한국소음진동공학회논문집 제 12 권 제 12 호, pp. 935 ~ 942, 2002.

향상된 유전알고리듬을 이용한 유체마운트의 최적화

Optimization of Engine Mount Using an Enhanced Genetic Algorithm

안 영 공† · 김 영 찬** · 양 보 석*

Young Kong Ahn, Young-Chan Kim and Bo-Suk Yang

(2002년 6월 29일 접수 : 2002년 11월 6일 심사완료)

Key Word : Fluid Mount (유체마운트), Genetic Algorithm (유전 알고리듬), Optimum Design (최적설계)

ABSTRACT

When designing fluid mounts, design parameters can be varied in order to obtain a desired notch frequency and notch depth. The notch frequency is a function of the mount parameters and is typically selected by the designer to occur at the vibration disturbance frequency. Since the process of choosing these parameters can involve some trial and error, it seems to be a great application for obtaining optimal performance of the mount. Many combinations of parameters are possible to give us the desired notch frequency, but the question is which combination provides the lowest depth. Therefore, an automatic optimal technique is needed to optimize the performance of the fluid mount. In this study, the enhanced genetic algorithm (EGA) is applied to minimizing transmissibility of a fluid mount at the desired notch frequency, and at the notch and resonant frequencies. The EGA is modified genetic algorithm to search global and local optimal solutions of multi-modal function optimization. Furthermore, to reduce the searching time as compare to conventional genetic algorithm and increase the precision of the solutions, the modified simplex method is combined with the algorithm. The results show that the performance of the optimized mount by using the hybrid algorithm is better than that of the conventional fluid mount.

1. 서 론

유체마운트(fluid mount)가 1960년대 초반에 개발된 이후 유체마운트의 관한 연구가 활발히 이루어져 왔으며, 또한 마운트 및 마운트 시스템의 최적설계에 관한 연구도 활발하게 이루어져 왔다.[1, 2] 그러나 이들 최적설계에 사용된 최적화 기법은 국소해에 수렴할 가능성을 가지는 단점이 있다.

마운트가 어떻게 설계되어지는가에 따라서 두개의 유연한 고무챔버 사이로 이동하는 유체에 의해 마운트에 부가적인 감쇠를 제공하거나, 또는 단일 주파수 즉, 노치주파수에서 탁월한 절연효과를 제공하도록 동흡진기(tuned absorber)효과를 일으킬 수 있다. 유체의 동흡진기 효과는 전달률이 노치를 가지는 결과를 가져온다. 그 노치현상은 일반적으로 설계자에 의해 외부의 가진주파수에서 발생하도록 선정되어진다. 유체마운트의 설계단계에서 요구되는 조건인 전달률의 노치주파수, 엔진의 공회전주파수와 관련이 있는 기본공진주파수, 노치깊이 및 공회전주파수에서의 피크의 허용치에 맞추기 위해서 선택할 수 있는 마운트의 설계변수는 많이 있다. 산업현장에서는 일반적으로 수많은 시행착오를 통하여 그 변수 값을 정하여 왔다. 그러나, 비록 그 요구조건을 만족하였다고 하여도 노치 혹은 기본공진주파수에서의 전달률이 최고로 낮다고는 확신할 수 없다.

† 책임저자, 정회원, 부경대학교 공과대학 기계공학부
E-mail : ahn@mail1.pknu.ac.kr
Tel : (051) 620-1618, Fax : (051) 620-1405
* 정회원, 부경대학교 공과대학 기계공학부
** 정회원, 부경대학교 대학원 음향진동공학과

따라서 본 연구에서는 설계변수의 초기치에 의존하여 국소해로 수렴할 가능성이 있는 기존의 최적화 기법대신에 전역해 탐색이 가능한 향상된 유전 알고리듬(enhanced genetic algorithm : EGA)을 이용하여 항공기용 유체마운트의 최적화를 수행하였다. EGA는 다봉성함수의 최적화를 위해 개발된 최적화 기법으로서, 전역 및 국소해를 찾을 수 있도록 수정된 GA와 국부탐색을 집중적으로 수행할 수 있도록 수정된 simplex법으로 구성되어 있다.[3] EGA의 장점은 탐색시간이 기존의 GA에 의한 것 보다 빨라졌고 또한 해의 정밀도 역시 향상되었다. 또한, 기존의 최적화 기법에서 요구되어지는 기울기 정보를 이용하지 않기 때문에 함수의 초기치에 의존하지 않는 것이다.

