

18CTAP-
C133446
-02

공동주택, 리모델링용
User report integrated data
기술을 적용한
계획수립 및 평가 기준 개발

최
종
보
고
서

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국
토
교
통
부

일반 과제(○) / 공개(○)

국토교통기술촉진연구사업 제 2차 연도 최종보고서

18CTAP-C133446-02

공동주택, 리모델링용 User report integrated data 기술을 적용한 계획수립 및 평가 기준 개발 최종보고서

2019. 04. 24.

주관연구기관 / 세종대학교 산학협력단

국토교통부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제출문

제 출 문

국토교통부(국토교통과학기술진흥원장) 장관 귀하

‘공동주택, 리모델링용 User report integrated data 기술을 적용한 계획수립 및 평가 기준 개발’
(연구개발 기간 : 2017. 06. ~ 2019. 03.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019. 04. 24.

주관연구기관명 : 세종대학교 산학협력단

(대표자) 백성욱



주관연구기관책임자: 정 성 원

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C133 446-02	해당 단계 연구 기간	2018.01.01. ~ 2019.03.30	단계구분	2/2 (해당단계)/(총단계)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	기초원천			
연구과제명	대과제명	공동주택, 리모델링용 User report integrated data 기술을 적용한 계획수립 및 평가 기준 개발			
	세부과제명	-			
연구책임자	정 성 원	해당단계 참여연구원 수	총: 6명 내부: 6명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부: 135,000 천원 계: 135,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 6명 내부: 6명 외부: 0명	총 연구비	정부: 135,000 천원 계: 135,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	세종대학교 산학협력단			참여기업명 : 해당사항 없음.	
국제공동연구	상대국명: 해당사항 없음.			상대국 연구기관명: 해당사항 없음.	
위탁연구	연구기관명: 해당사항 없음.			연구책임자: 해당사항 없음.	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반적인 보안등급				
요 약	본 연구는 ‘사용자 참여 통합 데이터(User report integrated data)’의 실증데이터 확보를 기반으로 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준 개발을 목표로 한다. ○ 공동주택관련 정보수집 및 실태 분석을 통한 URID 도출 - 노후 공동주택 에너지 사용량 조사 및 분석 - 수요자(건물주, 관리자, 거주자)의 요구사항 조사 및 분석 ○ URID 기반 리모델링 적용 요소 도출 및 리모델링 계획 지표 수립 - 정량적, 정성적 건축물사용정보 분류 및 분석 - URID 기반 리모델링 적용 요소 도출 및 가중치 산정 - URID 기반 리모델링 계획 대안 평가 및 계획 지표 수립 ○ URID 기반 노후 공동주택 리모델링 평가 기준 개발 및 보급 - 리모델링 계획지표 기반 거주자 만족도 개선평가 수립 - 리모델링 계획지표 기반 성능 개선평가 수립 - 시공 과정에서의 현장 평가 및 준공 후의 확인 평가를 통한 검증				보고서 면수 73 pages

요약문

연구의 목적 및 내용	본 연구는 그린 리모델링의 가이드라인으로 삼을 만한 명확한 기준의 부재에 따른 정책의 혼선과 리모델링 사업의 비활성화의 문제를 해결하고 실거주자의 주거 만족도 향상을 위해 ‘사용자 참여 통합 데이터(User report integrated data)’의 실증데이터 확보를 기반으로 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준 개발을 목표로 한다. 명확한 리모델링 계획 및 평가 기준 산정을 위해 에너지 효율성 향상, 공간 성능 향상, 쾌적성 및 편리성 향상, 만족도 향상 등과 같은 다중 목표를 설정하고 이들 사이의 가중치 및 중요도를 공동주택 유형/특성별로 나누어 도출한다.
연구개발성과	공동주택관련 정보수집 및 실태 분석을 통한 URID 도출 - 노후 공동주택 에너지 사용량 조사 및 분석 - 수요자(건물주, 관리자, 거주자)의 요구사항 조사 및 분석 URID 기반 리모델링 적용 요소 도출 및 리모델링 계획 지표 수립 - 정량적, 정성적 건축물사용정보 분류 및 분석 - URID 기반 리모델링 적용 요소 도출 및 가중치 산정 - URID 기반 리모델링 계획 대안 평가 및 계획 지표 수립 URID 기반 노후 공동주택 리모델링 평가 기준 개발 및 보급 - 리모델링 계획지표 기반 거주자 만족도 개선평가 수립 - 리모델링 계획지표 기반 성능 개선평가 수립 - 시공 과정에서의 현장 평가 및 준공 후의 확인 평가를 통한 검증
연구개발성과 의 활용계획 (기대효과)	정부의 제도적 기대성과 -정부, 자치단체 등에서 리모델링 계획지표를 리모델링 사업계획 수립에 활용 -리모델링 관련 법령 개정 시 근거자료로 활용 -지역별·계층별 주거환경 현황을 파악해 주거복지 향상 우선순위 설정 기준 제시 기술적 기대성과 -리모델링 가이드라인을 통한 리모델링 계획 기술 증진 -리모델링 관련 교육 및 연구개발 활성화 -성능평가 분야, 수요자 요구사항평가 분야 등 다양한 관점의 지식 및 기술 융합 -수요자의 능동적 참여를 통해 수요자 맞춤형 리모델링 계획기법 개발 기술의 시장성 및 경제적 기대성과 -리모델링 사업관련 일자리 창출 -저렴하고 다양한 주택 리모델링 유형 개발을 통한 건설기술 향상 -정체된 주택시장에 활기, 리모델링 건설시장을 통해 기술 및 국가 경쟁력 향상
국문핵심어 (5개 이내)	공동주택 리모델링 사용자참여 에너지절약 리모델링 계획지표 리모델링 평가기준

〈Summary〉

Purpose	This study aims to develop precise renovation evaluation standard of apartments by collecting 'User Report Integrated Data' which is derived by measuring energy consumption and reflecting user's demand to prevent confusion in the renovation policy and activate renovation business. To develop precise renovation evaluation standard, this study set up multiple objectives containing improvements of energy efficiency, space performance, pleasantness, convenience, user satisfaction etc. and these objectives are classified by housing types and characteristics to derive importance factor. Precise renovation evaluation reflecting apartments system, space performance, user's demand is expected in apartment renovation.				
Contents	Extruding URID through data collection and activity analysis relating to apartments -Data survey and analysis of energy consumption of apartments -Data survey and analysis of User(owner, manager, residents)'s demand. Extruding renovation elements based on URID and Establishing standard of renovation plan -Classify and analyze Qualitative and quantitative building use data -Extrude renovation elements and set weights. -Evaluate plan alternatives based on URID and establish standards of renovation plan. Developing and supplying renovation standard of old apartments based on URID. -Establish developments of renovation standards by surveying resident's satisfaction -Establish developments of renovation standards by evaluating quality of the housing -Validation process is taken by evaluation from visiting site and checking construction quality				
Development Results	Develop and supply renovation standards of apartments based on URID				
Expected Contribution	Expected institutional result from the government. -Central and local government can use the renovation standards on construction plan -Standards can be used as a ground evidence when remodeling a building -Guides priority of the renovation target by analyzing locally and hierarchically. Expected technical results -Technology will be developed using renovation standards. -Vitalizing related education and research development -Converging diverse technology and knowledge such as quality evaluation, user demand. -Developing renovation techniques by adapting user participation. Expected marketability and economical results -Create jobs relating renovation -Develop construction techniques by cheap and diverse housing renovation -Renovation market will rise, and creation of market will eventually increase compatibility of the country.				
Keywords	Apartment renovation	User report	Energy saving	Renovation evaluation standard	Renovation plan standard

< 목 차 >

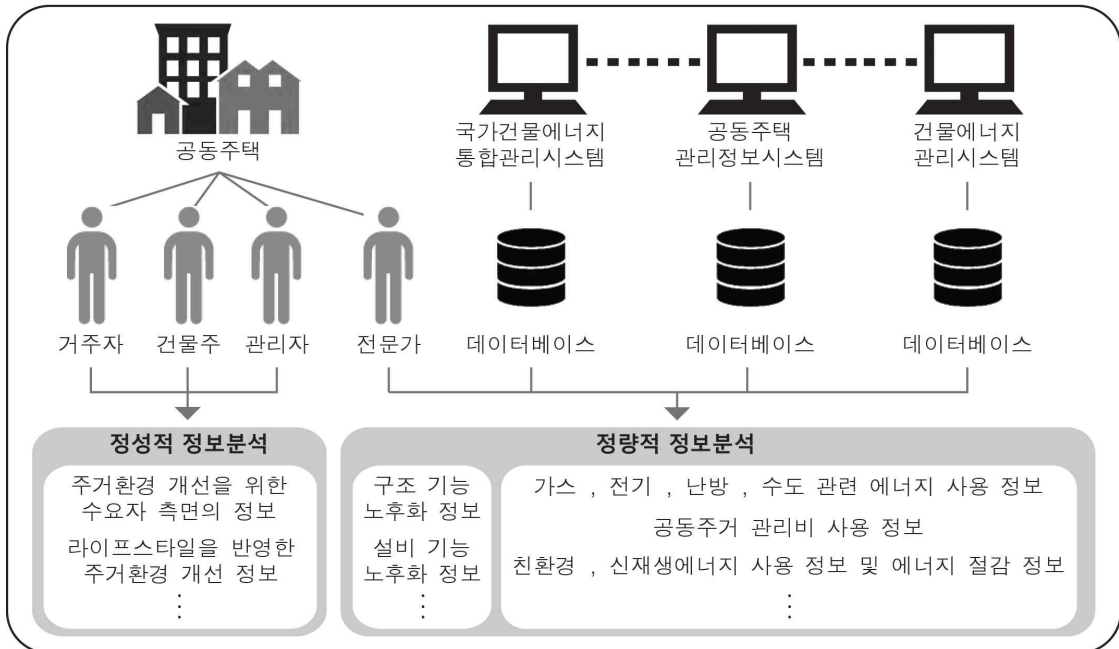
1. 연구개발과제의 개요	6
가. 연구개발의 개요	6
나. 연구개발 대상의 국·내외 현황	8
다. 연구개발의 필요성	9
2. 연구수행내용 및 성과	12
가. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계	12
나. 연구내용	20
다. 연구개발 성과	53
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	57
가. 목표 및 목표달성도	57
나. 관련 분야 기여도	62
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	63
가. 연구결과의 기대효과	63
나. 연구결과물의 활용방안	65
붙임. 참고 문헌	67

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

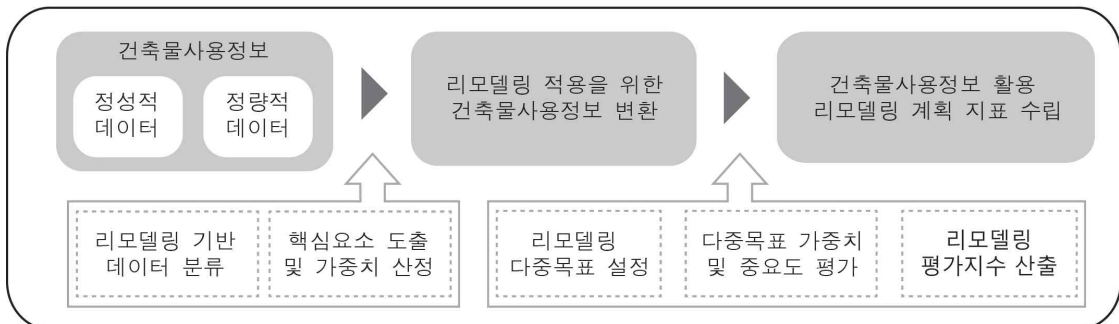
1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 개요

1 공동주택 실태 조사 및 사용자 참여 통합 데이터 (User Report Integrated Data, 이하 URID)도출



2 리모델링 핵심요소 도출 및 계획 지표 수립



3 URID 활용 리모델링 평가 기준 개발

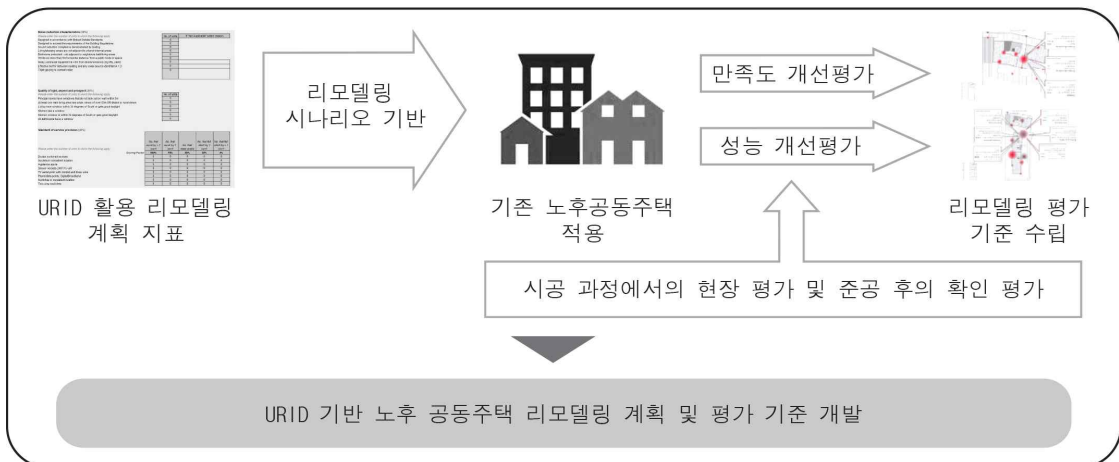


그림 1. 연구개요 다이어그램

- 본 연구는 공동주택의 에너지 사용량 및 수요자 요구사항 등의 **사용자 참여 통합 데이터 (User Report Integrated Data, 이하 URID)**를 기반으로 한 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준 개발을 목표로한다.
- 명확한 리모델링 계획 및 평가 기준 산정을 위해 에너지 효율성 향상, 공간 성능 향상, 쾌적성 및 편리성 향상, 만족도 향상 등과 같은 다중 목표를 설정하고 이들 사이의 가중치 및 중요도를 공동주택 유형/특성별로 나누어 도출한다.
- 본 연구를 통하여 공동주택의 물리적 시스템, 공간 성능, 수요자 만족도 등을 통합한 리모델링 계획 및 평가가 가능해 질 것으로 예상한다(그림 1).

(1) 본 연구의 세부 내용은 다음과 같다.

(가) 공동주택관련 정보수집 및 실태 분석을 통한 URID 도출

- 공동주택 에너지 사용량 조사 및 분석
- 수요자(건물주, 관리자, 거주자)의 요구사항 조사 및 분석
- URID 수집 및 도출

(나) URID 기반 리모델링 적용 요소 도출 및 리모델링 계획 지표 수립

- 정량적, 정성적 사용자 참여 통합 데이터 분류 및 분석
- 사용자 참여 통합 데이터 기반 리모델링 적용 요소 도출 및 가중치 산정
- 사용자 참여 통합 데이터 기반 리모델링 계획 대안 평가 및 계획 지표 수립

(다) URID 기반 공동주택 리모델링 평가 기준 개발 및 보급

- 리모델링 계획 지표 기반 거주자 만족도 개선평가 수립
- 리모델링 계획 지표 기반 기본 성능 개선평가 수립
- 시공 과정에서의 현장 평가 및 준공 후의 확인 평가를 통한 검증

(2) 연구의 범위

- 실증조사 및 분석-URID 구축-기준개발-검증 및 보급으로 한정한다.
- URID는 정보의 검열을 통해 LCC 정보와 연계하여 활용 가능하며, URID 기반 리모델링 성능평가 기준은 향후 BIM과 연계하여 리모델링 성능평가 시스템으로 발전 및 개발 가능하다.

나. 연구개발 대상의 국·내외 현황

(1) 국내·외 주거환경 질적 개선을 위한 시스템 현황과 한계점

(가) 미국

- **American Housing Survey(AHS)**라는 주거조사 정보 수집 시스템을 통해 사용자의 관점에서 주거환경의 질적 개선을 목표로 한다.
- 한계 : 주거 환경의 특정 부분이 어떻게 합리적으로 리모델링이 될 수 있는지에 대한 정보가 아닌 예산에 대한 정보만을 제공하여 정량적, 정성적 주거 환경 개선을 위한 구체적이고 실질적인 측면의 활용은 미흡한 상태이다(그림 2).

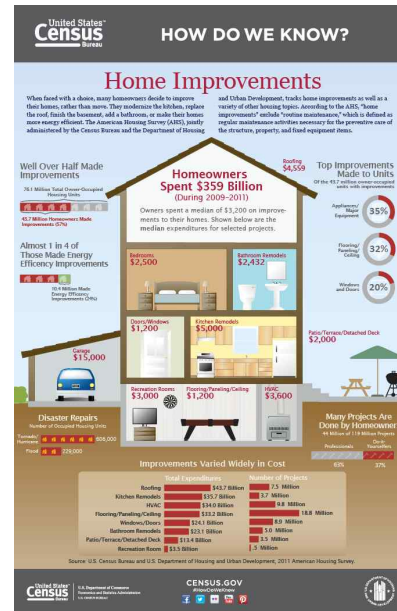


그림 2. 주거 리모델링 평균 예산

(나) 영국

- **Housing Quality Indicator(HQI)**라는 주거 환경 점수 계산기를 통해 실질적 주거 환경의 질을 숫자로 나타내는 시스템을 활용한다.
- 한계 : 사용자의 주거선택에 정보를 제공하는데 목적이 있어 전반적인 주거의 정보를 담고 있으나, 리모델링을 위한 구체적으로 정량적, 정성적 정보를 제공하지 않아 실질적인 리모델링을 위한 정보 제공은 미흡하다.

(다) 국내

- **Building Energy Management System(BEMS)**라는 건물에너지 관리 시스템을 사용하고 있으며, 기존 주거의 에너지절감 리모델링 사업에 접목하여 사용될 에너지관리 누적 데이터베이스 구축에 필요하여, 향후 BEMS활용이 활성화 될 것으로 사료됨으로서 에너지 관리 데이터 수집이 가능해 질 것으로 판단된다.
- 한계 : 국외에서는 용도별 에너지 사용량이 제공되고 있으나, 국내에 도입된 BEMS의 경우 에너지 사용량의 단순 통계 관리 및 정보전달 수준으로서 초기 연구 단계에 있는 상황이므로 에너지절감 활용 방안으로 보기에 한계가 있어 여러 개선사항이 필요하다.

(2) 국내·외 리모델링 관련 연구 현황과 한계점

- 최근 물리적 수명 연장을 위한 연구보다 거주자의 만족도를 높일 수 있는 리모델링 연구가 증가하는 추세이다. 이에 따라 최근 리모델링 방안 관련 연구 동향은 설계 초안에 거주자의 참여를 기반으로 한 디자인 수법을 도입하는 방향으로 나아가고 있다.

(가) 국외

- 전기, 수도, 가스 등의 에너지 사용에 관련된 정량적 데이터와 거주자 참여에 기반한 정성적 데이터를 활용한 연구가 있다.

(나) 국내

- 거주자 참여 리모델링 방안에 정성적 데이터를 활용한 연구가 부재하다.
- 공동주택 리모델링 초기 계획 단계에서 리모델링 시공 기법과 공사비를 제안한 연구가 있다. 이 연구는 주호, 주동, 단지 전체로 나누고 각 단위에서 리모델링의 범위(수선, 교체, 개조, 증축, 신축)와 목표(생애주기대응, 주거성능확보, 무장애실현, 에너지 절약 등) 및 생애주기 성능가치(가치적, 시대적, 사회적, 경제적 등)를 고려하여 추정 공사비를 제안한다. 이 연구는 주민의 불편사항을 근간으로 리모델링 아이템 항목을 설정하였다고 기록되어있지만, 구체적인 불편사항 접수 항목 과 접수 방법 등을 제시하지 않은 한계가 있다(표 1).

공간영역			리모델링 범위					리모델링 목표						생애주기 성능가치						
주호	주동	단지	수선	교체	개조	증축	별동 신축	세대수 증가	생애주 기대응	주거성 능확보	무장애 실현	에너지 절약	친환경 조성	커뮤니 티강화	가치적	시대적	사회적	경제적	물리적	심리적
	●			●	●					●	●						●		●	

표 1. 리모델링 범위 및 세부 목표

- ‘거주자 의사 반영 방법’ 측면에서 설문조사, 인터뷰, 대안 선택 키트 제공, 기초 통계 분석, 실증분석을 통해 리모델링의 요구도를 조사한 연구가 있다. 그러나 표준화된 리모델링 선호 조사 항목과 사용자의 요구조건을 체계적으로 반영할 수 있는 기법이 부재함으로 이 연구에서 사용된 거주자 참여 반영 방법은 사업화되기 어렵다.

다. 연구개발의 필요성

(1) 국내 리모델링 사업의 현황과 한계

- 2016년 2월 기준 우리나라의 준공 후 30년 이상 된 건축물은 전국 2,511,900동이다. 수도권은 경우, 100,075동으로 전체 노후 건축물(30년 이상)의 25.1%를 차지한다. 용도별 노후 건축물 동수 비율을 살펴보면, 노후 건축물(30년 이상) 중 수도권은 주거용이 29.8%, 지방은 주거용이 50.3%으로 가장 높게 나타났다(표 2).

구분		10년 미만	10-20년 미만	20-30년 미만	30년 이상	기타
노후 주택	전국	12.1	13.7	19.9	44.8	9.5
	수도권	13.7	17.5	29.5	29.8	9.5
	지방	11.4	12.3	16.4	50.3	9.5

표 2. 준공 후 30년 이상 된 주택 현황, 녹색건축관리과. 2016 (단위:%)

- 지속된 건설경기 침체로 재건축, 재개발 등 건물을 부수고 새로 짓는 방식의 주거환경 개선사업들이 점점 사업성을 잃어가고 있는 현 시점에서 리모델링 관련 법안과 정책들이 수립되고, 리모델링 사업이 진행되는 등 주거환경 개선을 위한 건설 시장의 변화가 발생하고 있다.
- 최근 준공한 리모델링 단지들은 증축형 리모델링 사업추진의 결과물로서 주민 분담금이 3억 원 이상(거의 재건축과 동일한 수준)이 되는 아파트 재건축과 거의 동일한 프로세스를 가지고 있기 때문에 리모델링 사업이 일부 고소득계층에만 한정되는 한계가 있다.
- 현재 공동주택 리모델링은 관련 법규가 산재되어 있고 국토교통부 내에서도 '국토의 계획 및 이용에 관한 법률'을 주관하고 있는 부서, '주택법'을 관장하는 부서에 따라 리모델링에 대한 의견이 각각 달라 사업진행에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

(2) 국내 리모델링 사업 개선 방안의 측면에서 본 연구의 필요성

(가) 성능개선 및 주거 만족도 향상에 초점을 맞춘 리모델링 추진

- 성능개선 및 주거 만족도 향상에 초점을 맞추는 것은 기존 건물을 최대한 활용하면서 현재의 신축 아파트와 동일한 성능을 확보하는 것을 목적으로 하며, 기존의 리모델링이 추구하는 에너지 절감효과와 더불어 거주자의 요구사항을 충분히 고려하여 각 거주자의 특성과 공동주택의 특성에 따른 차별화된 리모델링을 추구해야 한다.

(나) 정부 차원의 명확한 리모델링 가이드라인 구축

- 리모델링 가이드라인은 리모델링 사업 추진 단계별 행정절차 및 의사결정에 명확한 기준을 제시할 수 있어야 하며 합리적인 리모델링 수행을 위해 고소득계층을 대상으로 한 리모델링이 아닌 대한민국 전체에 적용되는 리모델링 방식을 제안하는 방향으로 개선하여 사업진행과정에서 주민, 전문가, 공공 등을 지원하는 역할을 할 수 있어야 한다.

(3) URID 적용의 중요성

- 에너지경제연구원(2012) 발표에 따르면 건축물 부분의 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량의 약 20.5%를 차지하고 있다. 건축물 에너지 소비량 중, 주거부문에서 67.2%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 건축물 에너지 절감을 위한 해결방안들은 정책적으로 주로 업무, 상업 및 공공시설에 우선시 적용되어지고 있다. 주거부분의 경우 '사적 공간', '경제적 부담', '인식의 차이'로 인하여 적용의 한계점을 가지고 있다. 주거부분의 리모델링의 경우 주거라는 특성을 고려한 그린 리모델링을 위한 연구지원이 필요하다.
- 건축물의 에너지는 사용자의 행동과 특성에 많은 영향을 받고 있으며, 사용자에 따라 동일 건물에서도 사용량의 차이가 발생한다. 해외의 경우, 정확한 에너지 예측과 에너지 정보 전달을 위해서 ANN(Artificial Neural Network), SVM(Support Vector Machine)등의 머신러

닝 기법과 시뮬레이션 툴을 이용하여 사용자에게 따른 에너지 사용량을 예측하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 사용자의 특성 및 행동이 반영된 건축물 에너지 정보는 건축물 거래 및 거주하는 사용자들에게 더욱 정확한 에너지 정보를 제공할 수 있다. 그런 리모델링을 위해서는 건축물의 물리적 특성 뿐만 아니라, 사용자의 행동패턴과 특성에 따른 에너지 분석을 통해 성능개선과 사용자 만족도 향상을 목표로 진행되어야 한다.

- 본 연구는 기존 리모델링 방식의 문제점을 보완 및 개선하기 위해 **공동주택의 에너지 사용량 및 수요자의 요구사항 등의 URID**의 실증데이터 확보를 기반으로 합리적이고 명확한 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준 개발을 목표로 한다. 따라서 본 연구에서 제시하는 URID의 데이터베이스 구축을 통한 표준화된 리모델링 방식이 기존 방식의 한계를 개선할 추진 방안에 중요한 요인으로 작용할 것이라 사료된다(그림 3).

기존 리모델링 방식의 한계

- ▶ 기본 골조만 남기고 모두 다시 설비하는 방식의 리모델링 추진에 따른 비용 부담 증가 및 건축 폐기물의 대량 발생
- ▶ 건물의 사용자 및 소유자의 요구조건을 체계적으로 반영할 수 있는 기법의 부재로 인한 리모델링 사업의 최적화 어려움
- ▶ 변화하는 라이프스타일에 대한 고려 부족으로 인한 리모델링 사업 후 만족도 및 시행평가가 낮음

보완 및 개선사항

- ▶ 물리적 시스템을 통한 에너지 절감과 더불어 지역 커뮤니티 회복, 사회적 통합에 초점은 맞춘 다양한 거주자 중심의 리모델링 대안 제시
- ▶ 공동주택 유형별 물리적 시스템, 공간 성능, 거주자 만족도 사이의 합리적 균형점 제시 및 객관적/정량적 데이터 구축
- ▶ 건축물의 기획 및 설계, 시공에 이르는 과정에서 의사결정을 지원할 수 있는 건축물 성능 및 거주자 만족도 평가 지표 수립

[URID 기반 노후 공동주택 리모델링 계획 수립 및 기준 개발] 연구의 필요성

-확일적인 계획을 지양 -개별 공동주택별/개별 거주자별 차별화된 계획 수립	리모델링 사업후 거주자 만족도 향상 및 기존 리모델링에 대한 인식 개선	거주자, 전문가, 공공의 의사결정 지원 및 정부의 정책/사업 시행 체계 정비와 통합	리모델링 사업 전/후 시스템, 성능, 만족도 등 공동주택 통합 평가
--	--	---	---

그림 3. 기존 리모델링 방식의 한계점을 통해 살펴본 연구의 필요성

2. 연구 수행 내용 및 성과

가. 연구개발의 추진전략 · 방법 및 추진체계

(1) 연구개발 추진전략 · 방법

(가) 연구 추진전략

- 본 연구는 각 단계별 세부 결과물을 설정하여 연구의 방향과 목적을 명확히 하고, 관련기관 및 전문가 그룹과의 연계를 통해 연구의 질적 수준을 향상 시킨다(그림 4).

