

유전자 알고리즘을 이용한 뼈대구조물의 이산최적화

김봉익* · 권중현*

*경상대학교 해양토목공학과 (해양산업연구소)

Discrete Optimization of Plane Frame Structures Using Genetic Algorithms

BONG-IK KIM* AND JUNG-HYUN KWON*

*Department of Ocean Civil Engineering, Gyeongsang National University, Jinju, Korea

KEY WORDS: Discrete Optimization 이산최적화, Plane Frame 평면 프레임, Genetic Algorithms 유전자 알고리즘, Simulated Annealing 모방 단련법, Shuffled Complex Evolution

ABSTRACT: This paper is to find optimum design of plane framed structures with discrete variables. Global search algorithms for this problem are Genetic Algorithms(GAs), Simulated Annealing(SA) and Shuffled Complex Evolution(SCE), and hybrid methods (GAs-SA, GAs-SCE). GAs and SA are heuristic search algorithms and effective tools which is finding global solution for discrete optimization. In particular, GAs is known as the search method to find global optimum or near global optimum. In this paper, reinforced concrete plane frames with rectangular section and steel plane frames with W-sections are used for the design of discrete optimization. These structures are designed for stress constraints. The robust and effectiveness of Genetic Algorithms are demonstrated through several examples.

1. 서 론

일반적으로 구조물 설계는 현실적인 측면에서 규격화된 부재를 사용하고 있다. 규격화된 부재는 상업용으로 대량생산이 가능하여 비교적 낮은 비용으로 구입 가능한 경제성과 시공에서 쉽게 구할 수 있는 편의성을 가지고 있다. 특히 철근콘크리트 및 철골을 사용한 대형화 구조물의 설계 경우는 안전성과 경제적인 측면을 고려한 설계가 이루어져야 할 것이다. 이와 같은 대형화 구조물의 경우 당연히 설계변수의 수가 증가하며, 이로 인해 구조물의 설계는 현실적인 측면을 고려하면 연속변수의 적용이 매우 어렵다(Balling et al., 1997; Kirsch, 1997). 이런 이유로 구조물설계는 규격부재를 사용하여 이산변수로 설계함이 경제적인 측면에서 매우 바람직하다 하겠다. 구조물 설계시 규격부재를 사용한 설계의 경우 설계변수는 이산변수(Discrete variables)로 취급된다(Chan, 1992; Kocer and Arora, 1997; 김봉익, 1999). 예로 철근콘크리트 구조물의 설계 경우 콘크리트 단면에 배치되는 철근의 수가 이산변수의 한 예라 하겠다. 이처럼 콘크리트 단면에 배치되는 철근의 수 등과 같이 연속된 값을 사용할 수 없는 모든 경우의 설계는 이산변수를 사용한 설계에 해당되며, 이산변수를 사용하는 모든 최적설계는 이산최적화 문제로 취급된다. 최적화란 주어진 조건이 만족되면서 주어진 함수값 또는 설계값(Design values)을 최대 또는 최소로 되게 하는 일련의 과정을 말하며, 주로 설계변수에

는 연속된 값 즉 연속변수를 사용하고 있다. 그러나 이산최적화(이산최적설계)에는 이산변수를 사용함으로 연속변수를 사용한 경우보다는 상대적으로 다소 많은 노력이 요구된다. 이는 이산변수가 연속변수를 사용하는 경우와는 달리 미분과 같은 수학적 접근의 어려움이 발생하기 때문이다.

일반적으로 구조물의 이산변수 최적설계는 2가지의 설계방법을 택하고 있다.

첫째, 구조물 최적설계 시 설계변수를 우선 연속변수로 취급하여 연속해를 구한 후 연속해 부근에서 직접탐색을 통하여 이산최적 설계값을 구하는 방법이며, 대부분의 이산최적화문제에 적용되고 있다. 이 경우 초기설계(Initial values)가 주어진 연속변수를 사용하여 해(설계값)를 찾는다. 그러나 이 과정에서 얻어진 설계값이 항상 국지최적설계이거나 전공간 최적설계(Global optimum)가 된다는 보장이 없기 때문에 최적의 설계값을 구하기 위해서 다른 새로운 설계방법이 요구된다. 결국 이 방법을 사용할 경우 여러 번의 다른 초기설계를 사용하여 얻어진 여러 개의 설계값 중 최상의 설계값을 선택해야 한다.

