

중형 버스의 브레이크 저더 모델링 및 해석

Modeling and Analysis of Brake Judder of Middle Size Bus

강 희 용*, 양 성 모*, 김 종 규*, 한 갑 수**, 이 동 현**
Heeyong Kang, Sungmo Yang, Jongkyu Kim, Kapsu Han, Dongheon Lee

ABSTRACT

In the high speed driving conditions, the vibrational phenomena with relation to chassis system are becoming more important factors in chassis design and development. In this paper Commercial Dynamic program is used to model middle size bus for brake judder phenomenon. To verify the effects of a body structure in brake judder, body structure is modeled in flexible. Also mode shapes and frequencies are obtained from Commercial FEA program in the same condition of experimental test. The simulation results are compared to the experimental results and summarized

주요기술용어 : Brake Judder(브레이크 저더), BTV(제동토크변동), Shimmy(시미)

* 전북대학교 기계공학부

** 전북대학교 기계설계학과 대학원

1. 서 론

브레이크 저더(brake Judder)는 차량이 비교적 고속으로 주행하다가 제동시 감속이 진행되는 동안 브레이크 페달과 조향륜 주변에 발생하는 이상진동으로써 진동의 형태는 조향륜의 시미(Shimmy) 진동 현상과 매우 유사하다. 제동토크의 변화로 인한 지면과 타이어 사이에 발생한 제동력의 변동은 현가계를 통하여 전달된다. 전달된 가진력에 의해 조향륜은 원주방향으로 진동하게 된다.

시미(Shimmy)진동의 경우는 일정한 속도에서 발생하여 그 속도를 벗어나면 감소하는 경향이 있지만, 브레이크 저더의 경우는 비교적 넓은 속도대역에 걸쳐 발생한다. 이러한 속도대역(주파수 대역)에 샤시들(차체, Suspension system, Steering system)의 고유진동수가 포함되면 공진이 발생하여 운전자에게 심한 불쾌감과 불안감을 느끼게 한다. 본 연구에서는 브레이크 저더에 대한 차체의 영향을 알아보기 위하여 차체를 유연 차체로 모델링하였다. 유한요소 프로그램을 사용하여 차체의 진동모드를 구한 후 브레이크 저더 주파수 대역에 위치한 진동 모드를 선별하였다. 동역학 프로그램(dynamic program)을 이용하여 브레이크 저더의 다물체 모델링 및 해석을 수행하여 실차 결과와 비교하였다.

2. 브레이크 저더

2.1 브레이크 저더의 정의

시미(Shimmy)는 타이어/휠 회전수의 기본 주파수(1차 조화 진동주파수)에 공진하여 발생하고, 브레이크 저더는 타이어/휠 회전수의 2차 조화 성분으로 공진하여 발생한다. 브레이크 저더는 제동시 발생한 브레이크 토오크 변동(BTV;brake torque variation)의 가진 주파수가 각종 전달 매체(Steering syetem, Suspension, 차체)와 공진하여 운전자 접촉점 즉, 스티어링 휠의 회전방향진동(nibble), 전후방향진동(shake)과 브레이크 페달의 맥동(pulsation)등이 수반되는 진동이다.¹⁾

2.2 브레이크 저더의 분류

저더는 그 가진력(BTV)의 원인에 의해 두 가지로 분류되는데

1) 기계적 저더(mechanical judder: 이 형태의 저더는 일반적으로 저 주파수를 가진다. 발생 메커니즘은 디스크 두께 변동(DTV;disc thickness variation)이나 드럼의 원통도 어긋남(out of cylindricity of the drum)이 회전체(disc or drum)의 속도에 따라 마찰재(pad or lining)를 통과하면서 발생하는 것으로 가정된다. 가진 차수는 회전체 마찰면의 지형학에 직접적으로 관련 있다. 따라서 이러한 저더는 기계적 접촉(간섭)에 의한 저더-기계적 저더로 부르기도 한다. 마찰면에서 발생한 진동 모션은 브레이크 구조를 통하여 너클에 전달되고, 나아가 차량 샤시와 브레이크 유압라인과 같은 동적 링크를 통하여 차량에 전달된다. 운전자는 스티어링 휠 진동, 브레이크 페달 맥동, 그리고 때로는 플로어 진동을 느낀다.