마운트의 최적화는 주 운전주파수에서의 전달률을 최소화하는 것이 주요 사항이지만, 기본공진주파수에서의 진동에너지가 크므로 기본공진주파수와 주 운전주파수인 노치주파수에서의 전달률을 동시에 최소화하는 최적화 문제 역시 고려하였다. EGA에 의해 최적화된 마운트의 성능이 본래의 것에 비해 월등히 향상되었음을 수치시뮬레이션을 통하여 입증하였다. 또한 종래의 최적화기법으로 널리 알려진 SQP (*sequential quadratic programming*)[4]에 의한 최적화 결과와 비교하여 본 EGA의 유용성을 검증하였다.

2. 유체마운트

Fig. 1은 유체마운트의 개략도를 보여 준다. 이 장치는 상용 항공기의 대형 터보휀 엔진(turbofan engine)의 진동절연을 위해 일반적으로 사용되는 마운트와 적합한 성능 특성을 가지고 있다.[5] 내부요소는 엔진에 연결되어 있고, 외부요소는 비행기 구조물에 연결된다. 이 유체마운트는 두개의 고무챔버(chamber) 사이의 유체이동 통로(inertia track)가 외부에 설치되어져 있다. 더우기 온도에 따른 유체의 체적변화를 보상하기 위한 작은 체적 보상기(compensator)가 설치되어 있다.[6]

Fig. 1의 유체마운트에 대한 유체/기계적 모델을 Fig. 2에 나타내었다. A_p는 상하 챔버의 유효 피스톤 단면적이다. 내부요소에 작용하는 힘 F에 기인하여 피스톤 면적 A_p에 동압이 발생하여 외부요소에 대한 내부요소의 변위 x를 발생시킨다. Fig. 2에 보여지듯이 유량 Q_1과 Q_3는 같고, 상하 챔버의 유입과 유출에 각각 대응한다. K_{vt}와 K_{vb}는 상하 챔버의 체적강성계수, B_{vt}와 B_{vb}는 상하 챔버의 체적감쇠계수이다. 체적강성과 감쇠계수는 고무(elastomer)의 벌지현상에 대한 체적 컴플라이언스(volume compliance)로부터 산정된 계수들로서, 본 마운트는 병렬로 작동하므로 합하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_v = K_{vb} + K_{vt} \quad B_v = B_{vb} + B_{vt} \tag{1}$$

내부요소가 외부요소에 대해 변위를 가질 때, 병렬로 연결된 스프링 K_r과 감쇠기 R_r에 의해 모델링된 고무에 의해 복원력이 발생한다. Fig. 2의 모델을 순수 기계적 모델로 표현하면 Fig. 3과 같다.[7] 따라서 Fig. 2와 Fig. 3으로부터의 얻은 해석결과는 동일하다. 참고문헌 (7)에는 유체 마운트의 운동방정식을 유도하는 과정에서 기계 기술자에게 잘 알려지지 않

