대한기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집 C pp. 559~564 KSME 01S380

유전자 알고리듬을 이용한 자동차용 Mirror Actuator의 최적설계

박원호*·김재실**·최헌오***

Genetic Algorithm Based Optimal Design for an Automobile Mirror Actuator

Wonho Park, Chaesil Kim, Heonoh Choi

Key Words : Optimization(최적화), Genetic Algorithm(유전자 알고리듬), Crossover(교차), Mutation(돌연변이), Object Function(목적함수), Fitness(적합도)

Abstract

The design of an automobile mirror actuator system needs a systematic optimization due to several variables, constraints, geometric limitations, moving angle, and so on. Therefore, this article provides the procedure of a genetic algorithm(GA) based optimization with finite element analysis for design of a mirror actuator considering design constraints, geometric limitations, moving angle. Local optimum problem in optimization design with sensitivity analysis is overcome by using zero-order overall searching method which is new optimization design method using a genetic algorithm.

1. 서 론

자동차 산업이 발달함에 따라, 자동차의 주된 개념을 편의성, 안정성, 독창성으로 구분하여 볼 때, 편의성에 입각한 부분품의 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이중 자동차용 아웃사이드 미러 액튜에이터(Outside Mirror Actuator)는 운전자가 버튼을 이용하여 미러의 각도를 임의로 조절할 수 있는 수동형(Passive Type)과 기억장치에 입력되어진 신호에 의하여 운전자에 따라 각각의 시계를 자동으로 확보해 주는 메모리형(Memory Type)이 있다. 현재, 국내에서는 중형차 이상의 차종에만 수동형 미러 액튜에이터가 장착되고 있으나, 선진국에서는 이미 소형차에도 장착이 보편화되고 있으며 내수용 경차의 추세 또한 각종 편의장치나 안전장치에 관심을 갖게 되어, 가까운 장래에 수요가 급증하고 있는 국내의 경차 시장에도 그 장착이 일반화될 것으로 전망된다. 그러나, 지금까지 독일, 미국, 일본 등 선진국 제품의 수입에 의존하다 최근에서야 내수용 자동차에 한하여 국산화가 이루어지고 있는 현실이다. 특히, 운전자의 편의성과 안전성을 고급화한 첨단 시스템이라 할 수 있는 메모리형 액튜에이터는 고급 차종에 국한하여 장착되고 있으나, 전량 수입에 의존하고 있다. 미러 액튜에이터 시스템(Mirror Actuator System)은 운전자의 시야를 확보하기 위한 장치이므로 운전자가 최적의 시야를 확보하도록 미러를 조정함에 있어서 거울면이 최대 움직일 수 있는 각도, 자동/수동 작동이 가능한 액튜에이터의 설계여부가 관건이다. 따라

* 창원대학교 대학원
** 창원대학교
*** 한국기계연구원

서, 본 연구에서는 유전자알고리듬을 적용하여 일정한 공간 내에서 거울면의 유동각도와 기하학적 조건을 고려한 미러 액튜에이터 시스템의 크기를 최소화 하는 최적설계를 수행하였다.

2. 이론해석

2.1 유전자 알고리듬

유전자 알고리듬(Genetic Algorithm : GA)은 자연적 유전학을 인위적 전산학에 적용한 것으로 생물진화의 원리인 선택도태, 교차, 돌연변이에 착상을 얻은 알고리듬으로 확률적 탐색, 학습, 최적화의 1가지 방법으로 볼 수 있다.[1],[3],[4] 유전자 알고리듬의 기본조작으로는, 어느 개체를 선택하여 교차를 통한 생성에 이용할 것인지, 그리고 어떤 개체를 도태시킬 것인지를 결정하는 복제 및 선택도태와 두 부모의 염색체를 조합하여 바꿈으로써, 자손의 염색체를 만드는 조작으로 부모가 되는 2개의 유전자 부분(Bit/String)들을 상호 교환시켜 새로운 2개의 유전자를 생성시키는 과정인 교차(Crossover), 그리고 교차만으로 인한 설계공간(Design space)의 탐색한계를 극복하기 위해 미리 정해진 확률에 따라 임의로 선택된 유전자형을 전혀 다른 모양으로 변이(變異)시키는 돌연변이(Mutation)조작이 있다.

