

<논문> SAE NO. 943714

엔진장착조건에 따른 4WD 자동차의 진동저감에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Vibration Reduction
of the 4WD Vehicle by the Engine Mounting Conditions

사 중 성,* 김 광 식**
J. S. Sa, K. S. Kim

ABSTRACT

This paper is the experimental study on the vibration reduction of the 4WD vehicle through the change of the engine mounting conditions.(4 stroke diesel engine) The engine mounting conditions are changed to reduce the transmitted vibrations of the engine to the frame at the idle speed.

Under the assumption that the Powertrain(Engine Transmission and Transfer Case) is a rigid body, the inertia properties of the powertrain are obtained by experimental modal analysis. And then the changed mounting conditions are studied by the decoupled vibration theory and analytical model of six degree of freedom.

Though the mounting conditions are changed to improve the vibration isolation at idle speed, the vibration and the interior noise of the vehicle are reduced significantly at driving speed as well as idle speed.

From the indirect endurance test of the front engine mounts, the changed mounting conditions are desirable to endurance as well as vibration reduction of the 4WD vehicle.

주요기술용어 : Experimental Modal Analysis(실험적 모우드해석), 4WD(4 Wheel Drive, 全輪驅動), Engine Mounting Condition(엔진장착조건), Vibration Reduction(진동저감), Endurance Test(내구시험)

1. 서 론

자동차에 있어서 엔진 및 변속장치를 포함한 동력기관(Powertrain)은 가장 크게 집중된 질량이며, 작동중에 많은 진동을 유발하게 된다.

즉, 엔진 실린더내 가스폭발에 의한 진동과 차량운행시 발생하는 구동축과 크랭크 샤프트로

부터의 상당토크(Equivalent Torque) 및 동력기관에 부착되는 부품들(발전기, 흡배기관 및 에어컨 컴프레셔 등)도 진동을 발생시킨다.

엔진마운트는 이러한 동력기관에서 발생하는 진동을 절연시켜야 하며, 차량의 운행 및 정차시에 엔진의 이동을 억제하면서도 자체중량을 지지해주는 중요한 역할을 하고 있다. 이러한

* 쌍용자동차 기술연구소 진동소음연구팀

** 한양대학교 정밀기계공학과

엔진마운트의 역사는 자동차의 발전과 더불어 많은 연구가 진행되었으며,⁽¹⁻⁵⁾ 80년대 이후에는 횡치장착엔진에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽⁶⁻⁸⁾

4WD(4 Wheel Drive) 차량은 종치장착 엔진으로 대부분 전방에 두개, 후방 변속기 근처에 한개의 마운트로 지시된 3점 지지방식을 채택하고 있으나, 험로주행용 전천후 차량으로 엔진 및 변속기로 이루어진 동력기관에 Transfer Case가 추가되며, 이에 연결되는 Front Propeller Shaft가 존재⁽⁹⁾하는 특징이 있다.

따라서 일반차량의 동력기관이 구동라인을 따라서 대칭적인 형상을 갖는데 반하여 4WD 차량은 대칭적인 형상을 가질 수가 없으며, 험로주행에 따른 구동축으로부터의 작용토크가 현저하고, 국내차량은 대부분 디젤엔진의 채택으로 인하여 동력기관의 진동억제가 중요시되고 있다.

한편 자동차업계에서는 판매 다변화등의 이유로 동일 차종, 동일 차체에 대해서 엔진의 배기량을 늘리거나, 자동변속기등의 장착등으로 인한 동력기관 자체의 특성이 바뀌는 경우가 빈발하게 된다.

이러한 경우 차량개발 초기단계에서 수립할 수 있는 엔진마운트를 통한 진동절연효과를 체계적으로 진행할 수가 없게 되며, 동력기관의 특성이 변경될 때마다 동력기관의 진동 및 소음억제에 많은 시간과 원인이 필요하게 된다.

따라서 엔진룸내의 간섭제거 및 여타 엔진마운트 특성을 제대로 고려하지 못하는 소극적 대응밖에 못하는 경우가 있게 되며, 여러개의 마운트를 가지고서 시행착오법에 의한 해결을 모색하곤 한다. 본 연구에서는 주어진 동력기관의 동특성을 파악하는데 우선적으로 필요한 관성제원(질량, 질량중심 및 관성모멘트)을 실험적 모우드해석을 통하여 추출^(5, 10, 11)하여 엔진장착 개선안을 제시한 후, 이를 근거로 4WD 차량에 직접 적용하여 진동소음 개선효과를 실험적으로 입증하고자 한다. 또한 간접적인 엔진마운트의 내구 시험을 통하여 본 연구에서 제시한 개선안의 타당성을 확인하였다.

