

유전자 알고리즘을 이용한 차량 승차감 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Vehicle Ride Comfort by Genetic Algorithms

백 운 태*, 성 활 경**
W. T. Baek, H. G. Seong

ABSTRACT

Recently, Genetic Algorithm(GA) is widely adopted into a search procedure for structural optimization, which is a stochastic direct search strategy that mimics the process of genetic evolution. This methods consist of three genetics operations named selection, crossover and mutation.

Contrast to traditional optimal design techniques which use design sensitivity analysis results, GA, being zero-order method, is very simple. So, they can be easily applicable to wide area of design optimization problems. Also, owing to multi-point search procedure, they have higher probability of converge to global optimum compared to traditional techniques which take one-point search method.

In this study, a method of finding the optimum values of suspension parameters is proposed by using the GA. And absorbed power in the time domain is used as a measure of ride comfort. The vehicle is modelled as planar vehicle having 5 degree-of-freedom. The generalized coordinates are vertical motion of passenger seat, sprung mass and front and rear unsprung mass and rotate(pitch) motion of sprung mass.

For rapid converge and precluding local optimum, share function which distribute chromosomes over design bound is introduced. Elitist survival model, remainder stochastic sampling without replacement method, multi-point crossover method are adopted.

In the sight of the improvement of ride comfort, good result can be obtained in 5-D.O.F. vehicle model by using GA.

주요기술용어 : Genetic Algorithms(유전자 알고리즘), Ride comfort(승차감), Absorbed Power(인체흡수동력), Share Function(분배함수)

* 정회원, 기아정기 기술연구소

** 창원대학교 기계공학과

1. 서 론

본 연구는 다윈의 적자생존법칙에 의한 생물 진화의 원리에 착안하여 개발된 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm, GA)을 이용하여 5자유도 차량의 현가장치 설계최적화를 통하여 차량승차감을 향상시키는 것을 주요 내용으로 하였다.

차량 승차감을 정량적으로 평가하기 위하여, R. A. Lee와 Fred Pradko가 제안한 인체흡수 동력(absorbed power)를 평가척도로 활용하였으며, 라그랑지 방정식을 이용하여 5자유도 차량 모델의 운동방정식을 수립하여 Runge-Kutta법에 의해 외력에 대한 차량의 동적거동을 해석하여 각 질량요소의 응답을 구하였으며, 해석결과를 이용하여 승객의 좌석에 작용하는 가속도의 크기에 따른 인체흡수동력을 구하였다.

한편, 최적화에 있어서는 승차감과 차량의 기하학적인 제한조건을 고려하여 현가장치의 각 구성요소들의 변위가 허용치를 초과하지 않는 범위에서 인체흡수에너지를 최소화시키는 현가장치의 파라미터를 구하였으며, 또한 최적화 과정에서 설계변수가 승차감 또는 조종안정성의 어느 한쪽으로 지나치게 편중되는 것을 방지하는 분배함수 (share function)를 도입함으로써 전역 최적해 (global optimum)에의 수렴 확률과 속도를 향상시키도록 하였다.

따라서 본 연구는 최적해에의 수렴속도를 향상시킨 효율성이 높은 유전자 알고리즘 프로그램

를 개발하여 이를 5자유도 차량 모델에 적용하여 최적의 승차감을 구현하는 현가장치의 파라미터를 구함으로써 유전자 알고리즘의 유효성을 검증하였다.

2. 차량의 동적거동해석 및 승차감 평가

2.1 5자유도 차량 모델링

본 연구에서는 차량의 수직방향 운동과 Pitching 운동을 포함하는 5자유도 차량모델에 대하여 라그랑지 방정식을 이용하여 운동방정식을 수립하였으며,^{2,7)} 5자유도 차량모델의 자유물체도를 Fig.1에 실었다.

그림에서 $x_i(i=1,5)$ 는 각 질량(M_i)들의 변위를 나타내는 일반좌표계이며, C_i 와 K_i 는 각각 감쇠 계수와 스프링 강성을 나타낸다. 한편, 타이어는 항상 지면과 접촉하는 Point Followers로 모델링 하였으며, 노면의 기복에 따른 수직변위가 전·후륜에 각각 $f_1(t)$ 와 $f_2(t)$ 로 주어진다고 할 때, 차량의 운동방정식은 식(1)과 같이 표현된다.

