

# GA와 AHP를 이용한 실내 디자인과 벽체 성능 최적화 방법에 관한 연구

## A Study on the Interior Design and Wall Performance Optimizing Method by Using GA and AHP

진경일\* / Chin, Kyung-Il  
이경희\*\* / Lee, Kyung-Hoi

### Abstract

This study presents about the method of alternatives selection by considering wall performance and interior design. Wall is selected for the object and 3 items of cost, performance, and design as the objective function for optimizing are determined. Thus the wall performance selected problems, which are improvement of insulation performance, sweaty prevention, sound insulation performance and design selected problems, which is satisfactory improvement of users about interior design. It is important to select alternatives that can satisfy the performance and design on the capital given as much as possible. But quantitative problem such as performance or expanses and qualitative problem such as design are not in the same dimension. Therefore this problem is a multi-criteria optimization problem and also has used AHP method as the method to solve these. Moreover GA is used to solve a problem of the alternatives occurrence, which is the characteristic of multi-criteria problem.

This study presents the solution method on multi-criteria problem that has been mix loaded of quantitative problem and qualitative problem by using AHP(Analytic Hierarchy Process) and GA(Genetic Algorithm).

키워드 : 다중기준최적화, 계층분석과정(AHP:Analytic Hierachy Process), 유전자 알고리즘(GA:Genetic Algorithm)

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경

일반적으로 건축디자인 초기단계에서 건물 벽체를 구성하는 문제는 디자인과 성능을 동시에 결정하는 문제가 된다. 외부 마감 재료는 건물의 외형을 결정짓고 단열재 및 구조체는 단열 성능과 구조적 안정성을 결정짓는다. 또한, 내장재는 실내디자인에 큰 영향을 주는 부분이다. 뿐만 아니라 바닥이나 천장과 같은 실내의 어느 부분도 디자인 한가지만 고려할 수는 없는 부분이다. 특히 근래 들어 건축디자인 문제는 경계를 구분하기 어려울 만큼 상호 연관적이며 비용이나 성능면에서 밀접한 관계가 있다. 또한, 새로 짓는 건물이나 리노베이션을 하는 대부분은 단순히 건물의 미적인 측면만 고려하거나 성능만 고려하는 편이다. 따라서 성능과 디자인은 동시에 고려되는 문제이며 상황에 적절한 최적안을 도출하는 것은 매우 중요함에도 불구하고

하고 아직 효율적인 방법이 제시되고 있지 않은 형편이다.

건축디자인 문제의 일반적인 경우 '디자인', '성능'과 같은 넓은 의미를 가지는 표현으로 포괄적인 최적안을 찾는 문제가 주어지게 된다. 따라서 단일기준이 아닌 다중기준이 되며 성능과 디자인이 모두 대상이 된다면 다중기준이면서 정량적, 정성적 요소의 최적화문제라고 볼 수 있다. 정량·정성 문제는 하나의 척도로 측정되기 어렵기 때문에 간단한 문제가 아니다. 이런 이유로 인하여 디자인과 성능과 같은 정량·정성적 요소가 복합된 요소를 동시에 최적화 하는 문제는 최적화 대상에서 어느 정도 배제되어 왔던 것이 사실이다.

일반적으로 최적안을 찾는 문제는 정량적 요소에 대하여 많은 시간과 노력을 요하는 전역검색 방법 또는 까다로운 적용조건을 가지므로 적용에 제약이 많은 OR기법을 사용하여왔다.

한편, 다중기준을 최적화 하는 방법 중 계층분석과정(AHP) 기법이 있다. 이 기법은 사용자 설문을 통한 가중치를 부여하며, 비교 불가능한 문제들을 하나의 척도로 볼 수 있는 방법이다. 그러나 이 방법은 최적안을 탐색하는 기능은 없다. 또한, 정량적 요소로서 목적함수가 존재한다면 까다로운 조건없이 적

\* 정희원, 연세대학교 공과대학 건축공학과 박사과정 수료

\*\* 정희원, 연세대학교 공과대학 건축공학과 교수

용 가능하고 최소한의 시간을 요구하면서도 우수한 값을 찾아주는 방법으로 유전자 알고리즘(GA)이 있다. GA는 까다롭지 않은 적용조건으로 인하여 OR기법 적용이 어려운 정량적 문제에 적용이 가능하다. 또한, IGA<sup>1)</sup> 기법을 이용하여 유전자 알고리즘을 정성적인 문제에도 적용이 시도되고 있다.

이러한 점을 고려한다면, 다중기준 문제를 단순화시키기 위하여 AHP기법을 이용하고 그 결과를 GA에 적용시키면 정량·정성적 문제의 최적화에 적절히 대응할 수 있을 것이다.

## 1.2. 연구의 목적 및 범위

본 연구에서는 건물 벽체에 대하여 AHP기법과 GA를 이용하여 최적 대안을 찾는 방법을 제시하고자 하며, 다음과 같은 목적과 범위를 가진다.

첫째, AHP기법과 GA기법을 이용하여 성능(정량)과 실내디자인(정성)의 최적화를 위한 디자인 프로세스를 제시한다. 이 과정은 최적화 하고자 하는 대상과 방법에 따라서 달라질 수 있으나 본 연구에서는 문제가 다중기준일 경우를 가정하였다.

둘째, 건물 이용자들을 대상으로 쌍별비교 설문을 실시하며 그 결과를 분석한다. AHP는 계층분석단계와 가중치 분석단계로 구별되나 본 연구는 가중치 분석단계를 위주로 진행하였다.

셋째, 도출된 가중치를 이용하여 각 디자인 요소의 중요도를 결정하고 그에 따라 정량·정성적 요소에 대하여 GA적용을 위한 코드화 작업을 수행한다. 또한, 정량적 부분에 대하여는 시뮬레이션을 실시하여 최적인 도출방법과 GA전략을 제시한다. 정량적 요소(실내디자인 대안)는 시각적 데이터베이스 구축의 문제가 절대적으로 요하게 되므로 본 연구에서는 코딩 전략과 GA 전략 제시까지만 다루기로 한다.

다섯째, 본 연구에서는 성능으로 단열, 차음, 결로를 선택하며 내장재에 대한 실내디자인 요소로는 재질, 색상, 무늬, 재료의 종류로 한정한다.

