

롤안정바에 부착된 액츄에이터가 차량의 성능에 미치는 영향 분석

성인철* · 김근수** · 유완석***

Effects of an actuator attached to roll stabilizer bar on vehicle performance

In-Chol Sung · Keun-Soo Kim · Wan-Suk Yoo

Key Words: roll stabilizer bar(RSB), AutoDyn7, understeer gradient

Abstract

To analyze the effects of the front and rear roll stabilizer bar, five different models of roll stabilizer bar are simulated in this paper. It is shown that the stiffness change of the roll stabilizer bar is an effective way to alter the vehicle's roll gradient. Attaching an actuator at the roll stabilizer bar, the vehicle's roll gradient can be controlled within error limits.

1. 서론

차량 선회에 따른 원심력의 영향, 노면의 불규칙성 및 현가장치를 구성하는 기구 사이에 기구학적 특성에 의해 차량의 좌우 롤 운동이 발생하게 되어 조종 안정성에 대해 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 롤운동의 영향으로 자동차의 무게중심이 변하여 조종 성능이 악화될 수 있고, 또한 롤 조향 효과까지 발생할 수 있다. 이러한 롤운동을 억제시키기 위하여 앞쪽 현가장치 또는 앞뒤쪽 현가장치 모두에 롤안정바(Roll Stabilizer Bar, RSB)를 장착하여 롤운동에 대한 적절한 강성을 맞추어 준다.

롤의 저감은 운전자의 자세, 시선의 변화를 억제하여 편안하고 피로가 적은 운전을 가능케 하는

등의 효과를 낼 뿐 아니라 차량의 운동에도 영향을 준다. 롤이 차량 운동에 미치는 영향의 대표적인 것으로 좌우 차륜의 하중이동과 롤 스티어, 롤 캠버 등의 얼라인먼트 변화에 의한 타이어의 코너링력 증감을 들 수 있다[1].

시뮬레이션에서 사용되는 롤안정바 모델은 회전 스프링 모델링, 힘요소 모델링, 그리고 탄성체 모델링 등이 있다. 힘요소 모델링이 실제와 근접하면서도 시뮬레이션 시간은 적게 소모되는 것으로 알려져 있으나[2], 본 논문은 가장 일반적이고 새로운 물체의 추가가 용이한 회전 스프링 모델을 사용하였다.

롤 강성을 가변으로 하는 방법으로는 서스펜션의 감쇠력 제어가 가장 널리 사용되고 있다. 또한 현가 스프링의 스프링 상수 제어에 의한 방법이 있으나, 감쇠력 제어보다 구현하기 복잡해진다. 한편 롤 강성제어에 국한하는 경우 롤안정바의 강성을 변화시키는 것도 한 방법이다. 선회시 하중이동이나 노면의 불규칙함으로 인한 좌우 바퀴의 스트로크가 다를 때 롤안정바의 비틀림 강성을 변화시킨다[3].

본 논문에서는 AutoDyn7[4]을 사용하여 롤안정

* 부산대학교 대학원

** 부산대학교 대학원

*** 부산대학교 기계공학부

바의 강성을 변화 시켰을 때의 차량 성능을 분석하고, 로우 컨트롤암과 차체 사이에 액츄에이터를 부착하였을 때의 성능향상을 확인하고자 한다.

2. 불안정바 강성 변화에 따른 차량 성능

2.1 차량 모델

본 논문에서는 모델링에 있어서 물체의 탄성효과(flexible effect)는 무시하였으며 조인트 마찰이 없는 것으로 가정하였다. 또한, 조인트 상의 각의 변화는 실제 차량의 경우 제한되나, 모델링에 있어서는 제한이 없는 것으로 가정하였고 스프링은 선형인 것으로 간주하였다. 차량의 조향 장치로 랙-피니언형(rack-pinion type)을 사용하였으며, 전륜 현가 장치로 맥퍼슨 스트럿형(MacPherson strut type)을, 후륜 현가 장치로 트레일링암(trailing arm)을 가지는 비틀림 차축식(twist axle)을 사용하였다.

전륜 현가장치에 부착된 불안정바 모델은 링크를 통하여 로우 컨트롤 암과 구면 조인트로 연결되어 있고, 부싱을 통하여 차체와 연결되어 있다. 후륜 현가장치에 부착된 불안정바 모델은 양 끝단은 차체와 연결된 불안정바 링크와 유니버설조인트로 연결하였으며, 곡면부는 뒤 차축에 부싱으로 연결하였다[6].

2.2 정상원 선회 시험

고속 주행시 차량의 조타각은 다음과 같이 표현되며 언더스티어 구배량에 의해 차량의 조향 특성이 결정된다.

$$\delta = 57.3 \frac{L}{R} + Ka_y \quad (1)$$

여기서, K : 언더스티어 구배

$$a_y : \text{횡가속도 } (= \frac{V^2}{gR})$$

δ : 조향각

L : 휠 베이스(Wheel base)

R : 선회 반경(cornering radius)

이다.

