

## 녹색건축(G-SEED) 인증을 위한 경제적 자재선정 모델 개발

전병주\* · 김병수\*\*

Jeon, Byung-Ju\*, Kim, Byung-Soo\*\*

### Development of an Economic Material Selection Model for G-SEED Certification

#### ABSTRACT

The South Korean government plans for a 37 % reduction in CO<sub>2</sub> emissions against business as usual by 2030. Subsequently, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport declared a 26.9 % reduction target in greenhouse gas emissions from buildings by 2020 and established the Green Standard for Energy and Environmental Design (G-SEED) to help improve the environmental performance of buildings. Construction companies often work with consulting firms to prepare for G-SEED certification. In the process, owing to inefficient data sharing and work connections, it is difficult to achieve economic efficiency and obtain certification. The objective of this study was to develop an economic model to assist contractors in achieving the required G-SEED scores for materials and resources. To do this, we automated the process for material comparison and selection on the basis of an analysis of actual consulting data, and developed a model that selects material alternatives that can meet the required scores at a minimum cost. Information on materials is input by applying a genetic algorithm to the optimization of alternatives. When the model was applied to actual data, the construction cost could be lowered by 79.3 % compared with existing methods. The economical material selection model is expected to not only reduce construction costs for owners desiring G-SEED certification but also shorten the project design time.

**Key words :** Greenhouse gas, G-SEED certification, Material selection, Economy, Genetic algorithm

#### 초 록

한국은 2030년까지 배출 전망치 대비 37 %를 감축하겠다는 목표를 제시하였다. 이에 국토교통부는 2020년까지 건물 부문에서 배출되는 온실가스를 배출전망치 대비 26.9 % 감축을 선언하고, 녹색 건축물 기본계획수립과 녹색건축인증제도를 마련하는 등 건축물의 환경성을 확보하기 위한 제도를 정착시켜가고 있다. 녹색건축인증을 받기 위해서 공사 관계자들은 컨설팅 업체를 통해 녹색건축인증을 받는 경우가 많으며, 그 과정에서 자료공유와 업무연계가 원활히 이루어지지 않아 경제성 확보와 필요한 인증점수의 확보에 많은 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 재료 및 자원에 관한 평가점수의 획득과 경제성을 함께 고려한 모델 개발을 목표로 하였다. 이를 위해 실제 컨설팅 자료를 분석하여 재료 선정 및 대안 비교과정을 자동화하고, 대안의 최적화에 유전자 알고리즘의 개념을 적용하여 자재 정보를 입력하면 요구점수를 최소한의 비용으로 충족할 수 있는 자재 대안을 선정하는 모델을 개발하였다. 개발된 모델을 활용하여 실제 자료에 적용해 본 결과 기존 방법론 대비 약 79.3 %의 공사비가 절감되는 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발한 경제적 자재선정 모델은 녹색건축인증을 받고자 하는 건축주에게 공사비 절감이라는 혜택을 안겨 줄 뿐 아니라 인증점수를 확보하기 위한 설계자에게는 설계시간 절감에 기여 할 것으로 기대된다.

**검색어 :** 온실가스, 녹색건축인증, 자재선정, 경제성, 유전자알고리즘

\* 경북대학교 토목공학과 박사과정 (Kyungpook National University · [kyung7673@knu.ac.kr](mailto:kyung7673@knu.ac.kr))

\*\* 종신회원 · 교신저자 · 경북대학교 토목공학과 교수 (Corresponding Author · Kyungpook National University · [bskim65@knu.ac.kr](mailto:bskim65@knu.ac.kr))

Received July 10, 2020/ revised August 27, 2020/ accepted September 9, 2020

# 1. 서론

## 1.1 배경 및 목적

한국은 파리 기후협약에 2030년까지 이산화탄소 배출전망치 (BAU Business As Usual) 대비 37 %를 감축하겠다는 목표를 제시하였다. 국토교통부는 2020년까지 건물 부문에서 배출되는 온실가스를 배출전망치 대비 26.9 % 감축 및 녹색건축물 조성을 위한 제1차 녹색건축물 기본계획을 수립하였다(Jung and Jung, 2017). 녹색건축물 기본계획은 탄소저감형 국토환경과 환경친화적 생활문화를 위한 녹색건축물의 보급과 육성을 비전으로 녹색건축물 활성화를 통한 이산화탄소 배출 저감을 달성하는 것을 목표로 하고 있다(MLIT, 2014).

이처럼 녹색건축인증제도에 대한 사회적 필요성은 점차 증가하고 있다. 하지만 인증절차 및 서류의 복잡성 때문에 대형업체가 출현했으며, 인증취득 비용의 증대 및 설계/시공 프로세스 간의 연계성이 결여되어 있다(Cho et al., 2016). 이 때문에 설계변경이 잦아져 단순, 반복 작업이 빈번히 발생하여 많은 서류의 낭비 및 시간의 소모가 발생한다. 또한, 작업자의 인지능력의 한계로 정보의 유실 가능성이 크다(Rho, 2013).

따라서 본 연구에서는 인증 간소화와 인증취득 비용을 감소시키기 위해 녹색건축인증제도(G-SEED)의 평가를 받는 데 필요한 점수와 그에 따르는 비용을 함께 고려하는 자재대안을 유전자 알고리즘을 사용하여 선정하는 모델을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 녹색건축인증 평가 준비단계에서 필요한 평가점수 산정을 용이하게 하여, 검토에 필요한 시간적 낭비와 비경제적인 자재선정으로 인한 낭비를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

## 1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 신축 비주거용 일반 건축물 심사기준 7가지 인증심사기준 중 자재선정과 관련 있는 ‘3. 재료 및 자원’의 다섯가지 인증항목을 연구의 범위로 한다. 인증항목 중 자재의 사용 여부와 관련성이 낮은 ‘3.6 재활용가능자원의 보관시설 설치’는 제외하였다.

연구 방법으로는 Fig. 1과 같이 첫째, 기존의 녹색건축인증제도에 관한 연구와 해설서, 법령 등을 고찰하고 실제 사례를 분석하여, 인증제도의 개념과 연구현황 파악 및 인증을 위한 평가기준에 대해 조사하였다. 둘째, 모델에 필요한 자재DB를 구축하기 위해 환경부와 한국환경산업기술원이 제공하는 환경마크인증제품현황, 친환경건설자재정보, 환경성적표지인증제품에서 인증에 필요한 자재의 단가 및 친환경 인증여부를 수집 및 정리하였다. 셋째, 조사한 평가기준을 토대로 자재대안의 인증항목 배점 계산을 자동화한 뒤, 유전자 알고리즘을 사용하여 최저비용으로 요구조건을 만족하는 자재대안을 도출하는 모델을 구축하였다. 최적화에는 범용최적화 프로그램인 Evolver (ver7.6)를 이용하였다. 모델의 검증은 기존 사례(서울시에 소재한 신축 비주거용 일반 건축물의 녹색건축인증 컨설팅 자료)의 수량과 목표점수 등을 적용하여 모델의 유효성을 검증하였다.

