

유전자알고리즘을 이용한 최적 파라미터의 설계

- Design of Optimal Parameter using Genetic Algorithms -

이 대훈*
Lee, Dae-Hoon
박 명규**
Park, Myung-Ku
김 용범***
Kim, Yng-Bum
김 복만****
Kim, Bok-Man
박 유석*****
Park, Yu-Suk

Abstract

Because of various request of consumer and rapidly chang, a product change and new-production come out variously. To satisfy the condition, companies must develop the product of rapidity and good quality. But, a product design difficults to consider many parameters and increase the level of each parameter.

In order to solve this problem, this paper studies out algorithms taken into account more parameters and increased the level of parameters using the Genetic Algorithms. Because this algorithm can search detailed and wide for the level of parameter, in case of new-product development, we can use it for designing parameters of new-product.

1. 서론

실험계획법에서는 인자의 수준을 2수준이나 3수준, 4수준으로 실험을 해서 그 결과치로서 최적의 인자의 수준을 찾는 것이다. 그러나 그 수준이외의 수준중에서 더 좋은 수준이 있는 경우가 존재함으로 때로는 수준을 증가시킬 필요가 있으나 수준의 증가는 실험횟수의 증가와 계산과정의 복잡성으로 인해 수준수를 증가시킬 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms:GAs)의 염색체 표현방식을 도입하여 하나의 개체에 각각의 인자들을 배치하고, 인자의 수준을 증가시킨 다음 수준간의 간격을 좁게하여 최적의 수준값들을 찾는 데에 있다. 또한 전자기구부품에 많이 사용되는 편축스프링의 일부를 일정량 변형시켰을 때 얻어지는 힘(Stiffness)을 사용하는 사례가 많다. 따라서 편축스프링의 지지스프링 각 부분의 치수를 어떻게 설정하여 주는 것이 목표치에 가깝게 되고 각 부분의 차이(부품간의 잡음)로 인해 발생하는 특성치의 변동이 가장 적게 되는가를 고찰하고자 한다. 이를 위해 편축스프링의 재료와 편축스프링의 지지스프링 각 부분을 인자로 설정하여 각 인자들을 유전인자로 변형시키고 유전자 알고리즘을 적용한 파라미터 설계 프로그램을 개발하며, 인자의

이 대훈* 명지대학교 산업공학과 석사과정
박 명규** 명지대학교 산업공학과 교수
김 용범*** 명지대학교 산업기술연구소 책임연구원
김 복만**** 울산대학교 산업공학과 교수
박 유석***** 명지대학교 산업공학과 박사과정

수준들을 증가시켜 각 수준간의 차이를 좁게 한 인자의 수준들을 가지고 더 좋은 최적의 수준들을 찾는 방법을 구현하고자 한다.

2 이론적 고찰

일반적으로 품질이란 “사용하기에 적합함” 또는 “요구조건과의 일치성”등을 의미하기도 한다. 이와 같은 정의는 제품에 대한 규격의 일치여부에 관련된 불량률을 개선하여 품질문제를 해결할 수 있다. 그러나 소비자의 측면에서 보면 규격에 일치한다고 모두 같은 품질이라고 볼 수 없다. 즉 동일한 양품의 제품이라도 제품간에는 다른 품질이 존재가능하다는 것이다. 이것은 제품의 목표특성치에서의 변동은 손실이 발생된다는 정의하에 손실함수를 사용하여 손실의 개념을 정량화한 것이다. 따라서 여기서는 다투지의 품질관리의 개념을 유전자알고리즘에 도입하는 과정에서 나타나는 사항들을 고려하고자 한다.