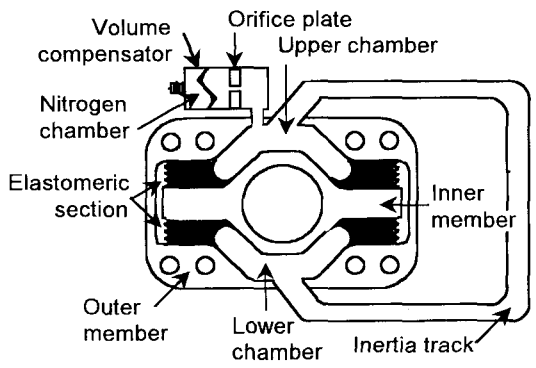


Fig. 1 Schematic representation of a fluid mount with external inertia track

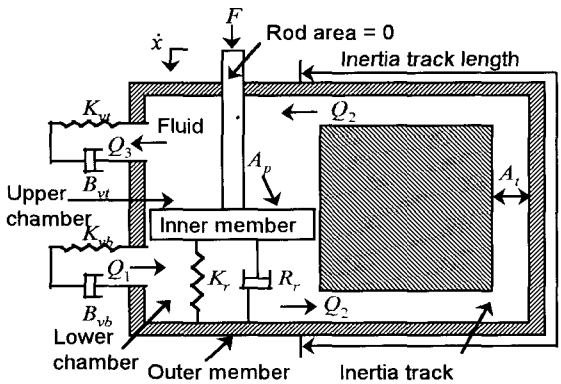


Fig. 2 Fluid/Mechanical model of a fluid mount

은 bond graph 모델법[8]을 이용하고 있으나, 본 연구에서는 기계 기술자의 이해 및 유체의 이동질량 M_2에 의한 동흡진기 효과에 대한 이해를 높이기 위해 Newton의 운동 법칙을 이용하여 운동방정식을 새롭게 유도하여 식 (2)에 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix}+\begin{bmatrix} (C_1+C_2) & -\frac{A_t}{A_p}C_2 \\ -\frac{A_t}{A_p}C_2 & (\frac{A_t}{A_p})^2(C_2+C_3) \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix}$$
$$+\begin{bmatrix} (K_1+K_2) & -\frac{A_t}{A_p}K_2 \\ -\frac{A_t}{A_p}K_2 & (\frac{A_t}{A_p})^2K_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 0 \\ M_2 \end{Bmatrix}\ddot{y}+$$
$$\begin{Bmatrix} C_1+C_2\frac{(A_p-A_t)}{A_p} \\ (\frac{A_t}{A_p})^2C_3-C_2\frac{A_t(A_p-A_t)}{A_p^2} \end{Bmatrix}\dot{y}+\begin{Bmatrix} K_1+K_2\frac{(A_p-A_t)}{A_p} \\ -K_2\frac{A_t(A_p-A_t)}{A_p^2} \end{Bmatrix}y \quad (2)$$

여기서,

$$C_1=R_r,\ C_2=A_p^2B_v,\ C_3=A_p^2R_o$$
$$K_1=K_r,\ K_2=A_p^2K_v,\ M_2=A_t\rho L \quad (3)$$

위의 설계변수들에 대한 정의와 그 값은 Table 1에 나타내었다. 외부에서 가진 되는 변위입력을 $y=Ye^{j\omega t}$로 가정하면, 식 (2)의 응답은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{Bmatrix}e^{j\omega t} \quad (4)$$

여기서, Y, X_1, X_2는 y, x_1, x_2의 복소 진폭을 각각 나타낸다. 이 조화 가진력에 대한 마운트로 지지된 엔진의 질량 M_1과 동흡진기의 보조질량과 유사한

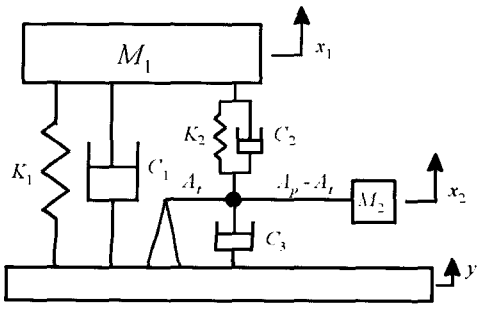


Fig. 3 Mechanical model of a fluid mount

메커니즘으로 되어 있는 유체의 이동질량 M_2의 전달률을 나타내는 식은 아래와 같다.

$$T_1=\frac{X_1}{Y}=\frac{A_4B_1-A_2B_2}{A_1A_4-A_2A_3} \quad (5)$$

$$T_2=\frac{X_2}{Y}=\frac{A_1B_2-A_3B_1}{A_1A_4-A_2A_3} \quad (6)$$

여기서, $s(=j\omega)$는 라플라스 연산자이고, 각 계수는 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned} A_1&=M_1s^2+(C_1+C_2)s+(K_1+K_2)\\ A_2&=A_3=-\frac{A_t}{A_p}(C_2s+K_2)\\ A_4&=M_2s^2+(\frac{A_t}{A_p})^2\{(C_2+C_3)s+K_2\}\\ B_1&=K_1+K_2\frac{(A_p-A_t)}{A_p}+\{C_1+C_2\frac{(A_p-A_t)}{A_p}\}s\\ B_2&=M_2s^2+\{(\frac{A_t}{A_p})^2C_3-C_2\frac{A_t(A_p-A_t)}{A_p^2}\}s\\ &\quad -K_2\frac{A_t(A_p-A_t)}{A_p^2} \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