## 1.3 기존연구고찰

녹색건축인증현황은 Fig. 2와 같이 2011년부터 꾸준한 증가를 보여주고 있다. 하지만 기존 건축물로 등록된 인증은 거의 이뤄지지 않고 있으며, 녹색건축인증의 민간부분 참여를 확대하기 위한 인센티브 정책이나 녹색건축의 중요성 인식 등이 부족한 상황이다(Ji et al., 2018).

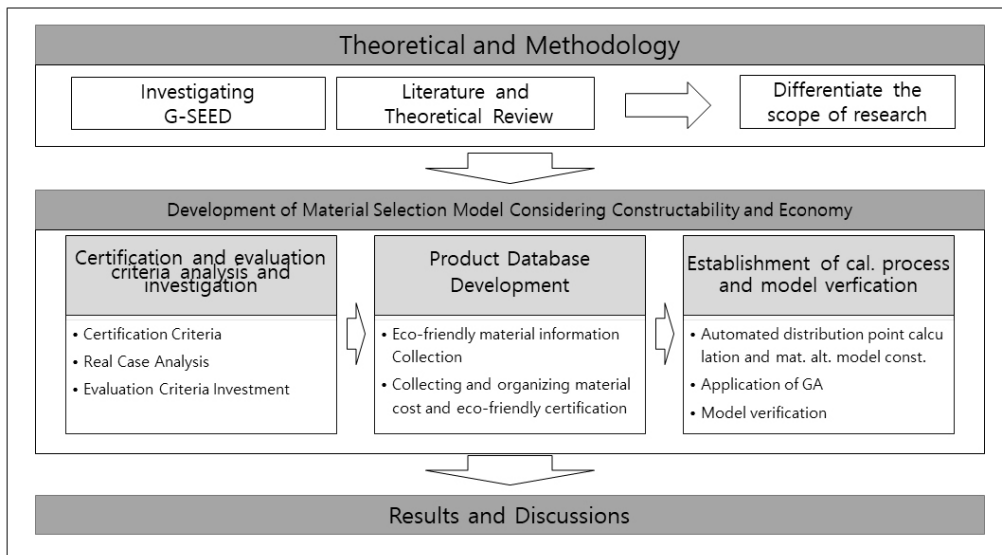


Fig. 1. Study Process Diagram

이러한 단점들을 개선하기 위해 Lee(2013)는 친환경건축물 인증제도 절차 및 사례분석을 통해 인증을 받는 건축물의 용도가 불명확할 경우 각각 다른 평가기준을 적용하는 것과 사용 및 유지관리에 따르는 불편 등의 문제점을 제시하고 상세 지침 및 평가지의 평가 수행, 계획 설계 및 운용단계를 분리해서 평가, 유사시설 혹은 계획내용에 따른 점수산정 일관화를 해결방법으로 제시하였다. Jang and Lee(2014)는 업무시설들의 인증제도 평가항목 및 문제점의 중요도 분석을 통해 인증제도 개정에 필요한 참고자료를 조사하였다.

해외 제도와 비교한 논문으로는 미국의 LEED, 영국의 BREEAM, 싱가포르의 Green Mark 인증제도를 분석하여 해외의 각 제도에서 LCA평가가 차지하는 비중을 분석하고 국내 녹색건축인증기준과 비교하여 녹색건축물의 환경영향을 체계적 정량적으로 평가할 수 있는 인증기준 개정안 마련의 기초 자료를 제시(Cho et al., 2016)한 논문이 있으며, Hyeon et al.(2018)은 녹색건축인증과 LEED의 신축 건축물과 기존 건축물 인증기준을 비교, 분석하고 LEED EBOM (LEED for Existing Buildings-Operations & Maintenance) 인증을 받은 국내 건축물 사례 분석을 실시하여 녹색건축인증기준의 기존 건축물 인증기준의 문제점과 개선사항을 도출하였다. Jung and Jung(2017)은 커미셔닝에 대한 정의를 분석하고 녹색건축인증에서 쓰이는 커미셔닝과 해외 제도에서의 커미셔닝을 비교 분석하고 이를 통해, 커미셔닝을 더 발전시킬 수 있는 제반사항을 제안하였다. 이렇듯 해외 선진국들의 제도와의 비교분석을 통해 녹색건축인증제도의 문제점과 발전방향을 제시하기 위한 연구가 수행되고 있다.

제도 적용과 개선에 관한 연구 뿐만 아니라 비용에 관한 연구들이 진행되었다. Kim(2011)은 공동주택에 적합한 친환경적 설계요소를 기반으로 여러 시나리오 대안을 제시하고, 사례를 선정하여 각 시나리오별 초기 공사비 및 에너지 절감을 분석을 통해 생애주기 비용을 계산했다. Kim(2018)은 서울시 ‘녹색건축물 설계기준’ 및 ‘녹색건축인증’ 기준에 대해 기준 적용 방법에 따른 공사비의

절감량과 원인을 분석하였으나 표본의 숫자가 적다는 한계가 있었다. Lee(2017)는 녹색건축자재의 통합 DB를 구축하여 자료선정의 참고자료가 될 수 있도록 하였다. 이외에도 Rho(2013)은 녹색건축인증제도의 평가항목들에 대한 정보를 BIM 기반 플랫폼으로 구축한 Green BIM Template를 개발하여 접근성의 향상을 도모하였다. Cho and Lee(2017)는 2016년 9월 기준 변화 이전과 이후의 예비인증 사례 비교연구를 실시하였다. Lee(2017)는 공동주택을 등급별, 지역별, 세대별로 나누어 유형에 따른 전문분야 점수획득에 대한 분석을 제시하였다.