## 2. 디자인 프로세스

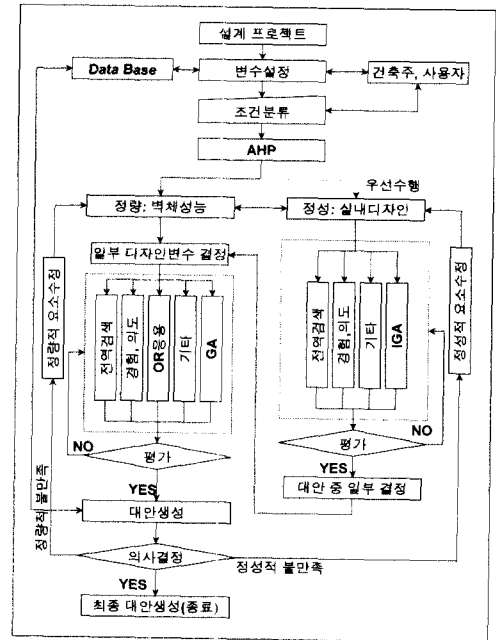
### 2.1. 성능과 디자인을 고려한 최적화 과정

본 연구에서는 다음과 같은 디자인 과정을 이용하여 주어진 문제에 대한 최적 대안을 찾는다.

첫째, 변수설정 단계이다. 건축가는 사용자와 협의를 통하여 목적하는 내용을 찾아내고 디자인 기준을 결정한다.

둘째, 조건분류 단계이다. 조건분류 단계는 설정된 디자인 변수들에 대하여 계층 분류를 하는 단계이다. 이 단계는 상대

적 선호도 설정작업을 하기 위한 사전작업 단계이며, 정확한 의사결정을 할 수 있도록 변수들에 대하여 전문가와 사용자간의 협의를 통하여 계층분석을 수행해야 한다.



<그림 1> 디자인과 성능을 고려한 최적인 도출과정

셋째, AHP에 의한 선호도 분석 단계이다. 설정한 문제에 대하여 우선 순위와 가중치를 부여한다. 여기서 계층분석과 설문 과정의 가지며 설문결과는 일관성 분석이 이루어진다.

넷째, 정성적 최적화요소 분석. 벽체의 경우 성능이라는 관점에서 보면 어떤 재료들로 구성되는 성능은 벽체를 구성하는 모든 재료들의 성능을 합한 것과 같다. 따라서 성능을 만족시키기 위하여 단열재나 구조체 등의 물성치의 최적화에 앞서 디자인에 영향을 주는 요소의 최적인 선택이 이루어져야 한다. 또한, 최적화 과정은 디자이너의 창작을 침범하지 않는 범위에서 이루어져야 의미가 있기 때문에 디자인을 위한 설정을 먼저 결정한 후, 성능 최적화를 실시하도록 한다.

다섯째, 정성적 요소(실내디자인 문제)에 대하여 어떤 방법을 이용하여 최적대안을 선정할 것인지에 관하여 분석한다. 건축주나 사용자가 디자인에 대하여 특별히 자신의 계획이나 의도가 있다면 그것을 우선적으로 고려하도록 진행되지만 그렇지 않은 경우는 사용자의 취향을 알아보는 방법을 선택한다.

여섯째, 정성적 요소의 최적인 내장재 선택결과를 정량적 요소(성능) 최적화 과정에 반영한다.

일곱째, 정량적 요소의 최적화 방법을 결정하고 실행한다.

여덟째, 최적화 과정이 끝나며 적절한 대안이 제시되는 단계이다. 이때 부족한 부분이 발견되면 해당과정으로 되돌아간다.

1) 조성배(譯), 기타노 히로야키(著), "유전자 알고리즘", 대정, 1996.

Interactive Genetic Algorithm의 약자로 정성적 문제의 약점인 적합도 함수를 작성할 수 없다는 문제를 인간이 직접 입력하도록 함으로써 유전자 알고리즘을 수행할 수 있도록 고안된 알고리즘.

## 2.2. 건축 디자인에서 최적화 문제

최적화 문제는 최적화 기준과 변수 등에 따라 단일기준, 다중기준으로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 성능과 비용 및 디자인을 모두 만족해야 하므로 다중기준 문제이다. 정량적 문제는 분명히 최적값이 존재하므로 빠른 속도로 최적값을 찾아주는 것이 중요하고, 미적인 디자인 문제는 인간이 만족하는 최고의 최적값이 존재하기 어렵다. 또 존재한다 하여도 인간이 직접 판단하여야 하므로 매우 많은 시간이 걸릴 수 있다. 따라서 이 경우는 허용하는 시간 안에 비교적 만족스러운 대안을 찾는 것이 최적화라 볼 수 있다.

## 3. 최적안 도출에 적용된 이론

### 3.1. 계층분석과정(AHP; Analytic Hierarchy Process)

#### (1) 개요

다중기준 최적화를 위한 방법으로 AHP가 있다. 1970년대 초 T.L. Satty에 의해 개발된 기법으로 다중기준의 최적화 문제에서 상충적인 상위 기준들과 하위 기준의 우열을 결정하고, 그 결과를 이용하여 전체적인 경중 비교가 가능한 방법이다. AHP는 다중기준 의사결정의 한 종류로서 다중속성과 다중목표의 경우에 가중치 적용을 하는 방법이며 기준들간에 가중치를 적용하거나 상대적인 우선순위를 부여한다. 또한, 전문가를 통한 판단과 중요도를 계층을 나누어 파악하고, 의사결정자의 경험과 직관을 평가의 바탕으로 한다. AHP는 정량적인 기준뿐만 아니라 정성적인 평가 기준들도 쉽게 처리할 수 있다. 이 방법의 장점은 문제를 계층적으로 파악함으로써 복잡한 문제에 대하여 유연성을 가지고 있다. 실제로 많은 디자인 문제가 정량적 서술과 분석보다는 정성적인 표현방법을 사용하므로 그러한 종류의 문제해결 방법으로 유용하며 많은 공학적인 의사결정에 적용 가능하다.

#### (2) 적용방법

첫째, 의사결정과정의 계층화. 이 과정은 계층을 설정하고 그에 따른 쌍별비교(Pairwise Comparison) 행렬을 만드는 과정이다. 의사결정을 위한 쌍별비교 회수는  $n(n-1)/2$ 가 된다.

둘째, 평가기준의 쌍별비교. 다속성 의사결정일 경우 각 속성의 중요도를 모두 고려하여 가중치를 정하기 어렵다, 따라서 두 개의 속성을 뽑아 비교한다. 이때 일반적으로 1~9점 척도를 사용한다<sup>2)</sup>. 본 연구에서는 9점 척도를 사용하였다.

