리지 생성
 - WALL은 차단(브리지 없음), OPEN은 개구부 따라 다중 브리지, DOOR는 문 위치에 브리지.
- NetworkX로 그래프 구성 후 Dijkstra 최단경로로 실 간 도달 가능성을 계산해 연결성을 점수화하며, 분석 결과는 후처리 복구에 사용됨.
 - 95%+ 우수, 70% 이하면 고립/차단 가능성 큼.



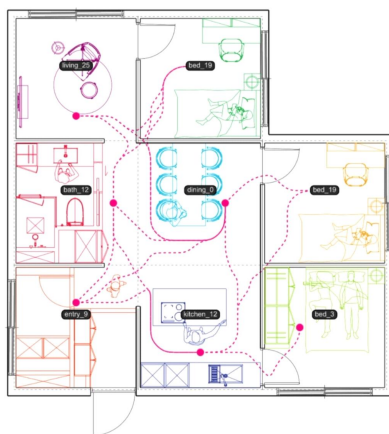
<그림 7> 46㎡ 평면 대안 평가 사례 2



<그림 8> 46㎡ 평면 대안 평가 사례 3

⑤ 5단계: 연결성 복구(후처리 개선)

- 연결이 약한 셀을 그래프 지표로 찾음
 - Degree(연결 수), Betweenness(경로 중심성), 구성요소 분리 기여 등
- 문제 셀에 대해 같은 실 타입의 대안 변형을 탐색
 - OPEN 모서리 수는 많을수록 유리하고, 이웃 호환성으로 점수화한 후 교환 시도하여 연결성 개선하는 변경은 유지하고 악화시키거나 제약조건을 위반 하는 경우 변경 거부
- 탐욕적 언덕 오르기 방식으로 개선되는 변경만 채택, 악화는 거부.
 - 기본 30회 반복하며 점진적으로 연결성을 올려 최소한 시작보다 나빠지지 않음을 보장.



<그림 9> RoomVariantOptimizer 완성된 산출물 64㎡ 평면

4) 모델의 주요 기능

① 완전한 디버그 시스템(DebugStorage)

- 배치 과정에서 수행되는 기하학 검증을 전부 시각화하며, 예를 들면, 샘플 포인트, 겹침 테스트 원, 동선 원, 성공률 및 검사 횟수 통계 등이 있음.
- 임시 버퍼에 저장했다가 성공한 시도만 최종 확정해 저장하여, 실패 데이터 누적을 방지하면서 성공 케이스는 보존함.

② UNPLACED_CELLS 출력 : 실패 위치 지정

- 배치가 실패/부분 성공이면 못 채운 셀의 경계상자를 출력해 문제 지점을 즉시 파악 가능하고, 그냥 실패가 아니라 어디가 문제인지 바로 진단 가능함.

③ 3가지 배치 전략 : 속도-품질 선택

- RANDOM(초 단위) : 빠른 반복 테스트용
- OPTIMIZED_PROCESS(10~30초) : 중간 속도 및 품질(유효해 도출 후 지역개선)
- OPTIMIZED(30~90초) : 가장 느리지만 최고 품질(유전 알고리즘)
 - 단일 전략의 한계를 벗어나 상황별로 적절한 도구 선택 가능.

④ TERRACE 처리 강화 : 야외공간 규칙 명확화

- TERRACE/BALCONY/GARDEN 같은 야외 공간에 특수 규칙 적용:
 - TERRACE는 DOOR 없이 WALL/OPEN만
 - TERRACE-TERRACE는 OPEN-OPEN 필요
 - 내부 연결은 OPEN-WALL 또는 OPEN-OPEN 허용
 - 창 배치에서 TERRACE는 제외하여 야외공간이 분리되면서도 열려 있는 성격을 유지.

⑤ ALPHA 제외 기반 창 배치 및 가구 충돌 회피

- 서비스 및 기계실 성격의 ALPHA 실은 창 배치에서 제외하고, 침실, 거실, 식당 같은 거주 가능한 실 외벽에만 창을 배치.
- 창 배치 전 가구 여유 공간을 확인해 창틀이 가구와 충돌하지 않게 함.