2. 동력기관의 관성제원계산^(5, 10, 11)

일반적으로 동력기관의 동특성 고려시 요구되는 관성제원(질량, 질량중심 및 관성모멘트)은 질량측정 및 전자시험(Trifilar Pendulum Test)으로, 엔진마운트 강성은 방진고무시험기의 개별시험을 통해서 얻게 된다. 그러나 이러한 측정값들이 실제 엔진 장착시의 조건을 완전히 충족시키기에는 많은 문제점과 한계를 가지고 있다.^(5, 10, 11)

따라서 50Hz 이하의 낮은 진동수영역에서는 동력기관이 강체운동을 한다는 가정하에, 동력기관이 장착되는 조건에서 인위적인 가진시험을 통한 실험적 모우드해석방법으로 동력기관의 관성제원들을 계산하여 실제계에 더욱 근접한 동력기관의 동특성 모델링에 적용시키고자 한다.

실험적 모우드해석에서 얻어지는 정규질량 진동모우드(Mass Normalized Mode Shape)[φ]는 (1)식과 같으며, 이를 이용하여 질량행렬을 구할 수 있다.⁽¹²⁾

$$[\varphi_0]^T [M_0] [\varphi_0] = [I] \quad (1)$$

$$[M_0] = ([\varphi_0] [\varphi_0]^T)^{-1}$$

여기서 [M_0]는 동력기관내에 선정된 기준좌표계에 대한 질량행렬이다.⁽¹⁰⁾

동력기관 가진시험에서 N개의 3축 가속도계를 사용했을 경우 각 센서위치에 따른 기준좌표계의 진동모우드 [φ]는 최소자승법(Least Square Method)에 근거한 의사 역행렬(Pseudo Inverse Matrix)을 이용하여 (2)식과 같이 얻어진다.^(5, 10)

$$[\varphi]_{6 \times 6} = [R_0]^+ [\varphi]_{3N \times 6} \quad (2)$$

여기서 [R_0]⁺ = ($[R_0]^T [R_0]$)⁻¹ [R_0]^T : 의사역행렬

$$[R_0] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z & -y \\ 0 & 1 & 0 & -z & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 & y & -x & 0 \end{bmatrix} \quad N=1$$

$[\varphi]_{3N \times 6}$: N개의 3축센서에서 측정된 진동모우드
 (x, y, z) : 기준좌표계에 대한 각 센서의 좌표

기준좌표계에 대한 진동모우드 $[\varphi_0]$ 는 동력기관의 질량중심을 기준하는 진동모우드 $[\varphi_{CG}]$ 로 전환하기 위해서 (3)식과 같은 관계를 이용한다.⁽¹⁰⁾

$$[\varphi_0]_{6 \times 6} = [R_1]_{6 \times 6} [\varphi_{CG}]_{6 \times 6}$$

$$[\varphi_{CG}] = [R_1]^{-1} [\varphi_0] \quad (3)$$

여기서

$$[R_1]_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -z_{cg} & y_{cg} \\ 0 & 1 & 0 & z_{cg} & 0 & -x_{cg} \\ 0 & 0 & 1 & -y_{cg} & x_{cg} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(x_{cg}, y_{cg}, z_{cg}) : 기준좌표계에 대한 질량중심 좌표

동력기관의 기준좌표계에 대한 질량행렬 $[M_0]$ 의 요소들과 질량중심 $[x_{CG}, y_{CG}, z_{CG}]$ 간의 관계는 다음 (4)식과 같다.

$$\begin{bmatrix} 0 & M_{23} & -M_{22} \\ 0 & M_{33} & -M_{32} \\ -M_{13} & 0 & M_{11} \\ -M_{33} & 0 & M_{31} \\ M_{12} & -M_{11} & 0 \\ M_{22} & -M_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{CG} \\ y_{CG} \\ z_{CG} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{24} \\ M_{34} \\ M_{15} \\ M_{35} \\ M_{16} \\ M_{26} \end{bmatrix} \quad (4)$$

따라서 질량중심에 대한 동력기관의 질량행렬 $[M_{cg}]$ 는 (5)식과 같이 정의된다.

$$[M_{cg}] = [R_1]^T [M_0] [R_1] \quad (5)$$

3. 엔진마운트 적용이론

엔진마운트로 지지된 동력기관은 6자유도를 갖는 진동을 하며, 동력기관 자체의 질량 및 관성모멘트, 엔진마운트의 위치 및 강성(Stiffness), 장착각도(Inclined Angle)등에 영향을 받는다.

