

실험적 Mode 해석을 통한 4WD 자동차의 엔진마운트에 관한 연구

A Study on the Engine Mounting System of the 4WD Vehicle by Experimental Modal Analysis

* **
사 종 성, 김 광 식

1. 서론

자동차에 있어서 엔진 및 변속장치를 포함한 Power Transmission System은 가장 크게 집중된 질량이며, 동작 중에 많은 진동과 소음을 유발하게 된다. 또한 구동축 및 크랭크샤프트로부터 작용되는 상당토크(Equivalent Torque)들과, 엔진에 부가되는 부품들(발전기, 배기관, Air Condi. Pump 등)도 진동을 발생시킨다.

따라서 엔진마운트는 이러한 진동을 절연시켜야 하고, 차량의 급격한 가감속시 엔진의 전후이동을 억제시키면서도 또한 엔진의 중량을 지지해야 한다.

이러한 엔진마운트의 연구는 자동차의 발전과 더불어 활발히 진행되었는데, J. P. Den Hartog(1)는 부동동력기관(Floating Powerplant)의 개념을 설명하였으며, Horowitz(2)와 Bolton-knight(3) 등이 엔진마운트의 설계개념과 이론적 근거를 제시하였다. 또한 경제성 및 실내공간의 확보와 차량의 직진성 확보 등의 이점으로 앞바퀴굴림의 횡치장작 엔진에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.(4-5)

한편 엔진의 동역학적 모델링(6)과 마운트의 위치, 강성 및 장착각도에 대한 최적기법(Optimization Method)도 많이 발표되고 있다. (7-9)
본 연구에서는 4WD(4 Wheel Drive)

자동차의 엔진마운트에 대한 설계 개념 및 적용이론을 체계화시키고, 실제 차량의 엔진마운트 설계 적용 여부를 실험적 Mode 해석을 통해 검토하고자 한다. 4WD 자동차는 일반 승용차와는 달리 OFF-ROAD Car로 험로주행에 따른 구동축으로부터의 작용토크가 현저하며, 최근에는 Diesel Engine의 채택으로 인하여 Power Transmission System의 진동현상이 뚜렷하고, 또한 Transmission에 Transfer Case가 부가되며, 이에 연결되는 Front Propeller Shaft가 존재한다. 더불어 Frame상에 Power Transmission System이 장착되므로 Frame과의 관계 및 부가장치들에 대한 영향을 비교, 검토하고자 한다.

2. 4WD자동차의 엔진마운트 설계 기법 및 적용이론

일반적으로 Power Transmission System은 대략 30Hz이내의 진동수영역에서 강체운동(Rigid Body Motion)을 하며, 그 이상의 영역에서는 분포된 질량에 따른 비강체운동을 하게 된다.

따라서 엔진마운트의 설계시 강체운동 및 비강체운동에 따른 고려가 선행되어야 하며, 각 마운트들간의 강성비 및 작용하중에 따른 모멘트

* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

** 한양대학교 정밀기계공학과

조화 (Moment Balance) 방법의 적용 등이 필요하게 된다. 본 연구에서는 4WD 자동차에 종치형태로 장착되는 엔진을 고려하였으며, 마운팅방식은 전방2개, Transmission 후방의 1개로 구성되어 있다고 가정하여 엔진마운트의 설계기법을 제시하면 다음과 같다.

(1) Rear Mount 위치

Power Transmission System의 Beaming Modal Test를 시행하여 구한 Nodal Point 위치로 결정한다.

(2) Front Mount 위치

Power Transmission System 무게중심, Pitch 방향의 관성모멘트 값으로 Rear Mount 위치를 기준으로 한 충격중심 (Center of Percussion) 이론에 의해 결정한다.

(3) 마운트의 강성비 및 강성값의 결정
마운트에 작용하는 하중 및 변위량에 따른 모멘트 조화기법(3,10)에 따라 각 마운트의 강성비 및 강성값을 결정한다.

(4) Frame Torsional Nodal Point 및 Front Mount의 경사각 결정
Front Mount들의 탄성중심 (Elastic Center)이 Power Transmission System의 고유토크축상에 존재하지 않을 경우, 마운트에 경사각을 취함으로써 고유토크축상에 탄성중심을 일치시키도록 한다. 이때 Power Transmission System의 관성모멘트를 이용하며, 각 마운트들의 전단방향 강성은 Frame의 비틀림진동수와 엔진마운트의 Roll 진동수를 일치시켜서 얻는다.

