

# 에너지절감형 리모델링을 위한 적정 대안 선정 프로세스 모델 - 건축물 외피 및 신재생에너지 시스템을 중심으로 -

신영수<sup>1</sup> · 조규만\* · 김재연<sup>1</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 건축공학과

## Decision Support Process Model for Energy Efficient Remodeling Projects focused on Building Envelope and Renewable-energy Systems

Shin, Young-su<sup>1</sup>, Cho, Kyuman\*, Kim, Jae-young<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Architectural Engineering, Chosun University

**Abstract :** An increase in energy such as natural gas, coal, oil, has occurred to a large amounts of environment impact emissions, it is necessary to reduce in the construction industry for the energy consumption. To encourage remodeling project in developed countries of the majority, on the basis of this, remodeling project in the construction industry has grown to a large amount. Results of analysis of the research related to the advanced remodeling, analysis of the economic validity in accordance with the production and process and building elapsed years of selection alternative of remodeling there has been a problem that has not been properly reflected. In this study, a decision support model that can simultaneously choose the most cost-effective and energy-efficiency alternative. Developed process model, generates a "Remodeling Solution" that combines the renewable energy equipment and envelope system, energy performance evaluation of the application of international standards(ISO-13790, DIN V 18599), perform the economic evaluation through LCCA(Life Cycle Cost Analysis) technique, circulated evaluation and configured to output the optimal Remodeling Solution. The results of applying the model developed in the case, it was confirmed that it is possible to select a choice of cost-effective energy-saving alternative. Then, developed model through this study, it is expected to be able to help highly effective remodeling alternative to selecting by decision-makers.

**Keywords :** Remodeling Project, Decision Support Model, Energy Efficiency, Building Envelope Systems, Renewable Energy Systems

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

산업발전과 인구증가에 따라 석탄, 석유, 천연가스 등 에너지 소비 증가로 인하여 세계적으로 매년마다 많은 양의 환경영향배출물이 발생하고 있다. 특히 온실가스는 지표로부터 방출되는 적외선을 흡수하여 대기온도를 상승시킴으로써 지구온난화현상을 초래한다(Sophie et al, 2014). 전 세계적으로 건설 산업에서의 에너지 소비는 전체 에너지소비 중 40%에 가까운 수치를 나타내며, 이러한 에너지 소비로 발생하는

이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 전체 이산화탄소 배출의 약 33%에 이른다(Eicker 2009). 따라서 에너지 소비 절감 및 이산화탄소 배출 감소를 위해 건설산업에서의 노력이 필요하다.

이러한 노력의 일환으로 대다수의 선진국에서 리모델링 프로젝트를 장려하고 이에 따라 건설산업에서 리모델링 사업은 큰 비중으로 성장하고 있다(Lee 2012-b). 리모델링은 재건축에 비해 비교적 적은 규모의 환경파괴 및 자원낭비로 온실가스 배출을 억제할 수 있을 뿐만 아니라, 에너지 소비량 절감이 가능하고 건축물의 가치를 향상시킬 수 있다(IPCC 2007).

건축물의 생애주기(Life Cycle) 측면에서 리모델링은 운영 및 폐기 단계에서 이루어지며, 그 목적은 다양하다. 건물 노후화로 인한 건물의 안전과 내구성능 강화를 위한 구조적 목적, 건물의 사회적 요구를 충족하고 노후화된 기능을 복구하는 기능적 목적, 건물 외관 및 내부마감을 개선하여 소비자의 만족감을 충족시키는 미관적 목적, 건물 에너지 성능을 개선

\* Corresponding author: Cho, Kyuman, Department of Architectural Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea  
E-mail: chol29@chosun.ac.kr

Received March 3, 2015; revised April 10, 2015

accepted April 23, 2015

하고 생애주기비용을 절감하는 에너지/환경적 목적이 있다 (Lee 2012-a). 일반적인 리모델링의 경우 이러한 목적이 복합적으로 드러나지만, 경우에 따라 어느 하나에 집중하여 리모델링을 수행하는 경우도 존재한다.

특히 에너지/환경적 목적의 리모델링은 국가적 CO2 절감 노력에 부응함과 동시에 건물 사용자 혹은 소유주에게 에너지소요절감에 따른 경제적 이익을 창출할 수 있는 이점으로 인해 가장 활발하게 이루어지는 리모델링 형태이며, 최근 많은 국가 기관에서 이를 제도화하고 직접적인 설계/시공단계를 지원하는 사례들이 보고되고 있다.

그러나 이러한 사례들 중 대다수에서 건축, 설비, 기계 등을 포함하는 리모델링 대안을 제시함에 있어 다음과 같은 문제점이 보고되고 있다. 즉, ① 유사 리모델링 사례의 요소들을 그대로 채택하여 시공하는 경우, ② 수요자(주로 건축주)의 요구사항에 대한 과학적 평가 없이 대안이 채택되는 경우, ③ 리모델링 후 건물에 대한 에너지/경제성 평가를 수행하지 않은 경우 등이었다. 즉, 리모델링 요소(대안)를 선택하는 과정에서 시장 상황의 고려, 에너지절감량 달성, 경제적 효율성 등을 평가하는 과정이 부족하다는 것이었다.

본 연구는 에너지절감형 리모델링 사업에서 리모델링 요소를 선정하는 과정에서, 요소들을 조합한 리모델링 대안을 제시하고, 제시된 대안에 대하여 에너지절감량 및 그로인해 실현되는 경제적 이익을 리모델링 수행 전에 분석할 수 있는 프로세스 모델을 개발하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

에너지절감형 리모델링 수행을 위한 요소 기술은 크게 건축 분야, 설비 분야, 신재생에너지 분야로 나눌 수 있다(Jang et al. 2012, Choi 2013, Cho 2014).

① 건축 분야의 경우 건물 외부와 관련된 범주로서, 그 대상은 단열재, 차양, 외부 마감, 창호, 환기시설 등이 해당된다. 해당 분야는 친환경 건설기술의 패시브(Passive)적 요소 기술로서 건물의 에너지 요구량을 절감할 수 있는 방법이다.

② 설비 분야의 경우 건물 내부와 관련된 범주로서, 그 대상은 조명 시설, 보일러, 환기장치, 냉난방 시스템 등을 포함한다. 해당 분야는 친환경 건설기술의 액티브(Active)적 요소 기술로서 건물에서 사용하는 기기 및 시스템의 효율을 향상시켜 에너지 사용량을 절감하는 방법이다.

③ 신재생에너지 분야의 경우 건물 내외부에 설치되어 에너지를 생산하는 시설을 의미하며, 그 대상은 태양광 설비, 태양열 설비, 지열 설비, 연료 전지 등이다.

본 연구에서는 에너지절감형 리모델링을 위해 패시브적 요소 중 가장 큰 영향을 미치는 개구부 개선(창호)과 액티브적 요소 중 가장 영향력이 큰 신재생에너지 설비 적용을 대상으로 대안 선정 프로세스 모델을 개발하고자 한다. 창호는 건물

외피에 설치되어 실내환경과 실외환경의 경계임과 동시에 많은 에너지 출입이 이루어져 가장 중요한 개선요소일 뿐만 아니라 건물 이미지를 형성하는데 큰 영향을 주는 요소로 작용한다. 신재생에너지 설비는 1차 에너지 소비 없이 에너지를 생성하는 설비이기에 에너지원 고갈 및 환경 보전을 위해 가장 우선적으로 다루어지는 요소임과 동시에 최근 친환경 건축물 인증 취득에도 유리한 기술이다. 두 가지 요소를 대상으로, 구체적 연구 진행절차는 다음과 같다.