2.2 웜/웜기어의 기본적인 설계식

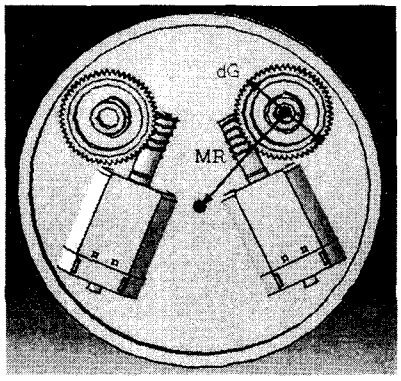


Fig. 1 photograph for mirror actuator

대부분의 미러 액튜에이터 시스템은 Fig. 1에서와 같이 모터로부터의 빠른 회전을 감소시키는 감속장치(웜/웜기어, Worm/Worm gear)와 회전운동을 직선운동으로 변환하는 메카니즘으로 구성되어 있다. 미러의 작동속도(Operating speed)는 사용자의 편의와 구동부에서 과부하에 의한 모터 파손을 방지하기 위하여 모터에서 암나사까지의 동력전달과정중에서 감속이 필수적이다. 웜감속기는 웜과 웜기어로 구성되어지며, 본 연구에서는 모터의 감속을 위하여 일중포함(single enveloping) 웜기어를 채택하였다. 설계시 요구되는 웜기어의 대표적인 성능기준은 거울을 구동하기 위한 나사로의 적절한 동력전달과 미러의 적정한 유동각을 만족하는 것이 될 것이다.

Fig. 2는 미러 액튜에이터 시스템의 각 부분에 대한 개략도를 나타내고 있다. 설계변수인 웜의 피치지름(d_w ,pitch daimeter), 웜기어의 잇수(N_G), 웜기어에 부착되는 동력전달용 나사의 높이(h_s)와 피치지름(d_s) 그리고, 각도조절나사의 다리두께(t_a ,leg thickness)와 다리 폭에 해당하는 원주각(θ, angle for adjustor's guide)은 각각의 제한된 설계범위 내에서 유전자 알고리듬의 난수발생에 의해 정의된다.

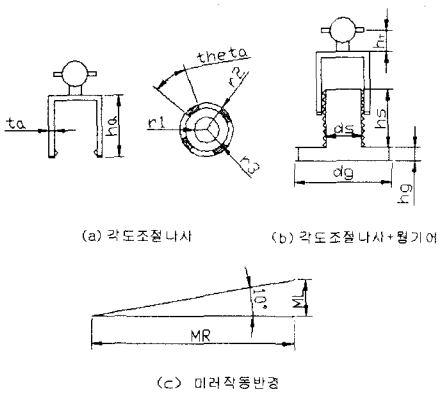


Fig. 2 Geometry of the mirror actuator

일정한 공간내에 배치되는 미러 액튜에이터의 전체 높이(TCH)는 웜기어, 웜기어 샤프터, 각도조절나사의 크기를 고려하여 다음과 같이 정의된다.

$$TCH = h_T + h_s + h_g \qquad (1)$$

미러의 유동거리, ML은 웜기어 샤프터의 나사산을 따라 움직이는 거리이므로 다음 식(2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$ML = \frac{1}{2} h_s \times M_f \quad (2)$$

여기서, M_f는 각도조절나사가 샤프터에서 이탈하는 것을 방지하기 위한 패킹요소(packing factor)로 0.8로 정하였다. 그리고, 미러(mirror)의 중심에서 각도조절나사의 꼭지점까지는 거울면의 유동각도로부터 식(3)과 같이 계산되어질 수 있다.

