

CTBA 형상에 따른 로드노이즈 상관성 평가

A Study on Shapes of CTBA for Road Noise Reduction

이문석† · 임지민* · 이찬* · 백홍선* · 황철하*

Moon Seok Lee, Ji Min Lim, Chan Lee, Hong Sun Baik, Chulha Hwang

Key Words : Road Noise, CTBA(Coupled Torsion Beam Axle)

ABSTRACT

A CTBA(Coupled Torsion Beam Axle) is a general type for rear suspension of small/compact sedans. It connects left and right knuckles using torsion beam axle and trails rear wheels. Therefore, a CTBA performs a main role of ride & handing. But, a CTBA suspension has main bending mode around 120Hz and causes road booming noise in the interior of a car. Therefore, the mode control of a CTBA is very important for reducing road noise. In this paper, we optimized the shape of a CTBA to reduce road noise considering R&H performance, simultaneously. The vibration mechanism of CTBA was investigated using ODS(Operational Deflection Shape) and mode shape.

최적의 CTBA 형상을 제시하고자 한다.

1. 서 론

CTBA(Coupled Torsion Beam Axle)는 소형/중형 차량의 후륜 서스펜션 형식 중 하나로 단순한 구조임에도 좋은 승차감과 핸들링을 구현한다. 하지만, CTBA는 긴 torsion beam을 가지고 있는 구조로 NVH 측면에서는 저주파수 대역에 벤딩과 토션 모드를 가지고 있어, 노면에 의해 발생하는 진동을 증폭시켜 실내 소음을 야기시킨다. 이런 CTBA의 진동을 절연하기 위해 CTBA의 T/Arm 부시 상하 특성을 낮추면, R&H 성능이 악화되는 문제가 발생한다. 결국, CTBA는 구조적으로 단순한 장점을 가지고 있지만, 튜닝 변수가 매우 적은 관계로 여러 성능을 최적화하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 이런 CTBA의 형상에 대해서 알아보고, CTBA의 형상 변경과 T/Arm 부시 특성에 따른 CTBA 동특성 및 주행 시 거동 분석을 통해 CTBA 형상별 진동 메커니즘을 살펴보고자 한다. 그리고, 이를 통해, NVH와 R&H 성능 측면에서의

2. 2 CTBA 형상별 로드노이즈 영향도

2.1 CTBA(Coupled Torsion Beam Axle)

(1) CTBA 서스펜션 특징

Torsion beam 형태의 후륜 서스펜션은 좌우에 trailing arm을 배치하고, 좌우 trailing arm을 잇는 beam을 설치하는 구조이다⁽¹⁾. 이 때, beam의 전후 위치에 따라 크게 2개 타입으로 분류되는데, beam이 tire 중심에 위치하는 axle beam과 trailing arm의 중간에 위치하는 coupled link axle인 CTBA로 나누어진다. 이런 torsion beam 타입 서스펜션은 다른 타입 대비 link 길이가 길고, 또 link 요동축이 되는 rubber bush의 수가 적은 특징을 가져, 단순 구조임에도 level이 높은 순조로운 승차감을 만들기 쉽다⁽¹⁾. 그리고, 뒷좌석과 트렁크 공간 활용성이 우수해 공간적으로도 많은 이점이 있어 중소형 FF 차량에 많이 채용되고 있다. 업체마다 자신의 특성에 맞추어 CTBA의 형상은 차이가 발생하며, 특히 torsion beam의 형태에서 큰 차이를 보인다. 그림 1은 후륜 CTBA 구조를 보여주며, torsion beam을 통해 trailing arm이 서로 연결된 형태임을 볼 수 있다.