2.1 파라미터 설계

파라미터 설계는 품질특성이 잡음에 둔감하도록 설계 인자의 최적조건을 찾아주는 것이다. 이를 위해 품질특성치의 산포를 줄이고 특성치의 평균치가 목표치에 접근할 수 있도록 설계가 이루어져야 한다. 최적의 조건을 찾은 후에도 만족할 만한 상태가 아니라면 허용차 설계를 통하여 품질특성에 영향이 큰 인자를 더 좋은 것으로 교체하여 허용차를 줄인다. 일반적으로 제품의 품질특성치는 제어인자와 잡음인자를 함수식으로 나타낼 수 없거나 복잡한 선형함수식으로 나타나기 때문에 잡음인자의 변동이 아주 작다고 하더라도 다른 제어인자의 조건에서는 아주 큰 변동을 가지고 올 수도 있으므로 목표치의 근처에서 품질특성치가 잡음인자에 둔감하고 적게 변동하는 제어인자의 조건을 찾는 것이다. 품질특성치에 대한 잡음인자의 영향을 파악하기 위한 방법으로는 첫째, 잡음(noise)을 제어하지 않은 상태에서 반복관측하는 것이고, 둘째, 잡음인자들의 수준을 정하여 이들 수준의 조합에서 성능특성치를 관측하는 것으로 두 번째의 경우는 잡음의 영향을 실험시 특성치의 값(y)에 반영되게 함으로써 잡음에 영향이 대한 둔감한 제어인자의 수준을 찾는 것이다.

2.2 인자의 염색체 표현방식

다투지 방법을 이용하여 파라미터 설계와 허용차 설계를 할 경우 직교 배열표를 사용하여 인자의 수준을 배치하게 되며, 인자의 수준수는 거의 3수준이나 4수준을 사용한다. 따라서 유전자 알고리즘을 이용하여 인자의 수준들을 표시할 때는 염색체(chromosome)내의 유전인자(gene)들을 이용한다. 따라서 인자의 수준수가 2수준인 경우에는 하나의 비트인 0, 1로 수준을 나타내며, 수준수가 4수준인 경우는 두 개의 비트인 (0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)로 인자의 수준을 나타낸다. 만약 다섯 개의 비트의 조합으로는 최대 32수준수까지 표시할 수 있다. 예를 들면, 다섯 개의 인자 A, B, C, D, E가 있고 A 인자가 8수준, B인자가 4수준, C인자가 4수준, D 인자가 4수준, E인자가 8수준일 경우 각 인자의 수준들은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{array}{rcccl}
 A = (a \times 2^2) + (b \times 2^1) + (c \times 2^0) & & & & B = (d \times 2^1) + (e \times 2^0) \\
 0 & 0 & 0 & : & A_1 & 0 & 0 & : & B_1 \\
 0 & 0 & 1 & : & A_2 & 0 & 1 & : & B_2 \\
 & & \dots & & & 1 & 0 & : & B_3 \\
 1 & 1 & 1 & : & A_8 & 1 & 1 & : & B_4
 \end{array}$$

3.1 평가 함수

본 연구에서 적용된 평가함수는 파라미터설계시에 잡음에 대한 분산을 줄이는 것과 동시에 품질특성치를 목표치에 접근시키게 하는 것으로 평가함수를 만들 때 목표치와 분산을 고려해야 한다. 예를 들면, 목표치에 근접하기 위해서는 $(m - \bar{y})^2$ 의 값이 0에 가까우면 가까울수록 좋으며, 분산이 작은 것을 고려하기 위해 다음 식 (1)과 같이 Z값이 적은 값을 찾는다.

$$Z = k(m - \bar{y})^2 + s^2 \quad (1)$$

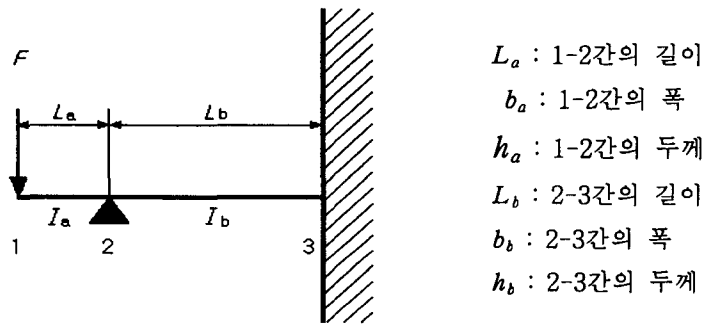
그러나 위 식 (1)을 유전자 알고리즘에 적용하기 위해서는 유전자 알고리즘의 최대화 특성에 의해 다음 식 (2)와 같이 변형하여야만 한다.

$$P = Z_{\max} - (k(m - \bar{y})^2 + s^2) \quad (2)$$

위 식 (2)를 이용하여 유전자 알고리즘의 절차를 수행한다.