마운트 최적화의 목적함수로 이용되는 전달률의 식 (5)는 기초부의 변위에 대한 엔진의 변위비로서 표현되어 있지만, 이 식은 일반적으로 마운트의 절연효과를 나타내는데 사용되는 엔진의 입력에 대한 출력의 비와 일치한다. 만약, 비감쇠 마운트로 가정하면($R_r=R_o=B_v=0$), 식 (5)의 엔진에 대한 전달률 T_1은

Table 1 Fluid mount parameters for numerical simulation

Parameters	Value
Piston area A_p	0.00839 m^2
Inertia track area A_t	7.1×10^{-5} m^2
Fluid resistance R_o	6.4×10^{6} N·s/m^5
Elastomeric damping R_r	17.5 N·s/m
Volumetric damping B_v	1.052×10^{8} N·s/m^5
Elastomeric stiffness K_r	5.78×10^{7} N/m
Volumetric stiffness K_v	4.15×10^{11} N/m^5
Inertia track length L	0.17 m
Fluid density ρ	1.765×10^{3} kg/m^3
Sprung mass M_1	3.7×10^{5} kg
Fluid mass M_2	21.3×10^{-3} kg

각각 한 쌍의 비감쇠 극(pole)과 영(zero)의 값을 나타낸다. 전달률의 최대값은 극인 다음의 공진주파수들에서 발생한다.

$$\omega_{r1}=\sqrt{\frac{A-\sqrt{(-4A_t^2K_rK_vM_1M_2+A^2)}}{2M_1M_2}} \tag{8}$$

$$\omega_{r2}=\sqrt{\frac{A+\sqrt{(-4A_t^2K_rK_vM_1M_2+A^2)}}{2M_1M_2}} \tag{9}$$

여기서

$$A=A_t^2K_vM_1+K_rM_2+Ap^2K_vM_2$$

또한, ω_{n1}은 질량 M_1과 마운트에 의해 결정되는 기본공진주파수(rad/s)이고, ω_{n2}는 유체의 이동질량 M_2에 의한 공진주파수(rad/s)이다. 다음의 노치주파수라 불리는 영에서 전달률이 최소가 된다.

$$\omega_{ns}=A_t\sqrt{\frac{K_rK_v}{(K_r+A_p^2K_v)M_2}} \tag{10}$$

3. 유체마운트의 최적화

본 유체마운트를 최적화하기 위해 사용된 최적화 기법인 EGA는 다봉성함수의 최적화 문제를 위해 제안된 것이다.[3] 수정된 GA와 simplex법으로 구성되어 국소 및 전역해를 탐색할 수 있는 것이 큰 특징이며, 그 순서도는 Fig. 4에 나타내었다. 계산과정은 크게 두개의 영역으로 구분되며, 먼저 수정된 GA는 함수인정기준을 이용하여 초기 후보해를 찾고 이를 바탕으로 국소와 전역해를 구분한다. 다음 단계에서 수정된 simplex법을 이용하여 그 초기 후보해를 집중적으로 탐색한다. 결과적으로 EGA에 의해 얻어진 해의 정밀도 및 계산속도가 종래의 GA의 것에 비해 향상된다. SQP[4]와 같은 종래의 최적화 기법은 목적함수의 기울기 정보를 필요로 하며 탐색은 설계변수의 초기치에 의존하는 하여 국소해에 수렴하는 단점이 있다. 그렇지만 공학적인 최적화 문제에서 EGA는 언제나 전역해 및 국소해를 찾을 수 있고, 또한 목적함수의 기울기 정보를 필요로 하지 않는 것이 특징이다.

본 논문에서는 기본공진 및 노치주파수의 전달률 T_{r1}와 T_{ns}를 동시 혹은 각각을 최소화하는 것을 목적함수로 정의하였고, 채택된 설계변수는 다음과 같다.

$$\boldsymbol{X}=\{A_p\ R_o\ K_v\ K_r\ M_2\}^T \tag{11}$$

체적과 고무의 감쇠변수 B_v와 R_r은 다음과 같이 그들의 강성변수의 함수로서 일반적으로 나타내어진다.

$$\left.\begin{aligned} &R_r=\alpha K_r,\ \ B_v=\beta K_v\\ &\alpha=3.03\times10^{-7},\ \beta=2.53\times10^{-4}\end{aligned}\right\} \tag{12}$$