이렇듯 그간의 연구는 녹색건축인증제도의 문제점과 해외 제도와의 비교분석 등을 통해 제도의 개선방향에 관한 내용을 주로 연구하고 있으며, 제도의 공사비용 절감효과에 대한 분석도 함께 이루어지고 있으나 제도개선 및 공사비 절감효과에 관한 연구에 그치고 있다. 따라서 녹색건축인증에 필요한 점수를 최소한의 공사비로 획득할 수 있도록 최적화된 자재선정 모델의 개발이 필요하다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 녹색건축인증제도(Green Standard for Energy & Environmental Design; G-SEED)

녹색건축인증제도는 건축물의 자재생산, 설계, 건설, 유지관리, 폐기에 걸쳐 건축물의 전 과정에서 발생할 수 있는 에너지와 자원의 사용 및 오염물질 배출과 같은 환경 부담을 줄이고, 쾌적한 환경을 조성하기 위한 목적으로 건축물의 환경성을 평가하여 인증하는 제도이다(Lee, 2017). 녹색건축인증제도는 2002년 공동주택에 처음 적용한 친환경 건축물 인증제도를 시작으로 건축물의 용도와 인증기준을 점차적으로 확대하였다. 2013년 2월 ‘녹색건축물 조성 지원법’의 시행과 함께 인증기준이 중복되는 친환경건축물 인증제도와 주택성능 등급 제도를 통합하여 현재의 명칭으로 변경되었다.

녹색건축인증은 건축물의 용도별로 세부기준이 수립되어 있으며 인증절차는 Fig. 3과 같다. 용도별 분류는 공동주택, 복합건축물

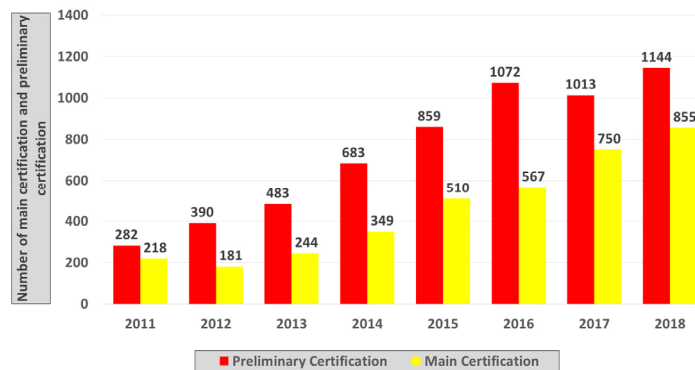


Fig. 2. Green Building Certification Status by Year (Kim, 2018)

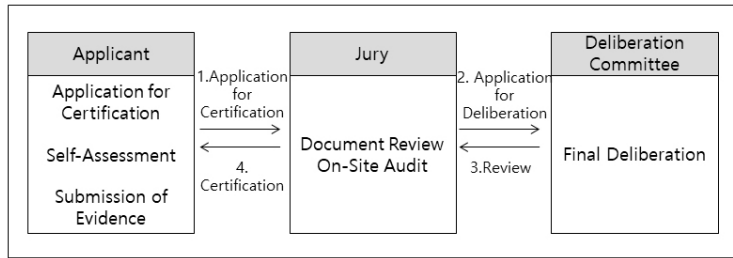


Fig. 3. Green Construction Certification Process

Table 1. Score Criteria (in points) for Each Building Grade

Division		Best	Excellent	Super	Normal
New Building	Residential	>73	>65	>57	>49
	Detached House	>73	>65	>57	>49
	Non-Residential	>79	>69	>59	>49
Existing	Residential	>68	>60	>52	>44
	Non-Residential	>74	>64	>54	>44
Green Remodeling	Residential	>68	>60	>52	>44
	Non-Residential	>74	>64	>54	>44

(주거), 업무용 건축물, 학교시설, 판매시설, 숙박시설, 소형주택, 그 밖의 모든 신축건축물 및 기존 건축물(공동주택, 업무용 건축물)로 구성된다. 평가분야는 토지이용 및 교통, 에너지 및 환경오염, 재료 및 자원, 물 순환 관리, 유지관리, 생태환경, 실내환경 총 7개 분야를 평가한다(Jang and Lee, 2014). 각 점수별로 Table 1과 같이 최우수, 우수, 우량, 일반의 등급을 받을 수 있다.

## 2.2 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm; GA)

유전자 알고리즘이란 생물학적 진화 현상을 모델화한 알고리즘으로 1975년 Holland가 처음 제안하였다. 특징으로는 이진수로 표현된 매개변수의 집합을 생성한 뒤, 적합도를 평가한다. 상대적으로 좋지 않은 해들은 제거하고 좋은 해들은 확률적 규칙을 사용하여 변형시켜 넓은 범위에서 해를 찾는다. 이러한 특징 때문에 복잡한 문제에서 최적의 답을 찾아내는데 우수한 성능을 발휘한다(Choi, 1997).

유전자 알고리즘 프로세스의 기본구조는 Fig. 4와 같이 초기화, 적합도 평가와 재생산, 교배, 돌연변이의 4단계로 구분되어 있다. 초기화는 초기집단의 생성단계로 무작위 선택이나 경험적 방법으로 해가 될 가능성이 있는 집단을 생성한다. 적합도 평가는 각 집단의 목적함수가 구하려는 값에 얼마나 적합한지를 평가한 뒤 성능이 좋은 개체는 복제되고 성능이 나쁜 개체는 소멸한다. 교배단계에서는 선택된 개체들을 재조합하게 되는데 이 과정에서 서로 간의 유전정보를 교환함으로써 집단에 새로운 개체를 생성하게 된다. 돌연변이 단계는 선택된 개체의 하나 이상의 정보를 임의로

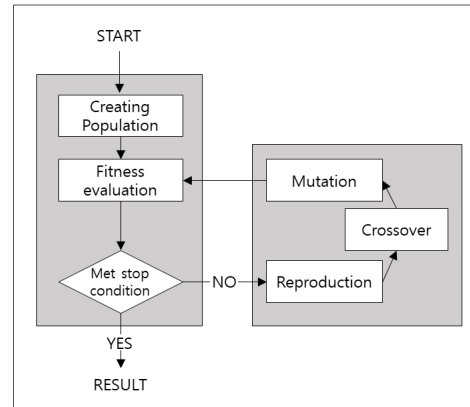


Fig. 4. Genetic Algorithm Process (Choi, 1997)

변경하여 새로운 유전정보를 도입할 계기를 만든다. 이렇게 새로이 만들어진 집단은 정지조건을 충족할 때까지 재평가하여 최적의 해가 발견될 때까지 같은 과정을 반복한다.