4. 사례연구

본 사례연구는 참고문헌[7]에 있는 파라미터 설계에 대한 문제로서 제품의 안정화 설계를 위한 것으로 스프링의 변형에 관한 이론식을 바탕으로 한 것이다. 전기기구부품에서 편축스프링의 일부를 일정량 변형시에 나오는 힘 즉 스티프니스를 이용하는 경우가 많으므로 [그림 1]과 같이 스프링의 중간에 지지된 편축스프링에 힘이 가해졌을 때 스티프니스의 규격 4.0gf/mm $\pm 20\%$ 에 대한 최적인 조건을 구하고자 하는 것이다. 여기서 최적조건은 스티프니스를 목표값 4.0gf/mm로 하는 망목특성으로 하고 각 부분의 치수 산포에 대한 스티프니스의 산포를 최소화시키고자 하는 것이다. [그림 1]에서 1-2간의 2차 모멘트 I_a 는 다음 식 (3)과 같고, 2-3간의 2차모멘트 I_b 은 식 (4)와 같다. 첨단 1에 힘 F 를 가했을 때 스티프니스를 구하면 다음의 식 (5)과 같다.



[그림 1] 편축 스프링

$$I_a = \frac{b_a h_a^3}{12} \quad (3)$$

$$I_b = \frac{b_b h_b^3}{12} \quad (4)$$

$$s = \frac{\frac{12EI_a L_a I_b}{L_a^3 L_b I_a}}{3 + 4 \frac{L_a I_b}{L_b I_a}} \quad (5)$$

여기서 식 (5)의 E는 스프링 재료의 영율이다.

위의 식 (2), (3), (4)에 의해 스프링의 스티프니스에 대한 최적인 조건을 구하게 된다. 본 연구에서는 인자들의 수준을 증가시켜 보다 좋은 조건을 찾는 것이므로 기존의 다꾸지 방법을 적용한 대상문제에서는 인자의 수준을 3수준으로 하였으나 보다 넓은 범위와 세밀한 인자들의 최적의 수준을 찾기 위해서는 각 인자의 수준을 8수준이나 16수준으로 하여야 한다. 따라서 각 내측인자의 수준은 대상문제의 범위를 약 20%를 넓게 하고 간격을 더 좁게 하면 다음 [표 1]과 같으며, 외측인자의 수준은 다음 [표 2]와 같이 된다. 또한 하나의 개체에 잠음인자를 넣어 18번을 계산하는데, 잠음인자에 대한 수준배치는 다음 [표 3]과 같다. 예를 들어, $A_2B_3C_8D_5E_{11}F_6$ 을 갖는 개체를 [표 3]의 수준으로 계산한다. 본 연구의 계산과정에서 첫 번째 A인자의 2수준은 1.2×10^7 이 된다. 이 A인자의 수준값을 [표 3]에서 제시된 첫 번째의 계산이 A인자 1수준이므로 [표 2]에서 A인자의 1수준을 찾으면 -10%이고, 그때 A의 2수준이 1.2×10^7 보다 10%적은 1.08×10^7 으로 계산된다. B인자는 3수준이므로 10이 선정되고 [표 3]에서 첫 번째의 계산이 B인자 1수준이므로 [표 2]에서 B인자의 1수준을 찾으면 -5%이므로 B인자의 3수준이 10보다 5%적은 9.5로 계산된다. C, D, E, F인자도 8수준, 5수준, 11수준, 6수준으로 선정된 후 A, B인자처럼 [표 2]와 [표 3]을 가지고 수준값을 변환시켜 가며 계산한다. 이와 같은 방법으로 하나의 개체를 가지고 [표 3]에서 인자의 수준별로 18번의 잠음인자를 포함시켜 계산하고, 18번의 결과치를 가지고 다음 식 (6), 식 (7)와 같이 \bar{y} 와 분산 s_i^2 를 구한다. 이와 같은 18번의 결과치에 대한 모의 실험 결과를 [그림 2]와 [그림3]에 도시하였다.

