

<논 문>

엔진 마운트의 동특성 해석 및 최적설계 시스템

Integrated System for Dynamic Analysis and Optimal Design of Engine Mount Systems

임 홍 재* · 성 상 준** · 이 상 범***

Hong Jae Yim, Sang Joon Sung and Sang Beom Lee

(2000년 5월 13일 접수 ; 2000년 12월 1일 심사완료)

Key Words : Engine Mount System(엔진 마운트 시스템), Optimum Design(최적 설계), Dynamic Analysis(동적 해석)

ABSTRACT

In this paper, an integrated system for dynamic analysis and optimal design of engine mount systems is presented. The system can simulate static and dynamic behaviors of engine mount systems and optimize design parameters such as mount stiffness, mounting locations with desired design targets of frequency or displacement. A FF-engine with an automatic transmission is used to demonstrate the analysis and optimal design capabilities of the proposed design system.

1. 서 론

엔진 마운트 시스템은 자동차 진동 소음 특성에 결정적인 영향을 미치는 중요한 인자이기 때문에 엔진 마운트 시스템의 설계는 자동차 설계과정에서 매우 중요한 분야 중 하나이다^(1, 2). 엔진 마운트는 엔진 아이들셰이크와 험로 주행시 노면으로부터의 가진 등에 의한 자동차의 동특성을 결정짓는데 매우 중요한 역할을 한다. 엔진 구동계에 의한 진동은 승객이 느끼는 승차감에 많은 영향을 주며, 계속되는 반복하중으로 인한 엔진의 주변 장치 및 부품, 그리고 엔진을 지지하고 있는 차체 구조물의 피로파괴의 원인이 된다. 그러므로 자동차의 승차감 향상과 차체의 내구성 향상을 위해서 엔진 마운트를 통해 차체로 전달되는 엔진 가진력을 감소시키고 진동을 절연시키는 것은 매우 중요하다^(3, 4).

자동차의 설계초기단계에서, 개발될 자동차의 진동특성을 예측하고, 설계 변경 또는 개선이 요구되는 경우에 설계 엔지니어가 적절히 대응하기 위해서는 엔진 마운트 시

스템의 진동특성해석 및 최적설계기법의 확립은 필수적이다. 이와 같이 엔진 마운트의 동특성 해석과 설계 기술은 자동차 기술 경쟁력의 중요한 인자인 자동차의 승차감과 내구성을 향상시키기 위한 중요한 기술로 인식되어 많은 연구가 진행되어 왔다^(5~9).

본 논문에서는 엔진 마운트 시스템 설계시에 필요한 정적·동적 해석 및 최적설계 기능을 갖춘 엔진 마운트 전용 설계 시스템의 개발에 대하여 간략히 설명하고 설계 적용 예를 보인다.

2. 엔진 마운트 설계 시스템의 개요

EMOPT(Engine Mount OPTimization)는 엔진 마운트 전용 해석·설계 프로그램으로 EMOPT가 지원하는 마운트의 종류는 고무 마운트와 유압 마운트가 있고, 엔진 마운트의 수는 최대 9개까지 장착하여 해석할 수 있다. 기본적으로 토크축과 탄성축을 구할 수 있으며 해석분야로는 정적 하중 해석, 동적 주파수 응답 해석, 모드 해석, 지면 입력에 대한 응답 해석 등이 가능하다. 노면 입력에 대한 응답 해석은 거친 노면 입력이 엔진 마운트 시스템에 어떤 영향을 미치는지를 시뮬레이션 할 수 있다.

엔진 마운트 시스템의 최적설계에 있어서 설계변수는 마운트의 설치위치, 설치각도, 마운트 강성을 선정할 수 있

* 정희원, 국민대학교 기계자동차공학부
** 국민대학교 대학원 기계설계학과
*** 정희원, 국민대학교 자동차공학전문대학원
E-mail : sblee@kmu.kookmin.ac.kr
Tel : (02)910-4817