- 모서리 방향에 맞춰 창 평면을 생성해 정확한 위치 및 각도에 인스턴스화 가능.
- ⑥ 적응형 재시도 로직 : 난이도에 적응하는 재시도 메커니즘
 - 건물 크기에 따라 재시도 한도 스케일링을 설정하며 큰 건물은 더 많이 시도함.
 - 연속 실패 시 백트랙 깊이 증가하여 더 공격적으로 되돌림.
 - 스마트 재시작은 잘 연결된 셀은 유지한 채 재시작 가능함.
 - 충돌 지향 백트래킹은 최근 셀만이 아니라 제약 위반 원인 셀을 제거함. 이를 통해 이전 버전이 풀기 어려웠던 케이스도 해결 가능성이 크게 증가함.
- ⑦ 시스템 사용법 핵심 요약
 - 최적화 시스템은 Grasshopper 환경 내에서 사용되도록 설계되었으며, 입력 매개 변수는 다음과 같음.
 - SKELETON_JSON : 그리드/셀 위치/실 타입 할당 정의(JSON 문자열)
 - VARIANTS_JSON_PATH : 실 변형 정의 JSON 파일 경로
 - PLACEMENT_STRATEGY : RANDOM / OPTIMIZED / OPTIMIZED_PROCESS
 - MAX_PLACEMENT_ATTEMPTS : 최대 시도 횟수로 기본값은 50임.
 - DEBUG_MODE : 디버그 시각화 on/off
 - LIVING_SOUTH_MUST_WALL : 거실 남쪽 벽 제약 on/off
 - WINDOW_JSON_PATH : 자동 창 배치용 창 객체 JSON 경로

2.5 모듈 4: UrbanGraphRAG(LLM기반 공간 이해 및 자연어 인터페이스 시스템)

1) 시스템의 핵심 목표

- UrbanGraphRAG의 정체 : 필지 분할→매크로 배치→평면 최적화로 생성된 건축단지 계획 결과물 즉 도면을 LLM이 이해·분석할 수 있게 번역해주는 지능형 인터페이스임. 설계자가 자연어로 질문하면, 시스템이 공간 분석을 실행하고 인사이트까지 돌려주는 역할임.
- 기존 자동화 시스템이 도면을 만들기는 하지만, 활용·검토·의사결정에는 전문지식과 수작업 검토가 필요했음. UrbanGraphRAG는 그 간극을 메워서 자연어 기

반 분석 및 검토를 가능하게 하는게 목적임.

○ 핵심 목표 3가지는 다음과 같음.

- LLM의 공간 이해 한계 극복 : LLM은 텍스트 토큰 기반이라 좌표 및 폴리곤 (WKT 등)을 보고 면적·종횡비·형상 같은 기하 특성을 직접 계산하거나 추론하지 못함. 그러므로 기하 연산은 시스템이 대신 수행하고, 결과를 LLM이 이해 가능한 형태로 변환함.
- 자연어 기반 공간 분석 인터페이스 : “남쪽에 있는 정방형 필지 10개 선택해 줘” 같은 질의를 해석해 실행하고 결과 반환함.
- 설계 의사결정 지원 : 단순 조회가 아니라 분석 결과를 근거로 세장형 필지 합필 고려 등의 조언이나 인사이트까지 생성함.

2) LLM의 공간 이해 한계와 해결 전략

- LLM은 대규모 텍스트 코퍼스 기반으로 학습되어 입력 데이터를 토큰이라는 단위로 분절하여 처리함. 이 과정에서 건물, 도로, 필지 같은 언어적 개념은 잘 다루지만, (172.5, 45.2, 0)과 같은 좌표값이나 기하 표현은 단순한 숫자와 기호 나열로 인식함.
- 공간의 이해는 3가지 층위로 구분됨.
 - 기하학적 층위(면적·둘레·좌표 등): LLM 단독 처리 불가능하여 외부 함수 호출 필수
 - 서술적 층위(도로 접합, 블록 포함 등 관계): 지식그래프 기반 추론 가능
 - 개념적 층위(가로 활성화, 도시조직 위계 등): LLM 컨텍스트 내 추론 가능
- 핵심 전략은 LLM에게 기하학을 가르치는 게 아니라, 기하 계산은 외부 함수가 하고 LLM은 그 함수들을 오케스트레이션해서 해석하고 판단을 수행하도록 설계함.
 - LLM은 “이 필지의 면적을 구하라”는 요청을 받으면 `compute_area()` 함수를 호출하고, 그 결과를 바탕으로 “이 필지는 245㎡로 소규모 단독주택에 적합합니다” 라는 추론 수행

