

〈論 文〉

실험적 모드해석을 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**

ABSTRACT

In this study, the design concept of engine for 4WD vehicle is established by the experimental modal analysis. First, the relationships between frame and power transmission system are considered. Second, the effect of additional system(Front propeller shaft and Exhaust system)on the power transmission system is evaluated. As a result, it is desirable that of frame and power transmission system is shifted by the additional system. This is cause by the moment of inertia of the additional system, because the center of gravity location of the additional system is far from that of the power transmission system.

1. 서 론

자동차에 있어서 엔진 및 변속장치를 포함한 동력기관(power transmission system)은 가장 크게 집중된 질량이며, 동작중에 많은 진동과 소음을 유발하게 된다. 또한 구동축 및 크랭크샤프트로부터 작용되는 상당토크(equivalent torque)들과 엔진에 부가되는 부품들(발전기, 배기관, air conditioning pump 등)도 진동을 발생시킨다.

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

이러한 엔진마운트의 연구는 자동차의 발전과 더불어 활발히 진행되었는데, Den Hartog [1]는 부동동력기관(floating powerplant)의 개념을 설명하였으며, Horowitz[2], Bolton과 Knight[3]등이 엔진마운

트의 설계개념 및 이론적 근거를 제시하였다. 또한 경제성 및 실내공간의 확보와 차량의 직진성확보등의 이점으로 앞바퀴굴림의 횡치장착엔진에 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 실제차량의 엔진마운트 설계적용여부를 실험적 모드해석을 통해 검토하고자 한다. 4WD자동차는 일반 승용차와는 달리 Off-Road Car로써 험로주행에 따른 구동축으로부터의 작용토크가 현저하며, 최근에는 디젤엔진의 채택으로 인하여 동력기관의 진동현상이 뚜렷하고, 또한 변속기에 transfer case가 부가되며, 이에 연결되는 front propeller shaft가 존재한다. 더불어 프레임상에 동력기관이 장착되므로 프레임과의 관계 및 부가장치들에 대한 영향을 비교, 검토하고자 한다.

* 쌍용자동차 제1연구소 진동소음팀
** 한양대학교 정밀기계공학과

2. 4WD자동차의 엔진마운트 설계기법 및 적용이론

일반적으로 엔진 및 변속장치를 포함한 동력기관은 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 모멘트조화(moment balance)방법의 적용등이 필요하게 된다. 본 연구에서는 4WD자동차에 종치형태로 장착되는 엔진을 고려하였으며, 마운팅방식은 전방 2개, 변속기 후방의 1개로 구성되어 있다고 가정하여 엔진마운트 설계기법을 제시하면 다음과 같다.

(1) 후방마운트 위치

동력기관의 beaming modal test를 시행하여 얻은 nodal point 위치로 결정.

(2) 전방마운트 위치

동력기관의 무게중심, pitch방향의 관성모멘트 값으로 후방 마운트 위치를 기준으로 한 충격중심(center of percussion)이론에 의해 결정한다.

(3) 마운트의 강성비 및 강성값의 결정

마운트에 작용하는 하중 및 변위량에 따른 모멘트조화기법[3, 10]에 따라 각 마운트의 강성비 및 강성값을 결정한다.

(4) Frame torsional nodal point 및 전방마운트의 경사각 결정

전방마운트들의 탄성중심(elastic center)이 동력기관의 고유토크축상에 존재하지 않을 경우 마운트에 경사각을 취함으로써 고유토크축상에 탄성중심을 일치시키도록 한다. 이때 동력기관의 관성모멘트를 이용하며, 각 마운트들의 전단방향강성은 프레임의 비틀림 진동수와 엔진마운트의 roll방향 진동수를 일치시켜서 얻는다.

(5) 프레임상의 마운트위치

전, 후방 마운트는 각각 프레임 bending mode의 nodal point에 일치시켜야하나, 엔진룸내에서의 간섭문제가 발생시에는 후방마운트만이라도 일치시키는 것이 유리하다.

이상의 4WD자동차 엔진마운트 설계기법을 요약하면 그림1과 같다.