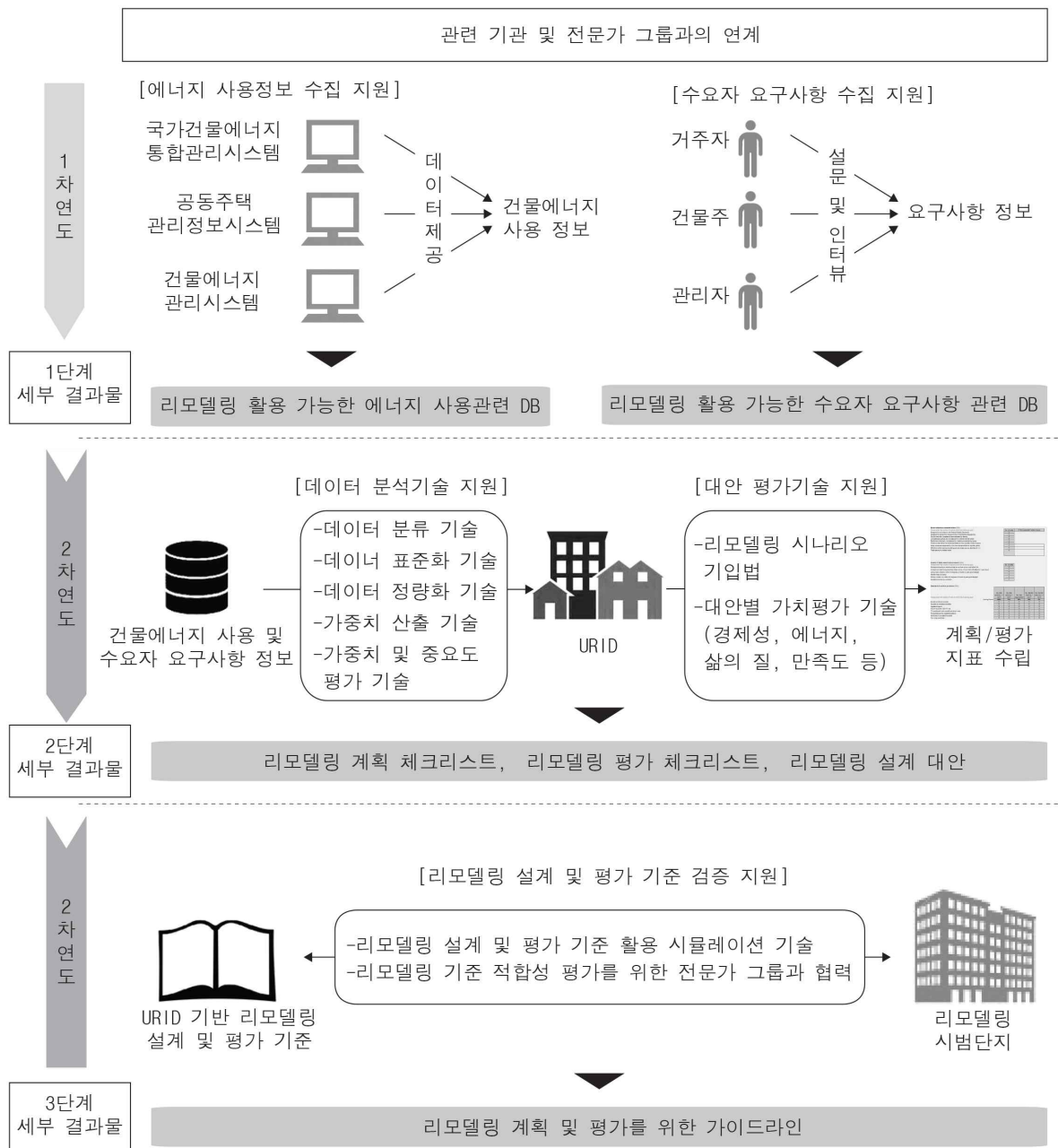


그림 4. 연구 추진 전략

(나) 개발 범위

- 본 연구의 범위는 실증조사 및 분석-URID구축-기준개발-검증 및 보급으로 한정한다. URID는 정보의 검열을 통해 LCC정보와 연계하여 활용 가능하며, URID 기반 리모델링 성능평가 기준은 향후 BIM과 연계하여 리모델링 성능평가 시스템으로 발전 및 개발 가능하다(그림 5).



그림 5. 본 연구의 범위 및 향후 연구 방향 제안

(다) 연구의 방법

[공동주택 관련 정보수집 및 실태분석]

- 본 연구에서 제안하는 URID 기반 공동주택 리모델링 계획 수립 및 평가 기준 개발을 위해서는 기존의 물리적 시스템 중심의 리모델링 성능분석에서 더 나아가 수요자 요구사항에 대한 추가적인 분석이 필요하다.
- 공동주택의 경우 수요자의 유형이 일반 건축물과는 다른 특성을 가지므로 각 수요자의 특성별 요구사항을 분류하고 체계적으로 정립하는 것이 중요하다(그림 6).

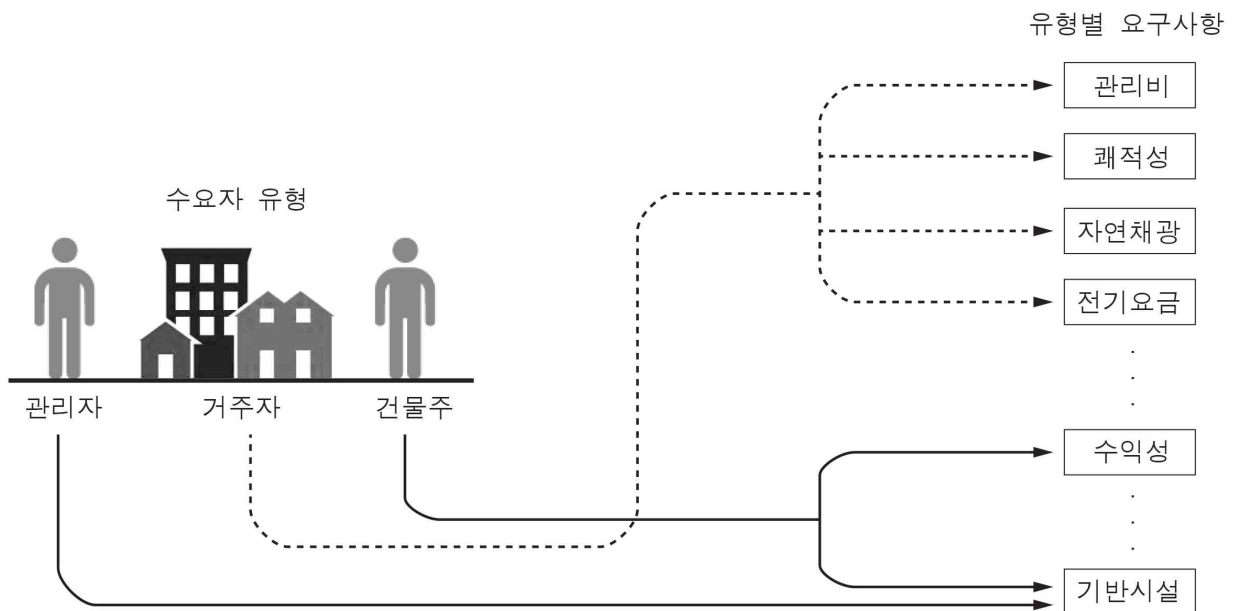


그림 6. 공동주택 리모델링 수요자 유형 및 유형별 요구사항

- 공동주택에 대한 실증자료를 리모델링 계획 및 평가 가이드라인에 적극 활용하기 위해 세부 특성별 분류 및 분석을 한다. 이를 통해 체계화된 사용자 참여 통합 데이터 DB를 구축한다.
- 공동주택에 대한 실증자료는 정량적 데이터와 정성적 데이터로 구분된다. 정량적 데이터는 현재 리모델링에 반영되는 물리적 시스템과 관련된 자료들이며, 정성적 데이터는 지금까지 상대적으로 리모델링에 적용이 부족하였던 수요자와 관련된 자료들이다(그림 7).

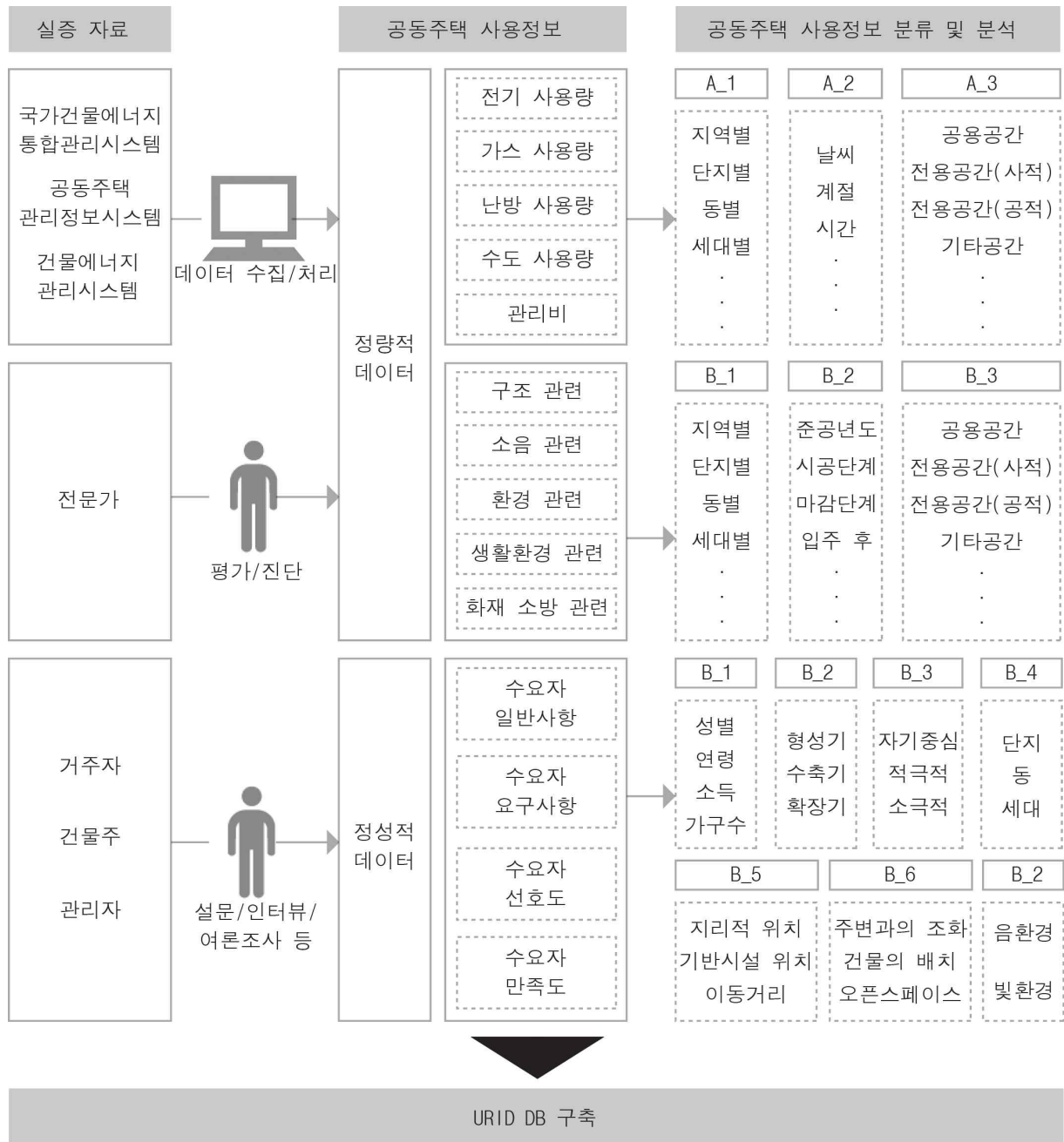


그림 7. 공동주택 관련 실증자료 세부 분류 및 분석 상세

[User report integrated data(사용자 참여 통합 데이터) 분석 및 처리 기반 리모델링 적용 핵심요소 도출]

- 본 연구에서 제안하는 URID를 리모델링에 활용하기 위해서는 다양한 방법의 데이터 분석 및 처리 과정을 수행해야 한다.
- 데이터 분석 및 처리 과정에 앞서 리모델링 시나리오 기입법을 활용하는데, 이를 통해 리모델링 사업의 단계별 과정 및 목표를 사전에 통제함으로써 보다 구체적인 데이터를 선별할 수 있다.
- 공동주택의 정량적/정성적 데이터 세부 분류항목을 기반으로 ‘리모델링 유형별/요소별 성능

향상 지수 분석’, ‘리모델링 유형별/요소별 만족도 지수 분석’, ‘거주자 만족도 지수 및 균형점 분석’의 단계를 거치게 된다.

- 각 단계에서 리모델링 지수를 분석 및 산출을 통해 산재되어 있는 다양한 정보들을 통합하고 객관화/정량화 한다. 이를 통해 기존의 리모델링 연구에서 상호 연계하지 못했던 다수의 데이터 활용이 가능해 진다(그림 8).

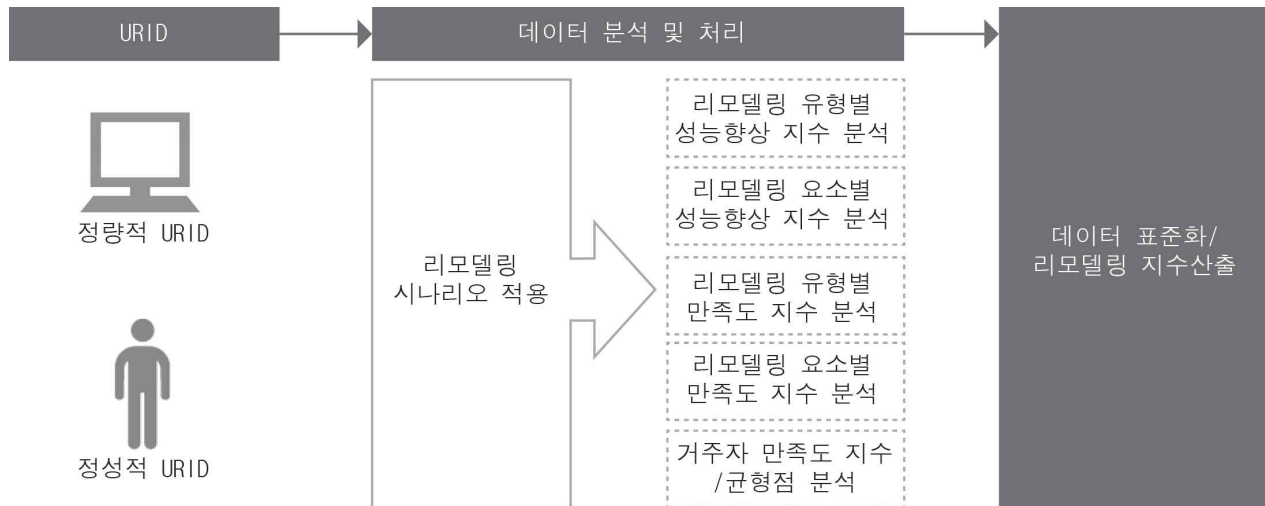


그림 8. URID 분석 및 처리 프로세스

- 리모델링 적용 핵심요소 도출을 위해 리모델링 다중 목표를 설정하고 이를 기반으로 각 리모델링 지수를 분석한다. 리모델링 다중 목표는 리모델링 후 얻고자하는 가치를 기반으로 설정되며, 대표적으로 에너지 효율성, 실내 환경 쾌적성, 공간 성능 효율성, 삶의 질 개선 만족도 등이 있다.
- 다중 목표 기반 분석을 통해 각 리모델링 요소별 가중치를 산출하고, 산출된 가중치들 사이의 상호 관계를 고려하여 리모델링 적용 핵심 요소를 도출한다.
- 분석 과정에서 산출된 가중치는 리모델링 계획 및 평가 지표 수립에 활용되고, 도출한 핵심 요소는 가이드라인 작성에 활용된다(그림 9).

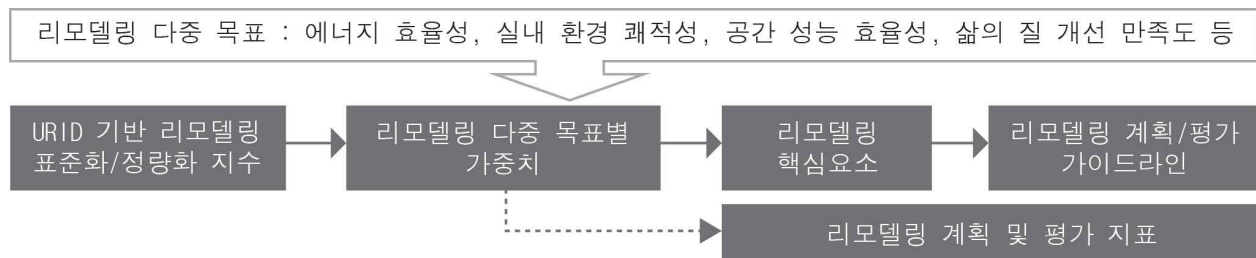


그림 9. 리모델링 다중 목표 기반 가중치 산출 및 핵심요소 도출

[핵심요소 기반 리모델링 계획 대안 수립 및 평가]

- 구체적이고 명확한 리모델링 계획 기준을 수립하기 위해 도출한 핵심요소를 기반으로 리모델링 계획 대안을 수립하고 평가하는 과정을 수행한다(표 3).

리모델링 대안은 리모델링 시나리오를 기반으로 수립한다. 이때 사용되는 리모델링 시나리오는 리모델링 사업 단계별 시나리오를 의미하며, 각 단계별 고려해야 할 사항들을 구체화하고 체계적인 대안 도출 및 가이드라인 수립을 위한 중요한 역할을 한다.

핵심요소 성능 부분	성능 범주	
에너지 관련 등급	열환경: 단열성능 / 가스비 / 전기 사용료	
	빛환경: 인조광원에 의한 조도/전기 사용료	
	수도요금	
	관리비	
소음 관련 등급	경량 충격음 (바닥 충격음)	
	중량 충격음 (바닥 충격음)	
	화장실 소음	
	경계 소음 (경계 벽 소음)	
구조 관련 등급	가변성 (내력벽 / 기둥)	
	수리용이성 (전용부분)	
	수리용이성 (공용부분)	
	내구성	
	내진성	
환경 관련 등급	조경 (외부 환경): 생태환경 및 자연토양/자연지반	
	일조 (빛 환경): 채광량, 유효 개구율 등	
	실내 공기질: 실내 공기오염물질 저방출 자재/환기 설비 및 기능	
생활환경 관련 등급	놀이터 등 주민 공동시설: 놀이터, 경로당, 보육시설 등 항목	
	고령자 및 사회적 약자를 위한 시설 (전용부분)	
	고령자 및 사회적 약자를 위한 시설 (공용부분)	
화재 및 소방 관련 등급	화재 감지 및 경보설비	
	배연 및 피난설비	
	내화성능	
수요자 관련 등급	거주자	거주자 일반사항: 나이/성별/소득/가족 구성원 등
		거주자 요구사항
		거주자 선호도
		거주자 만족도
	관리자	관리자 일반사항: 나이/성별/소득/가족 구성원 등
		관리자 요구사항
		관리자 선호도
		관리자 만족도
	건물주	건물주 일반사항: 나이/성별/소득/가족 구성원 등
		건물주 요구사항
		건물주 선호도
		건물주 만족도

표 3. 리모델링 핵심요소 예시

리모델링 대안은 핵심요소를 기반으로 다음과 같은 프로세스를 거쳐 도출된다(그림 10).

- 리모델링 유형별 대안 도출
- 리모델링 요소별 대안 도출
- 리모델링 성능 등급별 대안 도출
- 대안별 중요도 평가 및 가치 평가
- URID 기반 통합적 리모델링 대안 도출

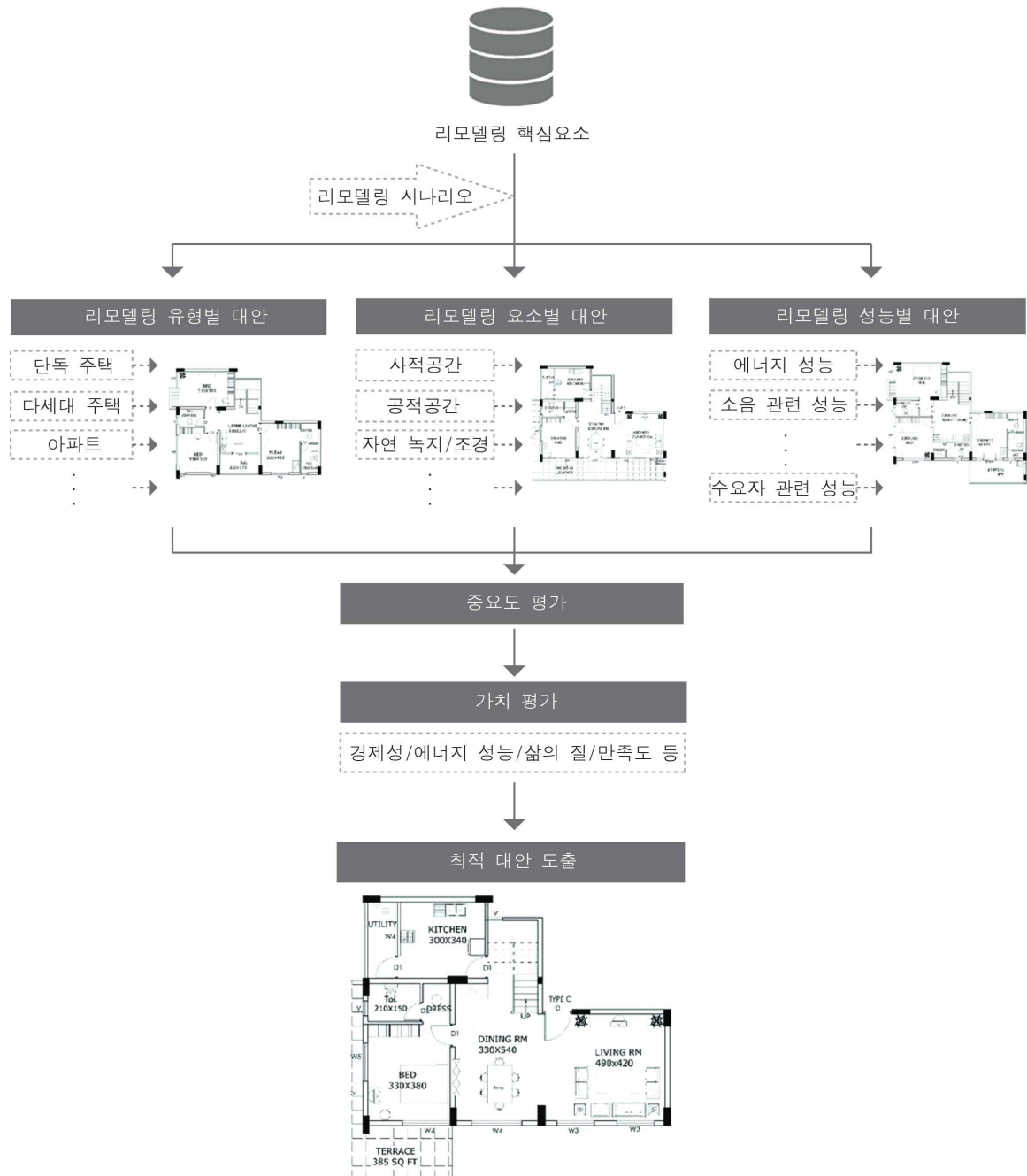


그림 10. 리모델링 핵심요소 기반 리모델링 계획 대안 도출 프로세스

[URID 기반 공동주택 리모델링 평가 기준 수립]

- 리모델링의 평가를 위해 우선적으로 평가 항목을 선정한다. 평가 항목은 리모델링 계획 지표를 수립할 때 도출된 핵심 요소를 기반으로 한다.
- 특히, 각 항목별로 시공과정에서의 현장 평가와 준공 후 확인 평가를 통해 평가 자료를 구축하고 이를 기반으로 리모델링 평가 기준을 수립한다(그림 11).

