

주파수와 감도를 고려한 스티어링 시스템 설계 프로세스 연구 A Study on the Design Process of Steering System considering Frequency and Sensitivity

김기창* · 김찬묵**
Ki-Chang Kim, Chan-Mook Kim

Key Words : Steering System (조향계), Vibration Mode Map (시스템간 공진 회피 설계를 위한 진동 모드 지도), Idle Vibration (공회전 진동), Patent Map (특허 검색 및 분류를 통한 기술동향 분석 목적의 특허 지도), Sensitivity (감도), FRF Curve (주파수 응답 함수 곡선), Mother Car (개발 차종 이전의 양산중인 차종)

ABSTRACT

This paper describes the development process of steering system for reduced idle vibration through the data level of frequency and sensitivity. High stiffness and light weight vehicle is a major target in the refinement of passenger cars to meet customers' contradictable requirements between NVH performance and fuel economy. The target frequency of the steering system is set by benchmarking of a competitive vehicle and the vibration mode map is used to separate steering column modes from resonance of body structure and engine idle rpm. This paper describes the analysis approach process for high stiffness of steering system and the design guideline is suggested about steering column and support system by using mother car at initial design stage. We used a patent map in order to analyze accurately a technical trend and suggested the design process using dynamic damper of steering system considering sensitivity. And we established techniques of analysis on steering system and evaluated the level of accuracy of analysis through correlating the test and analysis results. It makes possible to design the good NVH performance vehicle at initial design stage and save vehicles to be used in tests. These improvements can lead to shortening the time needed to develop better vehicles.

1. 서론

최근 자동차 업계 동향은 저진동, 저소음 차량을 위하여 고강성 차체 개발 및 시스템간 성능 확보가 요구된다. 하지만 연비 저감을 위한 경량화 설계와 상충되어 상호간의 개발 목표 만족을 위한 최적화 설계에 대한 중요성이 부각되고 있다. 이를 위한 대안으로 알루미늄, 마그네슘과 같은 경량화 재질을 검토하고 있으며, 설계 초기단계에 Lay Out 관련 설계 개선이 진행되고 있다. ⁽¹⁾

차량의 Idle 진동은 엔진 공회전 시 엔진 토크 변동에 의한 가진원이 엔진 마운팅부와 차체의 전달계를 통하여 운전자의 스티어링 휠에서 진동이 느껴질 때 스티어링 진동이라 하며, 시트 트랙이 마운팅되는 센터 플로워 판넬를 통하여 시트에서 진동이 느껴질때 플로워 진동이라 칭한다.

본 논문은 차량의 Idle 진동 저감을 위한 스티어링 단품과 지지계 강성의 최적화 설계 프로세스에 관한 것으로, 설계 초기 단계에 Mother Car 를 이용하여 스티어링 시스템의 강성 확보 및 감도 저

감을 위한 설계 가이드를 제시하였다. 이를 위하여 Patent Map 을 이용한 기술 동향 분석 및 Vibration Mode Map 을 이용한 공진 회피 설계 과정에 대하여 기술하였다. 또한 종래 Proto Car 개발 이후 실차 상태에서 스티어링 감도 저감을 위한 Dynamic Damper 에 대한 튜닝 과정을 최소화 하고, 설계 초기단계에 안정적인 성능 확보를 위하여 Damper 에 대한 해석 모델 구성 및 주파수와 감도에 대한 상관 관계 분석을 통하여 최적으로 대한 설계 가이드 제시가 가능하였다.

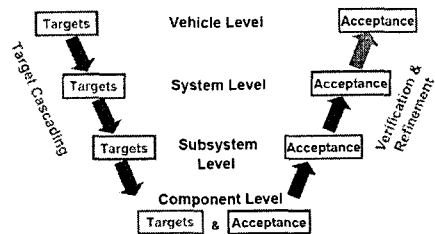


Fig.1 'V' Flow Chart of Analysis Process

설계 초기단계에는 완성차에 대한 정확한 모델 구성이 불가하여 개선 업무 효율성을 위하여 Fig.1 과 같은 'V' Flow Chart 의 개념으로 시스템 단위의 목표 관리 및 해석 진행이 효과적이며, Proto Car 제작 이전에 완성차 상태 스티어링 진동에 대한 안정적인 성능 확보가 가능하였다.

