

< 논문 >

# 개선된 유전자 알고리즘을 이용한 로커암 축의 최적설계에 관한 연구

이수진\* · 안용수\* · 이동우\*\* · 조석수\*\*\* · 주원식†  
(2004년 11월 19일 접수, 2005년 4월 8일 심사완료)

## A Study on Optimal Design of Rocker Arm Shaft Using Improved Genetic Algorithm

Soo Jin Lee, Yong Su An, Dong Woo Lee, Seok Swoo Cho and Won Sik Joo

**Key Words:** Analysis of Means(평균분석), Orthogonal Arrays(직교배열표), Rocker Arm Shaft(로커암 축), Simple Genetic Algorithm(단순 유전자 알고리즘)

### Abstract

This study proposes a new optimization algorithm which is combined with genetic algorithm and ANOM. This improved genetic algorithm is not only faster than the simple genetic algorithm, but also gives a more accurate solution. The optimizing ability and convergence rate of a new optimization algorithm is identified by using a evaluation function which have several local optimum and an optimum design of rocker arm shaft. The calculation results are compared with the simple genetic algorithm.

### 1. 서 론

4기통 SOHC 엔진용 로커암 축(rocker arm shaft)은 로커암의 중앙을 관통하여 로커암을 지지해 주는 축으로서 보통 흡기와 배기밸브 축의 2개의 축으로 구성된다. 이러한 로커암 축이 주행 중에 파손이 되는 경우 차량사고의 원인이 될 수 있다. 이러한 로커암 축의 파손이 특정 지역의 차량 운행 결과로 보이나 영동지방에 거주하는 차량정비업체의 설문조사 결과 연구 대상 엔진의 약 30 % 이상의 차량이 로커암 축 파손을 일으키는 것으로 밝혀졌다. 따라서 로커암 축의 효과적인 재설계를 통하여 이러한 파손을 방지하여야 할 것이다.

효과적인 설계 및 재설계를 위하여 최적설계를 도입하여 해결하고자 하는 연구가 최근에 활발하게 진행되고 있으며, 이러한 연구로서 확률론적인 방법인 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing), 신경회로망(neural networks) 등이 등장하였다. 그 중에서 유전자 알고리즘은 1970년대 초 John Holland에 의해 본격적으로 연구되기 시작하였으며 자연의 유전학 및 자연도태의 원리에 근거한 최적화 알고리즘으로 개체간의 체계적인 정보교환을 통해 설계공간을 탐색해 나감으로써 주위환경에 가장 적절한 해를 구할 수 있다.

김 등<sup>(1)</sup>은 유전알고리즘을 이용하여 천음속 유형의 양항비(lift-to-drag ratio)에 대한 최적설계를 수행하였으며, Daly<sup>(2)</sup>는 비행기의 수평꼬리날개의 리브(rib)부분의 형상최적설계 수행하는 등 유전자 알고리즘의 적용에 대한 많은 연구를 수행하였다.

그러나 단순 유전자 알고리즘(simple genetic algorithm : SGA)은 수치적으로 랜덤하게 탐색하기 때문에 수렴속도가 느리며, 또한 정밀도, 신뢰

† 책임저자, 회원, 동아대학교 기계공학과  
E-mail : wsjoo@donga.ac.kr  
TEL : (051)200-7641 FAX : (051)200-7656

\* 동아대학교 대학원 기계공학과

\*\* 동아대학교 기계공학과

\*\*\* 삼척대학교 자동차공학과

도, 연산시간 등이 서로 상충되는 경우 해의 수렴속도가 느려지거나 정밀도가 떨어져 주어진 해공간 내에 존재하는 전역해를 찾지 못하는 단점을 보이고 있다.<sup>(3)</sup>

따라서 본 연구에서는 유전자 알고리즘의 수렴속도와 정밀도를 향상시키기 위하여 실험계획법 중에서 직교배열표와 평균분석을 적용하여 기존의 단순 유전자 알고리즘의 단점을 개선시켰으며 이를 평가함수에 적용하여 개선된 유전자 알고리즘의 유용성을 확인 하였다. 그리고 로커암 축에 이것을 적용하여 구조최적화를 수행하였다.

## 2. 로커 암 축의 피로 파손 사고

Fig. 1은 로커암 축과 캠이 1회전하는 동안 캠에 의하여 로커 암 축에 부하되는 하중 A, B, C, D를 나타낸 것이다.

