

# G-SEED용 실내공기 오염물질 저방출 자재 선정을 위한 경제성 평가 모델 개발

권성민\* · 김병수\*\*

Kwon, Seong-Min\*, Kim, Byung-Soo\*\*

## Development of an Economic Assessment Model for the Selection of Indoor Air Pollutant Low Emission Material for G-SEED

### ABSTRACT

The Korean construction industry has been implementing G-SEED, a certification system that evaluates the environmental properties of buildings for the purpose of reducing environmental burdens such as energy and resource consumption and pollutant emissions. Also, creating a pleasant environment in general is one more purpose of G-SEED certification system. However, G-SEED certification in practice is difficult and time consuming due to the complexity of the certification acquisition process coupled with little economic consideration for the materials of each certification item. Therefore, in this study, we present a model for the optimal selection of materials and economic assessment using a genetic algorithm. The development of the model involves building a material database based on life-cycle costing (LCC) targeted at "Application of Indoor Air Pollutant Low Emission Material" from G-SEED. Next, the model was validated using a real non-residential building case study. The result shows an average cost reduction rate of 74.5 % compared with the existing cost. This model is expected to be used as an economically efficient tool in G-SEED.

**Key words :** G-SEED, economic assessment, LCC, GA(genetic algorithm)

### 초 록

국내 건설산업은 에너지와 자원의 사용 및 오염물질 배출과 같은 환경 부담을 줄이고 쾌적한 환경을 조성하기 위한 목적으로 건축물의 환경성을 평가하는 녹색건축 인증제도를 시행하고 있다. 하지만 인증획득 절차의 시간이 오래 걸리고 과정이 복잡하며 인증 항목별로 자재의 경제성을 고려할 수 없는 점으로 인해 실무에서는 인증에 어려움을 겪는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 녹색건축인증의 문제점을 해결하기 위해 녹색건축 인증제도 인증 항목 중 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용을 그 대상으로 하고 생애주기비용 개념을 고려하여 자재 데이터베이스를 구축하였으며 경제성 평가의 최적화 기법으로는 유전 알고리즘을 활용하여 최적의 자재를 선정할 수 있는 경제성 평가모델을 개발하였다. 이를 실제 비주거용 건축물 사례에 적용하여 기존 비용과 비교한 결과 평균 74.5 %의 비용 절감률을 나타내어 본 모델을 녹색건축인증에서 경제적 효용성이 있는 도구로써 활용 가능할 것으로 판단된다.

**검색어 :** 녹색건축 인증제도, 경제성 평가, 생애주기비용, 유전 알고리즘

\* 정회원 · 경북대학교 건설환경에너지공학부 토목공학전공 석사과정 (Kyungpook National University · tidals7734@gmail.com)

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

Received November 19, 2020/ revised December 30, 2020/ accepted January 28, 2021

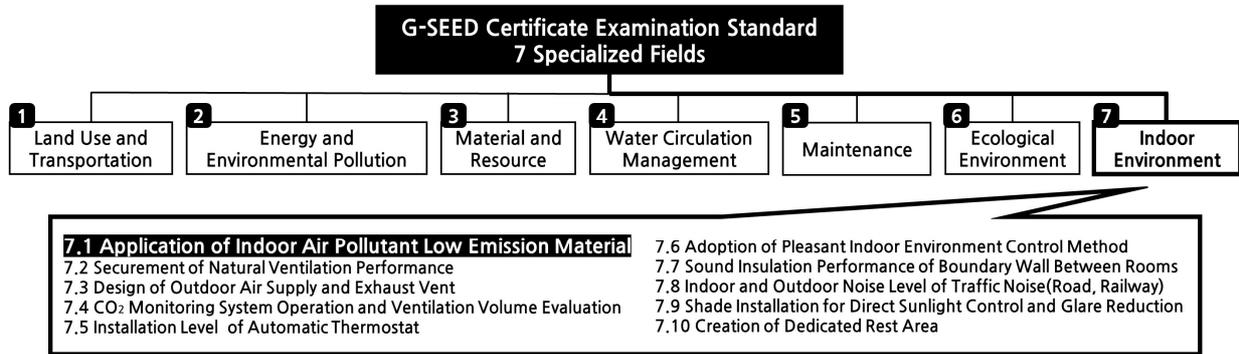


Fig. 1. Research Scope

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

환경 문제는 전 지구적 차원에서 시급히 해결해야 할 최우선 과제로 대두되고 있다. 지속 가능한 개발에 대한 국제적 관심이 높아지면서 국가 온실가스 감축 목표에 따라 국내 건설 산업에도 발맞추어 많은 노력을 기울이고 있다.