$$MR = ML/\tan 10^{\circ} \quad (3)$$

그리고, 샤프터와 각도조절나사는 기하학적으로 웜기어에 부착되는 부분임으로 샤프터의 직경에 나사다리를 더한 값, AD는 다음과 같다.

$$AD = d_s + 2\, t_a \quad (4)$$

또한, 각도조절나사는 거울면을 지지하고 있으므로 수동으로 구동시, 힘을 받을 때 샤프터의 나사산을 따라 변위가 일어나야 한다.

$$DT = \frac{1/8ML}{\tan 30^{\circ}} \quad (5)$$

그러므로, Fig. 1과 같은 미러 액튜에이터 시스템의 반경은 중심으로부터 거울면의 운동을 직접적으로 조절하는 각도조절나사까지의 꼭지점에 웜기어의 반경을 더한 값이 된다.

$$R = MR + \frac{1}{2} d_g \quad (6)$$

2.3 각도조절나사의 구조 해석

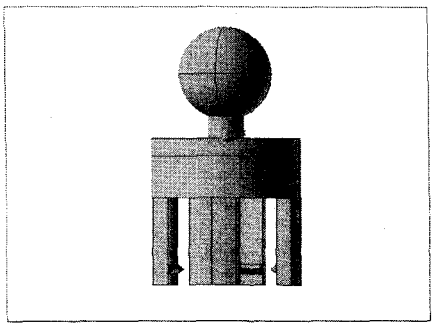


Fig. 3 FE Model for adjustor's guide

Fig. 3에 보여지는 나사는 미러(mirror)를 지지할 뿐만 아니라 미러를 상·하로 작동시키는 작동자(adjustor)라고 볼 수 있다. 4개의 다리를 가지며, 각각의 다리에 튀어나온 돌출부가 나사역할을 수행하며 거울면을 상·하로 움직이게 하고 거울면을 지지한다. 이 나사는 모터에 의한 작동시에 샤프터의 나사산을 따라 회전운동을 하여야 하고, 거울면에 수동으로 압박을 가할 경우에는 각도조절나사의 심각한 변형이나 파손없이 다리선단에 샤프터 나사산의 코사인값에 해당하는 변위가 발생하여 회전없이 상·하 운동이 가능하여야 한다. 그러므로, 난수발생에 의하여 생성되는 설계변수인 조절나사의 다리두께(t_a, leg thickness)와 다리 폭에 해당하는 원주각(θ, angle for adjustor's guide), 다리길이(h_a)에 따라 응력 및 선단부의 변위를 결정하기 위하여 상용유한요소 프로그램으로 구조해석을 수행한다.

3. 유전자 알고리듬을 이용한 Mirror Actuator의 최적설계

3.1 최적화 문제 정립

본 연구에서 설정한 미러 액튜에이터의 최적화 문제(Optimization problem)는 미러 액튜에이터 나사모형에 설계변수들의 다양한 조합을 적용한 유한요소모델 해석을 수행하여, Fig. 1과 같은 미러 액튜에이터의 반경(radius)을 최소화할 수 있는 설계변수를 찾는 것이다.

그리고, 미러의 운동각도가 10° 로 한정되어있는데, 실제 행정거리를 나타내는 샤프터(shaft)의 높이와 웜기어의 높이, 나사모양의 다리높이 등을 고려하여 액튜에이터의 전체 높이(TCH)를 $20mm$로 제한하였고, 샤프터(shaft)와 나사의 다리는 웜기어에 부착되는 부분임으로, 기하학적으로 샤프터의 직경에 나사다리를 더한 값(AD)이 웜기어의 직경에 70%이내의 값에 해당하도록 하였으며, 유한요소모델에서 해석되는 나사 다리의 변위(DT_{ans})는 샤프터(shaft)의 나사 리드각의 코사인 값(DT)보다 커야한다. 또한, 유한요소모델의 응력(ST_{ans})은 재료의 허용응력(ST_{all})보다 작도록 설계제한조건을 부여하였다. 여기서 재료의 허용응력은 $69MPa$이다. 따라서 본 연구에서