Fig. 2는 주행 거리가 115,320km인 차량의 로커 암 축이 파손된 것을 나타낸 것으로 중앙 부분의 볼트 구멍에서 균열이 생성되어져 성장되었음을 알 수 있다.

## 3. 평균분석을 적용한 개선된 유전자 알고리즘

### 3.1 단순 유전자 알고리즘

기존의 최적화 알고리즘은 한 점에서 그 다음한 점으로 순차적으로 해를 구하는 국부적 탐색(local search)을 하는데 비하여 단순 유전자 알고리즘은 여러 점을 동시에 탐색하는 전역적 탐색(global search)이므로 전역적인 최적해(global optimal solution)를 찾을 확률이 기존의 최적화 방법에 비해 큰 것이 특징이다.

#### 3.1.1 평가(evaluation)

2비트(bit)로 코딩(coding)한 염색체형(chromosome type)을 십진수 형태의 표현형(representation type)으로 디코딩(decoding)하여 주어진 목적함수(object function)에 대한 적합도를 평가한다.

#### 3.1.2 재생산(reproduction)

자연 선택의 개념을 기반으로 적합도에 따라 부모(parent) 염색체들로부터 N 개를 랜덤하게 재

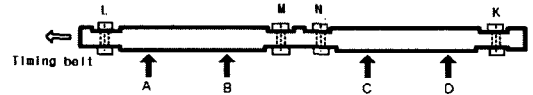


Fig. 1 Loads applied to rocker arm shaft

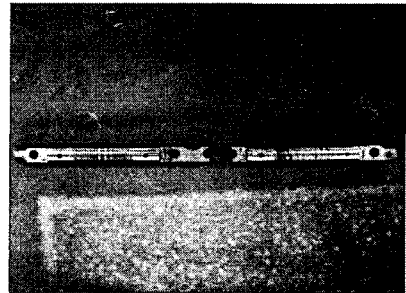


Fig. 2 Failure of rocker arm shaft at 4-Cylinder SOHC engine

생산한다. 이러한 기능은 자연생태계의 적자생존 원리를 이용한 것으로 높은 적합도를 가진 염색체일수록 다음 세대에 재생산될 확률이 높게 된다. 적자생존의 원리를 결정짓는 방법에는 여러 가지 방법이 있지만 보통 룰렛 휠 선택(roulette wheel selection)방법을 사용한다.

#### 3.1.3 교배 및 돌연변이

재생산을 거친 염색체들을 일정한 확률로 부모 염색체로 변화시켜 새로운 염색체를 생성하는 과정에서 부모 염색체의 유전자를 서로 교환하여 새로운 정보를 가진 자손(offspring) 염색체를 생성하는 것을 교배(crossover)라 하며 교배점은 염색체 길이 내에서 랜덤하게 발생한다. 돌연변이(mutation)는 부모 염색체 유전자형의 일부를 임의로 바꾸어 새로운 정보를 갖는 염색체를 생성하는 것으로 돌연변이점은 돌연변이 확률에 따라 랜덤하게 발생한다.

### 3.2 직교배열표를 이용한 평균분석

직교배열표 실험은 일부실시법으로써 이를 이용하여 행렬실험을 할 경우 요인간에 직교성을 갖기 때문에 동일한 회수의 실험을 하더라도 검출력이 더 좋은 검증을 할 수가 있으며 정도가

더 좋은 추정을 할 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>(4)</sup> 전체 평균으로부터 그 인자수준에 의한 결과의 편차로 정의되는 인자수준의 효과를 추정하는 것을 평균분석이라고 하며 최적 인자수준의 선정에 반영된다. 직교배열표를 이용한 특성치에 대한 평균분석은 다음과 같은 과정을 통하여 수행한다. Table 1과 같이 4 개의 3 수준 인자를 A, B, C, D라 하고 각 수준에서의 값을 결정한 후  $L_9(3^4)$ 를 이용하여 행렬실험을 수행한다. 인자 수준에 의해 정의되는 실험영역에 대한 특성치(R)의 전체평균은 다음 식 (1)로 주어진다.

$$m = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^9 R_i \quad (1)$$

각 인자의 수준에 대한 실험치 영향을 파악하기 위하여 평균분석을 수행한다. A 인자의 A1에 대한 평균을 구하면 다음과 같다.