† 이문석; , 현대자동차

E-mail : mslee@hyundai.com

Tel : 031-8036-1436, Fax : 031-368-8228

* 현대자동차

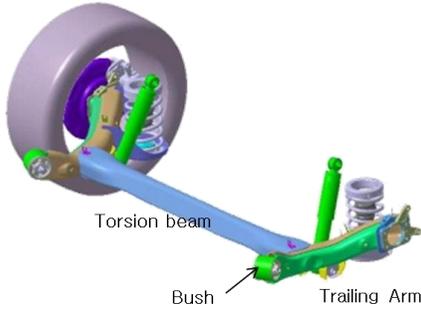


Figure 1. Coupled Torsion Beam Axle

(2) CTBA 서스펜션 NVH 특성

앞에서 언급된 내용처럼 CTBA는 torsion beam 을 통해 좌우 허브를 연결하면서 차량의 roll 특성을 잡아준다. 또한, trailing arm을 통해 횡력과 전후력을 차량에 전달하는데, 이 사이에 차체와 연결되는 커다란 trailing arm 부시가 존재한다. 이 때문에 구조적으로 매우 단순하고, 튜닝이 필요한 부시도 하나로 간편하다. 하지만 차량의 승차감 및 핸들링 성능과 타이어로부터 차체에 전달되는 진동을 저감하는 것도 이 단순한 구조 통해 구현해야 하는 어려움을 가지고 있다. 특히, 긴 torsion beam은 저주파 100~160Hz 대역에 벤딩 및 토션 모드를 가지고 있는데, 이들 모드는 타이어로부터 차체에 전달되는 진동을 증폭시켜 아래의 그림처럼 100Hz 대역 소음을 크게 야기시킨다.

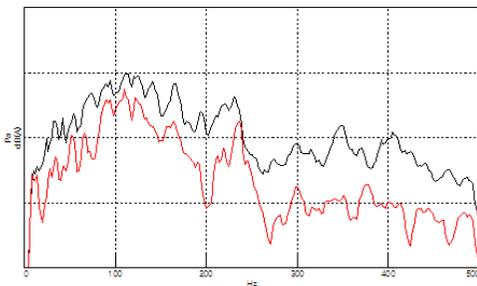


Figure 2 - : Measured road noise
 - : Synthesized noise by trailing arm MTG vibration

(3) CTBA 서스펜션의 R&H과 NVH 관계

CTBA에는 타이어에서의 접지력을 차량에 전달해 주는 trailing arm 부시가 있다. 이 부시는 핸들링 시 강한 횡력을 잡아줘야 하며, 둔턱을 통과할 때 차량에 전달되는 전후 충격을 줄여야 한다. 이러한 측면에서 trailing arm 부시는 좌우로는 강하고,

전후로는 약한 특성을 가져야 한다. 반면, 노면에서 오는 상하 진동을 절연해야 하는 NVH 측면에서는 trailing arm으로부터 전달되는 상하 진동을 trailing arm 부시가 줄여줘야 한다. 이런 측면에서는 상하로 약한 부시 특성을 가져야 한다. 이런 모든 측면을 고려하면, trailing arm 부시는 좌우로는 강하면서, 전후/상하로는 부시 특성이 약해야 하는데, 이를 모두 만족시키는 실제적으로 어려운 일이다. 이를 위해, 부시 내에 브릿지 형태로 void를 주면서, 전후/상하의 부시 특성을 조절하고, void 사이에 stopper를 설치하여, 대변위 시 부시의 특성을 강하게 가져가고, 소변위 시에는 부시의 특성을 약하게 가져간다.

또한, 부시의 정특성을 높게 가져가지만, 부시의 정특성과 동특성 간의 배율(동배율)을 최대한 낮게 설계하여, 정적 상태의 R&H 성능과 동적 상태인 NVH 성능을 최대한 만족하도록 할 수 있다. 하지만, 이런 방법은 두 성능이 요구하는 특성을 정확히 만족시키기 힘들다.