1) 외피 시스템과 신재생에너지 시스템을 조합하여 해당 건축물의 리모델링 대안을 생성하고, 2) 대안 적용에 따른 에너지 소요량을 산출하고 나아가 리모델링 전 건물의 에너지 소요량과 비교하여 에너지 절감량을 평가하며, 3) 대안 적용으로 인한 경제적 이익을 평가하는 방법을 개발하고, 4) 순환 알고리즘으로 대안을 생성하고 평가할 수 있는 프로세스 모델을 구축하였다. 5) 개발된 프로세스 모델을 실제 리모델링 사례에 적용하여 그 효용성을 검증하였다.

## 2. 예비적 고찰

건물 에너지절감을 목표로 하는 국내 리모델링 실제사례 및 연구에 대하여 알아보하고자 한다. 이를 바탕으로 리모델링 대안 선정, 적용 방법, 에너지성능평가, 타당성 평가, 경제성 분석 등의 기존 과정을 파악함으로써 본 연구의 당위성을 제시하고자 한다(Table 1).

먼저 한국시설안전공단 산하 녹색건축센터의 그린리모델링 사업의 시범사례를 조사하였다. A세관(2013)은 준공 31년이 지난 건축물을 리모델링한 사례로서 외단열 설치, 차양 설치, 창호개선, 태양광 창호 설치 등을 통해 기존 건물 대비 32% 에너지절감(327.4→223.1[kWh/m<sup>2</sup>·y])을 달성하였으며, 리모델링 대안 선정을 위해 네덜란드에서 2012년 리모델링된 대규모 패시브하우스 건축물인 “Veilige Veste L.”의 요소기술을 사용하였다. 부천 W도서관(2014)은 준공 20년이 지난 건축물을 리모델링한 사례로서 외단열 설치, 열교취약부 보강, 창면적비 조정, 창호 교체 등을 통해 기존 건물 대비 38% 에너지절감(321.1→199.1[kWh/m<sup>2</sup>·y])을 달성하였으며, 대안 선정을 위해 현장조사 후 수요기관과의 협의를 통해 요소 기술을 선택하여 리모델링을 실시하였다. 광주 J초등학교(2013)은 준공 30년이 지난 건축물을 리모델링한 사례로서 창호 교체, 창면적비 수정, 옥상녹화, 태양광 발전설비 설치 등을 통해 기존 건물 대비 60% 에너지절감(332.8→131.5[kWh/m<sup>2</sup>·y])을 달성하였으며, 대안 선정을 위해 현장조사 후 수요기관과의 협의를 통해 요소 기술을 선택하여 리모델링을 실시하였다.

한편, 장현숙(Jang et al. 2012)의 연구는 서울시 중구에 위치한 업무시설(규모: 20층, 연면적: 34,451m<sup>2</sup>)을 대상으로 외

Table 1. Advanced research for energy efficient remodeling project

Project or Researcher (Year)	Remodeling Scopes	Selection of available remodeling alternatives	Factors used to Economic Analysis
"A" Customs Annex (2013)	Envelope(:Insulation, Shade, Window, ...) Renewable Energy(:BIPV)	Reference to similar case (Veilige Veste L.)	-
Buchoen W Library (2014)	Envelope(:Insulation, Thermal break, Window ratio, Window, ...)	Contractor' s recommendation	-
Gwangju J Elementary School (2013)	Envelope(:Window, Window ratio, Green roof, ...) Renewable Energy(:Sunlight generation)	Contractor' s recommendation	-
Jang. H. S. et al (2012)	Envelope(:Insulation, Window, Shade)	Reference to Regulations	-
Kim. K. S. (2014)	Equipment(:Lighting, Ventilation) Envelope(:Window ratio, Insulation, Window, ...) Renewable Energy(:Geothermal)	Reference to Regulations (Building Energy-Efficiency Rating)	-
Choi. B. H. (2009)	Envelope(:External insulation)	Reference to market products (9EA)	-
Song. S. B. (2009)	Envelope(:Window, Insulation)	Reference to market products (20EA)	Installation Cost
Kim. J. A. (2013)	Envelope(:Window ratio, Window, Shade, Insulation)	Reference to Regulations	-
Choi. J. H. (2013)	Renewable Energy(:BIPV, Geothermal, BIPV, ...)	Expert' s recommendation	-
Kim. J. Y. (2008)	Renewable Energy(:BIPV, Geothermal)	Reference to Construction Cost	Installation Cost Operation Cost

\* BIPV: Building Integrated Photovoltaic System

피 리모델링을 통한 건물 에너지절감 연구를 수행하였다. 리모델링 적용은 구조체(벽체, 지붕) 단열 강화, 창호성능 강화, 수평차양 설치의 3가지 요소를 다루었고, 각각 요소별 현행 법규 충족기준 대비 10%, 30%, 50% 강화의 대안을 제시하여 에너지성능을 평가하였다. 그 결과 대안별 건축물에너지효율 등급<sup>1)</sup>이 최초 5등급에서 2등급까지 순차적으로 향상됨을 제시하였다. 김기석(Kim 2014)의 연구는 공공청사의 에너지효율등급 향상을 위한 단계별 리모델링을 주제로 연구를 수행하였다. B시청을 3D 모델링하여 에너지평가를 실시하여 최초 5등급 건축물에서 조명계획, 창면적비 개선으로 4등급을, 자연채광, 단열성능, 일사열취득계수 개선으로 3등급을, 공기계획, 기밀성능, 열회수, 자연환기 개선으로 2등급을, 지열발전 설비 설치로 1등급까지 달성하는 과정을 분석하였다. 최보혜(Choi 2009)는 공동주택에서의 슬래브↔전면외벽, 슬래브↔측벽, 슬래브↔후면외벽의 3가지 접합부별 외단열 시스템 적용에 따른 에너지성능 향상에 대해 연구하였다. 외단열 시스템 선택은 국내의 시공사례 분석과 시장 현황을 통해 당시 가장 많이 사용되는 "D 시스템"을 채택하여 분석하였고, 그 결과 대안별 난방부하 6.7%, 37.0%, 12.2% 감소를 증명하였다. 송수빈(Song 2009)의 연구는 공동주택 설계단계에 있어 건물 에너지 성능 향상을 위한 적정창호 선택을 위한 연구를 실시하였다. 건설 시장에서 실제로 판매 중인 창호의 단열성능을 조사하여 열관류율 최고 3.115W/m<sup>2</sup>K에서 0.595W/m<sup>2</sup>K까지의 20개의 대안을 추출하였고, 에너지 소비비용 및 경제성 분석을 실시하여 열관류율 향상에 따른 시공비용 변화폭을