유전자 알고리즘을 시행하기 위해선 개체집단의 크기, 교배율, 변이율의 세가지 매개변수와 정지조건이 필요하다. 이 중 개체집단의 크기는 한 세대에 몇 개의 자채안을 고려할지에 관한 사항이다. 개체집단의 크기가 너무 적다면 유전자 알고리즘이 제대로 시행되지 않으며, 개체집단의 크기가 커지면 계산시간이 기하급수적으로 늘어나는 반면 유전자 알고리즘의 성능은 별로 개선되지 않는다. 일반적으로 30~200 사이의 값을 사용한다.

교배율은 부모집단 사이의 정보가 얼마나 섞일지 결정하는 변수

로 두 집단이 섞이는 것이 항상 긍정적 결과를 가져오지는 않으므로 대부분의 자재 사용여부는 그대로 자식세대로 전달하는 것이 더 효과적이다. 일반적으로 0.8~0.9의 값을 사용한다. 변이율은 자재의 사용여부에 얼마나 많은 돌연변이를 일으킬지 결정하는 변수로, 큰 값을 사용하면 값이 급격한 변화를 보일 수 있다. 일반적으로 0.005~0.01이 가장 최적화 된 값이다. 정지조건은 사용자가 지정한 정지조건을 만족할 때까지 유전자 알고리즘을 반복하고 조건을 만족하게 되는 경우 모델을 통해 도출한 최적화된 유전자 알고리즘의 결과값을 출력한다. 정지조건은 크게 세대수, 변화율, 시간의 세가지 종류가 있다. 세대수는 유저가 지정한 횟수만큼 세대를 반복하는 가장 간단한 방법이다. 변화율은 지정한 세대 동안 유전자 알고리즘의 목표 셀이 일정이상의 변화가 없을 시 반복을 중단한다. 시간은 모델을 시행한 뒤, 지정한 시간이 되면 반복을 중단한 뒤 값을 출력한다.

### 3. 자재선정 모델 개발

#### 3.1 인증기준 분석 및 자재정보 수집

녹색건축인증 신축 비주거용 일반 건축물의 평가기준 중 Table 2는 본 연구의 범위인 재료 및 자원분야의 '3.1 환경성선언제품의 사용' 부터 '3.5 녹색건축자재의 적용비율' 항목까지의 배점기준을 나타낸 것이다. Table 2에 나타난 항목별 인증기준이 적용되는 방식을 파악하기 위해 서울시에 소재한 신축 비주거용 일반 건축물의 녹색건축인증 컨설팅 자료를 참조하여 녹색건축인증 해설서 분석을 실시하였다.

해설서와 실제 사례를 기반으로 분석한 결과 '3.1 환경성선언 제품인증' 항목에는 저탄소인증, 탄소발자국, 물발자국 인증을 받은 자재, '3.2 저탄소 자재인증' 항목에는 저탄소 인증 자재, '3.3 자원순환 자재인증' 항목에는 환경표지 제품 중 자원 순환성향상으로 인증을 받은 제품과 GR인증을 받은 제품, '3.4 유해물질 저감 자재인증' 항목에는 유해물질 저감으로 환경표지 인증을 받은 제품이 포함된다. 분석한 녹색건축 인증에 필요한 자재정보를 기반으로 자재대안 도출을 위한 기초적인 DB를 구축하기 위해서는 녹색건축 자재들의 인증정보의 수집이 필요하다. 연구에 필요한 자재정보 수집결과 Table 3과 같이 환경마크인증제품현황, 친환경건설자재정보, 환경성선언제품정보의 세가지 자료가 2018년 12월 기준으로 수집되었다.

#### 3.2 자재DB 구축

본 연구의 모델은 Fig. 5와 같이 초기에 입력된 정보를 기반으로 새로운 자재대안을 생성한다. 이후 새로운 자재대안의 점수와 비용을 계산하여, 입력정보와 비교하여 초기의 자재안보다 저렴한 비용으로 필요한 점수를 충족하는 자재대안을 도출한다. 모델의 프로세스 중 새로운 자재대안을 생성하기 위해 여러 자재들의 단가와 인증여부 등의 정보가 필요하기 때문에 녹색건축인증을 받는데 필요한 자재DB를 구축하였다. 자재DB 구축은 3.1절에서 수집한 녹색건축자재 정보들을 기반으로 하였다. 구축과정은 Fig. 6과 같이 환경마크인증제품현황의 제품 중 건설업자재만을 추출한 다음 친환경건설자재정보에서 규격당 단가정보를 추가하고, 환경성적표지와 탄소발자국, 저탄소제품에 관한 환경성선언제품 인증정

Table 2. The Highest Grade Evaluation Criteria for Materials and Resources

Certification Article	Evaluation Criteria	Points
3.1 Using Environmental Product Declaration (EPD) Products	Using more than 6 kinds of environmental declaration products from more than 4 kinds of main building members	4
3.2 Using Low-Carbon Products	≥ 7 Low-Carbon Materials	2
3.3 Using Recycled Products	≥ 20 Resource Recycled Materials	2
3.4 Using Hazardous Material Reduction Products	≥ 20 Hazardous Substance Reduction Materials	2
3.5 Rate of Green Building Materials	When the rate of applying green building materials is more than 7 % of the construction cost	4

Table 3. Green Building Materials Information

Data Name	Certification Contents	Issuing Agency
Environmental Mark Certification Product Status	Reduction of global environmental pollution, Reduction of local environmental pollution, Reduction of harmful substances, Recycling of effective resources, Improvement of resource circulation	Environmental Industry and Technology Institute
Eco-Friendly Construction Material Information	Material unit price	
Environmental Declaration Product Information	Environmental labeling, Water footprint, Carbon footprint, Low carbon product	Ministry of Environment