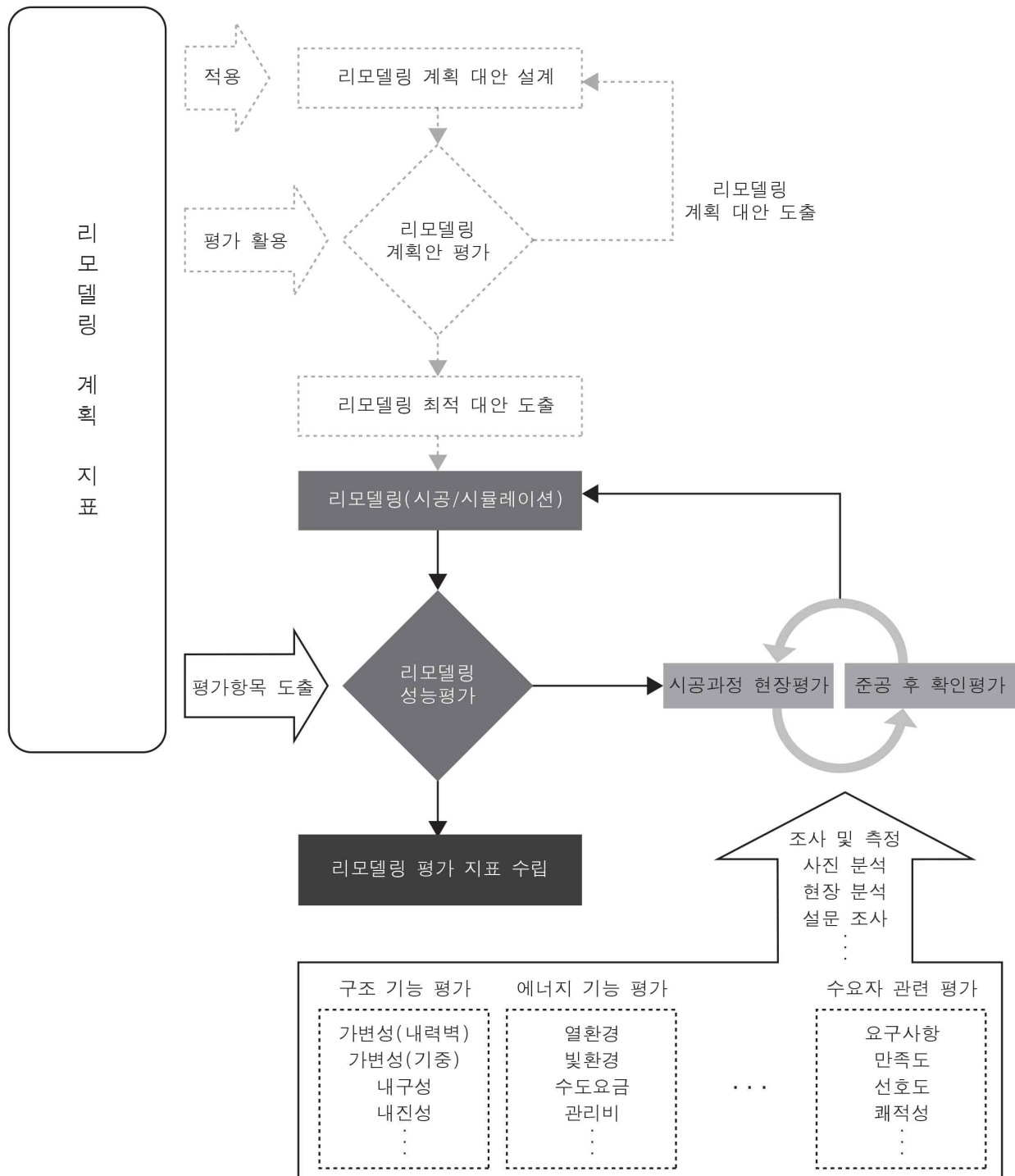


그림 11. 리모델링 평가 및 지표 도출 프로세스

-본 연구에서 최종적으로 제안하는 ‘URID 기반 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준’은 각 연구 단계별 연구결과(사용자 참여 통합 데이터, 리모델링 핵심요소, 리모델링 계획 대안 등)를 종합하여 수립한다(그림 12).

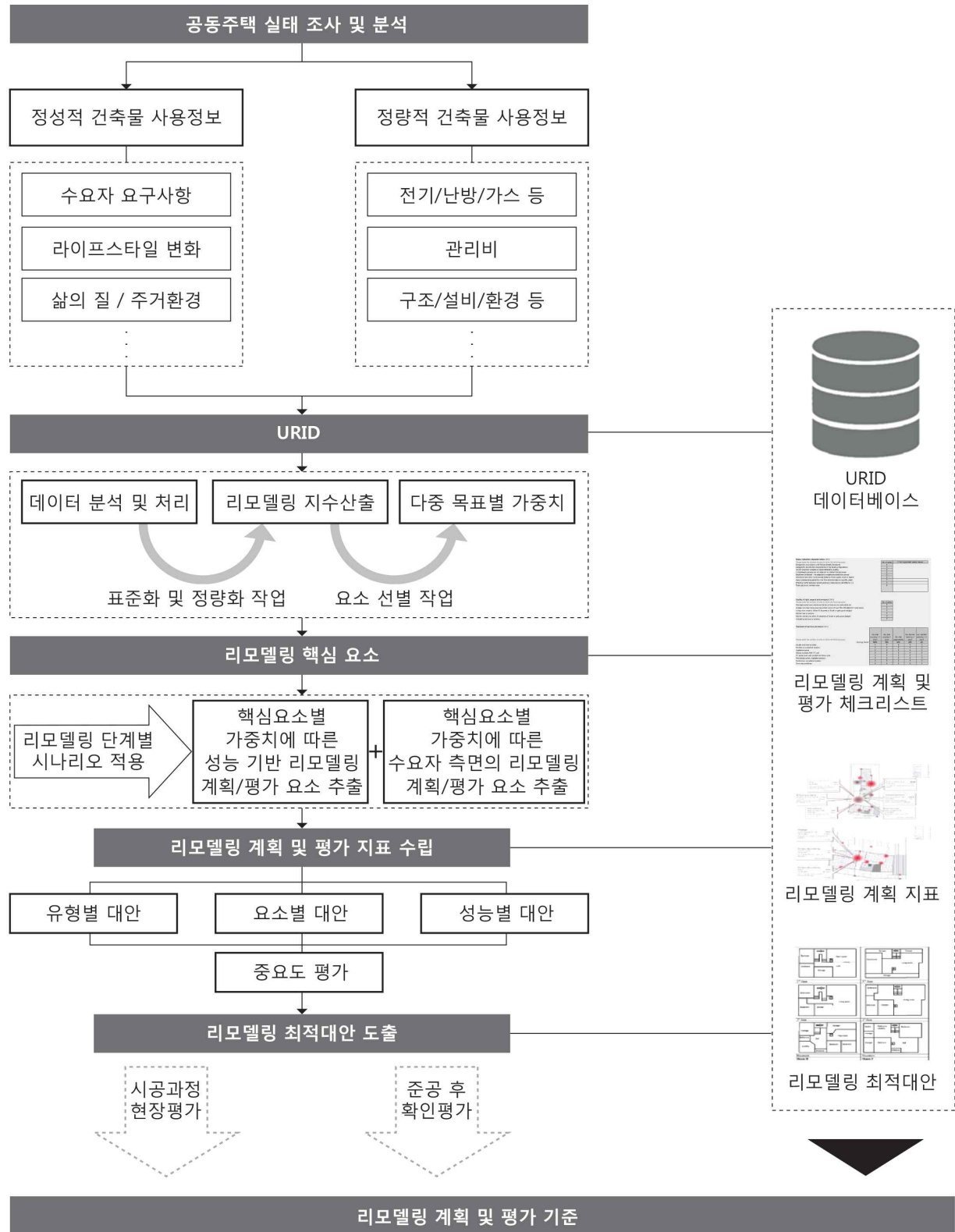


그림 12. URID 기반 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준 개발 프로세스

나. 연구내용

(1) 건축물 사용자의 행동 및 특성 데이터의 정량화

(가) 이용 데이터 - 한국인 생활시간조사 데이터

- 본 연구에서는 통계청에서 실시한 ‘2014 한국인 생활시간조사’를 활용하여 5,240개의 행동패턴을 사용함으로써, 다량의 데이터 수집과 실제 거주자의 활동에 기반한 시뮬레이션을 통해 신뢰도 있는 에너지 예측을 위해 노력하였으며, 전국을 대상으로 조사한 데이터로서 한국인의 보편적인 활동을 대표할 수 있을 것으로 사료된다. 한국의 1인 가구는 고령화, 삶의 인식변화 등으로 급속도로 증가하고 있다. 통계청 인구 총 조사에 따르면 1인 가구가 차지하는 비중은 2000년도 15.5%에서 2015년 27.2%로 지속적으로 증가하는 추세이다. 또한 Kim(2013)에 따르면, 1인 가구가 사용하는 에너지는 4인 가구의 1인당 사용에너지의 2.6배에 달하는 것으로 조사되었다. 따라서 1인 가구를 주요 가구형태로 인지하고 1인 가구를 위한 주택정책과 에너지절감대책이 마련되어야 한다. 본 연구에서는 한국의 1인 가구를 대상으로 한정하여 진행함에 따라 한국의 1인 가구의 특성에 따른 에너지소요량을 파악하고자 하였다. 시뮬레이션에 사용되는 1인 가구의 데이터는 통계청에서 실시한 ‘2014년 한국인 생활시간조사’를 활용한다. 전국 약 12,000가구의 만 10세 이상의 가구원을 대상으로 한 설문조사이며 크게 두 가지의 데이터가 존재한다. (1)각 구성원의 개인정보 데이터로 성별, 직업, 나이, 소득수준 등의 개인정보와 (2) 24시간을 10분 간격으로 하루 동안의 행동을 기록한 일지이다. 1인 가구는 전국의 800개 구를 대상으로 총 2,620명을 대상으로 실시되었다.

Classification	Details
Number	Household ID
Sex	-
Age	-
Job	Job status
Education Level	-
Income Level	-
Marital Status	-
Care	Senior, Handicapped
Resident	Kind, Area, Ownership

표 4. 한국인 생활시간조사 개인정보 데이터

	Act	Details
A	Personal	Sleep, Eat, Individual hygiene
B	Work	-
C	Learning	School, Internet Lectures, Private Educational
D	Home management	Cleaning, Washing, Shopping, Public Office
E	Family Care	-
F	Meeting	Religion, Volunteer work
G	Social & Leisure	Date, Media, Exercise, Rest
H	Move	Commute, personal
Z	Etc	Unclassified act

표 5. 한국인 생활시간조사 행동코드

(나) 연구의 방법

동일건물 내에서 거주자의 활동에 따른 에너지소요량을 도출하기 위해 동적시뮬레이션 프로그램인 Energy Plus를 활용하였다. 시뮬레이션에 활용되는 거주자는 통계청의 ‘2014년 한국인 생활시간조사’ 데이터 중 한국의 1인 가구의 하루 활동 스케줄을 활용하였다. 도출된 에너지소요량은 에너지소요량에 따라서, 행동패턴에 따라서 클러스터링을 진행하여 한국인의 에너지소요량 유형과 행동패턴 유형을 분류하여 분석한다.

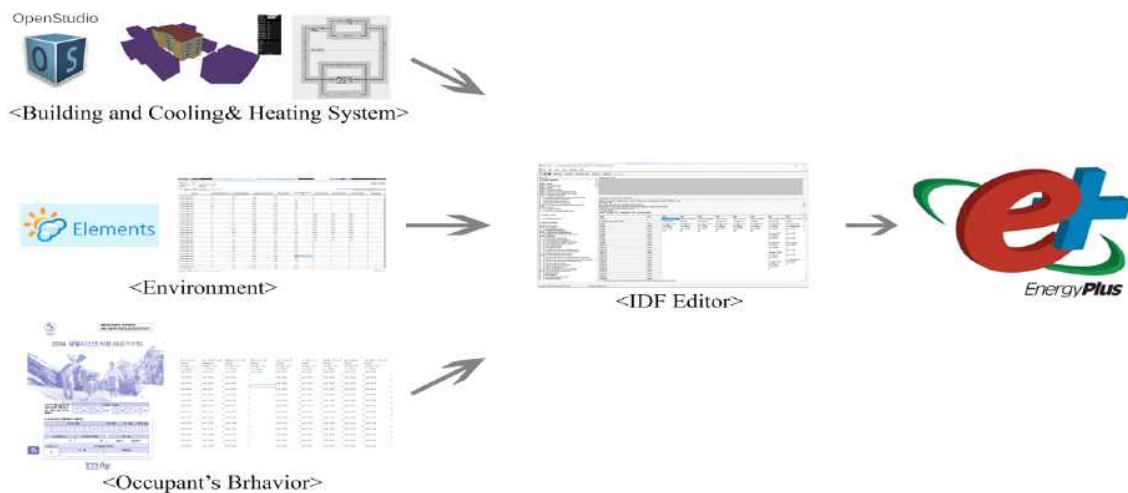


그림 13. 연구 흐름도

(다) 건축물 시뮬레이션

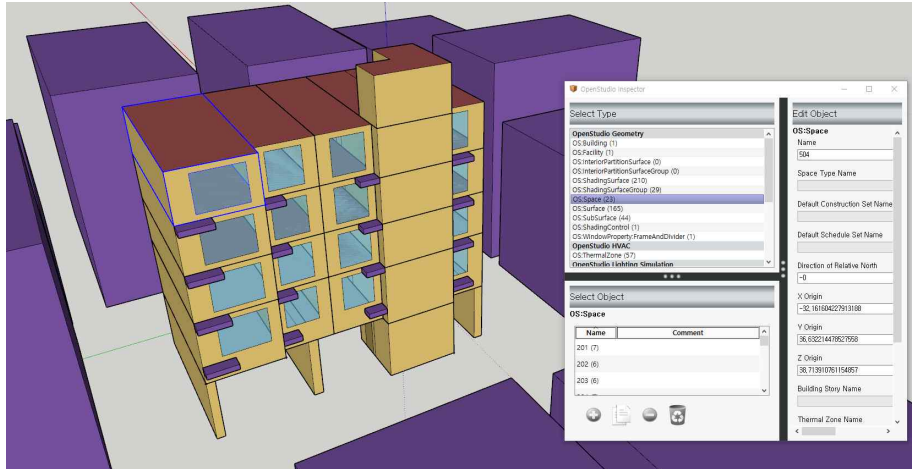


그림 14.. Building Modeling for Simulation

- 건축물 거주자 기반의 시뮬레이션을 위해 미 에너지부에서 개발한 Energy Plus 프로그램을 사용하였다. Energy Plus는 건축물의 재료, 설비, 면적 등 건축물의 물리적인 특성 및 외부 환경에 대한 고려 뿐 만 아니라, 거주자의 스케줄 입력을 통해 거주자의 활동에 따른 채실시간, 실내사용기기의 용량 및 사용시간, 발열량 등에 따른 동적 열부하를 해석 할 수 있는 시뮬레이션이다.

- 건축물의 모델링을 위해 Open Studio를 이용하여 Figure 3과 같이 모델링을 실시하였다. Open Studio는 3D 모델링 프로그램인 Google Sketch-up 상에서 에너지 시뮬레이션을 위한 건축물의 모델링과 재료 및 설비용량 입력 등을 가능하게 해주며, Energy Plus와 연동 할 수 있는 Open Source 형식의 Plug-in 프로그램이다. 시뮬레이션은 세대 간의 열 부하를 고려하기 위해 건축물 전체를 모델링하고 건축물의 중간층에 위치하는 1세대를 대상으로 한정하였다. 시뮬레이션의 입력변수는 대상건물의 평면도와 에너지절약계획서를 바탕으로 공간과 재료의 정보를 입력하고 에너지 절약계획서에 있는 설비의 용량을 바탕으로 하였다.

- 시뮬레이션을 위한 건축물의 조건은 표 5와 같이 정리하였다. 실제 사용되는 구체적인 설비의 정보를 얻기 어렵기 때문에 냉방설비의 경우 국토교통부의‘건축물의 에너지절약설계기준’에 따라 난방기간은 12월~3월, 냉방기간은 6월~9월로 설정하였으며, 실내적정 온도는 20 ~ 26 °C로 설정하였다. Energy Plus는 건축물의 용도나 규모에 따른 냉난방 설비의 종류, 용량 등을 자세히 입력 할 수 있다. 국내실정에 맞는 보편적인 설비의 모델링을 위해, 냉방방식은 벽걸이 에어컨, 난방방식은 온수를 사용하는 바닥난방을 가정하였다.

- Energy Plus 상에서 ‘Ductless Air-conditioner’는 중앙 냉방시스템을 제외한 실외기와 실내기로 구성된 개별 냉방시스템을 모델링 할 수 있는 설정으로, 국내의 냉방용량 2300W의 벽걸이 에어컨을 가정하여 입력하였다. ‘Low Temperature Radiant Variable Flow’는 실내 바닥에 온수순환 튜브를 모델링하여 보일러를 이용한 난방을 가정 할 수 있는 설정으로, 공동주택의 바닥 난방을 가정하였다. 기상데이터는 한국의 날씨를 고려하기 위하여 기상청의 2014년의 서울 날씨 데이터를 EPW파일로 변환하여 입력하였다.

Total Area	2401.53 m ²
Simulation Area	41.39 m ²
Indoor Design Temperature	Set point : 20 ~ 26 °C
Heating System	Air Loop HVAC - Ductless Air-conditioner
Cooling System	Low Temperature Radiant VariableFlow
Weather Data	Seoul, Republic of Korea

표 6. Simulation Condition

- 거주자에 활동에 따른 에너지소요량을 도출하기 위해 ‘2014년 생활시간조사’의 행동코드를 기준으로 거주자의 스케줄을 시뮬레이션에 활용하였다. Energy Plus 상에서는 실내에서 발생하는 발열량을 함께 고려하여 실내 열부하를 계산한다. 거주자의 활동에 따른 인체 발열량은 Energy Plus의 입력변수 참고문헌인 ‘Engineering Reference’를 참고하여 각 활동에 따른 인체 발열량 입력변수 ‘Activity Level’을 입력하였다.

(다) K-Means Clustering을 활용한 사용자 에너지 사용 유형 분석

- 한국의 1인 가구를 대상으로 실행한 에너지 시뮬레이션 결과를 에너지소요량을 기준으로 K-Means Clustering을 이용하여 클러스터링을 실행하였다. 건축물 거주자의 재질시간, 실내 기기 사용패턴 등의 활동에 따라서 에너지소요량의 차이가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 그에 따라서 에너지소요량이 유사한 집단으로 클러스터링을 실행하기 위해 건축물 거주자의 활동에 따른 조명기기, 실내기기의 소요량과 연간 냉·난방(급탕) 에너지소요량을 변수로 사용하여 총 4가지의 에너지소요량 변수를 기준으로 클러스터링을 실행하였다

- 본 연구에서는 클러스터 개수 K를 결정하는 여러 방법 중 가장 널리 사용되는 검증방법으로 Kodinariya & Makwana(2013)의 Elbow검증방법을 사용하여 최적의 클러스터 개수를 결정하였다.

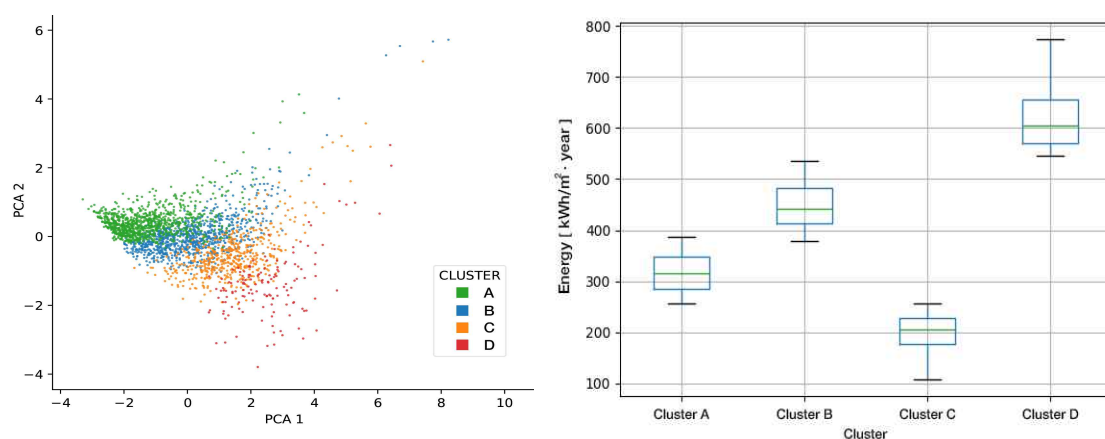


그림 15. K-means Clustering 결과

K-Means Clustering을 이용하여 건축물 거주자의 에너지 사용 패턴에 따른 클러스터링

결과, 총 4개의 클러스터로 구분되었다.

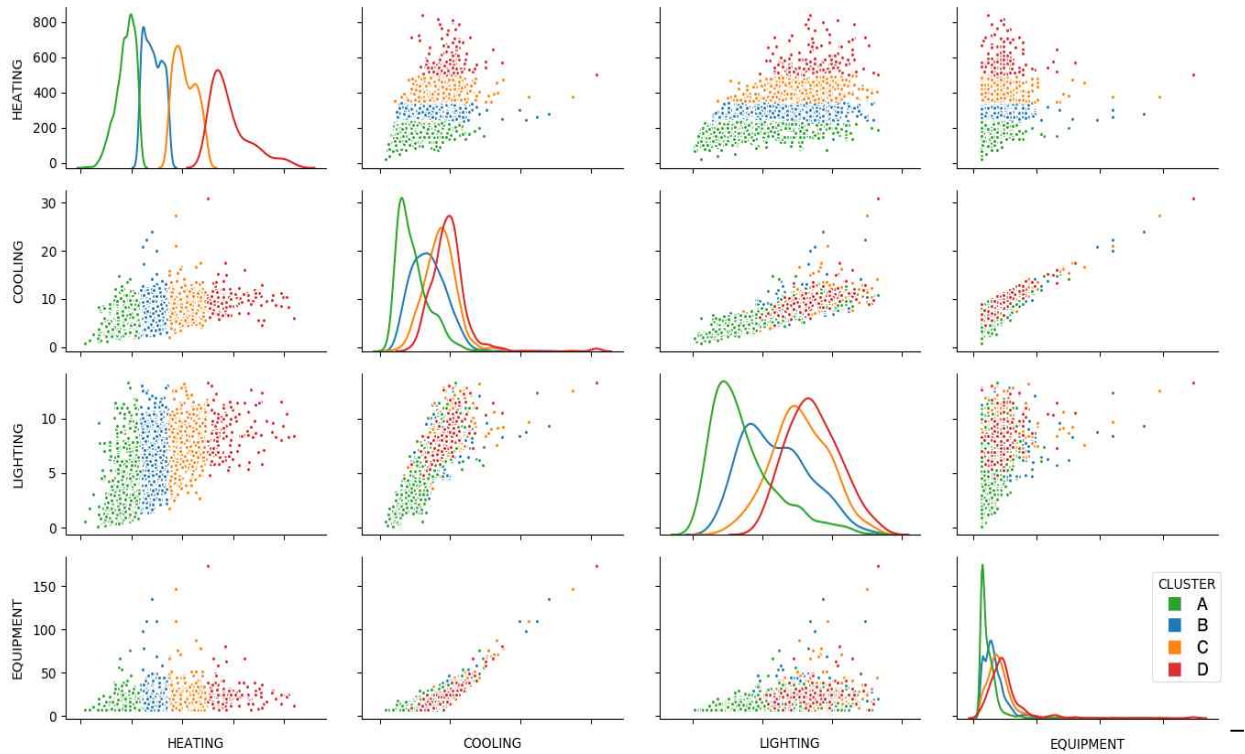


그림 16. Boxplot of Energy section

- 각 클러스터의 에너지소요량은 D, B, A, C의 순서로 많은 것으로 나타났다. 전체적으로 실내에서 사용하는 에너지는 D가 가장 많으며, C가 제일 작다. 총 에너지소요량이 가장 많은 클러스터 D는 평균 $631.89\text{kWh/m}^2\cdot\text{year}$, 가장 작은 클러스터 C는 평균 $198.38\text{kWh/m}^2\cdot\text{year}$ 를 사용하여 두 클러스터는 $433.51\text{kWh/m}^2\cdot\text{year}$ 의 차이를 나타내고 있다. 두 클러스터 간 에너지 종류별 차이를 살펴보면, 난방(급탕)에너지의 경우 $409.21\text{kWh/m}^2\cdot\text{year}$ 로 가장 많은 차이를 나타내었다.

- 냉방에너지의 경우는 $5.11\text{kWh/m}^2\cdot\text{year}$ 의 차이가 발생하고 있다. 실제로 건축물에너지효율등급 산정 시에, 입주자가 공사한 냉방기기에 대해서는 평가를 제외하고 있다. 냉방에너지의 경우 난방에너지에 비해 클러스터 간 차이가 적지만, 실제 에너지소요량과의 차이를 발생시키는 원인 중 하나가 될 수 있다. 조명에너지의 경우는 $5.03\text{kWh/m}^2\cdot\text{year}$, 실내 사용기기 에너지는 $14.15\text{kWh/m}^2\cdot\text{year}$ 의 차이를 나타내고 있으며, 실내 활동에 따라서 난방에너지의 차이가 가장 크게 나타나며, 그 뒤로 실내기기에너지가 많은 차이는 발생시키는 것으로 나타났다.

NO.	Age group (%)		Inoccupation (%)	Income (₩)	Female (%)
A	20s	12.24%	54.31%	130.08	63.57%
	30s	9.26%			
	40s	9.90%			
	50s	15.86%			
	60s	17.03%			
	More than 70s	35.67%			
B	20s	3.96%	71.62%	92.24	75.99%
	30s	6.15%			
	40s	5.75%			
	50s	15.47%			
	60s	18.05%			
	More than 70s	50.59%			
C	20s	23.29%	30.59%	183.02	45.44%
	30s	17.24%			
	40s	15.65%			
	50s	17.34%			
	60s	11.69%			
	More than 70s	14.76%			
D	20s	1.38%	81.25%	82.63	84.02%
	30s	2.77%			
	40s	5.55%			
	50s	15.97%			
	60s	24.30%			
	More than 70s	50%			

표 7. 클러스터 별 가구원 정보

- 클러스터 C는 1,009명으로 가장 많은 인원을 포함하는 클러스터다. 20대가 23.29%로 가장 많은 인원을 차지하며, 그 뒤로 30~50대의 비율이 높다. 평균 소득이 183.02 만원으로 클러스터 중 가장 높은 소득수준을 가지고 있다. 클러스터 C는 주업활동이 활발하여 실내 활동이 5.19시간으로 클러스터 중 가장 적은 실내 활동시간을 가지고 있는 것으로 판단된다. 클러스터 C의 무직자 가운데 63%가 학업과 취업준비를 하는 청년으로 확인되었다. 전체적으로 주업과 학업 등으로 인해 외부활동시간이 많기 때문에 실내에서 사용하는 에너지가 적은 것으로 판단된다.

- 클러스터 A는 939명으로 두 번째로 많은 인원이 포함 되어있으며, 에너지소요량이 두 번째로 적다. 클러스터 A의 인원은 70대 이상이 35%로 가장 많으며, 60대, 50대의 순서로 많은 인원을 포함한다. 활동시간을 살펴보면 총 재실시간 19.05시간으로 외부활동시간이 약 5시간인 것으로 나타났다. C의 무직자의 비율이 54.31%이며, 무직자 중 60.9%가 연로(은퇴), 15.02%가 학업과 취업준비를 하는 인원이다. 클러스터 C의 인원은 주업활동 등의 정규적 외부활동이 아닌 취미, 학업, 가정환경 유지, 사적인 외출 등의 이유로 특정시간에 외부활동을 하는 것으로 판단된다.

- 클러스터 B와 D는 모두 70대 이상의 인원이 50% 이상이 포함된 고령인구 집단이다. 두 클러스터는 재실시간이 19.05, 20.35시간으로 하루의 대부분을 실내에서 보내는 것으로 분석된다. 클러스터 B와 D의 경우 무직자가 대부분의 인원을 차지하고 있다. 무직자의 사유 중 연로(은퇴)가 B는 86.14%, D는 58.97%를 차지하였다. 또한 두 클러스터는 무직자 중에서 연로(은퇴)비율 다음으로 가사의 비율이 17.72%, 13.19%로 가장 많은 비율을 차지하였다. 클러스터 B와 D는 실내가사활동에 따라 실내기기의 소요량이 많으며, 재실시간이 길기 때문에 많은 에너지를 사용하는 것으로 판단된다. 클러스터 D의 경우 B와 성격이 비슷하나 더 많은 에너지를 사용하고 있다. 이는 클러스터 D의 경우 여성의 비율이 84.02%로 더 높으며, 가사활동에 따라서 실내 활동시간과 사용기기시간이 많아지면서 에너지를 더 많이 사용하는 클러스터로 분류된 것으로 판단된다.

