

# 온톨로지 기반 최적 리모델링 대안선정 방법

지현서<sup>1</sup> · 조규만<sup>2\*</sup> · 김태훈<sup>3</sup>

<sup>1</sup>연우테크놀로지 사원 · <sup>2</sup>조선대학교 건축공학과 교수 · <sup>3</sup>조선대학교 건축공학과 교수

## Ontology based Green Remodeling Alternative Selection Method

Ji, Hyunsuh<sup>1</sup>, Cho, Kyuman<sup>2\*</sup>, Kim, Taehoon<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Staff, Yeonwoo Technology

<sup>2</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Chosun University

<sup>3</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, Chosun University

**Abstract :** Due to economic or environmental reasons, green remodeling projects for old buildings are being actively carried out. Meanwhile, in the process of performing the green remodeling, the plan of green remodeling including passive and active elements has been decided based on the subjective experience and knowledge of engineers currently. Therefore, in this study, an ontology-based green remodeling decision-making support model, which can analyze the properties of old buildings and suggest appropriate remodeling plans, was established. In the developed model, once the basic properties of a building are entered, an appropriate remodeling plan composed of passive and active elements can be provided. By utilizing the results developed through the research, it is expected that it will be possible to support decision-making on more objective and appropriate remodeling alternatives development through web-based meta data search in accordance with the accumulation in remodeling cases.

**Keywords :** Green Remodeling, Ontology, Remodeling Alternative Selection Model

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

UN 보고서에 따르면 2050년까지 전세계 인구 66%가 도시에 살 것으로 전망하고 있다. 도시화는 많은 양의 온실가스 발생을 야기하고 이로 인해 환경파괴나 지구온난화, 해수면 상승과 같은 문제가 발생한다. 온실가스 배출량은 전 세계적으로 건축물에서 가장 큰 비중을 차지한다. 최종 에너지 소비량 및 온실가스 배출량에서 건축물이 차지하는 비율은 EU는 40%, 미국 40% 영국 39.5%, 일본 33.2%이다(KOSIS, 2020). 이는 건축 분야에서 에너지소비량을 줄여야 전체적인 온실가스 배출량을 줄일 수 있음을 시사한다. 이러한 배경에서 건축물에서 야기되는 에너지 과소비를 해결하기 위

해 오래된 건축물을 대상으로 에너지 절감을 위한 리모델링 시도가 큰 이슈가 되고 있다.

리모델링을 수행하는 이유는 노후 건축물을 재사용하여 건설잔해를 줄이고, 프로젝트 비용을 줄일 수 있는 새로운 건설에 대한 대안이기 때문이다. 하지만 기존 연구들에 따르면 이러한 에너지 저감형 리모델링 방법 혹은 범위들을 선정하는 과정에는 2가지 문제점이 있다. 첫 번째 문제는 설계자의 경험 의존적 판단에 의한 리모델링 방법의 결정이 이루어지고 있다는 점이다. 즉, 일반적으로 노후 건축물의 리모델링 방법을 선정하는 과정에서 설계자의 경험 등에 기반하여 리모델링 방법을 결정해 왔다. 개인적 경험에 따른 리모델링 대안의 선정은 리모델링 이후에 해당 건축물의 에너지 절감 성능을 담보하지 못할 뿐만 아니라, 최적 에너지 절감 성능을 달성하는 측면에서도 불리하다(Hong et al., 2017). 또한 같은 프로젝트라 할지라도 다른 대안이 도출되어 혼란을 야기할 수 있고, 비일관적인 대안선정은 결과적으로 효율적인 리모델링 수행을 방해하기도 한다.

두 번째 문제는 기존에 존재하는 리모델링 대안선정 기술 혹은 시스템들의 단점에 의한 문제이다. 즉, 기존에 미국 등

\* **Corresponding author:** Cho, Kyuman, Department of Architectural Engineering, Chosun University, Chosundae 1 gil 10, Dong-gu, Gwangju, Korea

**E-mail:** cho129@chosun.ac.kr

**Received** October 19, 2022; **revised** -

**accepted** January 17, 2023

지에서 적정 리모델링 대안을 선정하기 위해 건축물 에너지소비량 시뮬레이션 모델(예를 들어 DOE-2, Energy Plus, ECO2 등)을 사용해 왔다. 에너지 시뮬레이션은 에너지, 열 쾌적, 실내공기질과 같은 다양한 성능 평가를 기반으로 수행되고, 이를 통해 리모델링 대안들의 비교 및 평가가 가능하다. 이러한 이유로 에너지 시뮬레이션 기법들은 리모델링 대안을 선정하기 위한 중요한 의사결정 도구로 활용되어왔다(Balaji et al., 2013). 이러한 시뮬레이션 기법의 운용을 위한 리모델링 계획에 따른 모델의 Input 자료를 설정하는 과정에서, (1) 결정론적 방법(i.e., 시스템을 운영하는 사람의 경험 기반 자료입력)에 의해 진행되고, (2) 이와 반대로 다양한 변수들의 속성이 확률적 특성으로 인해 실제값과 차이가 있기에, 결과적으로 입력된 데이터 중심으로 최적의 에너지 절감 성능을 도출하는 것은 어렵다(Lee et al., 2017; Pedrini et al., 2002). 따라서 이러한 프로그램을 활용한 에너지 성능평가 결과만으로 많은 변수를 가진 리모델링의 대안을 선정에 한계가 존재한다.

### 1.2 연구의 목표 및 절차

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 온톨로지 방법론을 통한 리모델링 대안선정 기술을 개발코자 한다. 온톨로지는 일종의 지식 표현방식 중 하나로 컴퓨터가 인간의 사고방식으로 정보를 처리하고 저장하는 방법론이다. 온톨로지를 이용하면 컴퓨터가 특정 개념의 의미를 이해하고 그 사실을 통해 새로운 정보를 자동으로 추출하거나, 제약조건에 맞지 않는 오류는 찾아내기도 한다. 온톨로지를 활용하면 지식을 수집하고, 수집한 지식을 사용자에게 맞게 정의할 수 있을 뿐 아니라 추론하여 검색하는 수단으로 활용할 수 있다. 또한 검색어가 내용에 포함되어있지 않더라도 기존의 키워드 매칭과 달리 사용자의 의도를 정확하게 이해하여 필요

한 정보만 검색하여 더 풍부한 지식을 제공한다. 이러한 온톨로지의 장점은 기존의 리모델링 대안 선정과정에서 문제였던 설계자 의존적 결과 도출 및 다양한 변수에 대처하지 못하는 결정론적 프로그램(ex. DOE-2, Energy Plus, ECO-2)으로 의한 문제점을 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