최적화문제는 구속조건

$$0.7\boldsymbol{X}_0<\boldsymbol{X}<1.3\boldsymbol{X}_0 \tag{13}$$

를 만족하면서 목적함수

$$f(\boldsymbol{X})=\alpha_1\beta_1T_{r1}(\boldsymbol{X})+\alpha_2\beta_2T_{ns}(\boldsymbol{X}) \tag{14}$$

를 최소화하는 $\boldsymbol{X}$를 찾는 것이다. 여기서 α_1과 α_2는 가중치를 나타내고, $\beta_1(=1/T_{r1}(\boldsymbol{X}_0))$, β_2 $(=1/T_{ns}(\boldsymbol{X}_0))$는 스케일 변수이다. 또한 $\boldsymbol{X}_0$는 Table 1에 제시하고 있는 설계변수의 값들이다. 특히 요구되어지는 기본공진주파수(약 2 Hz)와 노치주파수(약 40.6 Hz)는 Table 1에 주어지는 설계변수 값에

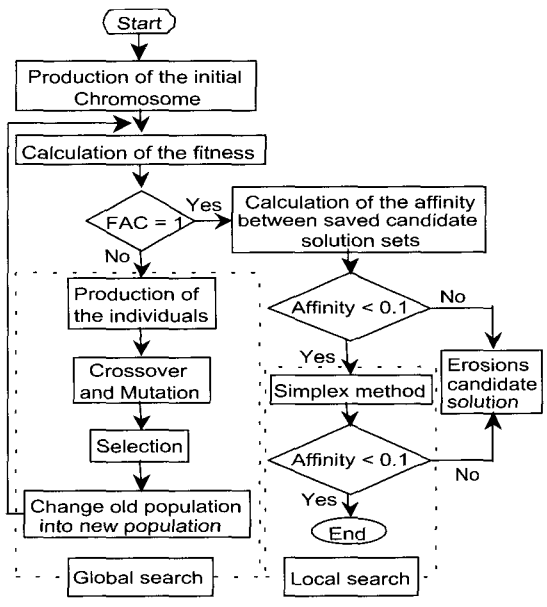


Fig. 4 Flow chart of the optimization algorithm

의해 얻어진 주파수들이다. 주 운전주파수에서 전달률을 최소화 하기 위해서 노치가 주 운전주파수에서 발생하도록 또한 기본공진주파수는 엔진의 공회전주파수와 관련이 있으므로, 서로 일치하지 않도록 설계되어져야 한다. 이와 같은 조건을 고려하여 수치실험은 다음 2가지 경우에 대해서 시행되었다.

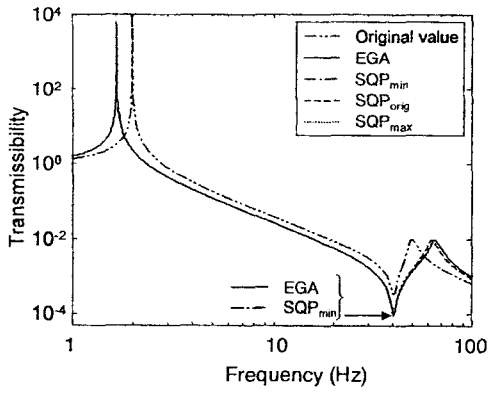
$$\text{case 1) } \alpha_1 = 0,\ \alpha_2 = 1$$
$$\text{case 2) } \alpha_1 = 1,\ \alpha_2 = 1 \qquad (15)$$

또한 EGA의 결과를 검증하기 위해 SQP에 의한 최적화 결과들과 비교를 하였다. SQP는 초기치에 의존하는 특성을 가지고 있기 때문에, SQP의 서로 다른 3가지 탐색 초기치에 대해서 식 (15)와 같은 2가지 경우의 수치실험을 시행하였다. 3가지 탐색 초기치들은 모든 설계변수의 상한 및 하한치, 그리고 Table 1에 주어지는 설계변수값 등이다. 이들은 하첨자 min, orig 그리고 max로 각각 표시하였다.