녹색건축물(Green Building)은 에너지 고갈, 환경오염 등 지구 환경에 대한 위기의식의 결과로서 기후변화 협약이 채택된 선진 외국을 중심으로 필요성이 제기되어 왔다. 이에 건물의 에너지 사용과 CO<sub>2</sub> 배출 저감 등에 관련된 논의가 활발히 진행되면서, 이를 통해 건축물에 대한 환경부하를 줄이고, 환경성능을 향상시키기 위한 인증제도로써 녹색건축 인증제도가 신설되었다(KICT, 2018). 하지만 2002년부터 시작된 친환경건축물 인증제도의 시행 이후 현재까지도 설계사무소나 건설회사에서 녹색건축인증 자체적으로 처리할 수 있는 곳은 소수에 불과하다. 또한, 녹색건축 인증제도는 건축, 구조, 토목, 기계, 전기, 조경 등의 분야를 모두 평가하기 때문에 인증 취득을 위해서는 많은 작업량과 소요시간이 요구되므로 실무에서는 인증의 어려움을 겪는 문제점이 있다(Wang and Tae, 2018). 따라서 본 연구에서는 유전 알고리즘을 활용하여 녹색건축인증에 필요한 점수를 만족하면서 최소의 비용으로 자재를 선정하는 경제성 평가모델을 개발하여 인증에 필요한 비용 및 작업량의 절감을 목적으로 한다. 이를 통해 다양한 변수가 존재하는 녹색건축인증 과정에서 실무자들이 자재를 직관적으로 선정하기 어려운 항목에 대해 자재의 경제성이 고려된 의사결정을 할 수 있고 시공의 경제성 향상에도 도움이 될 것으로 기대된다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

녹색건축 인증제도에서는 용도별 건축물을 크게 신축과 기존, 주거용과 비주거용으로 구분하고 있는데 본 연구에서는 신축 비주거용 건축물을 그 대상으로 하였다. 신축 비주거용 건축물의 인증심

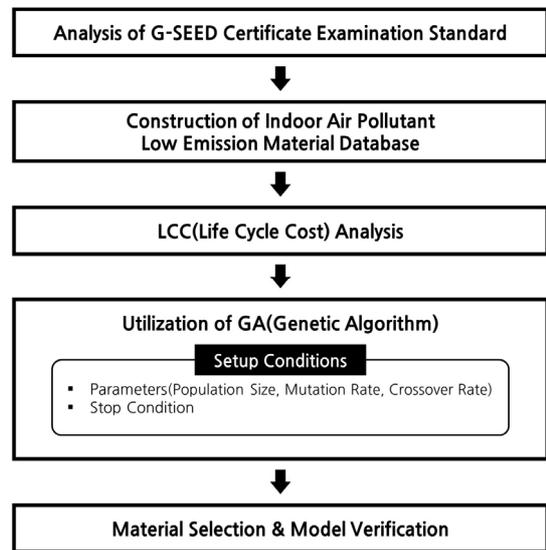


Fig. 2. Research Process

사기준은 Fig. 1과 같이 토지이용 및 교통, 에너지 및 환경오염, 재료 및 자원, 물순환 관리, 유지관리, 생태환경, 실내환경의 7가지 전문분야로 구성되어 있다. 이에 본 연구에서는 녹색건축인증 획득을 위한 점수를 만족하면서 경제적인 실내 건축자재 선정과 관련 있는 ‘7. 실내환경’의 ‘7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용’을 그 범위로 하였다.

연구의 방법으로는 먼저, 녹색건축 인증제도를 분석하기 위해 녹색건축 인증기준 해설서를 참고하여 해당 인증 항목과 평가 기준 및 점수산출기준을 조사하였다. 분석 결과를 바탕으로 ‘7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용’에 해당하는 자재 데이터베이스를 구축한 뒤 이를 대상으로 생애주기비용을 분석하였다. 그다음, 유전 알고리즘의 활용을 위해 매개변수 및 정지조건 설정 과정을 거쳐 반복시행을 통해 최적의 자재를 선정하는 모델을 개발하고 실제 사례와 비교하여 검증하였다. 본 연구의 진행절차는 Fig. 2와 같다.

## 2. 선행연구분석 및 이론적 고찰

### 2.1 선행연구분석

녹색건축인증과 관련된 선행연구를 살펴보면 먼저, 녹색건축인증의 배점 및 점수 산정을 다룬 연구로 Lee et al.(2014)와 Hwang et al.(2016)은 국내 녹색건축 인증제도의 배점 설정의 정량적이고 체계적인 배점 방법론을 제시하고 설계자 및 관련 실무자 등이 녹색건축인증 신청을 위해 적용될 기술 수준을 용이하게 파악할 수 있게 하였다. 녹색건축인증의 재료 및 자원 분야를 다룬 연구로는 Kim et al.(2015)이 국내 건설자재의 인증기준 마련이 필요함을 제시하였고 Wang and Tae(2018)는 녹색건축인증의 작업량, 소요시간, 복잡성으로 인해 인증에 어려움을 겪고 있는 문제를 제시하며 녹색건축자재를 비교 및 선택을 용이하게 하는 모델을 제안하였다. 녹색건축물의 경제성과 관련한 연구로 Lee(2014)는 녹색건축인증의 평가항목별 상대적 경제성의 정도를 조사 및 분석하였으며 Lee and Lee(2017)는 건축물의 생애주기 측면에서 경제성을 분석하여 개선 방향을 제안하였다.