(5) Frame상의 Mount 위치결정
Front & Rear Mount는 각각 Frame Bending Mode의 Nodal Point에 일치시켜야 하나, 엔진룸내에서의 간섭 문제가 발생시에는 후방마운트만이 라도 일치시키는 것이 유리하다. 이상의 4WD 자동차의 엔진마운트 설계기법을 요약하면 그림 1과 같다.

본 엔진마운트 설계기법에서 언급된 Center of Percussion, Moment Balance, Torque Axis, Elastic Center 등에 대한 이론 및 수식유도과정은 Horowitz(2), Bolton-knight(3), David L. Hill (10)의 논문을 참고하기 바란다.

3. Power Transmission System의 실험적 Mode 해석

본 연구에서 고려한 4WD 자동차 엔진마운트의 특성 및 Mode 해석을 실제차량에 대해서 수행하였다.

엔진마운트 설계기법에서 제시한 마운트위치와 Frame간의 적용여부를 확인하기 위해서, Frame에 Power Transmission System을 장착시킨후, Tire로 지지시킨 상태에서 Mode 해석을 수행하였으며, Frame을 세곳에서 Rigid Support한 Mode 해석결과와 Power Transmission System에 부가되는 장치 (Front Propeller Shaft, Exhaust Assembly)를 추가해서 얻은 해석결과를 비교, 검토하였다.

본 연구에 사용된 Power Transmission System의 개략도 및 제원은 각각 그림 2와 그림 3과 같다. 여기서 Front Mount는 각각 Point 8, 9에 위치하고, Rear Mount의 위치는 Point 17과 18사이에 존재한다.

(3 - 1) 엔진마운트 위치와 Frame간의 적용여부 검토

Power Transmission System을 Tire로 지지된 Frame에 장착시킨후, Engine을 가진하여 Frame 및 Power Transmission System의 FRF (Frequency Response Function)를 구하였다. Mode 해석의 장비구성 및 실험조건은 그림 4와 같다.

Modal Testing은 FFT(SD-380Z)에서 Pseudo Random Signal을 발생시켜 Engine을 가진시키고서 Frame 및 Power Transmission에서 FRF를 구하여

Mode 해석 전용 Software 인 STAR MODAL Program을 이용하여 Mode 해석을 수행하였다.

실제구조물에서는 측정위치의 비선형성에 의해서 고유진동수와 Damping 이 약간씩 변할수 있게 된다. 따라서 Data들간의 오차를 최소화시키기 위해서 전체 Data에 대한 Fitting방법인 Global Curve Fitting Algorithm을 이용하여 Modal Parameter를 구하여 표 1에 나타내었다.

표 1에서 보는 바와 같이 Power Transmission System 의 강체 Mode가 Frame과 연합되어 있으므로, 엔진 마운트의 위치결정에 필요한 System Mode분리에 어려움이 있음을 알 수 있다. 그러나 Frame의 Mode에서는 1st ~ 4th Mode 가 Frame의 강체모드이므로, 마운트위치선정에 필요한 Frame의 Flexible Mode는 5th ~ 8th Mode이므로 Power Transmission 과 연계된 Frame상의 Nodal Point를 그림 5에 나타내었다.

그림5에서 보듯이 Frame의 Nodal Point와 엔진의 Front Mount가 일치하고(29.80Hz), Rear Mount는 Frame의 Torsional Modal Point와 일치(16.71Hz) 하는 것으로 미루어, 본 연구의 4WD 자동차의 엔진마운트는 설계기준에 따라 적절히 선정되었다고 볼 수 있다.

(3 - 2) Power Transmission System에 추가되는 장치들의 영향

Power Transmission System에 추가된 Front Propeller Shaft 및 Exhaust Assembly의 영향을 파악하기 위하여 3-1)항과 동일한 Mode해석을 수행하였다. 이때 Power Transmission System 강체모드를 비교적 정확히 분리시키기 위해서 Frame을 세곳에서 Rigid Support하여 각각의 FRF를 구하였다. 그림 6은 Engine에 추가된 장치 및 Support 위치를 나타낸다.