- 클러스터링에 따른 에너지소요량과 건축물 이용자의 특성을 비교 분석한 결과, 클러스터는 크게 3개의 연령층으로 구분되며 이는 국토연구원(2018)에서 발표한 국내 1인 가구의 연령대별 구분인 청년층, 중년층, 고령층과 매우 흡사한 구분결과를 보여준다. 클러스터 C의 경우 청년층에 해당하며, 클러스터 A의 경우 중년층, 클러스터 B와 D가 고령층에 해당하는 것으로 판단된다.

- 연구 결과, 건축물 거주자의 활동과 개개인의 특성에 따른 에너지소요량을 명확하게 구분하는 것은 한계가 있지만 클러스터링을 통해서 활동에 따른 에너지소요량의 범위를 구분 할 수 있었고 거주자의 활동과 연령, 성별 소득 등과의 관계를 어느 정도 파악 할 수 있었다.

(다) K-Modes Clustering을 활용한 사용자 행동패턴 유형 정의

- ‘2014 생활시간조사’의 138개로 이루어진 기존 행동코드를 바탕으로 에너지소비와 연관된 행동을 재정의 하였다. 재실여부에 따라 외출을 하였을 때는 ‘Away’로 설정하였으며, 항상 사용하는 냉장고를 제외한 전등, 컴퓨터, TV, 세탁기, 가스레인지, 온수사용에 대해 각각의 행동을 분류하였다. 그 외, 재실중이지만 에너지와 연관된 행동이 없는 경우는 ‘Other’로 정의하였고, 거주자가 잠든 경우에는 소등을 가정하여 ‘Sleeping’으로 따로 구분하였다. 따라서 ‘2014 생활시간조사’ 138개의 행동을 에너지 소비와의 연관성을 통해 총 8개의 행동으로 정의하여 데이터 셋을 구축하였다. K-modes clustering 분석을 진행한 결과 한국 1인 가구 거주자의 에너지 소비패턴은 7가지의 유형이 존재하는 것으로 나타났다. 분석결과를 바탕으로 7가지 에너지 소비패턴 유형을 정의하기 위해, 거주자의 시간대별 행동을 시각화하여 거주자의 특성과 함께 분석하였다.

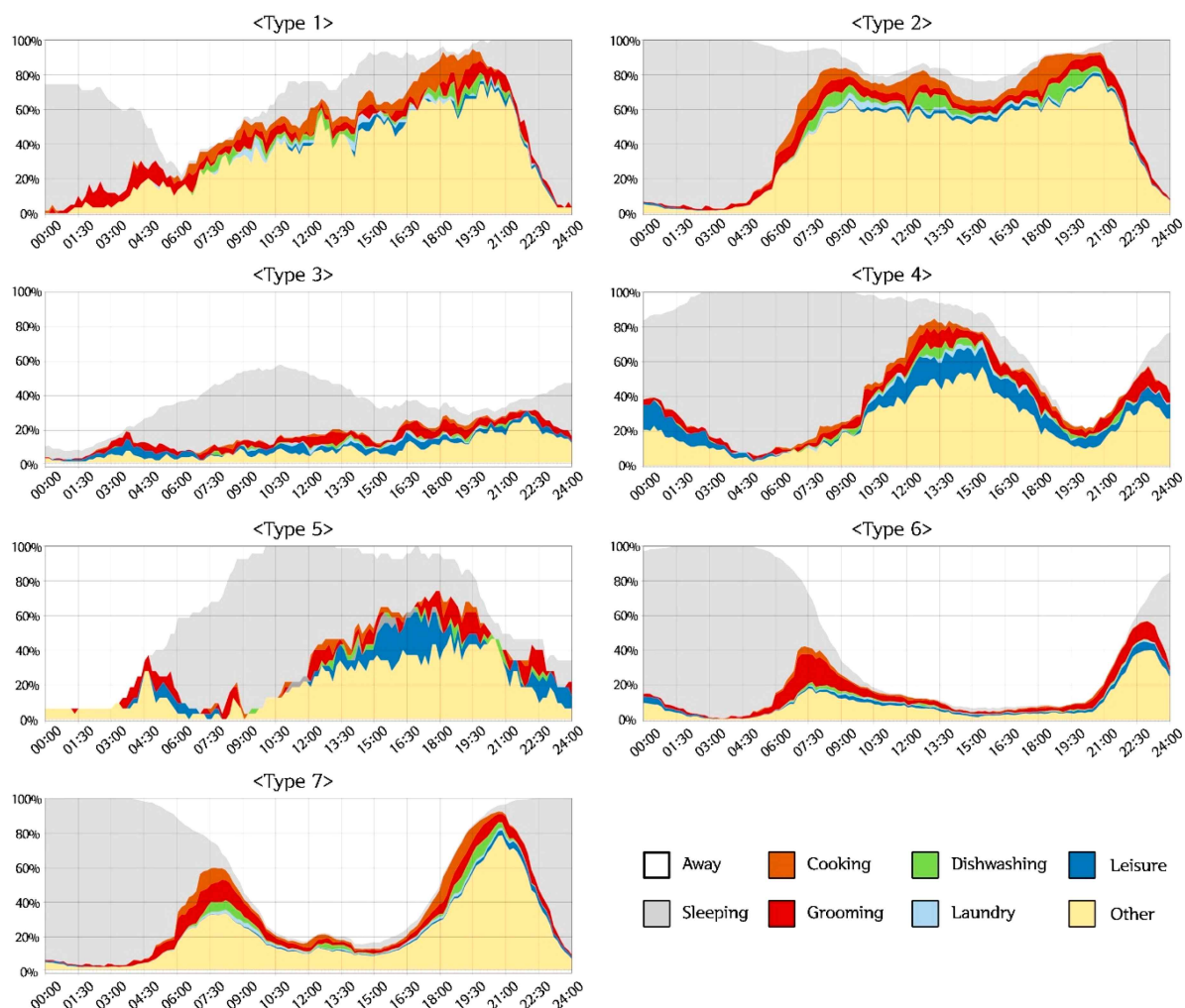


그림 17. 7가지의 에너지사용 패턴

No.	Number of object	Age		Gender		Income		Working		Care needs
Cluster 1	60	~30	7 (11.7)			~100	31 (51.7)			
		31~50	10 (16.7)	M	28 (46.7)	100~200	14 (23.3)	Y	36 (60.0)	
						200~300	9 (15.0)			
		51~64	12 (20.0)			300~400	3 (5.0)			
		65~	31 (51.7)	W	32 (53.3)	400~500	3 (5.0)	N	24 (40.0)	
						500~	0 (0.0)			2 (1.07)
Cluster 2	1,422	~30	71 (5.0)			~100*	1,078 (75.8)			
		31~50	143 (10.1)	M	444 (31.2)	100~200	219 (15.4)	Y	283 (19.9)	
						200~300	60 (4.2)			
		51~64	270 (19.0)			300~400	32 (2.3)			
		65~*	938 (66.0)	W*	978 (68.8)	400~500	13 (0.9)	N*	1,139 (80.1)	
						500~	20 (1.4)			123 (65.78)
Cluster 3	161	~30	43 (26.7)			~100	42 (26.1)			
		31~50	66 (41.0)	M	94 (58.4)	100~200	53 (32.9)	Y	131 (81.4)	
						200~300	50 (31.1)			
		51~64	37 (23.0)			300~400	8 (5.0)			
		65~	15 (9.3)	W	67 (41.6)	400~500	5 (3.1)	N	30 (18.6)	
						500~	3 (1.9)			4 (2.14)
Cluster 4	176	~30	79 (44.9)			~100	85 (48.3)			
		31~50	62 (35.2)	M	87 (49.4)	100~200	47 (26.7)	Y	101 (57.4)	
						200~300	33 (18.8)			
		51~64	14 (8.0)			300~400	7 (4.0)			
		65~	21 (11.9)	W	89 (50.6)	400~500	2 (1.1)	N	75 (42.6)	
						500~	2 (1.1)			2 (1.07)
Cluster 5	33	~30	15 (45.5)			~100	7 (21.2)			
		31~50	12 (36.4)	M	14 (42.4)	100~200	6 (18.2)	Y*	31 (93.9)	
						200~300	12 (36.4)			
		51~64	2 (6.1)			300~400	2 (6.1)			
		65~	4 (12.1)	W	19 (57.6)	400~500	2 (6.1)	N	2 (6.1)	
						500~	4 (12.1)			2 (1.07)
Cluster 6	1,267	~30	384 (30.3)			~100	325 (25.7)			
		31~50	500 (39.5)	M	673 (53.1)	100~200	425 (33.5)	Y	1,004 (79.2)	
						200~300	309 (24.4)			
		51~64	269 (21.2)			300~400	104 (8.2)			
		65~	114 (9.0)	W	594 (46.9)	400~500	50 (3.9)	N	263 (20.8)	
						500~	54 (4.3)			7 (3.74)
Cluster 7	2,074	~30	206 (9.9)			~100	1,180 (56.9)			
				M	731 (35.2)	100~200	476 (23.0)	Y	1,012 (48.8)	
		31~50	384 (18.5)			200~300	237 (11.4)			
		51~64	543 (26.2)			300~400	71 (3.4)			
		65~	941 (45.4)	W	1,343 (64.8)	400~500	47 (2.3)	N	1,062 (51.2)	
						500~	63 (3.0)			47 (25.13)

- Cluster1은 65세 이상(51.7%)로 주를 이루고 있고, 경제적 소득이 적은 클러스터이다. 04:00~10:00 사이에 외출활동을 하며, 그 이외에는 거주지 내 활동이 많다.
- Cluster2은 65세 이상(66.0%), 여성(68.8%), 월 소득 100만원 이하(75.8%), 돌봄 필요 가구(65.78%)의 비율이 가장 높은 유형으로, 개인적인 실외활동 및 취미생활 거의 없으며 거주지가 주 활동공간이다.
- Cluster3은 가장 높은 비율이 경제활동(81.4%)을 하고 13:00이후인 오후부터 일과가 이루어지는 것으로 보인다. 늦은 저녁 경제활동이 끝난 뒤, 03:00~13:00경 거주지에서는 주로 취침을 하는 것으로 나타났으며, 거주지에서는 취침이외의 에너지소비와 연관된 활동이 적고 생활패턴이 불규칙하다.
- Cluster4는 Cluster1과 비슷한 시간을 거주지에서 보내고 있으며, 성별, 월 소득, 직업의 유무에 대한 항목이 유사하지만 나이에서의 차이를 보였다. Cluster4의 주 외출활동 시간대는 16:00~23:00이며, 주거지에서 취미생활을 하며 보내는 시간이 높게 나타났다.
- Cluster5는 Cluster3과 비슷한 취침시간대를 가지지만 그 이후 거주지에서 주로 시간을 보내며 취미생활로 시간을 보내며, 저녁 시간대인 22:00~08:00 에는 외출을 하였다.
- Cluster6은 경제활동과 외부활동이 활발한 나이대인 젊은 층의 비율이 높고, 65세 이상(9.0%) 비율이 가장 낮다. 또한 거주지 재실시간이 제일 적었으며, 거주지에서의 주 활동은 개인위생 관리이외에는 다른 활동이 가장 적은 유형이다.
- Cluster7은 5,193개의 데이터 중, 2,074개가 이 유형에 해당되며 일반적인 직장인의 생활유형으로 보인다. 그러나 65세 이상(45.4%),여성(64.8%)과 직장 없음(51.2%)의 비율로 보아 직장인 외에도, 거주지 밖에서 개인시간을 보내는 유형으로도 볼 수 있다.

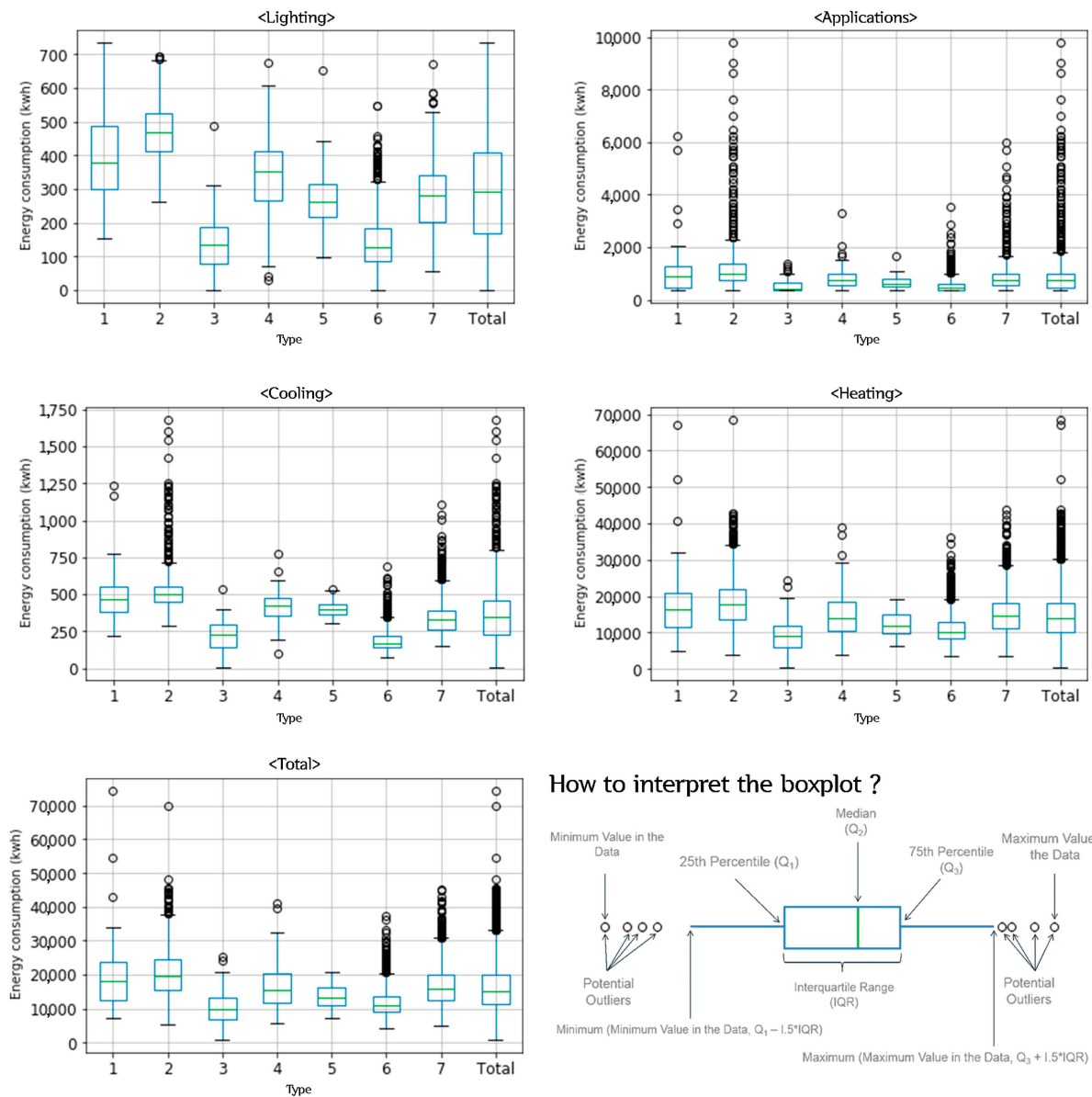


그림 19. 클러스터별 연간 에너지 사용량

- 연간 총 에너지는 그림 19. 에서 볼 수 있듯이 Cluster2, Cluster1, Cluster7, Cluster4, Cluster5, Cluster6, Cluster3의 순으로 소비량이 높았다. Cluster1과 Cluster2는 5가지 항목에서 모두 상위에 해당하며, 이는 재실시간에 따른 영향을 크게 받아 쾌적한 실내 환경과 개인생활유지를 위한 것으로 보인다. 그 중 Cluster2는 돌봄 필요가구가 65.78%로 집에 상주하는 비율이 높은 것으로 보아 에너지 소비가 가장 높은 것을 알 수 있다. 또한 에너지 소비가 가장 높은 Cluster2가 에너지 소비가 가장 낮은 Cluster3에 비해 생활패턴 이외 모두 같은 조건에서 약 2배의 에너지 소비가 높게 나타났다. Cluster1과 재실시간이 유사한 Cluster4는 모든 항목에 대해 에너지 소비량이 적게 나타났다. 두 가지 유형의 가장 큰 가구특성 차이는 나이와 재실시간대 이다. 젊은 층의 비율이 높은 Cluster4는 주로 취침, 여가생활, 개인관리에 시간을 보내고, 노인의 비율이 높은 Cluster1은 음식준비, 설거지와 같은 거주 환경유지를 위한 에너지

소비가 큰 것으로 보인다. 이러한 가구특성으로 인한 생활패턴의 차이 때문에 재실시간이 비슷하더라도 에너지 소비의 차이가 있음을 알 수 있었다.

	Cluster1	Cluster2	Cluster3	Cluster4	Cluster5	Cluster6	Cluster7
Lighting	2	1	6	3	5	7	4
Equipment	2	1	7	4	5	6	3
Heating	2	1	7	4	5	6	3
Cooling	2	1	6	3	4	7	5
Total	2	1	7	4	5	6	3

표 8. 클러스터 별 에너지 사용량 순위

- 재실시간이 길지만 에너지 소비량이 적은 경우가 존재했다. Cluster4가 Cluster7에 비해 재실시간이 길게 나타났지만, Cluster7이 가전기기와 난방에서 에너지 소비량이 큰 것으로 분석되었다. Cluster1과 비슷한 가구특성을 가진 Cluster7은 거주 환경유지를 위한 생활패턴을 가지므로 가전기기의 에너지 소비량이 높은 것으로 판단된다. 난방 에너지의 경우, Cluster7과 다르게 Cluster4는 겨울철 상대적으로 외부온도가 높은 낮에 재실하고 있으며, 외출시간이 짧아 실내온도를 다시 적정온도로 돌려놓기 위한 에너지가 적게 소비되는 것으로 보인다. 반대로 여름철에는 낮 시간의 높은 온도로 인해 Cluster4의 냉방에너지가 Cluster7보다 높았으며, Cluster7은 저녁 시간대에 자연환기를 통해 실내온도를 26도 이하로 유지하여 냉방에너지로 인한 에너지 소비를 줄인 것으로 보인다. 이와 같은 현상은, 재실시간이 비슷하지만 거주지며 머무는 시간대가 상반되는 Cluster5와 Cluster6의 비교를 통해 확연히 확인할 수 있었다.

- 7가지의 유형 중, 65세 이상의 비율이 가장 높았던 Cluster1, Cluster2, Cluster7은 연간 총 에너지 소비량이 1위, 2위, 3위에 해당했으며, 3가지 유형모두 여성이 가장 많은 비율을 차지하고 있었다. 그 다음으로 4위, 5위인 Cluster4, Cluster5 또한 여성의 비율이 남성보다 높게 나타났다. 나머지 6위, 7위는 Cluster6과 Cluster3로 남성의 비율이 높을 것을 볼 수 있다. 따라서 나이와 성별에 따라 추구하는 생활방식과 에너지 소비생활의 차이를 가져올 수 있음을 이야기한다.

(2) 건축물 특성과 사용자 세대 특성을 통합 고려한 영향요소 도출

(가) 선행연구 및 현황

- 2016년 통계청의 에너지사용량 통계를 살펴보면, 건물부문 중 공동주택의 전력사용량은 2013년 1,994,663 MWh에서 2016년 3,119,662 MWh로 지속해서 증가하고 있다. Santamouris(2016)의 연구에 따르면, 주거용 건축물의 경우 거주면적과 창문 비율 등의 물리적 특성뿐만 아니라 에너지를 직접 사용하는 세대원 수, 세대 구성원 형태, 소득 수준과 같은 세대특성에도 큰 영향을 받는다고 한다. 따라서 에너지를 사용하는 세대특성을 건축물의 물리적 특성과 통합 분석하여 주거에너지사용량에 미치는 영향을 분석할 필요성이 제기되며, 이를 고려한 체계적인 개선이 필요하다. 본 연구에서는 건축물의 물리적 특성과 세대특성을 통합 고려하여 건축물의 에너지사용량에 미치는 영향요인을 분석하고 결론을 도출하였다.

(나) 건축물의 물리적 요소와 사용자 요소

Category	Variable	Mean	Standard deviation	N	Covalent statistics		
					Common difference	VIF	
Building factor (13)	Total floor	Continuous variable	8.05	7.607	2,514	.173	5.788
	Living floor	Continuous variable	4.33	4.936	2,514	.422	2.369
	Residential area	Continuous variable	25.48	8.719	2,514	.506	1.977
	Exterior wall	Continuous variable	4.38	1.205	2,514	.588	1.700
	Construction year	Continuous variable	3.76	1.275	2,514	.329	3.038
	Room	Continuous variable	2.71	.738	2,514	.417	2.396
	Exterior window	Continuous variable	8.33	3.939	2,514	.635	1.574
	Exterior double glazed windows rate	Continuous variable	.276	.269	2,514	.854	1.172
	Type of house	Single housing	.38	.486	2,514	.400	2.501
		Apartment	.45	.498	2,514	.185	.217
		Etc*	-	-	-	-	-
	Direction	East	.12	.328	2,514	.327	3.062
		West	.07	.250	2,514	.448	2.231
		South	.41	.492	2,514	.183	5.459
		North*	-	-	-	-	-
		South-East	.19	.393	2,514	.257	3.892
		South-West	.10	.306	2,514	.357	2.801
		North-East	.03	.181	2,514	.616	1.623
		North-West	.02	.145	2,514	.693	1.443
		Air conditioner	Have	.66	.473	2,514	.827
	Don't have*		-	-	-	-	-
	Main-heating system	Individual	.91	.283	2,514	.773	1.293
		Central supply*	-	-	-	-	-

Category		Variable	Mean	Standard deviation	N	Covalent statistics	
						Common difference	VIF
	Auxiliary heating	Enable	.27	.442	2,514	.880	1.137
		Disable*	-	-	-	-	-
Household feature (13)	Living years	Continuous variable	10.69	7.930	2,514	.144	6.938
	Living years(square)	Continuous variable	177.07	327.444	2,514	.149	6.701
	Household member	Continuous variable	3.02	1.236	2,514	.574	1.742
	Households in economic activity	Continuous variable	1.43	.744	2,514	.633	1.581
	Over 65 years old household member	Continuous variable	.43	.720	2,514	.567	1.765
	Age	Continuous variable	3.63	1.067	2,514	.473	2.113
	Income	Continuous variable	3.60	1.758	2,514	.421	2.373
	Ownership	Own	.73	.443	2,514	.830	1.205
		Etc*	-	-	-	-	-
	Household configuration	Have Children	.11	.310	2,514	.862	1.161
		Don't have children*	-	-	-	-	-
	Gender	Male	.74	.439	2,514	.721	1.387
		Female*	-	-	-	-	-
	Education level	Undergraduate high school	.59	.492	2,514	.621	1.609
		Over college graduate degree*	-	-	-	-	-
	Occupation	Service woker	.52	.500	2,514	.283	3.528
		Temporary woker	.05	.217	2,514	.714	1.402
		Self-employed	.22	.414	2,514	.338	2.956
		Other employee	.02	.153	2,514	.859	1.164
		Etc*	-	-	-	-	-
	Special note	General	.93	.261	2,514	.634	1.577
		Etc*	-	-	-	-	-
	Source of income	Earned income	.67	.469	2,514	.320	3.122
		Etc*	-	-	-	-	-
Location(1)		Seoul	.16	.366	2,514	.103	9.737
		Busan	.06	.244	2,514	.200	5.008
		Daegu	.05	.213	2,514	.247	4.050
		Inchen	.05	.213	2,514	.251	3.981
		Gwangju	.05	.213	2,514	.245	4.088
		Daejun	.05	.213	2,514	.248	4.033
		Ulsan	.03	.176	2,514	.322	3.103
		Gyunggi	.11	.315	2,514	.133	7.504
		Kangwon	.05	.213	2,514	.249	4.017
		Chungbuk	.05	.212	2,514	.248	4.032
		Chungman	.06	.242	2,514	.204	4.901
		Junbuk	.05	.213	2,514	.246	4.059
		Junnam	.06	.243	2,514	.199	5.019
		Gyungbuk	.08	.270	2,514	.168	5.968
		Gyungnam	.08	.271	2,514	.166	6.023
		Jeju*	-	-	-	-	-
	Energy Consumption (5)	Annual	Continuous variable	13,250.127	6,345.777	2,514	-
Spring		Continuous variable	3,417.825	1,990.632	2,514	-	-
Summer		Continuous variable	1,718.057	1,046.192	2,514	-	-
Fall		Continuous variable	2,575.537	1,510.747	2,514	-	-
Winter		Continuous variable	5,538.708	2,905.709	2,514	-	-

Note. [Energy consumption unit: kWh]

* Reference group

표 9. List of Variables and Descriptive Statistics

- 선행연구를 바탕으로 에너지에 영향을 미치는 건축물의 물리적 요소 13가지와 세대특성 13가지 요소를 사용하여 분석을 진행한다.
- 본 연구는 에너지 경제연구원에서 제공하는 ‘가구 에너지 소비 상설표본조사’ 데이터를 사용한다. 데이터에는 2,514세대의 주택면적, 냉·난방 방식, 세대원 수, 에너지원별 월별 사용량 등 75개 항목으로 구성되어 있다. 해당 데이터 중 선행연구에서 도출한 건축물의 물리적 특성과 세대특성 변수, 지역 변수를 통합하여 분석하였다.

(다) 분석방법

- 분석에는 각 변수들의 영향 정도를 파악하기 위해 SPSS 18.0 통계 프로그램을 활용하여 다중회귀분석을 진행하였다. 에너지사용량을 종속변수(Y_k)에 적용하고, 건축물의 물리적 특성과 세대특성을 독립변수(x_n)에 넣어 각 변수의 계수(β_n)와 모델의 상수항(α_n)을 추정한다.

$$Y_k = \alpha_n + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

Y_k : 에너지사용량(Mcal)

α_n : 오차항

β_n : 계수(설명값)

x_n : 독립변수(물리적 특성 및 세대특성 등)

- Cha, Yeo, and Seok(2007)에 따르면 주거에너지사용량에 미치는 요인은 계절에 따라 다르게 나타난다. 이에 본 연구에서는 에너지사용량을 연간, 봄, 여름, 가을, 겨울의 5가지 기간으로 나누어 각 기간에 미치는 영향요소를 분석한다.

- 연간 주거에너지사용량(Y_k)은 제공된 데이터 중 연간 에너지사용량을 사용한다. 또한 봄(3, 4, 5월), 여름(6, 7, 8월), 가을(9, 10, 11월), 겨울(1, 2, 12월) 에너지사용량은 각 기간에 맞추어 에너지사용량(Y_k)을 합하여 사용한다. 독립변수(x_n)는 건축물의 물리적 특성 13가지와 세대특성 13가지를 모두 분석에 적용한다.