이러한 동력기관의 진동은 6자유도 상호간의 연성에 의해서 발생하므로 탄성축(Elastic Axis), 토르크 작용축(Torque Roll Axis), 충격중심(Center of Percussion) 및 마운트 장착각도 등의 검토를 통해 진동형태가 서로 연성되지 않는 비연성조건을 갖추는 것이 무엇보다 우선되어야 한다.^(1, 2, 3)

본 연구에서는 3점 지지방식의 종치장착 동력기관을 가진 4WD 차량에서 엔진마운트를 통한 진동절연효과를 향상시키는 엔진장착조건 결정에 대해서 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) 동력기관은 강체이다.
- 2) 엔진마운트가 부착되는 프레임이나 차체의 유연성은 없다고 가정한다.
- 3) 엔진마운트의 강성은 온도변화에 무관하고 감쇠는 무시한다.

3.1 동력기관의 비연성조건^(1, 2, 3)

엔진마운트로 지지된 동력기관에 있어서 6자유도 진동이 서로 연성되지 않는 조건은 탄성축이 무게중심을 통과하면서 토르크작용축에 일치되고 (Translation과 Roll의 비연성), 충격중심이론 (Bounce와 Pitch, Lateral과 Yaw의 비연성)이 적용된 것을 뜻한다.⁽³⁾ 이때 전방마운트의 장착각도에 따라 후방마운트와 연계된 각 방향(세계의 병진 및 회전방향) 강성들을 Fig.1에 대해서 정리하면 다음과 같다.^(1, 2)

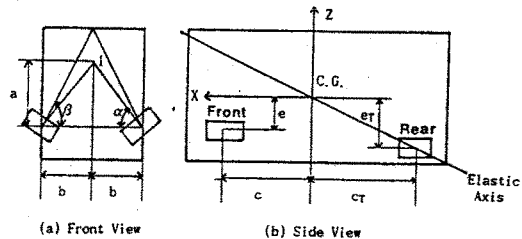


Fig.1 Uncoupled Vibration Model of Engine/Mount System

- 차량 전후방향 강성 : $k_x + k_{xT}$
- 차량 좌우방향 강성 : $k_y + k_{yT}$
- 차량 상하방향 강성 : $k_z + k_{zT}$
- Roll방향 강성 : k_R (후방마운트의 Roll방향 강성무시)
- Pitch방향 강성 : $c^2 k_z + e^2 k_x + C_r^2 k_{zT} + e_r^2 k_{xT}$
- Yaw 방향 강성 : $c^2 k_y + b^2 k_x + C_r^2 k_{yT}$

여기서 k_x, k_y, k_z : 전방마운트 2개로 구성된 X, Y, Z 각 방향 강성
 k_{xT}, k_{yT}, k_{zT} : 후방마운트의 X, Y, Z 각 방향 강성
 b : 질량중심점과 전방마운트간의 Y축방향 길이

3.2 동력기관의 연성진동

동력기관의 일반적인 진동현상을 표현하는 연성진동은 Fig2와 같이 모델링할 수 있다.⁽⁵⁾
 Fig2는 전방 2개, 후방 1개의 엔진마운트로 지지된 동력기관의 모델링을 나타내고, 엔진마운트의 감쇠를 무시하면 운동방정식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$[M_q] \{\ddot{q}\} + [K_q] \{q\} = \{F\} \quad (7)$$

여기서 $\{q\}$ 는 질량중심에서의 병진운동변위 및 회전운동의 각변위를, $\{F\}$ 는 동력기관에 작용하는 힘 및 모멘트를 나타낸다. 또한 $[M_q]$ 은 질량 및

