

# 국부적 유연성이 차량 시스템 동특성에 미치는 영향 Flexibility Effects of the Vehicle Components on the Dynamic Characteristics of the Vehicle Systems

이 상 범\* · 임 홍 재\*\*  
Sang Beom Lee, Hong Jae Yim

**Key Words** : Dynamic Characteristics(동특성), Natural Frequency(고유진동수), Vehicle Body Structure(차체구조), Vibration Analysis(진동해석), Vibration Mode(진동모드)

## ABSTRACT

A fundamental structural design consideration for a vehicle is the overall vibration characteristics in bending and torsion. Vibration characteristics of a vehicle system are mainly influenced by dynamic stiffness of the vehicle body structure and material and physical properties of the components attached to the vehicle body structure. The first step in satisfying this requirement is to obtain a satisfactory dynamic model of the vehicle structure. In this paper, modeling techniques of the vehicle components are presented and the effects of the vehicle components on the vibration characteristics of the vehicle are investigated.

## 1. 서론

최근, 저진동·저소음 차량에 대한 소비자의 요구가 증대되는 추세에 따라 초기 개발 단계에서부터 여러 가지 CAD/CAE 시스템을 이용하여 차량에 대한 해석 및 설계를 수행하고 있다. 이러한 여러 가지 해석·설계기법과 상용 소프트웨어를 이용하면 시작차가 제작되기 전에도 설계 차량에 대한 성능을 평가할 수 있고, 이를 설계에 반영하여 제품 제작후 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 줄임으로서 차량 개발에 소요되는 시간 및 비용을 획기적으로 줄일 수 있다.

일반적으로 자동차 구조설계시 고려되어야 할 중요사항 중 하나가 설계자가 요구하는 차량의 진동특성을 확보하는 것이다<sup>(1)</sup>. 자동차의 구조는 크게 차체부와 새시부로 구분할 수 있는데, 차체부의 진동특성은 필라, 캔트레일, 조인트 등에 의한 차체의 동적 강성과 차체에 부착되는 각종 부품의 재료특성 및 물리적 특성에 의해 결정되며 승차감과 내구성능 등에 매우 많은 영향을 준다<sup>(2-4)</sup>. 따라서 차량 진동의 저감 및 개선을 위해서는 초기 설계단계에서부터 개발될 차

량 시스템의 동적 특성을 정확히 예측하고 개선할 수 있는 기술 확립이 필요하다.

본 연구에서는 버스의 윈드실드, 백라이트, 도어, 윈도우 등과 같은 차량부품을 모델링하고 이러한 부품을 차체에 부착하여 차량모델을 구성하는 과정에서 각각의 부품이 차량의 진동특성에 미치는 영향을 분석한다. 또한 변형에너지 분석을 통하여 차체진동에 대한 취약부위를 평가한다.

## 2. 차량 모델링

전차량 시스템의 진동특성은 B.I.W.의 동적 거동에 의해 많은 영향을 받는다. 또한, B.I.W.에 부착되는 각종 구성 부품들의 재료특성, 물리적 특성 및 부착방법 등에 따라 많은 변화가 일어난다. 따라서 본 논문에서는 버스 차체 B.I.W. 유한요소모델에 윈드실드, 백라이트, 도어, 윈도우 등의 부품의 부착이 차량의 진동특성 즉, 진동모드형상 및 고유진동수에 미치는 영향을 살펴본다.

Fig. 1은 본 연구에서 이용한 연구 대상 버스 차량에 대한 B.I.W. 유한요소모델을 나타내고 있으며 초기설계시 통상적으로 사용하는 단순유한요소로 모델을 구성하였다. 즉, 필라, 캔트레일, 웨이스트레일, 등은 빔요소로 모델링하였고, 루프 패널, 사이드 패널, 플로어 패널 등은 쉘요소로 모델링하였으며, 도어필라와 스커드레일, 윈도우필라와 스커드레일 등이 서로 만나는 조인트는 스프링요소로 모델링하였다.