둘째, 구조물 최적설계 시에 설계변수자체를 이산변수로 하여 전설계 공간에서 직접탐색을 통하여 이산최적 설계값을 찾는 방법이다. 이 설계방법으로 구해진 이산해(설계값)는 바로 직접설계에 사용될 수 있는 유리한 점이 있으나 연속해를 구한 후 이산해를 구하는 방법보다 상대적으로 많은 계산시간이 요구되는 문제가 있다. 이 방법의 대표적인 예는 전공간 탐색 방법(Exhaustive search)이며, 어떤 경우에도 확실히 전공간 최적설계를 찾는다. 그러나 구조물의 형상이 커지거나 이산변수

제1저자 김봉익 연락처 : 경상남도 통영시 인평동 445
055-640-3154 bikim@gshp.gsnu.ac.kr

의 수가 증가하면 직접탐색을 통하여 구할 수 없는 경우가 많다.

본 연구에서는 후자인 설계변수 자체를 이산변수로 사용하는 방법을 사용하였으며, 2차원 구조물인 평면 철근콘크리트 구조물 및 평면 철골뼈대구조물을 대상으로 이산변수 최적설계를 시도하였다(Jenkins, 1992; Rajeev and Krishnamoorthy, 1992). 최적설계를 위한 검색방법(최적화기법)에는 주로 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms: GAs)을 사용하여 설계하였으며, GAs의 우수성을 입증하기 위해 Simulated Annealing(SA), Shuffled Complex Evolution(SCE), Pattern Search, Coordinate Descent, Exhaustive Search방법 등을 사용하였다.

2. 구조물의 이산최적화 문제형성

2.1 철근콘크리트 구조물

철근콘크리트 구조물은 설계비용이 최소가 되게 설계하였으며, 설계에 사용된 목적함수 C 는 아래와 같다.

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^n (C_c A_c L_c + C_s A_s L_s) \quad (1a)$$

subject to

$$U_i \leq \bar{U}_i, \quad i = 1, n \quad (1b)$$

여기서,

C ; 총 설계비용

C_c, C_s ; i 부재의 콘크리트와 철근의 단위체적당 설계비용

A_c, A_s ; i 부재의 콘크리트와 철근에 대한 부재 단면적

L_c, L_s ; i 부재의 콘크리트와 철근에 대한 부재 길이

U_i, \bar{U}_i ; i 부재의 소요강도와 설계강도

철근콘크리트 구조물의 단면설계에서 설계변수는 콘크리트의 강도, 단면의 크기 및 단면에 배치되는 철근의 수 등이 된다. 이 경우 철근의 수(량)는 이산자료가 되지만, 콘크리트 강도와 단면의 크기는 정확히 이산자료는 아니다. 그러나 콘크리트의 강도 및 단면의 결정에 통상 사용되고 있는 자료의 값들을 적용시켜 설계함으로써 보다 경제성이 있는 설계가 될 것이다. 철근콘크리트 구조물은 재료의 특성상 단면 내에 2가지의 재료로 구성되므로 단면의 최적설계시 설계변수 및 제약조건의 수를 증가시키는 하나의 요인이 된다. 하나의 콘크리트 단면에서 설계변수로는 주로 단면의 폭, 높이, 철근의 수가 되며, 제약조건은 특정 위치에서의 처짐의 제한이나 콘크리트 단면의 소요강도가 설계강도를 초과하지 않는 응력제약 조건등이 된다. 이와 같이 하나의 단면내에 다수의 설계변수가 나타날 경우의 설계에는 변위제약과 응력제약을 1차 근사식으로 하여 설계하는 경우가 있으나 근사식으로 모든 변위와 응력제약조건에 연속변수를 사용해야 함으로 이산 설계변수에는 적합하지 못하다(Kirsch, 1997). 본 연구에서는 콘크리트 단면설계에서 설계변수나 제약조건의 수를 다소 줄이기 위해 변수분

리의 원리(Krakovski and Park,1993)를 도입하였다. 이 원리는 외부최적화와 내부최적화로 나누어 설계하도록 함으로써 설계변수의 증가로 인한 어려움을 다소 감소시킬 수 있다. 철근콘크리트 단면설계에는 ACI-318-89규정을 만족하면서 설계비용이 최소가 되게 설계하였으며, 제약조건은 각 부재의 소요강도가 설계강도를 초과하지 않도록 하였다.