분석하였다. 김진아(Kim 2013)의 연구는 업무용 건축물의 에너지절감 리모델링을 위한 외피계획 시 고려할 4가지 요소성능별 에너지평가를 실시하였다. 창면적비는 70, 60, 50, 40, 30%의 5가지 모델, 창호 열관류율은 법규기준 대비 10, 20% 강화의 2가지 모델, 외부차양은 시중 제품 2가지 모델, 벽체 단열은 법규기준 대비 10, 20% 향상의 2가지 모델을 제시하였다. 4가지 요소를 단일 혹은 혼합하여 적용하였을 때 기존 건물대비 28~30% 에너지소요 절감이 가능함을 증명하였다. 최준호(Choi 2013)의 연구는 건물 에너지소요량 절감을 위해 적용 가능한 신재생에너지 기술을 도출하고 해당기술에 대한 다각적인 분석을 실시하였다. 그 결과 기술진척도 파악에서 태양열 급탕, 지열냉난방시스템이 적용 가능한 기술로, 건축물 유형별 파악에서 태양열발전, 태양열 급탕, 태양열 냉난방, 독립형 태양광발전, BIPV, 지열냉난방시스템이 적용 가능한 기술로 도출되었다. 김주영(Kim 2008)의 연구는 건축물에 적용 가능한 신재생에너지원을 도출하고 각각의 에너지효율성, 경제성, CO<sub>2</sub> 배출량을 분석하였다. 그 결과 태양광발전시스템 및 지열히트펌프시스템이 적용 가능하며, 기술발전 및 공급 확대에 따른 가격 절감 기대치와 정부 지원금 등을 통해 신재생에너지 설비 적용 확대 방안을 제시하였다.

기존의 리모델링 관련 연구를 분석한 결과, 1) 리모델링 대안의 생성 및 선정은 ① 현행 법규에 맞추거나 이를 강화한 대안, ② 유사 리모델링 사례의 요소기술을 인용하여 대안을 선정하는 것으로 정리할 수 있다. 또한, 2) 이렇게 제안된 리모델링 대안은 건축물 경과년수에 따른 경제적 타당성 분석 결과가 제대로 반영되어 있지 않은 경우가 대다수였다. 따라서 에너지절감량과 경제성을 동시에 고려하여 가장 비용효율적인 에너지절감형 리모델링 대안을 선정할 수 있는 의사결정 지원모델의 개발이 필요하다.

1) 건축물 에너지효율등급 인증규정(국토부 제2009-1306호) 단위면적당 1차 에너지 소비량(kWh/m<sup>2</sup>·y): 1등급: 300미만, 2등급: 300이상 350미만, 3등급: 350이상 400미만, 4등급: 400이상 450미만, 5등급: 450이상 500미만

### 3. 적정 리모델링 대안 선정 프로세스 모델

#### 3.1 리모델링 솔루션

본 연구의 프로세스 모델은 건물의 외피 시스템을 개선하고 신재생에너지 설비를 설치하는 방법을 통해 에너지절감형 리모델링을 수행하는 경우로 한정한다.

만일 리모델링 대상이 되는 외피 시스템(Envelope Systems; 이하 ES)의 작업부위(P)가 a개이고, 각각의 작업부위에 대하여 적용가능 공법(M)이 b개 존재한다면 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \dots \\ P_k \end{pmatrix} \times (M^1 M^2 \dots M^i) = \begin{pmatrix} ES_1^1 & ES_1^2 & \dots & ES_1^i \\ ES_2^1 & ES_2^2 & \dots & ES_2^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ ES_k^1 & ES_k^2 & \dots & ES_k^i \end{pmatrix}$$

또한 리모델링 대상이 되는 신재생에너지 시스템(Renewable Energy Systems; 이하 RES)의 설치부위(I)가 c개이고, 각각의 작업부위에 대하여 설치 가능한 신재생에너지 옵션(O)이 d개 존재한다면 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_m \end{pmatrix} \times (O^1 O^2 \dots O^j) = \begin{pmatrix} RES_1^1 & RES_1^2 & \dots & RES_1^j \\ RES_2^1 & RES_2^2 & \dots & RES_2^j \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ RES_m^1 & RES_m^2 & \dots & RES_m^j \end{pmatrix}$$

따라서 외피시스템(ES)과 신재생에너지 시스템(RES)을 조합한 “리모델링 솔루션(Remodeling Solution; 이하 RS)”  $RS_{a,c}^{b,d} = \{ES_a^b, RES_c^d\}$ 로 표시될 수 있다(Fig. 1). 한편, 리모델링 이전의 기존 건물은  $RS_{a,c}^{0,0} = \{ES_a^0, RES_c^0\}$ 로 표현가능하나 본 장에서는 “ori(original)”로 간단하게 표기하도록 한다.

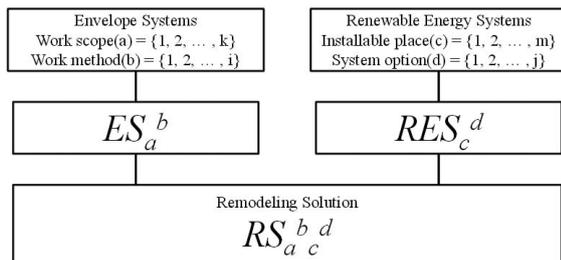


Fig. 1. Generating Remodeling Solution

#### 3.2 리모델링 솔루션의 에너지성능평가

열용량 산정과 열량변환의 계산식을 통해, 리모델링에 따른 에너지성능을 평가할 수 있다. 이 방식은 부하계산법을 정의한 국제 기준 ISO-13790<sup>2)</sup> 및 DIN V 18599<sup>3)</sup>를 따르며, 오로지 에너지 '평가'에 주목하고 있는 이유로, 현재 상용되는 많은 에너지평가프로그램이 가지는 ① 입력/계산시간이 오

래 걸리는 문제, ② 사용자 수준에 따라 계산 결과가 상이하게 달라질 수 있는 문제, ③ 프로그램의 복잡성 등을 피할 수 있는 장점이 있다(PHIKO 2013).

##### 3.2.1 실 체적에 따른 요구 열용량

건물 체적[m<sup>3</sup>]에 따른 필요 열용량을 뜻하는 것이며, 해당 개념은 비열(specific heat)에 근거한다. 비열[kcal/kg°C]은 어느 물질 1kg의 온도를 1°C 상승시키는 데에 필요한 열량[kcal]을 의미하며, 비열에 질량[kg]을 곱해주면 해당 물체의 열용량(heat capacity)이 산출된다. 따라서 어느 일정한 공간 내의 공기 1°C를 상승/하강시키기 위해 필요한 열용량[kcal]은 해당 공간의 체적[m<sup>3</sup>], 공기의 비열[kcal/kg°C], 공기의 비중량[kg/m<sup>3</sup>], 실내외 온도차[°C]을 곱하여 산정할 수 있다.

$$Q_{space} = V \times C_p \times \gamma \times \Delta T \quad (1)$$

$Q_{space}$ : 체적에 따른 열용량,  $V$ : 체적,  $C_p$ : 비열,  $\gamma$ : 비중량,  $\Delta T$ : 실내외온도차

일반적으로 건물은 층별로 체적을 산정하며, 일일 사용시간[hour]이 정해진 L개 층을 가진 건물의 일일 필요 열용량은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_{space\ total} = \sum_1 (Q_{space}) \times H \quad (2)$$