$$m_{A1} = \frac{1}{3} (R_1 + R_2 + R_3) \quad (2)$$

어떤 인자수준의 효과는 전체 평균으로부터 그 인자수준에 의한 결과의 편차로 정의되므로 수준 A1에서 인자의 효과는 식 (1)과 식 (2)로부터 ( $m_{A1} - m$ )으로 정의된다. 그리고 특성치에 대한 최적수준은 Table 2와 같이 각 인자의 수준별 평균값을 계산하여 최소가 되는 인자들의 조합으로 구해진다.  $m_{A1}$ ,  $m_{B2}$ ,  $m_{C3}$ ,  $m_{D1}$ 이 인자에 대한 최대 값이면 A1, B2, C3, D1이 인자의 최적수준이 된다.<sup>(5)</sup>

3.3 평균분석을 적용한 개선된 유전자 알고리즘  
기본적으로 유전자 알고리즘의 최적화 방법은 현 세대의 좋은 적합도를 가진 집단들에 의해 발생된 다음 세대의 집단들은 현 세대의 나쁜 적합도를 가진 집단들에 의해 발생된 다음 세대의 집단들에 비해 좋은 적합도를 가질 확률이 높다는 가정에 의하여 최적화를 수행한다. 그리고 다음 세대의 재생산은 교배 및 돌연변이에 의하여 이루어진다. 하지만 교배에 의하여 생산되는 새로운 세대가 항상 현 세대보다 적합도가 높은 세대를 반드시 생산한다는 보장은 할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 유전자 알고리즘의 기본 가정을 기초로 하여, 교배에 의하여 새로운 세대를

Table 1  $L_9(3^4)$  Orthogonal array

Exp. No	Column number				Response (R)
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	R1
2	1	2	2	2	R2
3	1	3	3	3	R3
4	2	1	2	3	R4
5	2	2	3	1	R5
6	2	3	1	2	R6
7	3	1	3	2	R7
8	3	2	1	3	R8
9	3	3	2	1	R9

Table 2 ANOM results for  $L_9(3^4)$  Orthogonal array

Design Variables	Levels		
	1	2	3
A	$m_{A1} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{3}$	$m_{A2} = \frac{R_4 + R_5 + R_6}{3}$	$m_{A3} = \frac{R_7 + R_8 + R_9}{3}$
B	$m_{B1} = \frac{R_1 + R_4 + R_7}{3}$	$m_{B2} = \frac{R_2 + R_5 + R_8}{3}$	$m_{B3} = \frac{R_3 + R_6 + R_9}{3}$
C	$m_{C1} = \frac{R_1 + R_6 + R_8}{3}$	$m_{C2} = \frac{R_2 + R_4 + R_9}{3}$	$m_{C3} = \frac{R_3 + R_5 + R_7}{3}$
D	$m_{D1} = \frac{R_1 + R_5 + R_9}{3}$	$m_{D2} = \frac{R_2 + R_6 + R_7}{3}$	$m_{D3} = \frac{R_3 + R_4 + R_8}{3}$

생성할 경우보다 직교배열표를 이용한 평균분석을 적용하여 새로운 세대를 재생산 할 경우가 항상 우수한 세대를 생산함으로써 기존의 단순유전자 알고리즘의 수렴속도와 해의 정도를 향상시키고자 한다.

3.3.1 평균분석을 적용한 재생산

유전자 알고리즘에서 새로운 세대의 재생산은 교배와 돌연변이에 의해 이루어지고 이 중 돌연변이는 랜덤하게 수행되며 또한 돌연변이율은 일반적으로 교배율에 비해 상당히 작게 주어지므로 본 연구에서는 평균분석을 적용한 새로운 세대의 재생산은 교배에 제한하여 수행하였다. 교배는 두 개체 사이에 임의의 값을 서로 주고 받아 새로운 개체를 생산하는데 이 때 선택되어진 두 개체를 직교배열표를 이용한 평균분석을 수행하여

두 개체 사이의 최적값을 생산시키므로써 항상 우수한 세대가 다음 세대에 생산되도록 하였다.