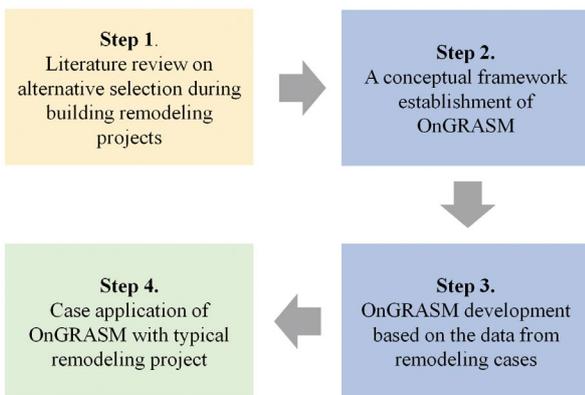
온톨로지 기반 리모델링 대안 선정방법은 크게 4단계로 진행된다. Step 1: 기존 연구분석을 통해, 에너지 성능개선을 위한 노후 건축물 리모델링의 대안선정과 관련된 시사점을 분석하였다. STEP 2: 이를 기반으로 본 연구에서 제안하는 온톨로지에 기반 리모델링 대안선정 모델(이하, OnGRASM, Ontology-based Green Remodeling Alternative Selection Model)의 개념적 체계를 개발하였다. STEP 3: 리모델링을 수행한 사례 수집을 통해 수집된 사례 데이터를 기반으로, OnGRASM을 구축하고, Step 4: 개발된 OnGRASM을 실제 사례에 적용하여 정확도 및 활용성을 검증하였다. 정확도 검증 및 활용도 평가를 위해, 실제 리모델링 프로젝트의 조건을 OnGRASM 모델에 입력하고, 모델의 결과와 실제 사례의 결과를 비교하였다.

## 2. 빌딩 리모델링 관련 기존연구

### 2.1 노후 건축물의 그린 리모델링

그린리모델링이란 노후화된 건물을 smart하고 Sustainable하게 만들기 위해 Remodeling을 진행하여 에너지 성능을 높이는 것이다. 리모델링은 기존 건축물을 새로운 요구에 따라 부분이나 전체를 개조하는 것으로 단순한 건물 유지보수가 아닌, 적절한 구조와 설비변경을 통해 그 건물의 용도나 성격 자체를 변화시키는 것을 의미한다. 리모델링의 목적은 기존 건물의 구조, 기능, 환경개선을 통한 에너지 성능개선을 통해 거주자의 생산성(Productivity), 쾌적성(Comfort), 건강(Health) 경제성을 향상시켜 건물의 가치를 상승시키는 것이다. 이는 건물에 최신 기술을 반영하여 건축물에 전혀 새로운 가치를 부여하는 것을 포함한다.

그린리모델링 기술은 Passive, Active, and Renewable energy techniques로 나뉜다. Passive technique이란 건축물 자체의 단열 성능을 높여 1차적으로 에너지 손실을 줄이고, 이를 통해 냉난방 에너지사용량을 줄이는 방법이다. 패시브 기술을 활용하면 일반적인 건축물에 비해 90% 이상 에너지를 절약할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 이러한 Passive 기술에 포함되는 5가지 기술은 고단열, 고기밀, 시스템 창호, 열 회수형 환기 장치, 열교 최소화이다(MOLIT, 2021). Active technique은 건축물에 적용되는 냉난방 기계설비의 효율성을 높여서 건축물의 에너지소비량을 개선하는 기술이다. 즉, Passive 기술을 활용해 고단열 고기밀 하



\* OnGRASM = Ontology-based Green Remodeling Alternative Selection Model

Fig. 1. Research procedure

우스를 형성하고, 다음으로 이 active technique에 의해 건축물의 에너지소비량이 대부분 결정된다. Active 기술에는 고효율 냉난방 설비, 폐열 회수형 환기 시스템, 고효율 조명(LED) 등이 포함된다. Renewable energy technique은 앞서 설명한 passive and active techniques들의 적용에 따라 요구되는 최소 에너지소비량을 해결하기 위한 기술이다. 즉, 태양광, 태양열, 풍력 등의 신재생에너지를 활용하여 에너지를 생산하고, 이를 기반으로 건축물에 요구되는 에너지소비량을 해결한다(Jeong, 2021).

그린리모델링을 실행한 대표적인 예로 EU-GUGLE project가 있다. 이 프로젝트에서는, 다양한 노후 건축물들을 대상으로 Green remodeling을 수행하고 이를 통해 Nearly-zero energy building 실현을 추구했다. 이를 위해 다양한 지역에서 노후 건축물에 green remodeling을 실시하여 지역의 요구에 맞는 기술, 사회, 경제, 재정적 해결을 제시하였다. 예를 들어, EU-GUGLE 프로젝트를 구성하는 세부 프로그램 중 하나인, 핀란드 Tampere 지역에서 실시된 Green Remodeling 프로그램은 8개의 노후 건축물을 대상으로 에너지 성능개선을 위해 실시되었다. 이 프로그램에서는 Solar power, Bio-Gas, Wind power 등의 기술들을 적용하는 그린리모델링을 수행하였고, 결과적으로 기존 건축물의 연간 에너지사용량 대비 약 50%의 에너지사용량 절감 효과가 있는 것으로 나타났다(MEAE, 2019). Finland의 또 다른 예로 Austria Innsbruck와 Italy Bolzano의 Sinfonia Project가 있다. 이 프로젝트는 건축물 에너지 요구를 최소화하고 주민의 생활 향상을 위한 지역난방 네트워크 확장 및 CO2 감소를 목표하였다. 이를 위해 District Heating and cooling 과 Waste heat recovery 같은 Energy System Integration을 수행하였다. 또한 ICT 기술을 활용하여 Building Energy Management System을 구축하였다. 결과적으로 신재생에너지의 사용량을 기존대비 95% 증가시키고, 화석연료 사용량을 22% 감소시킬 수 있었다(Bisello, 2016).

## 2.2 리모델링 대안선정 방법

리모델링 대안을 선정하기 위한 에너지 시뮬레이션 프로그램 및 방법에 대한 연구는 다양하다. 대표적인 에너지 시뮬레이션 프로그램 중 하나인 DOE-2는 건물에너지 해석 프로그램으로서 주거용과 산업용 건물의 에너지 해석을 위한 프로그램이다. 건물의 위치, 구조, 설비 운용에 관한 정보를 입력하면, 건물에너지 부하량을 계산하고 이를 기반으로 각종 설비 시스템의 해석, 나아가 경제성 등의 평가를 수행한다(Park, 2022).

