

강성 배분비를 고려한 고강성 경량화 차체 설계

Design of high stiffness and lightweight body for stiffness distribution ratio

양희종†·김기창*·임홍재**·김찬목**

Hee Jong Yang, Ki Chang Kim, Hong Jae Yim, Chan Mook Kim

Key Words :High Stiffness and Lightweight(고강성, 경량화), Stiffness Distribution Ratio(강성 배분비), Strain Energy(변형에너지)

ABSTRACT

Lightweight body can cause a low stiffness due to the decrease of panel thickness and reinforcing member. The other way, high stiffness body demands an increase of mass. Front pillar section area is decreased due to driver's visual field. Global vehicle stiffness is affected by stiffness distribution ratio between upper part and lower part at side body structure. This paper will describe a process used to evaluate the stiffness distribution ratio based on research of strain energy analysis of the tip rotation method. In addition, optimum design schemes are presented for high stiffness and lightweight body structure considering the investigated stiffness distribution ratio. In this way the designer will be aided by a defined design guide and a set of supporting tool to help him work towards a good design

1. 서론

자동차의 설계에 있어서 경량화, 고강성의 차체 설계는 최대 관심사이다. 경량화와 고강성의 두 가지를 만족시키는 것은 매우 어려운 문제이기 때문이다. Panel의 두께를 줄이거나 보강재를 줄여 경량화를 이룬다면 강성 측면에서 문제가 발생하게 되고 강성 증가를 위해 재료의 사용을 늘릴 다면 차량의 질량은 증가 하게 된다.

요즘은 차량의 설계 과정에서 외부 디자인을 중시하고 운전자의 시계성 확보를 위해서 A Pillar를 포함한 차량의 Upper부의 Joint는 단면이 감소되고 있는 추세이고 이와는 반대로 차량의 충돌 성능을 고려하여 Rocker를 포함한 Lower 부의 Joint는 단면이 증가하고 보강재의 사용을 늘려 강성을 더 키우는 추세로 나아가고 있다. 이로 인해 차

량의 골격강성에서 Upper부는 강성이 저하되고 반대로 Lower부는 강성이 더 커짐에 따라 Upper와 Lower 간의 강성 배분비의 차는 점점 더 커지게 되었다. 하지만 이러한 불균형적인 강성 배분비는 전체 차량 강성에 있어서 좋지 않은 결과를 초래하고 있다.

본 논문은 실제로 동일한 등급의 두 모델을 비교 평가하여 강성 배분비가 전체 차량 강성에 미치는 영향을 살펴보고 두 차 중간에 단면 특성치, 기하학적 구조, 보강재의 사용 정도를 비교하여 강성 배분비적 측면에서 설계 개선 요인을 찾아 분석하였다. 또 결합부 강성에 영향을 미치는 중요 인자를 형상변경 Design Study를 통해 선별하여 분석하였고 마지막으로 설계 초기 단계에서 설계자가 강성 배분비를 고려하여 고강성, 경량화 차체 설계를 할 수 있도록 최적의 결합부 설계 가이드를 제시하고자 한다.

2. 강성 배분비

2.1 강성 배분비의 개념

Fig.1 은 A-car 차량의 BIW 모델의 진동 Mode에 대한 Strain Energy를 분석한 결과이다. 비틀림 모드에서는 APU (A Pillar Upper) APC (A Pillar Center)에서 많은

† 국민대학교 자동차전문 대학원
E-mail : sodo98@hanmail.net
Tel : (02) 914-8812.

* 현대 자동차

** 국민대학교 기계자동차공학부

Strain Energy가 저장되는 것을 확인 할 수 있고 굽힘 모드에서는 BPL (B Pillar Lower)에서 많은 Strain Energy가 저장됨을 알 수 있다. 이를 통해 비틀림 강성과 굽힘 강성에 대한 강성 취약부를 알 수 있는데 비틀림 모드에서는 APU, APC가 강성이 취약하고 굽힘 모드에서는 BPL가 강성이 취약하다고 판단 할 수 있다. 다시 말해 차량 골격 강성에서 비틀림 강성을 개선시키고 자 한다면 APU, APC의 강성을 증가 시켜 비틀림 강성을 증가 시키고 굽힘 강성을 증가 시키고자 한다면 BPL의 강성을 증가 시켜 굽힘 강성을 증가시킴으로써 전체 차량에 대한 효과적인 강성 증가를 기대할 수 있다.