3) 시스템 아키텍처

- 시스템 아키텍처는 좌표→속성→관계→추론으로 공간 정보를 점진적으로 추상

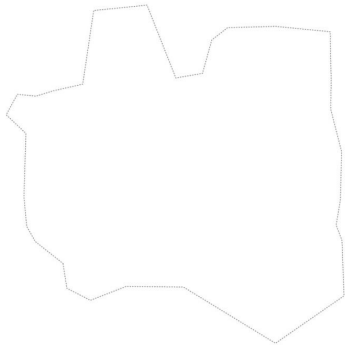
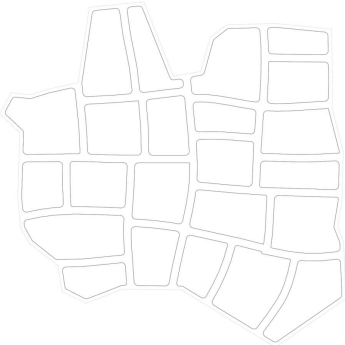
화해, LLM이 계산은 외부에 맡기고 의미와 판단을 담당하도록 만든 설계임.

- 전체 구조 4단계 파이프라인 UrbanGraphRAG는 Geometry → Ontology → Knowledge Graph → LLM Reasoning 순으로 처리하면서, 좌표 및 폴리곤 같은 원시 기하 정보를 의미(속성)→관계(그래프)→질의응답(에이전트 추론)으로 변환함.

① Stage 1. Geometry: 기하 정보 수집

- 다음과 같은 세 가지 알고리즘 모듈의 출력을 수집함.
 - TargetAreaParcelSplitter: 블록/필지 분할 + 도로 네트워크
 - MacroLayoutGenerator: 셀 그리드 + 실 타입 할당
 - RoomVariantOptimizer: 상세 평면(실 단위) 데이터
- 시스템의 핵심 설계 결정 포인트는 ID 동기화임.
 - Blocks[5]의 ID=5, Parcels[12]의 ID=12처럼 리스트 인덱스와 ID를 일치시켜 LLM이 “필지 12번”이라고 말하면 시스템이 정확히 동일 객체를 참조하도록 함.
- 도로 네트워크도 위계적으로 구성됨.
 - BlockStreets(주요 도로)과 GeneratedStreets(내부 접근 도로)와 같이 주요 도로변과 내부 도로변을 다른 규칙으로 분석 가능. [표 3]과 같이 계층적 분할 과정으로 계획안이 완성되며, 각 단계에서 도로 네트워크가 함께 갱신되어 모든 필지의 접도를 보장함.