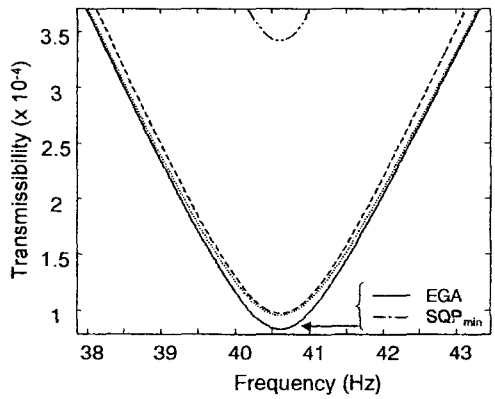
Case 1)의 최적화는 주 운전주파수 즉, 요구되어진 노치주파수에서의 전달률만을 최소화하는 경우로서, 최적화된 설계변수는 Table 2에 나타내었고, 대응하는 전달률을 Fig. 5에 그리고 Fig. 5를 요약하여 Table 3에 나타내었다. Fig. 5에서 SQP_{min}의 일점쇄선은 EGA의 선과 겹쳐 실선만 보인다. 이 두 경우의 마운트가 노치주파수에서 가장 낮은 전달률을 나타내고

Table 2 Optimal parameters of the optimized mount for the notch frequency mode

	Original value	SQP_{min}		SQP_{mid}		SQP_{max}		EGA	
		Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)
A_p(mm²)	8390.0	10907.0	30.00	10907.0	30.00	10907.0	30.00	10907.0	30.00
A_t(mm²)	71.000	71.000	0.00	71.000	0.00	71.000	0.00	71.000	0.00
R_v(MN·s/m³)	6.4000	4.4800	-30.00	5.3413	-16.54	8.2920	29.56	4.4800	-30.00
R_r(N·s/m)	17.500	12.250	-30.00	12.250	-30.00	12.250	-30.00	12.250	-30.00
B_v(N·s/m³)	105.20	136.76	30.00	119.99	14.06	136.76	30.00	136.76	30.00
K_r(MN/m)	57.800	40.460	-30.00	40.460	-30.00	40.460	-30.00	40.460	-30.00
K_t(GN/m³)	415.00	539.50	30.00	473.35	14.06	539.50	30.00	539.50	30.00
L(m)	0.1700	0.12900	-24.12	0.12236	-28.03	0.12899	-24.13	0.12900	-24.12



(a) Transmissibility for the frequency region *from 1 Hz to 100 Hz*



(b) Transmissibility zoomed around the notch frequency

Fig. 5 Transmissibility of the original mount and the optimized mount for the notch frequency mode

있다. SQP에 의한 최적화의 결과는 탐색 초기치에 의존하지만, EGA에 의한 결과는 SQP에 의한 최상의 결과와 일치함을 알 수 있다.

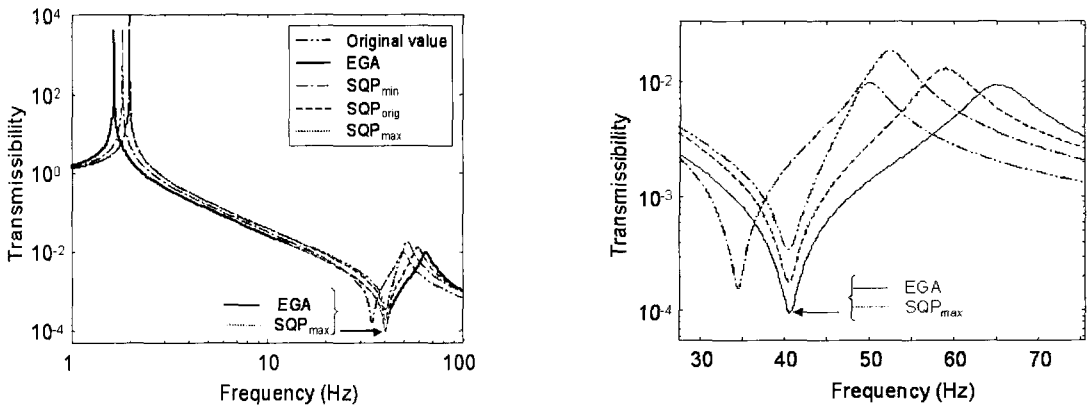
EGA에 의해 최적화된 마운트의 전달률은 노치주파수에서 원래의 마운트에 비해 약 75.68 % 감소하였고, 유체의 이동질량에 의한 공진주파수는 약 30.34 %