셋째, 가중치의 추정단계와 가중치의 종합단계이다. 일관성 있는 응답을 하였는지 판단하고 그에 따른 비율을 분석하여 가중치를 정한다. 가중치는 다음의 식1에 의하여 구할 수 있으며,

2)Satty.T.L., "A Scaling Method for Priority in Hierarchical Structures", Journal of Mathematical Psychology, Vol.15, 1977

$W_i$ 는  $i$ 번째 대안의 종합가중치,  $w_j$ 는 평가기준  $j$ 의 상대적 가중치,  $u_{ij}$ 는 평가기준  $j$ 에 대한  $i$ 번째 대안의 가중치이다.

$$W_i = \sum w_j u_{ij} \quad (1)$$

또한 응답에 대한 일관성을 평가하기 위하여 쌍별비교 행렬로부터 상대적 가중치를 계산하여 최대 고유치( $\lambda_{max}$ )를 산출하고, 일관성지수(CI)를 구하여 무작위지수(RI)로 일관성비율(CR)을 (식2)에서 계산한다.<sup>3)</sup>

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \times \frac{1}{RI} \quad (2)$$

### 3.2. 유전자 알고리즘(GA; Genetic Algorithm)

#### (1) 개요

1975년 Holland에 의해 발표된 GA는 기존의 순차적인 문제 접근 방식을 갖는 최적화 방법과 달리 랜덤탐색과 인공지능에 의하여 문제공간을 탐색한다. 임의 소량의 표본만을 추출하여 전체의 최적해를 찾아내는 능력을 가지고있다. 또한, 목적함수의 연속성이나 미분가능성 등을 요하지 않는 방법이며 전역해를 찾는 데 유리하다.<sup>4)</sup> 유전자 알고리즘이 목적함수를 요하는데 반하여 대화형 유전자 알고리즘(Interactive GA)은 목적함수를 작성하지 않고 인간이 직접 평가하는 방법으로써 컴퓨터가 제시하는 대안에 대하여 사용자가 만족도를 입력하는 방법을 사용한다. 이 경우 최고의 대안을 찾기보다 적당한 대안을 찾는 방법으로 사용될 수 있고, 건축가는 사용자가 찾아낸 대안을 좀더 만족스럽게 발전시키는 자료로 이용할 수 있다.

#### (2) 원리

GA는 자연계의 진화원리를 모방한 것이므로 실제 유전자와 같은 원리를 사용한다. 주어진 문제를 염색체로 만들어 임의의 개체를 선정하고 이들에 대하여 교배를 시키며, 돌연변이와 선택의 과정을 거친 다음 주어진 조건에 대한 적합도를 평가하며, 조건에 맞는 해가 도출될 때까지 이 과정을 반복한다.

GA는 가능한 대안을 탐색하는 것이 아니고 유전자라는 가상의 공간을 만들어 탐색하므로 문제를 유전자로 인코딩하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 이진코딩을 사용하였고, 80%의 교배율을 적용하였다. 교배는 새로운 대안을 만드는 GA기법의 중요한 방법이다. 돌연변이의 경우 주어진 문제에 대하여 현재 선택된 대안이 전혀 새로운 대안으로 바뀔 확률을 의미한

3)Satty, T.L. "The Analytic Hierachy Process", Mc Graw Hill, 1980  
Satty에 의하면 CR이 0일 경우 가장 좋은 값이며 0.1보다 큰 경우는 일관성이 없는 응답으로 보았다. 또한, 0.2이상인 경우는 실문을 다시 구성해야 한다고 주장하였다.

4)Zbigniew, Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evaluation Programs", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996.

다. 돌연변이는 교배와 관계없이 일정 비율로 일어나도록 한다. 또한, 그 세대에서 사용될 유전자를 선택하는 방법은 여러 가지 방법이 있으나 본 연구에서는 룰렛-휠(적응도 비례전략) 방법을 사용하였다. 이 방법은 적합도 평가가 높은 대상일수록 다음 세대에 재선택의 확률을 높게 주는 방법이다. 스케일링은 적합도 평가를 용이하게 하기 위하여 사용하는 기법으로 본 연구에서는 지수함수 스케일링을 적용하였다. 또한 적합도가 높은 개체에 대한 보존방법인 엘리트전략과 부적절한 해에 대한 벌점전략을 함께 사용하였다. 식 (3), (4), (5)에 각각 '적응도 비례기법' 선택확률, '선택확률'에 대한 스케일링 기법, 돌연변이 확률에 대한 식을 나타내었다.

$$f = \frac{f_i}{\sum_{j=0}^n f_j} \quad (3)$$

$$f'_k = f_k^a \quad \text{or} \quad f'_k = af_k + b \quad (4)$$

$$p = \frac{p'}{p_a} \quad (5)$$

여기서,  $f_i$ 는  $i$ 번째 개체 적합도,  $n_j$ 는  $n_j$ 번째 염색체,  $f'_k$ 는  $k$ 번째 개체의 적합도,  $f_k^a$ 는  $k$ 번째 개체의 목적함수 및 지수  $a$ ,  $b$ 는 임의의 모수,  $p'$ 는 돌연변이가 일어날 집단의 수,  $p_a$ 는 전체집단의 수

### (3) 본 연구에 적용

본 연구에서는 다음과 같은 내용을 조건으로 유전자 알고리즘을 최적화 방법으로 사용하였다.

<표 1> 본 연구에 적용된 내용

종류	적용방법	비고
유전자알고리즘	단순 유전자 알고리즘	
개체의 유형	이진스트링	
선택방법	룰렛-휠	
스케일링 방법	지수 스케일링	지수=2
염색체 길이	벽체의 성능과 디자인변수에 따름	
모집단의 크기	8개	
교배율	0.8	0.8로 고정함
돌연변이율	0.1, 0.05, 0.02, 0.1을 비교	

## 4. 적용모델 및 결과분석

### 4.1. AHP에 의한 건축 디자인 선호도 분석

#### (1) 조사대상 및 방법

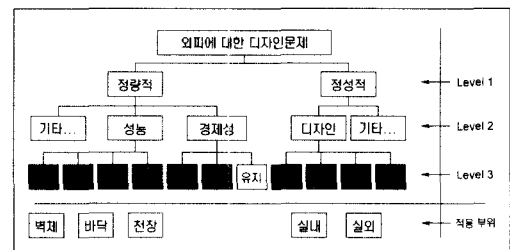
AHP를 이용하여 본 연구에서 설정한 문제에 대하여 가중치를 부여하기 위하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사의 대상은 건축을 전공하고 있는 대학교 2학년 학생들을 대상으로 하였다. 건축디자인 요소에 대한 중요도 및 가치관은 지역, 성별,