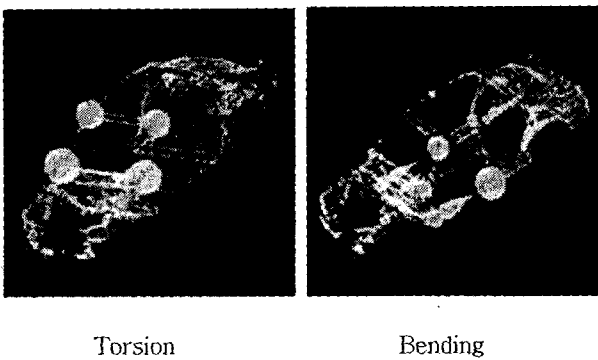


Fig.1 비틀림과 굽힘 모드에 대한 Strain Energy 분석

Upper와 Lower 간에 강성 배분을 평가하기 위해서 A-car와 동일한 등급의 B-car를 비교하였다. 5개의 동일한 길이를 갖는 Joint (A Pillar Upper, A Pillar Center, A Pillar Lower, B Pillar Upper, B Pillar Lower)를 Fig.2에서처럼 끝단 모멘트 법을 이용하여 조인트의 강성을 평가하였다. BPU의 경우, Roof Rail의 양 끝단을 Rigid 요소로 고정시키고 Center Pillar 끝단에서 Global Coordinate의 3축 방향으로 단위 모멘트를 작용시키게 된다. 이때 Joint에 발생하는 3 축방향의 Strain Energy합의 평균의 비를 가지고 평가를 하게 된다.

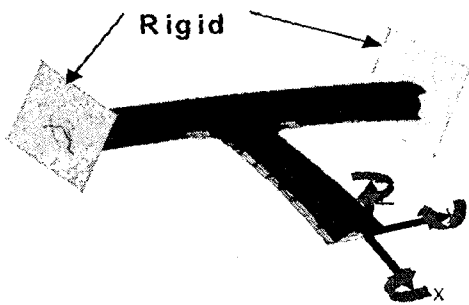


Fig.2 강성 배분비 평가 방법

2.2 강성 배분비의 비교 분석

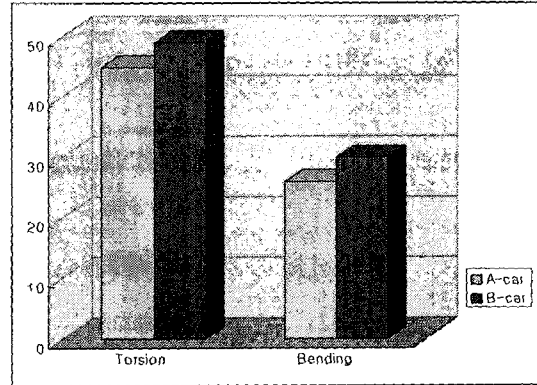


Fig.3 강성 배분비 감소로 인한 강성 증가 비교

강성 배분비의 영향을 살펴보기 위해 Mother car인 A-car와 Mother car를 기준으로 비틀림 강성과 굽힘 강성이 개선된 동급 차량인 B-car의 강성 증가를 비교해 보았다. Fig.3에서 B-car는 A-car와 비교하여 비틀림 강성과 굽힘 강성의 증가가 이루어졌음을 확인 할 수 있었다.