2) 열적 저더(thermal judder): 이 형태의 저더는 기계적 저더보다 높은 휠 회전 차수(보통 6-12차)의 주파수를 가진다. 일반적인 브레이크 설계나 제작은 회전 2차나 3차의 두께변동을 포함한다. 그러나 열적 저더에서는 이러한 낮은 차수의 진동은 볼 수 없다. 열적 저더의 높은 주파수는 들을 수 있는 것도 하나의 특징이다. 발생

메커니즘은 회전체 주위의 마찰계수의 변동으로 믿고 있다. 이 변동은 마찰면에서 열이 발생함에 따라 마찰재의 화학적 변화가 생기기 때문이다. 회전체 주위에 표면 색깔 변형이 관찰되는 것이 특징이다.²⁾

2.3 전달 경로

제동 토크 변동(BTV)에 의한 가진력으로부터 운전자에게 의한 인지까지의 진동 전달은 전달경로 내의 부품, 즉 현가계, 조향계 그리고 차체 등의 동적 특성에 의존한다. 따라서 현가계의 고유진동수(여기에는 판 스프링과 부싱 뿐만 아니라 타이어도 포함된다), 조향륜의 회전, 조향 칼럼이 장착된 골조와 그리고 전달 경로내의 모든 다른 부품의 고유 진동수는 매우 중요하다. 그림 1은 드럼 브레이크 저더의 가진 및 전달과정을 나타낸다.³⁾

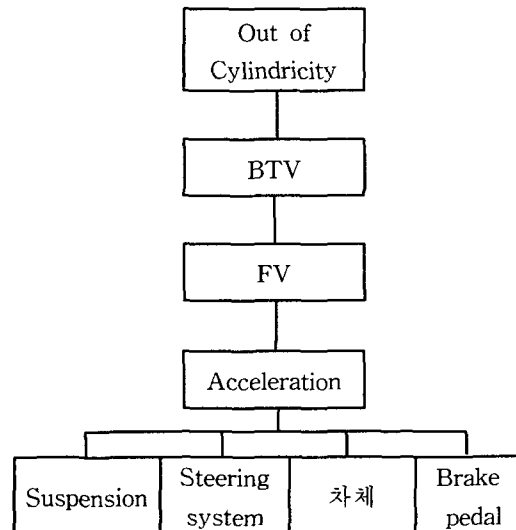


Fig 1 Excitation and Transfer of Brake Judder

3. 대상차량의 브레이크 저더

대상차량의 브레이크 저더는

- 1) 90~100km/h의 속도에서 감속시 발생하여 60km/h이하까지 지속적으로 유지되며
- 2) 스티어링 휠의 원주방향, 전후방향, 그리고 브레이크 페달의 맥동과 더불어 차체의 진동을 수반하며

3) 브레이크 슈(SHOE)의 온도가 150℃ 부근에서 가장 잘 발생되는 것으로 알려 졌다.

3.1 브레이크 드럼의 제동 토크 변동

대상차량의 브레이크 드럼을 브레이크 다이내모미터 (brake dynamometer)에 장착하고 0.15g 조건으로 가압하면서 토크 변동-시간을 축에 부착한 스트레인 게이지를 통하여 측정하였다. 이 시그널을 주파수 도메인으로 바꾸고 이를 다시 여러 개의 짧은 속도 구간으로 나누어 워터폴 형식(waterfall diagram)으로 만들었다. 그림 2, 3은 주성분 order를 파악하기 위한 것으로 대상차량 브레이크 드럼이 생성하는 제동 토크 변동의 주성분이 2차 성분임을 알 수 있다.