연령, 생활수준, 교육수준 등에 차이를 보이므로 본 연구에서 도출되는 디자인요소의 가중치가 모든 경우에 절대적 가중치가 될 수는 없다. 그러나 AHP 과정에 대한 본 연구의 목적은 특성값을 연구하여 일정한 상수를 도출하는 것이 아니고 다중기준 최적화를 위한 방법과 과정을 제시하는 것이므로 모든 사용자 대상을 설문하여 비교하지는 않는다. 다만, 건축전공 2학년 을 대상으로 한 이유는 건축에 관한 최소한의 지식이 있어서 설문을 이해할 수 있으며 전문가가 아닌 일반인의 입장에 가까운 대상으로 보았기 때문이다. AHP는 원래 전문가에게 수행하는 설문방법이나 일반 대중의 선호도 특성을 파악하기 위하여 대중들에게 수행하기도 한다.

본 연구는 본 설문에 앞서 사전설문을 실시하였다. AHP의 특성상 사용자가 자기 의견이 없는 경우 설문에 정확한 응답을 하지 못한다. 따라서 사전설문으로 어느 정도 관심을 갖게 한 후 1주일 뒤 비슷한 내용으로 다시 설문하였다.

#### (2) 조사내용

실제 건축디자인 과정이라면 사용자, 건축주 및 전문가와 협의를 통하여 새로 지어질 건물에서 요구하는 바를 도출해야 하지만, 본 연구는 편의상 조사대상에 대한 예비 의견조사를 위주로 아래와 같이 설정하였다. Level 1에는 정량적, 정성적 요소를 두었으나 계층분석을 위하여 Level 2에 해당하는 성능, 디자인, 경제성(비용)문제를 대상으로 설정하였으며, Level 3에서는 성능에 단열, 결로, 채광, 차음을 선정하고 경제성 부분은 재료비와 인건비를 들 수 있으나 본 연구에 선택한 설문대상이 건물을 지으려는 사람이 아닌 일반 사용자를 대상으로 하였으므로 비용 부분은 하나로 통합하여 계층을 설정하였다.



<그림 2> 본 연구에서 설정한 디자인 요소의 계층분석

#### (3) 조사내용 및 결과

본 연구는 Level 2, 3 및 디자인 요소에 관한 내용을 9점 척도법을 이용하여 설문 작성을 하였으며 다음과 같은 응답분포를 보였다. 디자인을 결정하는 요소 중에는 실외 디자인도 관계가 있으나 사무용 건물이 아닌 아파트와 같은 주거용 건물의 경우 외장재는 내장재 선택문제에 비하여 매우 단순하므로 여기서는 실내디자인 문제만 고려하고 외장재는 제외하였다.

아래 <표 2>에 응답자의 응답분포와 설문내용을 나타내었다.

<표 2> AHP를 통한 설문방법과 응답분포 (디자인 부분은 실내만 가정함)

평가요소	대안 A	A가 B보다 중요				비슷함	B가 A보다 중요				대안 B
		절대적	확실히	매우	약간		약간	매우	확실히	절대적	
1) 디자인 요소 중 우선되어야 할 사항은?	디자인	1	3	4	5	2	9	5	7		건물성능
	디자인	1	3	7	10	2	6	4	2	1	비용문제
	건물성능	3	5	9	8	7	2	2			비용문제
2) 일반적으로 건물에서 중요한 요소는?	단열	2	9	5	7	2	6	2	2	1	채광
	단열	3	6	4	9	6	1	3	2	1	차음
	채광	4	7	8	7	2	3	4	1		차음
3) 현재 건물에서 보완해야 할 사항은?	단열	1	2	2	10	4	8	5	2	1	채광
	단열	2	2	4	7	3	11	5	2	2	차음
4) 디자인 중요도?	채광	2	7	9	5	5	2	4	2		차음
	실내	1	3	7	6	4	1		1		실외
5) 실내 디자인에 많은 영향을 주는 재료의 특징은?	색상	3	3	1	6	8	6	5	3		종류
	색상	2	3	9	10	5	5	1			무늬
	색상	6	4	15	1	7	1		1		거칠기
	종류	5	5	10	10	1	3	2			무늬
6) 실내 디자인에 큰 영향을 주는 부위?	종류	3	5	9	17	1					거칠기
	무늬		4	13	9	6	2	1	1		거칠기
	벽체	2	8	10	5	6	4				바닥
	벽체	2	4	15	7	4	2	2			천장
	벽체	1	6	12	9	3	1	1	1		창문
	바닥	3	5	8	10	6	1	1			천장
	바닥	1	2	6	3	9	7	4	2		창문
	천장		8	2	5	6	7	6	1		창문

응답은 대비되는 두 가지 요소 중 우위인 부분에 대하여 체크하도록 하였으며 <표 2>는 응답분포이다. 본 연구는 이들 응답의 평균을 구한 후 중요도 계산과 응답에 대한 일관성을 분석하였다.

(4) 중요도 계산과 일관성 분석

중요도와 일관성은 다음과 같은 방식으로 이루어진다. 여기서는 2차 계층으로 정한 디자인과 성능 및 건축비에 대하여 중요도 계산과 일관성을 판단의 예를 보였다. 먼저 쌍별비교 행렬(A)과 상대적 가중치(W<sub>i</sub>)를 계산한다. 아래 계산과정에서 쌍별비교 행렬은 <표 2>의 1)번 문항에 대한 응답평균을 계산한 다음 수행한 예이다. (아래 식에서 V<sub>i</sub>=행렬 A를 계산한 각 값)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0.56 & 1.72 \\ 1.78 & 1 & 3.61 \\ 0.58 & 0.28 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0.98 \\ 1.85 \\ 0.54 \end{bmatrix} \quad W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \begin{bmatrix} 0.98/3.39 \\ 1.85/3.39 \\ 0.54/3.39 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 0.29 \\ 0.55 \\ 0.16 \end{bmatrix}$$

위의 계산을 이용하여 최대 고유치(λ<sub>max</sub>)를 계산하고, 일관성지수(CI)와 일관성비율(CR)을 계산한다.