Fig. 3은 평균분석을 적용한 개선된 유전자 알고리즘(improved genetic algorithm : IGA)의 재생산에 대한 과정을 나타낸 것으로 다음과 같은 순서로 이루어진다

- 1) 교배율에 따라 개체(parent)를 선택한다.
- 2) 선택된 개체를 디코딩하여 표현형으로 변경한다.
- 3) 앞 단계에서 구한 각 변수 A, B의 표현형을 이용하여 두 개체 사이의 평균을 구한다. 예를 들면, 변수 A의 표현형 1과 3의 평균 2를 구한다.
- 4) 앞 단계에서 구한 평균과 표현형을 이용하여 적당한 직교배열표를 구성한다. 예를 들면, 변수 A, B를 인자로 각 변수의 표현형과 평균을 수준으로 하여, 2인자 3수준의  $L_9(3^4)$  직교배열표를 구성한다.
- 5) 직교배열표에 의한 평균분석을 수행하여 최적수준을 결정한다.
- 6) 앞 단계에서 구한 최적수준을 다음 세대로 재생산한다.

또한, 평균분석에 의하여 새로운 세대를 생산할 경우 일반적인 유전자 알고리즘에 의해서 생산되는 교배율의 반으로 세대가 감소하기 때문에 평균분석에 의한 재생산뿐만 아니라 일반적인 교배에 의한 새로운 세대를 동시에 생산하였으며, 교배에 의하여 생성된 두 개체(offspring) 중에서 적합도가 높은 하나의 세대만을 다음 세대로 재생산하였다.

3.4 평가함수

본 연구에서 제안한 방법에 대한 효과를 검증하기 위하여 여러 문헌에서 많이 인용하고 있는 Rastrigin 함수<sup>(6)</sup>에 적용하였으며, 단순유전자 알고리즘과 개선된 유전자 알고리즘을 비교하였다.

3.4.1 평가함수 : Rastrigin 함수

find design variables  $x_1, x_2$   
 to minimize  $f(x)$   
 $f(x) = x_1^2 + x_2^2 - \cos 18x_1 - \cos 18x_2$  (3)  
 subject to  
 $-1.0 \leq x_i \leq 1.0, i = 1, 2$

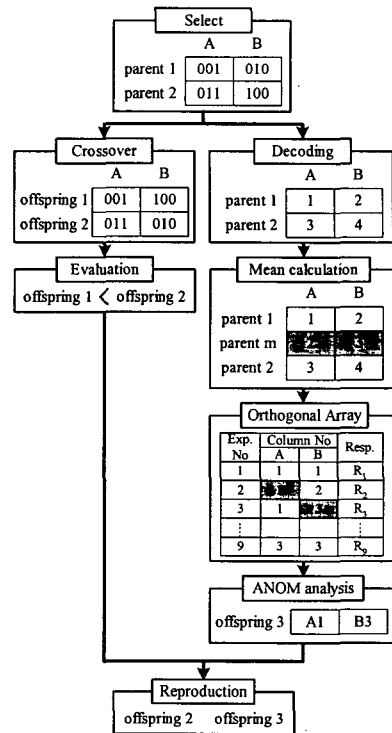


Fig. 3 Flow chart for reproduction of IGA

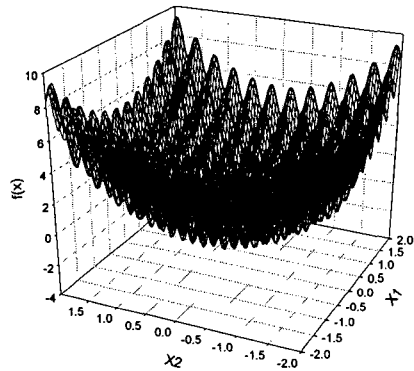


Fig. 4 Rastrigin function

위의 함수는 Fig. 4에 보이는 것과 같이 49 개의 지역함수와 1 개의 전역해를 가지는 함수이며, 전역해는  $x = (0.0, 0.0)$ 에서  $f(x) = -2.0$ 을 가진다.

3.4.2 평가함수에 대한 적용결과

단순 유전자 알고리즘과 개선된 유전자 알고리즘을 이용하여 평가함수에 대한 해석을 수행하였다. 이때 사용한 조건은 Schaffer<sup>(7)</sup>의 실험에서 제

안한 조건을 이용하였으며 Table 3에 나타내었다.

Table 4는 단순유전자 알고리즘과 개선된 유전자 알고리즘의 비교한 것으로서 총 5 회 반복실험을 수행한 후의 결과를 나타낸 것이다. Table에서 보이는 것과 같이 평균분석을 적용한 개선된 유전자 알고리즘이 단순유전자 알고리즘보다 수렴속도 및 정도면에서 우수한 것을 알 수 있다. 이것은 새로운 세대를 재생산할 때 평균분석을 적용한 개선된 유전자 알고리즘이 현 세대보다 적합도가 높은 세대를 항상 생산함으로써 알고리즘의 수렴속도와 정도를 향상시킨 것으로 생각할 수 있다. 또한 이것은 유전자 알고리즘의 수렴속도 및 해의 정도는 새로운 세대의 재생성 방법에 많은 영향을 받는 것을 알 수가 있다.

