

강성 배분비를 고려한 고강성화 경량화 차체 설계

Design of High Stiffness and Lightweight Body for Stiffness Distribution Ratio

양 희 종* · 김 기 창** · 임 시 형*** · 김 찬 목*** · 임 홍 재†

Hee Jong Yang, Ki Chang Kim, Si-Hyung Lim, Chan Mook Kim and Hong Jae Yim

(2007년 2월 27일 접수 ; 2007년 10월 2일 심사완료)

Key Words : Stiffness Distribution Ratio(강성 배분비), Strain Energy(변형에너지)

ABSTRACT

Lightweight body due to the decrease of panel thickness and reinforcing member might cause low stiffness. On the other hand, high stiffness body requires an increase of mass. Front pillar section area has been decreased for increasing the driver's visual field. Global vehicle stiffness is affected by stiffness distribution ratio between upper part and lower part at a side body structure. This paper describes a process used to evaluate the stiffness distribution ratio based on strain energy. In addition, optimum design schemes are presented for high stiffness and lightweight body structure considering the investigated stiffness distribution ratio.

1. 서 론

자동차의 설계에 있어서 경량화, 고강성의 차체 설계는 최대 관심사이다. 경량화와 고강성의 두 가지를 만족 시키는 것은 매우 어려운 문제이기 때문이다. Panel의 두께를 줄이거나 보강재를 줄여 경량화를 이룬다면 강성 측면에서 문제가 발생하게 되고, 강성 증가를 위해 재료의 사용을 늘린다면 차량의 질량은 증가 하게 된다⁽¹⁾.

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 lower부의 joint는 단면이 증가하고 보강재의 사용을 늘려 강성을 더 키우는

추세로 나아가고 있다. 이로 인해 차량의 골격강성에서 upper부는 강성이 저하되고 반대로 lower부는 강성이 더 커짐에 따라 upper와 lower간의 강성 배분비의 차는 점점 더 커지게 되었다. 이러한 불균형적인 강성 배분비는 전체 차량 강성에 있어서 좋지 않은 결과를 초래하고 있다⁽²⁾.

이 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 형상 변경 design study를 통해 선별하여 분석하였고, 마지막으로 설계 초기 단계에서 설계자가 강성 배분비를 고려하여 고강성, 경량화 차체 설계를 할 수 있도록 최적의 결합부 설계 가이드를 제시하였다.

2. 강성 배분비

2.1 강성 배분비의 개념

† 교신저자 : 정희원 국민대학교 기계자동차공학부

E-mail : hjyim@kookmin.ac.kr

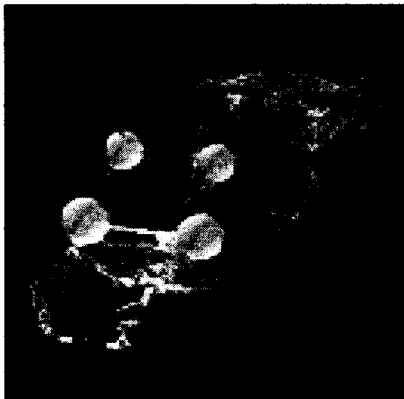
Tel : (02) 910-4688, Fax : (02) 910-4839

* 국민대학교 자동차전통대학원

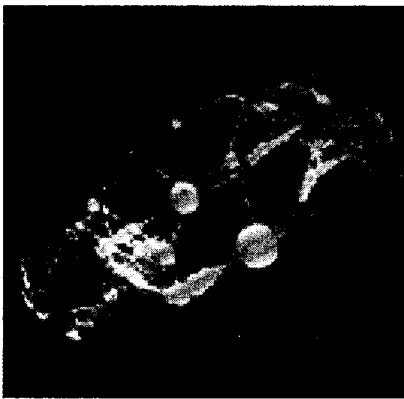
** 정희원, 현대자동차

*** 정희원, 국민대학교 기계자동차공학부

Fig. 1은 A-car 차량의 BIW 모델의 진동 mode에 대한 strain energy를 분석한 결과이다. 비틀림 모드에서는 APU(A pillar upper), APC(A pillar center)에서 많은 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



(a) Torsion



(b) Bending

Fig. 1 Strain energy distribution of BIW

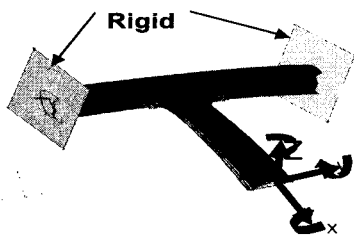


Fig. 2 Tip moment method

APU, APC가 강성이 취약하고 굽힘 모드에서는 BPL이 강성이 취약하다고 판단 할 수 있다. 다시 말해 차량 골격 강성에서 비틀림 강성을 개선시키고자 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.