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = q(t) \quad (1)$$

여기서 $[M]$, $[C]$, $[K]$ 는 각각 질량, 감쇠 및 스프링강성 행렬으로서 식(2)~(4)로 표현되며, $q(t)$ 는 타이어에 작용하는 일반력 벡터로써 식(5)와 같다.

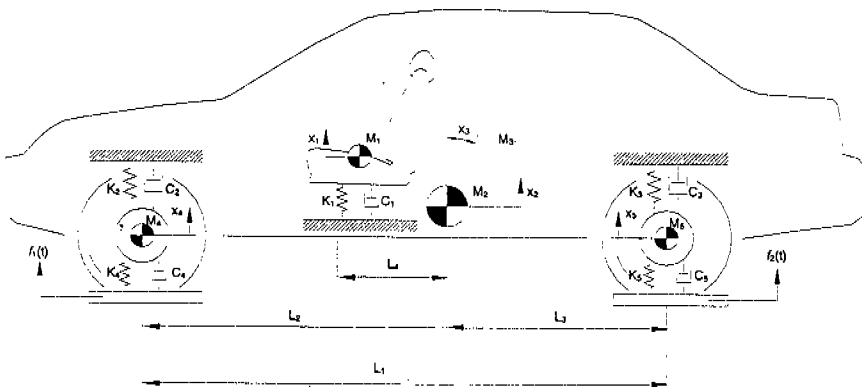


Fig.1 Five degree-of-freedom vehicle model

$$[M] = \begin{bmatrix} M_1 & & & & 0 \\ & M_2 & & & \\ & & M_3 & & \\ 0 & & & M_4 & \\ & & & & M_5 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_1 & -C_1 & -L_4 C_1 & 0 & 0 \\ (C_1 + C_2 + C_3) & (L_4 C_1 + L_2 C_2 - L_3 C_3) & -C_2 & -C_3 & \\ & (L_4^2 C_1 + L_2^2 C_2 + L_3^2 C_3) & -L_2 C_2 & L_3 C_3 & \\ \text{Symmetric} & & (C_2 + C_4) & 0 & \\ & & & (C_3 + C_5) & \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 & -K_1 & -L_4 K_1 & 0 & 0 \\ (K_1 + K_2 + K_3) & (L_4 K_1 + L_2 K_2 - L_3 K_3) & -K_2 & -K_3 & \\ & (L_4^2 K_1 + L_2^2 K_2 + L_3^2 K_3) & -L_2 K_2 & L_3 K_3 & \\ \text{Symmetric} & & (K_2 + K_4) & 0 & \\ & & & (K_3 + K_5) & \end{bmatrix} \quad (4)$$

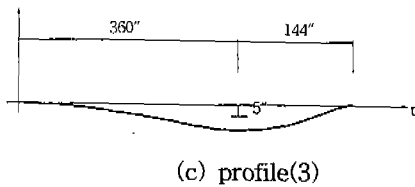
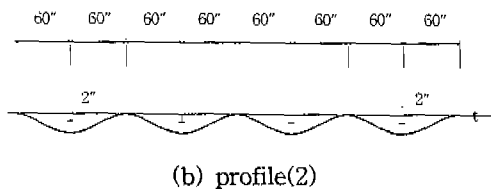
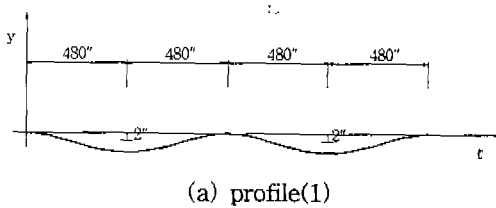


Fig.2 Road Surface Profiles

$$q(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K_4 f_1(t) + C_4 \dot{f}_1(t) \\ K_5 f_2(t) + C_5 \dot{f}_2(t) \end{bmatrix} \quad (5)$$

한편, 차량에 작용하는 외력은 Fig.2에 도시된 바와 같이 3가지의 도로조건을 적용하여 차량의 거동을 해석하였다.