K가 영(zero)인 경우를 뉴트럴 스티어(neutral

steer), $K < 0$ 인 경우를 오버 스티어(over steer), $K > 0$ 인 경우를 언더 스티어(under steer)라 한다.

차량이 일정한 반지름의 원을 가속하며 선회하는 일정반경법을 사용하여, 구심 가속도 증가에 따른 특성 값 변화를 측정하여 조종안정성능을 횡가속도 영역에서 고찰하였다[7].

Fig.1은 본 논문에서 사용된 불안정바의 강성값들을 도식적으로 나타낸 것이다. 여기서 1F를 보통의 불안정바 강성으로 했을 때, 3F3R은 전륜 불안정바의 강성과 후륜의 불안정바 강성을 각각 3배씩 증가시켰음을 의미하고, 3F는 전륜 불안정바의 강성을 3배 증가, 1/6F는 전륜 불안정바의 강성을 1/6배 증가, 1F3R은 전륜 불안정바의 강성은 그대로이고 후륜의 불안정바의 강성만 3배 증가시켰음을 의미한다.

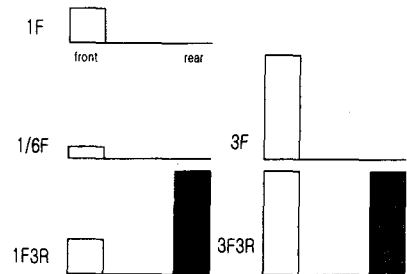


Fig.1 Different values of RSB stiffness

Fig.2와 같이 차량이 일정 반경을 선회할 때의 불안정바의 강성 변화에 따른 차량의 운동 특성은 다음과 같다. 전후륜에 설치된 불안정바의 강성을 변화시켰을 때 횡가속도와 조향각의 관계를 Fig.3에 나타내었다.

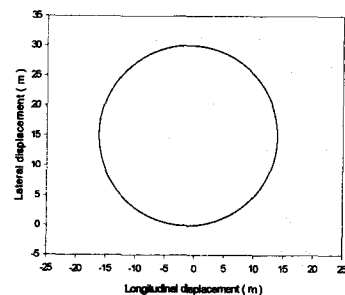


Fig.2 Vehicle's trajectory

Fig.3을 통하여 횡가속도가 3 m/s^2 이상일 때 1F, 3R, 1/6F의 경우는 조향각을 급속하게 증가시켜야 일정반경을 선회할 수 있으나 후륜의 불안정바 강성이 있는 경우인 3F3R, 1F3R은 비교적 완만하게 조향각이 증가함을 알 수 있다.

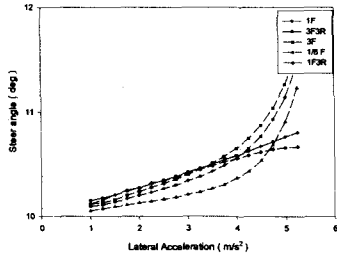


Fig.3 Steering angles for five types of the RSB stiffness

Fig.4는 불안정바의 강성에 따른 언더스티어 특성을 나타내었다. 이를 통하여 다음과 같은 특성을 알 수 있다.

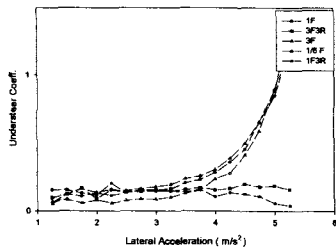


Fig.4 Understeer gradient for five types of RSB stiffness

횡가속도가 3 m/s^2 이하에서는 5가지 경우 모두 언더스티어 구배의 변화가 적으며, 횡가속도가 3 m/s^2 이상에서는 전륜의 불안정바의 강성을 증가시킬수록 언더스티어 구배가 증가한다. 이는 3F의 경우를 통하여 알 수 있다. 또한 후륜의 불안정바의 강성을 증가시킬수록 언더스티어 구배가 감소한다. 이는 1F3R의 경우를 통하여 알 수 있다. 전륜의 불안정바 강성을 감소시킴에 따라 언더스티어 구배는 감소하며, 이는 1/6F를 통해

알 수 있다[5].

이러한 현상의 원인은 전륜의 롤강성을 높이면 상대적으로 후륜으로의 하중이동은 작아지기 때문에 언더스티어가 강해지고, 반대로 후륜의 강성을 높이면 언더스티어가 약해지기 때문이다.

Fig.5는 불안정바 강성에 따른 롤각의 변화를 나타낸 것이다. 여기서, 전후륜의 불안정바 강성의 합이 커질수록 롤각의 변화가 적다. 그러므로 3F3R의 경우가 가장 작은 롤각의 변화를 가진다.