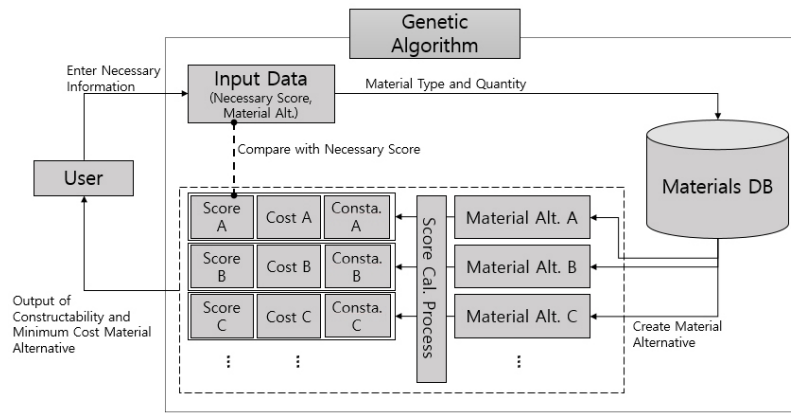


Fig. 5. Model Process

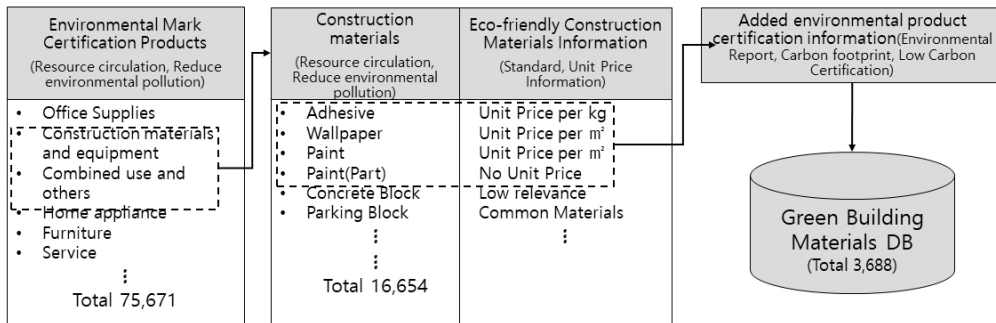


Fig. 6. Material DB Construction Process

보를 추가하여 최종적으로 3,688개의 녹색건축자재 DB를 구축하였다.

구축된 녹색건축자재 3,688개는 같은 제품군에 속하는 경우 서로 교체를 원활하게 하기 위하여 모두 동일단위로 일원화할 필요가 있다. 친환경건설자재정보의 단가에 대한 단위와 앞서 가정한 자재의 제품군의 단위가 다를 경우 업체에서 제공하는 제품정보를 참조하여 자재 제품군별 단위 및 단가를 제품군에 따른 하나의 단위로 환산하였다.

### 3.3 등급산출 프로세스 구축 및 자재선정

#### 3.3.1 등급산출 프로세스

구축된 DB를 기반으로 평가점수를 산출해내기 위해 녹색건축인증 평가기준을 기반으로 계산 절차를 구성하였다. Fig. 7의 DB영역과 같이 점수산정 자동화를 위해 자재별로 환경성선언, 저탄소, 자원순환, 유해물질 저감 등의 인증여부를 인증, 미인증으로 나타내었다. 저탄소 자재는 탄소저감 이전과 이후의 환경성 선언이 필수이기 때문에 환경성선언 자재로 볼 수 있다. 따라서 환경성선언제품, 저탄소 자재 혹은 탄소발자국 인증을 받은 경우에는 환경성선언 열에 인증으로 표기하였으며, 하나도 받지 못한 경우에는 미인증

로 나타내었다. ‘3.2 저탄소 자재’ 항목은 저탄소 인증을 받은 경우에만 인증으로 나타나게 하였고, ‘3.3 자원순환 자재’ 활용은 인증항목에 자원이라는 단어가 포함되어있으면 인증을 표시하였다. ‘3.4 유해물질 저감자재의 사용’에는 유해물질, 혹은 지구, 지역이라는 단어가 인증항목에 포함된 경우 모두 인증이라 표기하였다. ‘3.5 녹색건축자재의 적용비율’ 항목은 내역서 상의 총 자재비 대비 녹색건축자재의 사용 비율에 따라 등급을 나눈다. 즉, 녹색건축자재 비용은 3.1항에서부터 3.4항까지 사용된 녹색건축자재비의 합을 의미한다.

Fig. 7의 자재DB영역은 이해를 돕기 위하여 인증, 미인증, 사용, 미사용으로 나타냈으나 실제 엑셀 상의 자재DB영역은 계산상의 편의를 위해 인증이 있는 경우는 1, 인증을 받지 못한 경우는 0으로 나타내었다. 또한 자재의 사용여부도 사용한 경우에는 1로 나타내었고, 사용하지 않는 경우는 0으로 나타내었다. 주요부재의 경우에는 내벽, 외벽, 바닥, 천장, 창호, 지붕을 순서대로 1부터 6까지의 숫자로 나타내었다.

녹색건축인증 인증 항목 중 본 연구의 범위에 해당하는 인증점수를 계산하기 위해 필요한 값으로는 각 인증별 사용 자재의 단가 및 개수, 자재가 사용되는 주요부재의 수, 제품군별 필요 자재수량,

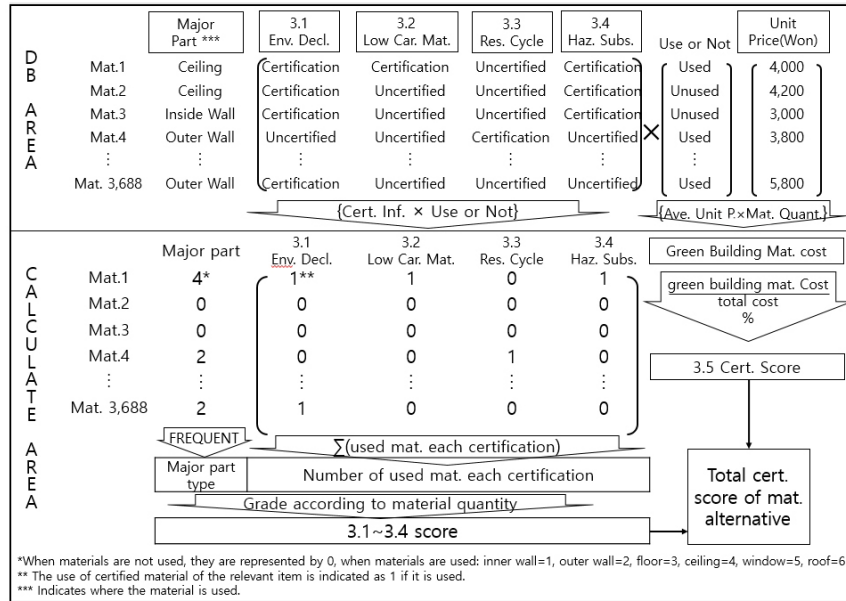


Fig. 7. Material Alternative Score Calculation Process

Table 4. "3.1 EPD Using" Evaluation Criteria

Division	Evaluation Criteria	Points
1 <sup>st</sup> Grade	Using more than 9 kinds of Environmental Declaration Products from more than 4 kinds of Main Building Members*	4
2 <sup>nd</sup> Grade	Using more than 7 kinds of Environmental Declaration Products from more than 3 kinds of Main Building Members	3.2
3 <sup>rd</sup> Grade	Using more than 5 kinds of Environmental Declaration Products from more than 2 kinds of Main Building Members	2.4
4 <sup>th</sup> Grade	Using more than 3 kinds of Environmental Declaration Products from more than 1 kinds of Main Building Members	1.6

\*The main building member is a member that uses materials. It is divided into 6 types: inner wall, outer wall, floor, ceiling, window, and roof.