(라) 분석결과

	R	R ²	Revi-sed R ²	Estimated Standard error	Durbin-Watson	F	Signifi-cant probab-ility
Annual	.369	.136	.118	5,960.055	1.693	7.458	.000
Spring	.378	.143	.125	1,862.079	1.706	7.903	.000
Summer	.408	.166	.149	965.364	1.762	9.431	.000
Fall	.382	.146	.128	1,410.962	1.729	8.077	.000
Winter	.366	.134	.116	2,732.747	1.674	7.311	.000

표 10. Model Information

Category		Annual					Spring					
		Unstandardized coefficients		Standardized coefficient	t	p	Unstandardized coefficients		Standardized coefficient	t	p	
		B	Standard error				B	Standard error				
Building factor (13)	Total floor	15.144	37.600	.018	.403	.687	-1.558	11.747	-.006	-.133	.895	
	Living floor	5.204	37.075	.004	.140	.888	-1.812	11.583	-.004	-.156	.876	
	Exterior wall	561.588	138.715	.107	4.049	***.000	152.216	43.338	.092	3.512	***.000	
	Construction year	-62.798	121.555	-.013	-.517	.605	53.158	37.977	.034	1.400	.162	
	Residential area	76.664	23.766	.105	3.226	***.001	28.185	7.425	.123	3.796	***.000	
	Room	130.008	249.250	.015	.522	.602	-21.263	77.872	-.008	-.273	.785	
	Exterior window	37.587	37.876	.023	.992	.321	8.952	11.833	.018	.757	.449	
	Exterior double glazed windows rate	-269.362	477.546	-.011	-.564	.573	43.587	149.198	.006	.292	.770	
	Type of house	Single housing	668.963	386.550	.051	1.731	*.084	96.100	120.769	.023	.796	.426
		Apartment	-450.550	512.609	-.035	-.879	.380	212.337	160.152	.053	1.326	.185
	Direction	E	-746.579	634.344	-.039	-1.177	.239	-296.953	198.186	-.049	-1.498	.134
		W	-539.892	711.068	-.021	-.759	.448	-250.918	222.156	-.031	-1.129	.259
	Direction	S	-1,475.570	565.019	-.114	-2.612	***.009	-419.353	176.527	-.104	-2.376	***.018
		S-E	-1,466.912	597.096	-.091	-2.457	**0.014	-376.850	186.548	-.074	-2.020	**0.043
		S-W	-373.506	651.144	-.018	-.574	.566	-121.161	203.435	-.019	-.596	.552
		N-E	-568.948	837.865	-.016	-.679	.497	-326.862	261.771	-.030	-1.249	.212
	Direction	N-W	1,894.540	984.883	.043	1.924	*.055	621.156	307.703	.045	2.019	**0.044
		Air conditioner	846.376	276.239	.063	3.064	***.002	195.906	86.304	.047	2.270	**0.023
	Main-heating system		536.736	478.297	.024	1.122	.262	594.999	149.433	.084	3.982	***.000
		Auxiliary heating	364.081	286.814	.025	1.269	.204	259.358	89.608	.058	2.894	***.004
Household feature (13)	Living year	86.209	39.491	.108	2.183	**0.029	40.419	12.338	.161	3.276	***.001	
		-1.031	.940	-.053	-1.097	.273	-.715	.294	-.118	-2.435	**0.015	
	Household member	372.180	126.987	.072	2.931	***.003	122.034	39.674	.076	3.076	***.002	
	Households in economic activity	-235.668	200.968	-.028	-1.173	.241	-96.598	62.788	-.036	-1.538	.124	
	Over 65 years old household member	227.328	219.269	.026	1.037	.300	71.596	68.506	.026	1.045	.296	
	Age	33.852	162.029	.006	.209	.835	-5.999	50.622	-.003	-.118	.906	
	Income	387.677	104.197	.107	3.721	***.000	124.746	32.554	.110	3.832	***.000	
	Ownership	77.766	294.376	.005	.264	.792	-44.927	91.971	-.010	-.488	.625	
	Household configuration	41.529	413.630	.002	.100	.920	50.928	129.229	.008	.394	.694	
	Gender	358.952	318.614	.025	1.127	.260	-74.350	99.543	-.016	-.747	.455	
	Education level	High school	163.490	306.456	.013	.533	.594	-38.774	95.745	-.010	-.405	.686
		Service woker	426.003	446.826	.034	.953	.340	42.478	139.600	.011	.304	.761
	Occupation	Temporary woker	185.067	649.865	.006	.285	.776	5.942	203.035	.001	.029	.977
		Self employed	1,089.593	493.727	.071	2.207	**0.027	262.266	154.253	.055	1.700	*0.089
		Other	600.985	840.329	.014	.715	.475	-63.073	262.541	-.005	-.240	.810

Category	Annual					Spring					
	Unstandardized coefficients		Standardized coefficient	t	p	Unstandardized coefficients		Standardized coefficient	t	p	
	B	Standard error				B	Standard error				
employee											
Special note	1,356.365	571.661	.056	2.373	**.018	337.044	178.602	.044	1.887	*.059	
Source of income	-55.005	448.023	-.004	-.123	.902	80.010	139.974	.019	.572	.568	
Location (16)	Seoul	2,604.957	1,014.038	.150	2.569	***.010	1,128.183	316.812	.207	3.561	***.000
	Busan	576.525	1,089.664	.022	.529	.597	244.586	340.440	.030	.718	.473
	Daegu	859.315	1,121.969	.029	.766	.444	453.522	350.533	.049	1.294	.196
	Incheon	3,901.092	1,112.377	.131	3.507	***.000	1,479.248	347.536	.158	4.256	***.000
	Gwangju	4,167.593	1,127.289	.140	3.697	***.000	1,014.552	352.195	.109	2.881	***.004
	Daejeon	2,283.500	1,119.661	.077	2.039	***.042	936.248	349.812	.100	2.676	***.007
	Ulsan	3,873.372	1,192.905	.107	3.247	***.001	1,261.353	372.695	.111	3.384	***.001
	Gyeonggi	2,951.001	1,035.049	.146	2.851	***.004	1,153.600	323.377	.182	3.567	***.000
	Gangwon	4,328.881	1,117.434	.145	3.874	***.000	1,297.154	349.116	.139	3.716	***.000
	Chungbuk	1,305.989	1,123.985	.044	1.162	.245	555.533	351.163	.059	1.582	.114
	Chungnam	2,076.025	1,087.507	.079	1.909	*.056	341.934	339.766	.042	1.006	.314
	Jeonbuk	2,319.479	1,123.290	.078	2.065	***.039	727.295	350.946	.078	2.072	***.038
	Jeonnam	1,696.562	1,094.048	.065	1.551	.121	441.867	341.809	.054	1.293	.196
	Gyeongbuk	1,988.406	1,075.627	.085	1.849	*.065	825.224	336.054	.112	2.456	***.014
	Gyeongnam	648.268	1,078.091	.028	.601	.548	302.550	336.824	.041	.898	.369
Reference group	Type of house: etc, Direction: North, Air conditioner: etc, Main-heating system: central supply, Auxiliary heating: disable, Ownership: etc, Household configuration: Don't have children, Gender: female, Education level: Over college graduate, Occupation: etc, Special note: etc, Source of income: etc, Location: Jeju										
Note. * 90% Confidence interval(p-value < 0.10) ** 95% Confidence interval(p-value < 0.05) *** 99% Confidence interval(p-value < 0.01)											

표 11. 연간 및 봄의 에너지 영향요소

- 표 10. 을 살펴보면 연간, 봄, 여름, 가을, 겨울의 주거에너지사용량의 회귀분석모형은 적합한 것으로 나타났다. 각 독립변수의 종속변수인 주거에너지사용량에 대한 설명력은 13.6%(연간), 14.3%(봄), 16.6%(여름), 14.6%(가을), 13.4%(겨울)로 나타났다. 이는 주거에너지사용량과 관련된 선행연구에 비해 높지 않은 설명력이지만, 사회·인문학적 요소인 세대특성요소가 포함되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 본 연구는 Durbin-Watson test를 실시하였다. 분석 결과, 결과값의 분포는 1.674에서 1.762로 2에 가깝게 나타나 자기상관성이 없는 것으로 판단된다.

Category		Summer						Fall						Winter					
		Unstandardiz		t	p	Unstandardize		t	p	Unstandardize		t	p						
		ed	coefficients			d	coefficients			d	coefficients								
		B	Standar			r-d	r-d			r-d	r-d								
		d error	coeffic			B	Standar	coeffic			B	Standar	coeffic						
		ient				ient					ient								
		error																	

Category		Summer					Fall					Winter				
		Unstandardiz ed coefficients		Standar d error	t	p	Unstandardize d coefficients		Standar d error	t	p	Unstandardize d coefficients		Standar d error	t	p
		B	Standar d error				B	Standar d error				B	Standar d error			
Ownership		2835	47.681	.001	.059	.953	42.336	69.689	.012	.607	.544	77.523	134.974	.012	.574	.566
Household configuration		-114.531	66.997	-.034	-1.710	*.087	-29.868	97.921	-.006	-.305	.760	135.000	189.654	.014	.712	.477
Gender		4.881	51.607	.002	.095	.925	200.953	75.427	.058	2.664	***.008	227.468	146.088	.034	1.557	.120
Education level	High school	35.835	49.637	.017	.722	.470	58.003	72.549	.019	.799	.424	108.406	140.513	.018	.772	.440
	Service worker	-46.305	72.373	-.022	-.640	.522	114.150	105.780	.038	1.079	.281	315.680	204.874	.054	1.541	.123
Occupation	Temporary worker	-184.475	105.260	-.038	-1.753	*.080	68.156	153.847	.010	.443	.658	235.444	297.970	.022	.992	.322
	Self-employed	134.275	79.970	.053	1.679	*.093	242.631	116.883	.066	2.076	***.038	450.421	226.379	.064	1.990	** .047
	Other employee	-77.548	136.110	-.011	-.570	.569	262.816	198.936	.027	1.321	.187	478.789	385.300	.025	1.243	.214
Special note		185.401	92.593	.046	2.002	** .045	305.822	135.333	.053	2.260	***.024	528.008	262.112	.047	2.015	** .044
Source of income		74.300	72.567	.033	1.024	.306	-1.170	106.063	.000	-.011	.991	-28.144	205.423	-.034	-1.013	.311
Location (16)	Seoul	-73.982	164.246	-.026	-.450	.652	-51.226	240.060	-.012	-.213	.831	1,601.982	464.947	.202	3.446	***.001
	Busan	-2.460	176.495	-.001	-.014	.989	-186.483	257.963	-.030	-.723	.470	520.883	499.622	.044	1.043	.297
	Daegu	-271.208	181.728	-.055	-1.492	.136	-454.698	265.611	-.064	-1.712	*.087	1,131.699	514.435	.083	2.200	** .028
	Incheon	20.252	180.174	.059	1.611	.107	311.663	263.340	.044	1.183	.237	1,819.929	510.037	.134	3.568	***.000
	Gwangju	88.014	182.590	.164	4.398	***.000	1,222.889	266.870	.182	4.845	***.000	1,057.138	516.874	.078	2.045	** .041
	Daejeon	150.668	181.354	.031	.831	.406	76.151	265.064	.011	.287	.774	1,120.433	513.376	.082	2.182	** .029
	Ulsan	64.956	193.218	.109	3.362	***.001	427.561	282.404	.050	1.514	.130	1,534.863	546.959	.093	2.806	***.005
	Gyeonggi	108.277	167.649	.033	.646	.518	128.644	245.034	.027	.525	.600	1,560.479	474.581	.169	3.288	***.001
	Gangwon	28.626	180.993	.051	1.385	.166	944.547	264.537	.133	3.571	***.000	1,836.553	512.355	.135	3.585	***.000
	Chungbuk	-150.189	182.054	-.030	-.825	.409	-41.757	266.088	-.006	-.157	.875	942.403	515.359	.069	1.829	*.068
	Chungnam	-45.276	176.146	-.010	-.257	.797	258.535	257.453	.041	1.004	.315	1,520.832	498.633	.127	3.050	***.002
	Jeonbuk	26.543	181.942	.048	1.300	.194	497.904	265.924	.070	1.872	*.061	857.737	515.040	.063	1.665	*.096
	Jeonnam	356.090	177.205	.083	2.009	** .045	360.011	259.001	.058	1.390	.165	538.594	501.632	.045	1.074	.283
	Gyungbuk	-14.442	174.22	-.039	-.858	.391	-124.04	254.64	-.022	-.487	.626	1,436.436	493.18	.134	2.91	***.000

Category	Summer					Fall					Winter				
	Unstandardized coefficients		t	p		Unstandardized coefficients		t	p		Unstandardized coefficients		t	p	
	B	Standard error				B	Standard error				B	Standard error			
	5	2				0	0				648	6		3	04
Gyungnam	65.403	174.621	.017	.375	.708	-165.851	255.223	-.030	-.650	.516	446.166	494.316	.042	.903	.367
Reference group	Type of house: etc, Direction: North, Air conditioner: etc, Main-heating system: central supply, Auxiliary heating: disable, Ownership: etc, Household configuration: Don't have children, Gender: female, Education level: Over graduate degree, Occupation: etc, Special note: etc, Source of income: etc, Location: Jeju														

Note. * 90% Confidence interval(p-value < 0.10)
 ** 95% Confidence interval(p-value < 0.05)
 *** 99% Confidence interval(p-value < 0.01)

표12. 여름, 가을, 겨울의 에너지 영향요소

① 주거에너지사용량에 영향을 미치는 건축물의 물리적 요소

- 본 연구는 조사결과에 나타난 표준화계수(Standardized coefficient)를 중심으로 주거 에너지사용량에 영향을 미치는 건축물의 물리적 특성 요소를 파악하고자 한다. 분석 결과 주거에너지사용량에 영향을 미치는 요소는 표 13. 와 같다.

Period	Building factor
Annual	Exterior wall, Residential area, Type of house, Direction, Air conditioner
Spring	Exterior wall, Residential area, Direction, Air conditioner, Main-heating system, Auxiliary heating
Summer	Construction year, Type of house, Direction, Air conditioner, Main-heating system
Fall	Exterior wall, Construction year, Type of house, Direction, Air conditioner, Main-heating system
Winter	Exterior wall, Residential area, Type of house, Direction, Air conditioner

표13. 에너지사용량에 영향을 미치는 물리적 요소

- 전반적으로 연간 주거 에너지사용량에 영향을 미치는 건축물의 물리적 특성 요소는 외벽 수, 주택면적, 주택유형, 주택방향, 냉방방식 등으로 나타났다. 세부적으로 주거 에너지사용량 증가에 미치는 영향은 주택방향(북서방향), 냉방방식, 주택유형, 외벽 수 및 주택면적 순서로 높게 나타났다. 또한, 주택방향에 따라 남, 남서의 순으로 주거에너지 사용량이 낮게 나타났으며, 북서의 주거에너지사용량이 유의미하게 높은 것으로 나타났다.

- 외벽 수는 연간, 봄, 가을, 겨울의 주거에너지사용량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 외벽 수는 외기에 면한 주거 공간의 외벽을 의미하는 것으로, 1개에서 최대 6개까지의 범주로 조사되었다. 이는 주택의 하부층, 중간층, 최상부층 및 인접 주택 등 주택의 세대별 위치와 주택 유형에 따라 달라진다. 겨울, 가을, 봄의 순서로 에너지사용량이 증가하는 영향력이 나타났다.

- 건축 년도는 여름과 가을의 주거에너지사용량에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 여름에는 건축 년도가 오래될수록 에너지사용량이 높은 반면, 가을에는 건축 년도가 오래될수록 에너지사용량이 낮은 것으로 나타났다.

- 주택면적은 연간, 봄, 겨울의 주거에너지사용량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 다른 계절에 비해 겨울철에 유의미한 영향력이 더 높았다. 이러한 결과를 볼 때, 냉방 에너지사용량에 비해 난방 에너지사용량은 면적이 클수록 더 많은 에너지를 사용하는 것으로 판단할 수 있다.

- 주택유형은 단독주택과 공동주택, 기타로 구성되어 있으며, 연간, 여름, 가을, 겨울의 주거에너지사용량에 영향을 미친다. 연간으로 볼 때 단독주택이 다른 주거형태보다 더 많은 에너지를 사용한다. 여름에는 공동주택이, 가을과 겨울에는 단독주택이 더 많은 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 이로 미루어보아 비교적 난방에너지와 관련된 성능에서 공동주택이 더 유리한 것으로 판단된다.

- 주택방향은 가장 에너지효율이 떨어지는 북쪽을 기준으로 분석을 진행하였으며, 모든 기간의 주거에너지사용량에 영향력을 나타내는 것으로 분석되었다. 연간을 살펴보면 남, 남동의 순서로 에너지를 적게 소비하는 것으로 확인되었다. 세부적으로 봄에는 남동, 남, 여름에는 남, 남동, 동, 서, 가을에는 남동, 남의 순으로 에너지사용량이 적었다. 또한, 모든 기간에서 북서방향의 주택이 가장 많은 에너지를 사용하는 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과로 미루어보아 주택방향이 남향일 경우, 전반적으로 주거에너지사용량이 가장 적으며 북서향일 때 북쪽방향보다 주거에너지사용량이 높은 것으로 판단된다.

- 가을과 겨울기간 동안 주택이 북쪽보다 북서향일 경우 더 많은 에너지를 소비하는 분포를 보인다.

- 냉방방식은 에어컨의 사용 여부를 기준으로 분석을 진행하였으며, 모든 기간의 주거에너지사용량에 유의미한 영향이 나타났다. 이러한 결과는 에어컨의 경우 대기전력이 10.7W로 주거 공간에서 사용하는 전자기기 중 가장 높기 때문으로 판단된다(Hwang & Jeon, 2013). 또한, 최근 에어컨의 경우 난방 기능과 공기청정 기능이 혼용되어 계절에 상관없이 사용할 수 있게 변화한 것이 이러한 결과에 영향을 준 것으로 보인다.

- 주 난방방식은 개별난방을 사용할 때 봄, 여름의 주거에너지사용량이 중앙난방방식에 비해 더 높은 것으로 나타났다. 가을에는 개별난방을 사용하는 세대가 주거에너지를 더 적게 사용하는 것으로 분석되었다. 또한, 보조난방방식을 활용하는 세대는 그렇지 않은 세대에 비해 봄철 주거에너지사용량이 더 높은 것으로 나타났다.

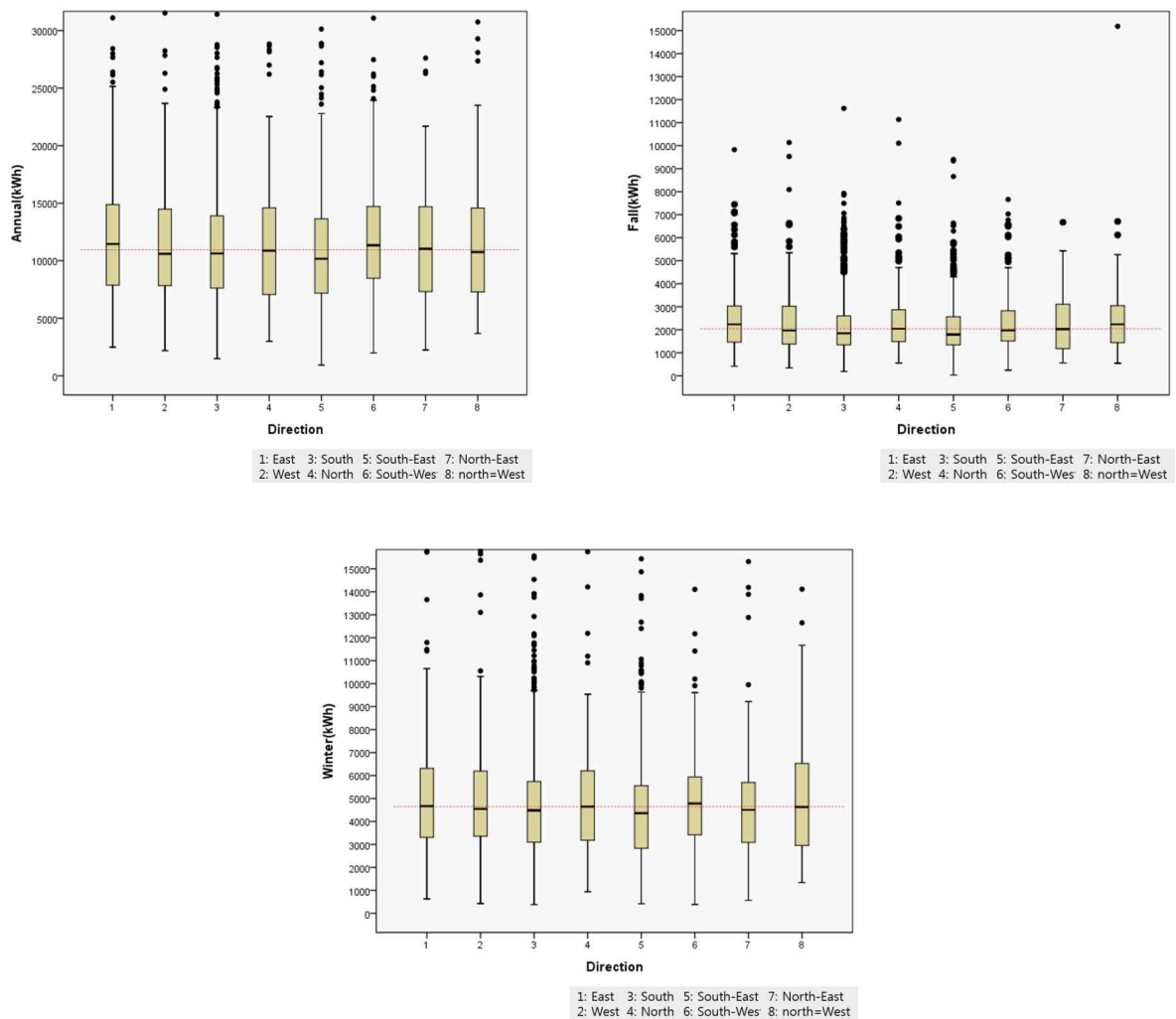


그림 20. 계절 별 에너지 사용량

② 주거에너지사용량에 영향을 미치는 세대특성 요소

Period	Household feature
Annual	Living year, Household member, Income, Occupation, Special note
Spring	Living year, Household member, Income, Occupation
Summer	Household member, Income, Household configuration, Occupation, Special note
Fall	Income, Gender, Occupation, Special note
Winter	Living year, Household member, Over 65 years old household member, Income, Occupation, Special note

표 14. 에너지사용량에 영향을 미치는 세대특성 요소

- 본 연구의 분석결과, 주거에너지사용량에 영향을 미치는 세대특성 요소는 표 14. 와 같다. 연간 주거에너지사용량 증가에 유의미한 영향을 미치는 세대특성 요소는 세대 특이사항, 세대주의 직업, 세대원 연간 총소득, 세대원수, 거주기간의 순서로 높게 나타났다.

- 거주 기간 등의 시간 관련 변수의 경우, 표본의 분포가 곡선 형태로 나타날 수 있다. 즉, 선형의 표본을 분석하는 일반적인 회귀분석에서는 결과가 유의미하지 않게 나타날 수 있다. 이에 대한 세부사항을 확인하기 위해 다중회귀분석의 결과를 바탕으로 표본 분포를 시각적으로 관찰하고자 산포도를 제시하였다. 이는 표본 분포의 추세에서 변화량이 변하는 시점, 즉 변곡점을 알아보기 위함이다. 이는 각 데이터 값을 제공하여 선형의 분포로 바꾸어 회귀분석을 진행하여 분석에 적용할 수 있다.

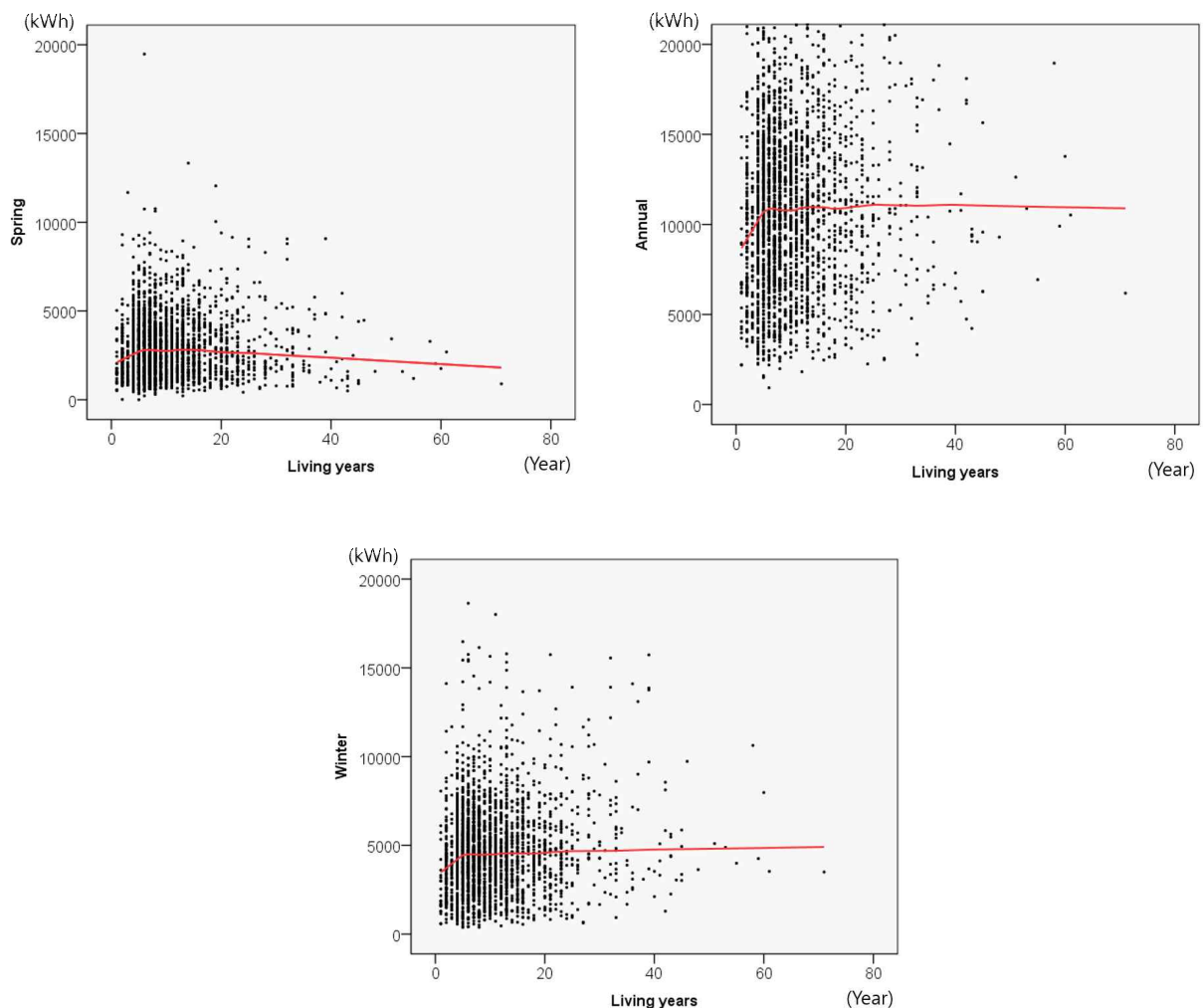


그림 21. 계절별 에너지사용량 산포도

- 봄 기간의 주거에너지사용량은 변곡점(그래프의 기울기가 변하는 지점)이 되는 약 6년까지 증가하는 분포를 보이고, 그 후에는 감소하는 분포가 나타난다. 분포를 살펴보면 연간과 겨울철에도 거주 기간이 영향을 미치는 것으로 나타났다. 두 기간 모두 연간과 같이 거주 시작 후 6년이 되는 기간까지 에너지사용량이 증가하는 형태로 나타난다.