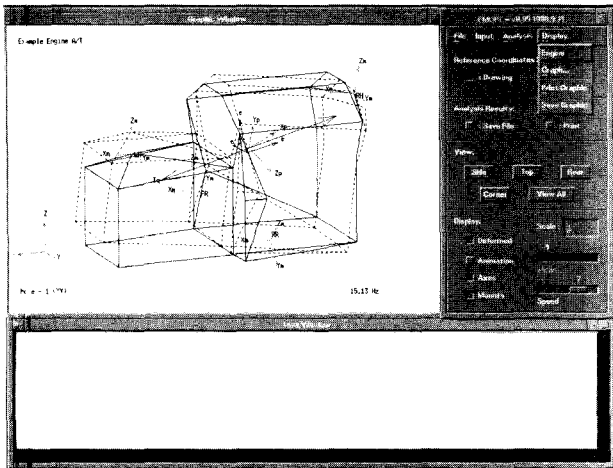


Fig. 1 Display menu of EMOPT

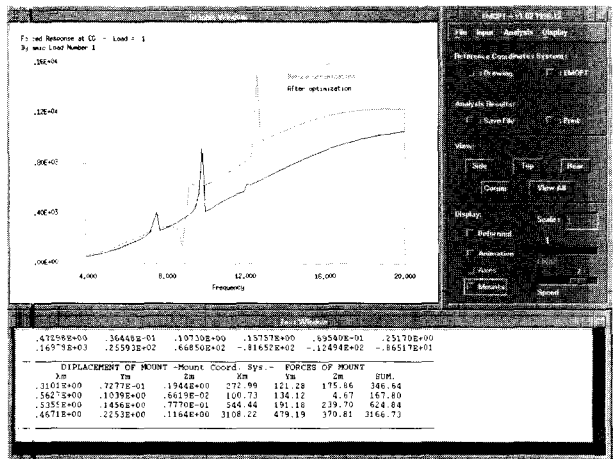


Fig. 2 Graphs for comparison

다 그리고 구속조건은 마운트의 변위와 작용하중, 마운트 간의 강성비, 고유진동수 등을 채택할 수 있다. 목적함수로는 모드간의 비연성화, 고유진동수, 특정하중에 대한 엔진의 유동량 등을 선정할 수 있다.

EMOPT는 각종 해석 및 최적설계의 결과들을 표와 그래프로 볼 수 있으며, 엔진의 변형형상을 설계변경 전의 형상과 비교하여 볼 수 있다.

EMOPT를 실행시키면 로고 화면이 나온 후 Fig. 1의 GUI 환경으로 만들어진 화면이 나오게 된다. 오른쪽의 main menu window에서 압력값들을 입력하고 계산결과를 출력형태를 엔진상의 좌표, 텍스트, 또는 파일의 형태로 선택하여 볼 수 있다⁽¹⁰⁾.

3. 해석 및 설계 예

실제 차량의 엔진 마운트 시스템에 적용하여 개발된 프

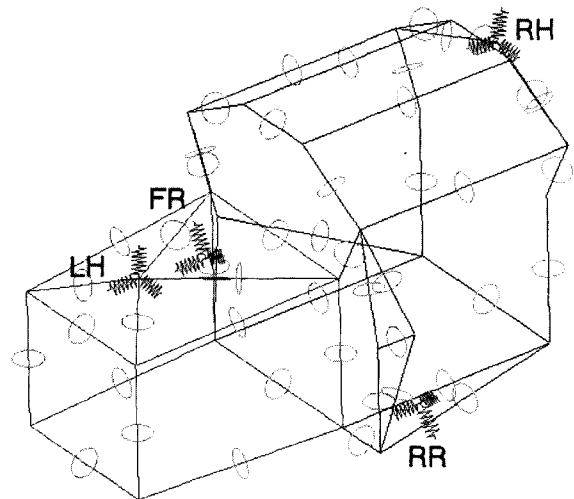


Fig. 3 Engine mount system

로그래의 실용성을 검증해 보고자 한다. 본 연구의 예제로 사용된 모델은 Fig. 3과 같은 전륜 구동형 차량의 엔진 마운트 시스템으로 자동변속기가 장착되어 있으며, 전방(FR), 후방(RR), 좌측(LH) 지지점은 고무 마운트로 되어 있고 우측 지지점(RH)에 유압 마운트가 사용되었다. 유압 마운트의 정적강성 및 동적강성과 체적강성(volume stiffness), 등가댐핑(equivalent damping), 등가질량(equivalent mass) 모델에는 제작사의 설계 사양 값을 이용하였다. 차량에 장착된 유압마운트는 주파수 및 변위에 비선형 특성을 가진다.