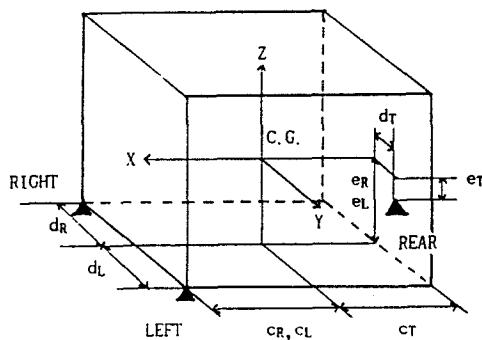


Fig.2 Dynamic Model of Engine/Mount System

관성모멘트를 나타내는 질량행렬이며, $[K_q]$ 는 병진 및 회전방향의 강성행렬이다. 여기서 $[M_q]$ 행렬은 실험적 모드해석을 통해 얻어지는 데이터를 적용시키고, $[K_q]$ 행렬은 방진고무시험기를 이용한 개별시험값으로 각 장착각도와 위치를 고려한 요소값들을 적용시킨다.⁽⁵⁾

(7)식에서 가진력 $\{F\}=0$ 일때의 고유치문제로 6개의 엔진/마운트계의 고유진동수 및 진동모우드를 구할 수 있으며, 이를 기초로 하여 각각의 마운트를 통해 차체로 전달되는 전달율을 얻을 수 있다.

4. 엔진장착조건 변경

4WD 차량 동력기관의 진동절연을 위한 고려사항은 다음과 같다.

- 1) 동력기관의 공회전 진동수성분과 각 운동방향 고유진동수의 비가 $\sqrt{2}$ 이상일 것
- 2) 전방마운트의 장착각도에 따른 탄성중심 조건을 최대한 만족시키며
- 3) Roll 방향의 진동억제에 중점을 두고
- 4) 가능한 한 충격중심이론 및 모멘트조화법에 따른 위치와 강성비를 고려한다.

4.1 실제 동력기관의 적용

동력기관의 엔진마운트 적용이론 및 진동절연 원리를 이용한 실제계의 적용을 4기통 디젤엔진이 장착될 4WD 차량에 대해 실시하였다.

Table.1은 엔진마운트 장착초기조건을 보여주며, Table.2는 실험적 모드 해석으로 구한 동력기관의 관성제원(질량, 질량중심 및 관성모멘트)과 일반적인 측정에서 얻은 데이터와의 비교를 보여준다.

적용대상 동력기관의 전방 엔진마운트가 서로 대칭적으로 장착되어 있으므로, 탄성중심 I점을 기준한 Roll 방향에 대한 비연성조건은 Fig.1(a)의 조건에서 다음과 같이 정리된다.^(2,4)

$$\tan(\beta - \alpha) = (\tan\beta) / k \quad (8)$$

$$K_{ROLL} = 2K_S \{ (b \cos\beta + a \sin\beta)^2 \}$$

Table 1 Initial Condition of Engine Mount

Engine Type	4 Stroke Diesel(X3)	
Displacement	2498cc	
Max. Torque	79PS/4500RPM	
Transmission System	Transmission + Transfer Case	
Idle RPM	750±50 RPM	
Mount Position	Frnt. Right	(0.180,-0.218,-0.007)
	Frnt. Left	(0.180, 0.240,-0.007)
	Rear I Type	(-0.487, 0.011,-0.231)
	Rear II Type	(-0.877, 0.011,-0.128)

Table 2 Inertia Properties of Powertrain

Parameter	Measured Data	Calculated Data
Mass(Kg)	281	264
C.G. (m)	x	-0.532
	y	-0.011
	z	0.049
Inertia Moment (Kg-m ²)	I _{xx}	14.26
	I _{yy}	39.49
	I _{zz}	38.49
	I _{xy}	-
	I _{yz}	-
	I _{zx}	-

$$+k(b \sin\beta - a \cos\beta)^2 \quad (9)$$

여기서 $k=K_c/K_s$ (전방마운트의 압축/전단 강성비)

α =전방마운트와 탄성중심과의 각도

β =전방마운트 장착각도

K_{ROLL} =두개의 엔진마운트에 의한 Roll 방향 강성

4.2 진동절연에 따른 엔진장착조건 결정

동력기관의 진동절연에 따른 엔진장착조건 개선의 위해서 다음과 같은 순서로 연구를 진행했다.