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⁽³⁾. BPU의 경우, roof rail의 양 끝단을 rigid요소로 고정하고 center pillar 끝단에서 global coordinate의 3축 방향으로 단위 모멘트를 작용시키게 된다. 이러한 5개의 joint에 발생하는 3축방향의 strain energy의 산술평균의 비(강성배분비)를 가지고 upper와 lower 간에 강성 배분을 평가를 하게 된다.

2.2 강성 배분비의 비교 분석

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 확인할 수 있었다.

Table 1은 두 모델의 강성 배분비를 비교한 표이다.

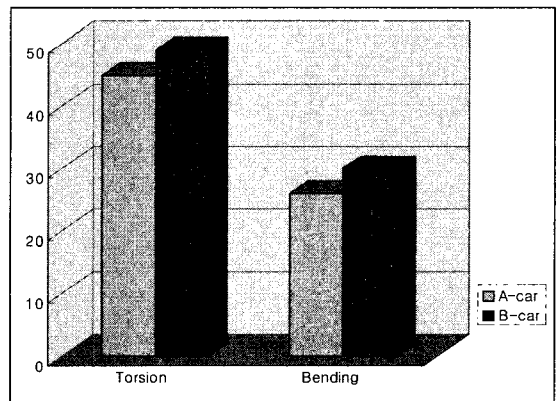


Fig. 3 Test data for body global stiffness

Table 1 The analysis data of body joint stiffness

No.	Joint	Direction	Strain energy density ($\times 10^{-12}$ Kgf/mm ²)	
			A-car (Stiffness distribution ratio)	B-car (Stiffness distribution ratio)
1	A PLR UP	Mx	1.682	0.848
		My	0.389	0.189
		Mz	0.488	0.350
		Total	0.853(1)	0.462(1)
2	A PLR CTR	Mx	0.651	0.364
		My	0.142	0.076
		Mz	0.373	0.241
		Total	0.389(2.2)	0.227(2)
3	A PLR LWR	Mx	0.337	0.145
		My	0.050	0.023
		Mz	0.225	0.130
		Total	0.204(4.2)	0.099(4.7)
4	B PLR UPR	Mx	1.438	0.814
		My	0.175	0.101
		Mz	0.444	0.348
		Total	0.686(1.2)	0.421(1.1)
5	B PLR LWR	Mx	0.119	0.168
		My	0.009	0.010
		Mz	0.061	0.072
		Total	0.063(13.5)	0.083(5.6)

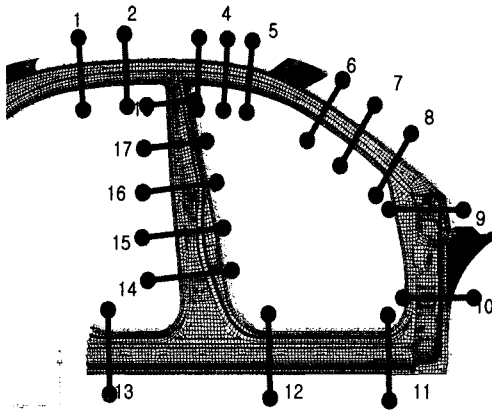
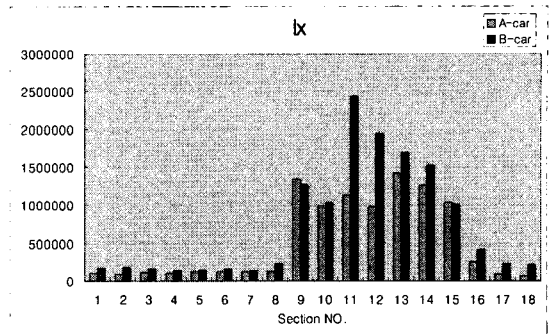
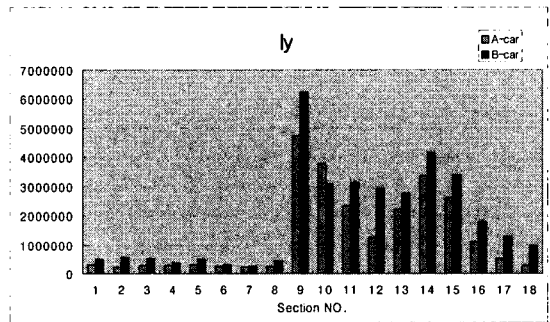