3.1 탄성축과 토크축 계산

Table 1은 탄성축과 토크축을 해석한 결과를 보여 준다. 여기서 구한 탄성축과 토크축은 엔진 마운트의 기초위치와 엔진의 관성데이터에 관한 것으로 설계에 있어서 기초적인 데이터로 사용된다.

Table 1 Torque axis and elastic center

Torque axes					
$\cos \alpha$		$\cos \beta$		$\cos \gamma$	
-0.97		-0.15		0.19	
Elastic center (cm)					
x	y	z	Direction cosine		
3.82	18.27	-23.06	-0.7542	0.5529	0.3543
			-0.0266	-0.5648	0.8248
			0.6562	0.6126	0.4406

3.2 고유치 해석

본 예제에서 고유치 해석시 엔진 시스템의 유연체 모드는 고려하지 않고 강체 모드만을 고려한 해석결과가 Table 2에 나타나 있다. 프로그램의 해석결과를 검증하기 위하여 상용 유한요소 해석 코드인 MSC/NASTRAN을 이용하여 같은 해석을 수행한 결과와 비교하였을 때 약 0.2% 이내의 정확성을 갖는다⁽¹⁰⁾. 각 모드에 해당하는 모드 형상을 EMOPT내에서 지원하는 모드형상 애니메이션을 통해서 Fig. 4~Fig. 9와 같이 볼 수 있다.

3.3 정적 응답 해석

엔진의 자체 하중만을 입력 값으로 하여 정적 응답을 해석해 본 결과가 Table 3에 있다. Table 3에서 마운트 번호 1, 2, 3, 4는 Fig. 3에서 FR, RR, RH, LH의 위치를 나

Table 2 Natural frequency analysis results

Natural frequency							
Mode		X	Y	Z	XX	YY	ZZ
Freq. (Hz)	EMOPT	11.903	8.043	10.323	12.020	15.125	13.007
	NASTRAN	11.905	8.057	10.338	12.020	15.130	13.008
Error(%)		-0.017	-0.174	-0.145	0.0	-0.033	-0.008

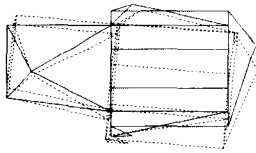


Fig. 4 For/Aft mode

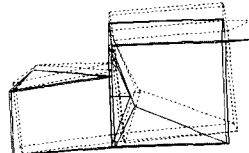


Fig. 5 Bounce mode

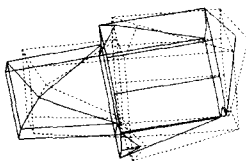


Fig. 6 Lateral mode

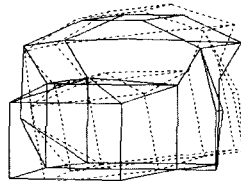


Fig. 7 Pitch mode

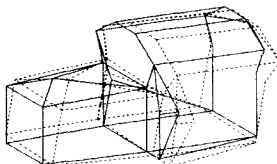


Fig. 8 Yaw mode

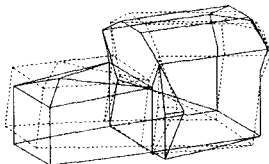


Fig. 9 Roll mode

Table 3 Static analysis results

Load(N, N · cm)							
X	Y	Z	XX	YY	ZZ		
0.0	0.0	-2197.2	0.0	0.0	0.0		
Displacement of C.G.(cm, degree)							
X	Y	Z	XX	YY	ZZ		
0.02179	-0.0630	-0.3866	0.02254	-0.0071	-0.0033		
Mount number	Displacement(cm)			Forces(N)			
	Lat.	F/A	Comp.	Lat.	F/A	Comp.	MAG.
1 (FR)	0.027	0.227	-0.148	23.91	747.1	-159.8	764.38
2 (RR)	0.023	-0.232	-0.429	5.30	-288.1	-180.7	340.15
3 (RH)	-0.055	-0.110	-0.425	-220.8	-120.5	-637.5	685.37
4 (LH)	0.022	-0.077	-0.373	77.57	-78.12	-555.3	566.12

타낸다. Table 3과 MSC/NASTRAN의 해석 결과를 비교하여 보면, 0.5% 이내의 오차범위를 갖는 정확성을 보여준다⁽¹⁰⁾.