* 현대자동차 선형개발센터 차량해석팀
E-mail : 9362579@hyundai-motor.com
Tel : (031) 368-5427, Fax : (031) 368-5818

** 국민대학교 자동차공학전대학원

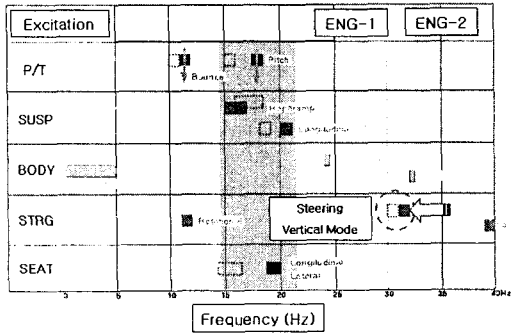


Fig.2 Vibration Mode Map of Mid-size Sedan

스티어링 휠을 통하여 느껴지는 Idle 진동을 최소화 하기 위해서는 설계 초기 단계에 Fig.2 와 같이 Vibration Mode Map 을 작성하여 Sub System 별 주파수 목표 관리를 통하여 모드 중첩이 되지 않도록 공진 회피 설계를 유도하고 있다.

일반적으로 스티어링 시스템의 1 차 진동 모드는 I4 & V6 엔진의 Idle rpm 영역과 차체 굽힘, 비틀림 모드와 공진이 발생하지 않는 범위 내에서 고유진동수를 높게 설정하고 있으며, 이는 스티어링 강성 증대 시 감도 저감에 유리하기 때문이다. (2)

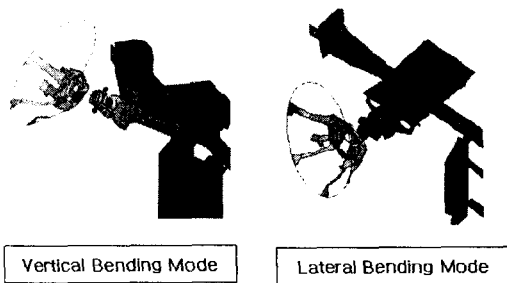


Fig.3 Vibration Modes of Steering System

Fig.3 은 스티어링 시스템의 상하와 좌우 방향 진동 모드를 나타내고 있다. 스티어링 진동의 1 차적인 목표 관리는 굽힘 모드 (Vertical Bending Mode)이며, 이유는 주로 Shake 주파수 영역에 있으며, 차체 진동 모드와의 연성에 의해 쉽게 가진 되기 때문이다. (3)

Lateral Bending Mode 는 일반적으로 Vertical Bending Mode 보다 주파수가 높아서 가진될 가능성이 상대적으로 작으며, 차체 모드와 연성 회피를 하면서 스티어링 Vertical Bending Mode 와 충분히 분리되도록 관리하고 있다.

일반적으로 스티어링 진동의 목표 설정은 시험을

통하여 경쟁차 수준을 참조 하고 있으며, 노면으로부터의 입력과 분리하기 위하여 최소 25 Hz 이상 확보하고 있다. A/CON On/Off 및 N/D 단 기어 상태에서 엔진 Idle rpm 주파수와 차체 Global Mode (굽힘,비틀림)를 고려하여 스티어링 시스템의 개발 목표는 3 Hz 이상 상방 또는 하방으로 모드 분리되도록 설계 가이드를 제시하고 있다.

본 논문은 설계 초기 단계에 Idle 진동 저감을 위한 스티어링 시스템의 설계 프로세스에 관한 것으로, 주파수와 감도를 고려한 스티어링 단품과 지지계 강성에 대한 최적화 설계 과정을 통하여 해석 신뢰도 향상 및 성능 조기 안정이 예상된다.