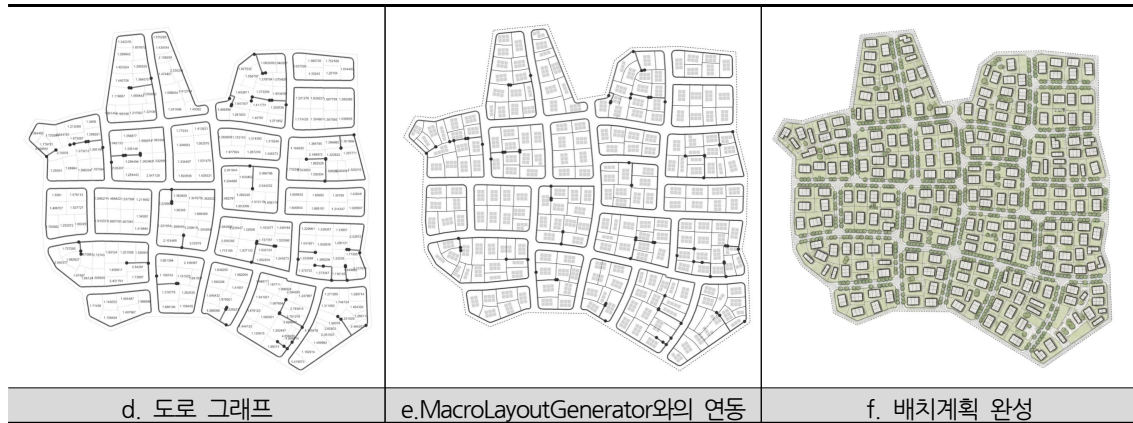
[표 3] 계층적 분할 시퀀스 -Stage1

		
a. 대지 경계	b. 블록 분할	c. 필지 분할

② Stage 2. Ontology - 기하 정보의 의미론적 변환

- 기하 데이터를 온톨로지 즉, 속성과 관계의 정형 표현으로 바꿈.

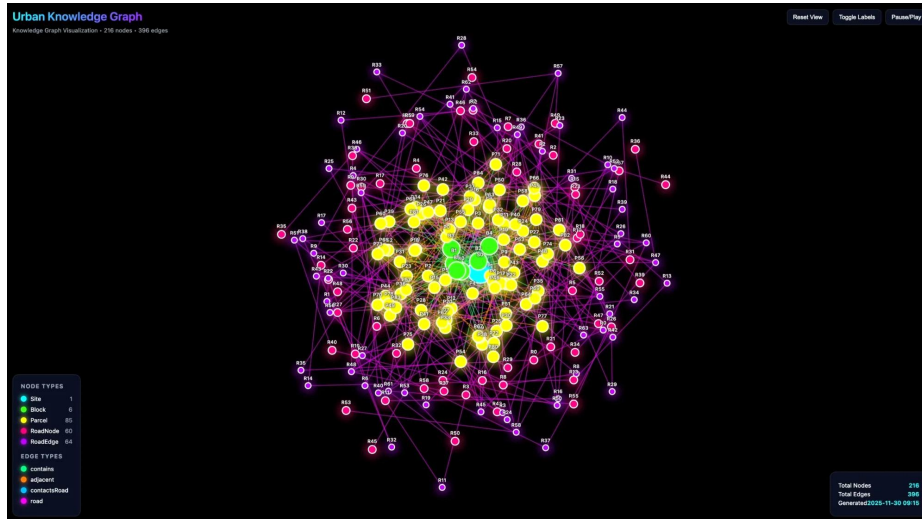
[표 4] 계층적 분할 시퀀스 - Stage 2



- 시스템은 2가지 형태의 온톨로지 출력을 생성함.
 - OntologyJSON은 기계 처리에 최적화된 JSON 형식의 구조화된 데이터임. 각 공간 요소인 Site, Block, Parcel에 대해 면적, 중형비, 최소폭, 비정형도, 접도율 등의 정량적 속성을 포함함. 또한 형태 분류 기능을 통해 폴리곤의 꼭짓점 수, 볼록성, 중형비 등을 분석하여 rectangular인 직사각형, L-shaped인 ㄱ자형, triangular인 삼각형, irregular인 비정형 등으로 자동 분류함.
 - OntologyText는 LLM의 컨텍스트 윈도우에 직접 주입될 수 있는 자연어 형태의 설명임. 예를 들어 "필지 0은 면적 245.32m²의 직사각형 형태로, 중형비 1.45, 접도율 0.85를 가진다. 블록 2에 소속되어 있으며, 필지 1, 3과 인접한다."와 같은 형식으로 생성됨. 이러한 자연어 표현은 LLM이 공간 정보를 맥락적으로 이해하고 추론하는 데 활용됨.
- 핵심 기하 함수는 면적, 중형비, 최소폭, 비정형도, 접도(길이·비율), 형태분류, 인접성(공유경계 포함)을 계산함.