내역서 상의 총 자재비가 있다. 이 중 제품군별 필요 자재수량과 내역서 상의 총 자재비는 사용자의 입력변수로 하였다.

모델에 입력된 자재안의 녹색건축인증 인증항목 '3.재료 및 자재'의 인증점수계산은 엑셀의 합연산 함수(SUM)와 조건부 함수(IF) 등을 사용하여 Fig. 7의 계산영역과 같이 사용 자재의 인증여부에 따라 3.1 환경성선언인증부터 3.4 유해물질저감자재인증의 각 항목에 해당하는 자재의 개수를 세고 자재의 개수에 따른 점수를 계산한다. 3.5 항목은 내역서 상의 총 자재비 대비 녹색건축인증 자재의 사용 비율을 계산하여 비율에 따른 점수를 도출한다. 이후 계산된 각 항목별 녹색건축인증 인증 점수를 합산하여 총 인증점수를 출력하였다. '3.1 환경성선언 자재사용' 항목을 평가하기 위해서 자재안에서 사용하는 모든 환경성선언제품의 개수와 제품이 쓰이는 주요 건축부재의 개수가 필요하다. 주요 건축부재의 개수를 계산하기 위해 합연산(SUM), 조건부(IF), 반복여부판단(FREQUENCY) 세 개의 함수를 사용하였다.

예를 들어 Fig. 7의 자재1부터 자재3까지의 주요 건축부재의 종류를 판단할 때, 자재1의 주요부재는 천장이고 사용 자재이므로,

총 주요 건축부재는 천장 1종이다. 이후 자재2는 자재1과 같은 천장에 쓰였고, 미사용 자재이기 때문에 계산하지 않는다. 자재3의 경우 이전에 쓰이지 않았던 내벽에 처음으로 쓰였지만, 미사용 자재이기 때문에 계산에서 제외된다. 결과적으로 자재1부터 자재3까지 쓰인 주요 건축부재의 수는 천장 1종류이다. 각 항목별로 사용하는 인증자재의 개수를 구하기 위해 엑셀의 행렬의 계산기능을 사용하여 자재의 인증여부와 사용여부를 곱하였다. 예를 들어 환경성선언 열의 경우 환경성선언 인증을 받은 자재가 사용되는 경우 1이 출력되고, 해당하는 자재를 사용하지 않거나 인증을 못 받은 경우에는 0이 출력된다. 이렇게 출력된 값을 각 인증항목에 해당하는 열에 합연산 함수(SUM)를 사용해 합산하여 자재안에 사용되는 각 인증별 자재 개수를 구하였다.

도출된 주요 건축부재의 개수와 사용되는 환경성선언제품의 개수에 따른 배점을 주도록 조건부 함수(IF)를 통해 구성하였다. '3.1 환경성선언 제품의 사용' 항목의 각 사용 개수별 등급과 배점은 Table 4와 같다. '3.2 저탄소 자재' 항목부터 '3.4 유해물질 저감 자재' 항목의 경우에는 각각에 해당하는 저탄소인증제품, 자원순환

인증제품, 유해물질저감인증제품의 개수가 필요하므로, 환경성선언제품과 같이 각각의 인증항목에 해당하는 열과 사용여부 열을 엑셀의 행렬 기능을 사용하여 곱한 다음 합연산 함수(SUM)를 사용하여 각 인증에 따른 사용 자재 개수를 셀 수 있도록 하였다. 이후 자재의 개수에 따른 각각의 인증항목에 대한 배점을 조건부 함수(IF)를 통해 나타내도록 하였다.

### 3.3.2 유전자 알고리즘 설계

유전자 알고리즘은 Palisade사의 Evolver (ver.7.6)에서 제공하는 최적화 기능을 이용하여 크게 Fig. 4의 프로세스를 따른다. 유전자 알고리즘을 시행하기 위해선 개체집단의 크기, 교배율, 변이율의 세가지 매개변수와 정지조건이 필요하다. 시뮬레이션을 통해 본 연구에서는 50개의 개체집단을 사용하고, 교배율은 0.8, 변이율은 0.1을 사용하였다. 정지조건은 최적화되는 세대수를 특정하기 힘들기 때문에 시간을 정지조건으로 설정하였다. 시간을 정지조건으로 설정하고 시뮬레이션한 결과 7시간이 지나면서 변화율이

거의 없어지므로 7시간을 정지조건으로 설정하였다.

자재의 사용 여부를 유전자 알고리즘의 변수셀로 지정하였으며, 모든 변수셀은 정수 1과 0으로 표현되도록 조건을 설정하여 사용(1)과 미사용(0)으로 나타낼 수 있도록 하였다. 사용하는 자재군 별 단가 평균과 자재군의 사용 수량 두 값을 곱한 뒤, 곱한 값을 모두 더한 비용 셀을 유전자 알고리즘의 목표 셀로 지정하였다. 본 연구에서는 목표 셀이 최소가 되는 해 즉, 자재안의 비용이 가장 작은 자재안을 결과값으로 출력하도록 하였다. 자재선정 단계는 Fig. 8과 같다. 모델을 실행시키기에 앞서서 ㉠와 같이 사용자 요구점수, 프로젝트의 총 자재비, 기본 자재안을 모델에 입력해야 한다. 사용자 요구점수는 각 자재안이 사용자가 필요로 하는 점수를 만족하는지 여부를 검사할 때 사용되며, 점수를 만족하지 못하는 자재안은 만족하는 자재안으로 교체한다. 총 자재비는 '3.5 녹색건축자재의 적용비율 항목'의 점수를 계산하는데 필요하다. 기본 자재안을 입력하는 이유는 유전자 알고리즘이 처음 입력된 원안을 바탕으로 사용자의 요구조건에 맞는 방향으로 개선시키는 형태로