$Q_{space\ total}$ : 건물 필요 열용량(일일),  $H$ : 건물 일일사용시간

##### 3.2.2 외피 성능에 따른 열관류

실내외 온도차로 인해 발생하는 외피에서 실내로 출입(관류)하는 열량을 뜻하며, 외피 열관류율(U-value)에 따른 영향을 받는다. 열관류율은 시간당 열의 흐름을 나타내며 단위는 W/m<sup>2</sup>C(kcal/m<sup>2</sup>h°C)를 쓰고 표면적이 1m<sup>2</sup>인 구조체를 사이에 두고 온도차가 1°C일 때 구조체를 통한 열관류율을 [W]나 [kcal]로 측정하는 것이다. 외피 열관류율에 따라 실내로 유입되는 열량을 나타내는 식은 다음과 같다.

$$Q_{envelope} = K \times A \times \Delta T \quad (3)$$

$Q_{envelope}$ : 외피 관류 열용량,  $K$ : 열관류율,  $A$ : 면적,  $\Delta T$ : 실내외온도차

특히 건물은 용도 및 사용 특성에 따라 건물 일일운영시간[Hour]이 다르며, 건물 일일운영시간동안 a개의 외피로부터 관류되는 열관류 부하는 다음과 같다.

- 2) ISO 13790:2008. Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling.
- 3) DIN V 18599:2005-07. Energy efficiency of buildings – Calculation of the energy needs, delivered energy and primary energy for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting

$$Q_{envelope\ total} = \sum_1^a (Q_{envelope\ total}) \times H \quad (4)$$

$Q_{envelope\ total}$ : 건물 관류 열용량(1일),  $H$ : 건물 일일사용시간

### 3.2.3 에너지소요량 산출

체적과 외피로부터 관류되는 열량을 통해 필요 에너지소요량을 산출할 수 있다. 필요 열용량의 단위는 kcal로서, 1kWh = 860kcal인 환산식을 이용하여 필요 에너지량을 산출할 수 있다. 즉, 체적 열용량, 관류 열용량을 합산하고 이를 860으로 나누면 해당 건물의 일일 에너지소요량을 산출할 수 있으며, 건물 연중 사용일수를 파악하여 연간 에너지소요량[kWh]까지 산출할 수 있다.

$$EC = \frac{Q_{space\ total} + Q_{envelope\ total}}{860} \times D \quad (5)$$

$EC$ : 건물 연간 에너지 소요량,  $Q_{space\ total}$ : 건물 필요 열용량(1일)

$Q_{envelope\ total}$ : 건물 관류 열용량(1일),  $D$ : 건물 연중 사용일수

### 3.2.4 에너지생산량 산출

일반적으로 건물에 적용 가능한 신재생에너지 설비는 태양광, 태양열, 연료전지, 지열 시스템이다(Choi 2013). 해당 설비를 설치함에 있어 에너지생산량을 나타내는 설계 발전용량이 존재하므로 해당 값을 사용하여 연간 에너지생산량[kWh]을 산출하도록 한다.

$$EP = RES\ capacity \times D \quad (6)$$

$EP$ : 연간 에너지 생산량,  $RES\ capacity$ : 설계 발전용량(1일)

$D$ : 발전 가능일수

### 3.2.5 건물 총 에너지소요량 산출

앞서 산정한 연간 에너지소요량과 신재생에너지 설비의 에너지생산량을 고려하여 리모델링 건축물의 연간 총 에너지소요량[kWh]을 산출한다.

$$TEC = EC - EP \quad (7)$$

$TEC$ : 건물 연간 총 에너지 소요량,  $EC$ : 건물 연간 에너지 소요량

$EP$ : 건물 연간 에너지 생산량

### 3.2.6 에너지절감량 평가

리모델링 전 건축물의 연간 총 에너지소요량( $TEC_{ori}$ )과 대안( $RS_{a\ c\ d}$ )의 연간 총 에너지소요량( $TEC_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ )을 비교함으로써 리모델링 적용으로 인한 에너지절감량을 평가할 수 있다.

$$EPR_{RS_{a\ b\ c\ d}} = 1 - \frac{TEP_{RS_{a\ b\ c\ d}}}{TEC_{ori}} \quad (8)$$

$EPR_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ : 대안의 에너지 절감량,

$TEC_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ : 대안의 연간 총 에너지 소요량,

$TEC_{ori}$ : 원안의 연간 총 에너지 소요량

### 3.2.7 신재생에너지 생산비율 평가

리모델링 대안의 연간 총 에너지소요량( $TEC_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ )과 연간 에너지생산량( $EP_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ )의 비율로서 리모델링한 건물의 신재생에너지 생산비율을 산정할 수 있다. 미국의 친환경건물인증제도 "LEED<sup>4)</sup>"에서는 신재생에너지 설비 생산 에너지 비율에 따라 인증 점수를 부여하고 있으며 이는 LEED 등급에 큰 영향을 미치는 요소이다.

$$RER_{RS_{a\ b\ c\ d}} = \frac{EP_{RS_{a\ b\ c\ d}}}{EC_{RS_{a\ b\ c\ d}}} \quad (9)$$

$RER_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ : 대안의 신재생에너지 생산비율,

$EP_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ : 대안의 에너지 생산량,

$EC_{RS_{a\ b\ c\ d}}$ : 대안의 에너지 소요량,

## 3.3 리모델링 솔루션의 경제성 평가

가장 경제적인 리모델링 대안의 선정을 위해 대안별 생애주기비용 분석 및 회수기간 평가가 필요하다.

일반적인 신축에서의 생애주기비용 분석은 건물의 기획, 시공, 운영, 유지보수, 철거, 잔존가치 등 프로젝트 전반에 걸친 넓은 범위에서 이루어지기 때문에 생애주기비용 산정을 통해 건물의 가치를 평가한다. 그러나 리모델링 프로젝트의 경우 건물 운영단계에서 추가 비용투자를 통해 건물을 개선하고 성능을 향상시키는 경우이므로, 리모델링 사업 전후의 건축물 가치평가를 통한 경제성 평가를 실시하며, 투입비용에 대한 회수이익을 현가화하여 타당성 여부를 판단한다(Kim et al, 2010). 따라서 본 연구의 경제성 평가는 리모델링 대안별 에너지절감량에 따른 비용이익과 설치비용을 비교하고, 이를 바탕으로 투자비용 회수기간을 찾고자 한다. 경제성 평가의 과정은 다음과 같다. 1) 리모델링 대안별 초기투자비를 산정, 2) 에너지절감량에 따른 리모델링 후 운영비용을 산정, 3) 원안 대비 대안의 운영절감비용을 산정, 4) 마지막으로, 연간 운영절감비용을 현재가치로 변환하여 원안 대비 추가되는 초기투자비용의 회수기간을 산정한다.