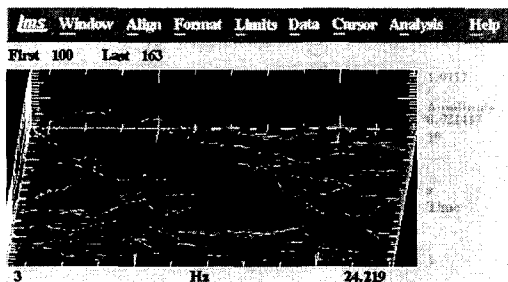


Fig. 2 Waterfall and Color map at 90°C

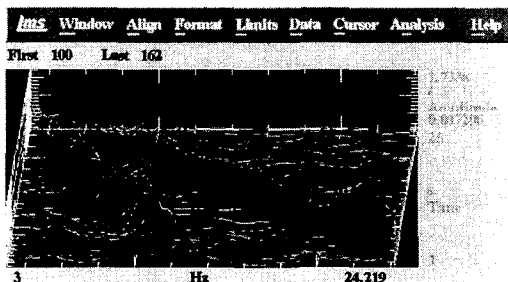


Fig.3 Waterfall and Color map at 150°C

4. 전산 해석 모델링 및 해석

차량의 전산 모델은 강체 차체 차량모델과 유연 차체 차량모델이 있다. 이 두 모델을 전산 시뮬레이션을 통한 진동특성과 실차 측정 data를 비교하였다. I-DEAS MASTER SERIES를 이용하여 차체의 유한 요소 모델을 하였고, MSC/NASTRAN(ver 7.0)을 사용하여 진동 모드 해석을 하였다. 다물체 동역학 모델링 및 해

석은 ADAMS(ver 9.1)을 사용하였다.

4.1 샤시 모델

샤시부는 현가계, 조향계, 타이어등을 모델링하였으며 각각의 물체와 기구학적 구속을 갖는 조인트로 모델링하였다. 전륜과 후륜 현가장치는 모두 판 스프링 타입(leaf spring type)이며 샤시의 형상은 그림 4와 같다.

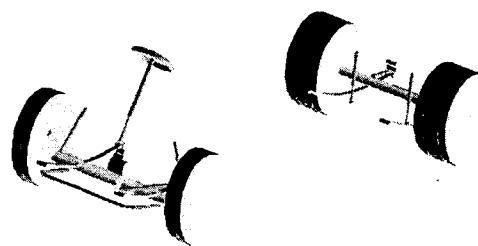


Fig. 4 The Multi Body Model of Chassis

4.2 유연 차체 모델

강체 모델에 비해 좀더 실차 특성에 가까운 결과를 얻기 위하여 유연 차체를 적용하였다. 차체의 30Hz이하의 고유진동주파수들이 샤시들과 연동하여 브레이크 저터를 비롯한 조향륜의 진동에 영향을 줄것으로 예측된다. 따라서 50Hz 이하의 차체 진동 특성을 고려하기 위해서 차체의 변형 모드를 사용하였다. 차체의 변형 모드에는 고유진동 모드(natural vibration mode), 정적 보상 모드(static correction mode)등이 있으나 본 연구에서는 고유 진동 모드만을 사용하였다. 모드는 해석상 고려할 강체 모드 6개를 제외한 15개의 모드만 선별하였다. 그림 5과 표 1은 각각 유연 차체 모델과 그에 따른 모드수, 고유진동수 및 대표적 변형 모드를 나타낸다.

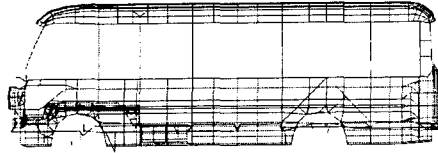


Fig. 5 Finite Element Model of Body Structure

Mode number	고유진동수(Hz)
1-6	강제모드
7	8.67
8	12.35
9	20.39
10	20.87
11	21.47
12	23.22
13	23.23
14	23.42
15	24.31
16	24.74
17	25.78
18	29.29
19	32.52
20	33.69
21	34.99

Table 1 The number of Modes and Natural Frequencies

4.3 전체 차량 모델

그림 6은 샤시와 유연차체를 결합한 전체 차량 모델을 나타낸다.