또 다른 대표적인 에너지 시뮬레이션 프로그램인 Energy Plus는 건물의 부하계산과 에너지 소비 특성을 분석하는 프

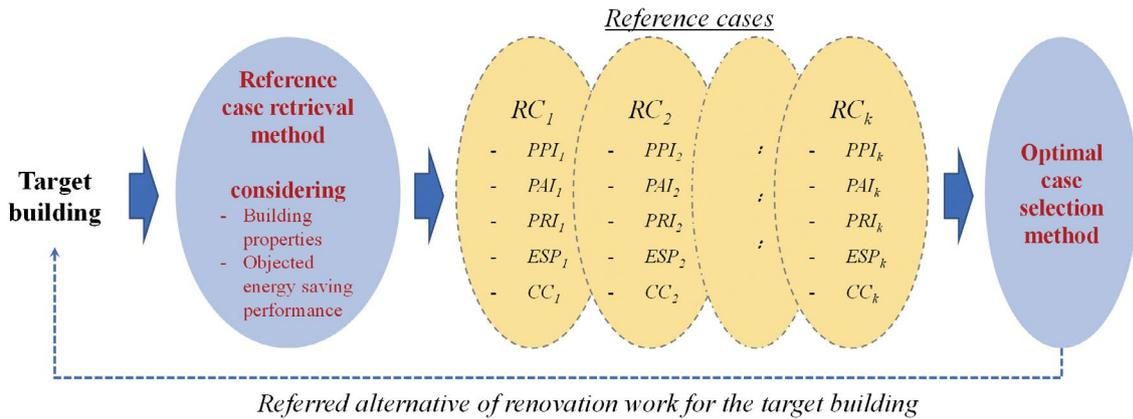
로그래이며, DOE-2와 BLAST의 장점을 기반으로 새로운 기능들을 추가하여 건물의 열전달과 습기전달 계산이 가능하다. 건물의 기본 데이터(열관류율, 창 면적비 등)를 입력하면, 열 유체에너지 계산 부분에서는 창 부분 계산, 지중으로 열전달, 실제적인 시스템 컨트롤, 존별 기류, 방사열과 냉각 시스템, 건축요소들의 수분 흡착성과 탈착성 등을 고려한다.

ECO2는 한국에너지공단에서 배포하고 건축물 에너지 효율 등급 인증에 사용되는 프로그램이다. 이 프로그램은 건물에 대한 에너지 평가기법을 마련하고, 월별 평균 기상데이터를 바탕으로 난방, 냉방, 조명, 급탕, 환기 시스템의 5가지 항목에 대하여 단위 면적당 건물의 에너지 요구량, 에너지 소요량을 계산한다.

위와 같은 에너지 시뮬레이션 프로그램을 활용하면, 에너지사용량, 열쾌적, 실내공기질 등과 같은 다양한 성능을 평가할 수 있다. 다양한 리모델링 설계 대안 간의 비교 및 평가가 수치적으로 가능하기에, 이들은 중요한 의사결정 도구이다. 이러한 우수한 성능에도 불구하고, 프로그램 운용자의 주관적인 판단에 의해 결정된 리모델링 설계안에 대해 에너지 성능이 평가되기 때문에, 에너지 성능 측면에서 최적 설계 대안을 찾는 과정에서 한계가 존재한다.

이러한 한계를 해결하기 위해, 최적 리모델링 대안을 제시하기 위한 몇몇 연구가 진행되어왔다. Lee et al. (2017)는 공동주택의 그린리모델링을 위한 최적 의사결정 지원 시스템 개발을 위해 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용한 자동 보정 기법을 개발하였다. 이를 통해 건물에서 발생하는 온실 배출량을 효과적으로 절감하여 그린리모델링 참여를 유도하였다. Cho and Yoon (2016)은 리모델링 대안에 따른 생애주기비용 차원의 비교를 통해 최적 리모델링 대안을 선정하기 위한 방법을 제시하였다. Kim et al. (2018)은 오피스 빌딩의 노후화와 환경문제를 해결하기 위해, 리모델링이 완료된 오피스빌딩 90개 사례를 기반으로 다중 회귀 분석(Multiple Regression Analysis; MRA)와 사례 기반 분석(Case Based Reasoning; CBR)을 활용하여 리모델링 이후 오피스빌딩의 경제적 가치를 예측하고, 이를 통한 최적 리모델링 대안을 제시할 수 있는 모델을 개발하였다. Cho et al. (2020)은 공동주택의 가격변화패턴을 예측하기 위한 모델을 개발하기 위해 인간 뇌의 신경망 구조를 모방한, 인공신경망 이론(Artificial Neural Network; ANN)을 적용하였다. 이 연구에서는 프로젝트의 속성에 따라, 리모델링 적용에 따른 가격측면의 영향도를 분석하였고, 이를 통해 리모델링 대안보다는 리모델링에 적합한 건축물을 찾는 방법을 제안하였다.

리모델링의 최적 대안을 선정하기 위한, 기존 연구의 한계는 다음과 같다. 리모델링 대안 개발자의 경험에 따라 제시된 결정론적(deterministic)인 측면의 “리모델링 대안”을 기



$PPI_k$ =Performance of passive items for alternative  $k$ ;  $PAI_k$ =Performance of active items for alternative  $k$ ;  $PRI_k$ =Performance of renewable items for alternative  $k$ ;  $ESP_k$ =Energy saving performance for alternative  $k$ ;  $CC_k$ =Construction costs for alternative  $k$ ;

Fig. 2. Conceptual framework of OnGRASM

반으로 에너지 및 경제성 평가가 이루어지고, 이 결과를 활용하여 최적 리모델링 대안을 선정하는 한계가 있다. 즉, 리모델링에 경험이 없는 사용자의 경우, 리모델링 대안의 개발부터 한계에 봉착하는 문제를 가지고 있다. 따라서 이 연구에서는 각종 대안평가(예, 에너지성능 및 경제성 등)를 수행 전, 해당 리모델링 프로젝트에 고려 가능한 “적정 리모델링 대안”을 선정할 수 있는 기법을 개발하고자 한다.

