

# 유전자 알고리즘을 이용한 철근콘크리트 보의 단면 최적설계

김봉익\* · 권중현\*

\*경상대학교 해양토목공학과 해양산업연구소

## Optimum Design of Reinforced Concrete Beam Using Genetic Algorithms

Bong-Ik Kim\* and Jung-Hyun Kwon\*

\*Dept. of Ocean Civil Engineering, Gyeongsang Univ, Tongyeong, Korea

**KEY WORDS:** Optimum design 최적설계, Reinforced concrete beam 철근콘크리트 보, Genetic algorithms 유전자 알고리즘

**ABSTRACT:** We present an optimum design method for a rectangular reinforced concrete beam using Genetic Algorithms. The optimum design procedure in this paper employs 2 design cases: i) all of the design variables ( $b$ ,  $d$ ,  $A_s$ ) of the rectangular reinforced concrete section are used pseudo-continuously, ii) one is pseudo-continuous for the concrete cross section ( $b$ ,  $d$ ) and the other is discrete, using an index for the steel area ( $A_s$ ). The optimum design in this paper uses Chakrabarty's model. In this paper, the Genetic Algorithms use the method of Elitism and penalty parameters to improve the fitness in the reproduction process, which leads to very practical designs. The optimum design of the steel area in the examples uses ASTM standard reinforcing bars (#3~#11, #14, #18).

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 토목구조물이나 건축구조물 뿐만 아니라 해양구조물에서도 다양하게 사용되고 있다. 철근콘크리트 구조물(Reinforced concrete structures; RC)은 재료의 특성상 강(Steel)재료를 사용하는 구조물에 비해 유지보수비용이 저렴하며, 또한 다양한 단면으로 시공이 가능한 것이 장점이다. 그러나 철근콘크리트 구조물은 철근과 콘크리트에 의한 혼합재료를 사용함으로 설계 및 해석에는 많은 어려움이 있다. 특히 철근콘크리트 구조물의 단면최적설계는 다양한 단면(사각형, 원, T형, I형, Box형 등) 및 혼합재료를 사용하여 설계함으로써 설계변수의 수가 증가 할 수 있다. 일반적으로 철근콘크리트 보의 설계 경우 우선 예상되는 단면의 자중을 포함한 초기단면을 결정한 후 이 초기단면의 모멘트저항능력을 구한다. 다음으로 보에 주어진 실하중에 의한 단면의 모멘트저항능력과 초기단면의 모멘트저항능력을 서로 비교하여 초기단면이 선택될지의 여부를 판단한다. 이 과정은 초기단면에 의한 모멘트저항능력이 실하중에 의한 단면의 모멘트저항능력을 초과 할 때 까지 계속된다. 이런 설계방법은 자중을 포함한 하중에 의한 모멘트와 단면의 모멘트저항능력을 적절하게 하는 단면을 구하는데 많은 시간이 요구되며 경제적이지 못하다. 이에 철근콘크리트 보의 경제적인 단면설계를 위한 보다 나은 설계방법(최적화방법)이 요구된다. 철근콘크리트 보의 단면 최적설계에 대한 연구는 여러 연구자들에 의해 소개 되었다(Camp et al., 2003; Hadi, 2003; Haug and Arora, 1979; Coello et al., 1997; Saouma and Murad,