2.2 철골 구조물

철골 구조물은 구조물의 전체 무게가 최소가 되도록 설계하였으며 설계에 사용된 목적함수 W 는 아래와 같다.

$$\text{Minimize } W = \sum_{i=1}^n (\rho_i A_i L_i) \quad (2a)$$

subject to

$$\sigma_i \leq \bar{\sigma}_i, \quad i = 1, n \quad (2b)$$

여기서,

W ; 구조물의 총무게

ρ_i ; i 부재의 재료의 무게밀도

A_i ; i 부재에 대한 단면적

L_i ; i 부재에 대한 길이

$\sigma_i, \bar{\sigma}_i$; i 부재의 부재응력과 부재허용응력

철골 구조물의 설계 경우 일반적으로 규격화된 부재를 사용하고 있다. 이 경우의 설계변수는 단면적과 설계에 필요한 재료의 물리적인 값들로 이미 상업용으로 제작된 부재에 대해서는 설계에 필요한 자료의 값이 공개되어 있다. 철골 구조물의 설계경우 부재는 AISC규정에 의한 W-단면의 이산자료 중에서 선택되도록 하였으며, ASD방법으로 구조물의 총 중량이 최소로 되게 설계하였다. 여기서 이산자료에 사용된 단면은 유전자 알고리즘의 사용을 위해 총 291개의 W-단면중 2⁸에 해당되는 256번째까지의 단면을 사용하였다. 철골 구조물의 설계 경우 설계에 필요한 자료값을 하나의 Index번호에 포함시켰으며, 하나의 Index번호에는 부재의 단면적, 단면 2차모멘트, 단면계수 등의 설계에 필요한 단면의 치수가 포함된다.

이와 같이 규격화된 부재를 사용한 설계란 유한개의 미리 정해진 부재중(Index번호를 사용)에서 적절한 부재의 선택을 뜻한다 하겠다.

3. 최적화 기법

3.1 유전자 알고리즘

GAs는 생물진화 과정을 단순수리 모델로 치환한 방법으로 Holland(1975)에 의해 제안되었다. GAs는 이산최적화 문제의 해를 효과적으로 구할 수 있는 방법으로 Goldberg(1989)에 의해 공학에 적용될 수 있음을 보여 주었다. GAs는 설계들의 집합의 크기를 일정하게 유지하면서 각 설계에 해당되는 적합성으로부터 확률적인 규칙하에서 최적설계하는 반복시행과정이다. GAs에서는 일반적인 최적화방법과는 달리 세대와 설계집

단을 사용한다. 여기서 세대(Generation)란 한 사이클에서 다른 사이클로 진행되는 반복단계를 말하며, 집단(Population)이란 일정한 크기의 설계집합을 말한다.

GAs는 현세대의 집단 내에서 적합성이 높은 설계가 다음 세대로 전달되며, 이들이 번식(Reproduction), 교차(Crossover), 돌연변이(Mutation)등의 과정을 거쳐 새로운 세대를 이루게 된다. GAs가 최적설계를 위한 다른 탐색방법과 다른 점은 현 설계에서 개선된 설계로의 이동이 집단에서 집단으로 이루어진다는 점이며, 이러한 세대가 반복되면서 우수한 설계들로 구성되는 설계집단중 가장 우수했던 설계가 최적의 해(설계)가 되는 것이다. 그리고 GAs는 함수의 미분가능성을 요구하지 않고 단지 함수의 값만 요구되므로 이산변수를 사용하는 최적화문제의 해결에는 매우 적합함을 의미한다. 일반적으로 GAs에서의 집단의 크기는 50~200사이의 값을 사용하지만 본 연구에서는 설계변수의 크기에 따라 설계집단의 크기를 50~300사이의 값을 사용했다. 또한 설계에 사용된 세대의 수 즉 사이클의 수는 최대 1000회가 되면 실행이 정지되도록 하였으나, 경우에 따라 최대 사이클보다 많은 2000회의 실행에도 더 나은 결과를 얻을 수 없었다.

3.1.1 설계변수의 2진 코드화

GAs에서 설계변수의 코드화의 표현(변환)방법은 실제문제와 GAs를 연결해주는 중요한 역할을 한다. 이 표현방법에는 설계변수를 2진 문자열(0,1로 코드화)로 코드화하는 것이 대표적인 방법이며, 경우에 따라 설계변수의 2진 코드화를 사용하지 않고 실수형 설계변수를 직접 사용하는 경우도 있다(김기화 등, 1995). 이와 같이 문제의 특성에 맞게 적절한 표현방법을 선택하여 사용할 수도 있으며, 본 연구에서는 2진 코드화 방법을 사용하였다. 구조설계시 설계변수가 취할 수 있는 값은 유한개의 이산화된 치수중에서 선택되며, 이 치수와 설계변수를 연결하기 위해 Index를 사용한다. GAs에서는 각 설계변수에 해당되는 Index를 2진수로 바꾸고, 2진수로 바뀐 각각의 변환된 코드를 서로 연결한 후 구성된 2진 문자열이 GAs에서는 하나의 개체가 되며, 이 하나의 개체는 구조물 설계시 한 설계에 해당된다.