본 엔진마운트 설계기법에서 언급된 충격중심, 모멘트조화, 토크축, 탄성 중심등에 대한 이론 및 수식 유도과정은 Horowitz[2], Bolton-Knight[3], Hill 40/ 한국소음진동공학회지/ 제 1 권 제 1 호, 1991년

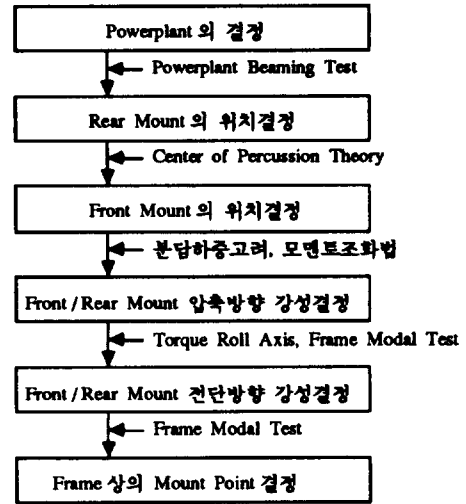


그림 1 4WD차량의 엔진마운트 설계기법

[10]의 논문을 참고하기 바란다.

3. 동력기관의 실험적 모우드해석

본 연구에서 고려한 4WD자동차 엔진마운트의 특성 및 모우드해석을 실제차량에 대해서 수행하였다.

엔진마운트 설계기법에서 제시한 마운트위치와 프레임간의 적용여부를 확인하기 위해서 프레임에 동력기관을 정착시킨후, tube로 지지시킨 상태에서 모우드해석을 수행하였으며, 프레임을 세곳에서 rigid support한 모우드해석결과와 동력기관에 부가되는 장치(front propeller shaft, exhaust assembly)를 추가해서 얻은 해석결과를 비교, 검토하였다. 본 연구에 사용된 동력기관의 개략도 및 제원은 각각 그림2 및

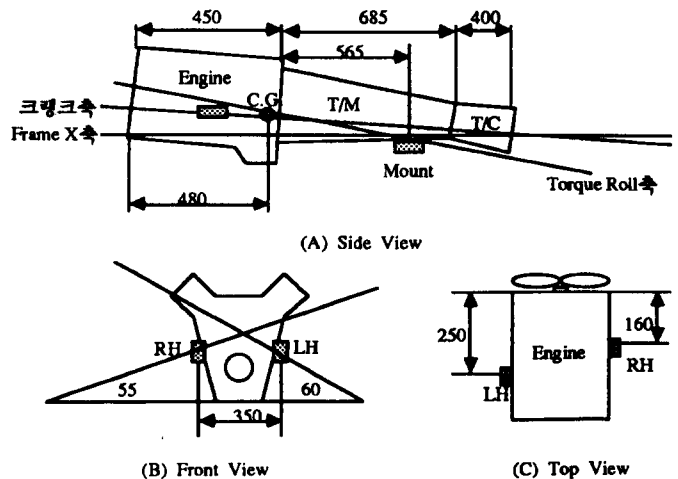


그림 2 Power transmission system 개략도

그림3과 같다. 여기서 전방마운트는 각각 8, 9번에 위치하고 후방마운트는 17과 18번사이에 존재한다.

3.1 엔진마운트위치와 프레임간의 적용여부 검토

동력기관을 tube로 지지된 프레임에 장착시킨후, 엔진을 가진하여 프레임 및 동력기관의 FRF(frequency response function)를 구하였다. 모우드해석의 장비구성 및 실험조건은 그림4와 같다.

Modal testing은 FFT(SD-380Z)에서 pseudo random signal을 발생시켜 엔진을 가진시키고서 프레임 및 동력기관에서 FRF를 구하여 mode해석전용 소프트웨어인 STAR MODAL프로그램을 이용하여 모우드해석을 수행하였다.

실체구조물에서는 측정위치의 비선형성에 의해서 고유진동수와 감쇠가 약간씩 변할 수 있게 된다. 따라서 data들간의 오차를 최소화시키기 위해서 전체 data에 대한 fitting방법인 global curve fitting algorithm을 이용하여 모우드매개변수를 구하여 표1에 나타내었다. 표1에서 보는 바와 같이 동력기관의 강체모우드가 프레임과 연합되어 있으므로, 엔진마운트들의 위치결정에 필요한 계의 모우드분리에 어려움이 있음을 알 수 있다. 그러나 프레임의 모우드에서는 1~4번째 모우드가 프레임의 강체모우드이고, 마운트 위치선정에 필요한 프레임의 flexible mode는 5~8번