\* 국민대학교 자동차공학 전문대학원  
E-mail : sblee@kmu.kookmin.ac.kr  
Tel : (02) 910-4817, Fax : (02) 910-4718

\*\* 국민대학교 자동차공학 전문대학원

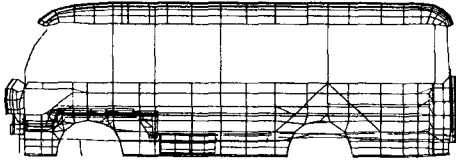


Fig. 1 Finite element model of vehicle B.I.W.

### 2.1 윈드실드 및 백라이트 모델링

차량의 B.I.W.에 부착할 윈드실드 및 백라이트를 Table 1에 나타난 재료 물성치를 이용하여 셀요소(CQUAD4 및 CTRIA3)로 모델링하였다. 윈드실드 및 백라이트는 우레탄 등의 접착제를 이용하여 차체와 부착하므로 접착제 강성을 표현하기 위한 모델링이 이루어져야 한다. 따라서 접착제로 인한 국부적 강성을 표현하기 위하여 Fig. 2에 나타난 인장, 압축, 전단 등 3 방향에 대하여 Table 2의 강성값을 갖는 병진 스프링요소(CELAS2)를 이용하여 모델링하였다. 즉, 윈드실드와 차체가 서로 만나는 부위의 윈드실드의 절점과 차체의 절점에 병진 스프링강성을 부여하기 위한 방향을 갖는 국부좌표계를 설정하고 두 절점 사이에 병진 스프링요소를 만든다.

Table 3에 윈드실드와 백라이트를 차체에 부착한 모델인 Model 1에 대한 진동해석 결과를 나타내고 있다. 이 결과에서 보는 바와 같이 2차 진동모드인 수직 굽힘모드와 3차 진동모드인 수평 굽힘모드는 각각 30.7 Hz와 40.8 Hz에서 32.5 Hz와 43.1 Hz로 5.9 % 및 5.6 %가 증가하였으나, 1차 진동모드인 비틀림모드는 22.1 Hz에서 21.4 Hz로 3.2 % 감소하였다.

이 결과로부터 굽힘모드의 경우 윈드실드와 백라이트의 부착에 따른 굽힘강성 증가에 의해 차량의 굽힘모드에 대한 고유진동수가 증가한 반면, 비틀림모드의 경우 질량효과에 의해 차량의 비틀림 고유진동수가 오히려 감소한 것을 알 수 있다. 이는 승용차의 B.I.W.에 윈드실드 및 백라이트를 붙이는 경우와는 완전히 다르다는 것을 알 수 있다. 즉, 승용차의 경우 윈드실드와 백라이트의 부착에 의하여 비틀림 강성이 크게 증가하기 때문에 차량의 비틀림 고유진동수가 크게 증가하지만 굽힘 고유진동수는 윈드실드와 백라이트의 부착에 따른 질량효과에 의하여 떨어진다<sup>(5)</sup>.

Table 1 Material properties of windshield

Properties	Values
Young's modulus	7.2E+5 (N/mm <sup>2</sup> )
Poisson's ratio	0.22
Density	2.4E-6 (kg/mm <sup>3</sup> )

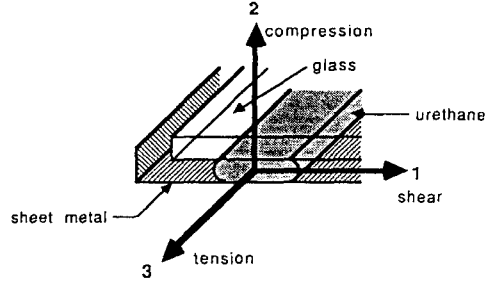


Fig. 2 Local stiffness directions of windshield adhesive

Table 2 Spring rates for windshield adhesive

Unit: (N/mm)/mm

Direction	Type	Spring rate
1	Shear stiffness	5.14
2	Compression stiffness	49.07
3	Tension stiffness	5.45

Table 3 Natural frequencies of vehicle

Unit: Hz, %

Mode	1 <sup>st</sup> mode	2 <sup>nd</sup> mode	3 <sup>rd</sup> mode
	Torsion	Vertical bending	Lateral bending
B.I.W.	22.1	30.7	40.8
Model 1	21.4	32.5	43.1
Percent change	-3.2	+5.9	+5.6

### 2.2 도어 모델링

차체에 부착되는 각종 부품 중에서 도어나 사이드 윈도우는 다른 부품들에 비하여 상대적으로 질량이 크며 차체 B.I.W.와 체결되는 부위에서 상대운동이 존재한다. 따라서 이를 반영하기 위한 적절한 모델링이 수행되어야 하는데 이를 위해 차체 B.I.W.와 도어, 사이드 윈도우 등을 결합시 상대운동이 발생 가능한 방향으로의 자유도를 부여해야 한다.