Power Transmission System에 추가되는 장치들에 대한 Mode 해석결과는

표 2와 같고, 그림 7은 Power Transmission System 가진점에서의 FRF를 나타낸다.

그림 7에서 Power Transmission System에 추가된 Front Propeller Shaft(6.2Kg)와 Exhaust Assembly(30.84Kg)의 존재로, 전반적인 진동수가 낮아짐을 확인할 수 있다. 이는 부과된 장치들의 질량에 의해서라기 보다는, 엔진 및 변속 장치의 질량중심으로부터 원거리에 위치하므로 관성모멘트의 영향이 큰 원인이라 판단된다. 따라서 엔진마운트 설계시 추가 부착장치들의 영향을 반드시 고려해야 한다.

4. 결론

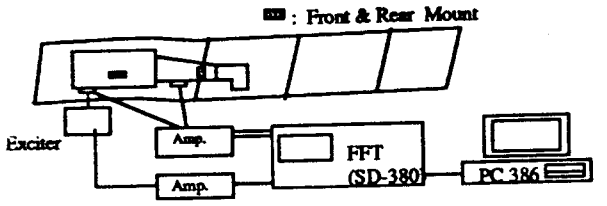
4WD자동차의 엔진마운트 설계기법의 정리 및 실제차량의 실험적 Mode 해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 4WD자동차의 엔진마운트 설계 개념을 체계화시키고, 이를 실제차량에 대해서 실험적 Mode해석을 해본 결과 잘 일치함을 확인하였다.

2. Power Transmission System에 추가되는 장치(Front Propeller Shaft)의 영향을 검토한바, Frequency Shift현상이 발생함을 확인하였다. 이러한 영향은 이들 부가장치들의 질량증가 및 관성모멘트의 변화로 기인되며, 질량의 증가보다는 관성모멘트의 영향이 상대적으로 크리라 판단된다.

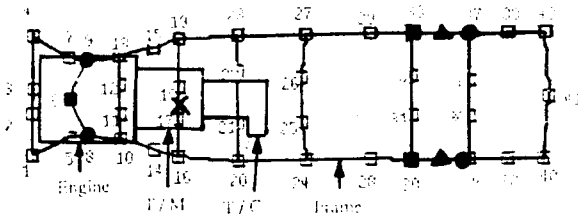
5. References

- 1) J.P.Den Hartog, Mechanical Vibrations McGraw-Hill Co.
- 2) Horowitz, The suspension of internal combustion engines in vehicles, Preceed. of Instrn. Mech. Engrs, 1957
- 3) B.L.Bolton-knight, Engine Mountings : Analytical method to reduce noise and vibration, Instrn. Mech. Engrs, C98/71



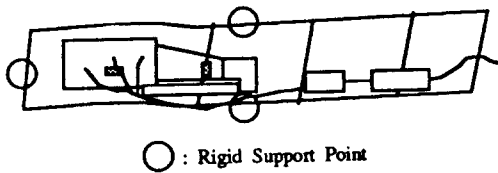
가진방법 : Pseudo Random Excitation
 가진범위 : 40 Hz 이하
 측정Point : Powerplant : 1 - 21 X, Y, Z (63 Point)
 Frame : 22 - 63 X, Y, Z (126 Point)

그림4. Mode 해석의 장비구성 및 실험조건



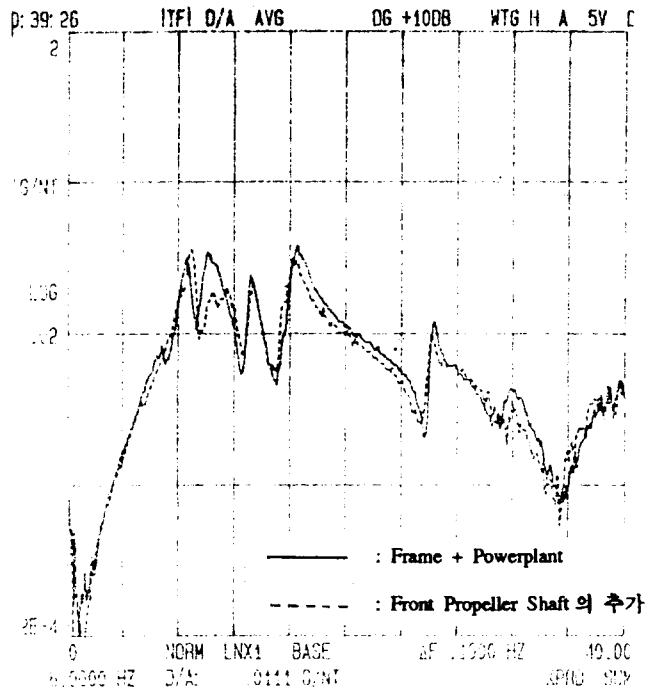
- X : 1st Torsional Mode 16.717 Hz
- ⊙ : 1st Bending Mode 26.395 Hz
- ▲ : Lateral + Torsional Mode 29.796 Hz
- : 2nd Torsional Mode 33.095 Hz