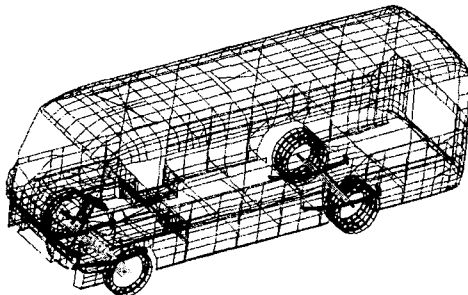
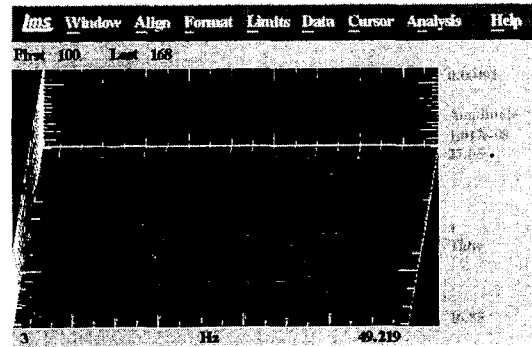


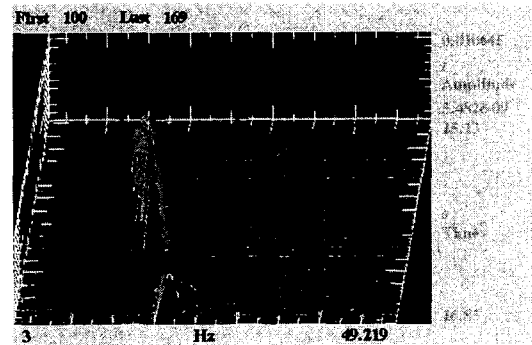
Fig. 6 Full Car Model with Flexible Body

4.4 해석 결과

구동은 타이어 물체에 토크로 후륜구동이 되도록 하였으며, 제동 장치는 따로 상세 모델링하지 않고 구동하는 차량이 약 100km/h에 도달했을 때 타이어에 역토크를 전후 6바퀴에 적용하여 구현하였다. 차량을 문제 발생빈도가 가장 높은 차속도 약 100km/h에 이르도록 후륜구동의 토크로 가속한후 제동감속도 0.15g에 해당되는 제동 토크를 전후 제동 배분률 55:45를 고려하여 부가하였다. 그림 7, 8, 9는 각 부위의 결과를 LMS사의 CADA-X를 통하여 실차 결과와 비교할 수 있도록 워터폴 형식으로 변환시킨 것이다.