1984; Leps and Sejnoha, 2003; Sirca and Adeli, 2004; 김봉익, 1999; 김봉익과 권중현, 2003). Camp et al.(2003)는 철근콘크리트 프레임구조물에 대해 유전자 알고리즘으로 비용이 최소가 되게 단면을 설계하였으며, 설계조건은 ACI code를 사용하였다. Leps and Sejnoha(2003)는 철근콘크리트 보에 대해 Simulated annealing방법을 사용하여 구조물의 전체비용이 최소화되게 설계하였다. Sirca and Adeli(2004)는 프리스트레스트콘크리트 교량에 대해 혼합된 Integer-discrete nonlinear법과 Neural dynamics방법을 사용하여 최적설계하였으며, 설계단면으로는 여러 타입의 I-Beam을 사용하였다. Hadi(2003)는 단순 지지된 콘크리트보에 대해 Neural network방법을 사용하여 단면최적설계를 연구하였다. Hang and Arora(1979)는 단순보와 캔틸레버보에 대해 보의 무게가 최소가 되게 최적 설계하였으며, 응력, 변위, 고유진동수에 대한 제약조건과 Gradient projection에 의한 최적화 방법을 사용하였다. Coello et al.(1997)는 사각형단면을 가진 단순보에 대해 설계비용이 최소가 되게 최적 설계하였으며, Chakrabarty의 모델을 사용하여 유전자 알고리즘으로 단면을 최적설계 하였다. Saouma and Murad(1984)는 부분적으로 프리스트레스트가해진 단순보의 비용 최적설계를 하였다. 여기서 6개의 기하학적 설계변수와 3개의 강제에 대한 설계변수로 모두 9개의 설계변수가 사용되었고, 4개의 응력제약조건으로 Penalty함수를 사용하여 최적 설계하였다. 김봉익(1997), 김봉익과 권중현(2003)은 철근콘크리트 프레임구조물과 강구조물에 대해 이산자료를 사용한 이산최적설계를 연구하였으며, 최적화 방법으로는 유전자 알고리즘을 사용하였다.

교신저자 김봉익: 경상남도 통영시 인평동 445, 055-640-3154, bikim@gnu.ac.kr

본 연구에서는 사각형단면을 가진 철근콘크리트 보에서 보의 인장측에 철근을 배치하는 단철근 단순보의 단면최적설계에 대해 연구하였다. 최적화과정에는 콘크리트, 철근, 거푸집에 의한 설계비용이 최소가 되게 하였으며, 강도설계법과 유전자 알고리즘을 사용하였다. 그리고 철근콘크리트 보의 최적화의 정식화에는 Chakrabarty(1992)의 모델을 사용하였다. 본 연구에서는 2경우의 최적화 방법을 사용하였으며, i) 설계변수를 콘크리트 단면과 철근의 치수에 모두 연속변수를 사용하여 최적 설계한 경우이며, ii) 콘크리트 단면은 연속변수를 철근의 치수에는 이산자료 중에서 이산값을 선택하는 이산변수를 사용하여 단면을 최적화 하였다.

### 2. 구조물의 최적화 문제형성

직사각형 단면을 가진 철근콘크리트 보의 단면최적설계에 대한 제원은 Fig. 1과 같다. 철근콘크리트 보의 단면최적설계에는 직사각형단면의 높이( $d$ ), 폭( $b$ )과 인장측에 배근된 인장철근단면적( $A_s$ )으로 3개의 설계변수가 사용되었으며, 콘크리트와 철근, 그리고 측면과 하부의 거푸집에 사용되는 재료의 총비용이 최소가 되게 설계하였다. 철근콘크리트 보의 단면최적설계에 사용된 단면은 Chakrabarty의 모델을 사용하였으며, 강도설계법으로 설계하였다. 제약조건은 보의 높이와 폭에 대한 비율, 보의 최소폭등이다. 철근콘크리트 보의 단면최적화에 대한 목적 함수와 제약조건식은 아래와 같다.

$$\text{Minimize: } f(x) = c_1A_s + c_2bd + c_3d + c_4b \tag{1}$$

subject to:

$$\frac{a_1}{A_s} a_7 b < 1 \tag{2}$$

(equilibrium constraint)

$$\frac{a_2 + a_3bd}{M_t} < 1 \tag{3}$$

(total bending moment compatibility constraint)

$$Q(d - a_5a_7)(f_r f_c' a_7 b + A_s) a_5 f_y / M_t \geq 1 \tag{4}$$

(bending moment constraint)

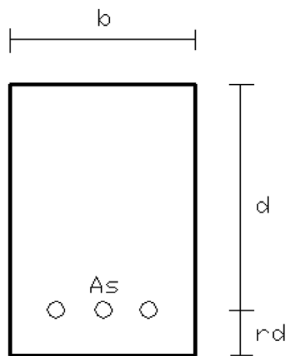


Fig. 1 Dimension section of singly reinforced rectangular beam

$$a_6 b / d < 1 \tag{5}$$

(beam width: depth ratio constraint)

$$A_s, b, d, M_t, a_7 > 0 \tag{6}$$

(non-negativity constraint)

