

개선된 유전자 알고리즘을 이용한 산형 골조의 최적화

Optimization of Gable Frame Using the Modified Genetic Algorithm

이 홍 우*
Lee, Hong-Woo

Abstract

Genetic algorithm is one of the best ways to solve a discrete variable optimization problem. Genetic algorithm tends to thrive in an environment in which the search space is uneven and has many hills and valleys. In this study, genetic algorithm is used for solving the design problem of gable structure. The design problem of frame structure has some special features(complicate design space, many nonlinear constraints, integer design variables, termination conditions, special information for frame members, etc.), and these features must be considered in the formulation of optimization problem and the application of genetic algorithm. So, 'FRAME operator', a new genetic operator for solving the frame optimization problem effectively, is developed and applied to the design problem of gable structure. This example shows that the new operator has the possibility to be an effective frame design operator and genetic algorithm is suitable for the frame optimization problem.

keywords : genetic algorithm, frame design, operator

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축 구조물을 경제적으로 설계하기 위한 하나의 도구로서 다양한 형태의 최적화 기법이 연구되어 왔다. 비교적 엄격한 이론적 배경을 갖고 있는 수학적 계획법(mathematical programming)으로부터 실용성을 증가시키기 위하여 사용하는 직관적인 기법들까지 각각의 기법들은 나름대로의 장·단점이 있다.

유전자 알고리즘(genetic algorithm)은 기존의 수학적 계획법 및 여타의 최적화 기법과는 탐색기법 면에서 상당히 큰 차이를 보이기 때문에 기존의 최적화 기법의 단점을 보완할 수 있는 하나의 대안으로서 현재 다양한 가능성이 모색되고 있는 기법이다. 유전자 알고리즘은 생물의 진화과정 중 적자생존이라는 자연선택의 과정을 확률적인 탐색 알고리즘(stochastic search algorithm)으로 모형화 한 것이다. 따라서, 민감도 해석(sensitivity analysis)을 사용

하는 대신 적합도(fitness)라는 개념이 사용된다. 또한, 기존의 최적화 기법이 설계공간의 한 점에서 다른 한 점으로 진행되는 방식을 선택하는 데 비하여 유전자 알고리즘은 여러 설계점들로 하나의 세대(population)를 구성하고 이 세대에서 보다 나은 세대로 진화하는 방식을 사용한다. 즉, 하나의 점이 아닌 한 집단에서 또 다른 집단으로 이동한다.

현재 유전자 알고리즘을 건축구조물의 설계에 적용한 사례를 여러 연구에서 살펴볼 수 있었지만, 대부분의 경우 기존 유전자 알고리즘의 틀에 골조구조물의 설계문제를 맞추려 하였고 골조 구조물의 설계 문제가 갖는 여러 가지 특성을 고려하여 보다 효율적인 새로운 유전자 알고리즘을 찾고자 하는 노력은 많지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 골조 구조물의 특성을 고려할 수 있는 새로운 유전연산자를 개발하고자 한다. 이를 통하여 보편적인 전역이산형최적화 알고리즘(global discrete optimization algorithm)인 유전자 알고리즘을 골조해석에 적합하도록 개선하는 것이 본 연구의 목적이다.

* 정회원 · 서원대학교 건축학과 조교수, 공학박사

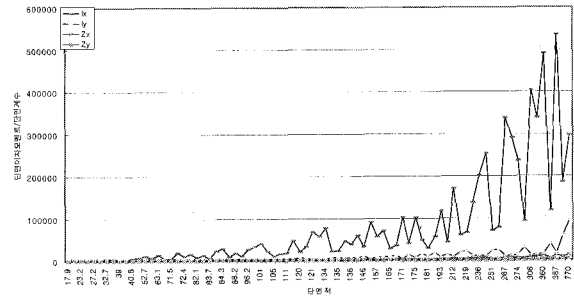
2. 골조 설계문제의 특성

골조 설계문제는 위상설계(topology design)를 포함하여 다양한 형태의 문제 구성이 가능하나 본 연구에서 다루고자 하는 것은 골조의 형태가 주어졌을 때 골조를 구성하는 각 부재의 크기를 결정하는 문제로 골조의 중량을 감소시키는 것이 최적화의 목적이 된다.

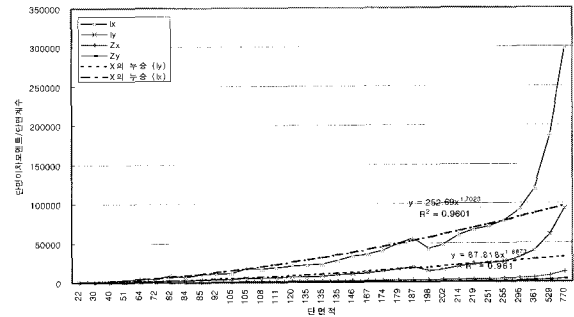
2.1 설계변수의 특성

산형골조 구조물을 일반적인 H-형강으로 구성한다고 가정하면, 최적화 문제를 구성하기 위해 H-형강을 설계변수로 표현하여야 한다. 이에 다양한 방법이 가능하므로, 먼저 H-형강의 특성을 살펴보고 보다 효율적인 방법을 선택하여야 한다.