### 3.3.1 초기투자비 산정

초기투자비 산정은 어느 시스템을 구성하는 각 자재별 물량 값[m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>]에 단위 비용[원/m<sup>2</sup>, 원/m<sup>3</sup>]을 곱해주거나, 시스템 전체 단위의 비용 정보를 통해 산정할 수 있다. 외피시스템 설치에 대한 초기투자비 산정은 외피 면적[m<sup>2</sup>]과 외피공사 단위비용[원/m<sup>2</sup>]을 곱하여 산정할 수 있으며, 신재생에너지 설비는 시스템별 산정 조건이 상이하나 공통적으로 설비 대수[EA]와 설비 단가[원/EA]를 곱하여 산정할 수 있다. 산정

4) LEED: Leadership in Energy and Environmental Design, Standard for green building design

한 값을 모두 더하여 최종 초기투자비 값을 산출할 수 있다.

$$IC = (A_{ES} \times UC_{ES}) + (EA_{RES} \times UC_{RES}) \quad (10)$$

$IC$ : 초기투자비,  $A_{ES}$ : 외피 면적,  $UC_{ES}$ : 외피공사 단위비용,  
 $EA_{RES}$ : 설비 대수,  $UC_{RES}$ : 설비 단가

### 3.3.2 리모델링 후 운영비용 산정

앞서 선정된 건물 연간 총 에너지소요량[kWh]에 전력 요금 [원/kWh]을 곱해줌으로써 산정할 수 있다.

$$OC = TEC \times eC \quad (11)$$

$OC$ : 연간 운영비용,  $TEC$ : 건물 연간 총 에너지소요량,  
 $eC$ : 전력단가

### 3.3.3 운영절감비용 산정

리모델링 대안의 회수기간을 산정하기 위한 매년 동일하게 발생하는 연간절감비용을 산정하는 것으로, 원안의 연간 운영비용( $OC_{ori}$ )과 대안의 연간 운영비용( $OC_{RS_{a,b,c,d}}$ )의 차이 값을 의미한다.

$$CS_{RS_{a,b,c,d}} = OC_{ori} - OC_{RS_{a,b,c,d}} \quad (12)$$

$CS_{RS_{a,b,c,d}}$ : 대안의 연간 절감비용,  $OC_{ori}$ : 원안의 연간 운영비용,  
 $OC_{RS_{a,b,c,d}}$ : 대안의 연간 운영비용

### 3.3.4 회수기간 산정

현가분석을 통해 회수기간을 산정한다. 현가분석은 미래에 발생하는 현금의 현재가치를 산정하는 것을 의미하며 실질할 인율이 적용된다. 회수기간을 산정하기 위해서는 매년 동일 하게 발생하는 연간절감비용을 현재계수를 통해 현재가치로 환산하고 N년 동안 누적된 금액이 초기투자비보다 상회되는 경우를 산정하는 것이다.

$$\sum_{p=1}^N \{ CS_{RS_{a,b,c,d}} \times \frac{1}{(1+i)^p} \} > IC_{RS_{a,b,c,d}} \quad (13)$$

$N$ : 회수기간,  $CS_{RS_{a,b,c,d}}$ : 대안의 연간 절감비용,  
 $i$ : 실질이자율,  $IC_{RS_{a,b,c,d}}$ : 대안의 초기투자비

## 3.4 리모델링 대안 선정 프로세스 모델

앞서 생성한 리모델링 솔루션과 리모델링 전 원안과의 비교 평가 프로세스 모델을 구축하고자 한다(Fig. 2).

1) Fig. 2의 "A" 영역은 목표 에너지 절감량 및 신재생에너지 생산비율 설정부분이며, 모델을 활용함에 따라 최종적으로 얻고자 하는 ① 목표 에너지절감량(X), ② 신재생에너지 생산비율(Y)을 설정한다.

2) Fig. 2의 "B" 영역은 리모델링 솔루션 생성부분이며, 수집한 외피시스템과 신재생에너지설비 정보를 기반으로 리모델링 솔루션( $RS_{a,b,c,d}$ )을 생성한다. 외피 시스템의 작업부위(a),

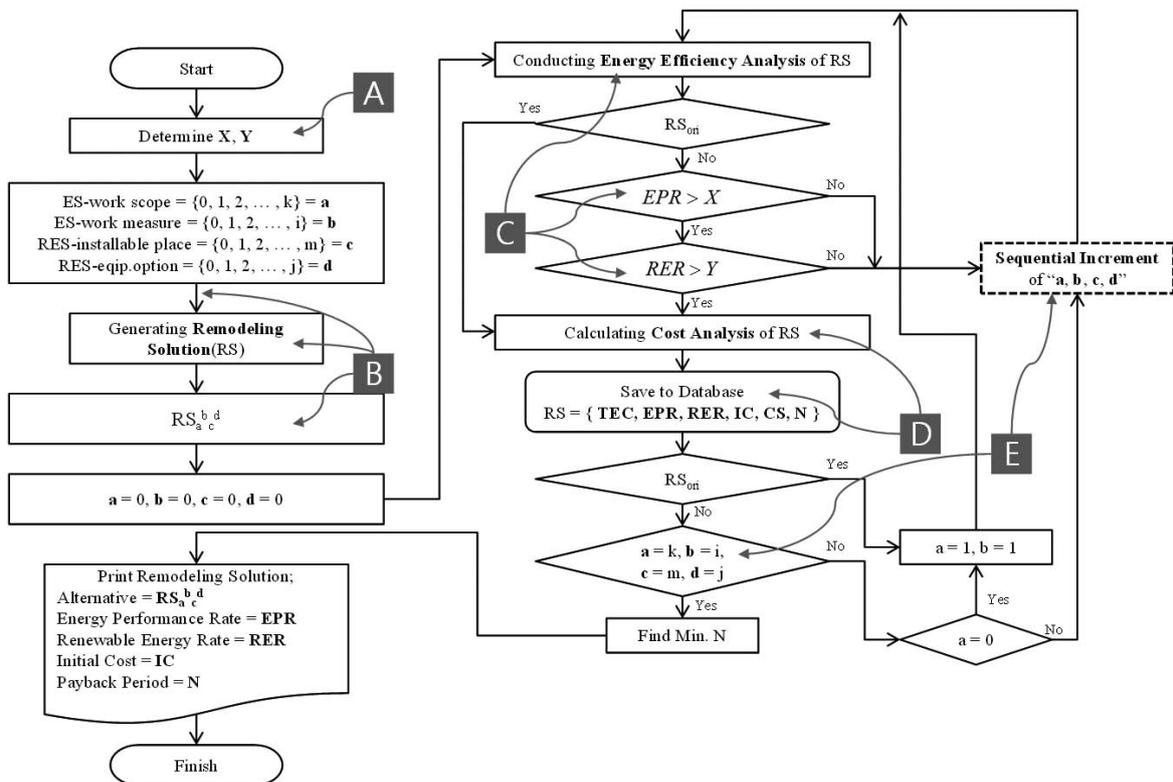


Fig. 2. Remodeling Solution decision process model

적용가능 공법(b) 정보와, 신재생에너지 설비의 설치부위(c), 설비옵션(d)을 조합한다.

3) Fig. 2의 “C” 영역은 목표 충족 여부 확인부분이며, 최초 리모델링 전 원안의 에너지성능을 산출하고, 같은 과정으로 대안을 분석하여 원안과 비교한다. 앞서 3.2절의 식 2, 4, 5, 6, 7을 활용하여 대안별 에너지소요량을 산출하며, 식 8을 활용하여 에너지절감량 평가를 거치고, 식 9를 활용하여 대안의 신재생에너지 생산비율을 평가한다. 앞서 설정한 목표 에너지절감량(X)과 신재생에너지 생산비율(Y) 값을 충족하는 대안은 다음 “D” 영역인 회수기간 산정 단계로 진행되며, 그렇지 않은 대안은 평가를 종료하고 다음 대안으로 넘어간다.