선행연구를 분석한 결과 녹색건축인증 과정의 작업량, 소요시간, 복잡성으로 인해 실무에서 어려움을 겪고 있으며 설계자 및 관련 실무자 등이 녹색건축인증에 적용될 기술 및 자재의 수준을 용이하게 파악할 수 있게 하는 것이 중요하고 건축물이라는 특성상 정량적인 가치뿐만 아니라 정성적인 가치의 측정 또한 필요함을 주장하였다. 이에 본 연구에서는 녹색건축인증의 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용을 대상으로 녹색건축자재 선정 과정에서 선행연구에서는 다루지 않았던 인증점수와 자재의 비용을 함께 고려하고자 한다. 또한, 자재비용 산출 과정에 LCC 개념을 적용하고 자재선정 과정에서 유전 알고리즘 탐색기법을 적용함으로써 선행연구와는 차별성이 있을 것으로 판단된다.

### 2.2 녹색건축 인증제도(G-SEED)

녹색건축 인증제도(Green Standard for Energy and Environmental Design)는 건축물의 자재생산단계, 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 환경 친화 정도를 평가하여 인증하는 제도이다(KICT, 2018). 국내의 녹색건축 인증제도는 2002년에 공동주택을 대상으로 도입되어 주거용 건축물로는 소형주택과 공동주택, 비주거용 건축물로는 업무용 건축물, 주거복합, 학교시설, 판매시설, 숙박시설, 그 밖의 건축물에 대하여 친환경성을 정량적으로 평가한다. 또한, 평가 기준은 Fig. 3과 같이 7가지 전문분야와 혁신적인 설계로 구성되어 있으며 전문분야별 획득점수와 설정된 가중치를 활용하여 점수를 산출하고 점수별로 최우수, 우수, 우량, 일반으로 구분하여 건축물에 인증등급을 부여하고 있다.

## 3. 모델개발

### 3.1 녹색건축인증 심사기준 분석

심사기준 분석을 위해서는 한국건설기술연구원에서 발간한 녹색건축 인증기준 해설서를 참고하여 녹색건축 인증제도 전문분야 중 ‘7. 실내환경’의 ‘7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용’ 항목에 대한 평가방법 및 산출기준을 조사하였다. 이를 살펴보면 7.1 항목은 Table 1과 같이 실내에 사용되는 건축자재 등에서 실내공기로 방출되는 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 저방출제품의 적용을 유도하기 위한 목적으로 실내공기 오염물질 저방출제품의 적용 정도를 평가하는 항목으로 건축물 각 적용 층의 점수를 합산하고 이를 층수로 나누어 3점을 만점으로 하여 점수를 산출하게 된다.

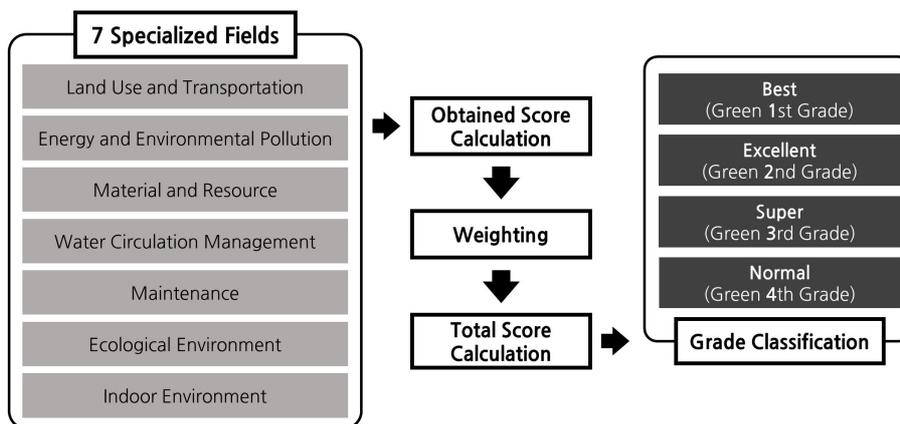


Fig. 3. The G-SEED Evaluation Process

Table 1. G-SEED Certificate Examination Standard of "7.1 Application of Indoor Air Pollutant Low Emission Products"