여기서,  $f(x)$ ; 보의 단위길이당의 비용(\$/cm)

$b$ ; 보의 폭(cm)

$h$ ; 보의 높이(cm)

$A_s$ ; 보의 인장철근의 단면적( $\text{cm}^2$ )

$c_1$ ; 보의 인장철근에 사용되는 비용계수(\$/ $\text{cm}^3$ )

$c_2$ ; 보의 콘크리트에 의한 비용계수(\$/ $\text{cm}^3$ )

$c_3$ ; 보의 수직면에 따른 거푸집의 비용계수(\$/ $\text{cm}^2$ )

$c_4$ ; 보의 바닥면에 따른 거푸집의 비용계수(\$/ $\text{cm}^2$ )

최적화 함수  $f(x)$ 에 사용된  $c_1, c_2, c_3, c_4$ 는 다음과 같다.

$$c_1 = w_s \times c_s \tag{7}$$

여기서,  $w_s$ 는 철근의 단위무게와 이에 대한 비용이며,  $w_s = 0.00785\text{kg}/\text{cm}^3$ (가정된 값),  $c_s$ (\$/kg)는 철근의 단위 무게당 비용이다.

$$c_2 = (1+r)c_c \times 10^{-6} (\$/\text{cm}^3) \tag{8}$$

여기서,  $c_c$ 는 콘크리트단위비용(\$/ $\text{cm}^3$ )이며,  $r$ 은 인장철근의 피복두께비율이다.

$$c_3 = 2(1+r)r_c \times 10^{-4} (\$/\text{cm}^2) \tag{9}$$

$$c_4 = c_r \times 10^{-4} (\$/\text{cm}^2) \tag{10}$$

여기서,  $c_r$ (\$/ $\text{cm}^2$ )은 거푸집의 단위체적당 비용이다.

그리고, 제약조건에 사용된  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ 에 대한 값은 다음과 같다.

$$a_1 = 0.85 f_c' / f_y \tag{11}$$

여기서,  $f_y$ 는 철근의 항복강도( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )이며,  $f_c'$ 는 콘크리트압축강도( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )이다.

$$a_3 = D(1+r)w_k L^2 \tag{12}$$

여기서,  $D$ 는 사하중의 하중계수로 1.4로 가정하며,  $w_k$ 는 콘크리트의 단위무게하중으로  $0.002324\text{kgf}/\text{cm}^3$ 이다.  $k$ 는 설계단면에 대한 모멘트계수로 단순보의 경우 1.8로 가정하며,  $L$ (cm)은 보의 길이이다.

$$a_4 = 1 / (f_r Q f_c') \tag{13}$$

여기서,  $Q$ 는 감소능력계수로 보의 경우 0.90을 사용하며,  $f_r$ 은 콘크리트의 감소계수로 0.85를 사용한다.

제약조건식중  $a_2$ (kg cm)는 작용휨모멘트하중이며,  $a_5$ 는 콘크리트 압축응력블럭의 도심에 압축력이 작용한다고 가정하며 0.5를 사용한다.  $a_6$ 는 보의 최소폭에 대한 조건이며,  $a_7$ 은 콘크리트

압축에서 등가 압축블럭의 높이이다.

$$a_7 = A_s / (a_1 b) \tag{14}$$

그리고 단면설계에 필요한 자중을 포함한 휨모멘트는 다음과 같다.