<표 1>은 보편적으로 실무에서 사용되고 있는 H-형강을 보의 폭과 깊이의 비에 따라 세폭계열, 중폭계열, 광폭계열로 분류하여 정리한 것이다. 골조 구조물의 설계문제는 골조를 구성하는 각 부재로 <표 1>의 부재 중 어떤 것을 선택할 것인가 하는 것으로 귀결된다. 선택을 위해서는 여러 가지 설계조건(응력, 변위 등에 대한 조건)에 대한 적합성 판단이 필요하며, 이러한 판단을 위해서는 각 단면이 갖는 다양한 단면특성치들이 사용되어야 한다. 단면특성치에는 단면적, 단면2차모멘트, 단면계수, 단면2차반경, 폭두께비 등이 포함된다. <그림 1>은 이러한 단면특성치들의 관계를 살펴보기 위하여 표 1의 모든 단면을 단면적 순으로 배치하고 단면2차모멘트와 단면계수의 값이 어떻게 변화하는지를 도시한 것이다. <그림 1>에서 H-형강의 단면적이 증가한다고 하여 단면2차모멘트가 증가한다는 것을 보장하지



<그림 1> H-형강(전체) 단면특성치의 관계



<그림 2> H-형강(광폭계열) 단면특성치의 관계

않는다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 부재를 어떤 순으로 배열하든 모든 단면특성치를 단조증가하거나 단조감소하는 순으로 배열할 수는 없다는 것을 알 수 있다.

<그림 2>는 광폭계열의 부재만을 따로 분리하여 단면적 순으로 배열하고 단면2차모멘트와 단면계수의 변화를 살펴본 것이다. 그림 1보다는 불규칙성이 줄어들었지만 여전히 불규칙성을 내포하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 불규칙성을 감소시키기 위해 H-형강을 계열별로 분리해서 사용하는 것은 근본적인 해결책이 될 수 없다.

골조설계문제에 있어서 설계변수의 불규칙성을 인정하여야 하며, 이에 따라 발생하는 복잡한 설계

<표 1> 계열별 H-형강의 단면자료(세폭, 중폭, 광폭)

번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
세 폭 계 열	H	100	125	150	175	198	248	250	298	300	346	350	396	400	446	450	500	546	550	554	560	564	596	600	606	612										
	B	50	60	75	90	99	124	125	149	150	174	175	199	200	199	200	200	199	200	201	202	203	199	200	201	202										
	tw	5	6	5	5	4.5	5	6	5.5	6.5	6	7	7	8	8	9	10	9	10	11	12	13	10	11	12	13										
	tf	7	8	7	8	7	8	9	8	9	9	11	11	13	12	14	16	14	16	18	21	23	15	17	20	23										
중 폭 계 열	H	148	194	244	294	298	336	340	386	390	440	482	488	582	588	594	692	700	708	792	800	808	890	900	912											
	B	100	150	175	200	201	249	250	299	300	300	300	300	300	300	302	300	300	302	300	300	302	300	302	299	300	302									
	tw	6	6	7	8	9	8	9	9	10	10	11	11	11	12	12	14	13	13	15	14	14	16	15	16	18										
	tf	9	9	11	12	14	12	14	14	16	15	18	15	18	17	20	23	20	24	28	22	26	30	23	28	34										
광 폭 계 열	H	100	125	150	175	200	244	208	248	250	250	300	294	298	300	300	304	338	344	344	350	388	394	350	356	394	400	400	406	414	428	458	498			
	B	100	125	150	175	200	244	252	202	249	250	255	300	302	299	300	305	301	351	348	354	350	402	398	357	352	405	400	408	403	405	407	417	432		
	tw	6	6.5	7	7.5	8	11	10	8	9	14	11	12	9	10	15	11	13	10	16	12	15	11	19	14	18	13	21	16	18	20	30	45			
	tf	8	9	10	11	12	11	16	13	14	14	12	12	14	15	15	17	13	16	16	19	15	18	19	22	18	21	21	24	28	35	50	70			

공간에서 정확한 해를 탐색할 수 있는 전역최적화(global optimization) 기법이 사용되어야 한다. 유전자 알고리즘은 이산성과 불규칙성이라는 설계변수의 특성을 잘 반영할 수 있는 최적화기법이다. 본 연구에서는 산형골조의 설계문제에서 기둥 설계에는 <표 2>의 H-형강(계열 A) 중 하나를 선택하도록 하였고, 보의 설계에는 <표 3>의 H-형강(계열 B) 중 하나를 선택하도록 하였다. <표 1>의 세폭계열 H-형강은 압축력을 받는 부재에는 적합하지 않기 때문에 기둥설계에서는 세폭계열 부재를 제외하고 H-형강의 테이블을 구성하였다.