### 3. 온톨로지 기반 리모델링 대안 선정 기술의 개념적 체계

앞서 설명한 기존의 리모델링 대안선정 과정의 비효율성을 개선하기 위해, 본 논문에서 목표한 온톨로지 기반 리모델링 대안 선정 기술 OnGRASM의 개념적 체계는 <Fig. 2>와 같다.

본 기술의 활용단계는 리모델링 대안을 고려하는 단계이다. 즉, 리모델링을 위한 세부적인 계획 및 기술 등이 결정 전, 해당 건축물에 대한 개략적인 리모델링 계획을 개발하는 과정에서 본 연구의 결과물이 더 효율적으로 활용될 수 있다. 따라서 본 연구결과물을 운영하는 과정에서 인풋 데이터는 프로젝트 초기에 발주자 혹은 엔지니어가 획득하기 쉬운 데이터로 구성되어야 하며, 모델의 아웃풋은 리모델링 계획 및 리모델링에 따른 에너지 절감 성능을 제시할 수 있어야 한다. 아울러, 모델의 활용성을 높이기 위해서, 사용자가 리모델링을 통한 목표 에너지 절감 성능의 조정에 따라 모델의 아웃풋이 다르게 제시될 수 있어야 한다.

이상의 핵심 개념에 따라 <Fig. 2>에서 볼 수 있듯이, 모델의 인풋 요소는 “건축물의 속성(층수, 높이, 건축년도, 용도

등)과 “목표 에너지 절감 성능”으로 정의하였고, 온톨로지 기반 유사사례 추론기법을 통해 “유사 리모델링 사례”를 도출하게 된다. 추출된 유사 리모델링 사례에서 적용된 “패시브”, “액티브” 기술 등을 보여주고, 이러한 기술들이 적용되었을 때 추정 공사비와 에너지 절감 성능도 동시에 보여줌으로써 발주자가 리모델링을 고려 중인 노후 건축물에 적합한 리모델링 사례를 선정하고 해당 사례에서 적용된 리모델링 기술을 활용하는 것에 대한 의사결정을 지원하게 된다.

### 4. OnGRASM 개발

#### 4.1 OnGRASM을 위한 온톨로지

OnGRASM 구축을 위한 첫 단계로 수집한 사례를 모을 저장소를 만든다. 모델에서 Input Part는 사용자가 입력하는 건물데이터를 인식하기 위함이다. 따라서 수집 사례를 RDF (Resource Description Framework)로 변환하여 데이터를 컴퓨터가 인식할 수 있도록 한다. 이를 위해 Java 기반의 온톨로지 에디터인 Protégé5.5.0을 활용하여 온톨로지의 개념 및 로직(Logic)을 표현하였다.

##### 4.1.1 Class 정의

본 연구에서는 리모델링을 수행한 70개 사례를 수집하였고, 온톨로지를 통해 Output이 나올 수 있도록 조건을 정의하였다. 온톨로지 내에서 건물의 기본 개념은 Class로 정의된다. 본 연구에서는 Class를 정의할 때, 건축물 용도별로 나누어 정의하였다. 건물의 용도는 업무시설(공공/개인), 공공주택, 근린시설(공공/개인), 교육 연구 및 복지 시설, 문화 및 집회 시설, 군사시설로 나눌 수 있다. <Fig. 3>은 Protégé를 통해 정의한 Class이다. Protégé의 Class 탭을 통해 Class를

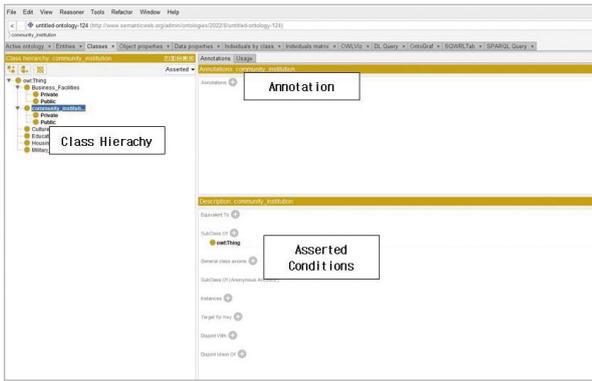


Fig. 3. 'Class' creation screen through Protégé

선언하고 상태를 정의할 수 있다.

### 4.1.2 Property 정의

다음 단계로 프로퍼티를 정의한다. 프로퍼티는 owl: Objectproperty와 owl: Dataproperty 가 있다. Object Property는 각 인스턴스가 가진 속성 정보 간 관계, 용어 간 계층구조 및 개념의 의미 전달을 표현하기 위해 사용된다. 클래스를 건축물의 용도에 따라 정의했기 때문에 건축물 용도를 통한 의미적 추론이 가능한 owl: Objectproperty를 'has'로 정의하여 관계를 표현하였다.

Data Property는 객체와 데이터값 사이의 관계를 표현하는데 사용된다. Data Property를 통해 두 가지를 도출한다. 첫번째 질의할 건물의 상태(Condition)를 인식시킨다. 사용자가 의사결정을 하려는 건물의 컨디션과 모델 내 데이터와 일치하는 사항을 찾게 한다. 두 번째 결과 데이터를 보여준다. 모델 내 데이터에서 Semantic Reasoning을 통해 일치하는 Case를 찾아 사용자에게 결과 데이터를 보여준다. 이를 수행하기 위해 데이터 프로퍼티 입력 시 Range를 설정한다. 이는 모델에 입력하는 데이터를 웹에서 읽을 수 있도록 하는 작업이다. 사용하게 되는 대표적인 Range는 'String'과 'int'가 있다. String은 문자열을 코드화할 때 사용하는 합

수이다. 'int'는 Integer를 줄인 명령어로 입력한 수식을 정수형으로 표현할 때 사용한다. OnGRASM모델에서 건물 속성 (Building attributes)을 명목변수로 변환하여 검색을 수행하기 위해 설정한 데이터의 Range는 'Int'를 활용하였다. 모델 검색 결과 나오는 데이터를 보여주기 위해서는 'String' 함수를 활용하였다. Data Property를 위한 Range 설정은 다음 <Table 1>과 같고, 각 속성별 명목변수는 <Table 2>와 같이 정의했다.