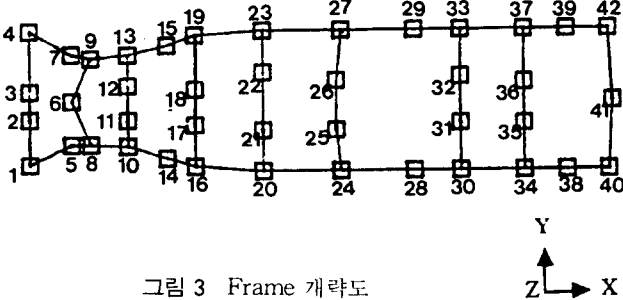


그림 3 Frame 개략도

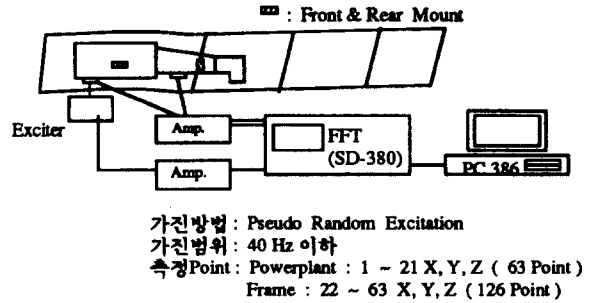


그림 4 Mode 해석의 장비구성 및 실험조건

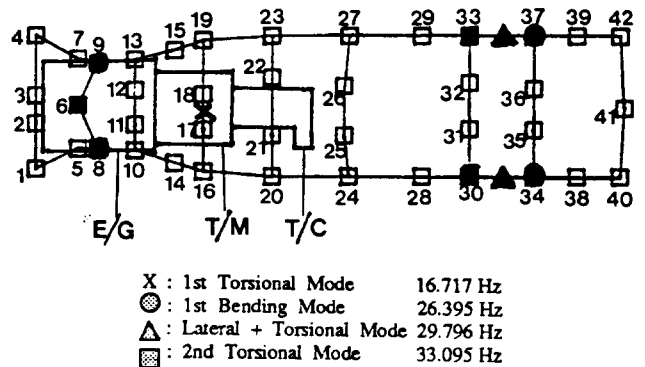


그림 5 Frame의 nodal point

째 모우드이므로 동력기관과 연계된 프레임상의 nodal point를 그림5에 나타냈다.

그림5에서 보듯이 프레임의 nodal point와 엔진의 전방마운트가 일치하고(29.80Hz), 후방마운트는 프레임의 torsional nodal point와 일치(16.71Hz)하는 것을 미루어, 본 연구의 4WD자동차의 엔진마운트는 설계기준에 따라 적절히 선정되었다고 볼 수 있다.

3.2 동력기관에 추가되는 장치들의 영향

동력기관에 추가로 부가된 front propeller shaft

표 1 Power transmission sytem의 modal parametetr (frame tube지지)

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 Bendiog

및 배기계의 영향을 파악하기 위하여 3.1절과 동일한 모우드해석을 수행하였다. 이때 동력기관의 강제모우드를 비교적 정확히 분리시키기 위해서 프레임의 세 곳에서 rigid support하여 각각의 FRF를 구하였다. 그림6은 엔진에 부가된 장치 및 지지위치를 나타낸다.

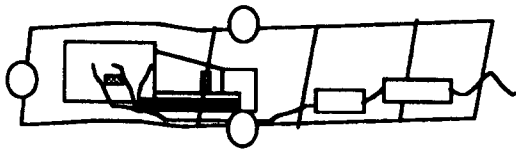
동력기관에 부가되는 장치들에 대한 모우드 해석결과는 표2와 같고, 그림7은 동력기관 가진점에서의 FRF를 나타낸다.

그림7에서 동력기관에 부가된 front propeller shaft(6.2kg)와 exhaust assembly(30.8kg)의 존재로, 전반적인 진동수가 낮아짐을 확인할 수 있다. 이는 부가된 장치들의 질량에 의해서라기보다는, 엔진 및 변속장치의 질량중심으로부터 원거리에 위치하므로 관성모멘트의 영향이 큰 원인이라 판단된다. 따라서 엔진마운트 설계시 추가 부차장치들의 영향을 반드시 고려해야 한다.