3.1.2 번식

번식은 한 세대의 설계집단에서 각각의 개체가 그의 적합성(Fitness)에 따라 다음 세대에서 새로운 개체로 선택되기 위해 각각의 개체에 확률을 부여하는 과정이다. 즉, 번식은 적합성이 좋은 개체는 선택될 기회가 많이 주어지고 반면에 적합성이 나쁜 개체는 선택될 기회가 적게 주어지도록 각 개체에 확률을 부여하고, 각각의 개체에 부여된 확률에 따라 각 개체들이 새로운 집단에서 새로운 개체들로 선택되는 과정을 말한다. 각 개체에 적용되는 확률은 Roulette Wheel방법을 주로 사용하고 있으며 본 연구에서도 이 방법을 사용하였다.

3.1.3 교차

교차는 번식과정을 거친 후 새로이 구성된 집단에서 개체들 사이의 재조합 과정이라 하겠다. 교차는 번식의 과정후 비교적

적합성이 우수한 개체들로 구성된 집단에서 인자를 서로 교환함으로써 이전 세대보다 나은 방향으로의 개체를 재구성하는 과정이다. 교차는 한 쌍의 2진 문자열 사이에서 이루어지며 각각의 2진 문자열들은 번식후 구성된 현 집단에서 무작위로 선택된다. 교차는 모든 개체에 대해 전부 이루어지는 것이 아니라 교차확률(Pc)에 따라 선택적으로 이루어진다. 교차의 방법에는 Uniform 교차, 1점 교차, 2점 교차등이 있으며, 본 연구에서는 2점 교차방법을 사용하였으며, 교차확률(Pc)은 0.5를 사용하였다.

3.1.4 돌연변이

돌연변이는 한 집단 내의 모든 2진 문자열의 전체 비트를 대상으로 하며, 각 비트에 대해 무작위 수와 돌연변이 확률을 비교하여 무작위수가 돌연변이 확률(Pm)보다 적은 경우 해당되는 비트가 반대값을 갖는 과정이다. 돌연변이는 한 집단 내에서 개체들 사이에 변화를 주는 매우 중요한 과정이며, 이 과정은 설계가 한 쪽으로 치우치는 것을 방지하도록 하는 특징을 가지고 있다. 즉 돌연변이 과정은 선택된 하나의 국지 최적설계에 머물지 않고 또 다른 국지 최적설계로 이동할 수 있게 하는 과정이다. 돌연변이 확률(Pm)은 0.02를 사용하였다.

3.2 Simulated Annealing

Simulated Annealing(SA)은 주어진 온도하에서 평형상태에 있는 입자의 운동에 대한 연구에 사용되었으며, Metropolis et al.(1953)에 의해 제안되었고, Kickpatrick et al.(1983)에 의해 공학에 적용되었다(Balling, 1991). SA는 전설계 공간이 아닌 현설계(Current design)근처의 설계공간에서 무작위한 교란작업을 통해 얻어진 설계와 현설계를 비교하여 이 두 설계중 현설계가 수용될 수 있는지를 판정하여 해를 찾아가는 방법이며, GAs에서와 같이 함수의 결과값만이 요구된다. SA는 교란후 얻어진 설계가 현설계보다 나은 설계가 되면 새로운 설계로서 수용이 된다. 반면 교란후 얻어진 설계가 제약조건을 만족하지 않으면 자동으로 제거된다. 그러나 교란후 얻어진 설계가 제약조건을 만족하면서 현설계와 비교하여 목적함수의 값이 높은 값의 설계라면 교란후 얻어진 설계는 무작위한 수와 수용확률(P)을 서로 비교하여 새로운 설계로 수용될지의 여부에 따라 수용이 결정된다. 여기서 새로운 설계로 수용될지의 여부는 무작위수가 수용확률보다 적으면 교란후 얻어진 설계는 다음 cycle의 현설계(새로운 설계)가 되며, 무작위수가 수용될 확률보다 크면 교란후 얻어진 설계는 현설계 공간에서 제거된다.