Table 1. Data Property Range Setting

Data Property		Range	
Building attributes	Year of Construction	INT	
	Structure of Building	INT	
	Gross area of Floors	INT	
	Façade Area	INT	
	Building Usage	INT	
	Number of Floor	INT	
	Window Area Ratio	INT	
Remodeling techniques	Passive	Top Floor Insulation	String
		Wall Insulation	String
		Window Insulation	String
	Active	Heating System	String
		Cooling System	String
		Hot Water	String
		Lighting	String
Remodeling Result	Ventilation	String	
	PV System	String	
	Construction Cost	String	
	Energy Consumption	INT	

Protégé의 Data Properties 탭을 통해 데이터 프로퍼티를 정의하고 분류한다. Protégé를 통해 정의한 Data Properties는 다음 <Fig. 4>와 같다. Protégé 내에서 데이터 간 관계를 정의할 수 있는 'Description' 탭이 존재한다. 이 탭에서 영역(Domain)과 범위(Range)를 설정할 수 있다. 데이터 프로퍼티까지 정의 및 생성이 완료되면, Green remodeling 대안

Table 2. Nominal scales for each building attributes

Attributs Nomin Scales	Usage	Y. of cosntr.	Super structure	N. of floors	Total floor area (m <sup>2</sup> )	Facade (m <sup>2</sup> )	Energy grade post renovation
1	Neighborhood Commercial Facilities	~1970	Reinforced steel concrete	1~3F	1 ~750	1 ~ 600	1+++
2	Neighborhood Public Facility	1971~1980	Reinforced concrete	4~5F	751 ~1,600	601 ~900	1++
3	Public office buildings	1981~1990	Steel structure	6~8F	1,601 ~2,100	901 ~1,500	1+
4	Office buildings	1991~1995	etc.	9~23F	2,101 ~4,000	1,501 ~2,500	1
5	Educational facilities	1996~2000			4,001 ~8,000	2,501 ~4,000	2
6	Cultural facilities	2001~2010			8,001 ~14,000	4,001 ~5,500	3
7	Apartment house				14,000 ~	5,500 ~	4
8	Military facilities						5

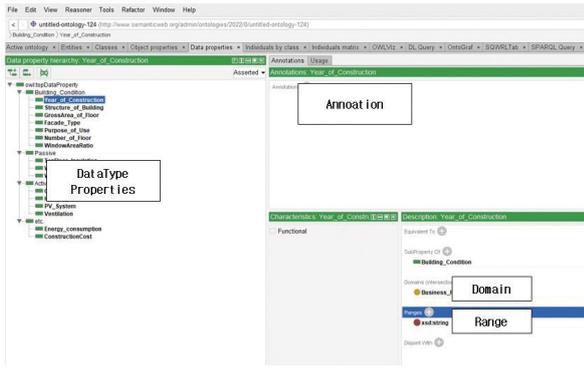


Fig. 4. Property creation screen through Protégé

선택을 위한 온톨로지의 구축이 완료된다.

〈Fig. 5〉은 Protégé내에서 Class와 property가 작동하는 프레임워크를 보여준다. Class와 subclass 관계는 실선으로 보여진다. Class와 Data Property의 관계를 나타내주는 Object Property는 실선으로 표현하였다. Class Hierarchy에서 건물 용도에 따라 Case를 분류하여 기본 개념을 정립한다. 정립된 Data는 Object Property를 통해 Data Property내에서 ‘has’의 관계를 가지는 사례를 식별한다.

## 4.2 OnGRASM의 추론 프로세스

### 4.2.1 SPARQL을 통한 시멘틱 추론 과정

온톨로지를 통해 리모델링 수행 데이터의 관계 및 조건을 설정하였다. 앞 절에서 수행한 Class, Property의 계층 설정을 기반으로 입력한 70개의 데이터는 모두 컴퓨터가 이해하고 처리가 가능한 OWL (Ontology Web Language) 기반의 코드로 변환된다. 다음 단계로 데이터베이스 내에서 임의의 사례 데이터 간 매칭을 위한 검색을 수행한다. 이를 위해 SPARQL (Simple Protocol and RDF Query Language)을 통해 의미적 추론을 수행한다.

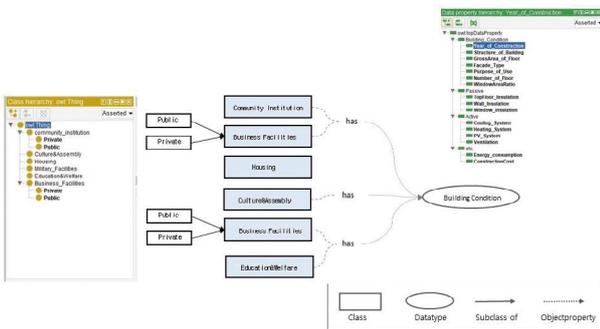


Fig. 5. Framework of class and property

의미적 추론은 3단계로 수행된다. 1단계에서는 온톨로지를 통해 사용자가 입력한 조건을 인식한다. 사용자가 검색하고자 하는 Case를 온톨로지를 통해 웹에서 인식 가능

한 RDF (Resource Description Framework) 형태로 변환한다. 2단계에서는 자동 추론을 위한 Reasoning을 진행한다. 본 단계에서 온톨로지 파일에 대한 구조적 검증(Reasoning Consistency), 용어 분류가 올바른지(Classify Taxonomy)확인하여 오류가 나타나지 않음을 확인한다. 이를 수행하기 위해 Protege에서 제공하는 Reasoning Engine, Hermit1.3.8과 Pellet을 사용하였다. 3단계에서는 지식 검색 및 저장 수행한다. 이 단계에서 SPARQL을 사용하여 온톨로지에 저장된 remodeling 조건 중 사용자가 추론하고자 하는 Case와 같은 조건을 검색한다. SPARQL은 사용자가 웹 기반 검색을 수행하는 인터페이스를 제공한다. SPARQL EndPoint를 통해 SPARQL에 알맞은 형태의 명령어를 입력하면 작업 항목을 검색한다. SPARQL 결과는 리모델링 대안 확인하기 쉬운 XML형태로 변환된다.

세 단계의 의미적 추론이 끝나면 그린리모델링 대안들이 도출된다. 〈Fig. 6〉은 이상에서 설명한 대안선택을 위한 추론의 전체 과정을 보여준다. 〈Fig. 7〉은 본 연구의 수행을 위해 EndPoint를 통해 구축한 SPARQL Query의 모습을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이, 사용자가 그린리모델링을 고려중인 대상 건축물의 속성을 입력하면 구축된 추론의 개념을 통한 유사사례가 선정되고 각 사례별 그린리모델링 적용기술을 제시해 준다.