<표 2> 기둥의 H-형강

계열 A(중폭+광폭) - 기둥															
번호	H	B	tw	tf	번호	H	B	tw	tf	번호	H	B	tw	tf	
1	100	100	6	8	30	344	348	10	16						
2	148	100	6	9	31	440	300	11	18						
3	125	125	6.5	9	32	488	300	11	18						
4	194	150	6	9	33	344	354	16	16						
5	150	150	7	10	34	350	350	12	19						
6	175	175	7.5	11	35	582	300	12	17						
7	244	175	7	11	36	388	402	15	15						
8	200	200	8	12	37	394	398	11	18						
9	200	204	12	12	38	588	300	12	20						
10	234	200	8	12	39	350	357	19	19						
11	244	252	11	11	40	356	352	14	22						
12	298	201	9	14	41	692	300	13	20						
13	208	202	10	16	42	394	405	18	18						
14	248	249	8	13	43	400	400	13	21						
15	336	249	8	12	44	594	302	14	23						
16	250	250	9	14	45	700	300	13	24						
17	340	250	9	14	46	792	300	14	22						
18	250	255	14	14	47	400	408	21	21						
19	300	300	11	12	48	406	403	16	24						
20	294	302	12	12	49	890	299	15	23						
21	298	299	9	14	50	800	300	14	26						
22	300	300	10	15	51	708	302	15	28						
23	386	299	9	14	52	414	405	18	28						
24	300	305	15	15	53	900	300	16	28						
25	304	301	11	17	54	808	302	16	30						
26	434	299	10	15	55	912	302	18	34						
27	338	351	13	13	56	428	407	20	35						
28	390	300	10	16	57	458	417	30	50						
29	482	300	11	15	58	498	432	45	70						

<표 3> 보의 H-형강

계열 B(세폭+중폭+광폭) - 보															
번호	H	B	tw	tf	번호	H	B	tw	tf	번호	H	B	tw	tf	
1	100	50	5	7	29	336	249	8	12	57	344	354	16	16	
2	125	60	6	8	30	250	250	9	14	58	612	202	13	23	
3	150	75	5	7	31	450	200	9	14	59	350	350	12	19	
4	100	100	6	8	32	340	250	9	14	60	582	300	12	17	
5	175	90	5	8	33	250	255	14	14	61	388	402	15	15	
6	198	99	4.5	7	34	300	300	11	12	62	394	398	11	18	
7	148	100	6	9	35	546	199	9	14	63	588	300	12	20	
8	125	125	6.5	9	36	294	302	12	12	64	350	357	19	19	
9	248	124	5	8	37	298	299	9	14	65	356	352	14	22	
10	250	125	6	9	38	500	200	10	16	66	692	300	13	20	
11	194	150	6	9	39	300	300	10	15	67	394	405	18	18	
12	150	150	7	10	40	550	200	10	16	68	400	400	13	21	
13	298	149	5.5	8	41	386	299	9	14	69	594	302	14	23	
14	300	150	6.5	9	42	596	199	10	15	70	700	300	13	24	
15	175	175	7.5	11	43	554	201	11	18	71	792	300	14	22	
16	346	174	6	9	44	600	200	11	17	72	400	408	21	21	
17	244	175	7	11	45	300	305	15	15	73	406	403	16	24	
18	350	175	7	11	46	304	301	11	17	74	890	299	15	23	
19	200	200	8	12	47	434	299	10	15	75	800	300	14	26	
20	200	204	12	12	48	338	351	13	13	76	708	302	15	28	
21	396	199	7	11	49	390	300	10	16	77	414	405	18	28	
22	294	200	8	12	50	482	300	11	15	78	900	300	16	28	
23	244	252	11	11	51	344	348	10	16	79	808	302	16	30	
24	298	201	9	14	52	560	202	12	21	80	912	302	18	34	
25	208	202	10	16	53	606	201	12	20	81	428	407	20	35	
26	400	200	8	13	54	440	300	11	18	82	458	417	30	50	
27	446	199	8	12	55	488	300	11	18	83	498	432	45	70	

2.2 적합도와 제약조건

목적함수(적합도)의 설정과 함께 제약조건을 어떻게 처리하는가 하는 문제는 최적화 문제를 구성함에 있어서 가장 중요한 문제중 하나이다. 유전자 알고리즘은 제약조건이 없는 경우에 적합한 무제약 최적화 기법의 하나이기 때문에 골조의 설계문제에서 살펴볼 수 있는 복잡한 비선형의 제약조건을 직접 적용할 수는 없다. 따라서, 적합도에 변화를 주거나 특수한 유전 연산자를 사용함으로써 제약조건을 표현하는 간접적 기법이 사용되고 있으며, 대표적인 것으로 벌점전략, 복구전략, 거부전략 등을 들 수 있다.

가장 보편적으로 사용되는 기법은 벌점함수(penalty function)을 사용하는 벌점전략이다. 다음은 함수 $f(x)$ 를 최적화하는 문제에 벌점함수를 결합하는 기본적인 형태이다.

$$f_A = f(x) + \epsilon \delta \sum_{i=1}^n g_i \tag{1}$$

여기서, $f(x)$: 적합도, x : 설계변수, g_i : 구속조건
 ϵ : 최대화 문제에서는 -1, 최소화문제에서는 1
 δ : 벌점(penalty) 상수

식(1)의 형태 이외에도 다양한 형태의 벌점함수가 사용되고 있으나, 벌점전략은 벌점함수의 형식에는 상관없이 몇 가지의 근본적인 문제점이 지적되었다.^[1]

첫째, 여러 연구에서 다양한 벌점함수를 사용하고 있음을 살펴볼 수 있는 바와 같이, 벌점과 적합도를 어떻게 결합시키느냐에 관한 방법론에 대한 것으로 공인된 방법론이 없다.

둘째, 벌점상수를 정함에 있어서 높은 벌점을 사용하면 탐색공간이 한정되어 진화가 더디고 지역해로 수렴할 위험이 있으며, 벌점의 강도가 너무 작으면 무용해(infeasible solution)가 최적해로 선택될 가능성이 높아진다.