$$AW_i = \begin{bmatrix} 1 & 0.56 & 1.72 \\ 1.78 & 1 & 3.61 \\ 0.58 & 0.28 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.29 \\ 0.55 \\ 0.16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.88 \\ 1.65 \\ 0.48 \end{bmatrix} \quad \lambda_i = \frac{I_i}{W_i} = \begin{bmatrix} 0.88/0.29 \\ 1.65/0.55 \\ 0.48/0.16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.003 \\ 3.003 \\ 3.003 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum \lambda_i}{n} = \frac{9.006}{3} = 3.003 \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3.003 - 3}{3} = 0.0015$$

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0015}{0.58} = 0.0026 \dots \text{(Satty에 의하면 0.1이하 만족)}$$

이와 같은 방식으로 각 항목마다 계산하여 CR값이 반올림하여 0.1 이하인 결과에 대하여 분석 대상으로 삼았다. <표 2>에 나온 결과를 이용하여 위의 식에 의한 방법으로 일관성분석과 중요도 및 상대적 중요도를 분석하여 다음<표 3>과 같이 분석하였다. 아래 표에서 음영 처리된 부분은 <표 2>에서 얻어진 쌍별 비교행렬 A이며 중요도는 각각 비교대상에 대한 값이다.

계층1의 중요도에는 하위중요도인 성능과 디자인이 포함된다. 여기서는 <그림 2>에 분석해야 할 대상을 나타낸 것 중 일부만 나타내었다. 여기서 중요도는 GA기법을 이용하여 최적안을 찾는 가중치로 적용된다.

<표 3> 평가요소 중요도 계산결과(2차 계층과 3차 계층 성능부분)

계층1 평가요소	고유치	항목	디자인	성능	건축비	CR	고유치	중요도						
									N/A	디자인	1	0.5625	1.7222	0.003
									성능	1.7778	1	3.6111	0.55	0.55
									건축비	0.5806	0.2769	1	0.16	0.16
계층2-1 (성능 중요도)	고유치	항목	단열	채광	차음	CR	고유치	중요도						
		0.55	단열	1	2.778				2.714	0.57	0.32			
			채광	0.36	1				1.556	0.24	0.13			
차음	0.368		0.643	1	0.18	0.10								
계층2-2 (성능 개선 요구도)	고유치	항목	단열	채광	차음	CR	고유치	중요도						
		0.55	단열	1	0.814				0.566	0.22	0.12			
			채광	1.229	1				1.111	0.32	0.17			
			차음	1.778	0.9				1	0.35	0.20			
계층2 (디자인)	고유치		항목	비율		CR	고유치	중요도						
		0.30	실내	60					N/A	0.60	0.18			
	실외		40			0.40	0.12							

계층2-1은 중요한 성능을 선택 할 경우, 2-2는 현재 건물들에 대한 개선필요성에 대하여 응답하였으며 표된 중요도 값은 둘 중 하나만 유효함

Level 3의 디자인요소는 같은 디자인 Level에 존재하는 색상, 재료의 종류, 무늬, 표면재질에 대하여 <표 4>와 같이 분석하였다. 이 경우 역시 표3과 동일한 방법이나 디자인요소 전체에 대한 중요도 계산은 하지 않았다. 다만, 같은 계층에서 차지하는 중요도만 W값(비율로 처리됨)으로 표시하였다.

<표 4> 3차 계층 디자인부분 (본 연구에서 전체적인 가중치는 부여하지 않음)

(1)	색상	종류	무늬	표면	A	W	λ	λ <sub>max</sub>	CR	
색상	1	0.361	3.171	2.600	1.313	0.259	4.092	4.065	0.019	
	종류	2.771	1	4.222	4.543	2.700	0.532			4.071
	무늬	0.315	0.237	1	1.333	0.562	0.111			4.067
	표면	0.385	0.220	0.750	1	0.502	0.099			4.030
(3)	벽체	바닥	천장	창문	A <th>W</th> <th>λ</th> <th>λ<sub>max</sub></th> <th>CR</th>	W	λ	λ <sub>max</sub>	CR	
벽체	1.000	4.029	3.833	1.882	2.322	0.482	4.034	4.080	0.024	
	바닥	0.248	1.000	1.941	0.362	0.646	0.134			4.123
	천장	0.261	0.515	1.000	0.422	0.488	0.101			4.104
	창문	0.531	2.765	2.371	1.000	1.366	0.283			4.058

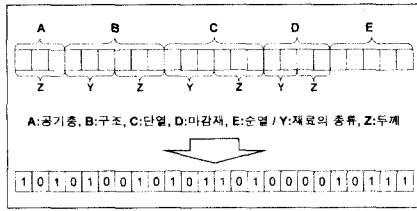
(1)은 실내 내장재 선택과 디자인에서 가장 중요한 사항을 질문한 것임  
(2)은 실내디자인에 가장 많은 영향을 주는 부위에 대하여 질문

4.2. GA를 이용한 정량적 문제의 최적화

AHP를 통하여 얻어진 디자인 요소의 가중치를 최적화 방법인 유전자 알고리즘에 적용하여 최적화를 수행하였다.

(1) 대상모델 구성을 위한 표현형과 유전자형

AHP에 의하여 분류된 계층은 GA과정을 위하여 이진수로 인코딩 되어야 한다. 또한 인코딩을 위하여서는 벽체에 사용하는 단열재, 방습재, 구조재, 내·외장재 등의 건축재료 각각에 대한 물성치의 데이터베이스를 구축하고 그 내용을 바탕으로 가능한 대안을 탐색하도록 하여야 한다. 따라서 코딩된 유전자 스트링의 길이는 데이터베이스에 저장된 정보의 수에 의하여 결정되어야 하나 본 연구에서는 편의상 임의로 설정하였다.



<그림 3> 성능을 고려한 유전자 인코딩

또한, 유전자 표현에 있어서 중요한 것은 표현형과 유전자형을 적절히 설정하는 것이다. <그림 3>은 정량적인 요소인 벽체의 성능을 찾기 위하여 인코딩 된 예이다. 정성적 요소의 최적안 도출방법은 대화형 유전자알고리즘을 이용하여 최적안을 도출하는 방법이 있으며 정량적 요소와 비슷한 방법으로 인코딩한다. 본 연구에서는 정량적 요소 중 성능 부분을 예로 목적함수설정과 그에 따른 최적안 도출과정을 보인다. 정성적인 요소에 대한 IGA의 방법은 GA에 의하여 생성된 대안에 대하여 적합도 평가(만족도 평가) 부분을 인간이 한다는 것 이외는 GA와 똑같은 원리가 적용된다. 아래 <표 5>와 <표 6>에 <그림 3>과 같은 방식으로 나타낼 유전자 인코딩에 관하여 나타내었다.

