

SUV차량의 Idle 성능 개발

Idle Vibration Development Procedure of 4WD SUV

최 승우* · 이 남영**

Tchoi SeungWoo and Lee NamYoung

Key Words : Idle RPM(아이들 알피엠), Idle Vibration(아이들 바이브레이션), 모드 맵(Mode Map)

ABSTRACT

NVH issue at idle condition is one of the major concerns of Passenger and Commercial Vehicle including Sports Utility Vehicle . Especially steering wheel vibration at idle condition is a very complex problem and affected by firing frequency of the engine, stiffness of a steering wheel system and the body to which the steering wheel system is attached. To avoid vibration mode coupling between each system of a vehicle, experimental and analytical method has been used at the pre-prototype stage. The resonance frequency of the body and the frame has been decoupled by CAE and the resonance frequency of steering wheel system has been set in between the 1st bending frequency of body and frame. These Results has been used as design guidelines for the prototype drawing stage. The experimental verification of the modified pre-prototype vehicle shows good results of the vibration mode decouple. Modal test of prototype vehicle also confirms the vibration mode decouple between each system.

1. 서 론

최근 자동차의 발전 방향은 저소음, 저진동을 상품성 목표로 선정하고 있으며, 이는 스포츠 유틸리티 차량(SUV)에도 동일하게 적용이 되고 있다. 소음, 진동에서 측정 및 개선되는 항목은 주행성능과 아이들 성능으로 나누어지는데, 이중에서도 아이들성능은 차량의 상품성을 결정짓는 중요한 인자라 할 수 있다. 아이들 성능을 결정하는 주요 인자로 스티어링 휠 진동, 차체 저주파 진동과 소음이다. 특히 차체와 스티어링 휠의 고유주파수를 엔진의 아이들 주파수와 분리하는 작업은 매우 중요하여 차량 제작 시점부터 해석과 시험이 공조하여 개선 활동을 실시하게 된다. 차량의 개발단계를 사시와 파워트레인을 장착하는 메카 단계와 이를 보완하여 정식으로 차량을 만드는 프로토 단계로 나누어지며 시험을 통한 개선 활동은 주로 프로토단계에서 이루어진다. 자동차 회사들의 차량 개발에서 중요한

목표 중 하나가 바로 개발기간 단축임을 감안할 때 메카단계에서 시험과 해석을 통해 보다 많은 정보를 추출하고, 이를 다음 단계인 프로토 차량에 반영하여 보다 완벽한 차량을 만드는 것이 많은 문제점을 조기에 해결하는 지름길이라 하겠다.

본 논문은 개발이 완료된 스포츠 유틸리티 차량에서 아이들 성능을 육성하기 위하여 수행되는 일련의 작업들을 설명하고자 한다. 아이들 성능에 영향을 주는 인자로는 엔진의 아이들 주파수, 스티어링 휠의 강성, 스티어링을 지지하는 차체의 강성, 엔진 마운트의 위치 설정등 많은 요인이 있다. 또한 엔진의 장착 방식도 중요한 변수이며, 이로 인해 설정되는 배기 시스템도 중요한 설계인자라 하겠다. 본 논문에서는 해석(CAE)을 통하여 차체와 프레임의 모드를 비연성시키고 그 사이에 스티어링 휠의 고유주파수가 위치 되도록 하였으며, 최종적으로 시험을 통하여 아이들 알피엠(RPM)의 개설편으로 최적의 아이들 성능을 육성 하였다. 또한 배기계 고유 주파수를 확인하여 배기계의 행어 위치를 추가적으로 변경하였다.

해석결과를 바탕으로 설계변경을 했으며 최종적인 설계 모델을 가지고 메카차량을 개조하여 차체 및 스티어링 휠의 고유주파수 등 관련 시스템의 주파수 확인결과 상호 시스템과 비연성됨을 확인할 수 있었다. 이 모든 변경 인자는 설계 반영되어 프로토 차량을 제작하여 최적의 아이들 성능을 확인할 수 있었다.