Fig.4는 두 모델의 강성 배분비를 비교한 표이다. APU의 강성을 1로 봤을때 A-car는 Upper 부와 Lower 부의 강성차가 13.5배가 나는 것을 확인 할 수가 있고 B-car의 경우 Upper 부와 Lower 부 간의 강성차는 A-car 보다 훨씬 적은 5.6배가 됨을 확인 할 수 있다. 이를 통해 Upper 부와 Lower부의 강성 배분비의 차가 적을수록 골격 강성이 증가한다는 것을 알 수가 있고 설계 초기 단계에서 강성 배분비를 고려한 설계를 한다면 보다 효과적으로 차량의 골격 강성을 증가 시킬 수 있을 것이다.

NO	JOINT	DIRECTION	STRAIN ENERGY DENSITY ($\times 10^3 \text{ KJ/mm}^2$)	
			A-CAR (강성배분비)	B-CAR (강성배분비)
1	A-PLR-UPR	Mx	1.682	0.896
		My	0.489	0.194
		Mz	0.408	0.359
		Total	0.853 (1)	0.462 (1)
2	A-PLR-CTR	Mx	0.651	0.351
		My	0.142	0.078
		Mz	0.173	0.111
		Total	0.389 (2.2)	0.227 (2)
3	A-PLR-LWR	Mx	0.127	0.145
		My	0.050	0.025
		Mz	0.225	0.135
		Total	0.204 (4.2)	0.099 (4.7)
4	B-PLR-UPR	Mx	1.436	0.814
		My	0.175	0.191
		Mz	0.426	1.345
		Total	0.686 (1.2)	0.421 (1.1)
5	B-PLR-LWR	Mx	0.195	0.157
		My	0.022	0.019
		Mz	1.381	0.671
		Total	0.063 (13.5)	0.083 (5.6)

Fig.4 강성 배분비 비교

동일한 등급의 차량인 A-car와 B-car에서 A-car 와 비교하여 B-car의 경우 강성 배분비 측면에서 A-car보다 개선된 것을 앞에서 확인 할 수 있다. Fig.5는 두 모델 간에 단면 Property를 비교한 그래프이다.

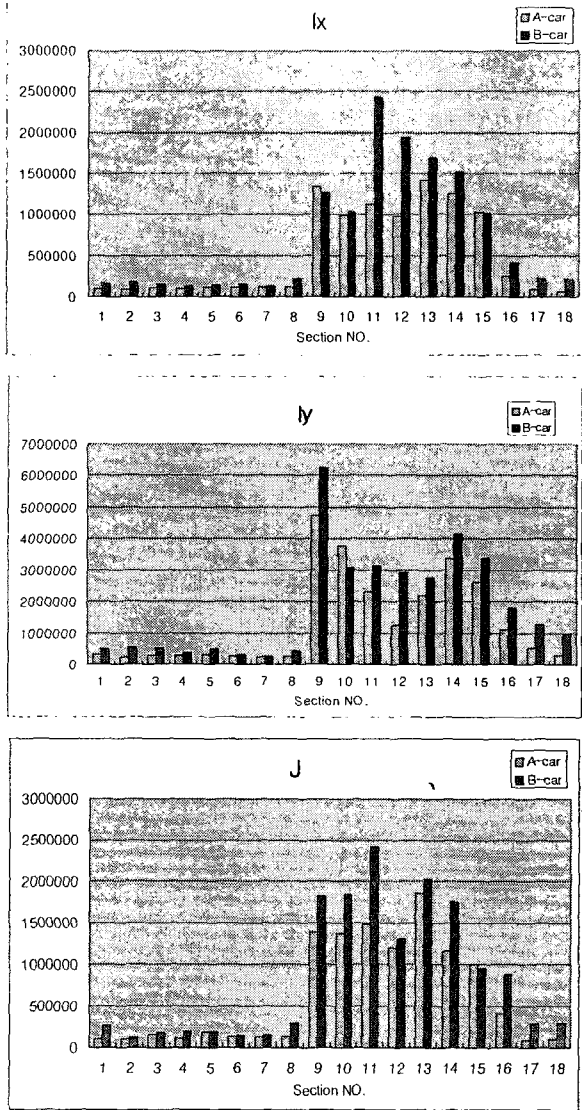


Fig.5 A-car, B-car 단면 Property 비교

Fig.5에서 확인 할 수 있듯이 단면 Property Ix, Iy, J, 는 전반적으로 B-car가 더 크다는 것을 확인 할 수 있다. 차량 강성에 영향을 미치는 단면 Property의 개선은 결국 B-car의 골격 강성을 증가시키는 요인이 된다.