<표 5> 본 연구에서 설정한 벽체의 인코딩 예

코딩	변수	외장재	공기층	구조체	단열재	내장재	순열*
구분	재료의 종류	4	1	4	4	4	-
	두께의 종류	4	8	4	4	4	-
대안 수 코딩	대안의 수	16	8	16	16	16	3!
	2진수	1111	1000	1111	1111	1111	110
	유전자 길이	4bit	4bit	4bit	4bit	4bit	3bit

\* 여기서 순열은 경로 발생에 따른 문제의 해결 방법으로 재료의 순서를 의미함

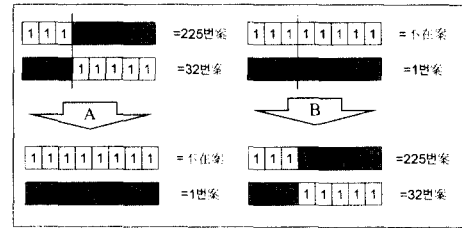
<표 6> 설정 가능한 내장재 선택과 실내디자인 대안구성을 위한 변수구성 예

코딩	변수	재료종류	제품종류	색깔	무늬	표면재질
표현형의 예	재료의 종류 예	석재	대리석	밝은 청색	로만 트래버틴	물갈기 (매끈하게)
대안 수 코딩의 예	대안의 수 예	9	21	64	20	3
	2진수 구성	1001	10100	111111	10100	10
	유전자 길이	4bit	5bit	6bit	5bit	2bit

이와 같은 방법으로 코딩할 경우 벽체의 성능을 나타내는 유전자 스트링의 전체 길이는 23bit가 되며  $2^{23}=840$ 만개가 된다 즉, 벽체의 각 층을 이용하여 발생시킬 수 있는 대안의 수가 23bit로 코딩할 경우 최대 840만가지라는 의미가 된다. 또한 실내 디자인 결정을 위한 내장재 선택방법 및 경우의 수에 대하여 인코딩을 할 경우 <표 6>의 경우 22bit이다. 그러나 이것은 벽체나 천장 또는 바닥 하나를 의미한다. 따라서 실내는 벽과 천장 및 바닥으로 구성되어 있으므로  $22 \times 3=66$ bit를 이루게 된다. 66bit는 가구나 커튼 등의 실내 장식도구를 제외하고 순수하게 건물의 외피를 구성하는 방법만으로 가능한 경우의 수이며,  $2^{66}=7.3 \times 10^{19}$ 가지이다. 그러나 실제의 상황에 맞게 색깔이나 무늬 등을 고려하면 가능한 대안의 수는 기하급수적으로 많아지며, 발생하는 대안에 대하여 인간이 평가해야 할 부분을

줄여야 한다. 일반적인 전역검색의 방법으로는 디자인대안을 선택할 수 없다. 그러나 사용자의 경향을 알아보는 목적이라면 임의로 제시되는 대안에 사용자가 평가를 가하는 GA를 이용한 방법을 선택할 수 있을 것이다.

한편, <표 5, 6>과 같은 방식으로 인코딩 한다면 숫자로써 대안을 표현하고 유전자교배 및 돌연변이 등에 따른 디코딩이 가능하여야 한다. 여기서 문제공간과 실제 존재하는 대안의 공간에서 표현의 문제에 따른 차이가 발생한다. (그림 4 참조)



<그림 4> 부적절한 해의 발생과 소멸

<그림 4>와 같이 2진 유전자 코딩은 0과 1만 사용하며 자유롭게 교배하여 원래 대안을 변형시키면서 새로운 대안을 찾을 수 있다. 그림4의 A는 데이터베이스에 존재하는 가능한 대안이 총 255개 이하로 존재할 때, 225번째 대안을 나타내는 유전자와 32번째 대안을 나타내는 유전자가 임의의 선택과 임의의 점에서 교배하여 나타내는 대안은 255와 0이라는 수가 발생할 수 있다. 여기서 0은 첫 번째 대안으로 존재하는 대안을 의미하지만, 255는 256번째 대안으로 255개 밖에 존재하지 않는 실제 대안에 대하여 실행불가능한 해가 되고 만다. 그러나 B의 경우는 반대의 경우로서 불능해와 열등해가 교배하여 우수해가 되는 경우이다. 따라서 무조건 불능해를 제거하는 것은 좋다고만 볼 수는 없다. 본 연구에서는 이러한 경우의 대안에 대하여 별점을 주어 다음 세대에 나타날 확률을 줄이도록 하였다.

## (2) 목적함수의 작성

정성적 요소에 대한 목적함수는 굳이 필요 없다. 사용자가 직접 평가하므로 적합도 값을 비교하여 세대 진화를 하며 새로운 안을 찾도록 할 수 있다. 한편, 벽체의 단열성이나 정량적인 요소들은 컴퓨터가 적합성을 평가할 수 있으므로 목적함수가 필요하다. 본 연구에서는 정량적인 요소인 벽체의 성능을 만족하는 대안을 찾기 위하여 비용 단열과 차음 및 경로 조건을 만족하기 위하여 다음과 같이 목적함수를 작성한다.

$$\text{Min: } Q = Q_s - Q_w + Q_v + Q_i \quad (6)$$

$$\text{Max: } \overline{TL} = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (7)$$

$$\text{Min: } l = f(L, M, E) \quad (8)$$

여기서 Q는 열부하로 구조체, 창문, 환기, 실내발열 값의 합이다. TL은 차음,  $\tau$ 는 투과율, l은 건축비용, L, M, E는 각각

노무비, 재료비, 장비비를 의미한다.