* 책임저자, 정회원. 기아자동차
E-mail : tchoikim@kia.co.kr
Tel : (031) 359-6758, Fax : (031) 359-6760

** 기아자동차

Table 2 예상되는 Mode Map

2. 시스템별 모드 설정

2.1 아이들 알피엠(RPM)의 설정 범위

우선 차체를 가진 시키는 아이들 알피엠(RPM)의 설정범위를 정하였다. 차량의 아이들 알피엠(RPM)을 설정하기 위해서는 진동, 소음뿐만 아니라 연비, 밧데리 충방전 성능 등 고려되어야 할 부분이 많은 것이 사실이다. 따라서 개발 차량은 여러 성능들을 감안하여 750~800RPM 영역에서 설정하여 시스템별 모드 맵을 완성하였다. 또한 부하 조건에 따라 아이들 알피엠(RPM)은 50RPM 정도의 변동이 발생한다. V6엔진 대비 I4엔진에서 발생하는 기진력이 상대적으로 큰 점을 감안하여 디젤 I4엔진을 주 고찰 대상으로 삼았으며, V6엔진은 향후 확인하는 절차를 밝고자 한다. Table 1에서 I4엔진일 경우는 아이들 주파수는 25Hz~27Hz영역, V6엔진은 37Hz~40Hz영역이다.

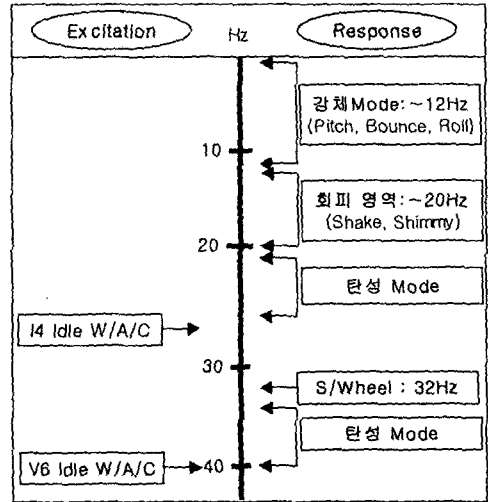
	부하 조건	I4	V6
750rpm	A/Con Off	25Hz	37.5Hz
	A/Con On	25Hz<	37.5Hz<
800rpm	A/Con Off	26.7Hz	40Hz
	A/Con On	26.7Hz<	40Hz<

Table 1 알피엠(RPM)별 아이들주파수

위의 조건들을 고려하여 차량의 시스템별 모드 맵을 설정하려한다.

2.2 시스템별 모드 설정

스티어링 휠의 고유주파수는 Table 1에서 I4 디젤 엔진과 V6 가솔린 엔진의 아이들 주파수 대역을 회피하여야 한다. 이를 고려하여 스티어링 휠의 고유주파수를 32Hz이상으로 목표를 설정하였다. 왜냐하면 엔진의 아이들 주파수 27Hz와 스티어링 휠의 고유주파수사이에 위치할 차체 혹은 프레임의 공진을 염려하였기 때문이다. 프레임과 차체의 밴딩과 토션주파수를 스티어링 휠의 고유주파수와 엔진의 아이들 주파수로부터 분리하여 위치하도록 차량의 모드 맵을 완성하였다.(Table 2)



위 그림에서 보여주듯이 엔진의 아이들 주파수와 스티어링 휠의 고유주파수를 설정하고 나머지 영역에 예상되는 모든 탄성모드를 비연성으로 적용하려 한다. 단 웨이크나 쉬미가 발생하는 영역인 10Hz~20Hz영역은 피하려 한다. 즉 타이어의 1차 회전 주파수를 계산하여 볼 때 최고속 180kph에서 가진되어지는 주파수가 19Hz이므로 차체의 탄성모드와 타이어에서 가진 되어지는 주파수를 비연성시키기 위해서는 이 영역을 피하여야 한다.

3. 차량 모델링 및 고유진동수 해석

3.1 시험 차량의 구조

시험차량은 디젤엔진을 장착한 후륜구동 방식으로, 자동변속기가 장착된 차량이다. 또한 차량의 구동 상태를 감지하여 자동적으로 사륜과 이륜을 변경해주는 장치가 부착되어, 전체적으로 파워트레인 길이가 커지는 불리함을 가지고 있다.