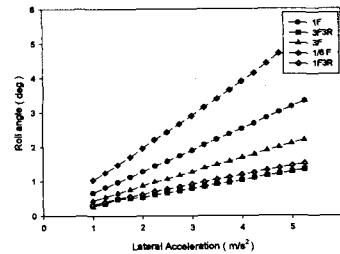


Fig.5 Chassis roll for five types of the RSB stiffness

3. 불안정바에 부착된 액츄에이터에 따른 차량 성능

3.1 정상원 선회 시험

2.2절과 마찬가지로 정상원 선회 시험을 수행하였다. 횡가속도가 1 m/s^2 이하인 영역에서는 차량의 롤운동이 거의 일어나지 않고 그 때에 수반되는 롤각의 크기도 아주 작다. 또한 횡가속도가 증가함에 따라 롤각도 점진적으로 증가한다. 이론적으로 어느 횡가속도에서 차량의 롤각을 영(zero)으로 만드는 것은 가능하지만 운전자에게 차량의 롤운동은 주행 상황을 알려주는 경고의 의미도 있으므로 지나친 롤각의 감소는 부적당하다. 그러므로 다음과 같은 제어 목표를 설정하였다.

횡가속도가 1 m/s^2 에서 원하는 롤각과 5 m/s^2 에서 원하는 롤각을 입력으로 받는다. 본 논문에서는 1 m/s^2 에서 0.6° , 5 m/s^2 에서 2° 가 될 수 있도록 하였다. 어느 횡가속도에서 원하는 롤각과 현재의 롤각의 차이가 0.2° 이상일 경우 액츄에이터력이 발생하도록 하였다.

Fig.6을 통해 롤안정바에 액츄에이터를 부착했을 경우의 성능 향상을 확인할 수 있다. 입력된 롤각의 0.2° 부근에서 제어됨을 볼 수 있고, 수동의 롤안정바와 비교해도 롤각의 감소가 있음을 알 수 있다.

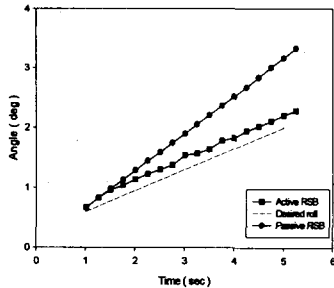


Fig.6 Effects of the active RSB

Fig.7은 원하는 롤각과 현재의 롤각의 차이인 오차가 0.2° 에서 제어가 시작되어 오차범위가 0.2° 부근에서 유지되고 있음을 알 수 있다.

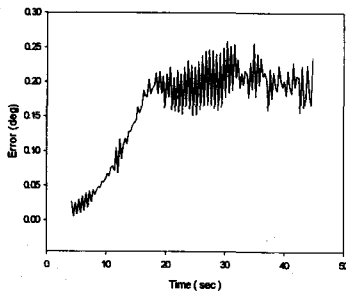


Fig.7 Errors of the active RSB

Fig.8은 액츄에이터의 길이 변화를 시간에 대해 표현한 그래프이다. 일정 반경을 선회하기 위해서는 시간의 경과에 따라 횡가속도의 크기는 증가하고, 횡가속도의 증가에 따라 롤각도 증가할 것이다. 원하는 롤각과 수동의 롤안정바에 대한 롤각의 차이가 커질수록 액츄에이터 길이는 계속 증가하고 횡가속도가 $5 m/s^2$ 일 때는 거의 포화상태에 도달한다.

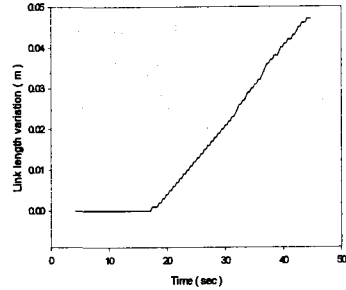


Fig.8 Variations of the actuator length

Fig.9는 액츄에이터 길이를 변화시키는데 필요한 힘을 나타낸 그래프이다. 횡가속도가 $1 m/s^2$ 이한인 17초 이하에서는 액츄에이터는 힘을 발생시키지 않고 그 이후는 롤제어를 하기 위해 점차적으로 힘이 증가하고 있다. 포화 상태에 이르는 40초 이후에서 생기는 힘은 액츄에이터가 낼 수 있는 최대 힘으로 약 400N 부근임을 알 수 있다.

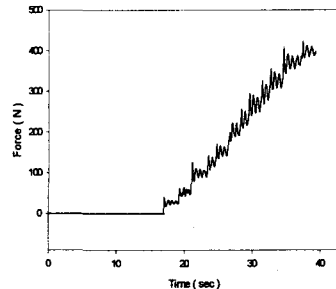


Fig.9 Actuator force

3.2 스텝 조향 시험

롤안정바에 부착된 액츄에이터의 성능을 보기 위하여 5초에서 6초까지 레바를 1cm 이동시키는 스텝입력을 가하였다. 이러한 스텝 조향 시험을 통하여 순간적으로 큰 횡력이 작용할 때 차량 성능을 분석할 수 있다. 시험 차속은 $80 km/h$ 로 하였다.