셋째, 벌점상수와도 연관되지만, 근본적으로 무용해를 완전히 배제할 수는 없다는 점이다. 무용해, 즉 제약조건을 만족하지 않는 해는, 골조설계의 경우를 예로 들면, 설계규준의 제한사항을 만족하지 않는

부재를 최적해로 선택한 것으로 이해될 수 있다. 대부분의 설계자들은 이러한 무용해가 나올 수 있는 프로그램을 구조물의 설계도구로 사용하지는 않을 것이다.

다음으로 제약조건을 만족하지 않는 개체가 발생하면, 복구알고리즘을 사용하여 개체의 적합성을 회복시켜주는 복구전략을 사용할 수 있다. 그러나, 선택, 교배, 돌연변이 등의 유전연산자들은 각각의 독특한 연산과정을 통해서 새로운 개체를 생산하게 되므로, 각각의 연산과정을 고려할 수 있는 복구알고리즘을 고안하는 것이 쉽지 않다. 그렇기 때문에 구조물의 최적설계 문제에 복구알고리즘을 사용한 연구는 거의 살펴볼 수 없었다.

마지막으로 가장 단순하면서도 명료한 전략인 거부전략(rejection strategy)이 있다. 거부전략의 경우 전체 설계공간내에서 유용해가 존재하는 설계가능 영역(feasible design region)이 좁은 경우에 유용한 해(feasible solution)를 찾기 위해서 계산량이 과다하게 증가할 가능성이 있다. 그러나, 별점전략에서처럼 무용해가 선택될 가능성은 전혀 없으며, 복구전략에서처럼 복잡한 특수연산자의 도입이 필요하지도 않다는 점에서 효과적인 제약조건의 표현 방법으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 비교적 폭넓게 사용되고 있는 별점전략보다는 거부전략을 사용하여 제약조건을 고려한다.

3. 개선된 유전자 알고리즘

3.1 유전자 알고리즘 개요

Holland에 의해 제시된 유전자 알고리즘(GA, genetic algorithm)은 기존의 수학적 계획법(mathematical programming)과는 접근방식이 완전히 다르다. 유전자 알고리즘은 자연세계의 진화현상에 기초한 계산모델이며, 다윈(Darwin)의 적자생존 이론(survival of the fittest)을 기본 법칙으로 한 확률적 탐색 알고리즘이다. 유전자 알고리즘에서는 재생산(reproduction), 교배(crossover), 그리고 돌연변이(mutation) 등 일종의 자연선택적 과정을 확률에 바

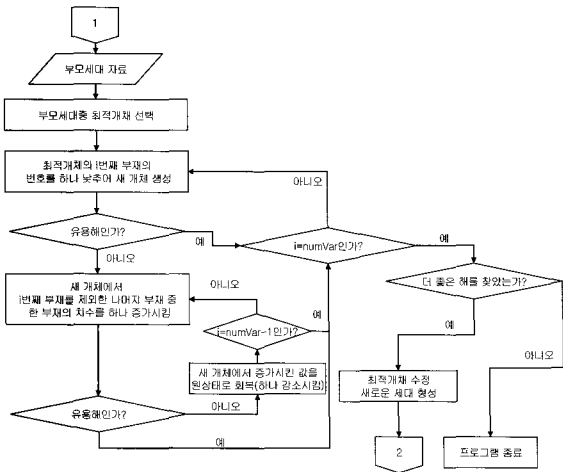
탕을 두고 수학적으로 모델링하여 탐색과정을 구성한다. 이러한 방법은 이산적인 변수의 처리에 유리하며, 문제를 구성하는 함수의 연속성 및 미분가능성 등에 영향을 받지 않고, 전역적인(global) 탐색이 가능하다는 점 등이 장점이다. 그러나, 유전자 알고리즘은 첫째, 벌칙함수(penalty function)를 사용하여 제약조건을 표현할 수도 있지만 기본적으로 제약조건이 없는 문제에 적합한 기법이며, 둘째 확률에 기초한 직관적(heuristic) 방법이라는 등의 단점도 갖고 있다.

유전자 알고리즘을 사용하는데 있어서는 다음의 6가지의 기본 사항을 결정하여야 한다 : ① 개체의 표현방법, ② 선택 함수(selection function), ③ 교배(crossover)와 돌연변이(mutation)등의 재생산 함수, ④ 초기 세대의 생산방안, ⑤ 종료 기준(termination criteria), ⑥ 적합도 계산 함수(evaluation function). 이상의 6가지 사항은 유전자 알고리즘의 효율성에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 다양한 형태의 유전자 알고리즘을 구분하는 기준이 된다.

3.2 FRAME 유전연산자

유전자 알고리즘은 보편적인 전역이산최적화 알고리즘이므로 보편적인 모든 문제에 적용이 가능하다. 그러나, 이러한 보편성을 추구하다보면 특수한 문제에 있어서는 오히려 효율성이 떨어지기도 한다. 즉, 골조설계에서만 발견되는 특성을 고려하고, 골조설계에 대해서 활용할 수 있는 추가적인 정보를 유전자 알고리즘이 인지하도록 함으로써 골조설계 문제에 대한 효율성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 이러한 유전자알고리즘의 개선은 유전자 알고리즘이 갖고 있는 본래의 장점인 설계변수의 이산성, 전역적 최적화, 최적해로의 수렴성 등을 훼손시키지 않는 범위에서 이루어져야 한다.