#### 4. 로커암 축의 최적설계

##### 4.1 최적화 문제의 정식화

본 장에서는 개선된 유전자 알고리즘을 로커암 축에 부하되는 최대응력을 최소화하는 문제에 적용하였다. 목적함수로 설정한 로커암 축의 최대응력은 본 저자들이 연구를 수행한 바 있는 로커암 축의 파손시의 조건을 경계조건으로 설정하였으며,<sup>(8)</sup> Table 5에 나타내었다. Table의 숫자는 로커암 축에 체결된 볼트의 상태를 나타낸 것으로서 1은 볼트가 완전히 체결된 경우를, 2는 볼트가 풀리기 직전 경우를, 3은 볼트의 체결이 완전히 풀린 경우를 나타낸다.

또한 로커암 축에 부하되는 응력을 유한요소해석으로 구할 경우, 비용 및 시간이 많이 소비되기 때문에 반응표면모델을 구성하여 응력을 구하였다. 반응표면모델을 구성하기 위한 해석은 범용유한요소해석 소프트웨어인 ANSYS 7.0을 이용하였다. 일반적으로 반응표면모델을 생성하기 위한 실험계획법의 선택은 반응표면모델의 정확도와 해석시간에 큰 영향을 미치기 때문에, 일반적으로 설계변수가 5 개 미만인 경우에는 중심합성법과 Box-Benken법을 가장 많이 사용하고 있으며 설계변수가 많은 경우에는 해석 및 실험의 회수를 줄이기 위하여 D-optimal법을 많이 적용하고 있다. 본 연구에서는 설계변수의 개수가 5 개 미만이고 설계변수 영역의 제한 조건 등을 고려하여 Box-Benken법을 이용하여 반응표면모델을 생성하였으며 식 (4)에 나타내었다.

Table 3 Parameter conditions of SGA and IGA for Rastigin function

Population size	30
Crossover rate	0.75
Mutation rate	0.01
Maximum generation	500

Table 4 Comparison of SGA with IGA for optimization of Rastigin function

Optimization method	Optimum value	Computation time (s)
SGA	-1.983 ~ -1.988	2.5 (no convergence)
IGA	-2.0	0.7 ~ 1.9 (convergence)

Table 5 The most dangerous failure boundary condition of rocker arm shaft

Load case	Level of factor			
	L	M	N	K
D	3	2	1	3

$$y = 82.7893 + 0.673981x_1 - 4.02053x_2 - 14.3151x_3 - 0.232805x_1^2 + 2.01461x_2^2 + 3.63788x_3^2 - 0.0758728x_1x_2 + 1.45322x_2x_3 - 0.386308x_3x_1 \quad (4)$$

Fig. 5는 설계변수를 나타낸 것으로 로커암 축에 관통 구멍을 뚫어 로커암 축에 발생하는 최대응력을 이완시키고자 한다. 설계변수로는 로커암 축 내의 관통구멍의 위치와 크기로 설정하였다. 따라서 최적화 문제는 다음과 같이 정식화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{find} && \text{design variables } x_1, x_2, x_3 \\ &\text{to minimize} && \text{maximum stress} \\ &\text{subject to} && \\ &&& -6.5 \leq x_1 \leq 6.5 \\ &&& -2.6 \leq x_2 \leq 2.6 \\ &&& 1.0 \leq x_3 \leq 5.0 \end{aligned}$$

여기서,  $x_1$  : 구멍의 x축 위치,  $x_2$  : y축 위치,  $x_3$  : 구멍의 크기이다.