CTBA의 형상적으로는 핸들링 시 차량의 roll 거동을 억제하기 위해선 후륜 현가계의 roll center와 차량의 무게 중심의 거리를 좁게 가져가야 한다. 이를 위해선 후륜 현가계의 roll center를 차량의 무게 중심에 가깝도록 높게 설계해야 하며 이를 위해, torsion beam의 shear center를 전반적으로 높게 가져가는 것이 유리한다⁽²⁾. 또한, CTBA의 torsion beam의 형상에 따라 CTBA의 모드 형상도 바뀌면서 CTBA 진동에도 영향을 끼치는데 이런 NVH 성능은 다음에 설명하도록 하겠다.

2.2 CTBA 형상별 로드노이즈

(1) CTBA 모드와 로드노이즈

CTBA에는 100~160Hz 사이에 벤딩과 토션 모드를 가지고 있으며, T/Arm 부시의 특성에 따라 벤딩과 토션 모드의 순서가 달라진다. 대개의 경우, T/Arm 부시의 상하 동특성이 낮으면 토션 모드가 먼저 발생하며, 반대로 부시의 상하 동특성 높으면 벤딩 모드가 먼저 발생한다. 특히, 벤딩 모드는 좌우 허브를 연결하는 CTBA의 torsion beam이 상하로 벤딩하면서, T/Arm 부를 상하 가진한다. 그 결과, T/Arm MTG 부에 많은 진동을 야기시켜 주행 시 실내 소음을 악화시킨다. 그로 인해, 실내소음 측면에서는 CTBA의 상하 벤딩 모드를 실내 소음에 민감한 120Hz 대역과 이격시키는 것이 유리하며, 이를 위해서, T/Arm 부시 상하 특성을 낮게 가져가면서, 진동 절연을 높이는 것이 유리할 수 있다.

하지만 이러한 부시 특성 하향을 통한 해결책은 R&H 성능과 상충되어 차량의 종합적인 성능을 고려할 때 쉽게 결정하기 어렵다.

(2) CTBA 형상

CTBA의 형상은 torsion beam 단면 형태에 따라 구분된다. Torsion beam의 단면은 V 타입, U 타입, 휘어진 ㄷ 타입 등 여러 가지 형태를 가지고 있다. 또한, 이런 단면은 물고임 등의 문제로 한쪽 방향이 열린 형태를 가지고 있다. 이런 torsion beam의 단면 형상에 따라 차량의 여러 성능도 달라지며, 성능별로 서로에게 유리한 형태가 있다. 공력 측면에서는 후방 오픈 타입이나, 바람과 맞닿는 전후 면적이 가장 작은 단면이 유리하다. 또한, R&H 측면에서는 후륜 현가계의 roll center가 높게 위치하도록 하는 것이 유리한데, 이를 위해선, torsion beam의 shear center가 대체로 높게 위치해야 하며 대개의 경우 하방 오픈이 유리하다⁽²⁾. 반면, NVH 측면에서는 torsion beam의 단면에 따라 CTBA의 모드와 모드 형상이 달라지는데, 이에 대한 명확한 이해가 부족한 상황이다.

NVH 특성 외 다른 여러 가지 특징을 고려하여 대부분의 torsion beam은 하방오픈 형태를 보이지만, 업체와 차량별로 다른 형태를 띄기도 있다.

본 연구에서는 이런 CTBA의 torsion beam 단면 형상, 특히 많은 차량이 선택하고 있는 V 형상의 오픈 방향에 따라 CTBA의 모드 형상이 어떻게 달라지는지를 확인하고, 이를 통해, 타 성능과도 충족시킬 수 있는 최적의 타입을 찾아보도록 하겠다.

(3) CTBA 형상별 로드노이즈

CTBA의 torsion beam의 형상에 따른 CTBA 진동 및 로드노이즈 변화를 살펴 보기 위해, CTBA 후륜 현가계를 가지는 소형 차량의 CTBA V beam을 오픈 방향을 달리해 가면서 로드노이즈 평가를 수행하였다. V beam의 오픈 방향의 튜닝을 위해, 아래와 같은 CTBA V beam 전방, 전방 45도, 하방, 후방 45도, 후방 오픈 샘플을 준비하여 CTBA 진동과 로드노이즈를 평가하였다.