그림에서 도로조건(1)은 주기 960", 진폭 2"인 기복이 완만한 도로가 연속적으로 존재하는 상태를, 도로조건(2)는 주기 120", 진폭 2"인 기복이 심한 도로가 연속적으로 존재하는 상태를, 그리고 도로조건(3)은 주기 720"와 288"인 서로 다른 2개의 곡선이 합성된 진폭 5"인 Bump가 1회에 한해서 존재하는 상태를 도식적으로 나타낸 것이다.

한편, 각 도로조건에서의 차량속도는 일반적인 도로주행속도를 감안하여 평탄한 도로인 도로조

건(1)에서는 960in/sec, 기복이 심한 도로조건(2)에서는 616in/sec, 그리고 bump가 있는 도로조건(3)에서는 450in/sec로 정속운행하는 것으로 설정하였다.

이상의 도로상태와 차량속도에 의해, 공간주파수(spatial frequency)를 시간주파수(temporal frequency)로 변환시키면 전륜에 작용하는 일반력은 식(6)과 같이 표현된다.

$$f_1(t) = y_0(1 - \cos(\omega_i t)), 0 \leq t \quad (6)$$

여기서, y_0 는 각 도로상태에서의 진폭이며, ω_i 는 시간주파수로써 식(7)과 같다.

$$\omega_i = \frac{\pi S_i}{l_i} \quad (i=1, 3) \quad (7)$$

여기서, l_i 는 공간주파수이며, S_i 는 차량의 속도이다.

한편, 후륜에 작용하는 외력은 시간지연(time lag)에 의해 식(8)과 같이 표현된다.

$$f_2(t) = \begin{cases} y_0(1 - \cos(\omega_i(t - t_i))), & t \leq t \\ 0, & t < t_i \end{cases} \quad (8)$$

여기서, t_i 는 전륜과 후륜 사이의 거리에 의한 시간지연이다.

2.2 흡수동력(Absorbed Power)

흡수동력은 인체에 의한 진동에너지 흡수율을 나타내는 Scalar량으로, 1960년대 초 Lee와 Pradko가 승차감을 평가하는 기준으로 제안하였다.^{4,5)}

본 연구에서는 시간영역에서의 흡수에너지를 승차감 평가의 척도로 사용하였으며, Lee와 Pradko의 논문에 의하면 흡수동력 방정식(Absorbed Power Equation)은 식(9)와 같이 표현된다.

$$P = \begin{bmatrix} \dot{p}_1 \\ \dot{p}_2 \\ \dot{p}_3 \\ \dot{p}_4 \\ \dot{p}_5 \\ \dot{p}_6 \\ \dot{p}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -29.8p_1 - 497.49 \ddot{x}_1/g - 100p_2 \\ 10p_1 \\ -263.1p_1 + 108p_4 \\ 100p_1 - 35.19p_3 - 39.1p_4 \\ -315.7p_1 + 34.1p_4 + 171.08p_6 \\ -80p_1 + 8.64p_4 - 30.28p_5 - 100p_6 \\ p_1 - 0.108p_4 + 0.25p_6 - 6p_7 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\text{and } p_i(0) = 0 (i=1, 2, \dots, 7)$$

여기서 \ddot{x}_1 는 승객 좌석의 수직방향 가속도이며, g 는 중력가속도이다.

한편, 평균흡수동력(Average Absorbed Power : AP)은 식(10)에 의해 구해지며, 이 때의 단위는 Watt가 된다.

$$AP = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \{p_1(t) - 0.108p_4(t) + 0.25p_6(t) - p_7(t)\}^2 dt \quad (10)$$

여기서 τ 는 차량의 거동이 정상 상태에 도달하는데 충분한 시간으로 설정한다.

2.3 최적설계문제의 정형화

일반적으로 설계최적화 문제는 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.¹⁾

$$\text{Extremize } \phi = f(x) \quad (11)$$

$$\text{Subject to } \psi(x) \leq \psi_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

식(11)은 최적화 시키고자 하는 목적함수를, 식(12)는 제한조건을 나타내는 식이며, x 는 설계변수이다. 본 연구에서는 현가장치의 파라미터들을

조절하여 주어진 제한조건들을 만족시키면서 도로조건(1)에서의 평균흡수동력을 최소화시키도록 하였으며 제한조건들은 아래와 같다.