$$M_t = a_2 + a_3 b d \tag{15}$$

### 3. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 생물진화 과정을 수리 모델화시켜 문제를 해결하는 방법이다(Holland, 1975; Goldberg, 1989). 유전자 알고리즘은 이진코드(Binary code)를 사용함으로 이산설계변수를 사용하여 설계할 경우 매우 효율적이며, 연속변수를 사용할 경우에는 준연속변수(Pseudocontinuous)를 사용하여 연속변수화할 수 있다. 유전자 알고리즘은 제약조건 및 복합하중에 대한 제약을 두지 않으며, 초기 설계값이 요구되지 않는다. 유전자 알고리즘은 함수의 미분가능성이나 함수의 Convexity를 요구하지 않고 단지 함수의 값만 요구되므로 이산변수를 사용한 최적설계나 준연속변수에 의한 연속변수를 사용하는 최적화문제의 해결에는 매우 적합한 설계방법이라 할 수 있다. 또한 유전자 알고리즘은 일반적인 최적화 방법에서처럼 초기 설계값을 사용하지 않고 설계집단을 사용하므로 설계값이 한쪽으로 치우쳐서 나쁜 결과를 가져오는 현상을 다소 해소할 수 있다. 그러나 유전자 알고리즘은 설계집단을 사용함으로써 다른 여러 가지 최적화 방법보다는 다소 많은 계산이 요구되지만 전공간설계(Global minima)를 찾을 수 있는 이점이 있다. 이처럼 유전자 알고리즘은 설계집단을 사용하므로 현대의 집단 내에서 적합성이 높은 설계가 다음 세대로 전달되며, 이들이 번식(Reproduction), 교차(Crossover), 돌연변이(Mutation) 등의 과정을 거쳐 새로운 세대를 이루게 된다. 유전자 알고리즘이 최적설계를 위한 다른 탐색방법과 다른 점은 현 설계에서 개선된 설계로의 이동이 집단에서 집단으로 이루어진다는 점이며, 이러한 세대가 반복되면서 우수한 설계들로 구성되는 설계집단 중 가장 우수했던 설계가 최적의 해(설계)가 되는 것이다.

#### 3.1 설계변수의 코드화

유전자 알고리즘은 설계변수 그 자체를 사용하지 않고 문자열(String)을 사용한다. 유전자 알고리즘은 설계변수에 해당되는 각 문자열은 생물학에서는 염색체(Chromosome)에 해당되며, 이산설계변수의 값을 나타낼 수 있는 2진수(Binary numbers)를 사용한다. 다시 말해서, 10진수의 설계변수는 코드변환과정으로 2진수로 변환되고, 이 2진수로 구성된 문자열이 하나의 설계변수가 된다.

#### 3.2 번식

번식은 현 세대의 설계집단에서 다음세대의 설계집단으로 보다 나은 설계를 전달하기 위한 정보를 각 개체에 제공하는 과정이다. 번식과정에서 초기 설계집단은 모두 무작위하게 집단

이 구성된다. 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. 본 연구에서는 번식과정에서 Elitism(Goldberg, 1989)을 사용하였으며, Elitism이란 현 세대에서 가장 우수한 하나의 개체만 다음세대에서 전달되며, 다음세대에 전달된 하나의 개체 외에는 모두가 무작위과정(Random processor)을 거쳐 새롭게 설계집단을 구성하도록 하는 과정이다.

#### 3.3 교차

교차는 번식의 과정 후 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 번식 후 구성된 현 집단에서 무작위로 선택된다. 교차는 모든 개체에 대해 전부 이루어지는 것이 아니라 교차확률( $p_c$ )에 따라 선택적으로 이루어진다. 본 연구에서는 2점 교차방법을 사용하였으며, 교차확률( $p_c$ )은 0.5를 사용하였다.

#### 3.4 돌연변이

돌연변이는 번식과정중 열성 개체만으로 이루어지는 것을 방지하기 위해 개체들 사이에 새로운 변화를 주는 매우 중요한 과정이다. 생물학에서도 돌연변이를 통해 새로운 종이 나타나듯이 유전자 알고리즘에서도 돌연변이과정을 통해 또 다른 국지최적설계(Local minima)를 찾을 수 있다. 즉 돌연변이과정은 선택된 하나의 국지 최적설계에 머물지 않고 또 다른 국지 최적설계로 이동할 수 있게 하는 과정이다. 돌연변이는 한 집단 내의 모든 2진 문자열의 전체 비트를 대상으로 하며, 각 비트에 대해 무작위 수와 돌연변이 확률을 비교하여 무작위수가 돌연변이 확률( $P_m$ )보다 적은 경우 해당되는 비트가 반대값(0은 1로, 1은 0으로)을 갖는 과정이다. 돌연변이 확률( $P_m$ )은 0.02를 사용하였다.