그림 4는 CTBA 오픈 방향별 실내소음 변화이다. V beam 하방 오픈의 145Hz 대역에 높은 레벨의 로드부밍이 발생한다. 반면, V beam의 오픈 방향을 전방 혹은 후방으로 돌릴수록 145Hz 대역 소음은 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 특히, 전방으로 회전 시 가장 좋은 개선효과를 보이지만, 전/후방 45도 회전해도 145Hz 로드 부밍이 크게 저감되는 것

을 확인할 수 있다. 이 때의 CTBA 진동을 살펴보면, 145Hz T/Arm 부의 상하 진동이 V beam 오픈 방향을 회전할 시 크게 저감되는 것을 볼 수 있다. 이로 인해, 동일 주파수 로드노이즈가 저감됐다고 할 수 있다.

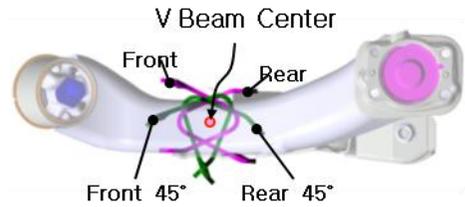


Figure 3. CTBA shapes by V beam open directions

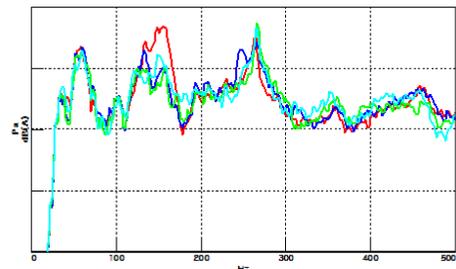


Figure 4. Road noise by CTBA's(V beam open directions Bottom/Front 45° /Front/Rear 45°)

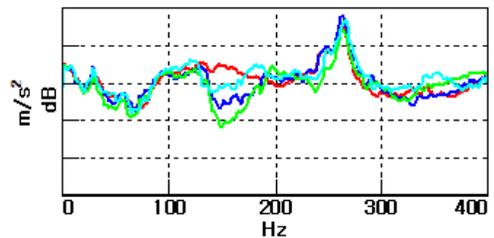


Figure 5 Vibration on T/arm MTG of CTBA's (Bottom/Front 45° /Front/Rear 45° direction)

그럼 이때의 CTBA의 모드와 모드 형상이 어떻게 달라졌는지 살펴보겠다. 본 차량의 CTBA는 기본적으로 하방 오픈의 V beam에 T/Arm 부시는 상하 강성이 높은 타입으로 그림 6와 7처럼 벤딩 모드가 먼저 발생하고, 그 다음 토션 모드가 차례로 발생한다. 이와 동일하게 V beam의 오픈 방향을 45도 전방으로 회전시켰을 때도 벤딩 모드와 토션 모드는 유사 주파수에서 발생한다. 다만, V beam의 운동이 크게 다른 것을 확인할 수 있다. 가진력과

모드의 상관성을 보기 위해, 주행 시 CTBA의 가진 점이라 할 수 있는 허브 Z방향을 가진에 따른 T/Arm MTG Z방향 진동 감도를 살펴해보도록 하겠다. 그림 8처럼 145Hz 대역 진동 감도가 V beam 오픈 방향을 하방에서 회전시키면 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 결국, CTBA의 V beam의 오픈 방향을 하방 오픈에서 회전시키므로 CTBA의 T/Arm 부 Z방향 진동을 저감시키는 모드형상으로 변형된 것을 알 수 있다. 이를 통해, 부시 특성 하향 없이도 로드노이즈 개선을 달성할 수 있다.