Fig.6에서 Area (강판의 단면 길이 × 강판의 두께)는 부분적으로 A-car가 더 크게 나오는 단면이 존재하는 것을 확인 할 수 있었다, 하지만 전체 차량 강성 측면에서 B-car가 더 강한 강성을 확보하고 있다. 이는 B-car가 A-car에 비하여 부분적으로 얇은 강판을 사용하였지만 차량 강성에

직접적인 영향을 미치는 Box Area를 더 키움으로써 단면 Property 인 Ix, Iy, J 값을 증가 시켰기 때문에 더 큰 강성을 확보 할 수 있었다.

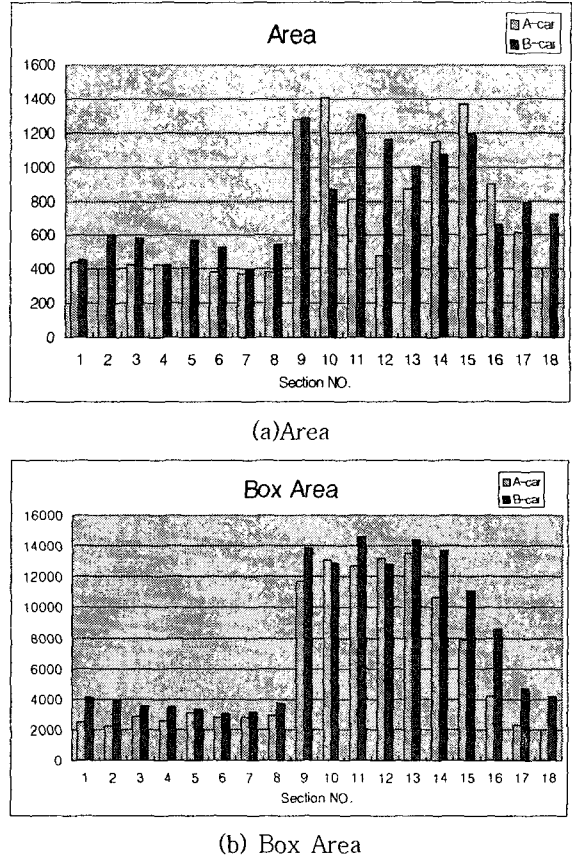


Fig.6 A-car, B-car의 Area 와 Box Area 비교

2.3 강성 배분비 설계

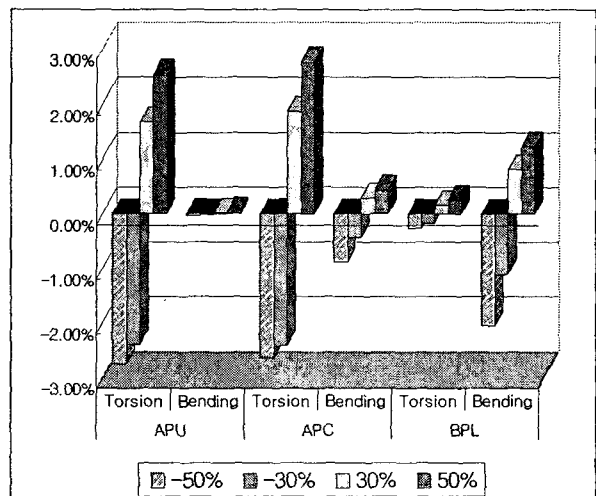


Fig.7 강성 배분비 변화에 따른 강성비교

앞에서 차량의 강성을 증가시키기 위하여 Upper 부와 Lower 부 간에 강성차가 적을수록 차량의 골격 강성에 유리하다는 것을 확인 할 수 있었다. A-car의 BIW 모델을 통하여 비틀림과 굽힘 강성에 영향을 많이 미치는 APU 와 APC 그리고 BPL에서 스프링 강성 K값을 조정함으로써 강성 배분비를 변화 시켰을 경우 차량 골격 강성에 미치는 영향을 알아보았다.