본 연구에서 수용확률(P)은 Metropolis의 알고리즘을 사용하였으며 아래와 같다.

$$P = \exp\left(\frac{-D}{CT}\right) \quad (3)$$

여기서,

D : 현설계와 교란후 얻어진 설계의 목적함수 차

C : 정규화 상수

T : 주어진 온도

3.3 Shuffled Complex Evolution

Shuffled Complex Evolution(SCE)은 GAs에서와 같이 생물의 진화과정을 통해 Global optimization문제에서 전공간 설계를 대상으로 최적해를 찾는 Global search의 한 방법이다. SCE은 Duan et al.(1993)에 의해 처음 제안되었으며, 많은 국지 최적해(Local minima)가 존재하는 여러 종류의 함수의 최적화를 통해 SCE방법의 우수성을 입증하였다. SCE는 4종류의 기본 개념을 사용하여 Global optimization문제의 해를 찾는다: (a) 확률적인 접근과 결정적인 접근법을 혼합한 방식을 사용한다. (b) 유력한 해를 중심으로 다른 해를 찾아가는 Clustering(군생)의 개념을 사용한다. 이것은 SA에서와 같이 전체 설계공간이 아닌 현 설계(해)부근에서의 보다 나은 설계를 찾는 개념이라 하겠다. (c) 전설계 공간에서 여러개의 작은 설계공간을 확보(Spanning)하고 이 작은 설계공간에서 무작위로 선택된 여러 점(설계점)으로부터 함수의 값(설계)이 보다 개선된 해의 방향으로 설계점이 선택되도록 계통적 전개를 사용한다. (d) 각각의 작은 설계공간으로부터 개선된 설계를 찾은 후 전설계 공간에 대한 최상의 해를 구한다. 결과적으로 SCE방법은 GAs의 확률적이고 진화론적 개념과 무작위검색(Random search)방법에 의한 설계개념과 선택된 설계점을 중심으로 한 Clustering을 사용한 복합적인 검색방법을 종합한 개념으로 Global optimization문제에 대한 보다 진보된 최적화 기법이라 하겠다.

4. 최적화 프로그램

철근콘크리트와 철골 구조물의 이산최적화 문제에 사용된 GAs와 SA에 대한 프로그램은 Carroll과 Goffe et al.(1994)으로부터 제공을 받았으며, 이 모두는 공개된 것으로 Internet을 통해 구할 수 있다. SCE는 이 프로그램의 개발자 Duan으로부터 제공받았다. Carroll의 GAs프로그램은 Micro-GA의 기법을 사용하였으나 본 연구에서는 Micro-GA의 기법을 사용하지 않고 원시프로그램을 다소 수정하여 이산최적화를 시행하였다. GAs에 사용된 프로그램은 원시프로그램의 내용 중 교차과정과 Elitism을 부분 수정하여 사용하였다. 수정된 부분은 교차과정에서는 2교차점을 새롭게 만들어 사용하였다. Elitism부분에서는 현 설계집단에서 가장 최상의 하나의 설계가 다음 세대의

설계집단에 똑같은 개체가 2개가 되도록 복사(배치)하였으며 이 2개체는 한쪽으로 치우치지 않게 새로운 설계집단 내에서 무작위하게 배치하도록 하였다. 그리고 GAs의 사용중 한 세대의 새로운 설계집단을 구성할 때 제약조건이 만족되지 않는 설계가 나타나면 이 설계를 새로운 집단에 배치하지 않고 제약조건이 만족되는 설계로 설계집단을 재구성하도록 함으로써 현 설계집단의 평균 적합성을 개선시킬 수 있었다. SA와 SCE에 대한 프로그램은 모두가 연속함수의 최적설계에 대한 것으로 본 연구에서는 이산변수 최적설계에 적합하도록 수정하여 사용하였다. 사실 GAs는 주어진 설계공간에서 설계집단을 사용하여 설계하기 때문에 연속변수를 사용한 최적설계방법과는 달리 많은 반복계산이 요구되는 만큼 다른 최적화 기법과의 해의 수렴속도에 대한 비교는 큰 의미가 없을 것으로 본다. 이리하여 GAs에 의한 최적설계는 Global optimum(전공간 최적설계)이나 이 근처의 해를 찾는 최적화 기법이라 하겠다.

5. 설계예제

배대구조물의 이산최적설계는 철근콘크리트 구조물의 경우 4경간 5층, 4경간 7층, 3경간 15층을 예로 하였고, 철골구조물의 경우 2경간 2층과 4경간 5층을 예로 하여 최적설계 하였다. 특히 4경간 5층, 4경간 7층 철근콘크리트 구조물과 2경간 2층 철골구조물에 대해 전공간 탐색을 통해 모든 국지최적설계 찾았으며, 이 결과로 이 구조물들의 전공간 최적설계를 구하였다. 구조물설계에는 제비용을 제외한 순수 재료비만을 고려하여 설계하였으며, 콘크리트 가격은 1m³당 58,000원이며 철근은 톤당 535,000원으로 하였다.