그림 5. Frame 의 Nodal Point

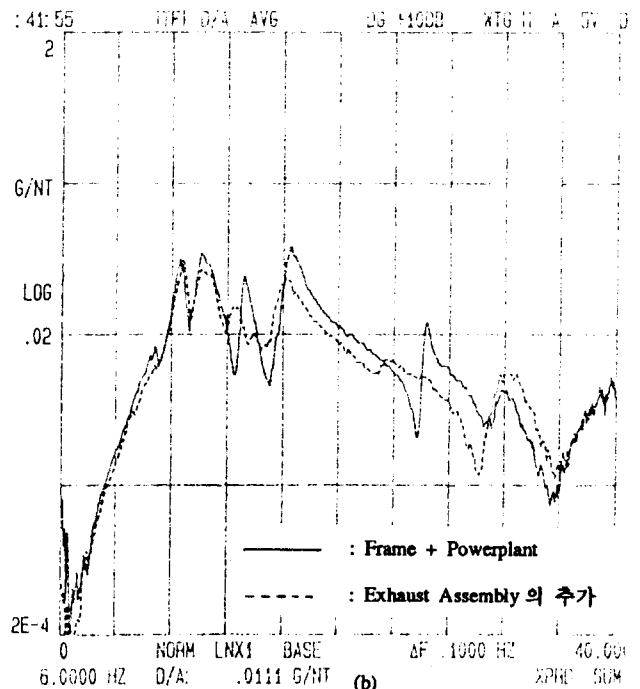


○ : Rigid Support Point

그림 6. System Assembly와 Frame Rigid Support Point



(a)



(b)

그림7. 부가장치에 따른 FRF의 비교

(a) Front Propeller Shaft 가 추가된 경우 가진점에서의 FRF

(b) Exhaust Assembly 가 추가된 경우 가진점에서의 FRF

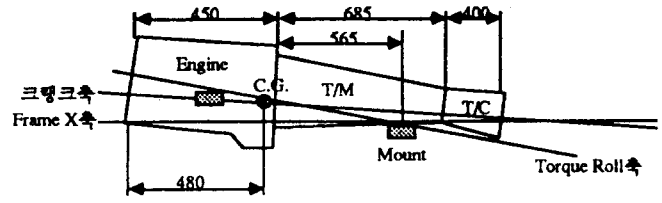
표 1. Power Transmission System 의 Modal Parameter

Mode	Powerplant			Frame		
	Freq.(Hz)	Damp.(%)	Mode Shape	Freq.(Hz)	Damp.(%)	Mode Shape
1	3.293	0.157	Roll	3.120	0.186	Roll
2	4.010	0.163	Pitch	3.933	0.166	Pitch
3	6.395	0.289	Bounce	6.219	0.239	Bounce
4	11.135	0.438	Pitch + Roll	11.060	0.683	Roll + Lateral
5	16.517	0.701	Roll + Yaw	16.717	0.463	1st Torsion
6	21.370	0.081	Roll	26.395	0.435	1st Bending
7	28.215	1.228	Roll + Lateral	29.796	0.079	2nd Torsion
8	30.830	0.705	Roll	33.095	1.057	2nd Bending