4) Fig. 2의 “D” 영역은 경제성 평가 및 정보저장부분이며, 에너지평가에서 목표 값을 충족한 대안에 한하여 경제성 평가(회수기간 산정)를 실시한다. 앞서 3.3절의 식 10을 활용하여 초기투자비를 산정하고, 식 11, 12, 13을 활용하여 대안의 회수기간을 산정한다. 평가된 모든 값을 Database에 저장한다.

5) Fig. 2의 “E” 영역은 리모델링 솔루션의 순환평가부분이며, 생성된 모든 대안을 순환평가하기 위한 알고리즘을 모델에 추가하였다. 외피시스템의 적용가능 공법(a) → 외피시스템의 작업부위(b) → 신재생에너지 설비의 설비옵션(c) → 신재생에너지 설비의 설치부위(d) 순으로 점진적으로 변화시키며, 최종적으로 마지막 대안까지 평가 후 적정 대안을 출력하고 종료한다(Fig. 3). 예를 들어 외피시스템 작업부위 1개소(a=1), 적용가능 공법 3개(b=1, 2, 3), 신재생에너지시스템 설치부위 1개소(c=1), 옵션 2개(d=1, 2)인 경우의 평가과정은, 원안 → 외피 3가지 → (신재생에너지)설비 1적용 + 외피 3가지 → 설비 2적용 + 외피 3가지의 10번의 순환평가를 거쳐 종료된다.

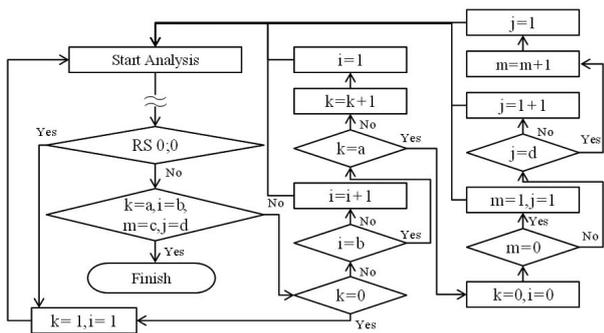


Fig. 3. Circulation Algorithm for finding optimal solution

## 4. 사례 적용

### 4.1 사례 적용 대상

사례 적용 대상은 경기도 부천시에 위치한 교육시설로 경과년수 30여년이 지나 최근 그린리모델링 시범사업에 선정

된 건물이다(Table 2).

해당 사례 건물을 에너지절감형 리모델링이 필요한 건물로 가정하고, 에너지절감을 25%(=Fig 2의 “X”)이상, 신재생에너지 생산비율 20%(=Fig 2의 “Y”)이상을 목표로 리모델링 계획을 수립하였다. 신재생에너지 생산비율 20%는 LEED 인증을 얻기 위한 LEED Point 획득에 가장 높은 수치이다.

Table 2. Case introduction

Project Name	Bucheon W Library			
Address	456, Sosa-ro, Wonmi-gu, Bucheon-si, Gyeonggi-do, Korea			
Building Category	Educational Facilities			
Structure System	Reinforced Concrete			
Total Floor	3F			
Total Floor Area	4,396.75m <sup>2</sup>			
Facade	East	West	South	North
	248.4m <sup>2</sup>	248.4m <sup>2</sup>	579.6m <sup>2</sup>	579.6m <sup>2</sup>
Building Envelope (U-Value)	East, West, North: Cementblock+Concrete+Stone Finished(0.38) South: Thermopane(3.37)			
Available Rooftop Area	720.36m <sup>2</sup>			

### 4.2 리모델링 솔루션 생성

리모델링 솔루션 생성을 위해 시중에서 직접 시공되는 외피시스템 및 신재생에너지 시스템을 조사하였다. 이를 바탕으로, 외피는 에너지절감 가능성이 가장 큰 남측 1개소(a=1)를 대상으로 하며, 해당 작업부위에 적용가능 공법 6가지(b=1~6)를 수집한 데이터 중 임의로 추출하였다. 추출한 외피의 열관류율은 최소 1.298[W/m<sup>2</sup>K]부터 2.611[W/m<sup>2</sup>K]까지 구성되어 있다. 신재생에너지 설비는 태양광 발전시스템을 설치할 수 있는 옥상 1개소(c=1)를 대상으로 하며, 해당 시스템의 옵션 2가지(d=1~2)를 가정하였다. 가정한 시스템 옵션은 가용 설치면적 중 30%와 50%만큼 설치하는 2가지 안으로 구성되어 있다(Table 3).

Table 3. Remodeling Solution systems

	Systems	“a”	“b”	U-Value [W/m <sup>2</sup> K]	Unit Cost [W/m <sup>2</sup> ]
ES	Original	0	0	3.37	-
	120mm Curtain Wall(D Co.)	1	1	2.611	112,500
	120mm Curtain Wall(K Co.)	1	2	2.255	140,200
	PJF 60PD-C	1	3	2.119	199,400
	H APS Sliding 130mm	1	4	1.77	230,200
	BF-Y250	1	5	1.579	265,200
	VBVF271-C	1	6	1.298	291,260
	Systems	“c”	“d”	Capacity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Unit Cost [W/m <sup>2</sup> ]
RES	Original	0	0	-	-
	SCM190W(30%)	1	1	0.166	128,150
	SCM190W(50%)	1	2	0.277	213,583

\* “a”: Work Scope, “b”: Work Method, “c”: Installable Place,

“d”: System Option, ES: Envelope System, RES: Renewable Energy System

### 4.3 대안 선택 프로세스 모델 도입 결과

프로세스를 시작하여 최초 리모델링 전 원안부터 마지막 리모델링 솔루션까지 분석이 진행되었다(Table 4).

먼저 원안의 연간 에너지소요량(TECori)은 209,507[kWh], 연간 운영비용(OCori)은 22,417,314[원]으로 산정되었다. 다음으로 리모델링 솔루션 RS<sub>10</sub><sup>0</sup>(a=1, b=1; 120mm Curtain Wall(D Co.))을 적용한 결과 연간 에너지소요량(TEC) 194,003[kWh], 연간 운영비용(OC)은 20,758,335[원]으로 산정되었으며, 운영절감비용(CS)은 1,658,979[원]으로 산정되었다. 그러나 해당 대안은 에너지절감량(EPR)이 7.40[%]로서 이는 목표 에너지절감량 25%보다 작으므로 해당 리모델링 솔루션은 더 이상 분석하지 않고 다음 리모델링 솔루션을 분석한다. 이와 같은 과정을 통해, 처음 8개의 리모델링 솔루션은 목표 에너지절감량(25%)에 도달하지 못한 대안으로 나타났다(RS<sub>10</sub><sup>0</sup>=7.40%, RS<sub>10</sub><sup>1</sup>=10.87%, RS<sub>10</sub><sup>2</sup>=12.20%, RS<sub>10</sub><sup>3</sup>=15.60%, RS<sub>10</sub><sup>4</sup>=17.46%, RS<sub>10</sub><sup>5</sup>=20.20%, RS<sub>01<sup>0</sup>=16.10%, RS<sub>11<sup>0</sup>=23.50%). 다음으로 리모델링 솔루션 RS<sub>11<sup>2</sup>(a=1, b=2; 120mm Curtain Wall(K Co.), c=1, d=1; SCM-190W(30%))은 에너지절감량(EPR) 26.97[%]를 달성하였으나 신재생에너지 생산비율(RER)이 18.06[%]로서 목표 신재생에너지 생산비율 20%보다 작으므로 해당 리모델링 솔루션은 더 이상 분석하지 않고 다음 리모델링 솔루션을 분석한다. 같은 방식으로 4개의 리모델링 솔루션은 모두 목표 에</sub></sub></sub>