2. 본 론

2.1 Patent Map 작성

본 연구에서는 스티어링 시스템에 대한 신기술 개발 동향 분석 및 공백 기술에 대한 특허 출원 방향 및 설계 진행 방향을 제시하기 위하여 특허 검색 및 상세 분류 과정을 통하여 Patent Map 을 작성하였다.

조사 범위는 1970 년에서 현재까지 한국, 미국, 일본, 유럽 지역에 대한 특허 출원 동향으로 하였으며, 온라인 검색은 KIPRIS(한국특허청), USPTO (미국특허청), IPLD(일본특허전자도서관),EPOLINE (유럽특허청)과 WIPS(국내 및 해외 특허 검색)를 이용하였다.

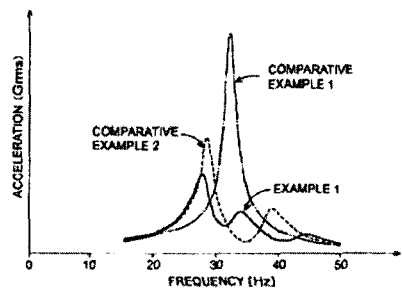
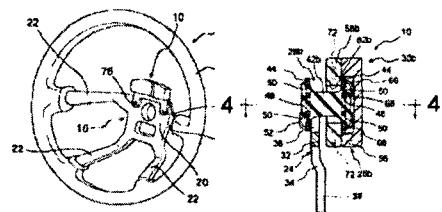


Fig.4 Dynamic Damping of US patent

분석 결과 한국 647 건, 미국 1412 건, 일본 710 건, 유럽 895 건이 특허 출원되어 있으며, 기술 내용에 따른 목적 및 효과 측면 분류로는 스티어링 진동 저감을 위한 구조 개선, 스티어링 컬럼 충격 흡수 구조, 스티어링 컬럼 톨딩 장치 및 텔레스코픽 장치, Steer by Wire, Multi Function Switch, Air Bag 고정 장치 등으로 나눌 수 있다.

Fig.4 는 스티어링 컬럼의 다이내믹 댐퍼 고정 장치에 관한 미국 특허로 마운팅 브라켓트에 관한 청구항과 모드 분리, 감도 저감 효과를 나타낸다.

2.2 해석 프로세스

설계 초기 단계에 개발 차종에 대한 실차 상태 스티어링 진동에 대한 목표가 설정되면 Mother Car 를 이용하여 스티어링 단품과 지지계 강성에 대한 상관관계를 이용하여 설계 가이드를 제시하고 있다.

Fig.5 는 스티어링 시스템에 대한 해석 프로세스를 나타내고 있다.

스티어링 단품 강성은 스티어링 휠 자체의 Mass 및 Geometry 에 의해 결정되는 Inertia 와 지지 강성의 함수이며, 설계 초기 단계에 마그네슘 재질 변경, 마운팅 조건 및 LAY OUT 관련 설계 검토가 이루어 진다.

지지계 강성은 카울 크로스 멤버 강성 및 차체 마운팅부 국부 강성 증대를 위한 설계 검토가 이루어 지며, 스티어링 진동 목표 만족 시 완성차의 해석 검토가 이루어 진다.