③ Stage 3. Knowledge Graph - 관계의 명시화

- 온톨로지를 <그림 10> 과 같이 지식그래프(노드-엣지)로 변환해 관계를 명시적으로 모델링함.
 - <그림 10>과 같이 노드 색상은 유형을 구분: Site(청록색), Block(녹색), Parcel(노란색), RoadNode(분홍색), RoadEdge(보라색). 총 216개 노드와 396개 엣지로 구성된 그래프를 생성할 수 있음.



<그림 10> Knowledge Graph 시각화 (D3.js 기반)

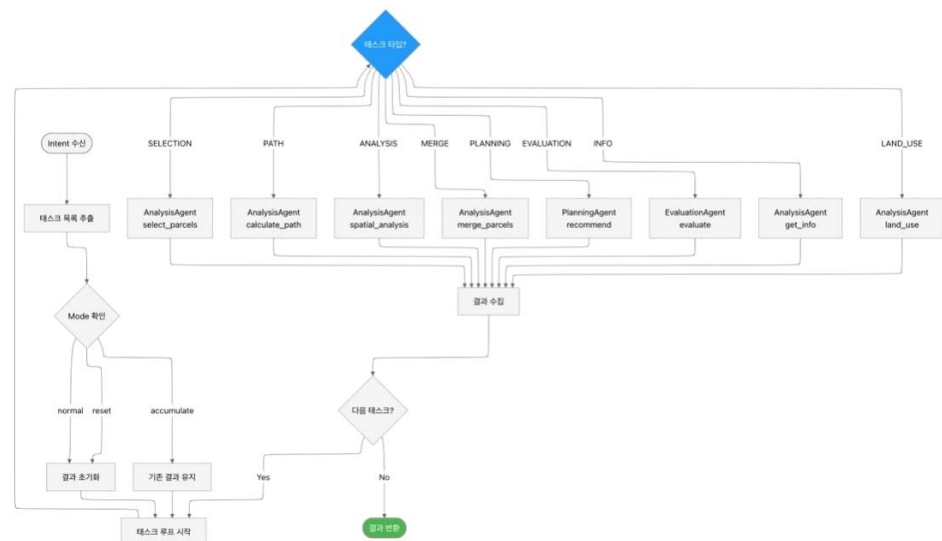
- 주요 노드 유형은 Site, Block, Parcel, Cell, Room, RoadNode, RoadEdge 등이 있음.
- 주요 관계유형은 다음과 같음.
 - contains은 포함관계를 나타내며, Site→Block→Parcel→Cell→Room 관계정의
 - adjacentTo(인접)
 - contactsRoad(도로 접합: Parcel→RoadEdge)
 - startsAt/endsAt(RoadEdge의 양 끝)
 - hasRoomType(Cell→RoomType)
- 그래프 출력 포맷 3종은 Turtle(RDF), Cypher(Neo4j 임포트), JSON-LD(웹/JS 친화)임. 이 그래프 덕분에 LLM이 거실과 인접한 모든 침실 찾아라” 같은 질의를 거실 식별 → 인접 탐색 → 침실 필터링 순으로 처리 가능함.

[표 5] Knowledge Graph 시각화 과정

<p>온톨로지로 정의된 공간·도로 정보를 노드-엣지 기반 지식그래프로 변환해, Site→Block→Parcel→Cell→Room 등의 관계를 명시적으로 모델링. 노드 색상은 유형을 구분하며(Site 청록, Block 녹색, Parcel 노랑, RoadNode 분홍, RoadEdge 보라), 총 216개 노드·396개 엣지로 구성.</p>	<p>(왼쪽) 실제 필지·블록·도로로 구성된 공간 배치, (오른쪽) 이를 지식그래프(노드-엣지 구조)로 변환한 결과를 시각화. 공간 요소 간의 포함·인접·도로 접합 관계가 그래프로 명시되며, 물리적 도시 구조가 계산가능한 관계 구조로 전환. 즉, 설계정보가 LLM이 탐색·추론 가능한 구조적 데이터가 됨.</p>