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij} \tag{6}$$

$$s_i^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \tag{7}$$

[표 1] 스티프니스의 제어인자 수준값

인자	A	B	C	D	E	F	
수 준	1	2.0×10^7	9	0.9	18	9	18
	2	1.2×10^7	9.5	0.95	20	9.5	20
	3	1.35×10^7	10	1.0	22	10	22
	4		10.5	1.05	24	10.5	24
	5		11.5	1.1	26	11.5	26
	6		12.	1.15	28	12.	28
	7		12.5	1.2	30	12.5	30
	8		13	1.25	32	13	32
	9		13.5	1.35		13.5	
	10		14	1.4		14	
	11		14.5	1.45		14.5	
	12		15	1.5		15	
	13		15.5	1.55		15.5	
	14		16	1.6		16	
	15		16.5	1.65		16.5	
	16		17	1.7		17	

[표 2] 스티프니스의 잡음인자 수준값

인자		A	B	C	D	E	F
수준간격		ΔE	Δb_a	Δh_a	ΔL_a	Δb_b	ΔL_b
수 준	1	-10%	-5%	-10%	-10%	-5%	-10%
	2	0	0	0	0	0	0
	3	+10%	+5%	+10%	+10%	+5%	+10%

18번의 계산후에 한 개체의 \bar{y} , s^2 를 가지고 손실함수에 적합한 평가함수는 다음 식과 같이 계산된다. 따라서 이와 같은 평가함수의 최소화문제를 최대화문제로 변형시켜 유전자 알고리즘을 적용한다.

$$P = 26 - 1 \times [(4 - \bar{y})^2 + s^2] \tag{8}$$

[표 3] 잡음인자의 수준배치

계산 횟수	A	B	C	D	E	F	결과치
1	1	1	1	1	1	1	y_1
2	1	2	2	2	2	2	y_2
3	1	3	3	3	3	3	y_3
4	2	1	1	2	2	3	y_4
5	2	2	2	3	3	1	y_5
6	2	3	3	1	1	2	y_6
7	3	1	2	1	3	2	y_7
8	3	2	3	2	1	3	y_8
9	3	3	1	3	2	1	y_9
10	1	1	3	3	2	2	y_{10}
11	1	2	1	1	3	3	y_{11}
12	1	3	2	2	1	1	y_{12}
13	2	1	2	3	1	3	y_{13}
14	2	2	3	1	2	1	y_{14}
15	2	3	1	2	3	2	y_{15}
16	3	1	3	2	3	1	y_{16}
17	3	2	1	3	1	2	y_{17}
18	3	3	2	1	2	3	y_{18}