Fig.7은 A-car의 BIW 모델에서 인위적으로 스프링 결합부 강성 K값을 조정함으로써 전체 골격강성의 변화를 비교한 그래프이다. APU와 APC 의 결합부의 강성 값을 30%, 50% 늘려서 강성 배분비 차를 줄인다면 굽힘 강성에 미치는 영향은 작지만 비틀림 강성의 증가가 많은 것을 확인 할 수가 있다. 반대로 BPL의 스프링 강성 값 K를 줄여 강성 배분비를 줄이는 결과를 만들었을 경우는 오히려 비틀림과 굽힘 강성 모두 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

이를 통해 강성 배분비를 고려한 차체 설계를 위해서는 Lower 부의 강성을 줄여 강성 배분비 차를 줄이는 것 보다는 Upper 부의 강성을 키워서 강성 배분비 차를 줄이는 것이 보다 효과적인 골격 강성 증가의 방법이라 하겠다.

3. 설계 개선 방안 제시

Upper 부의 강성 증가를 위해서 APU와 APC의 Box Area 를 더 키워야 하지만 운전자 시계성 확보를 위하여 단면의 증가가 제한적이기 때문에 Upper 부의 강성 증가는 매우 어려움이 따른다. 따라서 단면 property를 개선시키는 방향으로 Upper부의 강성을 강화 시켜야 한다. 하지만 강판의 두께를 늘리거나 보강재의 사용을 늘리면 차량의 무게가 증가하기 때문에 보강재의 형상을 변경 통하여 무게 증가는 최소한으로 줄이고 강성을 증대 시킬 수 있는 방안을 생각해 야 한다.

APC는 구조상 A pillar와 FBHP의 사이에 Fig.8에서처럼 꺾여 있는 형태로 Design이 이루어 진다.

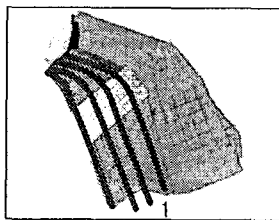


Fig.8 APC Round의 변화

Fig.9은 Fig.8에서 처럼 APC Round화가 이루어져 골목이 완만해질 경우 차량 골격 강성의 변화를 나타낸 그래프이다. APC Inner Panel와 Outer Panel 모두 Round화가 더 이루어질수록 차량의 비틀림 강성과 굽힘 강성이 증가하게 된다.

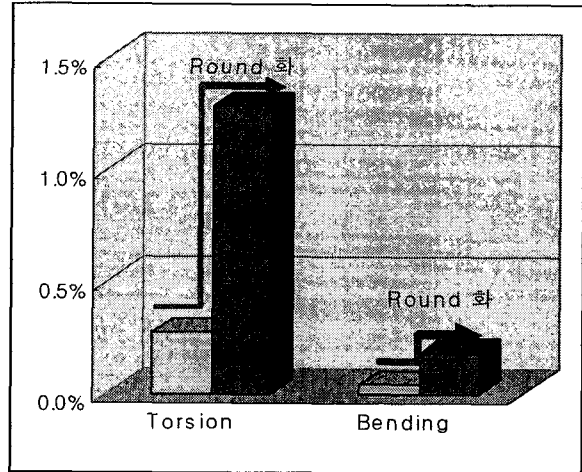


Fig.9 Round 변화에 따른 강성 변화

APU와 APC의 경우 단면적의 증가가 제한적이기 때문에 보강재의 위치를 변경하여 Design Study를 수행 하였다. Fig.10에서 확인 할 수 있듯이 A의 경우에서처럼 보강재가 Inner Panel에 가깝게 위치할수록 비틀림 강성은 저하되고 B의 경우처럼 보강재의 위치가 Outer Panel 쪽으로 이동할수록 비틀림 강성이 개선되는 것을 확인 할 수 있었다.