④ Stage 4. LLM Reasoning: 다중 에이전트 추론

- 복잡한 공간 질의를 단일 LLM 호출로 처리하기 어려워서, 역할 분담 에이전트 구조를 사용하며, 에이전트 구성은 다음과 같음.
 - CoordinatorAgent : 의도 파악, 태스크 분해/순서 결정, 언어 감지
 - ParameterAgent : 분석 파라미터 결정
 - ValidationAgent : 파라미터·결과 검증 및 자동 보정(오류 유형 분류 포함)
 - ResponseAgent : 결과를 사용자 친화적 자연어로 정리
- 지원 태스크 타입은 선택(SELECTION), 최단경로(PATH), 분석(ANALYSIS), 합필(MERGE), 배치추천(PLANNING), 품질평가(EVALUATION), 조회(INFO), 용도(LAND_USE)가 있음. <그림 11>과 같이 태스크 타입에 따라 적절한 Analysis Agent가 선택되어 실행되며, Mode(normal, reset, accumulate)에 따라 결과 초기화 또는 누적이 결정됨.
- 시스템은 Claude, GPT, Gemini 등 다중 LLM 제공자를 지원함. API 키가 없어도 키워드 기반 폴백이 작동하여 고밀도, 상업용 등 키워드만으로 기본적인 제어 가능.

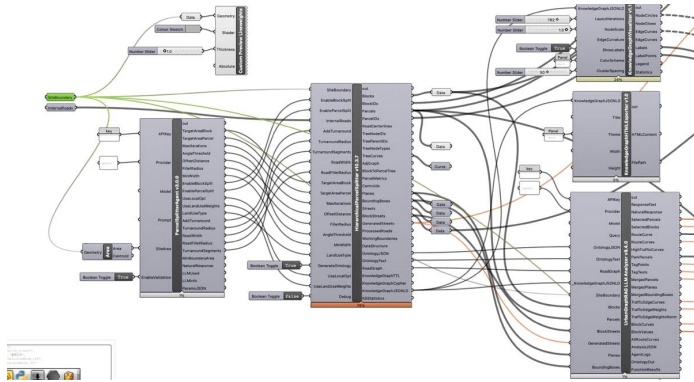


<그림 11> 다중 에이전트 태스크 처리 플로우.

4) 통합 알고리즘과의 연동

- UrbanGraphRAG는 앞서 설명한 세 가지 알고리즘 모듈과 긴밀하게 통합되어 있음. 각 모듈의 출력이 지식그래프의 특정 계층을 구성하며, 이를 통해 전체 설계 파이프

라인에 걸친 일관된 공간 분석이 가능함. <그림 12>는 Grasshopper 캔버스 전체 구성이며, 좌측부터 ParcelSplitterAgent(LLM 파라미터 생성), Hierarchical ParcelSplitter(기하 분할), KnowledgeGraphVisualizer(그래프 시각화), UrbanGraphRAG LLM Analyzer(공간 분석)가 순차적으로 연결된 상황을 보여줌.