연속변수와 이산변수를 사용한 철근콘크리트 보의 단면최적설계에 대해 본 연구에서 제시된 유전자 알고리즘의 과정을 요약하면 다음과 같다.

- i) 번식과정에서 설계집단을 구성할 때 설계제약조건이 만족 만족되는 설계만으로 새로운 설계집단을 구성하였다.
- ii) 번식과정에서 Elitism의 방법을 사용하였으며, 하나의 가장 우수한 개체가 다음 세대에서 2개의 새로운 개체가 되도록 하였다.
- iii) 교차과정에서는 2점 교차 방식을 사용하였으며, 교차확률을 0.5로 하였으며, 돌연변이확률은 0.02를 사용하였다.

## 4. 설계 예제

유전자 알고리즘을 이용한 직사각형 단면을 가진 철근콘크리트 보에는 2 경우(2 case)에 대해 단면최적설계를 하였다. i) 설계변수를 콘크리트 단면과 철근의 치수에 모두 연속변수를 사

용하여 최적설계한 경우이며, ii) 콘크리트 단면은 연속변수를 철근의 치수에는 이산자료 중에서 이산값을 선택하는 이산변수를 사용하여 단면을 최적화 하는 경우이다. 철근콘크리트보의 단면설계에는 Everard and Tanner(1987)에 의한 사각단면에 대한 예제를 사용하였으며, 이의 결과를 서로 비교하였다.

직사각형단면을 가진 철근콘크리트 단순보의 설계에는 자중 1529.574kgf(15kN/m)과 등분포하중 2039.432kgf(20kN/m)가 작용한다. 콘크리트강도  $f'_c$ 는 305.9149kgf/cm<sup>2</sup>, 철근의 항복강도  $f_y$ 는 3059.149kgf/cm<sup>2</sup>이다. 철근, 콘크리트, 거푸집의 비용은 각각 \$0.72/kg(cs), \$64.5/m<sup>3</sup>(cc), \$2.155/m<sup>2</sup>(csh)이다. 보의 길이는 10m이며, 콘크리트단위무게는 2,323kg/m<sup>3</sup>, 피복비(r)는 0.10, 감소계수는 0.9이다. 보의 등분포하중강도는  $1.40 \times 15 + 1.7 \times 20 = 55\text{kN/m}$ (5608.439kgf)이며, 작용휨모멘트는  $55 \times 10^2/8 = 687.5\text{kN-m}$ (70105.49kgf)이다. 지금까지의 자료를 사용하여 구해진 최적화에 사용될 상수 값들은 다음과 같다.

$$c_1 = 0.0056520, c_2 = 0.00007095, c_3 = 0.00047410$$

$$c_4 = 0.00021550, a_1 = 11.76470588, a_2 = 68,750,000$$

$$a_3 = 438,233,950, a_4 = 0.00043573, a_5 = 0.50$$

$$a_6 = 0.40$$

먼저 설계변수를 콘크리트 단면과 철근의 치수에 모두 연속변수를 사용하여 최적설계한 경우로서, Table 1은 Chakrabarty에 의한 결과와 비교하였으며, Table 2는 Chakrabarty와 Coello의 결과를 본 연구와 서로 비교하였다. Table 1로부터 Chakrabarty에 의한 설계단면과 본 연구에 의한 설계단면이 일치함을 알 수 있었다. Table 2는 보의 단면의 폭을 30cm 이상으로 제약이 설정된 경우이며, Chakrabarty와 Coello의 결과와 본 연구에 의한 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 다음으로 콘크리트 단면은 연속변수를 철근의 치수에는 이산자료 중에서 이산값을 선택하는 이산변수를 사용하여 단면을 최적화한 경우이

**Table 1** Comparison of design for reinforced concrete beam using continuous variables

Parameter	Chakrabarty	This paper
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	46.3144	46.2842
$b$ (cm)	28.6732	28.6865
$d$ (cm)	71.6831	71.7139
Cost (\$/cm)	0.4478	0.4477