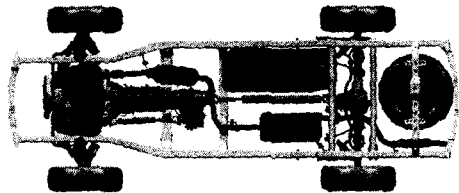


Fig.1 시험 차량 Frame의 구조

차체는 바디 마운트를 절연체로 하여 프레임 상단에 올려지는 방식이며, 좌우 각 5개씩으로 지지된다. 바디 마운트는 마운트 브라켓의 상하에 하나씩 들어가 차체와 프레임을 조여주는 역할을 하게된다.

3.2 스티어링 휠의 고유진동수

스티어링 휠의 고유진동수를 예측하고 원하는 목표주파수를 맞추기 위하여 다음과 같이 해석 모델을 구성하였다.(Fig.2)

해석 모델은 스티어링 휠과 컬럼 그리고 카울 크로스바를 1차원, 2차원 요소를 사용하여 모델링 하였으며, SOLVER는 NASTRAN를 사용하여, 고유치 해석과 강제진동 해석을 진행하였다. 초기 고유치 해석 결과 스티어링 휠 고유주파수는 27Hz이하에서 발생하였다.

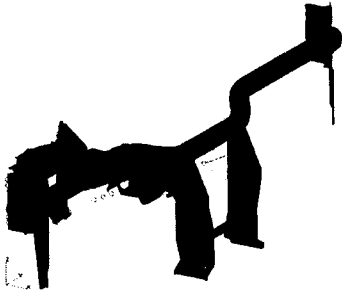


Fig. 2 스티어링 해석 모델

이 때의 모드 형상을 살펴보면 다음 부분이 매우 취약함을 알 수 있다.

- 첫째. 스티어링 칼럼 브라켓의 강성
 - 둘째. 카울 크로스 바의 횡강성
 - 셋째. 카울 크로스 바의 차체에 대한 지지강성
- 상부 칼럼 브라켓의 자체의 강성을 올리기 위해서 브라켓 상하부면의 접촉면을 올리고, 두께를 키우기로 하였으며, 카울 크로스 바의 횡강성을 올리기 위해서 레그 브라켓의 두께를 올리고 카울 크로스바의 직경을 키우는 방법을 택하였다. 또한 카울 크로스 바의 지지강성을 만족시키기 위해서 차체의 보강 작업을 추가하였다. 이러한 보강 작업 외에 카울 크로스 바의 지지강성을 추가로 올리기 위해서 차체에 카울 크로스 바를 연결해주는 보강 브라켓을 신설하였다. 이러한 보강을 적용하여 해석한 결과 스티어링 휠의 고유주파수는 32Hz이상으로 목표를 만족시킬 수 있었다.

3.3 차체 및 프레임의 고유진동수

개발 초기 차량의 크기와 출력이 큰 엔진을 장착하기 위하여 프레임 간격이 증가와 휠 베이스가 확장으로 인하여 프레임의 고유주파수는 낮아질 것으로 예

측을 하였다. 실제로 메카차량에 장착될 프레임에 대한 모달 시험을 해 본 결과 굽힘과 비틀림 주파수가 낮게 나옴을 확인 할 수 있었다. 개발 초기 사양으로 모달 시험을 한 결과 굽힘이 27Hz 영역에 존재함을 보여준다.

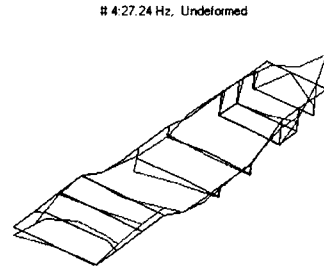


Fig. 3 프레임의 굽힘 모드

따라서 아이들 영역을 피하기 위해서 프레임에 대한 해석이 진행이 되고 보완 작업이 이루어 졌다. 해석 결과 프레임 단면계수를 확장하고, 좌우 메인 프레임을 연결하는 크로스 멤버들의 강성 보강 및 연결부의 보강을 통하여, 엔진의 아이들 영역 및 스티어링 휠의 고유진동수 사이에 위치함으로써 비연성을 유도하였다.