Category	Application Site of Indoor Air Pollutant Low Emission Products	Points		
		Wall	Ceiling	Floor
Finishing Materials	The indoor air pollutant low emission products applied to the site (wall, ceiling, floor)'s surface are suitable for standards	2	1	1
Adhesive		1	1	1
Other Interior Materials		2	2	1
Score Calculation	Sum of Points for Each Application Site ÷ (Number of Floors × 4)			

### 3.2 자재 데이터베이스 구축

녹색건축인증 심사기준 분석 결과, 인증점수의 획득에 필요한 자재의 정보로는 자재의 규격, 단위, 가격, 용도 및 자재의 환경표지 인증 여부 등이 있었다. 이에 해당 자재 정보를 수집하기 위해 Table 2와 같이 환경산업기술원에서 발행한 ‘친환경건설자재정보’와 ‘환경마크 인증제품 현황’을 참고하였다. 수집한 자재 중 ‘7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품’에 해당하는 제품을 추출하고 사용되는 용도 및 부위에 맞게 최종마감재, 접착제, 최종마감재 이외의 그 밖의 내장재료 자재를 분류하여 2,046개의 자재 데이터베이스를 Spreadsheet로 정리하였다.

### 3.3 생애주기비용(LCC) 분석

시설물의 생애주기란 시설물의 생산에서 철거에 이르는 전 과정을 나타내는 용어로 시설물의 생애주기비용(Life Cycle Cost)은 시설물의 수명주기 동안에 발생하는 모든 비용 즉 계획, 설계, 시공, 운영 및 폐기처분 등에 소요되는 총비용을 지칭한다(Kim et al., 2008).

Table 2. Collection of Material Information

Issuing Agency	Items	Material Information
Korea Environmental Industry & Technology Institute	Eco-friendly Construction Material Information	Product Specification, Unit, Price
	Status of Certified Products for Eco-Label	Object Product Group, Company Name, Product Name, Purpose of Use, Certification Reasons

Table 3. Life-Cycle Costing (LCC) Calculation Process

Initial Cost (A)	Replacement Cost (B)	Maintenance Cost (C)	LCC
Material Price from "Eco-friendly Construction Material Information"	$\sum_{n=1}^{40} \frac{A}{(1+i_r)^n}$	$\sum_{n=1}^{40} \frac{(1+i_r)^n - 1}{i_r (1+i_r)^n} \times Annual\ Repair\ Rate \times A$	A+B+C

- ▶ Inflation Rate ( $f$ ) = 1.72 %, Average Inflation Rate, Statistics Korea (2010-2019)
- ▶ Nominal Discount Rate ( $i_n$ ) = 2.025 %, Average Key Rate, Bank of Korea (2010-2019)
- ▶ Real Discount Rate ( $i_r$ ) =  $\frac{1+i_n}{1+f} = 0.3\%$

본 연구에서는 자재의 생산에서 폐기에 이르는 전 과정에서 발생하는 모든 비용을 계산하여 이전 단계에서 구축한 데이터베이스의 자재 가격정보를 자재의 LCC 값으로 대체하여 고려하고자 한다. LCC 계산을 위해 먼저, 한국은행과 통계청에서 제공하는 2010년부터 2019년까지의 한국은행 기준금리와 물가상승률을 활용하여 실질할인율을 산출하였다. LCC 분석 기간( $n$ )은 본 연구의 범위가 비주거용 건축물임을 고려하여 40년으로 설정하였고 수선주기와 연간수선율은 친환경건설자재정보시스템에 등록된 제품설명서와 주택법 시행규칙의 장기수선계획 수립기준을 토대로 자재분류별 및 자재의 특성에 따라 각각 다르게 선정하였다. 또한, 할인율을 적용하여 화폐의 가치를 동일시점의 비용으로 환산하는 방법인 화폐 가치의 등가 환산방법으로는 현재가치화법(PWM, Present Worth Method)과 연등가액법(AECM, Annual Equivalent Cost Method)이 있는데 본 연구의 LCC 계산에는 현재가치화법을 사용하여 그 비용을 산정하였다. 본 연구의 LCC 계산과정은 Table 3과 같다.

### 3.4 유전 알고리즘 활용

유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 1975년 Holland에 의해 처음으로 소개된 개념이다. 이는 유전적 계승과 생존경쟁이라는 자연현상을 알고리즘 형태로 모델링한 확률론적 탐색기법으로 현재까지도 생물학 분야뿐만 아니라 공학 분야에서도 많이 적용되고 있다. GA의 구성인자는 Fig. 4의 기본흐름도와 같이 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)로 이루어져 있으며 이와 같은 탐색과정을 통해서 현재 세대의 개체들보다 더 좋은 적합도를 가지는 개체들로 다음 세대의 개체군을 형성하게 된다(Lee, 2010). 또한, 유전 알고리즘은 한 개의 해를 산출하는 과정보다는 집단을 단위로 전역적인 해를 추출하는데 보다 유리하며 유전 연산자를 사용하고 도출되는 결과가 결정적이기보다는 확률적이라는 특성을