## 5. 사례 적용 및 토론

본 장에서는 OnGRASM을 평가하고 검증하여 그 실용성을 설명하였다. 본 연구에서 개발한 모델의 효용성 검증을 위해 실제 그린리모델링을 수행했던 두 개의 사례를 선정하였다. 대상 사례에 개발된 방법론을 적용하는 것을 통해, (i) 모델 예측 결과와 실제 리모델링 결과와의 비교를 통해 모델의 적용성을 평가하고, (ii) 모델 적용에 따른 다양한 리모델링 대안 제시를 통해 모델의 활용성을 평가하였다.

### 5.1 OnGRASM 적용성 평가

A 사무소는 준공 후 30년 이상 경과하여 단열 성능이 저하되고 방수가 노후화되어 누수 및 에너지 손실이 발생한 노후 건축물이어서 그린리모델링이 수행되었다. 〈Table 3〉은 기존 건축물의 속성 및 OnGRASM 입력을 위한 명목변수를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이, 해당 건축물은 1988년도에 건축된 2층의 업무용 시설물이며, 이 건물에 대한 그린리모델링이 수행되었다.

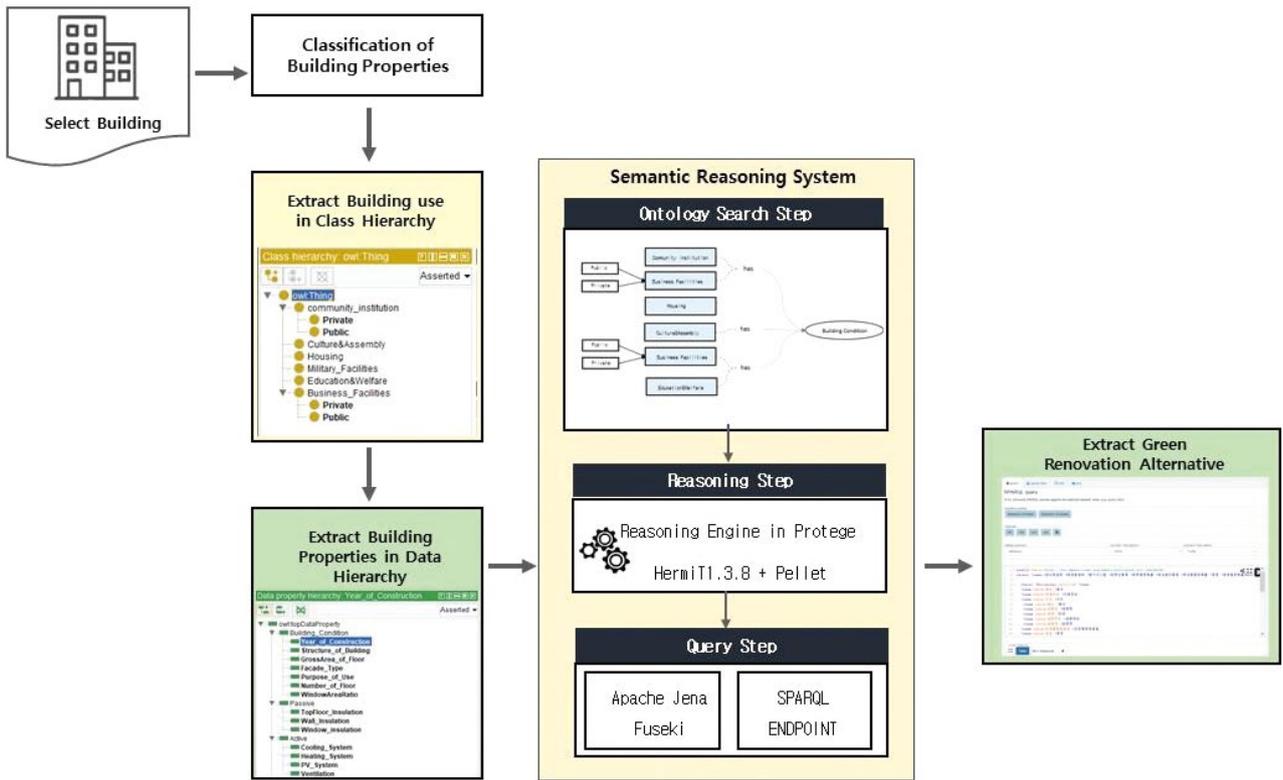


Fig. 6. Ontology inference process for green renovation alternative selection

Table 3. Input data of OnGRASM for Case A

Input	Details of Input	Nominal variable
Usage	Neighborhood Public Facility	2
Year of construction	1988	3
Super structure	Reinforced concrete	2
Number of floors	2	1
Total floor area	566.19 m <sup>2</sup>	2
façade	710.40 m <sup>2</sup>	1

〈Table 4〉는 모델의 정확도 평가를 위해 활용된 사례 Case A에서 실제 적용된 리모델링 기술과 OnGRASM 모델의 적용결과 제안된 참고사례 및 각 사례별 리모델링 기술을 정리한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이, 실제 Case A에서

는 압출법 보온판 120T를 최상층 단열재로 사용하였고, 외벽은 경질 우레탄보드 50T 등의 리모델링 기술이 적용되었고, 이를 위해 38,680원(연면적당)의 공사비가 요구될 것으로 견적 되었으며 결과적으로 에너지 절감 성능을 “1++” 등급을 획득 가능 할 것으로 예측하였다. 한편, Case A의 속성 정보를 입력하여 OnGRASM 모델을 적용한 결과, 표에서 보는 바와 같이 4가지 참고사례가 추출되었다. OnGRASM을 통해 제시된 4가지 참고사례들은 Passive, Active 영역에서 각각의 리모델링 기술들을 보여줄 수 있고, 이들이 적용되었을 때, 예상되는 공사비 및 에너지 절감 성능을 보여주었다. 모델의 적용결과에 따라 제시된 사례 중, 참고사례 4는 가장 효율적인 안으로 평가될 수 있다. 즉, 만일 실제 사례 Case A의 그린리모델링 기술을 계획한 설계자 혹은 엔지니어가 본 연구에서 제시한 OnGRASM을 사용하였다면 참고사례 4에서 적용된 그린리모델링 기술을 채택했을 것이며, 결과적으로 더 나은 에너지 성능 (1++)을 보다 저렴한 공사비 (연면적당 25,043원)를 달성할 수 있었을 것으로 기대된다.