설정한 최적화 문제는 식 (7)과 같다.

$$Maximize \quad R_{M.R.} = \frac{1}{MR + 1/2d_G}$$
$$TCH \le 0.0020\,(mm) \quad , \quad AD \le 0.7\,d_G(mm) \qquad (7)$$
$$ST_{ans} \le ST_{all} \quad , \quad DT \le DT_{ans}$$

3.2 설계변수의 설정

Fig. 2와 같이 미러 액튜에이터 시스템의 반경에 직·간접적인 영향을 미치는 6가지 인자, 즉 휨의 피치지름(d_w ,pitch daimeter), 휨기어의 잇수(N_G), 휨기어에 부착되는 동력전달용 나사의 높이(h_s)와 피치지름(d_s) 그리고, 각도조절 나사의 다리두께(t_a ,leg thickness)와 다리 폭에 해당하는 원주각(θ, angle for adjustor's guide)은 서로 기하학적으로 상대적인 연관성을 가지고 있으므로 본 연구에서는 이 6개의 인자를 설계변수로 설정하였다.

따라서 6개의 설계변수에 대한 설계제한구간을 식 (8)과 같이 정의하였다.

$$\begin{array}{ll} d_w(m) & : 0.0045 \le d_w \le 0.0065 \\ N_G(개) & : \quad 48 \le N_G \le 63 \\ h_s(m) & : 0.0100 \le h_s \le 0.0140 \\ d_s(m) & : 0.0040 \le d_s \le 0.0070 \\ t_a(m) & : 0.001 \le t_a \le 0.0003 \\ \theta(\mathrm{deg}) & : \quad 32 \le \theta \le 50 \end{array} \qquad (8)$$

설계변수의 구간이 정해지게 되면, 각 설계변수에 대한 정보를 가지는 염색체의 길이를 결정해야 한다. 염색체의 길이는 각 설계변수의 정보를 몇 개의 비트(Bit)로 나타내느냐의 문제이다. 본 연구에서는 6개의 설계변수에 대하여 각각 5, 4, 4, 4, 4, 4의 비트(Bit)를 할당하여 전체 염색체 길이를 25로 하였다.

3.3 적합도 평가함수의 결정

유전자 알고리듬을 이용한 제약 최적설계문제(Constrained optimization problem)의 경우, 제약조건 만족과 목적함수(Object Function) 최대화를 동시에 고려해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 정립된 최적화문제(Optimization Problem)로부터 적합도(Fitness)를 식 (9)와 같이 정의하고, 식 (10)과 같이 제약조건들이 한계를 벗어날 때, 그에 상응하는 벌칙계수(Pratio)를 가하므로 최적화가 이루어지도록 한다. 벌칙계수는 난수발생에 의해 생성된 50세대의 설계변수들에 대한 제약조건 만족여부 및 액튜에이터의 반경 상태를 감안하여 적용하였다.

$$Fitness = R_{M.R} - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 \qquad (9)$$

$$\begin{array}{ll} P_1 = \left(\frac{TCH - 0.020}{0.020}\right) \times pratio & \text{if} \quad TCH > 0.020 \\ P_2 = \left(\frac{AD - 0.7\,d_G}{0.7\,d_G}\right) \times pratio & \text{if} \quad AD > 0.7\,d_G \\ P_3 = \left(\frac{ST_{ans} - ST_{all}}{ST_{all}}\right) \times pratio & \text{if} \quad ST_{ans} > ST_{all} \\ P_4 = \left(\frac{DT_{ans} - DT}{DT}\right) \times pratio & \text{if} \quad DT > DT_{ans} \end{array} \qquad (10)$$