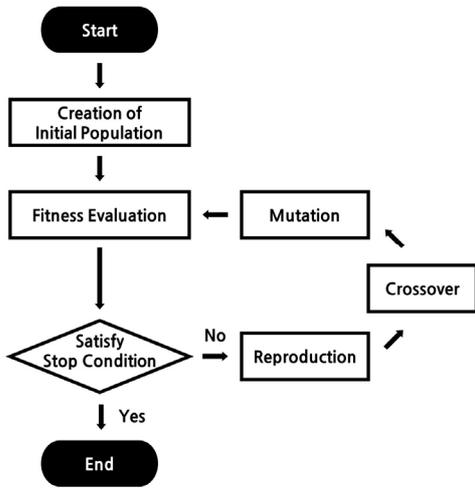


Fig. 4. Basic Flow Chart of a Genetic Algorithm

지니고 있다(Lim, 2010). 유전 알고리즘의 이러한 특성은 목적 함수의 미분 가능성 및 연속성과 상관없이 자재의 사용 여부와 적합도 함수의 정보를 이용하여 최적의 자재 선정을 위해 자재비용의 경제성을 고려해야 하는 본 연구에 가장 적합한 것으로 판단된다.

### 3.5 점수산출 프로세스

자재 데이터베이스 구축과 생애주기비용 분석이 마무리되면 이를 기반으로 인증점수를 산출하기 위해 Table 1에 나타나 있는

평가 기준을 바탕으로 점수산출 프로세스를 구성하였다. 먼저, 구축한 자재 데이터베이스의 가격정보를 계산한 LCC 값으로 대체하고 여기에 자재별로 각각 달리 표기된 단위(㎡, L, KG 등)를 면적(㎡) 단위로 통일하여 최적비용 탐색과정에서 자재 간 가격 비교가 용이하도록 하였다. 또한, 사용 가능한 모든 자재를 환경마크 인증제품 현황에 표기된 용도를 참고하여 사용 부위 및 용도에 맞게 1(벽체에 적용 가능) ~ 7(벽체/천장/바닥에 적용 가능)로 분류함으로써 7.1항목의 평가 기준과 같이 자재를 사용 부위(벽, 천장, 바닥)와 용도(마감재, 접착제, 내장재)로 구분하여 점수산출이 가능하도록 하였다. 그다음, 각각의 제품별로 사용 여부에 따라 1(사용), 0(미사용)으로 구분이 가능하도록 하여 사용하는 제품의 비용계산 및 유전 알고리즘 활용이 용이하게 하였다. 점수산출단계를 살펴보면 앞서 자재 데이터베이스를 바탕으로 제품의 사용 여부에 따라 평가 기준을 바탕으로 벽, 천장, 바닥별로 각각 점수가 도출된다. 최종적으로 산출점수는 항목별 점수의 합으로 계산되며 최종비용은 항목별 비용과 초기 입력값인 부위별 면적의 곱으로 계산된다. 본 모델의 점수산출과정은 Fig. 5와 같다.

점수산출 프로세스가 구축되면 이를 활용하여 유전 알고리즘을 적용하였다. 본 연구에서는 먼저 사용자가 획득하고자 하는 인증목표점수와 부위(벽체, 천장, 바닥)별 면적을 입력하면 데이터베이스를 바탕으로 유전 알고리즘의 연산과정을 거쳐 목표하는 점수를 만족하는 최소의 자재비용을 도출하는 것을 목표로 반복한다. 이때, 산출점수가 목표점수에 미치지 못하면 연산과정을 반복하며 최종

Input		Target Score		3			
		Area		Wall	4,565㎡		
				Ceiling	1,633㎡		
				Floor	1,633㎡		
Material Database	Site	Object Product Group	Product	Application Sites	LCC(W/㎡)	1 or 0(With or Without)	Cost(W/㎡)
	Wall	Paint	Product1	7(Wall/Ceiling/Floor)	6,329	1(With)	6,329
		Paint	Product2	7(Wall/Ceiling/Floor)	12,342	0(Without)	0
		Wallpaper	Product3	4(Wall/Ceiling)	8,693	0(Without)	0
		Wall Covering	Product4	1(Wall)	33,014	1(With)	33,014
Ceiling	:	:	:	:	:	:	
Floor	:	:	:	:	:	:	
Score/Cost Calculation	Category	Wall		Ceiling		Floor	
	Finishing Materials	2 or 0(With or Without)		1 or 0(With or Without)		1 or 0(With or Without)	
	Adhesive	1 or 0(With or Without)		1 or 0(With or Without)		1 or 0(With or Without)	
	Other Interior Materials	2 or 0(With or Without)		2 or 0(With or Without)		1 or 0(With or Without)	
	Cost	A		B		C	
	Calculated Score				Total Cost		
Σ(Point of Each Category) ÷ (Number of Floors)				Σ(Each Cost × Area of Each Application Site)			