5.1 4경간 5층과 4경간 7층 철근콘크리트 구조물

4경간 5층 구조물의 설계경우 콘크리트 강도, 전체 구조물을 평면으로 취급함으로써 인한 평면구조물의 폭, 안 기둥과 바깥기둥의 각각 단면의 높이, 각층별 보의 높이로 하여 외부최적화에 적용되는 외부 설계변수의 수는 모두 9개가 된다. 반면 내부최적화에 해당되는 내부설계변수는 철근량이 된다. 이 구조물에 대한 제원은 Fig. 1과 같으며, 이산자료는 Table 1(5st)과 같다. 4경간 7층 구조물의 제원은 4경간 5층 구조물의 경우와

Table 1 Data of 4-bay 5-story, 4-bay 7-story reinforced concrete plane frame

Index No	Breadth (Cm)		Depth of exterior column (Cm)		Depth of interior column (Cm)		Depth of beam (Cm)		Concrete strength (Kg/cm ²)
	5st.	7st.	5st.	7st.	5st.	7st.	5st.	7st.	
1	38.0	30.0	40.0	50.0	30.0	50.0	50.0	55.0	210.0
2	40.0	35.0	45.0	55.0	35.0	55.0	55.0	60.0	280.0
3	42.0	40.0	50.0	60.0	40.0	60.0	60.0	65.0	350.0
4	44.0	45.0	55.0	65.0	45.0	65.0	65.0	70.0	
5	46.0		60.0		50.0	70.0	70.0	75.0	
6	48.0		65.0		55.0		75.0		
7							80.0		

같으나 단지 층수가 2개 더 많은 경우의 구조물이다. 이 구조물의 경우 외부 설계변수는 4경간 5층의 구조물보다 2개 더 많은 11개이며, 이산자료는 Table 1(7st)과 같다. 이 구조물들의 경우 전공간 탐색(Exhaustive search)을 통하여 전공간 최적설계를 찾아내었다. Table 1의 이산자료에 의한 전공간 탐색으로 4경간 5층의 경우 총 설계수 10890936개의 설계 중 69개의 국지최적설계를 찾았으며, 4경간 7층의 경우 총 12500000의 설계 중 74개의 국지최적설계를 찾아내었다. 이 모두의 경우 많은 수의 국지 최적설계가 존재함을 알 수 있으며, GAs 및 SA에 의한 설계는 모두가 전공간 최적설계가 되었고, 4경간 5층의 경우는 SCE에 의한 설계도 전공간 최적설계가 됨을 확인하였다(Table 2).

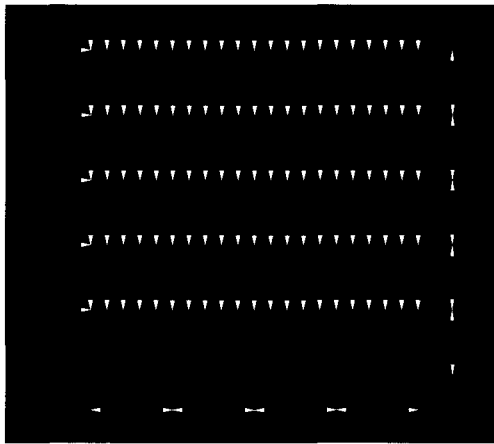


Fig. 1 Geometry of 4-bay 5-story reinforced concrete plane frame

Table 2 Results of 4-bay 5-story, 4-bay 7-story concrete plane frames (단위:천원)

Method	4-bay 5-story	4 bay 7-story
Exhaustive Search	4124.63	5621.33
Coordinate Descent	4291.26	5703.42
Pattern Search	4157.78	5644.97
Simulated Annealing	4124.63	5621.33
Genetic Algorithms	4124.63	5621.33
Shuffled Complex Evolution	4124.63	5643.07

5.2 3경간 15층과 철근콘크리트 구조물

3경간 15층 구조물은 각 경간은 6m이고, 각 층의 높이는 4m이다. 외부 설계변수의 수는 콘크리트 강도, 평면 구조물의 전체 폭, 안 기둥과 바깥 기둥의 각각 단면의 높이, 각층별로의 보의 높이로 하여 외부최적화에 적용되는 외부 설계변수의 수는 모두 19개가 된다. 설계에 사용된 이산자료중 콘크리트 강도(Kg/cm²)는 210.0, 280.0, 350.0중에서 선택되도록 하였다. 그리고 구조물 전체의 폭은 40.0cm에서부터 5cm씩 증가시켜 75.0cm까지로 8개의 자료중에서 선택되며, 모든 기둥과 보의 높이는 40.0cm에서 5cm씩 증가시켜 95.0cm까지로 각각 12개