(1) 도로조건(2)에서의 제한조건

: 평균흡수동력과 후륜의 wheel hop이 일정 범위를 넘지 않을 것.

(2) 도로조건(3)에서의 제한조건

: 승객좌석의 최대 수직가속도, 후륜의 wheel hop, 좌석과 차체간의 rattle space, 차체와 바퀴들간의 rattle space, 그리고 지면과 바퀴들간의 rattle space 등이 일정 범위를 넘지 않을 것.

이상의 목적함수와 제한조건들을 식(13)~(23)으로 표현하였다.

(1) 목적함수

$$\text{Minimize } \Phi = \int_0^{\tau} G(p(t)) dt$$

at road profile(1) (13)

$$G(p) = \{p_1(t) - 0.108p_4(t) + 0.25p_6(t) - p_7(t)\}^2 / \tau$$

(2) 도로조건(2)에서의 제한조건

$$\Psi_1 = \int_0^{\tau} G(p(t)) dt \leq 3.5 (\text{watts}) \quad (14)$$

$$\Psi_2 = x_5 - f_2(t) \leq 1.1127 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (15)$$

$$\Psi_3 = -\{x_5 - f_2(t)\} \leq 3.0 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (16)$$

(3) 도로조건(3)에서의 제한조건

$$\Psi_4 = \left| \frac{1}{M_1} \{K_1(x_2 - L_4x_3 - x_1) + C_1(\dot{x}_2 - L_4\dot{x}_3 - \dot{x}_1)\} \right| \leq 350 (\text{inch/sec}^2) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (17)$$

$$\Psi_5 = |x_2 + L_4x_3 - x_1| \leq 2.0 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (18)$$

$$\Psi_6 = |x_4 - x_2 - L_2x_3| \leq 5.5 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (19)$$

$$\Psi_7 = |x_5 - x_2 - L_3x_3| \leq 5.5 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (20)$$

$$\Psi_8 = |x_4 - f_1(t)| \leq 2.0 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (21)$$

$$\Psi_9 = x_5 - f_2(t) \leq 1.1127 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (22)$$

$$\Psi_{10} = -\{x_5 - f_2(t)\} \leq 3.0 (\text{inch}) \quad \text{at } 0 \leq t \leq \tau \quad (23)$$

3. 유전자 알고리즘

3.1 개요

유전자 알고리즘은 3가지 연산자(operator) 즉, 선택(selection), 교차(crossover) 그리고 돌연변이(mutation)를 이용하여 자연계의 진화과정을 인위적으로 수행하는 것으로, 각 연산자의 역할과 최적화과정에 대한 기본개념은 아래와 같다.³⁾

- 1) 1단계 : n개의 염색체(chromosome)로 구성된 최초의 유전자집단을 만든다. 여기서 각 염색체는 무작위하게 선택된 다수개의 인자(gene)의 조합으로 만들어져서 각자 다른 유전자형을 가지고 있으며, 이에 의해 환경에 적응하는 적합도(fitness)가 각자 다르게 나타난다.
- 2) 2단계 : 상기 염색체들 중에서 다음 세대를 구성하는 후보들을 선별하는 과정으로서 적합도가 높은 개체를 확률적 방법에 의해 선택(selection)한다.
- 3) 3단계 : 선택된 유전자집단 중에서 임의의 한 쌍씩을 무작위 하게 상호교차(crossover)

시켜서 다음 세대를 구성할 새로운 염색체를 만든다.

- 4) 4단계 : 어떤 유전자가 미처 검증을 받지 못하고 도태되는 것을 방지하기 위해서 교차에 의해 만들어진 염색체를 구성하는 인자들을 미리 주어진 확률에 의해 돌연변이 (mutation)시키는 과정으로서, 최적설계에서는 전역 최적해를 구하기 위한 수단으로 사용된다.