골조설계를 위한 새로운 유전연산자를 계획함에 있어서 가장 먼저 염두에 둔 것은 기존 유전자 알고리즘이 갖는 장점을 보존하는 것이었다. 이는 직관적으로 구성되는 새로운 유전연산자가 갖는 오류를 최소화하기 위해서도 필요하다. 따라서, 선택, 교배, 돌연변이 등 기존의 연산자들을 기본적으로 사용하



〈그림 3〉 FRAME 연산자의 흐름도

고 새로운 연산자는 특수한 경우에 보조적으로 사용하는 것으로 한다. 본 연구에서는 기존의 유전연산자들이 새로운 해를 탐색하지 못하고 세대수만 증가하는 경우를 새로운 유전연산자를 적용하여 효율성을 향상시킬 수 있는 부분으로 생각하였다. 그리고, 새로운 연산자는 골조해석에만 적용이 가능하므로 'FRAME 유전연산자'로 명명한다.

FRAME 연산자는 기존의 다른 연산자들이 해를 찾을 수 없는 경우에 적용되기 때문에 현재의 세대를 부모세대(parent population)로 하여 이 세대의 최적개체(best individual)를 중심으로 주변을 탐색하여 보다 나은 개체를 찾는다.

FRAME 연산자의 기본 개념은 아주 단순하다. 즉, 각 개체를 골조를 구성하는 부재를 어떤 것으로 할 것인가 하는 정보로 염색체를 구성하고 있기 때문에 골조를 구성하는 부재의 크기를 줄이면 적합도는 감소하므로 더 나은 개체가 될 것이다. 그러나, 이 경우 제약조건을 위배할 수 있으므로, 최적개체를 구성하는 개별 염색체를 조절하며 최적개체의 주위에서 제약조건을 위배하지 않으며 더 나은 개체가 있는지를 탐색한다.

골조를 구성하는 모든 부재를 하나씩 감소시키며 제약조건을 위배하지 않고 새로운 해를 탐색할 수 있는지를 검토하였는데 새로운 해가 없다면 더 이상 해를 탐색할 수 없다고 판단하고 유전자 알고리즘을 종료한다. 이러한 방법은 잘못하면 지역해(local optimum)를 최적해로 제시하는 오류를 발생시킬 수

있으므로 실패를 통하여 오류의 발생가능성을 검증하여야 한다.

기존의 유전자 알고리즘은 최대세대수의 제한이 외에 특별한 종료기준이 없으므로 새로운 종료기준의 설정을 통하여 유전자 알고리즘이 불필요한 계산을 지속하는 것을 방지할 수 있을 것이다.

FRAME 연산자의 유효성과 효율성은 산형골조의 설계문제를 통하여 기본적인 검토가 가능하다.

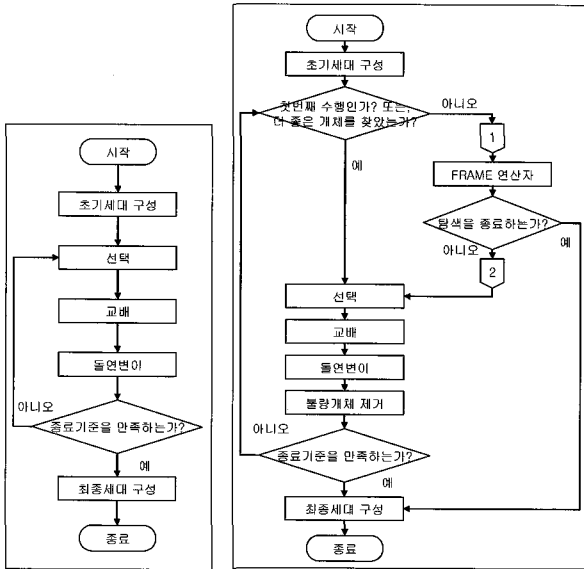
3.3 프로그램의 구성

본 연구에서는 Houck 등의 연구^[2]에서 제시된 유전자알고리즘의 구성과 기본 연산자를 활용하였다. 먼저, 설계변수의 표현은 이진수형과 실수형을 허용하고 있는데 본 연구에서는 실수형을 변형하여 정수형을 만들었다. 그리고, H-형강의 부재번호를 설계변수로 설정하였다.

정수형변수는 실수형변수의 특수한 형태이기 때문에 실수형변수를 사용할 수 있도록 개발된 여러 유전연산자들을 그대로 사용할 수 있었다. 먼저, 선택연산자(selection operator)로는 'normalized geometric ranking method(NGRM)'를 사용하였다. 교배연산자(crossover operator)로는 'arithmetic crossover'와 'heuristic crossover', 'simple crossover'를 사용하였다. 돌연변이 연산자(mutation operator)로는 'boundary mutation'과 'uniform mutation', 'non-uniform mutation', 'multi-nonuniform mutation'을 사용하였다.