**Table 2** Comparison of design for reinforced concrete beam using continuous variables ( $b \geq 30\text{cm}$ )

Parameter	Chakrabarty	Coello	This paper
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	37.6926	37.5205	37.6916
$b$ (cm)	30.000	30.0022	30.0000
$d$ (cm)	86.0629	86.4776	86.0559
Cost (\$/cm)	0.4435	0.4436	0.4435

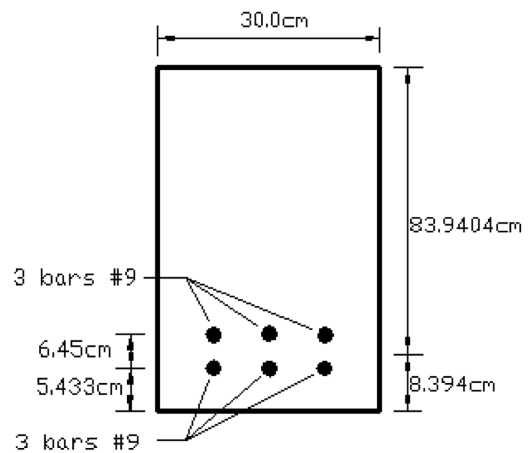
**Table 3** Comparison of design for reinforced concrete beam using continuous variables and discrete variables

Parameter	Chakrabarty	This paper
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	46.3704	45.4845
$b$ (cm)	28.6732	29.0918
$d$ (cm)	71.6831	72.7246
Cost (\$/cm)	0.4481	0.4479

**Table 4** Comparison of design for reinforced concrete beam using continuous variables and discrete variables ( $b \geq 30\text{cm}$ )

Parameter	Coello	This paper
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	41.28	38.7000
$b$ (cm)	30.0000	30.0000
$d$ (cm)	86.4780	83.9404
Cost (\$/cm)	0.4648	0.4437

다. Table 3은 Chakrabarty와의 결과를 비교하였으며, 본 연구에 의한 결과가 Chakrabarty에 의한 결과 보다는 나은 결과를 얻었으나 두 결과의 차이는 크지 않았다. 그러나 콘크리트의 단면과 철근의 단면에 연속변수를 사용한 경우 보다는 콘크리트단면은 연속변수로 철근의 치수는 이산변수로부터 값을 선택하는 방법이 해의 수렴속도 면에서는 우수하였다. 전자의 경우 집단 크기 80의 경우 1672generation에서 해에 수렴하였으나, 후자의 경우 집단 크기 80의 경우 833generation에서 수렴하였다. 이 결과로부터 모두 연속변수를 사용한 경우는 적절한 철근을 선택해야하는 불편함이 있으나 후자와 같이 철근을 이산자료로부터 선택을 함으로서 철근선택에 따른 불편함을 줄일 수 있다. Table 4는 콘크리트는 연속변수, 철근의 단면은 이산변수를 사용한경우로 Coello의 결과와 서로 비교하였으며, 본 연구에 의한 결과가 Coello보다 4.8% 나은 결과를 얻었다. Fig. 2는 Table 4의 결과에 의한 콘크리트는 연속변수, 철근의 단면은 이산변수



**Fig. 2** Optimum design of the RC beam for case 2 (continuous for RC, discrete for steel area)

**Table 5** Properties of reinforcing bars

ASTM standard reinforcing bars			
Bar size	Weight (kg/cm)	Diameter (cm)	Cross-sectional area (cm <sup>2</sup> )
#3	0.5596	0.9525	0.7095
#4	0.9941	1.2700	1.29
#5	1.5522	1.5878	1.9995
#6	2.2353	1.9050	2.838
#7	3.0420	2.2225	3.874
#8	3.9735	2.5400	5.0995
#9	5.0599	2.8650	6.45
#10	6.4037	3.2260	8.1915
#11	7.7068	3.5800	10.062
#14	11.3847	4.300	14.5125
#18	20.2395	5.733	25.8

를 사용한경우의 최적설계단면이다. 철근의 이산자료는 ASTM (American Society for Testing and Materials, 1998)에 의한 자료로부터 Table 5와 같다.