즉, Fig. 3에서 보는 바와 같이 Front-door의 경우 절점 N175와 N176은 힌지의 운동방향을 고려하여 힌지를 통과하는 z-방향에 대한 자유도를 부여하였으며, N6455는 체결상태를 고려하여 x-방향의 자유도를 부여하였다. 그리고 Mid-door나 Flap-door 같은 원리로 체결되는 부위의 상대운동을 고려하여 모델링 하였다. 또한 Side-window의 경우에는 x-방향의 자유도를 부여하였다.

Model 1에 도어, 윈도우 등을 모델링하여 부착한 Model

2에 대한 진동해석 결과를 Table 4에 나타내었다. 이 결과에서 보는 바와 같이 도어, 윈도우 등의 부착에 의해 강성증가효과보다는 질량증가효과에 의해 고유진동수가 모두 떨어진 것을 알 수 있다.

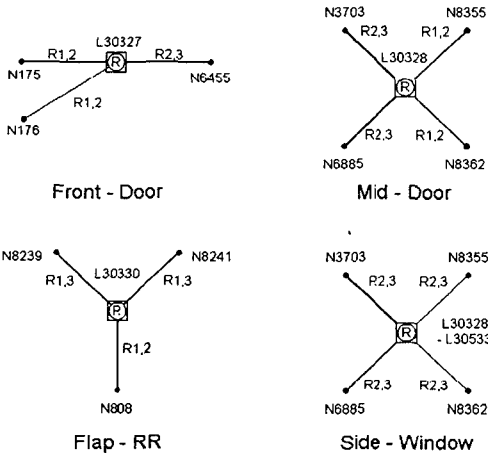


Fig. 3 Modeling of doors and side windows

Table 4 Natural frequencies of vehicle

Unit: Hz, %

Model	Mode	1 <sup>st</sup> mode	2 <sup>nd</sup> mode	3 <sup>rd</sup> mode
		Torsion	Vertical bending	Lateral bending
Model 1		21.4	32.5	43.1
Model 2		20.8	31.8	41.5
Percent change		-2.8	-2.2	-3.7

### 2.3 부가질량 모델링

시트, 인테리어, 계기판, 환기장치 등의 부품 부착으로 인한 차량의 동적특성을 알아보기 위하여 이들 부품을 집중질량요소(CONM2)로 모델링하여 각 부위에 분포시켜 부착하였으며 이를 Model 3으로 정의하였다. 이 모델을 이용하여 진동해석을 수행하였으며 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 이 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 Model 2의 결과와 마찬가지로 시트 등의 부착에 따른 강성증가효과보다는 질량증가효과에 의해 전반적으로 고유진동수가 떨어지는 것을 알 수 있다.

Fig. 4 - Fig. 6에 각 진동모드를 보여주고 있으며, Fig. 7에 B.I.W. 모델로부터 각 단계 모델링 과정에 대한 고유진동수 변화 추이를 보여주고 있다.

Table 5 Natural frequencies of vehicle

Unit: Hz, %

Model	Mode	1 <sup>st</sup> mode	2 <sup>nd</sup> mode	3 <sup>rd</sup> mode
		Torsion	Vertical bending	Lateral bending
Model 2		20.8	31.8	41.5
Model 3		19.5	28.7	38.5
Percent change		-6.3	-9.7	-7.2

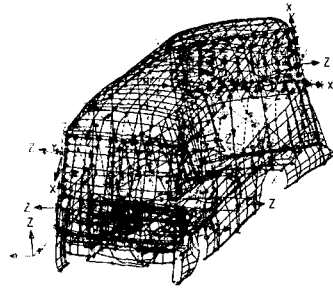


Fig. 4 1<sup>st</sup> vibration mode (torsional mode)