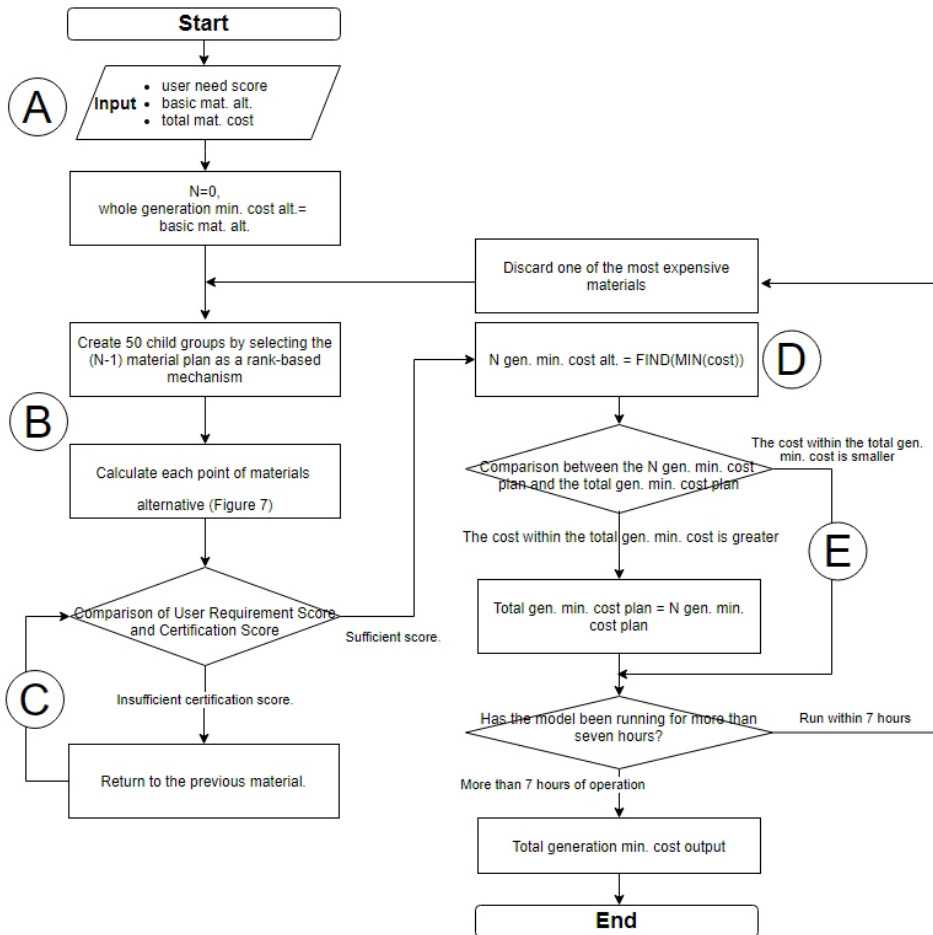


Fig. 8. Genetic Algorithm and Material Selection Model Procedure



작동하기 때문이다.

첫 시행에서는 사용자가 입력한 기본 자재안을 전체세대 최소 비용안으로 기록해두고, 이를 ㉔와 같이 50개로 복사한 뒤 모든 자재안의 각 자재에 난수를 생성하여 난수가 변이율보다 작은 경우 사용여부를 변화시켜 임의의 50개 개체집단을 생성한다. 생성된 개체집단은 Fig. 7의 점수산출 프로세스를 통해 점수를 산출한다. 이후 점수가 사용자 요구점수를 만족하는지 여부를 ㉕와 같이 확인하여, 점수를 만족하지 않는 집단은 기본 자재안으로 교체한다.

이렇게 모든 집단이 조건을 만족하는 상태가 되면 ㉖에서 개체집단들의 적합도 즉, 각 집단의 비용을 비교하여 가장 적합도가 높은 개체집단을 찾아낸다. 본 연구에서는 비용이 최소가 되는 집단을 가장 적합하다고 판단한다. 첫 세대에서 가장 비용이 낮은 개체집단을 찾아내면 이를 ㉗에서 전체세대 최소비용안과 비교한다. 첫세대에서 만들어진 최소비용안이 더 적합할 경우 전체세대 최소비용안을 첫 세대 최소비용안으로 교체한다. 이후 정지조건을 확인한 후, ㉘로 돌아가 다음세대를 진행한다. 이러한 반복 중 모델을 시작한 후 80분이 지났다면, 반복을 중단하고 저장된 최적대안을 출력한다.

### 3.4 자재선정결과

모델을 통해 최적 자재대안을 찾는 과정은 Evolver (ver7.6)을 사용하여 7시간에 걸쳐 498,701세대까지 시행하였다. 전체 비용은 Fig. 9에서와 같이 기존 323,375,279원에서 67,020,696원으로 333,987세대에 걸쳐 79 %의 절감률을 보였다. 비용절감이 급격하게 나타난 구간은 유전자 알고리즘을 가동한 후 4,735세대까지 구간으로 63 %가량의 비용을 절감하는 큰 변화를 보였으며, 이후 약 24만 세대까지 점진적 변화를 보였다. 239,492세대부터 243,512세대까지의 약 4,020세대 간 21 %가 감소하는 급격한 변화를 보였다. 243,512세대 이후로는 다시 완만한 변화 양상을 나타내었다. 333,987세대에 67,020,696원으로 가장 최적화된 비용을 도출하였고 이후 세대의 시행에서는 비용변화를 보이지 않았다.

### 3.5 검증결과

모델 검증결과 Table 5에서와 같이 벽마감재는 93.64 %에 달하는 절감률을 보였고, 천장마감재 또한 83.22 %에 달하는 높은 절감률을 나타냈다. 반면 점토벽돌은 61.89 %의 절감률을 보이고, 바닥재는 67.98 %의 절감률로 제품군에 따라 편차가 나타났다.