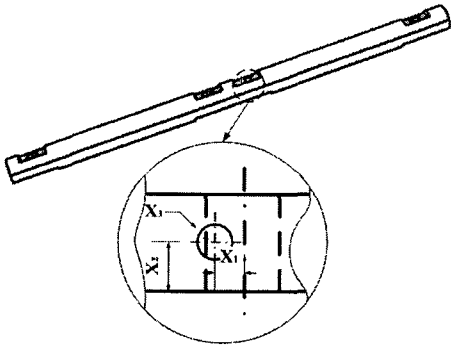


Fig. 5 Design variables of rocker arm shafts



Fig. 6 FEM analysis result of rocker arm shaft

Table 6 Parameter conditions of SGA and IGA for rocker arm shaft

Population size	50
Crossover rate	0.6
Mutation rate	0.001
Maximum generation	1000

Table 7 Material properties of rocker arm shaft

Tensile Strength, $\sigma_t$ (MPa)	769
Yield Strength, $\sigma_y$ (MPa)	710
Young's modulus (GPa)	205
Poisson's ratio	0.29
Elongation (%)	6.27

로커암 축의 최대응력을 최소화하기 위하여 단순 유전자 알고리즘과 평균분석을 적용한 유전자 알고리즘으로 최적화를 수행하였으며 이때 사용한 파라미터 조건을 Table 6에 나타내었으며 Table 7은 로커암 축의 재료물성치를 나타낸 것이다.

4.2 로커암 축의 적용결과

Fig. 6은 최적화를 수행하기 전의 파손계조조건에 대한 유한요소해석 결과를 나타낸 것으로 로커암 축의 구멍 주위에 최대응력 711 MPa이 부과되고 있는 것을 알 수 있다.

Table 8은 단순유전자 알고리즘과 개선된 유전자 알고리즘의 최적화 결과를 나타낸 것으로 개

Table 8 Comparison of SGA with IGA for rocker arm shaft

Optimization method	SGA			IGA		
	RSM	FEM		RSM	FEM	
Optimum value (MPa)	569.5	583.1		565.7	575.9	
Computation time (s)	1.6			0.9		
Position of Design Variables	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
	6.389	0.383	2.136	6.498	0.36	2.193

선된 유전자 알고리즘이 단순 유전자 알고리즘보다 약간 더 나은 최적화값을 나타낼 뿐 아니라 수렴속도 면에서 개선된 유전자 알고리즘이 단순 유전자 알고리즘보다 우수하다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 유전자 알고리즘의 수렴속도 및 해의 정도를 향상시키기 위하여 실험계획법의 하인 직교배열표와 평균분석을 유전자 알고리즘의 교배연산에 적용하여 수렴속도 및 해의 정도를 향상시킨 새로운 최적화 방법을 제안하였으며, 이를 평가함수(2변수 다봉성 함수)와 실제 최적화의 예로서 파손이 일어난 로커암 축의 파손부의 응력을 최소화하는 문제에 적용하여 제안된 유전자 알고리즘의 유용성을 확인하였다.

또한, 단순유전자알고리즘을 이용한 경우와 비

교하였으며, 그 결과 유전자 알고리즘의 수렴속도 및 해의 정도에 영향을 미치는 인자로서 새로운 개체의 재생성 방법이 중요함을 알 수 있었다.

참고문헌

(1) Kim Yunsik, Kim Jonghun and Lee Jongsoo, 2000, "Optimization of Transonic Airfoil using GA based on Neural Network and Multiple Regression Model," *Transactions of KSME(A)*, Vol. 6, No. 12, pp. 2556~2564.

(2) Daly, P., 1998, "Multidisciplinary Structural Optimization utilizing Genetic Algorithm Capabilities," *Proceedings of the AIAA/USAF/ NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization-Part I*, pp. 553~558.

(3) Choi, W. H., Yang, B. S. and Joo, H. J., 1996, "Optimum Field Balancing of Rotating Machinery Using Genetic Algorithm," *Transactions of KSME (A)*, Vol. 20, No. 6, pp. 1819~1826.

(4) Park, S. H. 1998, *Applied Experimental Design, Youngchi*, SEOUL.

(5) Phadke, M. S., 1989, *Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall*, New Jersey.

(6) Wang, G. Gary, Dong Zuomin and Aitchison, Peter 2001, "Adaptive Response Surface Method - A Global Optimization Scheme for Approximation-based Design Problems," *Engineering Optimization*, Vol. 33, pp. 707~733.

(7) Schaffer, J. D., 1989, "A study of control parameters affecting online performance of genetic algorithm for function optimization," *Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Genetic Algorithm*, pp. 51~61.

(8) Lee, S. J., An, Y. S., Lee, D. W., Cho, S. S. and Joo, W. S., 2003, "An Estimation on Failure boundary Condition of Rocker Arm Shaft for 4-Cylinder SOHC Engine using Orthogonal Array," *Fall Conference Proceeding, KSAE*, Vol. II, pp. 1435~1440.