- Seo, Hong, and Nam(2012)에 따르면 세대원의 경우 에너지를 직접적으로 사용하는 주체이므로 세대원 수가 증가할 때 에너지사용량도 증가한다고 한다. 이와 마찬가지로 본 연구의 분석결과 연간, 봄, 여름, 겨울의 주거에너지사용량에 세대원 수가 증가할 때 에너지사용량이 증가하는 것으로 나타났다.
- 세대원의 연간 총소득은 모든 기간의 주거에너지사용량에 영향이 있는 것으로 나타났다. 소득은 사용자가 에너지를 사용하는 행위를 결정할 때 가장 영향이 높기 때문에(Seo, Hong, & Nam, 2012), 이러한 결과가 발생한 것으로 보인다.
- 세대원 구성은 자녀의 유무를 기준으로 분석하였으며, 여름철 주거에너지사용량에 영향이 있는 것으로 나타났다. 세대주 성별은 세대주가 남성일 경우 가을에 더 많은 주거에너지를 소비하는 것으로 나타났다.
- 세대주의 직업은 모든 기간에서 자영업 종사자가 그 외 상용근로자, 임시 일용근로자, 기타 종사자보다 더 많은 에너지를 사용하는 것으로 분석되었다. 직업에 따라 소득과 재실 시간에 차이가 발생하기 때문에(Kim, Hong, & Jeon, 2011) 에너지사용량이 다르게 나타나는 것으로 판단된다. 이는 자영업자가 다른 직업군에 비해 주거지 내 재실 시간이 더 많고, 직장과 주거지가 같은 곳인 세대도 포함되어 있기 때문인 것으로 판단된다.
- 세대 특이사항은 일반 가구와 독거노인, 한 부모, 등록 장애인, 다문화, 기초생활보장수급, 조손의 항목으로 구분되어 있었다. 그러나 표본수의 분포가 일반 가구에 편중되어 있기 때문에 일반 가구와 기타로 나누어 분석하였다. 분석 결과 모든 기간에서 일반 가구가 다른 특이사항이 있는 기타 가구에 비해 주거에너지사용량이 더 높은 것으로 분석되었다.

③ 지역에 따른 주거에너지사용량

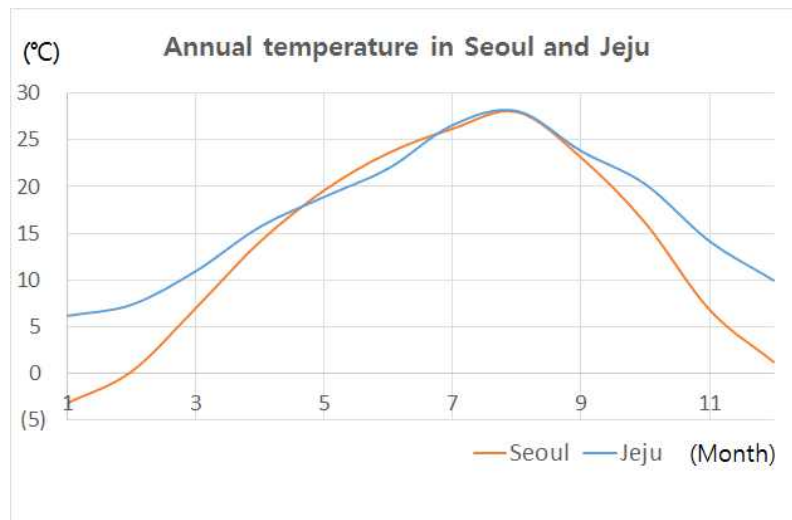


그림 22. 서울과 제주의 연간온도 비교

- 기상청에서 제공한 데이터를 통해 16개 도시 중 2016년 연간 최고 온도와 최저 온도의 차이가 가장 큰 서울과 가장 작은 제주도의 온도를 확인하였다. 제주도의 경우 연간 평균 최고기온과 최소기온의 차이가 다른 도시에 비해 비교적 적은 편이다. 이에 따라 제주도를 기준으로 분석을 진행하였다.

- 연간과 봄철에 주거에너지사용량이 제주도에 비해 높은 지역은 서울, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기, 강원, 전북, 경북이고, 연간에는 충남역시 높은 것으로 나타났다. 여름철에 주거에너지사용량이 제주도에 비해 높은 지역은 광주, 울산, 전남으로 나타났다. 가을철에는 광주, 강원, 전북이 제주도보다 많은 주거에너지를 사용하고, 대구의 경우 더 적은 에너지를 사용하는 것으로 분석되었다. 겨울철 제주도보다 많은 에너지를 소비하는 지역은 부산과 전남, 경남을 제외한 모든 도시로 나타났다.

- 강원지역의 경우, 연간 주거에너지사용량이 가장 높은 곳으로 나타났다. 강원지역은 다른 지역에 비해 2016년 가을과 겨울에 평균 상대습도와 평균온도가 낮은 편이었다. 또한, 지형적 위치가 태백산맥을 중심으로 영동과 영서로 분리되어 있으며, 계절에 따라 건조한 높새바람이 분다(Kim, Youn, & Kim, 2010). 이에 따라 다른 지역과 실제 기온에 비해 체감온도가 낮아 사용자가 더 많은 에너지를 사용하는 것으로 분석된다.

(3) 리모델링 대상 건물의 사용자 기반 성능평가 및 비교를 위한 에너지 예측모델 개발

(가) 방법 및 절차

- 본 연구에서 사용자 패턴유형 정의에 사용된 한국의 통계청에서 실시한 ‘2014년 한국인 생활시간조사’ 데이터에서 5,240개의 사용자의 활동과 특성에 대한 데이터를 활용하였다. 머신러닝 기법인 ANN을 활용하여 사용자의 활동과 특성을 모두 고려할 수 있는 예측모델을 구현하였다. 연구는 그림 23. 과 같은 순서로 진행하였다.

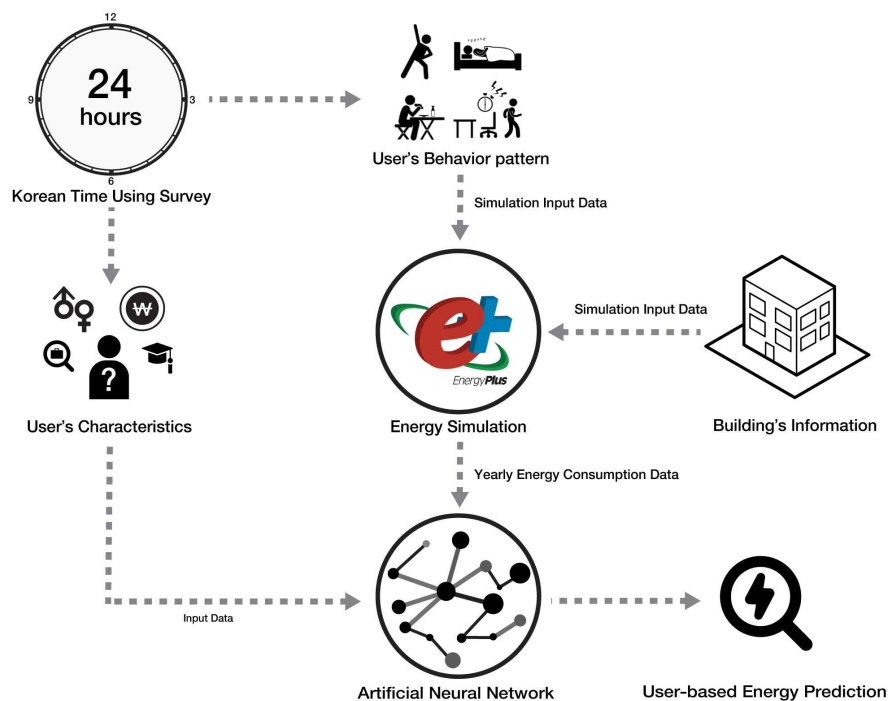


그림 23. Flow chart of Research

- 동일 건물 내에서 사용자의 활동에 따른 에너지사용량을 도출하기 위해 동적 시뮬레이션 프로그램인 Energy Plus를 활용하였다. 시뮬레이션에 활용되는 사용자는 통계청의 ‘2014년 한국인 생활시간조사’ 데이터 중 한국의 1인 가구 5,240명의 하루 활동 스케줄을 활용하였다. 사용자의 활동 스케줄을 활용하여 연간 에너지사용량을 도출하여 사용자의 소득수준, 나이, 교육정도, 재실시간, 성별, 직업의 총 6가지의 사용자 특성에 따른 에너지사용량의 차이를 분석한다. 분석을 통해 검증된 사용자의 특성과 도출된 연간 에너지사용량을 머신러닝 기법인 ANN을 이용하여 6가지 사용자의 특성으로 에너지사용량을 예측하는 모델을 구현한다.

(나) Artificial Neural Network(ANN)

- ANN(Artificial Neural Network) 알고리즘은 인간의 신경세포의 전달과정을 모사하는 머신러닝 알고리즘으로, 과거 및 현재의 데이터 학습을 통해 미래에 대한 예측, 분류, 패턴인식 등을 실행하는 기법이다. 인공신경망은 다양한 변수를 고려할 수 있으며, 변수의 가중치를 다르게 하여 최대한 실제 값에 근접한 결과를 보여준다.

- 건축물 사용자의 인구·사회·경제학적인 특성을 데이터로 활용하여, 인공신경망을 통해 사용자의 특성에 따른 에너지사용량 예측을 실행하였다. 사용자 특성에 따른 에너지사용량 예측모델을 구현하기 위해, 사용자의 활동을 기반으로 실행한 에너지 시뮬레이션 결과와 각 사용자의 개인정보를 기반으로 모델을 구축한다. 사용자의 개인정보 중, 인구·사회·경제학적인 특성으로 사용자의 활동에 영향을 미치는 나이, 소득, 성별, 교육수준, 직업과 사용자의 재실시간을 Input으로 활용하며, 시뮬레이션 결과인 에너지사용량을 Output으로 활용하여 그림 25. 와 같이 모델을 구축하였다. 연구에 활용되는 Input은 총 6개이며, Output은 예측된 에너지사용량으로 1개로 설정하였다.

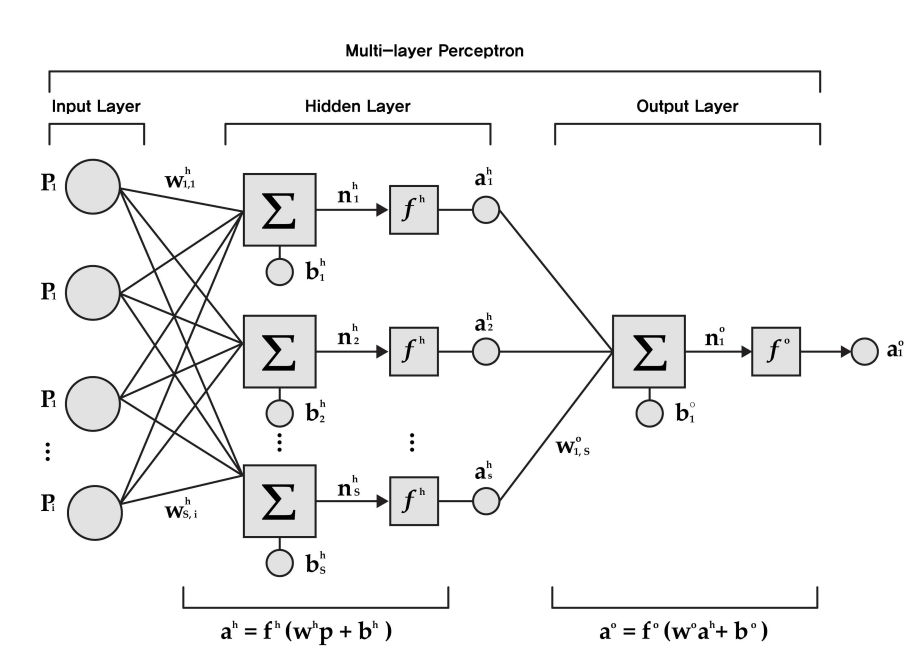


그림 24. 인공신경망의 구조

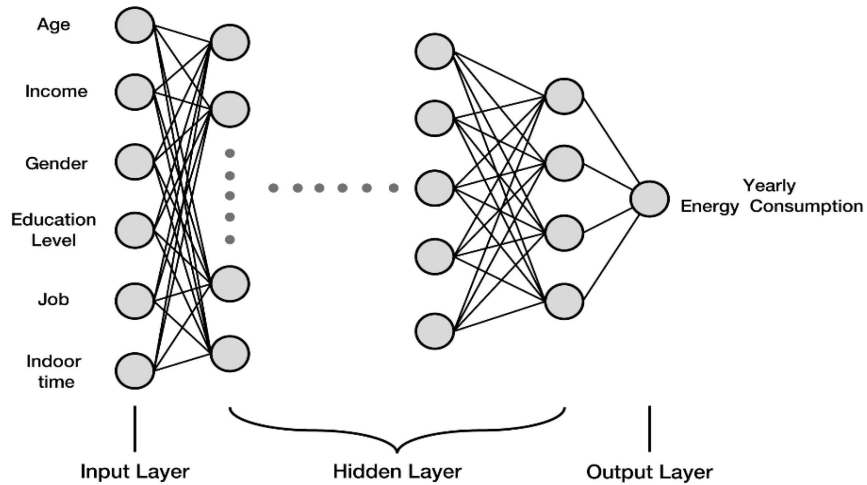


그림 25. 인공신경망의 INPUT과 OUTPUT

- Huang and Foo는 입력변수의 개수가 n 일 때 $2n + 1$ 개 내에서 은닉 뉴런의 수를 결정하는 것이 바람직하다고 하였다. 본 연구에서는 6가지의 사용자 특성을 입력변수로 사용된다. 그중 Job의 경우 10개의 명목상 변수가 있어 총 14개의 input을 가진다. 따라서 본 연구는 총 29개 내에서 은닉 뉴런의 수를 결정해야 한다. 조건에 따라 6가지의 네트워크를 만들어 성능을 비교하였다.

No.	Activation function	Learning Rate	Number of Layer	Number of Neuron in Layer
Network 1	ReLU	0.01	1	18
Network 2	ReLU	0.01	1	29
Network 3	ReLU	0.01	2	10 - 19
Network 4	ReLU	0.01	2	14 - 15
Network 5	ReLU	0.01	3	9 - 10 - 10
Network 6	ReLU	0.01	4	5 - 7 - 9 - 8

표 15. 성능비교를 위한 네트워크 구조 조건

- 인공신경망 모델은 데이터를 통해 학습을 시킨 후, 학습에 이용되지 않은 데이터를 모델에 적용시켜 모델의 타당성을 검증한다. 본 연구에서 에너지 시뮬레이션을 통해 얻은 에너지 시뮬레이션 값 중 80%의 데이터를 학습에 이용하고, 20%의 데이터를 모델평가에 이용하였다. 학습의 반복횟수는 200번으로 설정하며, 에러 값이 0.0001 이하가 될 경우 학습을 중단하였다.

Input data												Output data	
Age	Income	Gender	Education Level	Job								Indoor Time	Energy Consumption
42	450	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	57	182.0869
83	50	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	123	395.9636
33	350	1	3	0	1	0	0	0	0	0	0	65	232.7648
29	250	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	51	149.0521
30	250	1	5	0	1	0	0	0	0	0	0	62	103.771
47	50	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	144	185.6166
56	150	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	63	334.8878
28	250	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	68	188.5984
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮								⋮	⋮
70	150	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	82	239.1679

표 16. Input data sample

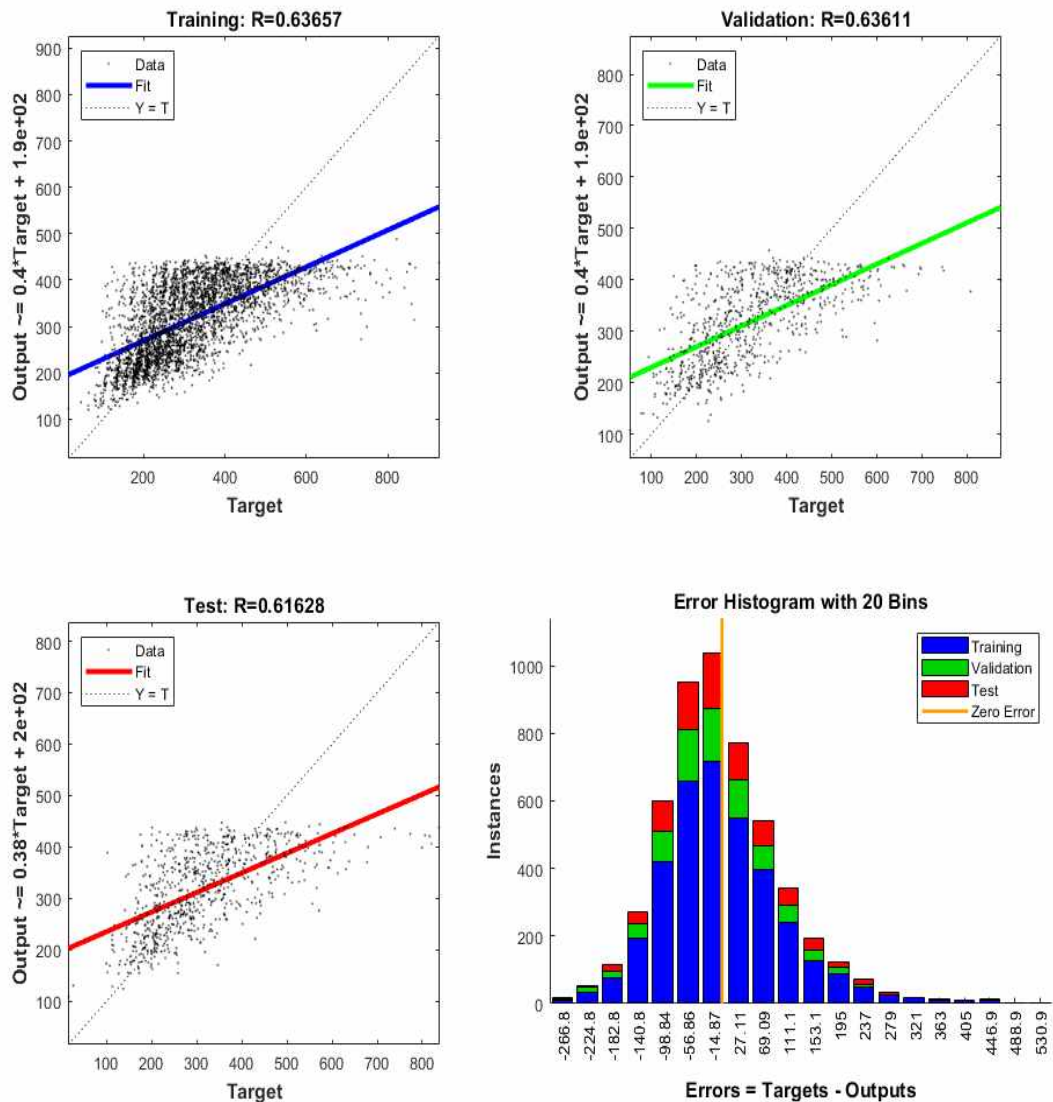


그림 26. 예측성능 비교 결과

- 네트워크 성능비교 결과, 'Netwok 4'의 결과가 가장 좋은 결과 값을 나타냈다. 'Netwok 4'의 R-Value는 training 값이 0.64312, Validation 값이 0.62886, Test 값이 0.63089로 가장 높게 측정되었다. MSE 값은 1.0356×10^4 으로 가장 작은 값을 나타내었다. 전체 데이터의 70% 이상이 -100 과 100 사이의 오차 값을 보여주었다.
- 'Network 4'를 기반으로 에너지 예측을 실행한 예측결과 샘플을 임의로 10개 추출하였다. output data와의 차이는 No.9의 경우 -3.79%로 가장 낮았으며, No.8의 경우 -38.74%로 가장 높았다.

NO.	Energy Consumption (kWh/m ² · year)	ANN Estimated Consumption (kWh/m ² · year)	Difference (%)
1	255.18	293.53	-15.03 %
2	272.69	303.37	-11.25 %
3	219.53	246.50	-12.29 %
4	334.89	245.68	26.64 %
5	188.60	223.03	-18.26 %
6	228.44	248.32	-8.71 %
7	332.22	378.50	-13.93 %
8	139.93	194.14	-38.74 %
9	212.83	220.90	-3.79 %
10	425.65	373.09	12.35 %

표 17. output 데이터와 예측 값의 비교 및 예측율

- 시뮬레이션 결과를 토대로 6가지의 사용자 특성에 따른 에너지 사용량의 차이를 분석할 수 있었으며, 6가지 특성을 변수로 실행한 Neural Network 예측모형은 물리적인 특성을 기반으로 실행한 선행연구에 비해 결과의 예측률이 다소 낮았다. 예측률의 오차는 Neural Network의 layer와 뉴런의 개수에 따른 부분도 있으나, 에너지사용량은 사용자의 특성 이외에도 건축물의 물리적 요소와 환경적 요소가 함께 작용하기 때문인 것으로 판단된다.
- 사용자의 특성만으로 에너지 차이의 정도를 예측할 수 있었으며, 향후 그린 리모델링 시에 본 연구의 모델을 이용하여, 동일한 사용자가 리모델링 후의 에너지성능 비교, 또는 동일건물 내에서 사용자의 변경으로 인한 에너지 성능 비교 등에 활용이 가능하다.

(4) 리모델링 부재 적용을 위한 텐세그리티 유닛 제안

(가) 텐세그리티 유닛

- 리모델링을 위한 건축물의 골조방식은 해당 건축물의 노후화, 건축년도에 영향을 받는다. 건축물의 골조는 리모델링 대상 건축물의 성능 및 안전성 개선, 효율성 향상을 위해서 user분석과는 별도로 진행되어야 하는 물리적인 부분이다. 이에 본 연구에서는 사용자 분석과는 별도로 성공적인 그린 리모델링을 위하여 리모델링 부재로 적용 할 수 있는 유닛을 제안하고자 하였다.

- URID(사용자통합데이터) 기술은 사용자의 정성적인 정보뿐만 아니라 사용자가 거주하는 건축물의 정량적 정보가 포함되어있다. 건축물의 정량적 정보에는 건축물의 구조, 노후화정보, 에너지사용정보 등이 포함되어 있음. 최종 구조체의 선정은 URID를 통해 도출된 건축물의 정량적 정보를 이용하여 리모델링 구조체를 선정하게 된다.

- 기존 리모델링 방식 중 하나인 기본 골조만 남기고 모두 다시 설비하는 추진 성향은 비용 부담 증가 및 건축 폐기물의 대량발생의 한계가 있었다. 또한 건물에 대한 새로운 설계 시 부재의 중량에 대한 부담으로 증축 및 확장에 어려움이 예상된다. 건축부재의 경량화 및 고강도화는 리모델링 방식의 다양성을 위해 꼭 필요한 조건이다. 프리스트레스 핀 접합 구조물(Prestressed pin-jointed structure)이 갖는 중량 대비 큰 강성은 이와 같은 요구사항에 최적이라 할 수 있다.

- 프리스트레스 핀 접합 구조물 중 하나인 텐세그리티(Tensegrity) 시스템은 안정 상태를 위해 압축력 혹은 인장력을 가하게 되며, 이러한 프리스트레스는 구조물의 강성을 증가시켜 더욱 안전하고 경제적인 구조물을 구성할 수 있다. 또한 텐세그리티 모듈을 연결하여 대공간 구조물의 지붕을 덮는 형식이나, 기존 구조물에 부착이 어려운 태양광 패널의 하부 지지대로의 사용, 또는 모듈을 상부 방향으로 적층 수직 구조물을 구성하는 등의 다양한 활용방안을 모색할 수 있다.

(나) 알고리즘 제안

- 본 논문에서는 리모델링 부재 적용을 위한 텐세그리티 유닛을 제안하면서 설계를 위한 형상탐색 기법을 제안하였다. 내력 밀도법은 형상탐색 과정에서 선형방정식만 필요하기 때문에 매우 효과적이다. 만일 제약조건을 고려하여 형상탐색을 수행할 경우 그 조건에 맞는 가상의 부재(Dummy element)를 대입하여 문제를 해결할 수 있지만 적절한 부재를 설정하기 어렵다는 단점이 있다.

- 본 논문에서는 구조물이 최대 고유진동수를 갖는 상태에서 최대 강성을 얻을 수 있는 조건

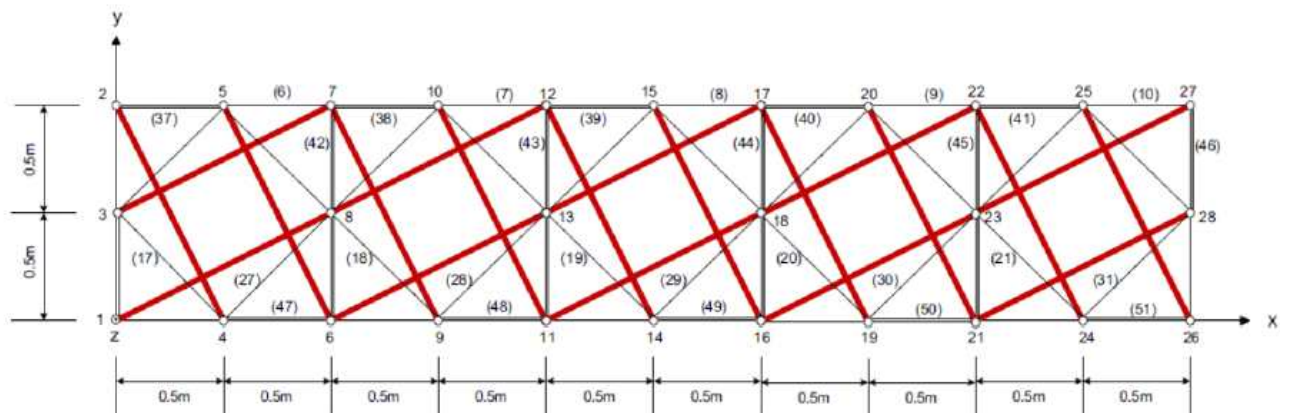
에 기반한 최적의 자기응력 값을 얻어내는 알고리즘을 개발하였다. 구조물의 접선강성행렬 (Tangent stiffness matrix)과 밀도행렬을 결합한 비 감쇠 자유 진동(Undamped free vibration) 식을 고유 값 문제(Eigenvalue problem)로 풀어 고유진동수를 도출한다. 이때 유전 알고리즘(Genetic algorithm)을 사용하여 시스템의 최대 고유 진동수 상태를 도출하였다.