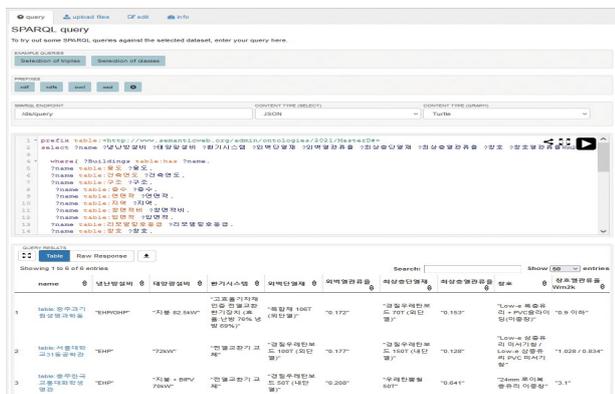


Fig. 4. Property creation screen through Protégé

### 5.2 OnGRASM 활용성 평가

본 절에서는 OnGRASM의 활용성을 평가하였다. OnGRASM의 사용자가 그린리모델링을 고려하는 노후 건축물을 대상으로 “목표 에너지 성능”을 변경할 때, 제안되는

Table 4. Cases and techniques suggested by SPAQL Query

Remark		Techniques adopted on the actual Case A	Cases and techniques suggested by SPARQL Query			
			Reference case 1	Reference case 2	Reference case 3	Reference case 4
Passive techniques	Roof Insulation	eXtruded Poly Strene 120T	Hard Urethane board 120T	Hard Urethane board 130T	Hard Urethane board 220T	Urethane spray 50T
	Roof Thermal Conductivity	0.185	0.184	0.173	0.109	0.172
	Exterior Wall Insulation	Hard Urethane board 50T	Hard Urethane board 50T	Hard Urethane board 100T	eXtruded Poly Strene 130T	Hard Urethane board 50T
	Exterior Wall Thermal Conductivity	0.208	0.17	0.143	0.103	0.208
	Windows	Pair Low-E Glass 24mm	AL Low-E Glass	Pair Low-E Glass 24mm	Pair Low-E Glass 28mm	Pair Low-E Glass 24mm
	Window Thermal Conductivity	1.811	1.8	1.4	2.9	1.8
Active	Heating and Cooling Equipment	EHP	EHP	EHP	EHP	-
	Heat Recovery Ventilator	Replacement of the heat transfer	Replacement of the heat transfer	Replacement of the heat transfer	Installing the Heat Exchanger	Replacement of the heat transfer
	Solar Energy	-	17 kw	28.9 KW	-	5 kw
Estimated costr. cost per total floor area		38,680	101,740	48,783	16,320	25,043
Energy saving performance post remodeling		1++	1++	1++	1	1++

참조 사례의 변화를 보여줌으로써 활용성을 평가하였다. 즉, 그린리모델링을 고려 중인 건축물을 대상으로, 리모델링에 따른 에너지 성능을 1+++등급에서 1등급까지 변경하였을 때, 도출되는 Output을 확인하였다. 결과적으로 사용자가 질의한 등급에 해당하는 모델을 보여주는 것이 가능함을 확인하여 모델의 활용성을 검증한다. <Table 5>는 활용성 평가를 위해 사용된 건축물의 속성 및 그에 따른 명목변수를 보여주고 있다.

Table 5. Input data of OnGRASM for Case B

Input	Detail of Input	Nominal Variable
Usage	Educational facilities	5
Year of Construction	1995	4
Super structure	Reinforced concrete	2
Number of floors	4F	2
Total floor area	597.3 m <sup>2</sup>	1
façade area	573.99 m <sup>2</sup>	1

OnGRASM에 위에서 설명한 사례의 속성과 목표 에너지 절감 성능 등급을 각각 1+, 1++, 1+++로 입력한 결과, <Table 6>에서 보는 바와 같이 에너지 절감 등급이 높아질수록 각각 9개, 4개, 1개 사례가 제안됨을 볼 수 있다. 즉, 주어진 건축물과 유사한 사례 중, 에너지 절감 성능이 가장 높은 1+++ 등급을 달성한 사례 “00 대학교 공학관” 리모델링 사례는 세 가지 조건에서 모두 선정되어 제시되었고, 1++ 등급을 달성한 “00 공무원 교육관,” “00시립중앙도서관” 리모델링 사례가 1++, 1+ 조건에서 제시되었다. 마지막으로 1+ 조건에서는 위의 3가지 사례에 추가로 6개의 사례가 제시되었다.

Table 6. Suggested cases for the energy saving performance condition

Energy saving performance	Number of suggested reference cases	Suggested cases
More than “Grade 1+”	9	00 Engineering School, 00 Educational Center, 00 City library, 00 Start-up Center, 00 Biochemical School 00 Research Foundation, 00 University, 00 Police School, 00 Cinema
More than “Grade 1++”	3	00 Engineering school, 00 Educational Center, 00 City library
More than “Grade 1+++”	1	00 Engineering school

1++ 등급 이상을 보여주는 3개의 사례의 속성은 <Table 7>에서 제시하였는데, 표에서 보는 바와 같이, 리모델링을 고려한 실제 사례와 건축연도, 구조, 용도, 지상 층수 등이 매우 유사한 사례들이 제시됨을 확인할 수 있다.

이상의 결과를 바탕으로, 개발된 OnGRASM은 리모델링을 계획 중인 노후 건축물의 에너지 절감 성능 수준을 고려하여 다양한 솔루션을 검토하는 것이 가능하고, 이는 본 연구에서 개발된 OnGRASM의 활용성이 우수함을 보여주는 결과라 볼 수 있다.

Table 7. Building property for the cases with 1++ grade

No.	Target	Region	Year of const ruction	Struc ture	Usage *	Ground floor	Total floor area (m <sup>2</sup> )	façade area (m <sup>2</sup> )
17	000 Educational Hall	Chung cheong	1996	RC	5	4	9,591.00	7,638.00
31	00City Library	Daegu	1995	RC	5	5	10,181.40	1,653.40
35	00 Engineering school	Seoul	1979	RC	5	5	6,987.00	8,442.47