3.4 유전자 알고리듬을 이용한 최적 설계

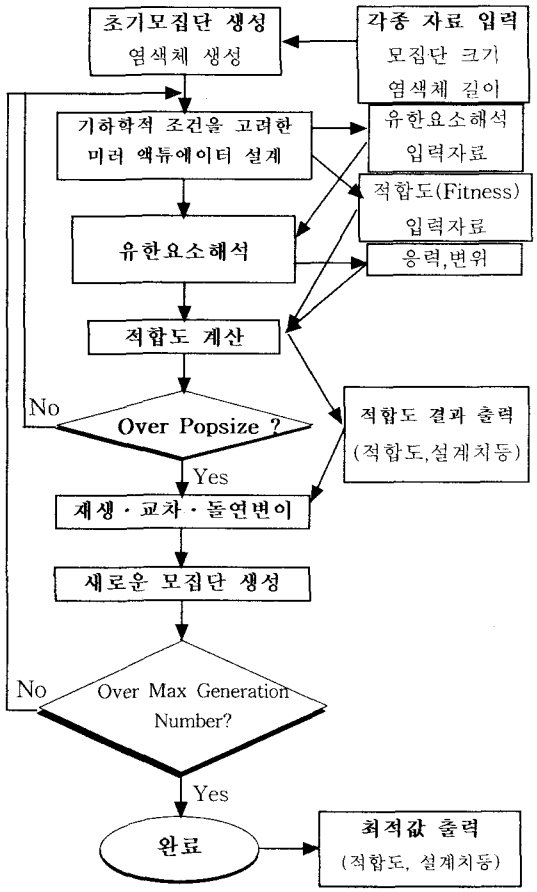


Fig. 4 Optimal design flow chart of the mirror actutor system with G.A

유전자 알고리듬을 이용한 자동차용 미러 액튜에이터(Automobile Mirror Actuator)의 최적 설계는 Fig. 4와 같은 과정으로 벌칙함수가 0이 되면서 적합도가 수렴치를 나타낼 때까지 반복적으로 최적화를 수행한다.

4. 결 과 및 고찰

4.1 유전자 알고리듬에 의한 최적화

Fig. 5는 유전자 알고리듬에 의한 최적화 결과로써 각 세대별 최대 적합도를 나타내는데 세대가 증가할수록 진화에 의해 일정한 방향으로 증가하여 21세대(Generation)부터 적합도 30.974의 값으로 수렴해 가는 모습을 보여주고 있다.

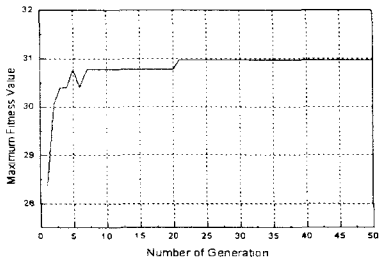
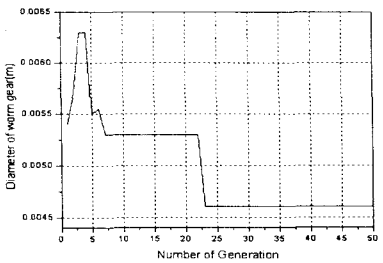


Fig. 5 Maximum fitness value in each generation

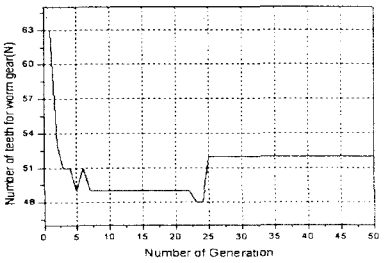
4.2 미러 액튜에이터의 최적구성



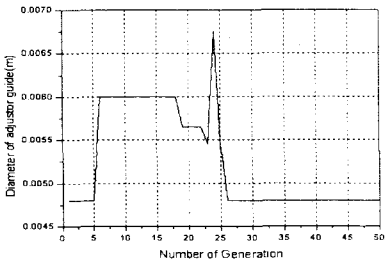
(a) Diameter of worm gear

Fig. 6 Optimal design value in each generation(continue)