※ With or Without: 1 = With(Use), 0 = Without(Not Use)

※ Application Sites Classification: 1=Wall, 2=Ceiling, 3=Floor, 4=Wall/Ceiling, 5=Wall/Floor, 6=Ceiling/Floor, 7=Wall/Ceiling/Floor

Fig. 5. Score Calculation Process

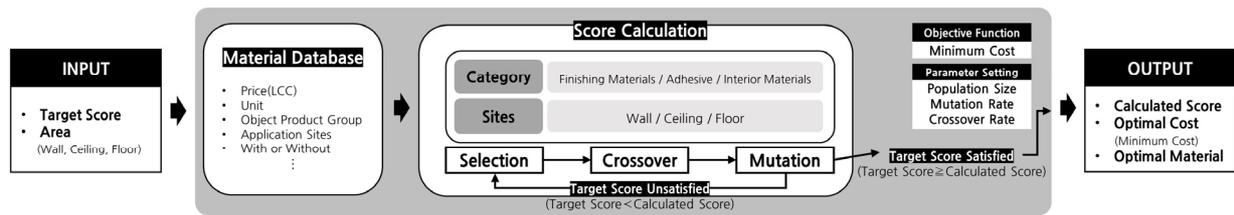


Fig. 6. Material Selection Model Process

적으로 목표점수에 도달하면 산출점수, 최적비용, 최적 자재가 출력되도록 하였다. 본 모델의 유전 알고리즘 구현에는 Palisade사의 범용프로그램인 Evolver 8.0을 활용하였다. 본 모델의 진행절차는 Fig. 6과 같다.

### 3.5.1 매개변수 설정

유전 알고리즘의 최적값 도출에 영향을 미치는 매개변수로는 개체 수, 교배율, 변이율이 있으며 유전 알고리즘의 효율적인 사용을 위해서는 최적의 매개변수를 설정하는 것이 중요하다. 이에 본 연구에서는 하나의 매개변수를 고정하고 나머지 두 개의 매개변수를 변화시키면서 반복시행하는 방법을 활용하였다. 반복시행은 국내의 실제 비주거용 건축물을 활용하였으며 유전 알고리즘 매개변수 범위로는 De Jong(1975)이 제안한 범위(개체 수 50 ~ 100, 교배율 0.4 ~ 0.6, 변이율 0.075 ~ 0.3)를 사용하였다. 매개변수 결정을 위한 반복시행 결과 1,000세대 이후로 비용은 감소하는 모습을 보였지만 매개변수의 값은 변화를 보이지 않았다. 따라서,

매개변수 설정을 위한 반복시행은 1,000세대에 도달하면 연산을 중단하고 최적값을 출력하도록 하였다. 그 결과, Table 4와 같이 10번의 시행 모두 실행시간은 비슷하였으나 개체 수 100, 교배율 0.5, 변이율 0.075 조건에서 비용(442,111 천원)이 가장 적게 도출되었다. 따라서, 해당 조건을 모델의 매개변수로 설정하였다.

### 3.5.2 정지조건 설정

정지조건은 유전 알고리즘의 주요 연산을 중단하고 최적의 값을 출력하는 조건을 의미한다. 본 연구에서는 정지조건을 구하기 위해 국내의 실제 비주거용 건축물 사례를 활용하여 세대수를 변화시키면서 반복시행하였다. 그 결과, Table 5와 같이 80,000세대에서 68.9 %, 160,000세대에서 77.6 %의 비용 절감률을 보이다가 320,000세대에서는 79.7 %로 160,000세대 이후에는 세대수별 비용 절감률의 차이가 2 % 내외로 나타났다. 이는 실행시간 대비 그 값이 크지 않으므로, 본 모델에서는 160,000세대를 모델의 정지조건으로 설정하였다.

Table 4. Result of Iteration Trial (Parameter Setting; Cost Unit: ₩1,000)

Category	Population Size	Crossover Rate	Mutation Rate	Execution Time	Cost
Change of Population Size	50	0.5	0.075	5 min 47 sec	455,702
	75	0.5	0.075	6 min 03 sec	483,200
	100	0.5	0.075	5 min 56 sec	442,111
Change of Crossover Rate	100	0.4	0.075	6 min 28 sec	495,539
	100	0.5	0.075	5 min 56 sec	442,111
	100	0.6	0.075	5 min 42 sec	484,687
Change of Mutation Rate	100	0.5	0.075	5 min 56 sec	442,111
	100	0.5	0.15	5 min 57 sec	524,028
	100	0.5	0.225	6 min 21 sec	525,493
	100	0.5	0.3	6 min 12 sec	537,928