## 6. 결론

노후 건축물로 인한 에너지 소요량을 줄이기 위해 그린리모델링 사업을 추진하고 있다. 이러한 리모델링 사업을 추진하는 과정에서 기존의 설계자 및 엔지니어의 주관적인 경험과 판단에 의해 개발되는 리모델링 계획은 효율적이고 객관적인 의사결정 측면에서 한계를 가지고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 이 연구에서는 그린리모델링 사업의 효율적인 지원이 가능한 온톨로지 기반 의사결정 모델을 제시하였다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다. 첫째, 그린리모델링 사업 현황과 의사결정을 수행한 기존 문헌을 분석하여 의사결정에 필요한 요소를 추출하였다. 둘째, 온톨로지 기반 의사결정 지원 모델을 구축하기 위한 모듈을 설정하였다. 모델의 검색 기준이 되는 기준 모듈(Standard Module)과 결과도출 값인 핵심모듈(Core Module)을 선정하여 Protégé를 통해 온톨로지 기반 모델을 구축하였다. 이때 기준 모듈은 누구나 접근 용이한 건축물대장에 있는 속성이면서 에너지 성능과 유의한 관계에 속하는 건축물의 기본 속성(건축물 용도, 건축연도, 구조, 층수, 연면적, 입면적)을 기반으로 구성하였다. 핵심모듈은 그린리모델링 사업에서 개선을 요구하는 패시브 기술, 액티브 기술, 기타 요소(개락공사비, 리모델링 후 등급)로 구성하였다. 셋째 구축한 그린리모델링 의사결정 모델에 수행 사례 67개를 입력하였다. 이 데이터를 기반으로 온톨로지를 통해 웹에서 검색이 가능한 모델이 생성되었다. 넷째, 구축한 모델의 검증을 위해 그린리모델링을 기수행한 건축물 2개 사례 적용을 통해 모델의 적용성 및 활용성을 검증하였다. 개발된 모델을 적용한 결과, 의사결정을 지원하기 위한 온톨로지 기반 모델은 사용자의 의도에 맞는 결과값이 도출됨을 확인하였다.

OnGRASM을 통해 얻을 수 있는 기대효과는 다음과 같다. 첫째 설계자의 경험 의존적인 대안 선정이 아닌 리모델링을 수행한 메타 데이터 내에서 검색하여 더욱 일관적이고 신뢰 있는 대안이 도출될 수 있다. 둘째, 에너지 시뮬레이션과 같은 결정론적 방법의 한계인 변수의 확률적 특성을 극복하였다. 본 모델은 리모델링 의사결정 과정에서 수행자의 숙련도에 의해 좌우되지 않고, 기존 수행 사례 내에서 의사결정이 이루어지기에 누구나 결과값을 취득하고 또한 수행한 결과를 웹에 업로드 할 수 있다는 장점이 있다.

개발된 온톨로지 모델은 데이터의 지속적인 업데이트가 필요하다. 즉, 본 모델은 데이터의 양의 증가에 따라 더 다양하고 정확한 정보를 제공할 수 있다. 따라서 모델이 더 발전하며 모델 활용성을 높이기 위해, 리모델링 사례가 추가되고 해당 사례의 정보가 축적되는 것이 필요하다. 한편, 온톨로지 방법론의 특성상, 향후 연구에서 에너지 절감 Project 사

례를 더 수집하여 data의 Volume을 확장하면 더욱 신뢰성 높은 연구가 진행될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 지원으로 수행된 연구(NRF-2020R1A22009799) 결과의 일부임.

## References

- Balaji, N.C., Mani, M., and Venkatarama Reddy, B.V. (2013). Thermal performance of the building walls. In Preprints of the 1st IBPSA Italy conference Free University of Bozen-Bolzano, 346, pp. 1-7.
- Bisello, A., Marella, G., and Grilli, G. (2016). SINFONIA project mass appraisal: beyond the value of energy performance in buildings. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 223, pp. 37-44.
- Cho, K., Kim, J., Kim, T., and Hong T. (2020). "Model for predicting price change patterns in multi-family houses post renovation work" *J. of Asian Architecture and Building Engineering*, 19(3), pp. 230-241
- Cho, K., and Yoon, Y. (2016). "Decision support model for determining cost-effective renovation time" *J. of Mgmt. in Eng.*, ASCE, 32(3), 04015051.
- Hong, J., Yeom, D., Choi, S., and Kim, Y. (2017). "A Study of the Decision Support Model to Select an Appropriate Alternative Plan in Apartment Remodeling." *J. of the Architectural Institute of Korea\_Structure & Construction*, 33(3), pp. 41-50.
- Jeong, K. (2021). System, Policy and Research Trends for Green Remodeling Construction Engineering and Management, 22(1), pp. 32-35.
- Kim, J., Cho, K., Kim, T., and Yoon, Y. (2018). "Predicting the monetary value of office property post renovation work" *J. of Urban Planning and Development*, ASCE, 144(2), 04018007.
- KOSIS (2022). [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_2KAAF02&conn\\_path=I2](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_2KAAF02&conn_path=I2)
- Lee, M., Hong, T., and Jeong, K. (2017). "Framework for Development of Optimal Decision Support System for Green Remodeling in Multi-Family Housing Complexes." *Conference proceeding, Architectural Institute of Korea*, 37(1), pp. 895-896.
- MOEAE (Ministry of Economic Affairs and Employment). (2019). Finland's Integrated Energy and Climate Plan.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2021). Guidelines for Green Remodeling Support for Public Buildings.

- Park, J. (2022). Development of decision-making support program for green remodeling of city scale based on ECO2-OD energy performance. Master`s thesis, Graduate school, Chosun University.
- Pedrini, A., Westphal, F.S., and Lamberts, R. (2002). A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. *Building and Environment*, 37(8-9), pp. 903-912.

---

**요약 :** 경제적인 측면이나 친환경적인 측면의 사유로 인해, 노후 건축물을 대상으로 그린리모델링 사업이 활발하게 진행되고 있다. 한편, 그린리모델링 사업을 추진하는 과정에서, 기존에는 설계자 및 엔지니어의 주관적 경험 및 지식에 기반하여 그린리모델링 계획이 개발되어 왔고, 이로 인해 경제성 등의 측면에서 효율적인 의사결정이 부족했다. 이에 본 연구에서는 노후 건축물의 속성을 분석하고 이에 따른 적정 리모델링 계획을 제안할 수 있는 온톨로지 기반 그린리모델링 의사결정 지원 모델을 구축하였다. 개발된 모델에서는 건축물의 기본 속성을 입력하면 온톨로지를 통한 웹검색을 기반으로 패시브 액티브 요소로 구성된 적정 리모델링 계획을 제공할 수 있다. 연구를 통해 개발된 결과물을 활용하면, 리모델링 사례의 증가에 따른 웹기반의 메타 데이터 검색을 통해 보다 객관적인 적정 리모델링 대안에 대한 의사결정 지원이 가능할 것으로 기대된다.

**키워드 :** 그린리모델링, 온톨로지, 리모델링 대안 선정 방법

---