3.4 동적 응답 해석

어떠한 주파수로 일정한 하중이 가진 될 때 엔진의 응답 및 마운트에 걸리는 하중을 동적 응답해석을 통하여 예측할 수 있고, 엔진의 주파수 응답특성을 볼 수 있다. Table 4는 EMOPT에서 해석을 수행한 결과를 보여준다.

Table 4 Dynamic analysis results

Frequency of excitation		10.0 Hz					
Load (N, N · cm)							
X	Y	Z	XX	YY	ZZ		
0.0	0.0	-2337.99	1119.0	0.0	0.0		
Motion of C.G. (cm, degree)							
	X	Y	Z	XX	YY	ZZ	
Disp.	0.048	0.1497	0.1618	0.1031	0.0361	0.1745	
Accel.	189.11	591.0	638.75	406.9	142.4	688.68	
Mount number	Displacement(cm)			Forces(N)			
	Lat.	F/A	Comp.	Lat.	F/A	Comp.	MAG.
1 (FR)	0.1432	0.2140	0.0964	227.39	1174.3	187.94	1210.7
2 (RR)	0.0452	0.0607	0.1307	18.85	121.97	92.26	154.09
3 (RH)	0.0540	0.2983	0.1660	271.25	391.69	316.68	580.74
4 (LH)	0.0520	0.0302	0.1390	343.0	64.2	442.66	563.66

3.5 마운트 최적설계

엔진 마운트 시스템의 최적설계에 있어서 설계변수는 마운트의 설치위치, 설치각도, 마운트 강성을 선정할 수 있다. 그리고 구속조건은 마운트의 변위와 작용하중, 마운트 간의 강성비, 고유진동수 등을 선택할 수 있다. 목적함수로 는 모드간의 비연성화, 고유진동수, 특정 하중에 대한 엔진의 유동량 등을 선정할 수 있다. 본 연구에서는 마운트 강성만을 설계변수로 채택하여 최적설계를 한 경우(Case 1)와, 설치각도만을 설계변수로 한 경우(Case 2), 그리고 설계변수에 설치위치, 설치각도, 마운트 강성을 모두 포함하여 적용한 경우(Case 3)에 대하여 최적설계를 수행하였다. 엔진의 설치위치까지 설계변수에 포함시키려 할 때는 엔진룸 안에서 설치 가능 위치가 한정되어 있기 때문에 주의를 기울여야 한다.

Table 5에서는 최적설계 전후의 설계변수의 변화를 보여 준다. 설계목표는 바운스 모드, 피치 모드, 롤 모드를 비연성화하도록 주요 모드의 고유진동수를 제어하는 것이다. 따라서 설계제약조건은 바운스 모드(Z)의 진동수를 8 Hz ~10 Hz 사이에 있게 하고, 피치 모드(XX)의 진동수를 7 Hz~9 Hz 사이에, 그리고 롤 모드(YY)의 진동수를 15 Hz이상에서 나타나도록 한다. 설계변경 전의 고유진동수를 보면 피치 모드의 진동수가 설계목표값에 비하여 4 Hz가량 높은 상태임을 알 수 있다.

최적설계 전·후의 엔진 마운트 시스템의 고유진동수가 Table 6에 나타나 있다. Table 6에 나타난 고유진동수의 변화를 살펴보면 Case 3이 원하는 목표치에 도달함을 알 수 있다. 즉 피치 모드(XX)와 바운스 모드(Z)가 설계제약조건을 만족함으로써 최적설계 수행 전에 비해서 개선되어 있음을 알 수 있다.