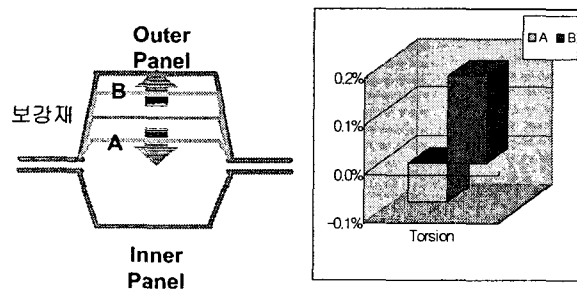


Fig.10 보강재 위치 변화에 따른 강성 변화

4. 결론

차량의 골격 강성 증가를 위해 Strain Energy 해석 결과 비틀림 강성과 굽힘 강성에 대하여 중요한 설계 부위를 파악 할 수 있었다. 차량의 BIW 모델에서 Upper부라 할 수 있는 APU와 APC는 비틀림 강성에 중요한 역할을 하고 Lower부라 할 수 있는 BPL은 굽힘 강성에 많은 영향을 끼

치고 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 Mother car 인 A-car와 A-car를 기반으로 설계 개선이 이루어진 B-car를 비교하여 단면 Property 및 설계 개선 사항을 살펴보고 차량의 골격 강성을 강성 배분비 측면에서 살펴보았을 때 Upper와 Lower 간에 강성 배분비 차가 적을수록 전체 차량의 골격 강성 증가에 유리하다는 결론을 얻게 되었다.

강성 배분비적인 측면에서 차량의 골격 강성을 개선시키기 위하여 Lower부의 강성 줄여 강성 배분비의 차를 줄이는 방법 보다는 Upper 부의 강성을 키워 강성 배분비의 차를 줄이는 것이 효과적이다. Lower부의 강성을 줄일 경우 전체 강성에 악영향을 미치고 특히 굽힘 강성에 상당한 취약성을 보이고 Upper 부의 강성 증가로 인한 강성 배분비 감소는 차량의 골격 강성에서 비틀림과 굽힘 강성 증가에 효과적인 방법이기 때문이다.

하지만 Upper부는 운전자의 시계성 확보를 위해 단면적의 늘리는 데는 한계가 있고 보강재를 추가하면 차량의 질량이 상승하게 된다. 따라서 내부 보강재의 위치를 변경하여 강성 증대의 방안을 모색하거나 질량 상승폭은 적고 강성을 증가시킬 수 있는 구조 강성재의 사용도 좋은 강성 증가 방법이라 하겠다.

참 고 문 헌

- (1) Ki Chang. Kim, and In Ho. Choi, Hyundai Motor Co, 2005, "A Study on the development Process of a Body with High Stiffness", SAE 2005-01-2464.
- (2) Guy S. Nusholtz, DaimlerChrysler Corporation, 2004, "Vehicle Mass and Stiffness : Search for a Relationship", SAE 2004-01-1168
- (3) S. Edward Law, DaimlerChrysler Corporation, 2001, "A Method to Improve the Finite Element Representation of Joints in Hybrid Model of Vehicle Structure", SAE 2001-01-0763
- (4) 김윤영, 강정훈, 송상현, 1997, "센터 필라-루프레일 조인트의 저진동 해석 : 모델링 기법과 문제점", 한국 자동차 공학회 논문집 제 5권 제 1호 한국 자동차 공학회 , pp. 59 ~ 68.
- (5) 임홍재, 이상범, 1995, "저진동 차체의 필라 설계 및 최적화 기법", 소음 진동 공학회 학회지 제 5권 제 3호 , 한국 소음 진동 공학회, pp. 395 ~ 402.