4. 결 론

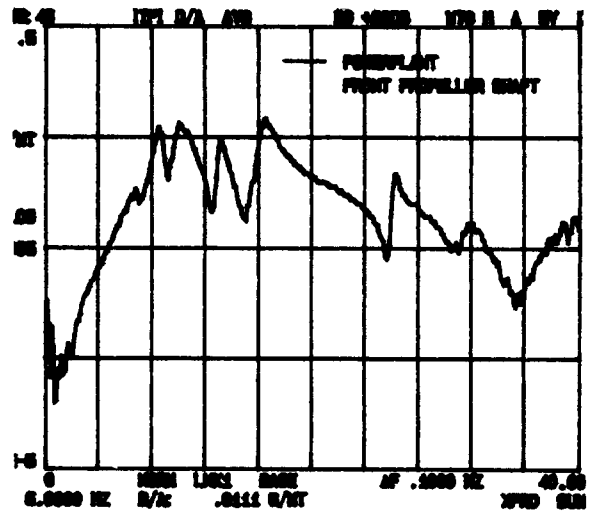
4WD자동차의 엔진마운트 설계기법 정리 및 실제차량의 실험적 모우드해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 4WD자동차의 엔진마운트 설계개념을 체계화시키고, 이를 실제차량에 대해서 실험적 모우드해석을 해 본 결과 잘 일치함을 확인하였다.
- (2) 동력기관에 부가되는 장치(front propeller sha-

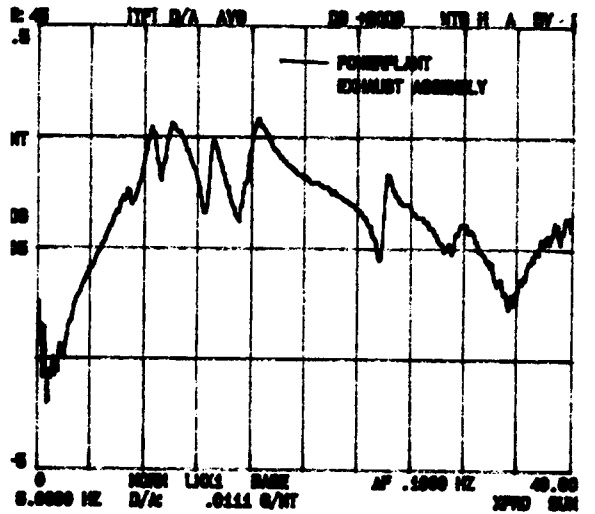


○ : Rigid Support Point

그림 6 System Assembly와 Frame Rigid Support Point.



(a) Front propeller shaft가 추가된 경우 가진점에서의 FRF



(b) Exhaust assembly가 추가된 경우 가진점에서의 FRF

그림 7 부가장치에 따른 FRF의 비교

표 2 Engine의 부가장치들에 따른 Modal Parameter(Frame Support)

Mode	Frame+Power transmission system			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	Latetal	5.266	3.101	Lateral+Longi
2	8.408	3.183	Bounce+Roll	8.922	3.141	Bounce+Roll	6.890	3.557	Longit+Longi
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

ft, exhaust assembly)의 영향을 검토한 바, frequency shift 현상이 발생함을 확인하였다.

이러한 영향은 이들 부가장치들의 질량증가 및 관성모멘트의 변화로 기인되며, 질량의 증가보다는 관성모멘트의 영향이 상대적으로 크리라 판단된다.

참고문헌

1. Den Hartog, J. P., Mechanical Vibrations McGraw-Hill Co.
2. Horowitz, 1957, "The Suspension of Internal Combustion Engines in Vehicles", Proceed. of Instrn. Mech. Engrs.
3. Bolton-Knight, B. L., "Engine Mountings : Analytical Method to Reduce Noise and Vibration", Instrn. Mech. Engrs, C 98/71
4. Geck, P. E., Patton, R. D., "Front Wheel Drive Engine Mount Optimization", SAE843736.
5. Johanson, S. R., "Computer Optimization of Engine Mounting Systems," SAE790974.
6. 정경렬외 3인, 1988, "실험적 모우드해석을 통한 엔진마운트계의 동역학적 모델링", 자동차공학 회지, Vol. 10
7. Bernard, J. E., "Engine Mount Optimization", SAE830257.
8. Demic, M., 1990, "A Contribution to the Optimization of the Position and the Characteristics of Passenger Car Powertrain Mounts," Int. J. of Vehicle Design.
9. Hata, H., "Experimental Method to Derive Optimum Engine Mount System for Idle Shace," SAE 870961.
10. Hill, D. L., 1974, "Designing Engine Mount System for Vibration Isolation," 6th Annual Institute of Noise Control in Internal Combustion Engineering.