최적설계를 수행 후 최적설계 결과를 검증할 필요가 있다. EMOPT에서는 설계변수와 목적함수가 목표치로 수렴이 되었는가를 확인할 수 있지만 최적설계를 한 엔진 마운트 시스템이 실제 차량에 어떤 영향을 미치는지는 알 수 없다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 최적설계를 수행 후 변경된 데이터들을 Fig.10에 나타낸 모델에 적용하여 MSC/NASTRAN으로 해석하여 최적설계 전·후 각 부재의 끝단에서의 전달력을 비교한다. 전달력을 비교하는 부재는 서스펜션 부재의 좌·우측 부싱과 센터멤버의 앞쪽 패드 부위이다.

Fig. 11은 서스펜션 부재의 왼쪽 부싱에 전달되는 전달력을 나타낸 그래프이다. 여기에서 Case 1을 제외한 나머지는 거의 같은 경향을 보여 준다.

Fig. 12는 센터 멤버의 앞쪽 패드에서의 전달력을 나타낸 그래프이다. Fig. 11에 비해 전달력의 감소는 작으나, 전대역에 걸쳐서 전달력이 줄어들었음을 볼 수 있다. 이것은

주요 모드의 설계 제약조건을 만족함에 따라 모드간의 비연성 효과로 인한 진동성능의 개선을 통해 전달력 감소를 가져오기 때문이다.

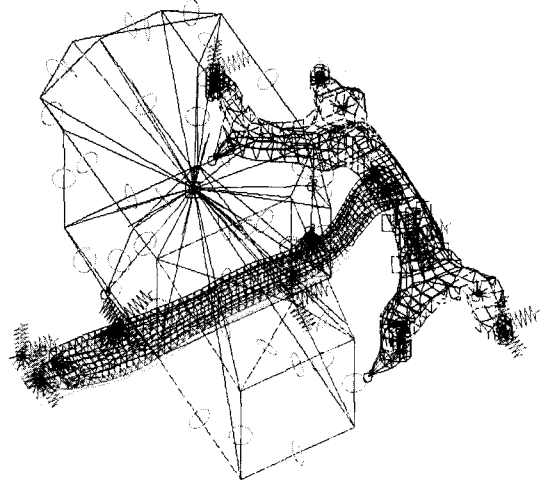


Fig. 10 F.E. Model(Engine + Cradle)

Table 5 Design variables after optimization

Item		Initial	Case 1	Case 2	Case 3
Mount 1 (FR)	Stiff. Lat.	1587.6	1025.0	·	923.18
	Stiff. F/A	5488.0	3115.6	·	3534.2
	Stiff. Comp.	1950.2	775.43	·	787.51
	Angle Lat.	-50	·	12.51	15
	Loc. X	-1.82	·	·	-2.145
	Loc. Y	8.5	·	·	6.784
Mount 2 (RR)	Loc. Z	-0.5	·	·	1.467
	Stiff. Lat.	417.48	302.91	·	275.57
	Stiff. F/A	2009.0	1246.4	·	1011.7
	Stiff. Comp.	705.6	365.17	·	322.30
	Angle Lat.	30	·	15	0.097
Loc. Z	4.06	·	·	5.9796	

Table 6 Frequency results after optimization

	X	Y	Z	XX	YY	ZZ
Initial	11.903	8.043	10.323	12.020	15.125	13.007
Case 1	12.993	9.895	8.025	10.961	15.178	12.052
Case 2	12.066	8.240	10.329	11.727	15.099	12.856
Case 3	12.040	11.120	9.938	8.079	15.090	12.888