유전자 알고리즘은 각 세대에서 적합도가 낮은 열성개체는 도태시키고 우성개체들끼리 상호 교차시켜서 적합도가 보다 우수한 새로운 세대를 만드는 상기 과정을 반복적으로 수행함으로써 궁극적으로 최적해를 구하게 된다.

3.2 유전자 알고리즘 적용상의 고려사항

3.2.1 적합도함수(fitness function)

유전자 알고리즘은 적합도 함수를 최대화시키는 설계변수의 값을 구하는 것이 최종목표가 되는데, 제한조건이 있는 문제를 최적화시키기 위해서는 벌칙함수(penalty function)를 도입하여 제한조건이 없는 문제로 치환하여야 한다. Exterior Penalty Function Method를 이용하여 유사 목적함수(pseudo object function)를¹⁾ 식(24)와 같이 표현할 수 있다.

$$\varphi(t, r_p) = \Phi(t) + r_p P(t) \quad (24)$$

여기서 $f(t)$ 는 원래의 목적함수이고, $p(t)$ 는 벌칙함수이며, r_p 는 penalty parameter를 나타낸다. 한편, 벌칙함수 $P(t)$ 는 식(25)와 같이 표현된다.

$$P(t) = \sum_{j=1}^m \{ \max[0, g_j(t)] \}^2 \\ = \sum_{j=0}^m \begin{cases} 0, & \text{if } g_j(t) \leq 0 \\ \{g_j(t)\}^2, & \text{if } g_j(t) > 0 \end{cases} \quad (25)$$

여기서 m 은 제한식의 개수이며, $g_j(t)$ 는 제한식의 값을 나타낸다. 이상의 식들을 이용하여 적합도함수를 식(26)과 같이 표현할 수 있다.

$$F = F_{\max} / \varphi(t, r_p) \quad (26)$$

여기서 F_{\max} 는 적합도 값의 크기를 비교하기 위하여 설계자가 임의로 지정하는 양의 정수이다.

3.2.2 활동범위 제어

일반적으로 차량의 현가장치는 강성이 높으면 조종안정성이 양호한 반면 승차감이 나빠지고, 반대로 강성이 낮으면 승차감이 향상되는 대신 조종안정성이 나빠지는 양면의 특성을 가지고 있는데 이와 같이 서로 상반되는 제한조건을 동시에 만족시키고자 할 때에는 어느 하나의 제한조건이 다른 제한조건에 비해 과도하게 허용치를 벗어나게 되면 유전자 알고리즘의 기본원리에 의해 염색체들이 이를 만족시키는 방향으로 모이게 되고 이후 서로 유사한 schemata의 증식에 의해 새로운 세대를 만들어 나감으로써 다른 제한조건들을 만족시키기가 어려워지거나 국부해로 수렴하는 경우가 생길 수 있다. 본 연구에서는 이러한 multi-peak 문제에서의 현상을 방지하기 위하여 식(27)의 분배함수(share function)³⁾를 이용하여 schemata들의 활동범위를 제어하였다.

$$f_s(x_i) = \sum_{j=0}^n d(x_i, x_j) \times f(x_j) / \sum_{j=0}^n f(x_j) \quad (27)$$

여기서 $f(x_i)$, $f(x_j)$ 는 각 염색체의 적합도 값이며, $d(x_i, x_j)$ 는 두 염색체 구성인자들 사이의 norm이고, $f_s(x_i)$ 는 분배함수에 의해 조절된 각 염색체의 적합도 값이다.

식(27)을 살펴보면, 상호 유사한 schemata를 많이 가진 염색체는 norm의 값이 작아져서 $f_s(x_i)$ 가 $f(x_j)$ 에 비해 작아지게 되고, 상호 유사한 schemata를 적게 가진 염색체는 이와 반대로 되어 결과적으로 다양한 범위에서의 염색체 선택이 가능해지게 된다.