Fig.10을 통하여 기존의 수동 롤안정바 모델에 비하여 액츄에이터를 부착한 모델이 1° 이상의 롤각의 감소가 있음을 확인할 수 있다.

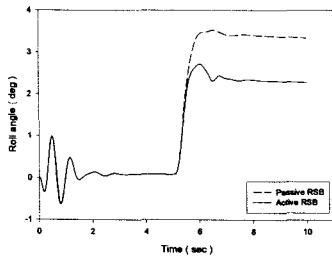


Fig.10 Effects of the active RSB

Fig.11은 원하는 롤각과 실제 롤각의 차이를 나타낸 그래프이다. 스텝 조향 시험은 짧은 시간에 횡가속도가 크게 증가하므로 오차가 0.8° 이상 증가하였다가 0.2° 범위내로 수렴하는 양상을 보인다.

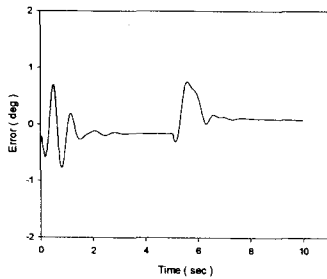


Fig.11 Errors of the active RSB

Fig.12 액추에이터의 길이 변화로서 짧은 시간에 큰 물이 생기므로 $5 m/s^2$ 에서의 롤각을 맞추기 위해 6초에서 포화된 상태를 유지한다. 링크 길이가 5초를 지난 지점에서 길이가 줄어드는 현상을 보이는데, 이는 조향 입력이 가해지는 5초 이후 횡가속도는 급속히 증가하고 이 횡가속도에서 현재의 롤각의 크기가 원하는 롤각의 크기보다 작음으로 해서 생기는 현상이다.

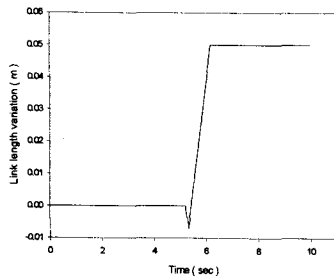


Fig.12 Variations of the actuator length

Fig.13은 스텝 조향시 액추에이터 힘을 나타낸 그래프로서 6초 이후에 포화된 상태인 400N부근을 유지하고 있다.

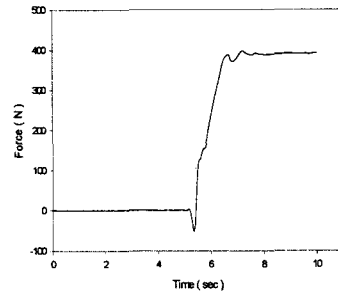


Fig.13 Actuator force

4. 결론

롤안정바 강성의 변화가 차량의 성능에 미치는 영향을 분석하고, 로우 컨트롤 암과 차체 사이에 액추에이터를 부착하였을 때의 성능향상을 확인하여 결론은 다음과 같다.

- (1) 롤안정바 강성을 변화시키며 정상원 선회시험으로 언더스티어 구배 특성을 비교한 결과 횡가속도가 $3 m/s^2$ 이하에서는 전륜의 롤안정바의 강성을 증가시킬수록 언더스티어 특성이 강해지고 후륜의 롤안정바의 강성을 증가시킬수록 언더스티어 특성이 약해짐을 알 수 있었다.
- (2) 롤안정바와 로우 컨트롤암 사이에 액추에이터를 추가하여 횡가속도에 따라서 롤각을 제어한 결과 원하는 오차범위 내에서 제어됨을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- (1) 김 광 석, 유 완 석, "차량동역학 해석 프로그램 AutoDyn7의 개발에 관한 연구," 박사 학위 논문, 부산대학교, 1999
- (2) 이 정 우, "다양한 도로주행 조건에서 생기는 현가장치의 반력예측에 관한 연구," 석사 학위 논문, 부산대학교, 1999
- (3) 자동차 기술 핸드북, 한국자동차공학회, 1996
- (4) 부산대학교 CAE 연구실, AutoDyn7 User's Manual

(5) Allan Y.Lee and Alan T.Marriott, Nhan T.Le "Variable Dynamic Testbed Vehicle: Dynamics Analysis" SAE TECHNICAL PAPER 970560

(6) 박 영 옥, "불안정바의 탄성 효과를 고려한 승용차의 핸들링 해석," 석사 학위 논문, 부산대학교, 1995

(7) Thomas D. Gillespie, *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, 1992