의 자료중에서 선택되도록 하였다. 이 이산자료를 사용한 설계 결과는 Table 3에 주어진다. Table 3으로부터 GAs에 의한 설계가 다른 방법에 의한 설계보다는 가장 우수하였다. 이와 같이 GAs에 의한 설계가 다른 설계에 비해 비교적 우수한 설계로 접근 가능함을 알 수 있었으나, GAs의 설계부근에 보다 나은 설계의 검색을 위해 GAs에 의한 결과를 SA와 SCE의 초기 설계로 하여 다시 검색을 하는 설계 즉 Hybrid검색방법을 시도하였다. 이 방법을 GAs-SA, GAs-SCE로 표시하였으며, GAs-SA방법으로부터 GAs의 부근에 보다 나은 설계가 있음을 알 수 있었다. Fig. 2는 GAs에서 설계집단의 크기 100, 150, 200, 250, 300의 경우 해의 수렴상태를 보여준다. Fig. 2로부터 설계집단의 수가 200의 경우 가장 나은 설계가 되었고, 설계집단의 수가 큰 경우가 항상 좋은 해가 되지 않음을 보여준다.

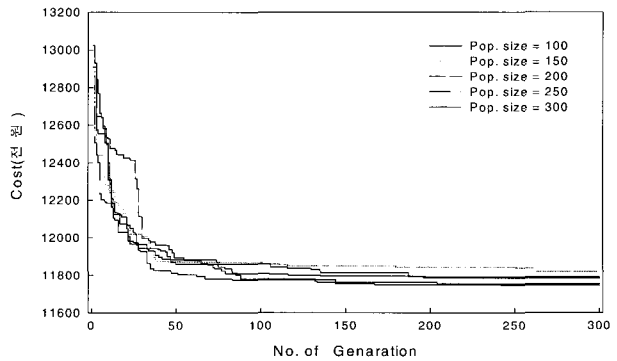


Fig. 2 Generation of 3-bay 15-story concrete plane frame

Table 3 Results of 3-bay 15-story concrete frame (단위:천원)

Method	Cost
Coordinate Descent	12239.04
Pattern Search	11783.18
Simulated Annealing	13178.09
Genetic Algorithms	11745.41
Shuffled Complex Evolution	11771.30
GAs-SA	11722.73
GAs-SCE	11745.41

5.3 2경간 2층과 철골 구조물

2경간 2층 철골 구조물은 모든 기둥의 단면 치수는 동일한 값을 가지며, 각 층별 보단면의 치수로 설계변수의 수는 3개이다. 이 구조물의 제원과 하중상태는 Fig. 3과 같으며, 사용된 이산자료는 AISC의 총 291개의 W-단면중 차례로 256개의 단면중에서 선택하도록 하였다. 이 경우 전공간 검색을 통해 2412개의 국지최적설계를 찾았으며, 이로부터 전공간 최적설계를 구하였다. GAs 및 다른 여러 최적화 기법에 의한 설계 결과는 Table 4와 같다. Table 4로부터 GAs에 의한 설계가 전공간 최적설계가 됨을 알 수 있다.

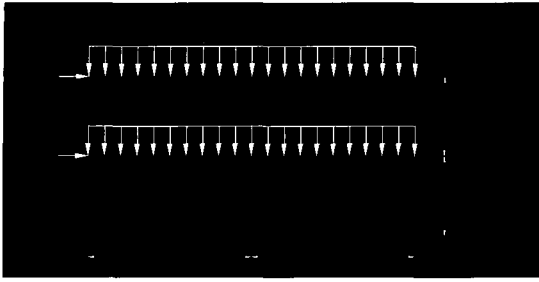


Fig. 3 Geometry of 2-bay 2-story steel plane frame

5.4 4경간 5층과 철골 구조물

4경간 5층 구조물은 한 경간은 6m이고, 각층의 높이는 4m이다. 하중으로는 보에 작용하는 활하중 50.0kg/cm와 사하중 60.0kg/cm으로 하였다. 설계변수의 수는 안기둥과 바깥기둥에 대한 단면치수와 각층별 보에 대한 단면치수로 7개이다. 사용된 이산자료는 2경간 2층 구조물과 같은 AISC의 256개의 W-단면을 사용하여 ASD방법으로 구조물의 총중량을 최소가 되게 설계하였다. GAs 및 다른 최적화 방법에 의한 결과는 Table 4와 같다. Table 4로부터 GAs에 의한 설계가 가장 나은 설계가 됨을 알 수 있다. 이 구조물의 경우 GAs-SA에 의한 설계는 GAs에 의한 설계와 같이 GAs의 설계부근에는 더 나은 설계가 없는 것으로 여겨지며, 설계공간이 큰 관계로 전공간 검색을 적용시킬 수 없어 전공간 최적설계를 찾지 못했다.