Fig. 4 Key section properties

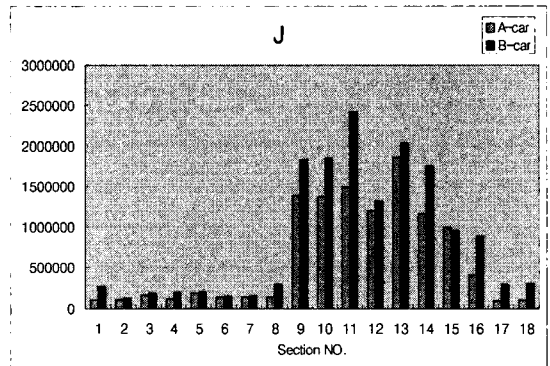
APU의 강성을 1로 보았을 때 A-car는 upper부와 lower부의 강성 차이가 13.5배가 나는 것을 확인할 수가 있고, B-car의 경우 upper부와 lower부 간의 강성차는 A-car 보다 훨씬 적은 5.6배가 됨을 확인



(a) I_x of key section



(b) I_y of key section



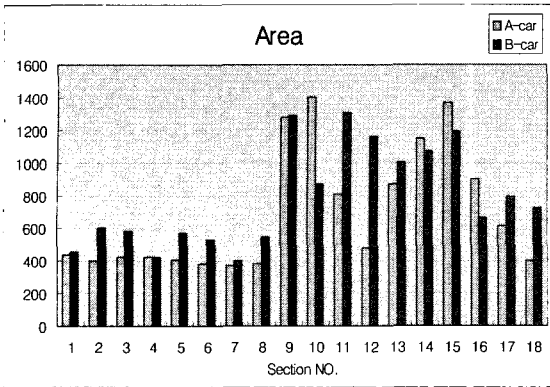
(c) J of key section

Fig. 5 Key section properties

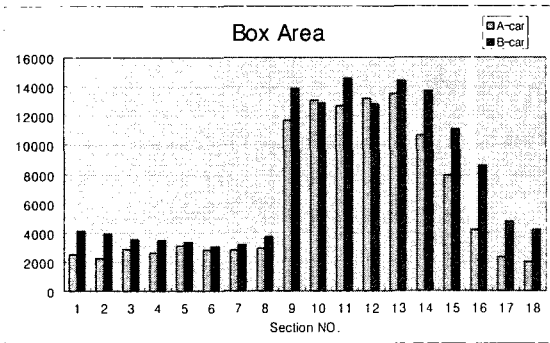
할 수 있다. 이를 통해 upper부와 lower부의 강성 배분비의 차가 적을수록 골격 강성이 증가한다는 것을 알 수가 있고, 설계 초기 단계에서 강성 배분비를 고려한 설계를 한다면 보다 효과적으로 차량의 골격 강성을 증가시킬 수 있을 것이다.

동일한 등급의 차량인 A-car와 B-car에서 A-car와 비교하여 B-car의 경우 강성 배분비 측면에서 A-car보다 개선된 것을 앞에서 확인할 수가 있다.

Fig. 4에서와 같이 A-car와 B-car의 단면 계수를 비교하기 위해 동일한 부분에 주요 단면을 선별



(a) Area of key section



(b) Box area of key section

Fig. 6 Area and box area

하였으며, 두 모델 간의 단면 property를 비교하였다(Fig. 5).

Fig. 5에서 확인할 수 있듯이 단면 property I_x , I_y , J 는 전반적으로 B-car가 더 크다는 것을 확인할 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 비교적 더 크어도 불구하고, 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 property인 I_x , I_y , J 값을 증가시켰기 때문에 더 큰 강성을 확보할 수 있었다.

2.3 강성 배분비 설계

앞에서 차량의 강성을 증가시키기 위하여 upper 부와 lower부 간에 강성차가 적을수록 차량의 골격

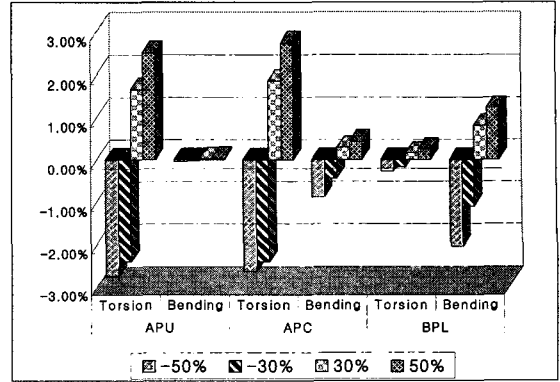


Fig. 7 Stiffness change for stiffness distribution ratio variation

강성에 유리하다는 것을 확인할 수 있었다. A-car의 BIW 모델을 통하여 비틀림과 굽힘 강성에 영향을 많이 미치는 APU와 APC 그리고 BPL에서 스프링 강성 K값을 조정함으로써 강성 배분비를 변화시켰을 경우 차량 골격 강성에 미치는 영향을 알아보았다.