<그림 12> Grasshopper 캔버스 전체 구성

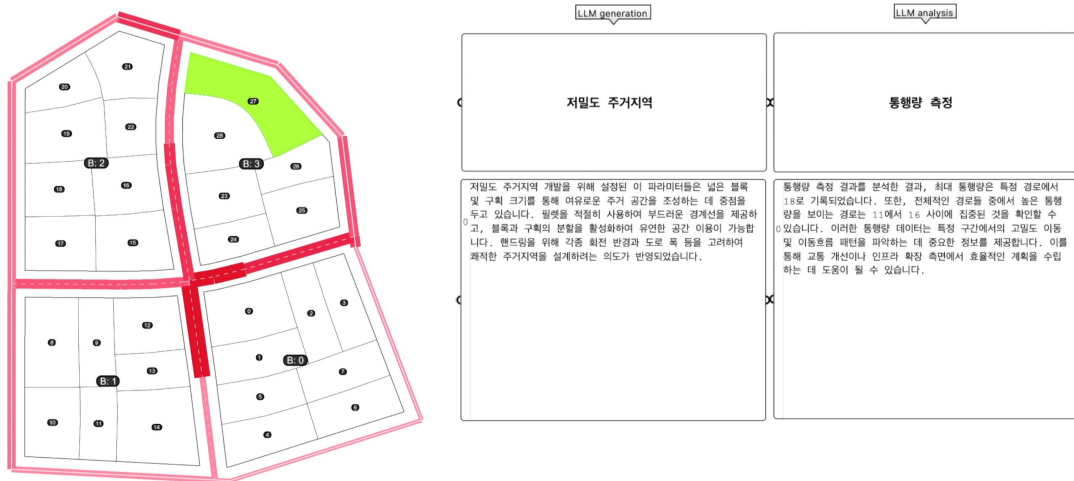
① TargetAreaParcelSplitter 연동

- 분할된 필지는 지식그래프의 Parcel 노드로 변환됨. 각 필지 속성인 면적·종횡비·최소폭·비정형도가 온톨로지에 저장됨. 그리고 필지간 인접 관계가 adjacentTo 엣지로 연결됨. 도로망은 RoadNode 및 RoadEdge로 표현되며, 필지의 접도는 contactsRoad로 명시됨.

[표 6] 알고리즘 산출물

<p>복합 질의 처리 결과: "get 10 parcels at north, get shortest routes to center parcel". 선택된 필지(검정 경계)와 최단 경로(파란 라인), 공원 필지(녹색) 표시.</p>	<p>교통량 분석 결과: 도로 구간별 통행량 시각화(붉은색=교통량). 26개 필지를 연결하는 314개 경로 분석 결과, 최대 117회 통과 구간이 식별됨.</p>

- 결과적으로 “남쪽 + 정방형 + 접도율 상위 10개” 같은 복합 조건 선택 질의가 가능해짐. 시스템은 먼저 모든 필지의 중심점 y좌표를 확인하여 남쪽 필지를 필터링하고, 종횡비가 1.0에 가까운 정방형 필지를 선별한 후, 접도율 기준으로 정렬하여 상위 10개를 반환함.



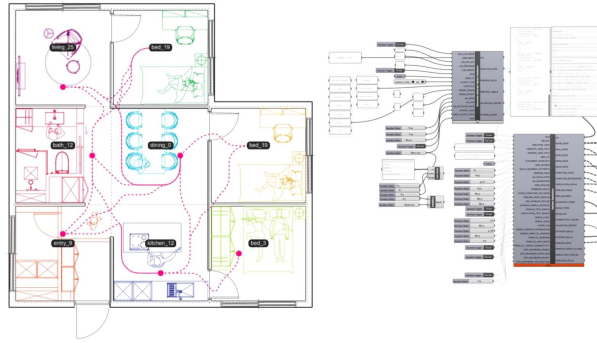
<그림 13> 통행량 측정 관련 LLM분석 생성

② MacroLayoutGenerator와의 연동

- MacroLayoutGenerator의 출력인 SKELETON_DATA는 지식그래프의 Cell 노드로 변환됨. 각 셀의 그리드 좌표, 할당된 실 타입, 프라이버시 존 정보가 기록됨. 셀 간 인접 관계는 adjacentTo로, 셀에 할당된 실 타입은 hasRoomType으로 연결됨.
 - 이를 통해 "거실과 인접한 침실의 위치를 분석해줘"와 같은 공간 구성 질의가 가능해짐. 시스템은 지식그래프에서 hasRoomType이 LIVING인 셀을 찾고, adjacentTo 관계를 통해 인접 셀들을 탐색한 후, hasRoomType이 BED인 셀들을 필터링하여 결과를 반환함.