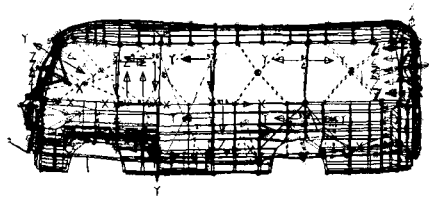


Fig. 5 2<sup>nd</sup> vibration mode (vertical bending mode)

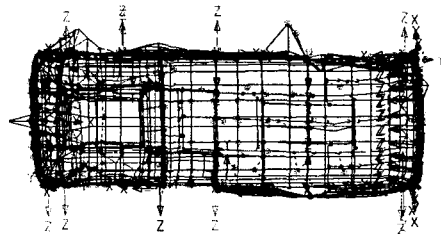


Fig. 6 3<sup>rd</sup> vibration mode (lateral bending mode)

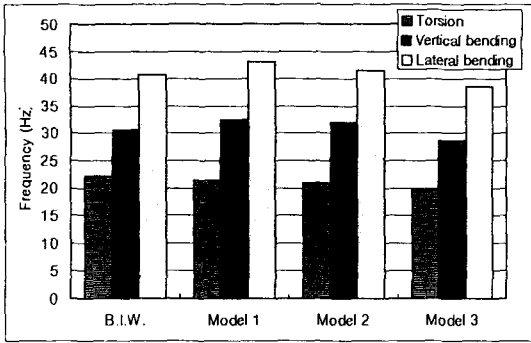


Fig. 7 Change of natural frequencies

### 3. 변형에너지해석

본 연구에서 이용한 차체 유한요소해석모델은 내구평가를 위한 동하중이력계산에 이용될 수 있다. 즉, 차량의 유연성 데이터로서 차체의 주요 진동모드, 정적변형모드 등을 추출할 수 있으며, 이들 변형모드를 차량동역학 프로그램에 입력하여 주행시 차체 및 새시부품에 작용하는 동하중이력을 정확하면서도 효율적으로 계산할 수 있다. 또한 초기설계단계에서 동하중이력계산을 위한 차량동역학 컴퓨터시뮬레이션을 수행하지 않고도 차체의 내구도 취약부위 또는 민감부위를 예측할 수 있는데, 그것은 차체모델의 진동모드에 대한 변형에너지해석을 통하여 가능하다.

따라서 본 연구에서 이용한 차체모델을 상용유한요소해석 프로그램인 MSC/NASTRAN을 이용하여 각 진동모드에 대한 변형에너지해석을 수행하였다.

Table 6에 각 요소별 변형에너지분포를 나타내고 있는데, 1차모드인 비틀림진동의 경우 범요소에 72.7%, 셸요소에 14.3%, 스프링요소에 13.0%의 변형에너지가 저장된다는 것을 알 수 있다. 2차 진동모드인 수직굽힘진동의 경우 범요소에 75.9%, 셸요소에 13.5%, 스프링요소에 10.6%의 변형에너지가 저장된다는 것을 알 수 있다. 3차모드인 수평굽힘진동의 경우 범요소에 59.9%, 셸요소에 35.0%, 스프링요소에 5.1%의 변형에너지가 저장된다는 것을 알 수 있다. 이 Table에서 알 수 있듯이 각 진동모드에 대하여 범요소에 가장 많은 변형에너지가 저장된다는 것을 알 수 있다. 그리고 스프링요소의 경우 질량특성이 없기 때문에 변형에너지 밀도를 계산할 수 없으나 전체 차체 구조물에 대하여 조인트가 차지하는 질량비율이 작음에도 불구하고 스프링요소에 저장되는 변형에너지가 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.