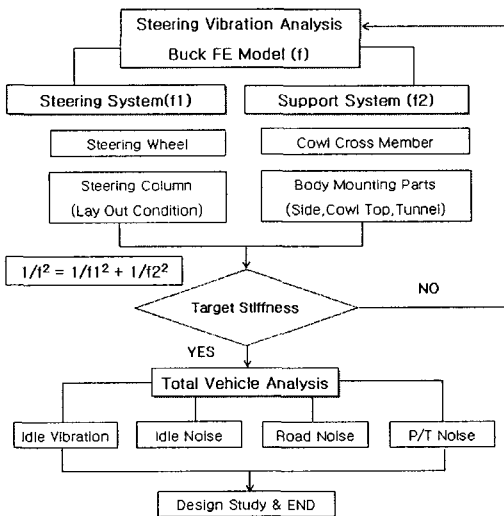


Fig.5 Analysis Procedure of Steering System

스티어링 진동은 진동 특성상 2 개의 System 으로 나누어 생각 할 수 있으며, 스티어링 단품(f1) 과 지지계 강성(f2)에 의한 스티어링 강성(f)에 대한 상관 관계는 다음과 같이 정리할 수 있다,

$$\frac{1}{f^2} = \frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_2^2}$$

- f : 실차 상태 (Buck Model) 고유진동수
- f1 : 스티어링 단품 고유진동수
- f2 : 지지계 강성 고유진동수

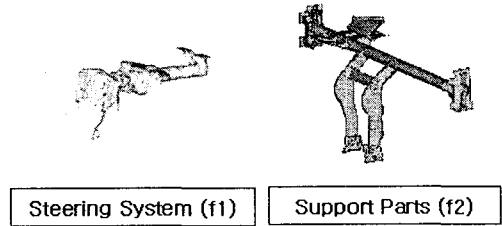


Fig.6 FE Model of Steering and Support Parts

스티어링 진동(f)에 대한 개발목표 설정을 위하여 Fig.7 과 같이 실차 목표 만족을 위한 스티어링 단품(f1)과 지지계 강성(f2)에 대한 상관 관계를 구할 수 있다.

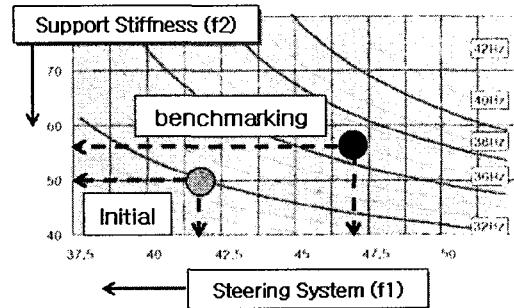


Fig.7 Frequency Target of Steering System

상관 관계식을 이용하면 실차 상태 스티어링 진동과 스티어링 단품 강성의 수준을 알면 지지계 강성에 대한 해석을 별도로 수행하지 않고도 강성 수준을 관리 할 수 있다.

설계 초기 단계 Mother Car 에 대한 실차 상태 스티어링 진동이 32 Hz 수준이고, Benchmarking 분석 결과 36 Hz 달성을 위해서는 스티어링 단품 강성이 47 Hz 일때 지지계 강성이 56 Hz 라는 구체적인 설계 분담 및 설계 가이드가 가능하다.

2.3 Lay Out 단계 강성 상관 관계식

설계 초기 단계 스티어링 진동 성능 확보를 위해서는 스티어링 단품에 대한 기여도가 크기 때문에 Lay Out 관련 설계 민감 요인을 분석하여 Fig.8 과 같이 강성 상관 관계식을 도출하였다.

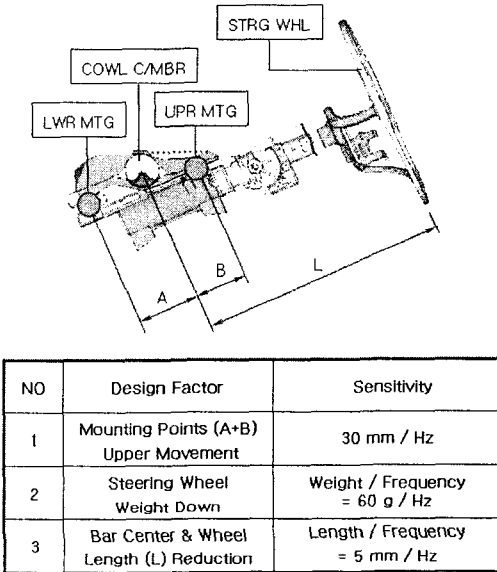


Fig.8 Design Study of Steering System

강성 증대 및 경량화 설계를 위해서는 스티어링 컬럼 마운팅 위치를 휠 방향으로 이동하고, 스티어링 휠 중량을 최소화 하며, 카울 크로스 바 중앙에서 스티어링 휠 간 거리를 축소하여야 한다.