너지절감량은 충족하였으나(RS<sub>11</sub><sup>2</sup>=26.97%, RS<sub>11</sub><sup>3</sup>=28.29%, RS<sub>11</sub><sup>4</sup>=31.70%, RS<sub>11</sub><sup>5</sup>=33.56%), 신재생에너지 생산 비율을 충족하지 못한(RS<sub>11</sub><sup>2</sup>=18.06%, RS<sub>11</sub><sup>3</sup>=18.33%, RS<sub>11</sub><sup>4</sup>=19.07%, RS<sub>11</sub><sup>5</sup>=19.50%) 대안으로 나타났다.

한편, 리모델링 솔루션 RS<sub>11</sub><sup>6</sup>(a=1, b=6; VBF271-C, c=1, d=1; SCM-190W(30%))은 ① 에너지절감량(EPR) 36.30[%], ② 신재생에너지 생산비율(RER)이 20.17[%]로서 모든 목표 값을 충족하였고, ③ 경제성 평가 결과 회수기간 21년, ④ 초기투자비가 261,128,430[원]으로 산정되었다. 이와 유사한 방법으로, 최종 8개의 리모델링 솔루션이 목표 값을 충족한 대안으로 나타났으며, 이 중 가장 회수기간이 빠른 대안은 RS<sub>01</sub><sup>0</sup>로 나타났다(회수기간 20년). 리모델링 솔루션 RS<sub>01</sub><sup>0</sup>(a=0, b=0, c=1, d=2; SCM-190W(50%))은 ① 에너지절감량(EPR) 26.86[%], ② 신재생에너지 생산비율(RER)이 26.86[%]로서 모든 목표 값을 충족하였고, ③ 경제성 평가 결과 회수기간 20년, ④ 초기투자비가 153,856,650[원]으로 산정되었다.

### 5. 결론

전 세계적인 환경보전의 노력 및 화석연료 고갈에 따른 에너지절감 노력에 맞추어, 건설산업에서는 기존 건축물의 에너지수요를 감소시킬 수 있는 에너지절감형 리모델링 기법에

Table 4. Result of decision support process model in case study

Remodeling Solutions (RS <sub>a b c d</sub> )	ES	RES		TEC [kWh/year]	OC [W/year]	CS [W/year]	EPR [%]	RER [%]	N [years]	IC [W]	Optimal Alternative
	K	C									
RS <sub>00</sub> <sup>00</sup>	3.37	0	Calculating	209,507	22,417,314	-	0	0	0	0	
RS <sub>10</sub> <sup>10</sup>	2.611	0		194,003	20,758,335	1,658,979	7.40	0	24	65,205,000	
RS <sub>10</sub> <sup>20</sup>	2.255	0		186,730	19,980,210	2,437,104	10.87	0	22	81,259,920	
RS <sub>10</sub> <sup>30</sup>	2.119	0		183,952	19,682,949	2,734,365	12.20	0	25	115,572,240	
RS <sub>10</sub> <sup>40</sup>	1.77	0		176,823	18,920,125	3,497,189	15.60	0	24	133,423,920	
RS <sub>10</sub> <sup>50</sup>	1.579	0		172,921	18,502,648	3,914,666	17.46	0	24	153,709,920	
RS <sub>10</sub> <sup>60</sup>	1.298	0		167,181	17,888,454	4,528,860	20.20	0	23	168,814,296	
RS <sub>01</sub> <sup>01</sup>	3.37	0.166		175,786	18,809,114	3,608,200	16.10	16.10	18	92,314,134	
RS <sub>11</sub> <sup>11</sup>	2.611	0.166		160,281	17,150,135	5,267,179	23.50	17.38	20	157,519,134	
RS <sub>11</sub> <sup>21</sup>	2.255	0.166		153,009	16,372,010	6,045,303	26.97	18.06	19	173,574,054	
RS <sub>11</sub> <sup>31</sup>	2.119	0.166		150,231	16,074,749	6,342,564	28.29	18.33	21	207,886,374	
RS <sub>11</sub> <sup>41</sup>	1.77	0.166		143,102	15,311,925	7,105,389	31.70	19.07	21	225,738,054	
RS <sub>11</sub> <sup>51</sup>	1.579	0.166		139,200	14,894,448	7,522,866	33.56	19.50	21	246,024,054	
RS <sub>11</sub> <sup>61</sup>	1.298	0.166		133,460	14,280,254	8,137,060	36.30	20.17	21	261,128,430	
RS <sub>01</sub> <sup>02</sup>	3.37	0.277		153,237	16,396,402	6,020,912	26.86	26.86	20	153,856,650	○
RS <sub>11</sub> <sup>12</sup>	2.611	0.277		137,732	14,737,423	7,679,891	34.26	29.00	25	219,061,650	
RS <sub>11</sub> <sup>22</sup>	2.255	0.277		130,460	13,959,299	8,458,015	37.73	30.13	24	235,116,570	
RS <sub>11</sub> <sup>32</sup>	2.119	0.277		127,682	13,662,037	8,755,276	39.06	30.59	25	269,428,890	
RS <sub>11</sub> <sup>42</sup>	1.77	0.277		120,553	12,899,213	9,518,101	42.46	31.82	25	287,280,570	
RS <sub>11</sub> <sup>52</sup>	1.579	0.277		116,651	12,481,736	9,935,578	44.32	32.54	25	307,566,570	
RS <sub>11</sub> <sup>62</sup>	1.298	0.277	110,911	11,867,542	10,549,771	47.06	33.66	24	322,670,946		

\* ES: Envelope System, RES: Renewable Energy System, K: U-value, C: RES capacity, TEC: Total Energy Consumption, OC: Operating Cost, CS: Cost Saving, EPR: Energy Performance Rate, RER: Renewable Energy source Rate, N: Payback period, IC: Initial Cost  
 ■ : Values do not satisfy the target rates of EPR and RER

많은 관심과 연구가 진행되고 있다. 그러나 기존의 리모델링 사례에서는 대안을 선정하는 과정에서 경험의존적이고 비과학적인 방식으로 대안을 선택하는 문제점이 존재하였다.