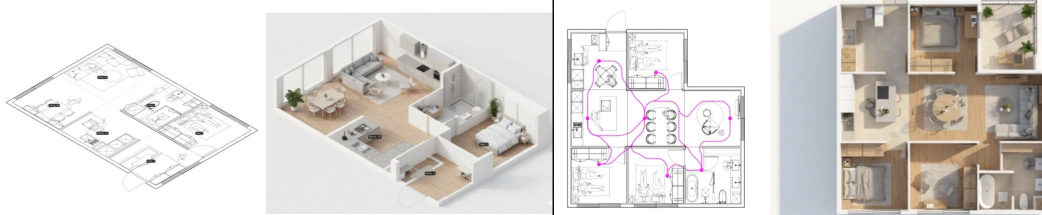
③ RoomVariantOptimizer 연동

- RoomVariantOptimizer의 출력인 상세 평면 데이터는 지식그래프의 Room 노드로 변환, 각 실의 경계, 가구 배치, 문과 창 위치가 기록됨. 실 간 연결 관계는 connectsTo로 명시, 이는 RoomVariantOptimizer의 연결성 분석 결과로 도출함.
 - 이를 통해 "현관에서 거실까지의 동선을 분석해줘"와 같은 동선 분석 질의가 가능해짐. 시스템은 connectsTo 관계를 따라 현관에서 거실까지의 경로를 탐색하고, 경유하는 실들과 거리를 계산하여 결과를 반환함.



<그림 14> RoomVariantOptimizer연동 평면 생성

[표 7] 나노 바나나(Nano Banana)를 활용한 평면 렌더링 이미지 생성 과정



[주] Nano Banana 모델 기반, 공간레이아웃 생성과 이미지 렌더링을 연결하여 데이터중심 설계를 시각적 디자인으로 변환. LLM 추론과 최적화로 데이터 기반 레이아웃을 생성, Diffusion rendering으로 3D이미지까지시각화



<그림 15> 나노 바나나(Nano Banana)를 활용한 렌더링 이미지 변경 대안



<그림 16> Nano Banana 활용 단지계획 및 평면 3D 이미지 생성

3. 결 론

- 본 연구에서 제안하는 AI-LLM설계의 개념은 AI가 설계를 대체하는 것이 아니라 설계 흐름 전체를 계층적으로 최적화하고, 설계자를 더 강하게 만드는 투명한 조력자를 만드는 것임.
- 본 연구의 차별점은 단순 자동화가 아니라 계층적 최적화 및 제약 만족, 형태 탐색, 진화 모델링, LLM 추론을 단계별로 통합한 하이브리드 구조로, 앞 단계 결과를 다음 단계의 제약으로 받아 일관된 설계 파이프라인을 유지하는 것임.
- 투명성과 제어 가능성의 의미는 DebugStorage 기반 디버깅으로 모든 시도 및 검증 기록 및 시각화해, 설계자가 의사결정 근거를 이해하고 파라미터·가중치로 목표를 조절할 수 있게 하는 것임. 즉, 기존 건축가가 직관적으로 판단하는 방식을 정량적인 근거를 축적하는 방식으로 전환함.
- 모듈식 아키텍처는 JSON 인터페이스의 느슨한 결합 덕분에 컴포넌트별 독립 개발 및 테스트가 가능하고, 요구 변경 시 전체 재실행 없이 특정 단계부터 재개할 수 있음.
- 설계자-AI 역할 분담은 설계자는 개념 형성·맥락 판단·창의적 결정, 시스템은 반복 분석·대안 비교·자연어 인터페이스·일관된 품질 생성 담당하는 것으로 계획함.
- 향후 발전 방향은 (1) 탐색·수렴 알고리즘의 고도화와 목적함수 재정의의 통해 ‘빠르게 수렴하는 해’가 아니라 ‘설계 의도에 충실한 고품질 해’를 안정적으로 도출하는 체계를 구축하는 것임. (2) 제약의 통합·확장을 통해 법규·구조·피난·환경 성능 등 다영역 기준을 하나의 검증 체인으로 묶어, 설계 초기 단계부터 규정 적합성과 성능을 동시 만족하는 자동 검토를 가능하게 함. 나아가 사례·선호 학습 기반 개인화, 대화형·실시간 최적화, 3D(볼륨·단면·입면)로의 전개를 통해 2D 배치를 넘어 공간적 완결성을 갖춘 통합 설계 지원으로 확장함.
- 이와 같은 시스템은 자동화 도구를 넘어, 자연어로 의도를 받아 분석·피드백을 제공하며 설계자의 창의성을 증폭하는 지능형 파트너로 진화하는 방향을 제시할 것으로 판단함.