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

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

3. 설계 개선 방안 제시

Upper부의 강성 증가를 위해서 APU와 APC의 box area를 더 키워야 하지만 운전자 시계성 확보를 위하여 단면의 증가가 제한적이기 때문에 upper부의 강성 증가는 매우 어려움이 따른다. 따라서 단면 property를 개선시키는 방향으로 upper부의 강

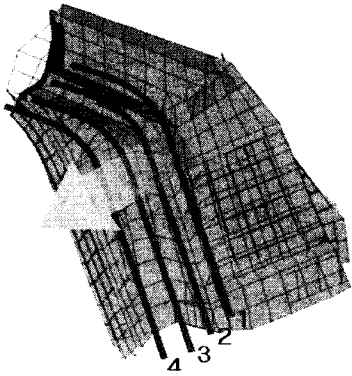


Fig. 8 APC outer panel round variation

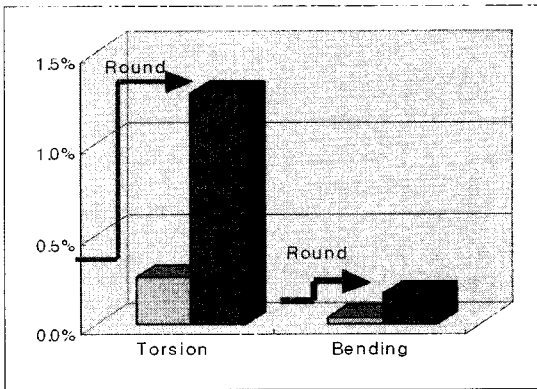


Fig. 9 Stiffness change due to round variation

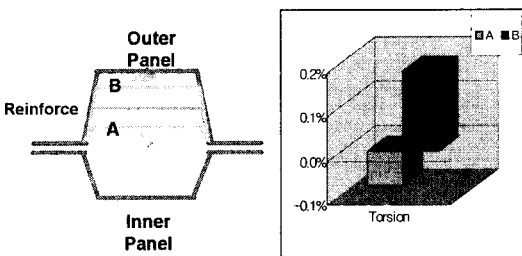


Fig. 10 Stiffness change due to the position variation of reinforcement member

성을 강화 시켜야 한다. 그러나 강판의 두께를 늘리거나 보강재의 사용을 늘리면 차량의 무게가 증가하기 때문에 보강재의 형상을 변경 통하여 무게 증가는 최소한으로 줄이고 강성을 증대 시킬 수 있는 방안을 생각해야 한다.

APC는 구조상 A pillar와 FBHP의 사이에 Fig. 8에서처럼 꺾여 있는 형태로 design이 이루어진다.

Fig. 9는 Fig. 8에서처럼 APC round화가 이루어져

굴곡이 완만해질 경우 차량 골격 강성의 변화를 나타낸 그래프이다. APC inner panel와 outer panel 모두 round화가 더 이루어질수록 차량의 비틀림 강성과 굽힘 강성이 증가하게 된다. 또한, APU와 APC의 경우 단면적의 증가가 제한적이기 때문에 보강재의 위치를 변경하여 design study를 수행하였다. Fig. 10에서 확인 할 수 있듯이 A의 경우에서처럼 보강재가 inner panel에 가깝게 위치할수록 비틀림 강성은 저하되고 B의 경우처럼 보강재의 위치가 outer panel 쪽으로 이동 할수록 비틀림 강성이 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

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 끼치고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 mother car인 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 차이가 적을수록 전체 차량의 골격 강성 증가에 유리하다는 결론을 얻게 되었다.

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

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

참고 문헌

- (1) Nusholtz, G. S., 2004, "Vehicle Mass and Stiffness : Search for a Relationship", SAE 2004-01-1168.
- (2) Kim, K. C. and Choi, I. H., 2005, "A Study on the Development Process of a Body with High Stiffness", SAE 2005-01-2464.
- (3) Yim, H. J., Kim, Y. Y., Lee, S. B. and Song, M. Y., 1995, "Modeling and Vibration Analysis of Vehicle Structures Using Equivalent Beam Stiffness for Joint", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 40~44.
- (4) Kim, Y. Y., Kang, J. H. and Song, S. H., 1997, "Low-frequency Vibration Analysis of a Center Pillar-to-roof Rail Joint : Modelling Technique and Problems", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 5, No. 1, pp. 59~68.
- (5) Yim, H. J. and Lee, S. B., 1995, "Technology for Initial Design and Analysis of Vehicle Pillar Structures for Vibration", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 395~402.
- (6) Law, S. E., 2001, "A Method to Improve the Finite Element Representation of Joints in Hybrid Model of Vehicle Structure", SAE 2001-01-0763.