본 연구에서는 에너지절감형 리모델링에 주요 요소를 외피시스템과 신재생에너지 시스템으로 선정하고, 두 시스템을 조합한 리모델링 솔루션을 제안하였다. 또한, 생성된 리모델링 솔루션이 리모델링 대상 건물에 적용되었을 때, 에너지절감량, 신재생에너지 생산비율, 초기투자비, 회수기간 등을 직접 확인할 수 있는 프로세스 모델을 개발하였다. 개발한 모델을 사례 적용한 결과, 20개의 리모델링 솔루션(RSabcd; a={0, 1}, b={0~6}, c={0, 1}, d={0~2}) 중 목표 값인 에너지절감량 25%이상, 신재생에너지 생산비율 20%이상을 충족하는 대안 8가지( $RS_{11}^{61}$ ,  $RS_{01}^{02}$ ,  $RS_{11}^{12}$ ,  $RS_{11}^{22}$ ,  $RS_{11}^{32}$ ,  $RS_{11}^{42}$ ,  $RS_{11}^{52}$ ,  $RS_{11}^{62}$ )를 선정할 수 있었으며, 그 중 경제성 평가를 통해 가장 비용효율적인 리모델링 솔루션( $RS_{01}^{02}$ )을 도출할 수 있었다. 해당 대안은 연간 에너지소요량(TEC) 및 운영절감비용(CS)이 전체 대안 중 각각 12번째(110,911 ~ 209,507kWh 중 153,237kWh와 1,658,979 ~ 10,549,771원 중 6,020,912원)의 순위를 가지는 모델로서, 가장 최상의 성능을 가진 제품군으로 조합된 대안이 아님에도 최종 결과에서 가장 적합한 대안으로 선정되었다. 이는 본 모델을 활용함으로써 합리적인 대안 선정이 가능함을 의미한다.

한편, 개발된 모델은 에너지평가 과정에서 다양한 요소를 모두 고려하지 않았다는 점이 있었으며, 향후 조명, 기계설비, 환기 등을 고려하여 보다 정확한 에너지평가를 수행하고 리모델링에 따른 부가적 가치(임대 수익, 신재생에너지 지원 정책, 사회적 비용, 건물 가치 상승 등)를 고려하면 더욱 신뢰성 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 리모델링 솔루션을 생성하는 과정에서 모델 사용 시점에 맞추어 가장 최신의 시장 제품군 정보를 수집하여야 하는 번거로움이 존재하는 한계점이 있으며, 이를 개선하기 위해 제품군 정보를 지속적으로 갱신할 수 있는 환경이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 과제 No. 2014044260와 NRF-2014RIA1A1004766의 지원을 받아 수행된 연구임.

## References

- Cho K. M. (2014). "Evaluation of Technologies Ensuring Green Performance in Multi-family Housing Project in Korea", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, p. 139.
- Choi B. H. (2009). "Energy Performance Evaluation of External Insulation and Finish System for Apartment Building", MS thesis, Ewha Womans Univ., Seoul
- Choi J. H. (2013). "A study of the new & renewable energies technique valuation for applying building projects", MS thesis, Sungkyunkwan Univ. Seoul.
- International Panel of Climate Change Report (2007). *Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*, IPCC Report, 2007.
- Jang H. S. and Lee S. H. (2012). "A Study on the Non-residential Building Envelope Remodeling for Energy Efficiency", *Korean journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(6), pp. 3-10.
- Kim D. J., Choi Y. J. and Kim G. Y. (2010). "A Study on the Economic Profitability of Hospital Building Remodeling", *Korean journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 11(1), pp. 70-79.
- Kim J. A. (2013). "A Study on Energy Efficient Envelope Design of Office Building", MS thesis, Pusan Univ., Busan.
- Kim J. W. (2012). "Estimation of Energy Efficiency and Economic Feasibility for Energy-Saving Remodeling of Small-sized Apartment Houses", MS thesis, Soongsil Univ., Seoul.
- Kim J. Y. (2008). "A Study of Guideline of Renewable Energy Systems for Applying to Buildings", PhD thesis, Kyungpook Univ., Daegu.
- Kim K. S. (2014). "A study on stepwise remodeling for public buildings to improve a class of energy efficiency", MS thesis, Chonnam Univ., Kwangju.
- Lee W. S. (2012-a). *Architectural Remodeling*, Kimoodang, Seoul.
- Lee Y. Y. (2012-b). "Renovation scheduling to minimize user impact of a building that remains in operation", *Journal of Automation in Construction*, 22, pp. 398-405.
- Park D. S. (2008). "A Study on the Building Energy Performance Evaluation by Solar Heat Gain Coefficient(SHGC) of Low-e Window", MS thesis, Hanbat Univ., Daejeon.
- Passive House Institute Korea(PHIKO) (2013). "Energy efficiency rating evaluation program ECO2 and

- analysis of program development in Germany”, Technical data, <<http://www.phiko.kr>>, (Jau, 13, 2015).
- Song S. B. (2009). “Analysis of Energy Saving Effects of Apartment Housing and Economy Efficiency of Window according to the Thermal Insulation Performance of Windows”, MS thesis, Pusan Univ., Busan.
- Song S. B., Kim Y. T., Yum S. K, and Yoon S. H. (2008). “The Estimation of Economical Efficiency through the Analysis of the Thermal Insulation Effect and Installation Expense of Windows for an Apartment House”, *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 28(1), pp. 659–662.
- Sophie T. and Fritjof S. (2014). “Sustainable renovation of non residential buildings, a response to lowering the environmental impact of the building sector in Europe”, *Journal of Energy Procedia*, 48, pp. 1512–1518.
- U. Eicker (2009). *Low Energy Cooling for Sustainable Buildings*, 1st ed., John Wiley & Sons
- Yoon J. H., Park J. S., Kim B. S. and Hong S. C. (2007). “A Study on the Insulation Performance Evaluation of Triple Glazing Window System by U-Value Sensitivity Analysis”, *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 23(10), pp. 159–166.

---

**요약 :** 에너지 소비 절감 및 이산화탄소 배출 감소를 위한 노력의 일환으로 대다수의 선진국에서 리모델링 프로젝트를 장려하고 있으며, 이에 따라 건설산업에서 리모델링 사업은 큰 비중으로 성장하고 있다. 기존의 리모델링 관련 연구를 분석한 결과, 1) 리모델링 대안의 생성 및 선정 과정과 2) 건축물 경과년수에 따른 경제적 타당성 분석 결과가 제대로 반영되어 있지 않은 문제점이 있었다. 본 연구에서는 리모델링 대안에 따른 에너지절감량과 경제성을 동시에 고려하여 가장 비용효율적인 에너지절감형 리모델링 대안을 선정할 수 있는 의사결정 지원모델을 개발하였다. 개발된 프로세스 모델은 외피 시스템과 신재생에너지 설비를 조합한 "리모델링 솔루션"을 생성하며, 국제기준(ISO-13790, DIN V 18599)을 응용한 에너지성능평가, 생애주기비용 분석(LCCA)기법을 통한 경제성 평가를 실시하도록 구성되어있으며, 입력된 대안을 순환평가하여 최적의 대안을 출력하도록 구성하였다. 개발된 모델을 실제 사례에 적용한 결과, 비용효율적인 에너지절감형 리모델링 대안을 선정할 수 있는 것으로 확인하였다. 따라서 이 연구를 통해 개발된 모델은 리모델링을 계획하는 의사결정자(예: 발주자) 등에게 효율적인 대안 선정에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

**키워드 :** 리모델링 프로젝트, 의사결정 지원모델, 에너지효율성, 외피시스템, 신재생에너지시스템

---