Table 3 Properties of the original and optimized mounts for the notch frequency mode

	Original value	SQP_{min}		SQP_{mid}		SQP_{max}		EGA	
		Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)	Optimal Value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)
$T_{r1}\times(10^{3})$	9.6351	6.6253	-31.24	5.9425	-38.32	3.7869	-60.70	6.6257	-31.23
ω_{r1}(Hz)	1.988	1.663	-16.34	1.664	-16.34	1.663	-16.34	1.663	-16.34
$T_{ns}(\times10^{-5})$	34.180	8.3136	-75.68	9.7419	-71.50	9.5810	-71.97	8.3147	-75.68
ω_{ns}(Hz)	40.60	40.61	0.02	40.61	0.03	40.61	0.02	40.61	0.02
$T_{r2}(\times10^{-3})$	9.6737	9.6099	-0.66	9.3717	-3.12	9.3579	-3.27	9.6102	-0.66
ω_{r2}(Hz)	50.15	65.36	30.35	62.89	25.41	65.37	30.36	65.36	30.34

Table 4 Optimal parameters of the optimized mount for the modes of the notch and fundamental resonant frequencies

	Original value	SQP_{min}		SQP_{mid}		SQP_{max}		EGA	
		Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)	Optimal Value	Remark (%)
A_p(mm²)	8390.0	10907.0	30.00	10907.0	30.00	10907.0	30.00	10907.0	30.00
A_t (mm²)	71.000	71.000	0.00	71.000	0.00	71.000	0.00	71.000	0.00
R_o (MN·s/m⁵)	6.400	8.320	30.00	8.3200	30.00	8.320	30.00	8.320	30.00
R_r(N·s/m)	17.500	14.880	-14.97	17.517	0.10	12.255	-29.97	12.250	-30.00
B_v(N·s/m³)	105.20	136.76	30.00	136.76	30.00	136.76	30.00	136.76	30.00
K_r(MN/m)	57.800	49.147	-14.97	57.856	0.10	40.476	-29.97	40.460	-30.00
K_v(GN/m³)	415.00	539.50	30.00	539.50	30.00	539.50	30.00	539.50	30.00
L(m)	0.1700	0.19932	17.25	0.15806	-7.02	0.12901	-24.11	0.12880	-24.23



(a) Transmissibility for the frequency region from 1 Hz to 100 Hz

(b) Transmissibility zoomed around the notch frequency

Fig. 6 Transmissibility of the original and optimized mounts for the modes of the notch and fundamental resonant frequencies

Table 5 Properties of the original and optimized mounts for the modes of the notch and fundamental resonant frequencies

	Original value	SQP_{min}		SQP_{mid}		SQP_{max}		EGA	
		Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)	Optimal value	Remark (%)
$T_{r1}\times(10^{3})$	9.6351	4.2122	-56.28	4.5499	-52.78	3.8053	-60.51	3.7704	-60.87
ω_{r1}(Hz)	1.988	1.833	-7.83	1.989	0.03	1.664	-16.32	1.663	-16.34
$T_{ns}(\times10^{5})$	34.180	1.5638	-5.4267	17.664	-48.32	9.5961	-71.92	9.5833	-71.96
ω_{ns}(Hz)	40.60	34.59	-14.80	40.62	0.03	40.61	0.03	40.641	0.10
$T_{r2}(\times10^{3})$	9.6737	17.972	85.78	12.702	31.30	9.3584	-3.26	9.3355	-3.50
ω_{r2}(Hz)	50.15	52.61	4.92	59.13	17.91	65.36	30.35	65.416	30.45

증가하였다.

Case 2)는 기본공진 및 노치주파수에서의 전달률을 동시에 최소화하는 경우로서, 최적화된 설계변수는 Table 4에 나타내었고, 이에 대응하는 전달률을 Fig. 6에 또한 Fig. 6을 요약하여 Table 5에 나타내었다. Fig. 6은 Fig. 5의 경우와는 달리 SQP_{max}의 점선이 EGA의 선과 겹쳐 실선만 보인다. 이 두 경우의 마운트가 기본공진 및 노치주파수에서 가장 낮은 전달률을 나타내고 있다. SQP_{min}의 경우는 얻어진 노치주파수가 요구되는 노치주파수(약 40.6 Hz)와는 차이가 있으므로 의미가 없다.