3.2.3 설계변수

최적설계를 위해서는 각 설계변수의 범위를 지정하여야 하는데, 본 연구에서는 현가장치의 주요 파라메터인 K_1, K_2, K_3 및 C_1, C_2, C_3 를 설계변수로 취하고 나머지 파라메터들은 고정변

Table 1 System parameters and design variables range

Index	1	2	3	4	5	Unit
M_i	290	4,500	41,000	96.6	96.6	lb or lb-in-sec ²
K_i	25~500	100~1000	100~1000	1,500	1,500	lb/in
G_i	1~50	2.5~80	2.5~80	5	5	lb-sec/in
L_i	120	40	80	10	-	in

수로 설정하였으며, 이들의 값들을 Table 1에 실었다.

그리고 유전자 알고리즘에서는 설계변수의 값을 n개의 2진수(인자 : gene)로 기호화된 유전자형(genotype)으로 나타내고 이를 decode하여 설계변수의 값(phenotype)을 구하는 방식을 널리 사용하고 있다. 예를 들면 설계변수 K_1 에 6개의 인자를 할당하여 유전자형이 010111(=23)로 나타나면 K_1 의 값은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$K_1 = 25.0 + \frac{23}{2^6 - 1} \times (500 - 25) = 198.413$$

한편, 설계범위는 매우 신중하게 설정할 필요가 있다. 만약, 설계범위를 너무 넓게 설정하면 설계변수를 적절하게 표현하기 위해서 보다 많은 인자로 유전자형을 나타내어야 하므로 수렴

속도가 저하되며, 반대로 설계범위를 너무 좁게 설정하면 최적해가 설계범위 밖에서 위치할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해소하기 위하여 최적해의 수렴추이에 따라 Fig.3에 도시된 방법에 의해 설계범위를 조절해 나가도록 하였다. 즉, 초기설계범위에서 설계변수가 어떤 값에 수렴하였을 때, 이 값이 상,하한치에서 어떤 값 δ 보다 떨어져 있을 때는 설계범위를 설계변수의 값을 중심으로 1/2로 줄이고, 설계변수의 값이 상,하한치에 인접할 경우에는 인접방향의 설계범위를 일정량만큼 오히려 넓히도록 하였으며, 이 때 새로이 설정된 하한치가 "0"보다 작을 경우에는 설계변수값의 1/2이 새로운 하한치가 되도록 함으로써, 설계범위를 1/2~3/4의 범위로 줄여 나가도록 하였다.

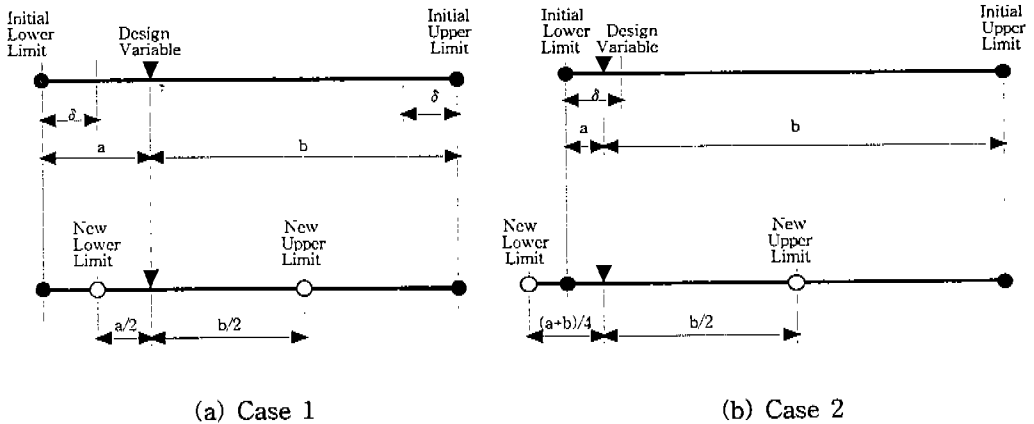


Fig.3 Adjust method of design variable range

3.3 유전자 알고리즘의 전산 프로그래밍

그림 4에 유전자 알고리즘을 적용하여 최적화를 수행하는 프로그램의 플로우 차트를 실었다.⁶⁾ 본 프로그램에서는 최적해에의 수렴성을 향상시키기 위해 각 세대에서 최대적합도 값을 갖는 유전자는 다음 세대로 변형없이 이전되는 Elitist Survival Model을 채택하였으며, 선택은 분배