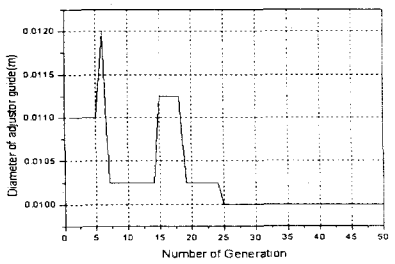
진화의 과정이 진행됨에 따라, 설계변수들의 값은 적합도를 증가시키는 방향으로 변화하게 된다. 주어진 세 가지 설계변수들이 점차 개선되어 최적값으로 수렴해 가는 과정을 Fig 6에 나타내었다.



(b) Number of teeth for worm gear

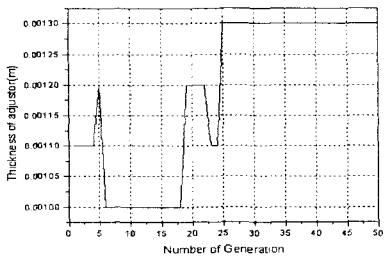


(c) Height of adjustor guide

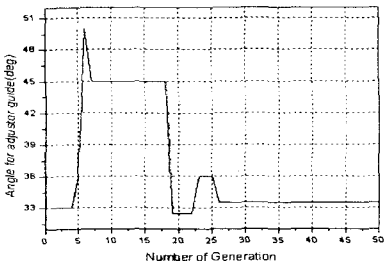


(d) Diameter of adjustor guide

Fig. 6 Optimal design value in each generation(continue)



(e) Thickness of adjustor



(f) Angle for adjustor guide

Fig. 6 Optimal design value in each generation

Table 1은 최적설계라 인정되는 50세대(Generat-ion)의 모집단에서 가장 높은 적합도에 대한 최적 설계변수 값이다.

Table 1. Optimal design value using G.A

설계 변수와 적합도	최적값
d_w (picth diameter of worm, m)	0.0046
N_G(No. of teeth for worm gear, m)	52
h_s(height of adjustor guide, m)	0.0100
d_s(diameter of adjustor guide, m)	0.0048
t_a(thickness of adjustor, m)	0.0013
θ(angle for adjustor guide, deg)	33.5
최종 적합도	30.974

5. 결 론

(1) 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 기법에 유한요소 응력 및 변위 계산과정을 포함시켜 미러 액튜에이터 시스템의 체계적인 최적설계를 수행하였다.

(2) 민감도 해석에 의한 일반적인 최적 설계에서 발생하는 국부 최소화 문제를 전역 탐색법인 유전자 알고리즘을 적용한 최적 설계법을 이용함으로써 극복할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

(3) 미러 액튜에이터 시스템의 동력전달과정뿐 아니라 각도조절나사의 응력 해석에 의한 설계를 수행함으로써 액튜에이터의 안정성을 보장할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

(1) Goldberg, D.E.,1989, "Genetic Algorithm in Search Optimization and Machine Learning", Addision-Wesley.

(2) 이재환, 1998, "유전자알고리즘을 이용한 Heteropolar 자기베어링 기초설계", 창원대학교 기계공학과 석사학위 논문.

(3) 北野 宏明(著), 조성배(譯),1996, "유전자 알고리듬," 대청정보시스템, .

(4) Zbigniew Michalewicz(著), 공성근 外(譯), 1996,"유전자 알고리듬", 도서출판 그린.

(5) 황상문, 1997, "유전자 알고리듬을 이용한 동역학적 시스템의 최적설계에 관한 연구", 창원대학교 기계공학과 석사학위 논문.

(6) 박종권, 1996, "유전자 알고리듬을 이용한 공작기계 구조물의 최적토플로지 설계에 관한 연구", 창원대학교 기계공학과 박사학위 논문.

(7) Nicholas P. Chironis(著), 1967,"Gear design and application", Mcgraw-Hill.