EGA에 의한 전달률이 기본공진 및 노치주파수 에서 원래의 마운트에 비해 각각 약 60.87 %와 71.96 % 감소하고, 유체의 이동질량에 의한 공진주파수는 약 30.45 % 증가하며, 또한 기본공진주파수가 약 16.34 % 감소하였다.

이상의 2가지의 경우에 대한 수치실험으로부터 EGA는 어떤 경우에도 최적해를 찾고 있으며, SQP에 의해 얻어진 가장 우수한 해의 정밀도와 같은 정도의 해를 얻을 수 있었다. 한편, SQP의 최적화 결과는 탐색 초기치에 의존하기 때문에 탐색된 결과가 최적해 인지 아닌지는 SQP 자체만으로는 평가할 수 없다. 따라서 전역적 최적해를 탐색하기 위해서는 추가적인 평가방법을 필요로 하는 단점이 있다.

4. 결 론

유체엔진마운트를 설계하기 위해 고려되어야 할 조건은 엔진의 주 운전주파수와 엔진의 공회전 주파수와 관련된 기본공진주파수에서의 진동전달률을 최소로 줄이는 것이다. 따라서 마운트의 노치주파수가 엔진의 주 운전주파수에 위치하도록, 또한 공회전주파수와 기본공진주파수가 일치하지 않도록 해야 하는데, 엔진마운트의 설계변수가 많은 관계로 마운트의 설계자는 수많은 시행착오를 통하여 설계변수를 결정하는 것이 일반적이었다. 그러나 이런 시행착오에 의해 얻어진 마운트의 성능이 최대인가에 대해서는 의문을 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 전역해 탐색이 가능한 향상된 유전알고리듬(EGA)을 이용하여 마운트의 최적설계를 아래의 2가지 경우에 대해 수행하였다.

Case 1) 요구되어진 노치주파수에서의 전달률만 고려.
Case 2) 요구되어진 노치 및 기본공진주파수에서의 전달률을 동시에 고려.

EGA에 의해 최적화된 마운트의 성능은 종래의 시행 착오적으로 설계된 마운트 성능에 비해 크게 향상되었음을, 또한 SQP에 의한 결과와 비교하여 EGA의 유용성을 수치시뮬레이션을 통하여 검증하였다. SQP에 의한 해의 탐색 결과는 초기치에 의존하는 단점이 있는 반면, EGA는 모든 경우에 전역 최적해를 탐색하였으며, 또한 SQP의 최상의 결과와 대등한 해의 정밀도를 얻을 수 있었다. 따라서 유체 엔진마운트의 설계단계에 EGA을 이용하여 마운트의 전역 최적화를 행하여 마운트의 특성을 검토함으로써 마운트의 성능을 보다 향상시킬 수 있음을 본 연구를 통하여 확인하였다.

참 고 문 헌

(1) Yu, Y., Peelamedu, S. M., Naganathan, N. G. and Dukkipati, R. V., 2001, "Automotive Vehicle Engine Mounting Systems : A Survey," Trans. ASME, J. Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 123, pp. 186~194.

(2) 안영공, 김원철, 양보석, 1998, "MR유체 엔진 마운트의 성능해석," 한국소음진동공학회논문집, 제 8 권, 제 3 호, pp. 457~466.

(3) 김영찬, 양보석, 2002, "전역 및 국소 최적화 탐색을 위한 향상된 유전 알고리듬의 제안, " 대한기계학회논문집 A권, 제 26 권, 제 6 호, pp. 1008~1015.

(4) Optimization Toolbox for Use with Matlab. The Mathworks Inc. Version 2. i(Release 12).

(5) Miller, L. R. and Ahmadian, M., 1992, "Active Mounts-A Discussion of Future Technological Trends," Proc. Internoise 92 Conference, Toronto, Canada, pp. 421~426.

(6) Jones, P. J., 1987, "Volume Compensated Fluid Mount," U.S. Patent 4811919, Lord Corporation, Erie, PA.

(7) Vahdati, N., 1998, "A Detailed Mechanical Model of a Double Pumper Fluid Mount," Trans. ASME, J. Vibration and Acoustics, Vol. 120, pp. 361~370.

(8) Karnopp, D. C., Margolis, D. L. and Rosenberg, R., 1990, System Dynamics: A Unified Approach, 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, USA.