1)항 : 장착위치 변경이 불가능할 경우

2)항 : 장착위치 변경이 가능할 경우

3)항 : 연성진동의 일반적인 경우

상기 1)항 조건인 엔진장착위치의 변경이 불가능할 경우, 동력기관은 대칭장착된 동일특성의 전방마운트를 가지며 후방마운트는 Roll방향 강성이 없다는 가정⁽⁹⁾하에 Roll방향의 비연성조건인 (8)식에 만족하는 마운트 장착각도 β 를 결정하여 (9)식에 따른 고유진동수를 구한 후, 이를 공회전 진동수성분들과 비교하였다. 여기서 I 차종 및 II 차종은 서로 다른 차체를 가진 차량이나, 동일한 동력기관 및 엔진마운트를 채택하고 있다.

또한 엔진마운트 장착위치의 변경이 가능한 2)항 조건인 경우, 동력기관의 Roll방향 진동에 대한 비연성조건을 최대한 만족하는 엔진마운트의 장착각도 β 에 관계된 수직방향의 강성값을 근거로 하여 Pitch와 Bounce의 비연성을 위해서 충격중심과 모멘트 조화법에 의한 후방마운트의 위치와 강성을 결정하였다.

연성진동의 3)항 조건에서는 동력기관의 6자유도 운동을 나타내는 (7)식에 실험적 모우드 해석기법에서 얻은 질량행렬값들을 적용시킨후, Mathematica를 이용한 프로그램으로 계산되는 동력기관의 고유진동수들이 공회전에서 발생하는 진동수성분들에 접근하지 않으며, 최소의 진동전달율을 갖는 장착각도, 적용가능한 마운트의 강성 및 마운트 부착위치를 결정하였다. 각 경우에서 얻은 개선된 엔진장착조건을 Table.3에 나타내었다.

Table 3에서 전방 및 후방마운트의 강성이 낮아지고, 엔진마운트의 장착각도와 후방마운트의 위치가 변화함을 알 수 있다. 이러한 엔진장착조건 변화로 말미암아 차체의 진동저감을 피할 수 있다 하더라도, 낮은 강성의 엔진마운트 채택으로 유발될 수 있는 엔진마운트의 내구문제도 검토대상이 되어야만 한다.

5. 실험

엔진장착조건 개선안을 통한 진동저감을 확인하기 위해서 실제 4WD 차량에 적용하여 공

Table 3 The improved Engine Mounting Conditions

Parameter		Frnt.RH Angle	Frnt.LH Angle	Mount Stiffness	Mount Position
Initial Condition		45°	45°	Front : 42.82Kgf/mm Rear : 20.07Kgf/mm	$C_R=C_L=0.18$ $C_T=0.487$ ①Type $C_T=0.877$ ②Type
1) Change Angle	Type I *	20°	20°	Front : 37.55Kgf/mm	—
	Type II *	40°	40°	Rear : 8.38Kgf/mm	—
2) Change Angle & Position	Type I	33°	33°	Front : 33.45Kgf/mm	Rear $C_T=0.72m$
	Type II			Rear : 8.36Kgf/mm	
3) Coupled Vibration	Type I	45°	60°	Front : 37.55Kgf/mm	Rear $C_T=0.72m$
	Type II			Rear : 8.38Kgf/mm	

* Type I, II Vehicles are different bodies with the same powertrain system.

회전 및 주행실험을 실시하고, 간접적인 내구시험을 수행하였다.

5.1 동력기관의 모우드실험

엔진 및 변속장치로 구성된 동력기관의 관성제원을 실험적 모우드해석으로 추출하기 위해 동력기관을 차체에서 분리하여 실제 장착조건에 맞는 지지대에 고정시킨후, 정확한 6자유도 운동이 나오는 가진점(1Y)을 선정하였다. 가진신호는 40Hz Pseudo Random을 이용하여 3축 가속도계로 7곳에서 주파수 응답함수를 구해 SMS STAR(Global Curve Fitting)와 I-DEAS TDAS(Polyreference Estimation)를 이용하여 모우드해석을 수행하였다. Fig.3은 동력기관의 모우드 해석을 위한 실험장치의 개략도를 나타내고 있다.