Table 5. Result of Iteration Trial (Stop Condition Setting; Cost Unit: ₩1,000)

Division	Settings	Generation Number (Stop Condition)	Execution Time	Cost	Cost Reduction Rate (%)
1	Population Size: 100 Crossover Rate: 0.5 Mutation Rate: 0.075	80,000	1 hr 14 min	69,524	68.9
2		160,000	2 hr 29 min	50,051	77.6
3		320,000	4 hr 49 min	45,268	79.7

#### 4. 모델검증

모델검증에는 민간건축물 2개 사례와 공공건축물 1개 사례로 이루어진 총 3가지의 국내 실제 비주거용 건축물 사례를 활용하였다. 매개변수로는 반복시행 결과를 바탕으로 가장 적은 비용이 도출된 조건인 개체 수 100, 교배율 0.5, 변이율 0.075로 설정하였다. 정치조건 또한 반복시행 결과를 바탕으로 160,000세대에서 시행을 중단하고 최적값이 출력되도록 하였다. 최종적으로 목적 함수로는 목표하는 점수를 만족하면서 최소 비용의 자재를 선정하도록 모델을 시행하였다. 그 결과, Fig. 7과 같은 그래프가 도출되었다.

이를 살펴보면, A 사례는 77,014세대에서 52,520 천원, B 사례는 76,637세대에서 96,173 천원, C 사례는 76,738세대에서 210,385 천원의 최적비용이 도출되었다. 또한, 3가지 사례의

기준 및 모델 시행 후의 인증점수와 비용을 Table 6과 같이 정리하였다.

이를 살펴보면, A 사례는 기존 인증점수 3점에서 목표점수를 3점으로 설정하고 최종 3점을 얻어 기존 비용대비 79.1%의 절감률을 보였다. B 사례는 기존 인증점수 2.91점에서 목표점수를 2.91점으로 설정하고 최종 3점을 얻어 목표점수를 상회하는 점수로 기존 비용대비 65.4%의 절감률을 나타내었다. 마지막으로 C 사례는 기존 인증점수 2.96점에서 목표점수를 2.96점으로 설정하고 최종 3점을 획득하여 B 사례와 마찬가지로 목표점수를 상회하는 점수로 기존 비용대비 79.1%의 비용 절감률을 보였다.

A, B, C 사례의 평균 비용 절감률을 계산해보면 74.5%로 Fig. 6의 그래프를 통해서도 알 수 있듯이 3가지 사례 모두 목표점수를 만족하면서 비용이 절감되는 모습을 보였다.

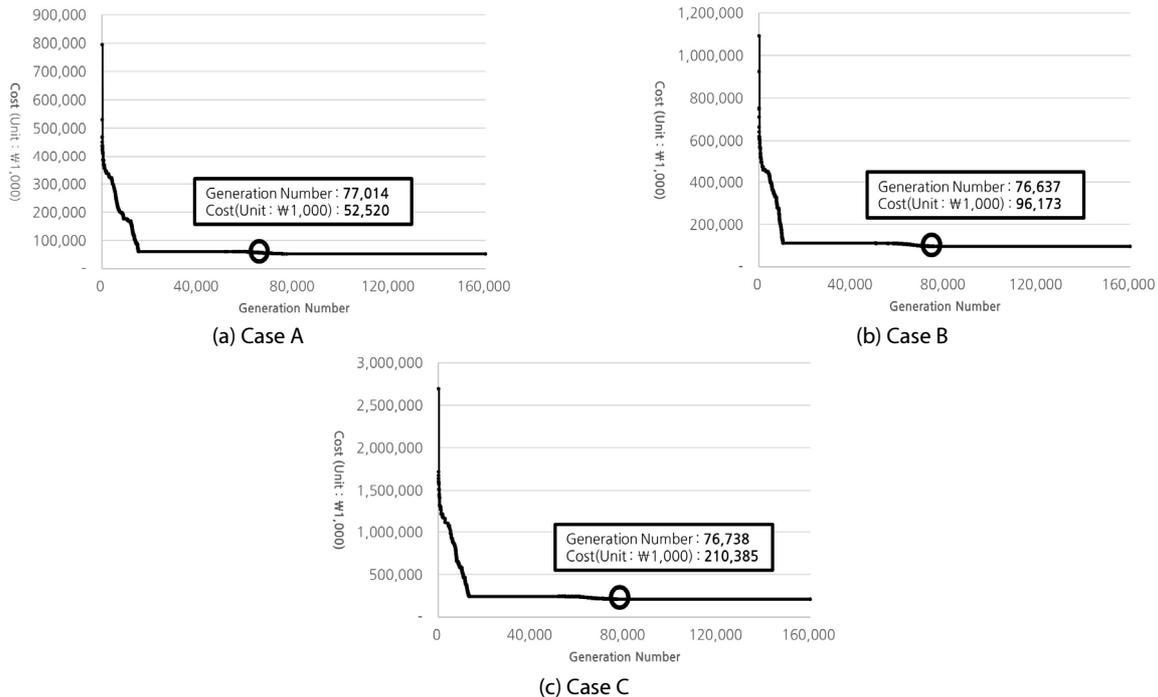


Fig. 7. Model Verification Results

Table 6. Model Verification Results (Cost Unit: ₩1,000)