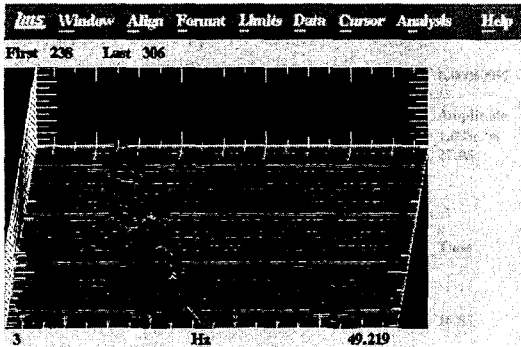


(a) 강체차체

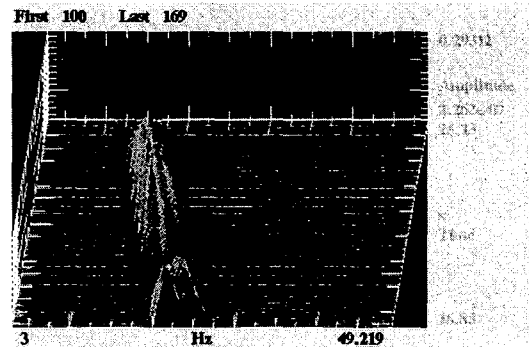


(b) 유연차체

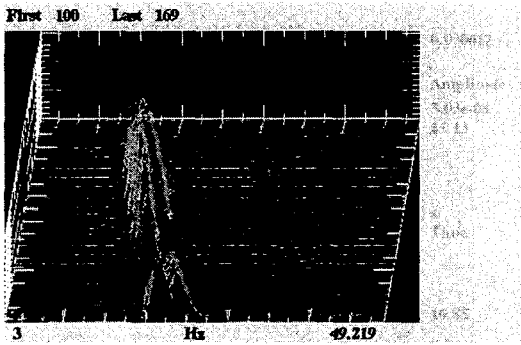
Fig. 7 Drag Link X Direction



(a) 강체차체



(b) 유연차체



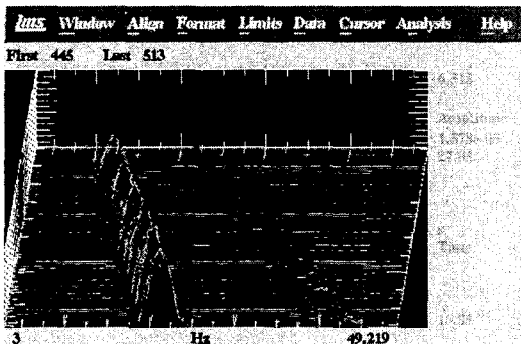
(b) 유연차체

Fig. 8 Floor Z Direction

Fig. 9 Steering Wheel Y Direction(Angular)

각 그림은 차체를 강체로 모델링한 경우와 유연체로 모델링한 경우로서 실차 결과와 비교할 수 있는 부위인 드래그 링크 전후방향, 플로어 상하방향 그리고 조향륜의 회전방향 결과를 나타낸다. 나타난 피크(peak)의 산맥이 차속(99.3km/h~52.6km/h)에서 2차 조화성분으로 나타나고 있다. 제동시점부터 속도가 점점 감소되므로 그에 따른 결과 peak의 크기도 점점 감소함을 볼 수 있다. 따라서 본 모델링이 저더를 나타내는데 적합하게 모델링이 되었음을 알 수 있다.

각 그림의 (a)의 경우 저더의 크기가 차속에 따라서 점차 감소하지만 (b)는 차체고유진동이 몇몇 군데에서 공진 현상이 나타남을 알 수 있다. 따라서 브레이크 저더의 전산해석에서는 차체와 저더와의 관계를 나타내기 위해서는 차체를 유연체로 하는 것이 타당함을 알 수 있다.



(a) 강체차체

6. 결론

본 연구에서는 차체의 브레이크 저더에 대한 영향과 샤시와의 관계를 분석하였다. 차체의 강성이 본 문제에 미치는 영향을 파악하고자 유연차체 모델을 적용하여 실차 특성에 근접할 수 있는 전산 모델링을 하였다. MSC/NASTRAN 해석을 위하여 차체를 모델링하였고, 고유진동수 해석과 모드해석을 수행하였다. 차체를 유연체로 하였을 경우 차체의 진동모드가 브레이크 저더에 영향을 주어 특정 주파수 대역에서 증폭됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Myung-Gyu Kim, Ho-II Jeong, and Wan-Suk Yoo, "Sensitivity Analysis of Chassis System to Improve Shimmy and Brake Judder Vibration on Steering Wheel," SAE 960734.
2. Alexander de Vries and Mark Wagner, "The Brake Judder Phenomenon," SAE 920554.
3. Mohamed Khalid Abdelhamid, "Brake Judder Analysis : Case Studies," SAE 972027.
4. Thomas D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, 1992.
5. PATRAN/NASTRAN Reference's manual, MSC, v69.
6. ADAMS User's manual, MDI, v9.0.