추가로 R&H 성능과 연관된 roll center 위치를 살펴보자. roll center의 위치는 torsion beam의 shear center와 T/arm MTG, 타이어 패치면 중심의 위치에 따라 결정되는데, 기본적으로 torsion beam의 shear center가 높고, V beam의 오픈 방향이 후방/전방/하방 순으로 roll center는 높게 위치한다⁽²⁾. 이런 측면에서, V beam의 전방 45도 오픈 방향이 로드노이즈와 R&H의 최적의 형태라 할 수 있다. 이는 Honda의 Nakamura와 유사하다⁽³⁾.

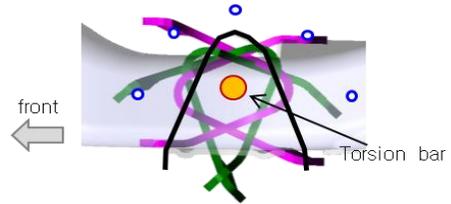


Figure 9. CTBA shear center by V beam open direction

(4) T/Arm 부시와 CTBA 형상별 로드노이즈
 앞선 평가는 T/Arm 부시의 상하 강성이 높은 차량의 경우로 이보다 부시 상하 강성이 절반 이하인 중소형 차량에의 CTBA V beam 오픈 방향별 로드노이즈를 변화를 살펴보겠다.

그림 10은 V beam의 오픈 방향이 하방/전방 45도 일때 로드노이즈이다. 100Hz 대역의 소음 큰 차이를 보이지 않지만, 160Hz 대역 소음은 전방 45도 오픈의 경우 저감되는 것을 확인할 수 있다. 이때의 CTBA의 T/Arm 부 진동은 160Hz 대역에서 진동이 크게 저감되는 것을 확인할 수 있다.

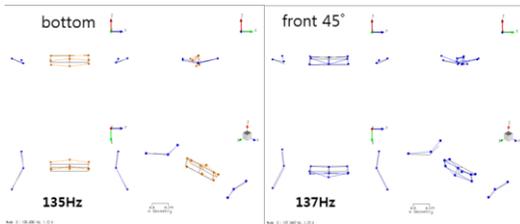


Figure 6. CTBA bending mode

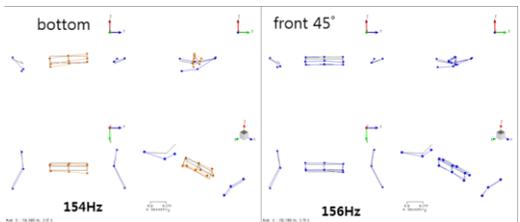


Figure 7. CTBA torsional mode

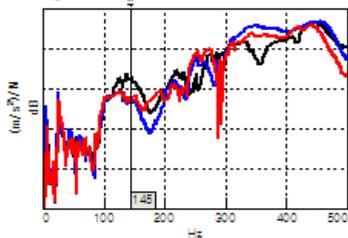


Figure 8. FRF between hub Z and T/arm MTG Z of CTBA(bottom/front 45°/front)

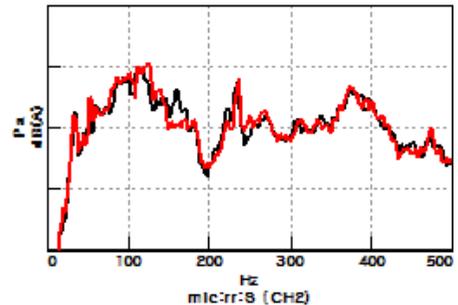


Figure 10. Road noise by CTBA V beam open direction(Bottom/Front 45°)