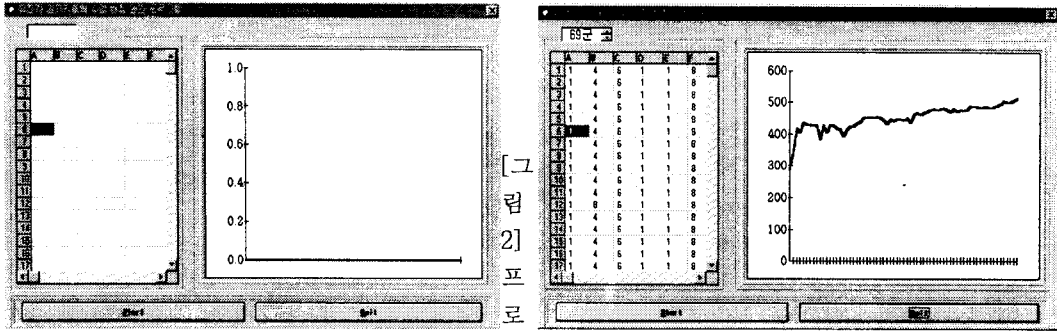


그림 시작화면

[그림 3] 프로그램 결과화면

4.1 유전자 알고리즘 적용

인자들을 염색체로 표현하기 위해 유전인자들을 조합하여 하나의 개체를 구성하였다. 모든 인자의 수준을 표현하기 위해서는 한 개체의 유전인자수가 A인자 2, B인자 4, C인자 4, D인자 3, E인자 4개, F인자 3개가 필요하다. 따라서 한 개체는 20개의 유전인자들로 구성된다. 예를 들면, $A_2B_3C_4D_5E_{11}F_6$ 이 선택되었을 경우, 이것을 하나의 개체로 표현하면 10 0010 0111 100 1010 101이 된다. 다음단계로 교차확률을 65%로 주어 교차 연산자를 적용한다. 교차 연산자를 적용하기 위해 [0, 1]사이의 난수를 발생시켜 난수가 0.65보다 적은 개체들만 교차연산자를 적용한다. 이과정에서 선정된 개체들이 홀수라면 개체 중에 하나를 랜덤하게 소거하고 교차 연산자를 적용한다. 대상문제의 유전적인 정보를 유지하기 위해 교차점에 제한을 둔다. 만약 다음과 같이 7개의 교차점을 두면 범위 [1, 7]에서 난수로 선정된 교차지점에 의해 개체들을 교차시킨다.

10 0010 0111 100 1010 101
1 2 3 4 5 6 7

세대수 20, 유전인자의 수가 20개이므로 400개의 난수를 생성시켜 0.001보다 적은 비트에 돌연변이 연산자를 적용하여 0.001보다 적은 비트는 0은 1로, 1은 0으로 교환한다. 이때 돌연변이 연산자가 적용된 부분의 인자의 수준은 바뀌어 진다.

식 (2)에 의해 각 개체에 대한 평가함수의 총합으로 각 개체의 평가함수값을 나누어주면 각 개체의 생존 확률이 구해지고, 그 확률을 누적확률로 나타낸다. 다음세대의 개체를 선택하기 위해 [0, 1]에서 난수 20개를 발생시켜 누적확률의 사이의 값의 개체를 선택을 하면 20개의 개체가 새롭게 만들어 진다. 이때 만약, 아래와 같이 평가함수값이 현세대의 총합과 전세대의 총합의 차이가 전세대의 총합으로 나눈 비율이 1%를 넘지 않으면 알고리즘을 종결한다.

$$g = \left(\left| \frac{G_n - G_{n-1}}{G_{n-1}} \right| \right) \times 100$$

4.2 실험 결과 및 분석

본 연구의 실험은 인자의 수준을 증가시켜 더 좋은 최적의 조건을 찾는 것으로, 유전자 알고리즘을 이용하여 인자의 수준을 3수준으로 한 실험결과와 인자의 수준을 증가시킨 실험결과를 가지고 비교 및 분석하였다. 인자의 수준들을 3수준으로 실험하였을 경우 선정된 인자의 수준은 다음 [표 4]와 같이 제시하였다. 따라서 [표 4]에서 평가함수값이 가장 좋은 다섯 번째의 경우 평가함수값이 25.979로 목표치 4에 0.0028정도 차이가 나며 잡음에 대한 분산은 0.020155가 되어 목표치에 근접하게 됨을 알 수 있다. 인자의 수준을 증가시킨 모의실험으로 선정된 인자의 수준은 다음 [표 5]와 같다. 인자의 수준을 증가시킨 결과에서의 평가함수 값이 가장 좋은 일곱번째와 여덟 번째 결과치를 살펴보면 평가함수값이 25.981로 목표치 4에 0.0049와 0.0025의 차이가 나며 잡음에 대한 분산은 0.018518과 0.018645가 되어 인자의 수준들이 3수준으로 할 때보다 인자의 수준을 더 증가시킨 것이 목표치에 더욱 근접하며, 잡음에 대한 분산이 더 작은 좋은 값으로 선정된다. 따라서 실험결과 인자의 수준을 증가시키는 것이 더욱 좋은 값으로 제시됨으로 인자의 수준을 증가시킬수록 목표치에 더욱 근접하게 될 것이다.