### 5. 결 론

직사각형 단면을 가진 철근콘크리트 단순보의 단면최적설계에 유전자 알고리즘을 사용하였다. 철근콘크리트 구조물은 다양한 단면 및 복합재료를 사용하는 특성상 구조물의 단면설계 및 해석상에 많은 어려움이 따른다. 특히 철근콘크리트 구조물의 단면설계의 경우 복합재료로 인해 설계변수의 수가 증가하므로 일반적으로 사용되는 최적화방법에는 많은 제약이 수반된다. 이와 같이 설계변수 및 제약조건이 증가할 경우에도 적용성이 좋은 유전자 알고리즘을 사용하여 단면최적설계를 하였다. 일반적으로 철근콘크리트 구조물은 연속변수를 사용하여 단면을 설계하고 있으나 본 연구에는 연속변수와 이산변수를 같이 사용하여 단면을 설계하였고, 다른 연구결과와 비교하여 좋은 결과를 얻었다. 특히 철근은 현실적인 측면에서 이산값이다. 그러므로 단면설계경우 철근은 이산자료 중에서 선택 되도록 함으로써 단면 설계에 효율성을 부여 하였다. 지금까지의 결과로 보아 철근콘크리트 구조물의 단면설계의 경우 모든 설계변수를 연속변수로 취급하는 경우보다는 연속변수와 이산자료를 사용하는 이산변수를 혼합해서 사용함으로써 보다 효율적인 단면 최적화를 실현할 수 있었다. 결론적으로 유전자 알고리즘은 최적화 과정중 함수의 연속성 및 미분값이 요구되지 않으며, 설계변수의 수에는 제약을 받지 않는 단순 수리과정임을 고려하면 현실적인 철근콘크리트 구조물의 단면설계 최적화문제의 해결에 매우 적합한 방법이라 하겠다.

### 참 고 문 헌

김봉익 (1999). "규격부재를 사용한 뼈대구조물의 이산최적화", 대한토목학회논문집, 제19권, 제I-6호, pp 869-878.

김봉익, 권중현 (2003). "유전자 알고리즘을 이용한 트러스의 최적설계", 한국해양공학회지, 제17권, 제6호, pp 53-57.

Annual Book for ASTM Standards, Philadelphia. P.A: America Society for Testing and Materials, 1998.

Camp, C., Pezeshk, S. and Hansson, H. (2003). "Flexural Design of Reinforced Concrete Frames Using a Genetic Algorithm", Journal of Structural Engineering, Vol 129, No 1, pp 105-115.

Chakrabarty, B.K. (1992). "A Model for Optimal Design of Reinforced Concrete Beam", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol 118, No 11, pp 3238-3242.

Coello, C.A., Christiansen, A.D. and Hernandez, F.S. (1997). "A Simple Genetic Algorithm for the Design of Reinforced Concrete Beams", Engineering with Computers, Vol 13, pp 185-196.

Everhard, N.J. and Tanner, J.L. (1987). Theory and Problems of Reinforced Concrete Design, McGraw-Hill Book Co, Inc., New York, N.Y.

Goldberg, E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, MA.

Hadi, N.S. (2003). "Neural Networks Applications in Concrete Structures", Computer & Structures, Vol 81, pp 373-381.

Haug, E.J. and Arora, J.S. (1979). Applied Optimal Design, John Wiley, New York.

Holland, J.H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems, The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Leps, M. and Sejnoha, M. (2003). "New Approach to Optimization of Reinforced Concrete Beams", Computers & Structures, Vol 81, pp 1957-1966.

Saouma, V.E. and Murad, R.S. (1984). "Partially Prestressed Concrete Beam Optimization", Journal of Structural Engineering, Vol 110, No 3, pp 589-604.

Sirca, G.F. and Adeli, H. (2004). "Cost Optimization of Prestressed Concrete Bridges", Journal of Structural Engineering, Vol 131, No 3, pp 380-388.

2009년 8월 6일 원고 접수

2009년 11월 16일 심사 완료

2009년 12월 21일 게재 확정