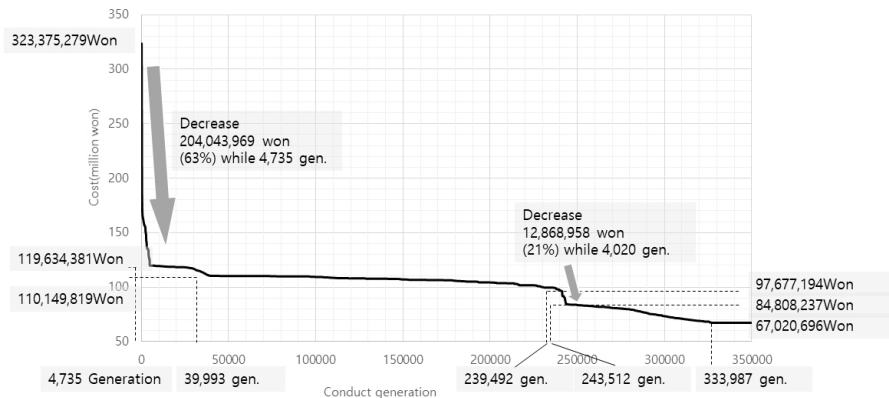


Fig. 9. Cost Trend Due to Generation Implementation

Table 5. Result of Material Selection Model

Product Group	Quantity	Number of certified materials for each item (branches)				Using material (kinds)	Original cost (won)	Alternative cost (won)	Cost reduction rate
		3.1	3.2	3.3	3.4				
Flooring	215	8	7	12	51	78	12,389,621	3,966,722	67.98 %
Wall finishing material	210	0	0	8	9	17	16,579,238	1,053,974	93.64 %
Clay brick	33,000	0	0	3	0	3	17,896,875	6,820,000	61.89 %
Windows	180	0	0	0	1	1	28,783,213	6,480,000	77.49 %
Ceiling finishing material	7,500	0	0	1	1	2	178,822,917	30,000,000	83.22 %
Toilet divider	425	0	0	1	0	1	68,903,415	18,700,000	72.86 %
Total		8	7	25	62	102	323,375,279	67,020,696	79.27 %

자재 중 벽마감재의 절감률이 가장 크게 나타났는데, 이는 모델에서 자재가 속한 제품군, 인증사유, 단가만을 고려하였기 때문에 자재가 가지는 특수한 용도나 성능 등의 특징을 고려하지 못하기 때문에 절감률이 과대평가 되어진 것으로 보인다. 예를 들어, 벽마감재의 경우 마감재의 재질과 형태, 두께와 같은 여러 사항들이 고려되지 않았으며, 적용되는 곳을 외벽제 하나로 가정하여 단가만을 비교하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 파리 기후협약에 따라 2030년까지 CO<sub>2</sub>를 BAU대비 37 % 감축해야 하는 대한민국의 목표달성에 필요한 녹색건축 인증제도를 대상으로 설계시 필요한 인증점수 대비 가장 경제적인 자재안을 선정할 수 있는 모델을 개발하고자 하였다. 본 연구에서 개발한 자재선정 최적화 모델은 녹색건축인증에 필요한 자재 정보 DB구축과 유전자 알고리즘을 사용하여 경제적인 자재대안을 선정하기 위한 프로세스를 포함하고 있다. 모델 검증 결과 상당한 절감 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 총 79.27 %의 비용을 절감하였으며, 가장 적은 절감률을 보이는 점토벽돌은 61.89 %로 가장 큰 절감률을 보인 벽마감재의 93.64 %와는 큰 편차를 보였지만 절반 이상의 큰 절감을 이루어냈다. 이는 점토벽돌에 비해 벽마감재 자재선택에 있어서 많은 낭비가 있었음을 의미한다. 이러한 검증결과는 앞으로의 녹색건축인증 획득에 있어서 경제성을 고려하기 위한 시도를 통해 많은 비용절감 가능성을 보여준다.

따라서 본 연구에서 개발한 모델을 활용할 경우 녹색건축인증을 받고자 하는 건축주에게 공사비 절감이라는 혜택을 안겨줄 뿐 아니라 인증점수를 확보하기 위한 설계자에게는 설계시간 절감에 기여할 것으로 기대된다. 다만, 본 연구에서는 자료취득의 어려움으로 인해 녹색건축자재만으로 자재DB를 만들었으며, 이러한 자재DB를 구축하면서 자재의 특성을 고려하지 못하고, 평균 단가를 줄이기 위해 쓸모없는 저가의 자재를 끼워 넣는 한계점이 있다. 따라서 향후 이를 보완할 수 있는 자재DB 구축에 관한 후속연구가 필요하다고 보여진다.

#### 감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1A2B6009111).

#### References

- Cho, S. H., Seo, S. M. and Chae, C. W. (2016). "A study on improvement of green building certification considering life cycle evaluation." *Journal of the Korean Society for Life Cycle Assessment*, Vol. 17, No. 2, pp. 47-57 (in Korean).
- Cho, S. W. and Lee, J. H. (2017). "A study on the analysis of certification characteristics according to changes in green building certification standards." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 19, No. 4, pp. 103-112 (in Korean).
- Choi, Y. M. (1997). *Comparative study on the performance of various genetic algorithms for graph coloring*, Master's thesis, Hallym University (in Korean).
- Hyeon, E. M., Lee, J. E. and Ahn, G. H. (2018). "A study on the improvement direction of green building certification of existing buildings." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 34, No. 5, pp. 59-67 (in Korean).
- Jang, H. S. and Lee, S. H. (2014). "A comparative study on the importance and problems of each G-SEED evaluation item." *Journal of the Korean Society of Ecological and Environmental Architecture*, Vol. 14, No. 1, pp. 113-120 (in Korean).
- Ji, H. G., Hong, S. J. and Kim, Y. R. (2018). "G-SEED existing building certification improvement plan through LEED certification." *Proceedings of Conference on Architectural Institute of Korea*, Vol. 38, No. 1, pp. 723-725 (in Korean).
- Jung, D. H. and Jung, C. W. (2017). "A comparative study of commissioning evaluation criteria in domestic and overseas green building certification." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, Vol. 18, No. 1, pp. 27-36 (in Korean).
- Kim, M. Y. (2018). "Analysis of construction cost for energy performance by apartment size according to the revision of the Seoul Green Building Design Standard and Green Building Certification (G-SEED)." *Journal of the Korean Institute of Architectural Eco-Facility*, Vol. 12, No. 1, pp. 1-14 (in Korean).
- Kim, Y. G. (2011). *Life cycle cost analysis by design alternative considering eco-friendly design factors -Focusing on apartment houses-*, Master's thesis, University of Seoul (in Korean).
- Lee, S. H. (2017). *Comparative study of acquisition rates by evaluation items after green building certification of apartment houses*, Master's thesis, University of Seoul (in Korean).
- Lee, T. K. (2013). *Research on improvement of eco-friendly building certification system*, Master's thesis, Andong National University (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) (2014). *The 1st basic plan for green buildings* (in Korean).
- Rho, M. S. (2013). *A study on the development of a design support system prototype for BIM-based evaluation of the domestic eco-friendly building certification system*, Master's thesis, Hanyang University (in Korean).