(다) 유전 알고리즘

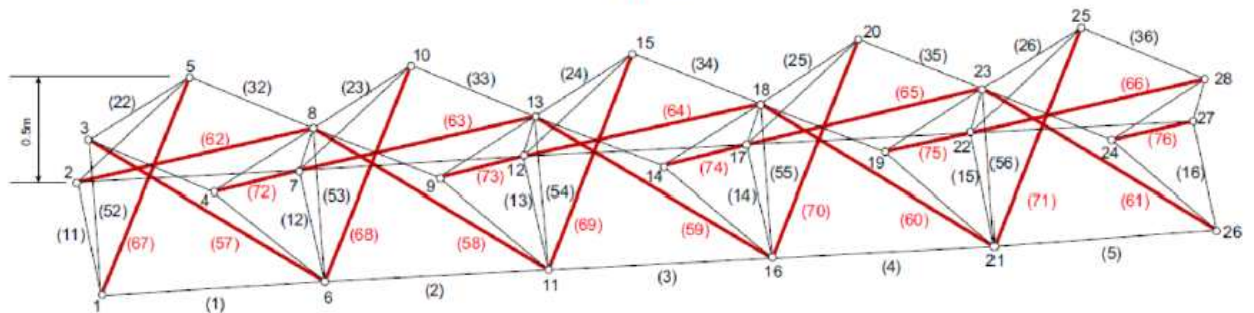
- 유전알고리즘은 생물학적 진화에 바탕을 둔 통계적 탐색 알고리즘 집합이다. 유전 알고리즘은 자연 선택과, 유전학에서 영감을 얻은 교차와 변이 연산을 사용한다. 유전 알고리즘을 해석하기 위한 주요 매개변수, 즉 최대 세대수(Maximum generation), 집단 크기(Population size), 교배 확률(Crossover probability)의 범위는 다음과 같이 설정하였다.

- 최대 세대수 : 100 - 1000
- 집단 크기 : 10 - 100
- 교배 확률 : 0.5
- 변수 범위 : 스트럿 [-1,0], 케이블 [0,1]

(라) 결과해석



(a) Plan view



(b) Isometric view

그림 27. The five quadruplex module tensegrity grid

- 기존 연구의 결과는 2개의 평형 방정식을 반복하여 수행함으로써 얻어지는 것으로 해석시간

면에서 불리한 측면이 있었다. 또한 기존의 연구는 부재를 13개의 그룹으로 나누어 해석을 수행하였으며, 고유 주기 또한 2.74초로 본 연구에서 얻은 고유 주기 값보다 높은 값을 보였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘을 사용하여 더 최소 고유 주기를 이끌어 냈으며, 동시에 더 좋은 강성을 이끌어 내었다, 또한 본 연구에서 진행한 형상탐색은 효율적인 내력밀도 세트를 이끌어 낼 수 있었다.

(5) IOT 태그를 활용한 건설 자재 및 공정관리 시스템 및 방법 개발

(가) 배경기술

- 기존 자재관리는 자재의 입/출고 단계에서 관련 정보를 별도의 시스템에 수기로 입력하거나 문서로 관리한다. 이러한 정보의 입력은 많은 인적, 시간적 낭비를 발생시키며, 직접 입력 중 정보의 오류 및 누락을 발생시킨다. 자재정보의 오류 및 누락은 시스템상의 보유 자재와 실제 건설 현장 내의 보유 자재가 일치하지 않아 자재의 재고 증가 및 공급 부실 등의 문제점이 발생한다.

(나) IOT 태그를 활용한 자재 및 공정관리 제안

- 본 연구에서는 리모델링 시공 시, 자재에 부착된 IOT 태그의 식별 정보에 기초한 상기자재와 관련된 자재 정보를 업데이트하여, 공정 정보를 관리하는 시스템을 제안한다. 리모델링 현장에 입고되는 자재에 IOT 태그를 부착하여 자재의 자재 정보, 자재의 입/출고 정보, 자재의 물량정보 및 자재의 공정정보 등을 연계하여 통합적으로 자재를 관리하는 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.

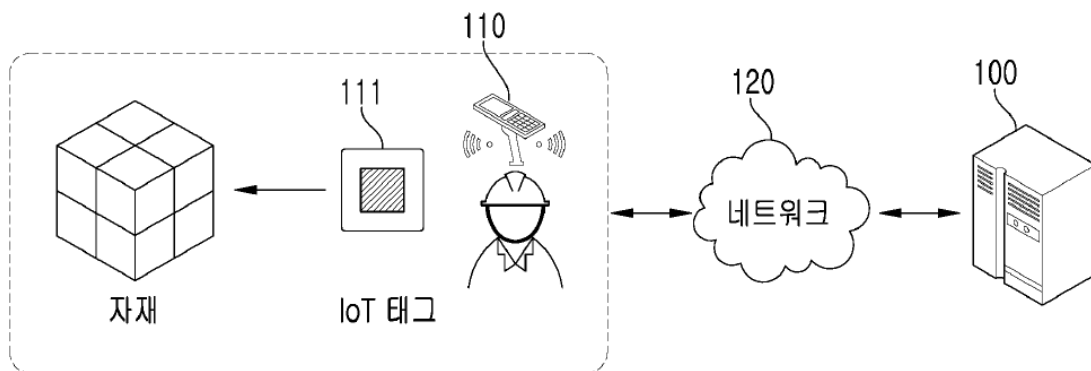


그림 28. 특허 대표도

(다) 발명의 효과

- IOT 태그를 이용한 자재 및 공정관리 시스템은 3차원 설계정보, 공사 일정 정보, 자재 소요 정보 등의 연계를 통하여 작업자에게 현장의 자재소요 현황, 공정 진행 상황 등을 실시간으로 제공할 수 있다.

- 초기의 자재 정보, 계획된 공정 정보와 실제의 자재 정보, 실제의 공정 정보를 비교함으로써 자재의 유실 및 공정의 진행 정보를 파악할 수 있다. 이를 통해 통합적으로 자재 및 공정 관리를 수행할 수 있다.

- IOT 태그를 활용한 입고/출고/시공이 완료도나 물량의 추적 관리를 통하여 특정 시점에서의 현장 소모 물량을 확인할 수 있다.

(라) 기존 RFID 운용방식과의 차이점

- 기존의 RFID 태그를 이용한 자재관리 기술은 기자재들에 RFID 태그를 부착하여 위치를 확인 관리하는 야적장에서의 위치관리 방법으로, 본 연구의 범위는 RFID 태그에 한정하지 않고 센서 등을 활용한 자재의 온·습도의 관리나, NFC 태그를 활용한 보안성 향상 등의 활용을 포함한다. 또한 기존의 위치관리 기술에서 더 나아가 자재의 사양, 물량 등의 자재 관련 정보와 공사 위치 정보, 공사 일정 정보 등의 공정 관련 정보를 통합하여 설정된 공정 계획과 실제 공정현황을 비교하고 자재와 관련된 정보를 통합 관리할 수 있다.

다. 연구 개발 성과

(1) 논문 게재 성과

(논문 게재 성과 1)

논문명	Prediction Model Based on an Artificial Neural Network for User-Based Building Energy Consumption in South Korea
게재지(권, 쪽)	Energies (Volume 12, Issue 4)
게재연도	2019.02
저자명	Seunghui Lee, Sungwon Jung(교신저자), Jaewook Lee
구분	SCI(E)
사사여부	단독사사

(논문 게재 성과 2)

논문명	Analysis of the Effect of Cul-de-sacs' Permeability Factors in Low-Rise Residential Areas on Buglary
게재지(권, 쪽)	Jounal Of Asian Architecture And Building Engineering (Volume 16, Page. 487-493)
게재연도	2017.09
저자명	Kim Seungil, Kim Dahee, Jung Sungwon(교신저자)
구분	SCI(E)
사사여부	단독사사

(논문 게재 성과 3)

논문명	Evaluation of visual comfort with daylighting levels using Daysim in different transparency and orientation in the UK
게재지(권, 쪽)	International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. (Page. 266-278)
게재연도	2018.12
저자명	Sungwon Jung(주저자), Choulwoong Kwon
구분	SCOPUS
사사여부	단독사사

(논문 게재 성과 4)

논문명	주거용 건물에서 건축물의 물리적 요소와 세대특성이 에너지사용량에 미치는 영향요인 분석
게재지(권, 쪽)	한국주거학회 (Volume 30, Page. 13-26)
게재연도	2019.02
저자명	김만수, 정성원(교신저자)
구분	국내학술지
사사여부	단독사사

(논문 게재 성과 5)

논문명	1인 가구 거주자의 생활패턴이 고려된 에너지 소요량 분석
게재지(권, 쪽)	대한건축학회 (Volume 35, Page. 37-46)
게재연도	2019.01
저자명	이승희, 정성원(교신저자), 임기택
구분	국내학술지
사사여부	단독사사

(논문 게재 성과 6)

논문명	한국 1인 가구 거주자 생활패턴을 고려한 에너지소비패턴 유형 정의
게재지(권, 쪽)	한국친환경건축설비학회 (Volume 12, Page. 487-488)
게재연도	2018.10
저자명	김솔, 정성원(교신저자), 김다희
구분	국내학술지
사사여부	단독사사

(논문 게재 성과 7)

논문명	리모델링 부재 적용을 위한 텐세그리티 유닛 설계기법
게재지(권, 쪽)	한국공간구조학회 (Volume 17, Page. 141-148)
게재연도	2017.12
저자명	이승혜, 이재홍, 정성원(교신저자)
구분	국내학술지
사사여부	단독사사

(2) 특허 성과

구분	출원
특허명	IoT 태그를 활용한 건설 자재 및 공정관리 시스템 및 방법 SYSTEM AND METHOD FOR CONSTRUCTION MATERIAL AND PROCESS MANAGEMENT USING IoT TAGS
번호	출원번호 1020170125182
출원연도	2017.09.27
출원인	세종대학교 산학협력단

구분	등록
특허명	IoT 태그를 활용한 건설 자재 및 공정관리 시스템 및 방법 SYSTEM AND METHOD FOR CONSTRUCTION MATERIAL AND PROCESS MANAGEMENT USING IoT TAGS
번호	등록번호 1019276400000
출원연도	2018.12.04
출원인	세종대학교 산학협력단



발송번호: 9-5-2018-082002478
 발송일자: 2018.11.30.
 제출기일

YOUR INVENTION PARTNER

특 허 청
 특허결정서

출원인	성명	세종대학교산학협력단 (특허고객번호: 220050114702)
	주소	개인정보보호를 위해 비공개합니다.
대리인	성명	양성보
	주소	개인정보보호를 위해 비공개합니다.
발명자	성명	이재욱
	주소	개인정보보호를 위해 비공개합니다.
	성명	정성원
	주소	개인정보보호를 위해 비공개합니다.
	성명	나선철
	주소	개인정보보호를 위해 비공개합니다.
	성명	양현철
	주소	개인정보보호를 위해 비공개합니다.
	성명	이용선
	주소	개인정보보호를 위해 비공개합니다.
출원번호	10-2017-0125182	
발명의명칭	IoT 태그를 활용한 건설 자재 및 공정관리 시스템 및 방법	
청구항수	11	

이 출원에 대하여 특허법 제66조에 따라 특허결정합니다.(특허권은 특허료를 납부하여 특허법 제 87조에 따라 실정등록을 받음으로써 발생하게 됩니다. 한편, 특허법 제67조의2제2항에 따라 이 출원에 대한 중전 거절결정(2018.09.21)은 재심사 청구로 인하여 취소된 것으로 간주되었습니다.)
 끝.

[참고문헌] 1. KR1020110020379 A2. JP2006127386 A
 2018.11.30.

특허청

특허심사기획국

정보기술융합심사과
 심사관 백양규



그림 29. 특허 결정서

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 및 목표 달성도

- 본 연구의 연구계획서 및 연차실적계획서를 중심으로 해당 연구의 정성적, 정량적 목표를 기술하였다.

(1) 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형 ¹⁾	연구기관	해당 연차	TRL
1	공동주택 URID 데이터베이스	공동주택 관련 정보수집 및 실태분석을 통한 URID 도출	③	세종대학교	1	2
2	URID 기반 리모델링 계획/평가 지표	URID 기반 리모델링 적용 요소 도출 / 리모델링 계획 지표 수립	③	세종대학교	2	2
3	URID 기반 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준	URID 기반 공동주택 리모델링 평가 기준 개발	③	세종대학교	2	2

- 본 연구의 핵심 연구 성과는 총 3개로 구성되어 있으며, 각 연구 성과의 달성도는 양적 성과 건수와 성과점검기준으로 평가되도록 계획되어있다.

(2) 성과 목표

성과지표	성과 목표	최소 성과 목표	최종 달성 성과
SCI(E)급 학술지 게재(2점)	2건	1건	2건
일반학술지게재(1점)	3건	2건	5건
특허출원(1점)	1건	1건	1건
특허등록(2점)			1건
디자인 등록(1점)			
소프트웨어(1점)			
하드웨어(1점)			
기타(1점)			
소계(점수)	8점	5점	12점

- 본 연구의 성과목표는 각 성과지표 항목에 의해 최소 성과 목표 점수 5점, 성과 목표 점수 8점을 달성하도록 계획되어있다. 본 연구의 공개 발표된 연구개발 성과는 SCI(E)급 학술지 논문 게재 2건과, 해외 SCOPUS 급 학술지 논문 게재 1건, 국내 비 SCI급 학술지 논문 게재 4건, 특허등록이 1건이 있어, 본 연구의 성과목표를 초과한 성과를 달성하였다.

(3) 연구 목표 달성도

세부 연구 목표 (연구 계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
데이터 통합 DB 구축	20	100	통합 분석을 위한 사용자 정보와 건축물 정보를 통합한 DB 수집 및 구축.
URID 기반 정량적, 정성적 데이터 분석	20	100	건축물의 물리적 요소의 자세한 반영과 사용자의 행동 및 특성 데이터를 정량화 하여 분석함.
리모델링 핵심요소 도출 및 가중치 산정	20	100	통계분석 기반의 사용자 및 건축물 요소를 통합 고려하여 영향요소 및 영향도 도출
리모델링 대안별 가치평가	20	100	가치평가와 지표 개발을 동시에 진행할 수 있는 빅 데이터 기법을 적용한 인공지능망 예측모델 구축.
리모델링 평가 지표 개발	20	100	
합계	100점	100	전체 연구흐름에 따라, 데이터 수집 및 분석과 평가지표 개발을 목표에 맞게 수행하였음.

- 본 연구의 개발을 위해 성실하게 수행해 왔으며, 기존에 제안했던 연구방법에서 한 단계 더 나아가, 빅 데이터 분석과 다양한 머신러닝 기법을 사용하여 성과를 이루었다. 또한 기존에 제시되었던 성과목표치를 초과달성하는 성과를 이뤄 연구 개발 수행을 성실히 이행하였다고 사료됨.

(4) 주요 연구개발 내용 및 달성 성과 설명

핵심성과 1	공동주택 URID 데이터베이스	
정의	공동주택 관련 정보수집 및 실태분석을 통한 URID 도출	
목적	공동주택 URID 데이터 베이스를 확보해 다음 성과를 이루기 위한 기반을 마련	
성능목표	(기존기술 수준)기존 친환경 관련 DB (개발기술 수준)새로운 소비자 DB수집, 정량적·정성적 데이터 통합 DB 구축	
성과달성 확인방법	친환경 DB와 소비자 DB를 수집을 위한 DATA 수집정도와, 통합 DB 구축 정도를 확인하는 방법으로 성과달성 확인	
달성여부	성과달성	
성과설명	1. 한국인 생활시간조사 데이터를 활용한 한국인 생활패턴 및 에너지 사용량 DB구축 - 본 연구에서는 통계청의 마이크로데이터인 한국인생활시간조사를 바탕으로 건축물 사용자를 시뮬레이션 분석을 통해 한국인의 에너지사용량 DB를 구축하였으며, 생활패턴에 따른 사용자의 유형을 클러스터링을 통해 정의하였다. - 공동주택의 대표적인 유형 데이터를 구축하기 위하여 실제 사용되고 있는 도시형 생활주택을 대상으로 정보를 수집하였다. 토지주택공사의 행복주택사업대상으로 협조요청을 통해 건축물의 공간정보 및 에너지 절약계획서를 획득하여 건축물 시뮬레이션 모형을 구축하였다. 2. 실증데이터 확보를 통한 물리적, 사회 인구학적 특성의 분류 분석 - 범죄의 실증데이터를 확보하고, 확보된 실증데이터를 기반으로 대상지의 물리적인 특정 환경요인과 각 지역의 집단적 사회 인구학적 특성을 함께 고려하는 연구방법을 본 논문을 통해 실증함.	
정량적 성과	논문	SCI(E) : 1건, 학술지 : 2건

핵심성과 2	URID 기반 리모델링 계획/평가 지표	
정의	URID 기반 리모델링 적용 요소 도출 및 리모델링 계획 지표 수립	
목적	URID기반 리모델링 요소 중 핵심요소를 도출하고 가중치를 세우는 등 리모델링 계획 지표를 수립하고, 이를 통해 다음 성과물을 얻기 위한 기반을 마련	
성능목표	(기존기술 수준)일반 공동주택 리모델링 요소 데이터 (개발기술 수준)URID를 활용한 리모델링 핵심요소 도출, 가중치 산정, 계획지표 수립	
성과달성 확인방법	URID기반 DB 수집정도, 핵심요소 가중치 산정 여부, URID 기반 대안도출 정도, URID기반 계획 지표 설정여부 등의 확인을 통해 성과달성을 확인	
달성여부	성과달성	
성과설명	1. 건축물의 물리적 요소와 세대원 특성이 에너지 사용량에 미치는 영향요인 분석 및 영향도 도출 - 실제 에너지사용량 DB를 수집하고 건축물의 물리적 특성과 사용자 세대 특성을 통합적으로 고려하여 건축물의 에너지사용량에 미치는 영향요인을 분석하여, 그린 리모델링을 위한 핵심요소를 도출함. - 연간 및 계절별, 지역별, 주거용 건축물 에너지에 영향을 미치는 핵심요소와 영향도를 도출 2. 리모델링 부재 적용을 위한 텐세그리티 유닛 제안 - 리모델링 건축물에 필요한 건축부재의 경량화 및 고강도화를 위하여 프리스트레스 핀 접합 구조물을 연구함. 리모델링 부재적용을 위하여 텐세그리티 유닛을 제안하면서 설계를 위한 형상 탐색기법을 제안함. 3. 그린리모델링 시, 캐노피를 활용한 주광이용 및 에너지 절감 연구 - 리모델링 시, 외부요소로 활용할 수 있는 캐노피의 시뮬레이션 분석을 통해, 주광이용을 최대로 하면서 건축물의 에너지를 절감할 수 있는 캐노피 활용방안을 모색함.	
정량적 성과	논문	학술지 : 3건

핵심성과 3	URID 기반 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준	
정의	URID 기반 공동주택 리모델링 평가 기준 개발	
목적	URID 기반 공동주택 리모델링 계획 및 평가기준 개발을 위한 단계별 리모델링 평가항목 구성, 평가방법 수립, 대안별 가치평가, 평가 지표 개발	
성능목표	(기존기술 수준)일반 공동주택 리모델링 계획 및 평가 기준 (개발기술 수준)URID 기반 공동주택 리모델링 계획 및 세밀하고 복합적인 평가기준과 지표 개발	
성과달성 확인방법	평가항목 구성정도, 평가방법 수립정도, 가치평가 기준 설정여부, 평가지표 개발 여부 등의 확인을 통해 성과달성을 확인	
달성여부	성과달성	
성과설명	1. 리모델링 전후 성능비교 및 사용자 기반 건물 에너지 소비 예측을 위한 인공신경망 모델 - 사용자의 행동과 특성이 건축물의 에너지 소비에 영향을 미치는 부분을 분석하기 위해 빅 데이터 분석기법인 인공신경망을 활용하여 건축물의 물리적 환경이 통제된 상황에서 사용자 기반의 에너지 예측을 실시함. - 인공신경망 기반 사용자 중심의 건축물 에너지 예측을 통해 R-value 0.6 이상의 예측률을 가지는 모델 구축 - 사용자를 기반으로 리모델링 대상 건물의 전후의 성능 평가 및 비교 2. 리모델링 실행 시 효율성 향상을 위한 IOT 태그를 활용한 건설 자재 및 공정관리 시스템 및 방법 - 리모델링 실행 시, 리모델링 기술 향상을 위해 건설자재의 IOT 태그의 식별 정보에 기초하여 자재와 관련된 자재 정보 업데이트를 통한 자재 및 공정관리 시스템 개발.	
정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 1건, 등록 : 1건
	논문	SCI(E) : 1건

나. 관련 분야 기여도

(1) 사용자 기반의 그린 리모델링을 위한 건축물 성능평가 기반 마련

- 본 연구에서 구축된 사용자 DB와 사용자 기반의 에너지 성능 예측모델을 이용하여 물리적 시스템의 성능 평가 분야, 사용자 라이프스타일 분석 분야 등 다양한 관점의 연구 및 기술을 융합하는 기반이 될 수 있다.

(2) 지속적인 사용자 DB 업데이트 및 다양한 사용자를 적용한 연구 가능

- 본 연구에서 사용된 ‘한국인 생활시간조사’ 데이터나 ‘가구 에너지 소비 상설 표본 조사’는 국가적으로 시행되는 조사기반의 데이터로서, 지속적인 DB의 업데이트를 통해 유형 및 패턴 분류의 정확도를 향상시킬 수 있으며, 특정 사용자를 대상을 측정된 데이터도 이용이 가능하기 때문에 다양한 형태의 사용자를 반영한 리모델링 성능평가가 가능하다.
- 현재 운용되고 있는 기관별 관련 데이터(공동주택관리정보시스템, 가구 에너지 소비 상설 표본 조사 등)의 경우 정보의 세분화가 부족하며, 세대단위의 정보가 아닌 단지별 정보로 제공되고 있다. 또한 사용자의 개인정보 공개범위가 제한되어 있어, 각 세대별 가구정보와 일치하는 공동주택의 물리적 정보를 획득하기가 어렵다. 현재의 연구단계에서는 운용되고 있는 데이터와의 직접적인 접목이나 호환은 제한적이거나, 본 연구에서 활용된 ‘한국인 생활시간조사’, ‘가구 에너지 소비 상설 표본 조사’ 데이터를 활용하여 지속적인 한국인의 생활패턴과 에너지 사용패턴의 업데이트를 통해 한국인의 가구정보와 실내 활동정보 DB를 구축을 진행할 수 있다. 구축된 DB는 사용자 기반의 공동주택 에너지 정보 분석에 활용 될 수 있다.

(3) 건축물의 리모델링 전후 시뮬레이션 및 사용자 변경 전후의 에너지사용량 예측 가능

- 리모델링 실행 시, 사용 전후의 물리적인 성능의 변화를 평가할 수 있을 뿐만 아니라, 사용자가 바뀌었을 때, 건축물의 사용 전후의 대한 에너지사용량의 정도 파악이 가능하다. 사용자에게 보다 정확한 에너지 정보 전달이 가능하다.

4. 연구개발성과의 활용 계획

가. 연구결과의 기대효과

(1) URID 기술 적용에 따른 정량적·정성적 효과

(가)정량적 효과

- 연구의 궁극적 목적인 건축물 분야의 에너지 감축을 통하여, 정부의 2030 국가온실가스 감축기본로드맵의 실현 가능성을 증대시킨다.
- 건축물의 물리적인 성능 중심의 일방향적 리모델링에서 벗어난, 사용자의 행동패턴, 에너지 사용량, 물리적인 정보를 통해 보다 효율적인 성능개선으로 건축물의 에너지 절감을 실행한다.
- URID를 통해 거주자 및 전문가, 공공의 리모델링 의사결정을 지원하고 건축물의 에너지 정보 분석과 그린 리모델링의 방향성을 제시 할 수 있다.

(나)정성적 효과

- 기존의 건축물의 물리적인 정보를 바탕으로 진행되는 획일화된 리모델링에서 벗어나, 거주자 중심의 성능개선을 통해 주거 만족도 향상과 함께 리모델링 사업을 촉진 시킬 수 있다.
- URID 데이터를 이용하여 리모델링 뿐만 아니라, 주거용 건축물의 에너지 관리와 매니지먼트 기술 증진에 이바지 할 수 있다.
- URID의 활용을 통해 거주자 간의 에너지 정보 공유 및 건축물 에너지 정보 공개를 활성화 하여, 건축물 사용자들의 자발적인 에너지 절감을 유도 할 수 있다.

(2) 기술적 측면

- 리모델링 가이드라인을 통해 리모델링 계획 기술 증진에 이바지하고, 리모델링 관련 교육 및 연구개발의 활성화에 기여한다.
- 물리적 시스템의 성능평가 분야, 공간환경 성능평가 분야, 수요자의 요구사항 평가 분야 등 다양한 관점의 지식 및 기술들을 융합하는데 기여한다.
- 리모델링 과정에서 수요자의 직/간접적 참여를 높이고 능동적 참여를 이끌어냄으로써 수요자 맞춤형 리모델링 계획기법 개발에 기여한다.

- 다양한 연구기관에서 URID 데이터베이스를 리모델링의 대안이나 에너지의 효율 및 평면의 효율 등을 연구하는 기반 데이터로서 활용하여 리모델링 연구의 발전에 기여한다.

(2) 경제적·산업적 측면

- 저렴하고 다양한 주택 리모델링 유형 개발을 통한 건설기술 향상에 이바지한다.
- 현재 정체되어있는 주택시장에 활기를 불어넣고 리모델링 건설시장을 통해 기술 향상 및 국가 경쟁력 향상에 기여한다.
- 현재 신축, 재건축 등의 신규 사업의 부족으로 인한 건설경기 침체를 리모델링 사업 활성화를 통해 극복하고 새로운 시장 개척을 통한 고용 창출에 기여한다.
- 리모델링 계획단계에서 기존 공동주택의 물리적 환경 평가 및 거주자의 요구사항을 사전에 파악하여 초기 리스크를 절감하고, 유지관리에 드는 비용을 절감할 수 있다.
- 수요자별 차별화된 리모델링 계획을 제안함으로써 주택산업 자체를 발전시키고 더 나아가 개별 수요자에게 필요한 맞춤형 주거 서비스 관련 제품 및 기술 발전에 긍정적인 영향을 미친다.
- 공동주택의 리모델링을 통한 에너지 성능향상을 통해 국가 차원의 에너지 소비량을 줄여 국가 발전에 이바지할 수 있다.
- 본 연구에서 구축하는 URID의 확보를 통해 국가 차원의 주택관리 및 에너지관리가 가능해지고, 관련 분야의 신기술/기법 등 미래원천기술 개발에 이바지할 수 있다.