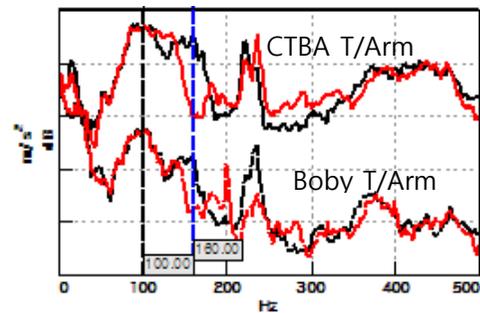


Figure 11. T/arm MTG CTBA/Body vibration(V beam Bottom/Front 45° open direction)

이를 보다 자세히 알아보기 위해, CTBA ODS를 살펴보자. 100Hz 대역에서는 CTBA가 토션 운동을 하고, 160Hz 대역에서 벤딩 운동을 하는 것을 볼 수 있다. 이는 이전의 T/Arm 부시 강성이 높을 때와 달리 토션과 벤딩 모드의 순으로 CTBA 모드가 발생하며, 모드 형상도 이전보다 확실히 분리된 것을 확인할 수 있다. 또한, V beam 전방 45도 오픈 방향에서는 토션 모드의 T/Arm은 큰 차이를 보이지 않지만, 벤딩 모드의 경우, T/Arm 상하 진동이 전방 45도에서 크게 저감되는 것을 볼 수 있다. 이를 통해, V beam의 오픈 방향은 전체적인 형상이 회전 방향만 바뀌었을 뿐 큰 차이를 가지지 않기에 V beam의 토션 강성에는 큰 영향을 끼치지 않지만, 상하/전후 벤딩의 강성은 오픈 방향별로 크게 영향을 끼침을 알 수 있다.

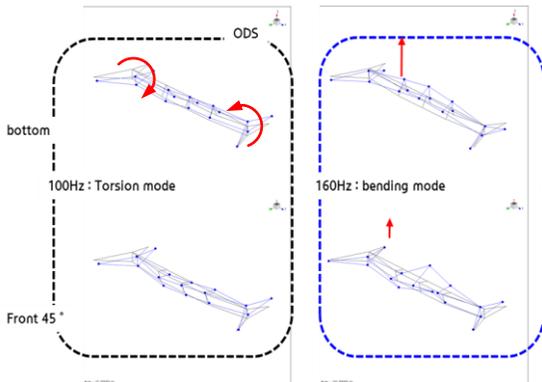


Figure 12. Mode shapes of a CTBA with low vertical stiffness T/arm bushes

3. 결 론

중소형 차량의 후륜 서스펜션 타입의 하나인 CTBA는 단순한 구조이면서, 이를 통해 종합적인 차량의 R&H 성능을 이끌어 낸다. 반면, NVH 측면에서는 단순한 torsion beam 구조를 가지면서, CTBA 자체의 모드에 의해 저주파대역 진동과 소음을 악화시키는 원인이 된다.

본 연구에서는 R&H와 NVH 성능 측면의 CTBA가 가지는 특성을 살펴보면, CTBA V beam 형상 변경을 통해 NVH 성능이 향상될 수 있는 방안을 시험적으로 확인하였다. 또한, R&H 성능도 동시에 고려하여 최적의 형상을 V beam 오픈 각도를 제시하였다. 그리고, 이런 CTBA V beam의 오픈 방향별 동특성과 주행 거동을 살펴보면, CTBA의 모드와 주행 소음과의 상관성을 확인하였다.

이런 CTBA의 설계 인자인 V beam 형상 및 T/Arm 부시 특성별 로드노이즈 상관성을 통해 향후 중소형 후륜 서스펜션 타입인 CTBA의 설계 방향을 확립할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 宇野高明, 1994, chassis mechanism, Grand Prix
- (2) Sangdae Kim, Byungrim Lee, 2010, The effect of vehicle Performance for CTBA Types, KSAE part Conference, pp744-749
- (3) Sou NAKAMURA, Toshimitsu MAKI and Toshitaka SUGIMOTO, 2011, April, Study of Suspension System for Reduction of Road Noise, Honda R&D Technical Review, pp125