Case	Case Information	Certification Score			Initial Cost	Optimal Cost	Cost Reduction Rate (%)
		Initial	Target	Calculated			
A	Area (Wall) = 691 m <sup>2</sup> Area (Ceiling/Floor) = 3,392 m <sup>2</sup>	3	3	3	251,603	52,520	79.1
B	Area (Wall) = 2,105 m <sup>2</sup> Area (Ceiling/Floor) = 4,060 m <sup>2</sup>	2.91	2.91	3	278,028	96,173	65.4
C	Area (Wall) = 9,756 m <sup>2</sup> Area (Ceiling/Floor) = 7,641 m <sup>2</sup>	2.96	2.96	3	1,007,019	210,385	79.1
Average							74.5

## 5. 결론

본 연구에서는 녹색건축 인증제도의 신축 비주거용 건축물 인증 심사기준 중 '7. 실내환경'의 '7.1 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용'을 그 대상으로 하였다. 이를 유전 알고리즘(GA)을 활용하여 인증에 필요한 점수를 만족하면서도 최소의 생애주기비용(LCC)으로 자재를 선정하는 경제성 평가모델을 개발하였다.

이를 실제 비주거용 건축물 3가지 사례를 통해 검증한 결과, 기존 자재 비용대비 비용 절감률이 모든 사례에서 60 % 이상으로 나타났으며 평균 74.5 %의 비용 절감률이 도출되었다. 따라서 본 모델을 활용하여 녹색건축인증 과정에서 인증에 필요한 점수와 자재 비용을 함께 고려함으로써 실무에서 여러 자재 중 경제적인 자재를 선택할 수 있게 하여 편리한 의사결정에 기여하고 시공의 경제성 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

하지만 자재의 데이터베이스를 구축하는 과정에서 친환경건설 자재정보와 환경마크 인증제품 현황만을 사용하여 미인증 자재에 대한 고려가 부족했고, 연구의 범위를 실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용에만 한정하였다는 한계점이 있다. 또한, 자재 선정 과정에서 각 자재의 특성이나 고유한 성능을 고려하지 못했다는 한계점이 있다. 향후 미인증 자재까지 범위를 확장하여 각 자재의 특성까지 고려할 수 있는 후속연구가 필요하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2018R1A2B6009111).

본 논문은 2020 CONVENTION 논문을 수정·보완하여 작성되었습니다.

## References

De Jong, K. A. (1975). *An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems*, Ph.D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor.

- Hwang, S. Y., Tae, C. S. and Shin, U. C. (2016). "A study on the score of issues by certification grade in the G-SEED for office buildings." *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 36, No. 5, pp. 9-18 (in Korean).
- Kim, D. B., Bae, J. H. and Lee, B. H. (2015). "A basic study for the development of green construction materials classification structure through comparing with green building certification systems." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 35, No. 2, pp. 439-440 (in Korean).
- Kim, T. H., Gu, B. H., Kim, O. G., Park, T. K. and Lee, H. S. (2008). "The development of life cycle cost evaluation index for public facilities." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 9, No. 6, pp. 216-224 (in Korean).
- Korea Institute of Construction Technology (KICT) (2018). *G-SEED guidebook 2016 v1.0* (in Korean).
- Lee, K. S. (2010). *Optimal design of nielsen arch bridges by using genetic algorithm*, Ph.D. Dissertation, Chung-Ang University, Seoul (in Korean).
- Lee, S. H. and Lee, J. S. (2017). "An economic evaluation of green business buildings in consideration of life-cycle costs and benefits." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 33, No. 7, pp. 57-65 (in Korean).
- Lee, S. O. (2014). "An analysis on cost importance for issues of G-SEED." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 34, No. 2, pp. 431-432 (in Korean).
- Lee, S. O., Cho, D. W. and Park, C. Y. (2014). "Development of credit calculation methodologies in G-SEED for multi-residential buildings." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 30, No. 12, pp. 289-297 (in Korean).
- Lim, S. Y. (2010). *A study on improving the estimation accuracy of apartment project cost*, Master Thesis, Chonnam National University, Gwangju (in Korean).
- Wang, S. J. and Tae, S. H. (2018). "A study on the automatic assessment of materials and resources in green building certification through integrated green building materials database." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 38, No. 2, pp. 452-455 (in Korean).