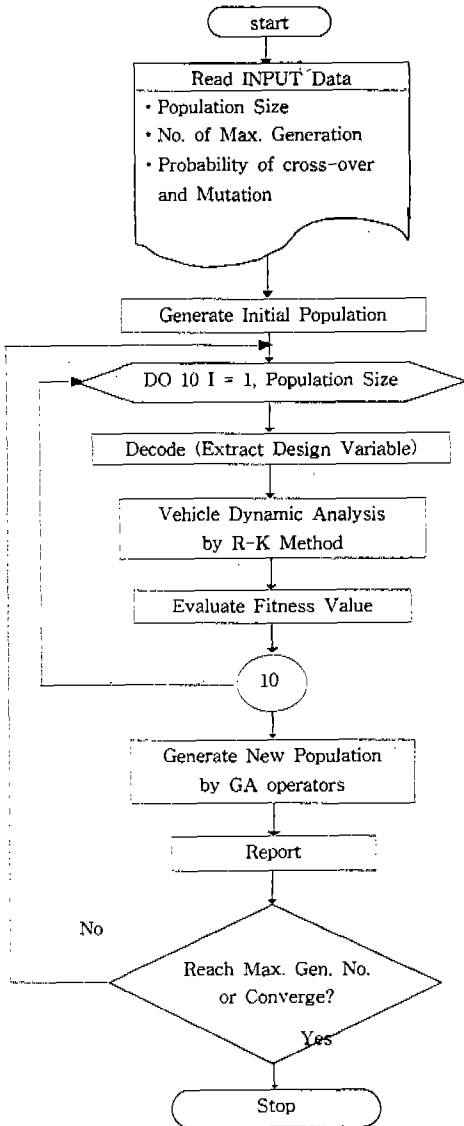


Fig.4 Flow chart of genetic algorithm for optimal design

함수에 의한 확률값의 정수개 만큼을 일단 선택한 후 나머지 소수 부분만을 Roulette Wheel Selection 방식으로 선택하고 또한 소수 부분이 선택된 개체는 더 이상 선택하지 않는 Remainder Stochastic Sampling without Replacement를, 그리고 교차는 Multi-point Crossover 방식을 적용하였다. 각 설계변수의 표현에는 6개씩의 인자를 할당하여 염색체 길이를 36으로 하였으며, 모집단수(population size)는 160, 최적해 수렴까지의 최대반복 연산회수인 최대세대수는 200, 그리고 연산과정에서의 교차확율은 0.95, 돌연변이확율은 0.05로 각각 설정하였다.

3.4 유전자 알고리즘의 적용 결과

유전자 알고리즘을 적용하여 최적설계를 수행한 결과, 적합도 함수를 최대화시키는 수렴값은 150번째 세대에서부터 나타났으며, 이후 160번째 세대까지 연산을 수행하였으나 설계개선이 이루어지지 않아서 최적화 과정을 종료하였으며, 각 세대에서의 최대적합도 함수값과 목적함수인 도로조건(1)에서의 평균흡수에너지 및 벌칙함수값을 Fig.5에 그래프로 나타내었다.

그림을 보면, 55세대와 90세대에서 적합도 값이 약간 낮아지는 현상을 보이고 있는데 이는 이들 세대에서 설계범위를 조절하면서 설계변수의 값에 약간의 변동이 생겼기 때문이다. 한편, 조절된 설계범위 및 최종 설계변수의 값은 Table 2와 같다.

Fig.6에 상기 설계변수에서의 시간에 따른 각 도로조건에서의 흡수에너지 변화추이를 실었다.