다음으로 AHP에 의하여 구해진 가중치를 적용하면 결로가 생기지 않는 대안에 대하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Max. F = \sum_{i=0}^n (a_i F_i + P_i) \quad (9)$$

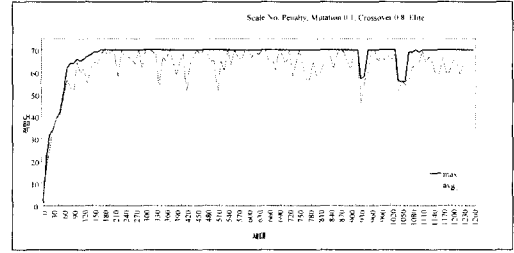
여기서 F는 적합도,  $a_i$ 는 AHP에 의하여 결정된 디자인 요소별 가중치,  $F_i$ 는 해당 요소 일반적 기준에 대한 현재 대안의 성능 비율,  $i$ 는 시작대안,  $n$ 은 마지막 대안,  $P_i$ 는 해당 항목 주어지는 별점이다. 이와 같이 구해진 식은 발생하는 대안에 대하여 컴퓨터를 통한 계산으로 적합도가 평가되게 된다.

### (3) 최적값 선택과정

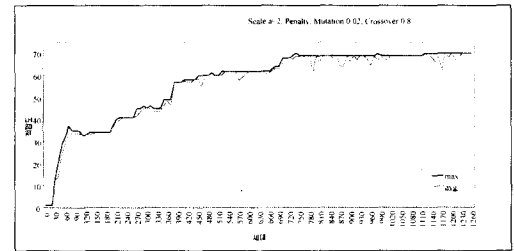
본 연구는 <표5, 6>에 서술된 2진 코딩 방법이 적합함을 보이기 위하여 정량적 요소에 대한 최적안 도출을 실시하였다. 이때 가상의 재료와 물성치를 입력하여 데이터베이스를 작성하였다.

한편, 정성적 요소에 최적화 방법(실내디자인 대안과 사용자의 만족도 평가)은 컴퓨터가 검색한 대안에 대한 시각적 이미지가 작성될 수 있어야 사용자의 평가가 가능하고 여기에는 실제 존재하는 건축재료에 대한 이미지가 데이터베이스에 구축되어야 가능하다. 본 연구에서는 이러한 문제로 정량적 요소에 대하여 GA 최적화과정을 수행하였으며 동일한 방법으로 인코딩된 '디자인 최적안 도출 문제' 역시 적합도 평가 부분을 인간이 평가한다는 점을 제외한다면 동일한 원리를 적용할 수 있다. 사용자가 대안을 평가하여 적합한 대안인지 여부를 가리는 IGA(대화형 유전자 알고리즘 Interactive GA)과정을 이용한 사례는 건축이 아닌 타 분야에서 일부 찾아볼 수 있다. 예로는 재즈음악 작곡시스템<sup>5)</sup>, 조명배치 지원시스템<sup>6)</sup>, 보청기 최적화, 범인얼굴 검색시스템, 영상검색시스템 등이 있다.

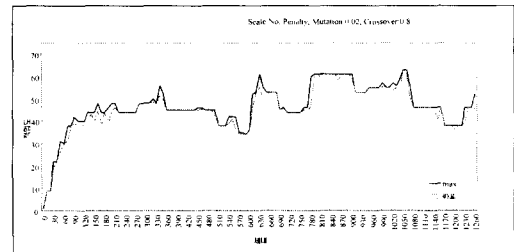
유전자 알고리즘을 이용하여 프로그램을 작성한 후 주어진 조건에서 가장 만족하는 대안을 찾도록 시뮬레이션 하였다. 식 (9)를 이용하여 목적함수를 제작하고 목적함수에 지수 스케일링을 하여 적합도 함수로 만든 후 GA가 생성하는 건물 벽체 디자인 최적값을 찾도록 하였다. 또한, <그림 3>과 같이 코딩하여 스케일링, 돌연변이, 엘리티즘 등을 변화시키면서 수렴경향과 결과를 비교하였다. 본 연구에서 설정한 코딩방법과 초기 조건의 경우 가장 좋은 결과는 엘리티즘과 스케일링을 이용하면서 돌연변이 비율을 0.02~0.05로 설정하였던 경우로 <그림 7>과 <그림 9>이다. 표1과 같은 조건으로 시뮬레이션 한 결과를 최대값과 평균값에 대하여 <그림 5~9>에 나타내었다.



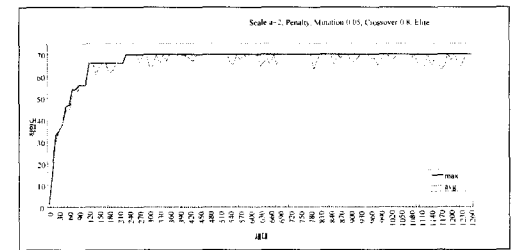
<그림 5> Scaling: No, Penalty, Mutation=0.1



<그림 6> Scaling=2, Penalty, Mutation=0.02



<그림 7>Scaling= No, Penalty, Mutation=0.02



<그림 8> Scaling=2, Penalty, Mutation=0.05, Elite

<그림 5>의 경우는 스케일링을 하지 않아서 비교적 큰 돌연변이 형상 때문에 최고값을 제외한 나머지 값들은 수렴경향이 좋지 않았다. <그림 6>의 경우는 그래프 상으로는 벽체구성의 최적안을 약 700세대 근처에서 찾은 것 같이 보이지만, 별점함수를 주지 않았으므로 실행불가능한 해가 나왔을 수 있으므로 믿을 수 없다. <그림 7>은 수렴하지 않아서 최적대안을 제시하지 못하는 경우이다. 이것은 우수해를 돕지 않으면 돌연변이 0.02도 큰 영향을 주는 것으로 보인다. <그림 8>은 평균값의 진동도 작게 나타나며 상당히 빠른 속도로 최적값을 찾았다.

상기의 그림에서 적합도 값은 식(9)를 응용하여 적성한다. <그림 8>의 경우 800만개(23bit=2<sup>23</sup>) 이상의 논리공간과 400만개(23bit÷2=22bit=2<sup>22</sup>)이상의 대안공간에서 단지 1600개만을 검색함으로써 최고값을 찾아내었다. 본 방법에서 컴퓨터가 최고값을 찾아내는지 여부는 그래프를 보고 결정한다. 일반적으로 시뮬레

5)Bilis,J.A., "Life with GenJam: Interacting with a musical IGA", Proceedings of IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics, Vol. 3, pp.652~656, 1999.

6)Tagaki, H. and Aoki, K., "3-D CG lighting with an interactive GA", International Conference on Conventional and Knowledge-based Intelligent Electronic Systems (KES'97), pp.296~301, 1997.