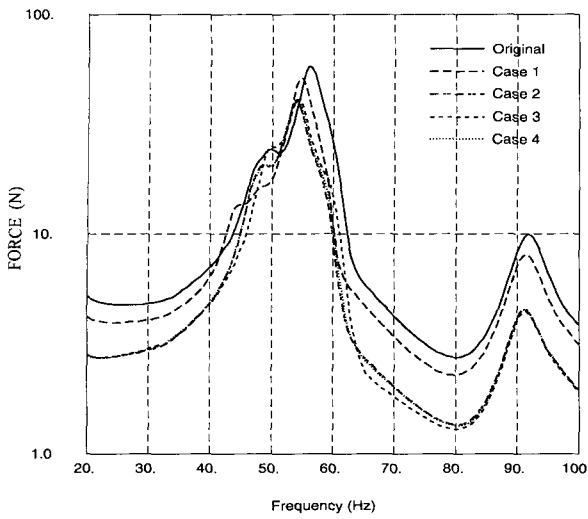


Fig. 11 Transmitted forces at the LH bushing

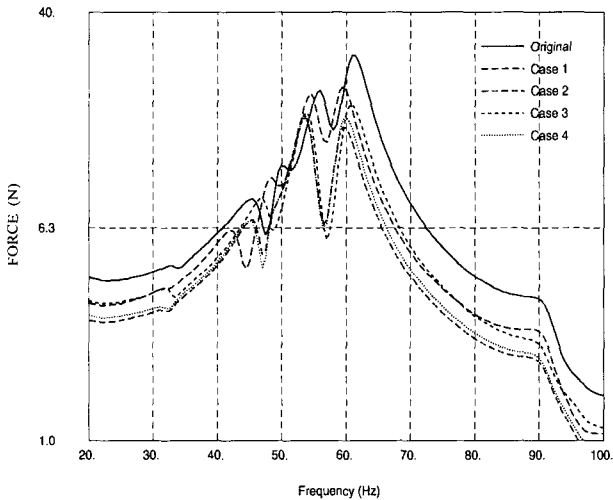


Fig. 12 Transmitted forces at the front pad of the center member

4. 결 론

본 연구에서는 엔진 마운트 시스템의 동특성 해석 및 최적설계를 위한 EMOPT 프로그램에 대하여 설명하였다. 본 연구에서 개발된 엔진 마운트 전용 해석 및 최적설계 프로그램은 엔진 작동 성능의 설계기준에 맞는 최적의 엔진 마운트의 강성, 마운트의 설치 위치 및 설치 방향 등을 결정할 수 있으며, 엔진의 아이들 셰이크 및 험로 주행에 대한 엔진 마운트 시스템의 정역학 해석, 진동 모드해석,

주파수 응답해석 등 각종 해석을 수행할 수 있다. 특히 본 연구에서 개발된 프로그램을 설계자가 편리하게 사용할 수 있도록 하기 위하여, Motif를 이용한 GUI 프로그램을 개발하였다. 본 논문의 예제에서 예시된 바와 같이 본 연구에서 개발된 프로그램을 이용하여 설계자가 각종 엔진 마운트 시스템의 모델링, 설계 타당성 검토를 위한 각종 해석, 최적설계를 그래픽 화면상에서 용이하게 수행할 수 있다.

후 기

본 연구는 국민대학교 자동차공학전문대학원을 통한 BK 21 자동차공학 특화분야 사업 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Kamal, M.M. and Wolf, J.A., 1987, Modern Automotive Structural Analysis, Van Nostrand Reinhold Company.
- (2) Timpner, F.F., 1965, "Design Considerations in Engine Mounting", SAE Paper.
- (3) Inman, D.J., 1996, Engineering Vibration, Prentice Hall International Editions.
- (4) 김종현, 1995, "차체의 유연성을 고려한 엔진지지계의 동적해석", 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- (5) 송명의, 1997, "지지부의 유연성을 고려한 엔진마운트의 동역학 해석 및 최적설계에 관한 연구", 국민대학교 대학원 석사학위논문.
- (6) 임홍재, 최동운, 이상범, 1999, "유압 엔진 마운트의 동특성 해석 컴퓨터 시뮬레이션 연구", 한국소음진동공학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 42~48.
- (7) 박노길, 1996, "차량 엔진동력계의 마운트설계에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집, 제 4권, 제 1호, pp. 36~54.
- (8) 김민수, 김한성, 최동훈, 1993, "전륜구동형 승용차의 엔진마운트 시스템 최적설계", 한국자동차공학회논문집, 제 1권, 제 3호, pp. 74~82.
- (9) 황원걸, 1998, "엔진 마운트계의 최적설계에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집 제 6권, 제 1호, pp.16~26.
- (10) 성상준, 1998, "엔진 마운트 시스템의 동특성 해석 및 최적설계에 관한 연구", 국민대학교 대학원 석사학위논문.