아이들 성능에 영향을 주는 또 다른 인자 중 하나로 배기계 진동 모드이다.(Fig. 4) 주소음기를 포함한 보조주소기 그리고 정화장치 등으로 이루어진 배기시스템의 실차 모달 평가 결과 정화장치 앞에 위치한 배기계의 행어가 노달 포인트에서 벗어나 있음을 확인할 수 있었다. Fig.5은 배기계의 모드형상을 보여준다.

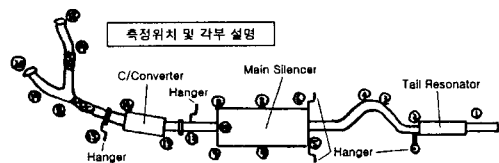


Fig. 4 배기시스템

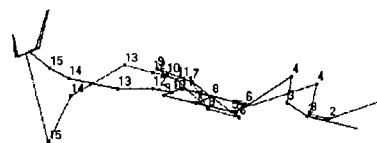


Fig. 5 배기시스템의 Modal 평가 결과

앞쪽의 행어 마운트 위치를 노달 포인트로 이동시키기 위하여 배기계 시스템을 변경하였다.

이상과 같이 개선 항목들을 설계에 반영하여 메카 단계에서 차량 개조하여 실차 검증 시험을 실시하였다.

4. 차량 제작 및 평가

4.1 차량 제작

차량 제작의 조건은 카울 크로스바의 제작과 이를 취부할 수 있는 차량의 제작이다. 메카차량으로 이를 시험하기란 매우 어려운 일이나 다음의 조건을 충족 조건으로 시험을 실시하였다.

- 1) 카울 크로스바의 설계와 제작
- 2) 카울 크로스바의 강성에 영향을 주는 인자에 대한 설계와 제작

완전한 차체를 제작하기는 어려운 작업이지만, 해석의 결과를 바탕으로 스티어링 강성에 영향을 줄 수 있는 인자들을 선정하여 차량을 제작하였다.

이 인자로는 카울 크로스바가 직접 체결되는 에이필라부(Upper & Lower부)와 레그 브라켓이 연결되는 터널부 그리고 카울 브라켓이 연결되는 대쉬부이다. 따라서 메카차량에서 이 부분들에 대한 형상 변경 후 에이필라, 터널, 대쉬부를 NC 데이터를 이용하여 실제부품을 만들어 장착하였다. 다음 사진은 실제 제작된 메카차량을 보여준다.

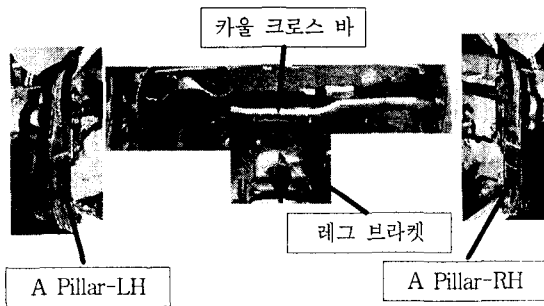


Fig. 6 구조 변경된 메카차량

4.2 실차 확인 평가

제작된 시험차량을 이용하여 다음과 같은 시험 평가를 실시하였다.

- 1) 스티어링 휠의 고유주파수
- 2) 전부하시 발생하는 차체의 진동
- 3) 전부하시 발생하는 저주파 소음

스티어링 휠의 고유주파수는 32Hz 이상으로 목표를 만족했으며, 이 외 측정된 시험 데이터는 다음과 같다.

Table 3 시험 데이터(단위 : dB, dBC)

구 분		초기	변경후
Idle진동	S/Wheel	123.8	111.4
	Floor	104.7	101.4
Idle Booming		79.1	79.1

Table3에서 스티어링 휠의 진동량은 초기 사양 대비 10dB 이상 저감되어 매우 만족한 결과를 얻었다. 아이들 부밍의 소음 레벨은 변화가 없으나 원인 분석 결과 이는 배기소음으로 인한 저주파 소음으로 밝혀졌다. 따라서 차체나 프레임이 진동하여 발생하는 저주파 소음이 아니므로 본 시험의 목적을 달성 할 수 있었다.

이상의 평가 결과를 바탕으로 개선 항목 선정하여 설계 반영, 프로토 차량을 제작하였다.