이션 그래프 곡선이 더 이상 개선이 없으면 시물레이션을 멈추고 그 값을 실제 대안으로 환산한다. GA를 통하여 수행하여 찾아낸 최적 대안 결과는 숫자로 표시될 수 있으며 컴퓨터는 이 숫자를 데이터베이스에서 대안으로 번역하여 사용자에게 보여주는 과정을 가진다.

이 경우 표5와 같은 방식으로 표현하면 앞에 4비트는 외장재의 두께(본 연구의 프로세스상 외장재와 외장재의 종류는 사람이 결정하므로 재료의 종류는 GA로 결정하지 않음), 그리고 이후 계속되는 4bit마다 공기층, 두께, 구조재 종류와 두께, 단열재의 종류와 두께, 내장재의 순으로 나타날 수 있다.

본 연구에서 설정한 시물레이션 예에서는 제일 좋은 적합도 점수를 얻은 안이 외장재(화강암-내장재와 더불어 사용자 선호도 분석에서 결합함)1Cm, 중공층 5Cm, 구조재 소성골재콘크리트 10Cm, 단열재 폴리우레탄8Cm, 내장재 목재5mm등과 같이 나타났다. 이 결과는 데이터베이스에 어떤 재료들을 입력하였는지에 따라서 당연히 달라질 수 있다. 이 과정에서는 건축주가 선호하는 경향과 투자예산 자본이 반영되어야 한다.

### 4.3. AHP와 GA를 이용한 최적화의 수행과 분석

최적화를 위한 작업을 간략히 나타내면 다음 표7과 같다

<표 7> 본 연구에서 설정한 벽체의 인코딩 예

단계	내용	비고
사전준비 작업	데이터베이스의 확보 및 구축	물성치, 시각적 이미지
문제분석 단계	사용자와 건축가간의 문제도출과정	
AHP 수행단계	문제의 계층구성 및 설문	가중치 및 선호도 확보
목적함수 작성	정량적요소=목적함수 작성, 정성적요소=평가기준 작성	
인코딩	가능한 대안을 2진수로 코딩	문제공간과 대안공간 크기를 고려하여야 함
GA에 가중치 적용	해당 기준에 대하여, 디자인 요소에 대하여 목적함수에 가중치를 적용	
시물레이션	정성적요소 수행 후 정량적요소 수행	
디코딩	최적안 유전자를 대안코드로 번역	

DB가 작성되고 선호도 및 가중치가 결정되었다면 정량적인 부분은 GA를 이용하여 최적안을 도출할 수 있다. 본 연구에서 얻어진 건물의 성능과 디자인 및 비용이라는 문제에서 사용자에 의한 중요도 판단은 건물의 성능 55%, 디자인 29%, 비용 16%가 도출되었다. 이 경우 건축가는 그에 맞추어 성능이나 디자인 및 비용항목을 타협할 수 있는 기준으로 삼을 수 있다. 얻어진 비율을 적용하기 위하여서는 결과에 대한 비용분배나 시간 및 디자인요소 상호 양보기준 등으로 사용할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 정량적 디자인 요소와 정성적 디자인 요소를 각각 벽체의 성능과 내장재 선택에 따른 실내디자인으로 설정하고 이러한 다중기준 최적화에 AHP기법과 GA를 사용하여 최적안을

도출하는 과정을 제시하였다.(그림 1, 본 연구 4장) 이 방법은 최적안 선택과정에 인위적 간섭이 필요한 부분에만 최소한으로 개입할 수 있으며, 계산으로 가능한 부분에 대하여는 불필요한 인간의 노력을 줄여주는 방법이라 사료된다.

둘째, 본 연구에서는 계층분석과정을 통한 문제분석을 수행하였으며 그 결과 실시한 설문에서 건물 사용자는 디자인보다는 성능이 더 중요하다고 생각하는 것으로 나타났으며 성능 중에는 단열, 자연채광, 차음의 순으로 중요하다 응답하였다. 그러나 개선을 요구하는 성능은 차음과 자연채광을 단열보다 더 많은 가중치를 두고 있는 것으로 나타났다. (표 3 참조) 이는 단순히 사용자가 생각하는 중요도와 요구사항은 다를 수 있음을 의미하며 이러한 경향은 최적화 과정에 반영되어야 한다.

셋째, GA를 이용한 최적화 과정은 비교적 짧은 시간에 목적함수 및 제약조건으로 설정한 문제의 최적대안을 찾아주는 방법이다. 본 연구에서 적용하고 시물레이션을 수행한 성능문제(차음, 단열, 결로, 비용 등)의 경우 GA전략 중 엘리티즘과 돌연변이 조절을 이용함으로써 탐색성능을 향상시키려는 시도를 하였다.(그림5~8) 디자인 만족을 위하여 외·내장재를 사용자가 선정하고 그에 합당한 벽체층 구성을 어떻게 할 수 있을지 빠른시간 안에 대안제시가 가능한 방법으로 GA를 사용하였다. 따라서 디자인이 변동하여도 벽체성능 및 비용을 만족시킬 수 있는 합당한 대안을 쉽게 찾아낼 수 있는 방법으로 합당하다.

한편, 본 연구에서 다음과 같은 추후 연구사항을 제시한다.

첫째, 성능 DB 구축과 정성적 요소에 대한 인간의 평가의견을 반영하는 프로그램 제작이 필요하다고 본다. 본 연구에서 이미 알고리즘에 적용될 코딩방법을 다루었으므로 프로그램을 제작하고 사용자 및 건축가를 대상으로 테스트할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서 제시한 최적안 도출 과정은 AHP를 통한 가중치 적용이 최종 결과에 큰 영향을 미친다. 따라서 좀더 넓은 범위의 사용자 분포를 확보하고 그들에 대한 의견조사과정과 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. Zbigniew, Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evaluation Programs, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996.
2. 조성배(譯), 유전자 알고리즘, 내청컴퓨터월드, 1996.
3. Tagaki, H. and Aoki, K., 3-D CG lighting with an interactive GA, International Conference on Conventional and Knowledge-based Intelligent Electronic Systems (KES'97), pp.296~301, 1997.
4. Bilis,J.A., Life with GenJam: Interacting with a musical IGA, Proceedings of IEEE International Conference on System, Man, and Cybernetics, Vol. 3, pp.652~656, 1999.
5. Satty,T.L., A Scaling Method for Priority in Hierarchical Structures, Journal of Methematical Psychology, Vol.15, 1977.
6. Satty, T.L. The Analytic Hierachy Process, Mc Graw Hill, 1980.

<접수 : 2001. 10. 31>