5.2 공회전 및 주행실험

Table 3의 개선안중에서 1)항 조건의 II 차종에 대한 개선결과를 실제 차량에 적용하여 공회전 및 주행실험하였으며, 실험조건 및 절차는 다음과 같다.

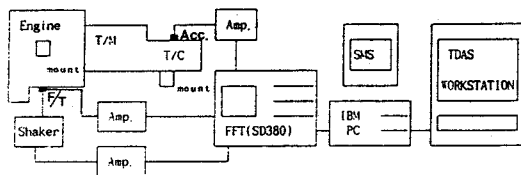


Fig.3 Schematic Diagram of Modal Testing

1) 측정위치

- ①진동: 전방좌측 마운트 및 후방마운트 엔진/프레임, 운전석 발위치 Floor(Z-direction), 운전석 Seat Rail(Z-direction)
- ②소음: 실내소음(운전석 및 전방승객석 귀위치)

2) 실험항목

- ①공회전실험: 정차상태에서 공회전(750±50 RPM)부터 4000RPM까지 엔진회전수를 서서히 Sweep시킴
- ②주행 실험: 3단기어로 엔진회전수를 1500-3500RPM까지 급가속주행(4WD 내바퀴 굴림상태로 Wide Open Throttle실험)

3) 실험절차: 공회전실험 및 주행실험에서 얻은 신호는 테이프 레코더에서 저장한뒤 분석기를 통해 각각의 결과를 얻어 개선효과를 비교·검토하였다.

5.3 엔진마운트 내구시험

일반적으로 엔진/마운트계의 진동절연을 위해서 엔진마운트의 장착각도가 변하고 강성이 Soft해지는 경향을 갖는데, 이는 때때로 엔진마운트의 내구수명에 역행하는 경우가 되기도 한다.

따라서 본 연구에서 고려한 엔진장착조건의 개선안(Table 3)중에서 1)항 조건의 II 차종에 대한 전방마운트들의 독립적인 내구시험을 실시하여 장착조건변경에 따른 엔진마운트의 내구수

Table 4 Modal Parameters of Powertrain

Mode	Natural Frequency(Hz)		Damping(%)	Mode Shape
	Calculated	Measured		
1	7.80	9.10	2.60	Y Translation
2	9.28	9.47	2.42	Z Translation
3	11.12	11.20	2.89	Rolling
4	13.50	13.26	1.52	X Translation
5	18.05	20.36	4.09	Pitching
6	19.76	21.49	4.91	Yawing

명여부를 간접적으로 확인하였다.(Fig.7, 8)

엔진마운트가 실제 장착되는 40° 경사각을 만족시키는 Jig를 제작하여 압축강성 37.55Kg/mm를 가지는 동일한 전방마운트 두개를 장착시켜 1G±2G*의 하중제어 방식의 3.3Hz 진동수로 1,000,000회이상 가진하였다. (*여기서 1G는 엔진 자체의 중량을 뜻하며, 1G±2G의 조건은 실제주행에서 발생하는 하중보다 훨씬 더 가혹한 조건이다.)

6. 실험데이터 검토

6.1 동력기관의 모드 해석결과

Table 4, 5는 실험적 모드해석으로 구한 동력기관의 고유진동수와 모드형태 및 진동모드를 나타낸다. Table 2에서 동력기관의 관성제원은 질량중심에 대해서는 실측치와 1cm내외의 오차를 가져 합당한 결과를 얻을 수 있으나, 질량 및 관성모멘트값들은 약 10%이상의 오차가 존재하고 있다. 따라서 Table 4의 동력기관 고유진동수에서도 1번 모드와 5, 6번 모드의 오차가 발생한다. 이러한 오차는 동력기관이 선형임을 가정하고서 모드해석이 수행되었으며, 엔진/마운트계의 비선형특성 및 가진시험시 지지대의 영향, 엔진마운트의 감쇠를 고려하지 않은 이유 때문이다.