4.3 Proto 차량 확인 평가

프로토 차량을 제작하기에 앞서 각각의 서브 시스템별 평가 시험을 실시하였다. 프레임의 비틀림과 굽힘주파수는 27Hz~32Hz 사이로 위치하여 엔진의 아이들 주파수 및 스티어링 고유주파수와 비연성을 확인하였다.

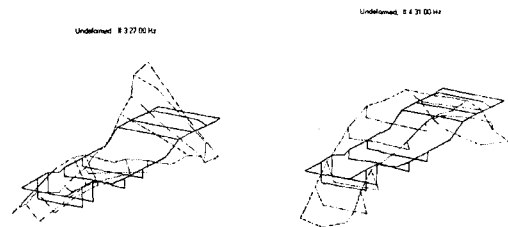


Fig.7 프레임 굽힘, 비틀림 모드

차체 BIW 굽힘주파수는 40Hz 이상으로 실제 차량의 차체 굽힘 주파수는 평가 결과 실차에서 27Hz 이하로 엔진의 가진 주파수와 비연성을 확인할 수 있었다.

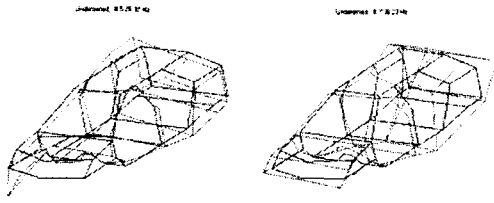


Fig. 8 BIW의 비틀림, 굽힘 모드

다음은 계측기를 이용하여 프로토 차량의 진동과 소음을 측정하였다.

Table 4 프로토 차량 시험 Data

Idle 진동		Idle Boorning
S/Wheel	Floor	
112.2 dB	92.7 dB	78.4 dBC

프로토 차량의 시험 결과는 메카차량을 제작하여 만든 시험용 차량과 매우 유사하게 나왔으며, 최적의 아이들 성능을 확보하였다. 또한 프로토 차량에서 아이들 성능에 대한 개발 시험 시간을 절감할 수 있었다.

5. 결론

차량의 상품성을 향상시키기 위해서 반드시 필요한 것이 바로 차량의 정숙성이며, 이 중 매우 민감하게 받아들여지는 것이 바로 아이들 성능이다. 차량의 성능을 개선하기 위한 노력은 대부분이 프로토 개발단계에 집중되어지며 많은 노력과 시간이 필요하다. 이러한 노력을 절감하고자 시뮬레이션을 하고 계속적으로 구조 변경을 하여 최종의 목적을 달성할 수 있었으며, 특히 구조적으로 예측이 가능한 아이들 성능은 해석을 통하여 성능을 향상시킬 수 있다. 또

한 해석된 결과에 대하여 시험으로 검증함으로써 아이들 성능에 관한 모든 변경인자를 프로토 설계에 반영할 수 있었다. 초기 개발 단계 해석과 차량 제작, 평가의 아이들 성능 개발과 관련하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 차량에 존재하는 모든 모드의 특성을 미리 설정하여 공진 영역에 대한 목표를 설정하여야 한다.

2. 특히, 스티어링 휠의 강성을 확보하기 위하여 고려되어야 할 것은 카울 크로스바의 강성과 이를 지지하는 부재의 강성도 매우 중요함을 알 수 있었다.

3. 개발 초기 해석과 평가가 차량의 개발 기간을 단축할 수 있었으며, 실제로 프로토 개발 단계 이전에 아이들 성능에 관한 모든 고찰을 완성할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Tatsuo Osawa, "Incorporation of analytical Simulations into the NVH design and development process of the Nissan Quest", SAE 922121.
- (2) Nagesh Basavanhalli, "Reduction of Passenger Car Road Noise Using Computational Analysis", SAE 951092, 1995, pp.103~105.
- (3) S.H.Jee "The application of the simulation techniques to reduce the noise and vibration in vehicle development", FISITA World Automotive Congress, June 14, 2000, F2000H240.
- (4) MSC/NASTRAN Ver.2001 Users Guide
- (5) D. J. Ewins, "Modal Testing : Theory and Practice", John Wiley & Sons Inc.
- (6) Leo L. Beranek, "Noise and Vibration Control Engineering", John Wiley & Sons Inc.