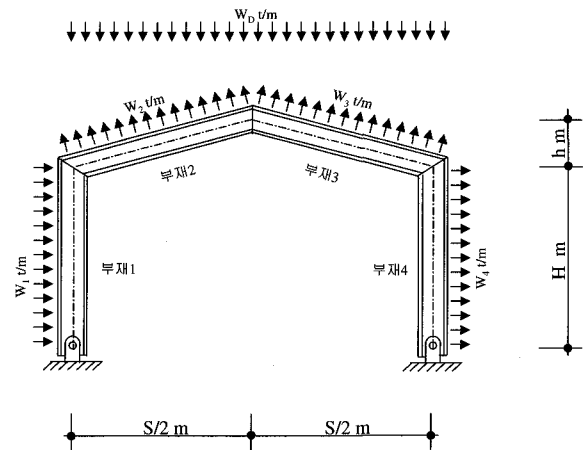
종료기준으로는 최대 세대수를 정하는 방법을 사용하였다. 초기 세대의 생산은 난수에 의해 임의로 선택하되 만약 제약조건을 위배하는 개체가 선택된다면 그 개체를 버리고 새로운 개체를 선택함으로써 초기 세대의 모든 개체가 제약조건을 위배하지 않도록 하였다.

적합도 함수는 구조물의 중량을 최소화하는 것으로 설정하였으며, 벌칙함수의 개념을 사용하였다. 만일, 어떠한 제약조건이든 제약조건을 위배하면 적합도, 'F=-1000000'로 설정하고, 그렇지 않으면 적합도, 'F=Fmax-구조물 중량'으로 설정한다. 여기서, Fmax는 적합도가 음수가 되는 것을 피할 수 있도록



〈그림 4〉 유전자 알고리즘의 흐름도

〈그림 5〉 개선된 유전자 알고리즘의 흐름도



〈그림 6〉 산형 골조 모델

기본 풍속은 35m/s, 노풍도는 B로 가정하며, 설계 속도압은 $P=70\text{kg/m}^2$ 로 설정하였다. 고정하중은 $wD=45\text{kg/m}^2$ 이다. 〈그림 6〉은 최적화에 사용한 산형 골조의 모델이며, 설계에는 <표 1>에 제시한 H-형 강을 사용한다.

산형골조를 설계하는 문제는 <표 5>와 같이 구성되었다. 여기에서 제약조건은 대한건축학회의 '강구조 계산규준 및 해설'을 참고로 하여 설정하였다. 산형골조는 좌우 대칭이기 때문에 부재 1과 부재 4를 기둥 그룹으로, 부재 2와 부재 3을 보 그룹으로 설정하여 2개의 설계변수로 표현하였다.

〈표 4〉 등분포 하중의 산정

항목	풍력계수 (C)	설계속도압 (P, kg/m ²)	풍하중 (C×P×LS, kg/m)
w1	0.8	0.07	0.252
w2	1.0	0.07	0.315
w3	0.7	0.07	0.221
w4	0.6	0.07	0.189
항목	지붕구조물 자중 (D)		지붕고정하중 (D×LS, kg/m)
wD	0.045kg/m ²		0.203

〈표 5〉 산형골조 설계문제

적절한 값을 적용한다.

이러한 적합도와 연산자들을 적용하여 <그림 4>의 기본적인 유전자 알고리즘을 구성할 수 있다. 여기에 FRAME 연산자를 추가하여 개선된 유전자 알고리즘의 흐름도가 <그림 5>에 제시되었다.

4. 산형골조 설계

4.1 산형골조 설계문제의 구성

산형골조는 지붕의 물매(2h/S)가 1/10이며, 처마 높이(H)는 5 m, 세로 경간(LS)은 4.5m, 가로 경간(S)은 42m이다. 산형 골조에는 풍하중과 자중에 의한 등분포 하중이 작용하며, 풍하중 계산을 위한 설계

- 철골조의 총량함수 $f_A = \sum f_i = \sum \rho A_i \times L_i$
 여기서, $\rho = 7850\text{kg/m}^3 = 7.850 \times 10^{-6}\text{t/cm}^3$
 $A_i = i$ 번째 부재의 단면적, $L_i = i$ 번째 부재의 길이
- 플랜지 폭두께비 $g_{f1} = \frac{B\sqrt{F_y}}{48t_{f1}} - 1.0 \leq 0$
- 웹 플레이트 폭두께비 $g_{f2} = \frac{(H_i - 2t_{w1})\sqrt{F_y}}{110t_{w1}} - 1.0 \leq 0$
 여기서, H_i, B_i, t_{w1}, t_{f1} 는 각각 i 번째 부재에 사용된 H형강의 높이, 폭, 플랜지두께, 웹두께를 나타냄
- 세장비 $g_{f3} = \frac{\lambda}{200} - 1.0 \leq 0$
- 휨과 압축의 조합응력(좌우상하 플랜지) 검토
 $g_{f4} = \left| \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b^{UL}}{f_b} \right| - 1.0 \leq 0$
 $g_{f5} = \left| \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b^{LL}}{f_b} \right| - 1.0 \leq 0$
 $g_{f6} = \left| \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b^{UR}}{f_b} \right| - 1.0 \leq 0$
 $g_{f7} = \left| \frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b^{LR}}{f_b} \right| - 1.0 \leq 0$
 여기서, UL : 상부좌측, LL : 하부좌측
 UR : 상부우측, LR : 하부우측
- 전단응력에 대한 검토 $g_{f8} = \frac{\sigma_s}{f_s} - 1.0 \leq 0$
 여기서, 탄성계수 $E = 2.1 \times 10^5\text{t/cm}^2$
 항복응력 $F_y = 2.4\text{t/cm}^2$

<표 6> 모든 부재 설계 중 상위 30개의 결과(부재 계열 - 1:세폭, 2:중폭, 3:광폭)