2.4 Dynamic Damper 최적화 연구

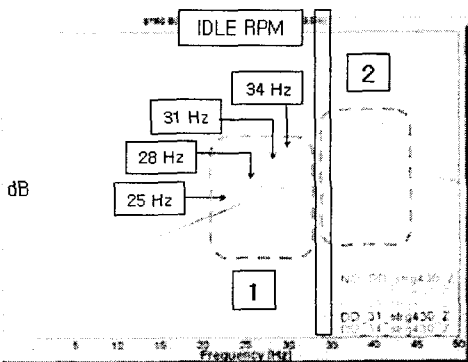


Fig.9 Sensitivity Effect of Damper Frequency

완성차 Idle 진동 감도 개선을 위하여 Proto Car 이후 Dynamic Damper 를 적용하여 Idle rpm 영역에 대한 모드 분리와 감도를 저감시키고 있다.

본 논문에서는 선행 단계에 Damper 의 성능을 해석적으로 검토하여 주파수와 감도 측면에서 최적안을 도출하고자 한다.

Fig.9 와 같이 Damper 의 주파수를 25 Hz, 28 Hz, 31 Hz, 34 Hz 로 변화시키면서 해석 결과 Idle rpm 영역을 고려하면 높은 주파수의 Damper 가 효과적이며, 25-30 Hz 영역에서는 낮은 주파수의 Damper 가 감도 측면에서 유리하여 주행 영역을 고려하면 25 Hz Damper 가 효율적이다.

3. 결론

본 논문은 Idle 진동 저감을 위한 스티어링 시스템 설계 최적화를 위하여 설계 초기 단계에 Mother Car 를 이용한 설계 개선 프로세스를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Vibration Mode Map 을 통하여 시스템간 공진 회피 설계를 하였고, Patent Map 을 작성하여 기술 동향 분석 및 특허 회피 설계가 가능하였다.

(2) 스티어링 단품과 지지계 강성의 상관 관계 분석을 통하여 목표 분담 및 효율적인 설계 가이드를 제시하였고, Lay Out 단계 스티어링 컬럼 설계 판단을 위한 강성 상관 관계식을 제시하였다.

(3) 고강성 & 경량화 차량 개발을 위해서는 선행 단계 구조 최적화를 위한 해석 프로세스가 필요하며, Proto Car 이전 안정적인 성능 향상으로 시험차 축소 및 개발 기간 단축 효과가 기대된다.

참고 문헌

- (1) 김기창, 김찬목, "NVH 성능 및 연비 향상을 위한 고강성 차체 개발 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, pp.1189-1194, 2004
- (2) 이지운, 박희범, 서진관, "설계 초기 단계에서의 Idle 진동 저감에 대한 연구", MSC NASTRAN Users Conference, pp.181-187, 1997
- (3) 김찬목, 김도연, "승용차 스티어링 컬럼 시스템의 진동해석에 관한 연구", 한국소음진동공학회지:소음진동 1216-0924, 제 8 권 3 호, pp.494-503, 1998
- (4) 조준호, 오재웅, 임동규, 강성중, "스티어링 시스템의 모델링 및 진동 해석", 한국소음진동공학회지:소음진동, 1226-0924, 제 2 권 2 호, pp.125-134, 1992
- (5) S.L.Chiang, "Using Experimental Modal Modeling Techniques to Investigate Steering Column Vibration", SAE 850996, 1985
- (6) Hiroshi Sugita, "Experimental Analysis for the Steering Vibration Using Mechanical Impedance Methods", SAE 870971, 1987