Table 4 Results of 2-bay 2-story, 4-bay 5-story steel frame

Method	(단위: kg)	
	2-bay 2-story	4-bay 5-story
Exhaustive Search	15359.43	*
Genetic Algorithms	15359.43	27303.71
Simulated Annealing	20615.77	27533.58
Shuffled Complex Evolution	16287.86	35072.71
GAs-SA	*	27303.71
GAs-SCE	*	27303.71

6. 결 론

본 연구에서는 규격부재를 사용한 철근콘크리트 구조물과 철골구조물 최적설계를 이산변수 최적화문제로 취급하여 설계하였으며, 최적화기법으로는 Genetic Algorithms, Simulated Annealing, Shuffled Complex Evolution, Pattern Search, Coordinate Descent, Exhaustive search를 사용하였다. 이와 같이 규격부재를 사용한 구조물의 이산최적설계를 위한 최적화 방법중 GAs에 의한 설계가 다른 최적화방법 보다 나은 설계로의 접근이 가능함을 보여 주었으며, 또한 GAs는 전공간 설계이거나 이에 가까운 설계로 접근함을 확인할 수 있었다. 이처럼 GAs는 전공간 설계이거나 이 설계근처로 접근하는 특징이 있기 때문에 GAs와 다른 최적화기법을 병행하여 사용하는 일종의 Hybrid방법을 사용하면 보다 나은 설계를 구할 수 있

다. 본 연구에서 Hybrid방법으로는 GAs-SA와 GAs-SCE를 사용하였으나, GAs-SA방법을 사용함으로써 다른 여러 검색방법보다 나은 설계로의 접근이 가능해짐을 확인하였다. 결론적으로 GAs는 최적화 과정중 함수의 연속성 및 미분값이 요구되지 않는 단순 수리과정임을 고려하면 현실적인 이산최적화문제의 해결에 매우 적합한 방법이라 하겠다.

후 기

본 연구는 2001년 경상대학교 연구년제연구교수 연구지원 과제이며 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김봉익 (1999). "규격부재를 사용한 뼈대구조물의 이산최적화", 대한토목학회논문집, 제19권 제 I -6호, pp 869-878.
- 김기화, 양영순 (1995). "실수형 Genetic Algorithm에 의한 최적설계", 전산구조공학회, 제8권 제2호, pp 123-132.
- Balling, R.J. (1991). "Optimal Steel Frame Design by Simulated Annealing", Journal of Structural Engineering, Vol 117, No 6, pp 1780-1795.
- Balling, R.J. and Yao, X (1997). "Optimization of Reinforced Concrete Frames", Journal of Structural Engineering, Vol 123, No 2, pp 193-202.
- Carroll, D.L. "FORTRAN Genetic Algorithm Driver", Department of Aeronautical and Astronautical Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.
- Chan, C.M. (1992). "An Optimality Criteria Algorithms for Tall Steel Building Design Using Commercial Standard Sections", Structural Optimization, Vol 5, pp 26-29.
- Duan, Q.Y., Gupta, V.K. and Sorooshian, S. (1993). "Shuffled Complex Evolution for Effective and Efficient Global Minimization", Journal of Optimization Theory and Application, Vol 76, No 3, pp 501-521.
- Goldberg, E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Holland. J.H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems, The University of Michigan Press.
- Jenkins, W.M. (1992). "Plane Frame Optimum Design Environment Based on Genetic Algorithm", Journal of the Structural Engineering, ASCE, Vol 118, No 11, pp 3103-3112.
- Kickpatrick, C., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P. (1983). "Optimization by Simulated Annealing", Science, Vol 220, No 4598, pp 671-680.
- Kirsch, U. (1997). "Effective Move Limits for Approximate Structural Optimization", Journal of Structural Enginee-

- ring, Vol 123, No 2, pp 210-217.
- Kocer, F.Y. and Arora, J.S. (1997). "Standardization of Steel Pole Design Using Discrete Optimization", *Journal of Structural Engineering*, Vol 123, No 3, pp 345-349.
- Krakovski, M.B. and Park, S.K. (1993). "Optimization of Reinforced Concrete Structures on the Basis of the Principle of Divided Parameters", *Proceedings of the Fourth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Seoul, Korea, pp 1999-2004.
- Rajeev S. and Krishnamoorthy, C.S. (1992). "Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithm". *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol 118, No 5, pp 1233-1250.
-
- 2002년 5월 28일 원고 접수
2002년 7월 31일 최종 수정본 채택