순위	기둥 계열	보 계열	기둥 번호	보 번호	골조중량 (ton)	계약조건 최대값	순위	기둥 계열	보 계열	기둥 번호	보 번호	골조중량 (ton)	계약조건 최대값	순위	기둥 계열	보 계열	기둥 번호	보 번호	골조중량 (ton)	계약조건 최대값
1	3	2	6	10	5.03466	-0.0039	11	2	2	5	10	5.12753	-0.03735	55	3	3	7	19	5.4818	-0.19587
2	2	3	4	7	5.03471	-0.11131	12	3	2	8	10	5.13012	-0.14087	56	3	2	9	12	5.48596	-0.15723
3	2	2	4	10	5.04133	-0.05736	13	3	3	9	17	5.13142	-0.1207	57	2	3	5	19	5.492	-0.28043
4	2	3	4	18	5.05127	-0.05943	14	2	3	5	18	5.13747	-0.02371	58	2	1	3	24	5.49449	-0.01884
5	2	2	4	9	5.07447	-0.11478	15	3	2	9	10	5.13804	-0.07478	59	3	3	8	19	5.49459	-0.11198
6	3	3	7	17	5.11069	-0.13046	16	3	3	8	18	5.14006	-0.08965	60	3	3	9	19	5.50252	-0.26539
7	3	2	7	10	5.11732	-0.0925	17	3	3	9	18	5.14798	-0.0899	61	3	1	5	20	5.50864	-0.09967
8	2	3	5	17	5.1209	-0.10078	18	3	2	7	9	5.15045	-0.14341	62	2	2	6	12	5.51304	-0.07708
9	3	3	8	17	5.12349	-0.06691	19	2	3	6	17	5.1585	-0.08338	63	3	3	16	17	5.5247	-0.07696
10	3	3	7	18	5.12726	-0.11992	20	2	2	5	9	5.16066	-0.09866	64	3	3	17	17	5.5247	-0.0737

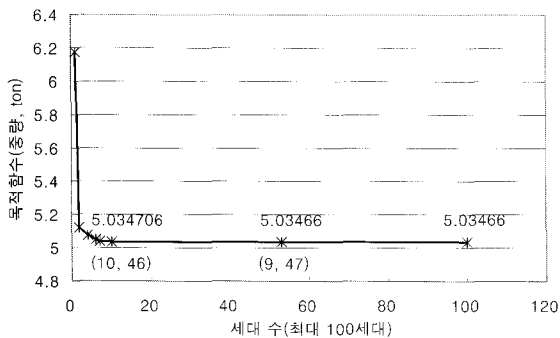
<표 6>은 <표 1>의 모든 H형강을 사용하여 골조의 중량과 제약조건을 계산하였을 때, 제약조건을 위배하지 않으면서 골조의 중량을 적게하는 H형강의 조합을 순서대로 작성한 것이다. 골조의 중량을 최소로 하는 경우(<표 6>의 순위 1번)는 기둥 부재에 광폭계열의 H형강을 사용하고 보 부재에 중폭계열을 사용하였을 때, 각각의 계열에서 <표 4>의 순서에 따라 기둥은 6번째(H-200×204×12×12) 보는 10번째(H-434×299×10×15) 부재를 사용한 경우이며, 이것이 최적해로 이때의 골조 중량은 5.03466 ton이

다. <표 6>에서 기둥계열, 보계열은 기둥과 보부재의 계열로 1은 세폭계열, 2는 중폭계열, 3은 광폭계열을 의미한다. 기둥번호와 보번호는 각 계열별 사용부재의 번호이다. 각 부재의 계열과 번호는 <표 1>의 설계변수에 의해 결정되었다.

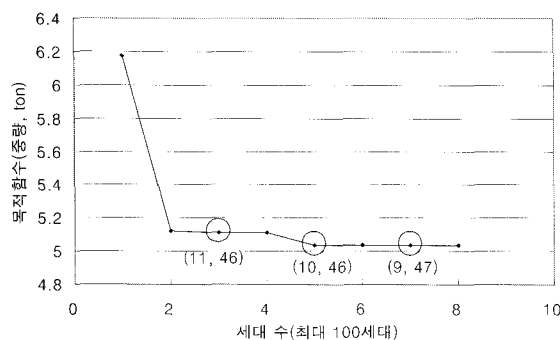
<그림 7>과 <그림 8>은 유전자 알고리즘에 의한 수렴과정 및 최적화 결과이다. 유전자 알고리즘은 확률적인 기법이므로 항상 동일한 형태의 수렴과정을 나타내지는 않는다. 그러나, 매번 수행에서 거의 유사한 결과를 나타내었으므로 가장 대표적인 형태를 그래프로 나타내었다. 유전자 알고리즘에 의한 최적화에는 불규칙성이 큰 <표 2>와 <표 3>의 H-형강배열을 설계변수로 사용하였다.

<그림 7>은 기존의 유전자 알고리즘을 그대로 사용하여 최적화를 수행한 결과이다. 여기에서는 10번째 세대에서 기둥은 10번째 부재, 보는 46번째 부재가 선택되었고, 계속해서 보다 나은 해를 찾지못하다가 53번째 세대에서 기둥에 9번째 부재(H-200×204×12×12), 보에는 47번째 부재(H-434×299×10×15)를 선택함으로써 최적해를 찾았다. 이때 종료 기준은 최대 100세대까지 진화하도록하는 세대수의 제한을 두었다. 100세대까지 계산하는데에는 36.63초의 CPU시간이 소요되었다.