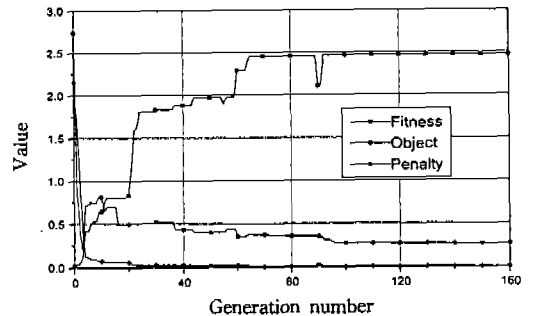


Fig.5 Generation history of "The fittest design" for a typical GA run

Table 2 Design variable range and application results of GA generation

Design variable	Initial design bound	2nd design bound	3rd design bound	optimal design value
K_1	25.0 ~ 500.0	81.548 ~ 319.048	94.742 ~ 213.492	156.944
K_2	100.0 ~ 1000.0	50.000 ~ 550.000	36.905 ~ 311.905	54.365
K_3	100.0 ~ 1000.0	278.571 ~ 728.571	375.000 ~ 600.000	514.286
C_1	1.0 ~ 50.0	0.500 ~ 25.500	2.683 ~ 15.183	3.675
C_2	2.5 ~ 80.0	24.643 ~ 63.393	34.792 ~ 54.167	42.787
C_3	2.5 ~ 80.0	1.250 ~ 41.250	1.260 ~ 2.188	1.587

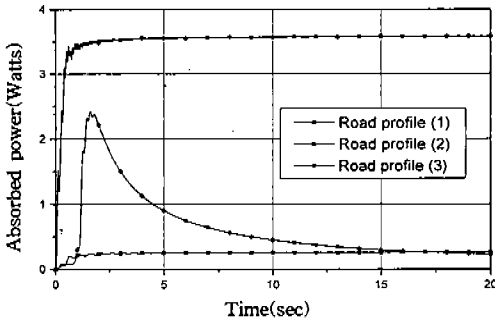


Fig.6 Absorbed energy of each road profile

4. 결 론

본 연구에서는 5자유도 차량의 현가장치 설계 최적화에 유전자 알고리즘을 적용하여 주어진 제한조건을 만족시키면서 승차감을 극대화시키는 현가장치의 파라미터들을 구하였으며 적용결과는 아래와 같다.

- 1) 그림 6에서 보듯이, 도로조건(1)에서는 최대 흡수에너지가 0.263Watts로 수렴하는 것으로 나타나는 데 이는 참고문헌(4)에서 제시하는 답승객이 안락감을 가질 수 있는 기준치 0.2~0.3Watts를 만족시키고 있으며, 도로조건(2)에서도 off-road에서의 기준치 6~8Watts를 충분히 만족시키고 있다는 것을 알 수 있다.
- 2) 분배함수의 도입, 설계범위의 조절 등을 통해서 최적해에의 수렴속도 향상 및 국부해에의 수렴방지 효과를 얻을 수 있었다.
- 3) 차량의 동적거동에 대한 설계최적화 문제에

유전자 알고리즘을 적용함으로써 기존의 설계민감도 등에 비해 훨씬 용이하게 최적설계를 수행할 수 있었다. 또한 기구학적 제한식이 있는 동역학 문제의 경우, 동적거동을 해석하는 과정에서 독립설계변수가 변동되는 문제로 인해 도함수를 이용하는 기존의 방식으로는 설계최적화 수행이 곤란하였지만, 유전자 알고리즘은 단지 적합도만을 이용하므로 이들 문제에 대해서도 용이하게 적용할 수 있다. 따라서 본 연구를 통해 개발된 프로그램을 향후 기구학적 제한식이 있는 동역학 문제에 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Garret N. Vanderplaats, "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications", McGraw-Hill Book Company.
2. E.J. Haug, V.N. Sohoni, S.S. Kim, H.G. Seong, "Vehicle Suspension Dynamic Optimization", Proceedings, International Conference On Modern Vehicle Design Analysis.
3. D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley Publishing Company. Inc. 1989.
4. Richard A. Lee, Fred Pradko, "Analytic

- Analysis of Human Vibration”, SAE Paper 680091.
5. Richard A. Lee, Fred Pradko, V. Kaluza, “Theory of Human Vibration Response”, ASME Paper.
 6. Zbigniew Michalewicz, “Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs”, Second, Extended Edition, Springer-Verlag, 1992.
 7. Roy R. Craig, “Structural Dynamics : An Introduction to Computer Methods”, Wiley
 8. カヤバ工業株式会社, “自動車のサスペンション”, 山海堂