또한 Fig. 8에 각 조인트에 대한 변형에너지를 나타내고 있는데 그림에서 보는 바와 같이 1차 진동모드인 비틀림모드와 2차 진동모드인 수직굽힘모드의 경우 Door pillar-cantrail 조인트에 변형에너지가 많이 저장된다는 것을 알 수 있으며, 3차 진동모드인 수평굽힘모드의 경우 A

pillar-cantrail 조인트에 많은 변형에너지가 저장된다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 변형에너지 분석을 통하여 주요 진동모드에 취약하거나 민감한 조인트를 개략적으로 예측할 수 있다. 이것을 보다 효과적으로 내구평가 및 설계에 반영하기 위해서는 조인트 강성을 증가 범요소로 모델링하여 그 민감도를 정량적으로 평가해야 하며, 또한 각 조인트의 상세한 셸모델을 이용한 응점부위, 구멍부위 등에 대한 응력영향계수 등에 대한 거동해석이 필요하다.

Table 6 Strain energy distribution

Unit: %

Element	Mode	1 <sup>st</sup> mode	2 <sup>nd</sup> mode	3 <sup>rd</sup> mode
	Torsion	Vertical bending	Lateral bending	
Beam	72.7	75.9	59.9	
Shell	14.3	13.5	35.0	
Spring	13.0	10.6	5.1	

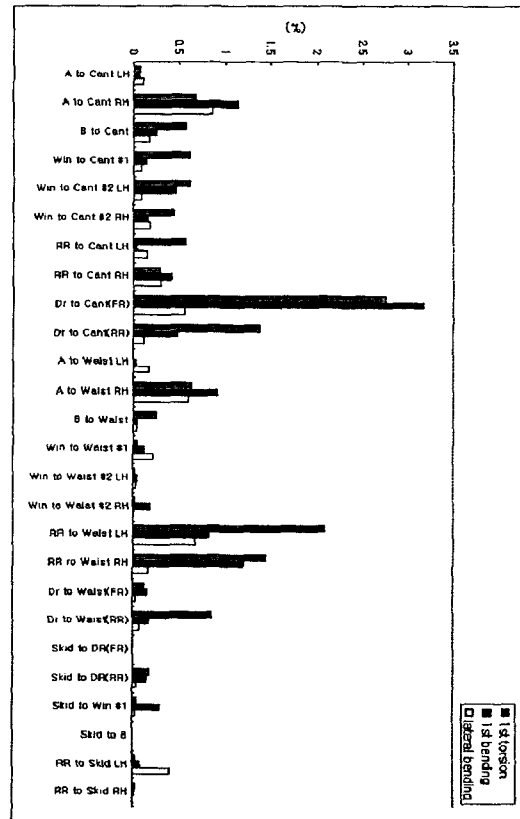


Fig. 8 Strain energy distribution of joints

#### 4. 결론

본 연구에서는 버스 차량 B.I.W.에 부착되는 각종 부품이 차량의 고유진동 특성에 미치는 영향을 분석하였고, 각 진동 모드에 대한 취약부위를 예측하기 위하여 변형에너지해석을 수행하였다.

본 연구를 통하여 윈드실드 및 백라이트는 차량의 굽힘진동 모드에 대한 고유진동수를 높인데 큰 기여를 하지만 비틀림모드에는 질량효과에 의해 오히려 고유진동수를 떨어뜨린다는 것을 알 수 있다. 또한 도어, 윈도우, 시트, 인테리어 등을 부착하는 경우 강성보다는 질량효과의 기여도가 상대적으로 크기 때문에 각 진동모드에 대한 고유진동수를 떨어뜨린다는 것을 알 수 있다. 또한 각 진동모드에 대한 변형에너지해석을 통하여 차체의 내구도 취약부위 및 민감부위를 예측하였다.

#### 참 고 문 헌

- (1) Kamal, M.M. and Wolf, J.A., 1984, *Modern Automotive Structural Analysis*, Van Nostrand Reinhold Co.
- (2) Chang, D.C., 1974, "Effects of Flexible Connections on Body Structural Response", SAE Transactions, Vol.83, pp.233-244.
- (3) Horvath, J.K., 1975, "Structural and System Models", SAE Transactions, Vol.84, pp.640-649.
- (4) 임홍재, 이상범, 1995, "저진동 차체의 필라 설계 및 최적화 기법", 한국소음진동공학회지, 제5권, 제3호, pp.395-402.
- (5) 이상범, 임홍재, 2001, "차량 시스템 모델의 동특성 해석", 대한기계학회 춘계학술대회논문집 B, pp.459-464.