<그림 8>은 FRAME 연산자를 추가하여 개선된 유전자 알고리즘을 사용하여 산형골조 설계문제를 해결한 결과이다. 이 그래프에서 동그라미 표시가 된 3, 5, 7 세대는 FRAME 연산자에 의해 새로운 개체가 탐색된 세대이다. 4번째와 6번째, 8번째 세대에서는 보다 나은 개체가 탐색되지 못하였으며, 9번째 세대에서 FRAME 연산자의 종료기준에 의해 유전



<그림 7> 기존 유전자 알고리즘에 의한 설계



<그림 8> 개선된 유전자 알고리즘에 의한 설계

자 알고리즘에 의한 탐색이 종료되었다. 종료시의 결과는 기둥이 9번째 부재, 보가 47번째 부재로 정확하게 최적해를 탐색하였음을 확인할 수 있다. 계산에 소요된 CPU 시간은 2.61초였다.

<그림 7>과 <그림 8>의 산형골조 설계결과를 통하여 유전자 알고리즘에 의해 정확한 최적해를 찾아낼 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 최적화의 과정을 살펴봄으로써 FRAME 유전연산자의 추가로 인한 탐색 속도의 향상을 확인할 수 있다. <그림 7>에서는 최적해를 탐색하는데 53세대의 진화가 필요하였고, <그림 8>에서는 7번째 세대에서 최적해가 탐색되었다. 또한, 최대세대수만을 종료기준으로 사용한 <그림 7>에서는 최적해 탐색후에도 불필요한 계산이 계속 수행되었으나 <그림 8>에서는 그러한 계산이 거의 없어졌음을 확인할 수 있다. 이상의 결과를 통하여 FRAME 연산자를 사용하는 유전자 알고리즘에 훨씬 효율적인 기법임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 골조 설계문제를 최적화 문제로 구성함에 있어서 살펴볼 수 있는 여러 가지 특성을 분석하고 이를 고려한 새로운 유전연산자인 FRAME연산자를 개발하였다. 그리고, FRAME연산자를 포함한 개선된 유전자 알고리즘을 구성하였고, 이를 산형골조의 최적화 문제에 적용하였다. 이상의 과정을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 설계변수를 H-형강의 번호로 설정하였다. 따라서, 설계변수는 정수이며, 설계변수가 증가 또는 감소함에 따라 그와 연동되어 H-형강의 특성이 변화하게 되는데 H-형강의 단면특성은 단조증가하거나 단조감소하지 않고 불규칙하게 변화한다. 이에 따라 설계공간도 불규칙하게 변화하였다. 산형골조의 설계결과를 살펴볼 때 단면특성이 불규칙하게 변화하여도 개선된 유전자 알고리즘은 정확한 최적해를 찾아내었다.

(2) 적합도는 골조의 중량함수로 설정하여 제약조건을 만족하며 중량을 최소화하는 문제로 구성하였다. 그리고, 설계에 필요한 제약조건은 거부전략을 사용하여 고려하였다. 즉, 제약조건을 만족시키지 못하는 개체를 제거함으로써 세대를 구성하는 전체 개체가 항상 유용해(feasible solution)가 되도록 하였다. 산형골조의 설계에서는 거부전략에 의해 제약조건을 고려하여도 정확한 최적해를 탐색하였다.

(3) 골조설계문제의 여러 가지 특성을 고려하기 위하여 'FRAME 유전연산자'를 개발하였다. FRAME 연산자는 일반 연산자인 선택, 교배, 돌연변이 등에 의해 새로운 해를 탐색하지 못하거나 탐색이 지연될 때 사용하도록 알고리즘이 구성되었다. FRAME 연산자는 기존의 최적개체에서 그 개체를 중심으로 주변에 보다 나은 개체가 있는지를 검색하는 연산자이다. 산형골조의 설계에서는 이 연산자에 의해 탐색의 효율성이 향상됨을 확인하였다.

(4) 기존의 유전자 알고리즘은 세대수를 제한하는 것 이외에는 명확한 종료기준을 제시하기가 어려웠다. 그러나, 본 연구에서는 최대 세대수와 함께 FRAME연산자에 의한 해의 탐색가능성을 새로운 종료기준으로 추가함으로써 불필요하게 연산이 계속되는 것을 방지할 수 있었다.

(5) 본 연구에서 사용한 FRAME 유전연산자는 직관적인 기법에 의해 구성되었다. 따라서, 산형골조 이외에 보다 대형의 다양한 형태의 설계문제에 적용하여 봄으로써 그 사용성이 검토되어야 한다. 이는 한 두 개의 설계문제에 더 적용한다고 해결되는 것을 아니기 때문에, 향후 연구를 지속적으로 수행함으로써 보완하려고 한다.

본 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 골조 설계문제를 효율적으로 해결하기 위하여 새로운 유전연산자인 FRAME 연산자를 개발하였고 개선된 유전자 알고리즘을 제시하였다. 그리고, 산형골조의 설계문제를 통하여 개선된 유전자 알고리즘의 효율성을 검토하였다.

참 고 문 헌

1. 공성근, 김인택, 박대회, 박주영, 신요안, 유전자 알고리즘, 1996.
2. Houck, C. R., Joines, J. A., Kay, M. G., 'A Genetic Algorithm for Function Optimization: A Matlab Implementation'.