(3) 사회적 측면

- 정부, 자치단체, 공기업, 관련기관 등에서 리모델링 계획지표를 리모델링 사업계획 수립에 활용 가능하며, 현재 산재되어 있는 제도 및 정책을 정비하는데 도움을 준다.
- 정부 및 자치단체 등에서 URID 데이터베이스를 리모델링 제도의 개선 및 정비를 하는 데에 활용이 가능하며, 리모델링 관련 사업계획을 수립하고 추진하는 데에 있어서 활용이 가능하다. 또한 도시 환경을 정비하고 유지 및 관리하는 데에 있어 활용이 가능하다.
- 주거복지 및 주거환경 개선을 위한 리모델링 관련 법령 개정 시 리모델링 계획지표가 근거자료로 활용된다.
- 공동주택의 수진진단 및 성능평가는 정부 및 자치단체의 도시 관리에 활용된다.

- 리모델링 계획지표를 활용하여 지역별, 계층별 주거환경 현황을 파악함으로써 주거복지 향상을 위한 지역별, 계층별 우선순위 설정에 기준을 제시해주고, 사회구조변화에 따른 유연한 대처를 위한 계획수립에 기반자료로 활용된다.
- 획일적인 리모델링 계획을 지양하고 지역커뮤니티 회복 및 사회적 통합과 거주자의 만족도 향상에 초점을 맞춘 현실적인 사업 실행을 통해, 다양한 거주자에게 쾌적한 정주환경을 제공하고 다양한 계층이 모두 적정 수준 이상의 주거복지를 영위할 수 있다.
- 공동주택 리모델링을 통한 세대별, 계층별 주거환경의 질적 향상을 통해 사회격차를 해소하고 사회통합에 기여한다.
- 공동주택 리모델링을 위한 명확한 가이드라인을 통해 정부, 공기업, 민간기업, 연구소 등에서 선진 주거복지를 위한 연구 및 사업에 활용 될 수 있다.

나. 연구결과물의 활용방안

(1) 현행제도의 한계점 보완 및 연계가능성

- 정부에서는 건축물 부분 중에서 온실가스 배출 전망치 대비 가정 부문에서 27%를 감축하는 목표를 제시하였으며, 2013년부터 ‘에너지 소비 증명 제도’를 도입하여 건축물 거래 시, 에너지 정보 제공을 위한 건축물의 에너지 소비 증명서를 발급하고 있다. 에너지 소비 증명서에는 ‘건축물 에너지 효율 등급 제도’를 통한 건축물의 에너지 효율 등급과 에너지 고지서 등을 통해 얻은 데이터를 통해 에너지사용량이 함께 제공되고 있다.

- 건축물 에너지효율등급의 경우, 등급을 산정하는 건물은 500세대 이상의 공동주택으로 한정되어 있으며, 평가에 활용되는 ECO2 프로그램의 경우 건축물의 물리적인 요소를 기반으로 평가를 진행하고 있으나, text 기반의 단순한 입력방식을 사용하기 때문에 물리적 특성에 대한 불충분한 정보를 바탕으로 자세한 반영이 어렵다.

- ‘에너지 사용량’ 평가의 경우 에너지사용량 수집 정보체계는 갖추어져 있으나, 평가체계의 부족 및 구체적인 평가기준이 마련되어 있지 않다. 또한 일반인들에게 정보를 공개 시, 용어 및 단위개념을 이해하기 힘들며 건물 간 또는 사용자 간의 직관적인 상호비교 및 수준과약이 어렵다.

(2) 다양한 형태의 주민을 고려한 에너지 사용량 예측 제안

- 본 연구에서 실행된 에너지 사용량 예측은 1인 가구를 대상으로 한정하여 시뮬레이션 값을 바탕으로 진행하였다. 실제 사용량 데이터를 구하기가 힘들며, 시뮬레이션의 경우 1인 가구 이상의 다양한 형태의 주민을 고려하지 못하는 부분이 한계점으로 존재한다. 다양한 형태의 주민을 고려하기 위하여 다음의 방법을 제안한다.

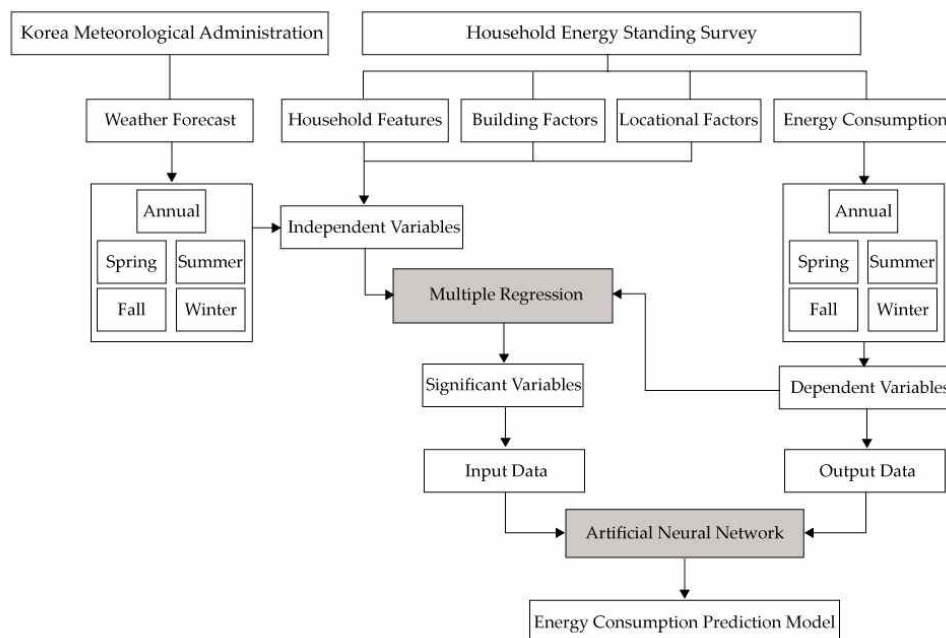


그림 30. 실제 에너지사용량 기반 에너지 예측 모형 프로세스

- 본 연구에서 실행한 “건축물 특성과 사용자 세대 특성을 통합 고려한 영향요소 도출” 방법으로 활용된 다중회귀분석과 인공신경망을 함께 활용한 방법으로 에너지 사용량에 영향력이 있는 요소를 도출하여, 인공신경망의 Input Data로 활용하며 각 가구의 실제 에너지 사용량을 Output Data로 학습시켜 예측모형을 구현한다. ‘가구상설에너지표본조사’데이터에는 실제 에너지사용량과 각 가구의 가구원 수와 특성 등이 포함되어있다. ‘가구상설에너지표본조사’ 데이터를 활용한다면 실제 에너지 사용량과 가구원 수를 고려한 에너지 사용량에 예측 방법으로 본 연구에서 시뮬레이션 기반의 예측모형의 한계점을 보완 할 수 있다.

(3) Deep Learning을 활용한 사용자 중심의 건축물 에너지 시뮬레이터 개발 제안

- 건축물의 에너지는 사용자의 행동과 특성에 많은 영향을 받고 있으며, 사용자에 따라 동일 건물에서도 사용량의 차이가 발생한다. 해외의 경우, 정확한 에너지 예측과 에너지 정보 전달을 위해서 ANN(Artificial Neural Network), SVM(Support Vector Machine)등의 머신러닝 기법과 시뮬레이션 툴을 이용하여 사용자에 따른 에너지 사용량을 예측하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 사용자의 특성 및 행동이 반영된 건축물 에너지 정보는 건축물 거래 및 거주하는 사용자들에게 더욱 정확한 에너지 정보를 제공할 수 있다. 신축 및 기존 건축물 모두에 적용하여 사용자들의 에너지 정보공유를 통해 자발적인 에너지 절약이 가능해진다. 최근 연구동향에 따라, 국내에서도 사용자와 건축물의 상호작용에 따른 에너지사용량의 도출을 위한 연구가 필요하다. 4차 산업혁명 시대와 더불어 건축물의 에너지 성능평가 방법도 건축물과 사용자의 상호작용에 따른 에너지 성능 예측과 평가를 위해, Deep Learning을 활용하여 사용자가 고려된 건축물 에너지 성능을 예측하고 평가할 수 있는 연구가 필요하다.

- 본 연구에서 구축된 DB와 연구방법론을 발전시켜 건축물의 물리적 환경 뿐 만 아니라 자의 유형, 행동패턴 등을 이용하여 에너지사용량을 평가한다면 사용자에게 사용자 중심의 에너지 정보 전달이 가능할 수 있을 것이다.

(4) Energy Performance Gap 해결

- 선행연구에 의하면, 건축물의 에너지는 사용자의 인구·사회·경제학적 특성들로 인하여 발생하는 일상 활동의 차이에 많은 영향을 받게 된다. 연구자들은 건축물의 측정된 에너지사용량과 실제 사용량과의 차이를 “Energy Performance Gap”이라고 명하고 있다. 실제로 사용자의 행동에 따른 에너지사용량의 차이에 관한 연구가 진행되었으며, 사용자의 생활패턴을 파악하는 연구가 진행되고 있다.

- 현행 제도에서와 같이 건축물의 물리적인 요소만을 가지고 평가하였을 때, 물리적 성능에 대한 비교평가는 가능하나, 사용자에 따른 에너지사용량의 수준을 파악할 수 없으며, 사용자 입장에서 에너지정보의 비교가 힘들다.

- 본 연구에서 사용된 방법을 발전시킨 후속연구를 제안하고자 한다. 사용자의 인구·사회·경제학적 특성과 사용자의 행동정보를 수집하고 정량화한다면, 건축물 에너지 성능 평가에 반영하여

사용자 반응형 에너지 성능평가가 가능할 것이다. 사용자에게 관한 데이터 수집 및 분석과 다양한 방법을 활용하여 처리하는 과정에 있어서 기존 연구와 차별화된 기술과 도전성을 필요로 한다.

붙임. 참고문헌

1. An, K. H. & Kim, I. S., (2013), Based on the Building Users, Fundamental Research in the Development of Energy Demand Forecasting and Evaluation Methods, Journal Of The Architectural Institute Of KOREA Planning & Design, 29(3), 41-48
2. Lee, E. & Chung, K. & Kim Y., (2016), Evaluation of building energy efficiency according to the air-conditioner installation in collective housings by using ECO2 software, The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 82-85
3. Lee, M. J. & Kim, J. U., (2015), A Study of Domestic and Foreign System and Evaluate Tools Relative to Building Energy Performance Analysis and Improvement Plan for Zero Energy Building Design, Journal Of The Architectural Institute Of KOREA Planning & Design, 31(4), 45-52
4. Turner, C. & Frankel, M., (2008), Energy performance of LEED® for new construction buildings. New Buildings Institute, US Green Building Council.
5. Lee, M. J. & Kim, J. U., (2015), A Study of Domestic and Foreign System and Evaluate Tools Relative to Building Energy Performance Analysis and Improvement Plan for Zero Energy Building Design, Journal Of The Architectural Institute Of KOREA Planning & Design, 31(4), 45-52
6. Bourgeois D. & Reinhart C. & Iain A., (2006), Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: a study on the total energy impact of manual and automated lighting control, Energy and Buildings, 38, 814-82.
7. Park, M. S. & Lee, J. C., (2018), Housing Policy Responding to One-person Households Increase. KRIHS POLICY BRIEF, 2018.5, 1-8.
8. Charrad, M. & Ghazzali, N. & Boiteau, V. & Niknafs, A., (2014), NbClust: An R determining the number of clusters in a data set, Journal of Statistical Software, 61(Issue 6), 1-35.
9. Kodinariya, T. M. & Makwana, P. R., (2013), Review on determining number of cluster in K-means clustering, International Journal of Advance Research in Computer Science and management studies, 1, 90-95.
10. Kim, S. K. & Jeon, J. S. & Jun, M. S., (2017), Seismotectonic zoning by K-means clustering analysis in the Korean Peninsula, Journal of the Geological Society of Korea, 53(5), 2017.10, 703-714.
11. J. B. MacQueen., (1967), Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations, Proc. Symp. Math. and Probability, 5th, Berkeley, 1, 281-297, AD669871, University of California Press, Berkeley, CA.
12. Hitchcock G., (1993), An integrated framework for energy use and behavior in the domestic sector, Energy and Building, 20: 151-157.
13. Schipper, L. & Bartlett, S. & Hawk, D. & Vine, E., (1989), Linking life-style and energy use: a matter of time?, Annual Review of Energy, 14:273-320.
14. Noh, S. C. & Lee, H. Y., (2013), An Analysis of the Factors Affecting the Energy Consumption of the Household in Korea, Journal of Korea Planning Association, 48(2).
15. Yang, S. W. & Kim, S. S., (2014), Strategies to Improve the Building Energy Performance Disclosure System through an Analysis of Operational Rating Methodologies, Journal of the Architectural Institute of Korea, Planning and Design Section, 30(12), 307-314
16. Kim, K. & An, Y. & Lee, S., (2017), Analysis of Influencing Factors of Building and Urban Planning on Building Energy Consumption Considering Income Gap - Focused on electricity consumption on August in Seoul, Journal of Korea Planning Association 52(5), 253-267
17. Korean Statistical Information Service(www.kosis.kr)
18. National Climate Data Service System(www.sts.kma.go.kr)
19. 2015 Korea Energy Handbook(www.kemco.go.kr)
20. World Energy Statistics 2014(www.oecd-library.org)
21. Cha, M. C., Yeo, M. S., & Seok, H. T. (2007). A study on the performance evaluation of recirculation system for individual hot water supply system in residential buildings. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 19(12), 857-864.
22. Eum, M. R., Hong, W. H., & Lee, J. A. (2018). Deriving factors affecting energy usage for improving apartment energy consumption evaluation. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 34(7), 27-34.
23. Harrel, F. E. (2001). Regression modeling strategies, with applications to linear models, survival analysis and logistic regression. New York: Springer.
24. Hong, S. H., Jang, M. S., Park, H. S., & Yang, K. S. (2001). A study on the typical energy consumption of apartment. Journal of the Architecture Institute of Korea, 17(12), 151-160.
25. Hwang, H. J., & Jeon, Y. S. (2013). Empirical research of energy saving based on measurement of the standby power of household electrical appliances. The Korea Society of Energy and Climate Change Education, 3(2), 127-132.
26. Jung, J. H., Kim, J. H., Choo, J. H., Lee, S. H., & Hyun, C. T. (2017). Common maintenance cost estimation model using random forest for multi-family housing. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 33(3), 19-27.
27. Jung, S. H., Kim, S. W., Park, S. H., Lee, J. C., Kim, B. S. (2007). A comparison analysis of the position of low

- emissivity coating in low-e glazing considering indoor temperature change and energy performance. *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 23(8), 255-262.
28. Kim, G. H., Youn, J. H., & Kim, B. S. (2010). Producing wind speed maps using Gangwon weather data. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, 18(1), 31-39.
 29. Kim, K. J., & An, Y. S. (2017). Analysis of influencing factors of building and urban planning on building energy consumption considering income gap. *Journal of the Korea Planning Association*, 52(5), 253-267.
 30. Kim, K. J., An, Y. S., & Lee, S. G. (2016). A study on direct and indirect effect of urban compositional elements on urban heat or energy consumption. *Seoul Studies*, 17(1), 125-145.
 31. Kim, M. K. (2013). An estimation model of residential building electricity consumption in Seoul. *Seoul Studies*, 14(2), 179-192.
 32. Kim, Y. I., & Song, S. Y. (2014). Energy consumption status of apartment buildings and influence of various factors on energy consumption. *Journal of the Korea Solar Energy Society*, 34(2), 93-102.
 33. Kim, Y. L., Hong, W. H., & Seo, Y. K., & Jeon, G. Y. (2011). A study on the electricity consumption propensity by household members in apartment houses. *Journal of the Korean Housing Association*, 22(6), 43-50.
 34. Korea Energy Economics Institute (KEED). (2016). '2016 survey on household energy consumption' survey guide. Retrieved from http://www.kesis.net/sub/sub_000104.jsp
 35. Lee, J. S. (2000). *The Public Administration Dictionary*. Seoul: Daeyoung.
 36. Lee, K. H., & Chae, U. (2008). Estimation model of the energy consumption under the building - Focused on the maintenance stage. *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 24(9), 85-92.
 37. Lee, S. H., Heo, I. H., Lee, K. M., & Kwon, W. T. (2004). Classification of local climatic region in Korea. *Journal of the Korean Meteorological Society*, 41(6), 983-995.
 38. Noh, S. C., & Lee, H. Y. (2013). An analysis of the factors affecting the energy consumption of the household in Korea. *Journal of Korea Planning Association*, 48(4), 295-312.
 39. Park, J. K. (2002). *Dictionary of Economics*. Seoul: Nurimedia.
 40. Park, S. B. (2004). A study in the increase of city temperature in Gwangju by using the of meteorological data. *Journal of the Korea Solar Energy Society*, 24(3), 65-71.
 41. Park, S. H. (2000). *Terminology of educational psychology*. Seoul: Korean Educational Psychology Association.
 42. Park, S. H., Park, J. C., Rhee, E. K., & Cho, K. H. (2014). A survey on energy consumption through operational level in apartment buildings. *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 30(2), 233-240.
 43. Santamouris, M. (2016). Cooling the building - Past, present and future. *Energy and Buildings*, 128, 678-638.
 44. Seo, H. C., Hong, W. H., & Nam, G. M. (2012). Characteristics of electric-power use in residential building by family composition and their income level. *Journal of the Korean Housing Association*, 23(6), 31-38.
 45. Yang, B. K. (2006). *Understanding multivariate data analysis*. Seoul: Communicationbooks.
 46. Yoo, H. S., Chung, J. H., Moon, J. H., & Lee, J. H. (2007). Proposal of unit building method for calculating unit heating load of apartment houses. *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 9(1), 68-76.
 - International Energy Agency. *Energy, Climate Change and Environment 2014*; IEA Publications: Paris, France, 2015.
 47. Majcen, D.; Itard, L.; Visscher, H. Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings: What causes the differences? *Energy Policy* 2013, 61, 460 - 471, doi:10.1016/j.enpol.2013.06.018.
 48. Van den Brom, P.; Meijer, A.; Visscher, H. Performance gaps in energy consumption: Household groups and building characteristics. *Build. Res. Inf.* 2017, 46, 54 - 70, doi:10.1080/09613218.2017.1312897.
 49. Kaddory Al-Zubaidy, M.S. A literature evaluation of the energy efficiency of leadership in energy and environmental design (LEED)-certified buildings. *Am. J. Civ. Eng. Archit.* 2015, 3, 1 - 7, doi:10.12691/ajcea-3-1-1.
 50. Gram-Hanssen, K. Efficient technologies or user behaviour, which is the more important when reducing households' energy consumption? *Energy Effic.* 2012, 6, 447 - 457, doi:10.1007/s12053-012-9184-4.
 51. Porcar, B.; Soutullo, S.; Enríquez, R.; Jiménez, M.J. Quantification of the uncertainties produced in the construction process of a building through simulation tools: A case study. *J. Build. Eng.* 2018, 20, 377 - 386, doi:10.1016/j.jobbe.2018.08.008.
 52. Tronchin, L.; Fabbri, K. Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation. *Energy Build.* 2008, 40, 1176 - 1187, doi:10.1016/j.enbuild.2007.10.012.
 53. Tronchin, L.; Manfren, M.; James, P.A.B. Linking design and operation performance analysis through model calibration: Parametric assessment on a Passive House building. *Energy* 2018, 165, 26 - 40, doi:10.1016/j.energy.2018.09.037.
 54. Guerra-Santin, O.; Itard, L. Occupants' behaviour: Determinants and effects on residential heating consumption. *Build. Res. Inf.* 2010, 38, 318 - 338, doi:10.1080/09613211003661074.
 55. Jung, J.; Yi, C.; Lee, S. An integrative analysis of the factors affecting the household energy consumption in Seoul. *J. Korea Plann. Assoc.* 2015, 50, 75, doi:10.17208/jkpa.2015.12.50.8.75.
 56. Schipper, L.; Bartlett, S.; Hawk, D.; Vine, E. Linking life-styles and energy use: A matter of time? *Annu. Rev. Energy* 1989, 14, 273 - 320, doi:10.1146/annurev.eg.14.110189.001421.
 57. Rätty, R.; Carlsson-Kanyama, A. Energy consumption by gender in some European countries. *Energy Policy* 2010, 38, 646 - 649, doi:10.1016/j.enpol.2009.08.010.

58. Jones, R.V.; Fuertes, A.; Lomas, K.J. The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 43, 901 – 917, doi:10.1016/j.rser.2014.11.084.
59. Pérez-Lombard, L.; Ortiz, J.; González, R.; Maestre, I.R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy Build.* 2009, 41, 272 – 278, doi:10.1016/j.enbuild.2008.10.004.
60. Lee, M.-J.; Kim, J.-U. A study of domestic and foreign system and evaluate tools relative to building energy performance analysis and improvement plan for zero energy building design. *J. Archit. Inst. Korea Plan. Des.* 2015, 31, 45 – 52, doi:10.5659/jaik_pd.2015.31.4.45.
61. Statistics Korea. 2014 Korea Time Use Survey; Statistics Korea, Ed.; Micro Integrated Service: Seoul, Korea, 2015.
62. Kim, M.-K.; Yoon, C.-S. A study on statistical characteristics of space dimension of 60 m², 85 m² size apartment plan types in Seoul. *J. Korean Hous. Assoc.* 2010, 21, 53 – 65, doi:10.6107/jkha.2010.21.1.053.
63. Korea Land & Housing. Available online: <http://www.apply.lh.or.kr> (accessed on 10 October 2018).
64. Open Studio. Available online: <http://www.openstudio.net/> (accessed on 10 October 2018).
65. National Climate Data Service System. Available online: <http://sts.kma.go.kr> (accessed on 10 October 2018).
66. Ju, J.-H.; Park, J.-C.; Jeon, Y.-H.; Kim, D.-Y. A study on the usage status and satisfaction of the ventilation system installed in apartment houses. *J. Archit. Inst. Korea Plan. Des.* 2015, 31, 185 – 192, doi:10.5659/jaik_pd.2015.31.6.185.
67. Go, G.-H.; Lee, S.-R.; Yoon, S.; Kim, M.-J. Optimum design of horizontal ground-coupled heat pump systems using spiral-coil-loop heat exchangers. *Appl. Energy* 2016, 162, 330 – 345, doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.113.
68. US DOE. Engineering Reference with Energy Plus; US Department of Energy: Washington, DC, USA, 2009.
69. US DOE. Input Output Reference with Energy Plus; US Department of Energy: Washington, DC, USA, 2009.
70. Lee, W.H.; Oh, H.S. Distribution characteristics of neophytes in Seongnagwon of scenic site no. 35. *J. Korea Soc. Plants People Environ.* 2013, 16, 181 – 185, doi:10.11628/ksppe.2013.16.4.181.
71. McCulloch, W.S.; Pitts, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull. Math. Biophys.* 1943, 5, 115 – 133, doi:10.1007/bf02478259.
72. Rumelhart, D.E.; Hinton, G.E.; Williams, R.J. Learning representations by back-propagating errors. *Nature* 1986, 323, 533 – 536.
73. Salakhutdinov, R.; Mnih, A.; Hinton, G. Restricted Boltzmann machines for collaborative filtering. In *Proceedings of the 24th International Conference on Machine Learning*, Corvallis, OR, USA, 20 – 24 June 2007; pp. 791 – 798.
74. Towards Data Science. Available online: <https://towardsdatascience.com> (accessed on 10 October 2018).
75. Nair, V.; Hinton, G.E. Rectified linear units improve restricted Boltzmann machines. In *Proceedings of the 27th International Conference on Machine Learning (ICML-10)*, Haifa, Israel, 21 – 24 June 2010; pp. 807 – 814.
76. Yeh, I.-C. Modeling of strength of high-performance concrete using artificial neural networks. *Cem. Concr. Res.* 1998, 28, 1797 – 1808.
77. Mata, J. Interpretation of concrete dam behaviour with artificial neural network and multiple linear regression models. *Eng. Struct.* 2011, 33, 903 – 910.
78. Cascardi, A.; Micelli, F.; Aiello, M.A. Analytical model based on artificial neural network for masonry shear walls strengthened with FRM systems. *Compos. Part B Eng.* 2016, 95, 252 – 263.
79. Cascardi, A.; Micelli, F.; Aiello, M.A. An Artificial Neural Networks model for the prediction of the compressive strength of FRP-confined concrete circular columns. *Eng. Struct.* 2017, 140, 199 – 208.
80. Abambres, M.; Rajana, K.; Tsavdaridis, K.; Ribeiro, T. Neural Network-based formula for the buckling load prediction of I-section cellular steel beams. *Computers* 2019, 8, 2.
81. Dong, Q.; Xing, K.; Zhang, H. Artificial neural network for assessment of energy consumption and cost for cross laminated timber office building in severe cold regions. *Sustainability* 2017, 10, 84, doi:10.3390/su10010084.
82. Kang, I.; Lee, K.; Lee, J.; Moon, J. Artificial neural network-based control of a variable refrigerant flow system in the cooling season. *Energies* 2018, 11, 1643, doi:10.3390/en11071643.
83. Azadeh, A.; Saberi, M.; Anvari, M.; Mohamadi, M. An integrated artificial neural network-genetic algorithm clustering ensemble for performance assessment of decision making units. *J. Intell. Manuf.* 2009, 22, 229 – 245, doi:10.1007/s10845-009-0284-8.
84. Martellotta, F.; Ayr, U.; Stefanizzi, P.; Sacchetti, A.; Riganti, G. On the use of artificial neural networks to model household energy consumptions. *Energy Procedia* 2017, 126, 250 – 257, doi:10.1016/j.egypro.2017.08.149.
85. Sena, B.; Zaki, S.A.; Yakub, F.; Yusoff, N.M.; Ridwan, M.K. Conceptual framework of modelling for Malaysian household electrical energy consumption using artificial neural network based on techno-socio economic approach. *Int. J. Electr. Comput. Eng.* 2018, 8, 1844 – 1853, doi:10.11591/ijece.v8i3.
86. Huang, W.; Foo, S. Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River. *Water Res.* 2002, 36, 356 – 362.
87. Marquardt, D.W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *J. Soc. Ind. Appl. Math.* 1963, 11, 431 – 441, doi:10.1137/0111030.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.