Table 5 Mass Normalized Mode Shape

$$[\phi] = \begin{bmatrix} 0.003 & 0.039 & 0.036 & 0.010 & 0.003 & 0.006 \\ 0.023 & 0.001 & -0.014 & 0.024 & -0.061 & 0.054 \\ 0.003 & -0.041 & 0.045 & 0.017 & -0.012 & -0.003 \\ 0.163 & -0.039 & 0.018 & -0.147 & 0.208 & 0.030 \\ -0.014 & -0.062 & -0.014 & 0.018 & 0.081 & 0.155 \\ 0.013 & -0.012 & 0.035 & -0.157 & 0.007 & 0.041 \end{bmatrix}$$

6.2 공회전실험 데이터

Fig4는 공회전실험에서 전방좌측 마운트와 후방마운트를 통해 프레임에 전달되는 진동레벨(Overall Level)을 나타낸다. 엔진장착조건 개선후 전방좌측 마운트와 후방마운트를 통해 차체에 전달되는 진동레벨에 전체 RPM 영역에서 약 3~10dB의 감소효과가 있음을 확인할 수 있다. 그 외에도 운전석 Seat Rail 및 운전석 발위치 Floor의 진동레벨도 감소됨을 확인하였다.

6.3 주행실험 데이터

Fig5는 네바퀴 굴림상태의 3단 급가속 주행실험에서 전방좌측 마운트를 통해 차체에 전달되는 진동레벨을 나타낸다. 여기서 공회전뿐만이 아니라 주행실험에서도 엔진장착조건의 개선으로 인하여 전 RPM 영역에서 약 2~10dB의 진동감소효과가 존재함을 파악할 수 있다. 또한 Fig6의 운전석 귀위치에서 측정된 실내소음도 전 RPM 영역에서 2~5dB(A)의 개선효과가 있음을 알 수 있다.

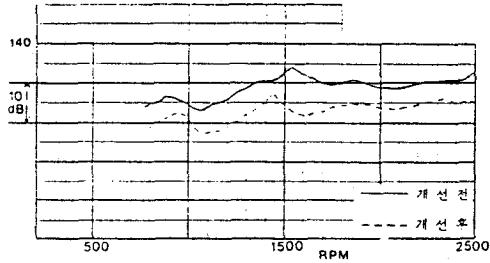


Fig.4-1 Vibration Level of Front Left Engine Mount(Idle Sweep)

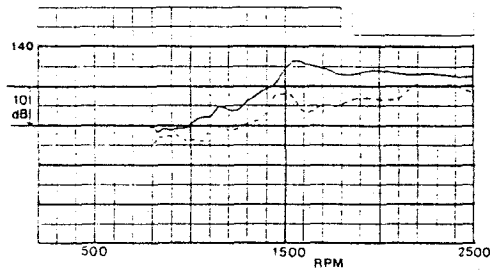


Fig.4-2 Vibration Level of Rear Engine Mount (Idle Sweep)

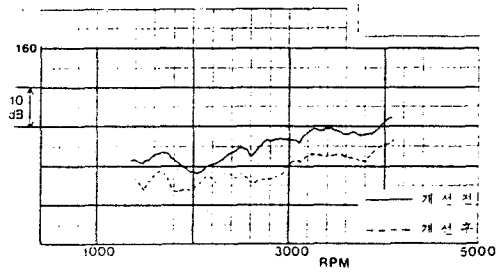


Fig.5 Vibration Level of Front Left Engine Mount(W.O.T. Test)

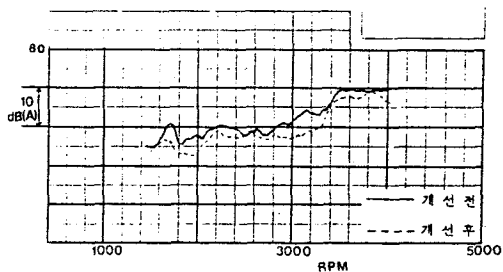


Fig.6 Interior Noise Level of Driver's Ear Position(W.O.T. Test)

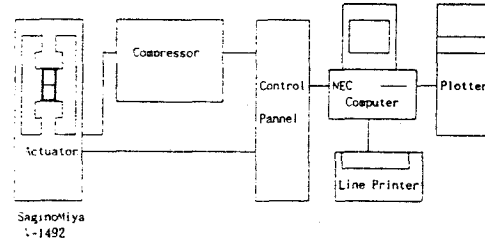


Fig.7 Schematic Diagram of Engine Mount Fatigue Test

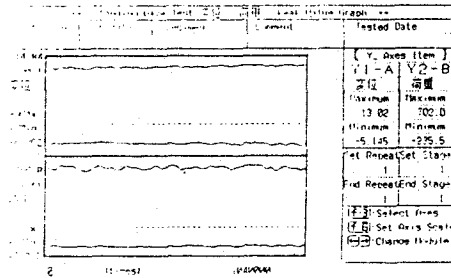


Fig.8 Trace Sheet of Fatigue Test Procedure

여기서 진동 및 소음레벨을 나타낸 dB 및 dB(A)는 각각 $a_0 = 1 \times 10^{-6} \text{m/sec}^2$, $P_0 = 20 \times 10^{-6} \text{Pa}$ 를 기준하였다.