[표 4] 선정된 인자의 수준(3수준시)

실험횟수	인자						평가함수 값	\bar{y}	s^2
	A	B	C	D	E	F			
1	1	2	2	2	3	1	25.973	3.9827	0.023631
2	1	2	3	3	3	1	25.928	3.9301	0.022847
3	1	3	2	2	3	2	25.837	3.6865	0.019182
4	1	2	2	2	3	1	25.973	3.9827	0.023631
5	2	3	2	1	1	2	25.979	3.9972	0.020155
6	2	3	3	2	2	2	25.946	3.9424	0.020620
7	2	2	2	1	3	2	25.956	3.9530	0.021371
8	2	2	2	1	2	2	25.973	4.0214	0.022305

[표 5] 선정된 인자의 수준(수준 증가시)

실험횟수	인자						평가함수 값	\bar{y}	s^2
	A	B	C	D	E	F			
1	1	15	7	4	15	2	25.975	3.9798	0.020824
2	2	6	6	1	9	2	25.974	3.9872	0.021927
3	3	14	15	5	4	8	25.980	4.0008	0.019300
4	3	7	12	4	7	3	25.936	4.0636	0.023183
5	2	5	9	2	10	4	25.974	4.0177	0.022368
6	1	13	7	4	4	1	25.978	3.9994	0.021745
7	2	12	10	2	2	6	25.981	3.9951	0.018518
8	1	12	8	3	3	8	25.981	4.0025	0.018645

[표 6] 최적의 인자 수준과 수준값

인자											
A		B		C		D		E		F	
수준	수준값	수준	수준값	수준	수준값	수준	수준값	수준	수준값	수준	수준값
1	2.0×10^7	12	14.5	8	1.25	3	22	3	10	8	32
2	1.2×10^7	12	14.5	10	1.35	2	20	2	9.5	6	28
3	1.35×10^7	14	15.5	15	1.6	5	26	4	10.5	8	32

5. 결론

본 연구에서는 파라미터 설계시 유전자 알고리즘을 적용한 실험으로 인자의 수준을 증가시켜 기존의 인자의 수준보다 더욱 좋은 인자의 수준을 찾는 연구를 수행하였다. 기존의 다꾸지 방법에서 파라미터설계시 인자의 수준을 8수준 이상으로 증가시켜 설계를 하는 것은 계산시간과 인자의 배치문제에 많은 어려움이 존재함으로 하나의 인자 수준을 2수준이나 3수준으로 설계를 한다. 그러나 본 연구에서는 대상문제에 유전자 알고리즘을 적용하여 기존의 다꾸지 방법으로 해결하기 어려운 인자 수준을 증가시켰을 경우 더욱 좋은 인자의 최적 수준을 찾을 수 있었다. 최적의 조건이 수준사이에 있다면 인자의 수준이 증가됨으로써 최적의 조건에 더 가까운 수준들이 선정되어 더 좋은 조건을 찾을 수 있게 된다.

참 고 문 헌

- [1] Krottmaier, J. *Optimizing Engineering Design*, pp. 142-164, McGraw-Hill International Edition, 1995
- [2] Phillip J. R. *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, , pp. 2-21, McGraw-Hill International Edition, 1989
- [3] Koza J. R. *Genetic Programming*, pp. 419-428, The MIT Press, 1993
- [4] Bauer R. J. *Genetic Algorithms and Investment Strategies*, pp. 55-71, John Wiley & Sons Inc, 1994
- [5] Phadke M. S. *Quality Engineering using Robust Design*, Prentice Hall, pp. 13-40, 1989
- [6] Taguchi G. & Elsayed E. A. & Hsiang T. *Quality Engineering in Priduction Systems*, pp. 11-45, McGraw-Hill International Edition, 1989
- [7] 젠이치. 품질공학강좌(5) 품질공학사례집, pp. 77-96, 한국 표준 협회, 1991
- [8] Mahav S. P. 김 성호외 5명, 강건 설계를 이용한 품질공학, 민영사, 1992
- [9] 김 용범. 유전자 알고리즘의 수렴현상에 관한 연구, 1995