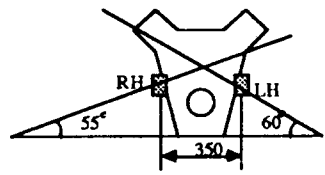
표 2. Engine 의 부가장치들에 따른 Modal Parameter

Mode	Frame			Front Propeller Shaft 추가시			Exhaust Assembly 추가시		
	Freq.(Hz)	Damp.(%)	Mode Shape	Freq.(Hz)	Damp.(%)	Mode Shape	Freq.(Hz)	Damp.(%)	Mode Shape
1	7.044	1.933	Roll + Longitu.	5.285	1.696	Lateral	5.266	3.101	Lateral+Longi.
2	8.408	3.183	Bounce + Roll	8.922	3.141	Bounce + Roll	6.890	3.557	Longit.+ Lateral
3	10.100	4.097	Roll + Yaw	11.287	4.520	Roll + Pitch	8.905	2.988	Bounce
4	13.079	2.326	Bounce + Yaw	13.164	2.599	Bounce + Yaw	10.282	3.787	Roll + Pitch
5	16.319	2.927	Roll + Lateral	15.971	2.647	Roll + Lateral	12.369	4.097	Yaw + Roll
6	26.163	0.785	Roll	26.034	1.001	Roll	13.533	3.699	Yaw

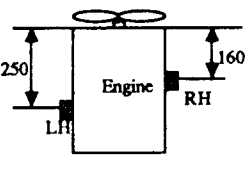
- 4) P.E.Geck, R.D.Patton, Front wheel drive engine mount optimization, SAE 843736
- 5) S.R.Johnson, Computer optimization of engine mounting systems, SAE790974
- 6) 정경렬외 3인, 실험적 모우드해석을 통한 엔진마운트계의 동역학적 모델링, 자동차공학회지, Vol. 10, 1988
- 7) J.E.Bernard, Engine mount optimization, SAE 830257
- 8) M.Demic, A contribution to the optimization of the position and the characteristics of passenger car powertrain mounts, Int. J. of Vehicle Design, 1990
- 9) H.Hata, Experimental method to derive optimum engine mount system for idle shake, SAE 870961
- 10) D.L.Hill, Designing engine mount system for vibration isolation, 6th Annual Institute of Noise Control in Interanal Combustion Engineering, 1974



(A) Side View



(B) Front View



(C) Top View

항 목	중 량(Kg)
Engine (60° V6, Gasoline)	180
Transmission (Man. 5단)	55
Transfer Case	52
Clutch Assembly	9
Exhaust Assembly	30.8
Front Mount (2 Ea)	4.84
Rear Mount	2.1
Front Propeller Shaft	6.2
Frame	185

그림 2. Powerplant 개략도(Unit: mm) 및 제원

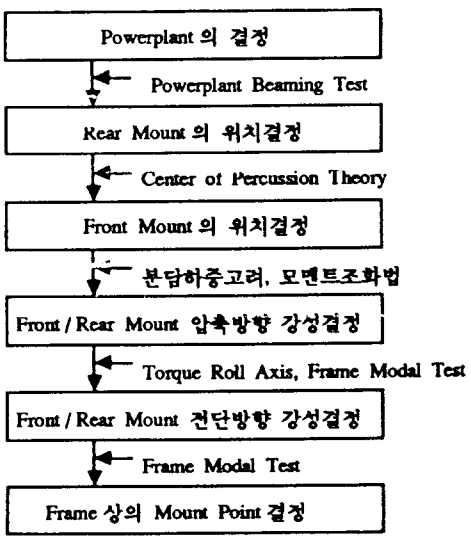


그림 1. 4WD차량의 엔진마운트 설계기법

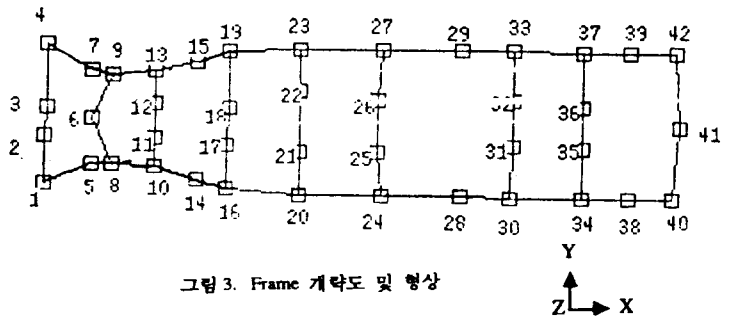


그림 3. Frame 개략도 및 형상