6.4 엔진마운트의 내구시험

엔진마운트의 내구시험시 마운트자체의 파손이나 특성변화가 발생할 경우에는 작용하중 및 이에 따른 엔진마운트 변위의 급격한 변화가 발생하게 된다. 따라서 가진회수 누적에 따른 작용하중과 엔진마운트의 변위를 살펴본다면 엔진마운트의 내구성능을 파악할 수 있기 때문이다.

본 연구에서 실시한 내구시험은 Fig.8에서 보는 바와 같이 1,040,000회 이상의 가진후에도 엔진마운트의 변위 및 하중의 특별한 변화없이 양호한 특성을 유지하고 있으므로, 본 연구에서 제시한 II차량의 엔진장착조건 개선안은 진동절연효과 뿐 아니라 주행내구조건에도 만족함을 간접적으로 확인할 수 있다.

7. 결 론

4WD 차량의 엔진마운트 이론정리에 따른 장착조건개선 및 실제 차량의 적용실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 실험적 모우드해석을 통한 진동모우드로서 동력기관의 관성제원(질량, 질량중심 및 관성모멘트)을 계산하였다. 이러한 방법을 이용하면 대용량 동력기관의 특성 변경이나 새로운 동력기관적용시 동특성 해석시간을 크게 단축시킬 수 있다.
- 2) 계산된 관성제원을 기초로, 서로 다른 체체이나 동일한 동력기관을 사용하는 4WD 두 차종에 대해서 동력기관의 비연성 및 연성진동이론에 따른 엔진장착조건의 개선안을 제시하였다.
- 3) 엔진장착조건의 개선안을 실제차량에 적용시킨 결과, 공회전뿐만 아니라 급가속 주행에서도 차체진동 및 실내소음이 개선됨을 확인하였다.
- 4) 개선된 엔진장착조건중에서 전방마운트들에 대한 내구시험을 실시하여 본 연구에서 제시한 장착조건이 진동절연효과뿐 아니라 내구성능에서도 만족함을 간접적으로 확인하였다.

참 고 문 헌

1. Horowitz, "The Suspension of Internal Combustion Engine in Vehicles", Proceed. of Instrn. Mech. Engrs. 1957.
2. Bolton-Knight, "Engine Mountings : Analytical Method to reduce Noise and Vibration", Instrn. Mech. Engrs, C98/71
3. Hill, D.L. "Designing Engine Mount System for Vibration Isolation", 6th Annual Institute of Noise Control in Internal Combustion Engineering, 1974.
4. F.F.Timpner, "Design Considerations in Engine Mountings", SAE 966B
5. 정경열, 조치영, 김광준, 이종원, "실험적 모우드해석을 통한 엔진마운트계의 동역학적 모델링", 자동차공학회지, 1988.
6. Geck, P.E. "Front Wheel Drive Engine Mount Optimization", SAE 843736
7. Bernard, J.E. "Engine Mount Optimization", SAE 830257
8. Hata, H. "Experimental Method to Derive Optimum Engine Mount System for Idle Shake", SAE 870961
9. 사종성, 김광식, "실험적 모우드해석을 통한 4WD 자동차의 엔진마운트에 관한 연구" 한국소음진동공학회지 제1권, 1991.
10. P.Conti and J.Bretl, "Mount Stiffness and Inertia Properties from Modal Test Data", ASME, Vol.111, 1989.
11. T.Butsuen, et al, "Application of Direct System Identification Method for Engine Rigid Body Mount System", SAE 860551
12. 박석태, "실험적 모우드 해석법에 의한 엔진 관성제원 및 마운트 고무스프링 상수규명", 자동차공학회 춘계학술대회, 1991.
13. D.J.Ewins, "Modal Testing : Theory and Practice", Research Studies Press, 1984.