한국기계가공학회지, 제14권, 제2호, pp.44～50(2015.4) ISSN 1598~6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.14 No.2, pp.44～50(2015.4) ISSN 2288-0771(Online)

http://dx/doi.org/10.14775/ksmpe.2015.14.2.044

# 자동차 언더바의 구조 및 피로해석을 통한 내구성 연구

**한문식*, 조재웅**,#**
*계명대학교 자동차공학과, **공주대학교

# A Study on Durability of Under Bar at Car through Structural and Fatigue Analysis

Mu Shick Han*, Jae-Woong JO**,#
* keimyung University Mechanical and Automotive Engineering Dept. ** Kongju National University Mechanical and Automotive Engineering Div.
(Received 9 October 2014; received in revised from 13 January 2015; accepted 28 January 2015)

## ABSTRACT

This study investigated the durability of the under bar of a car through structural and fatigue analysis. Model 1 had the lowest value among three kinds of models. In the case of the maximum equivalent stress and displacement at structural analysis, model 1 showed the highest durability. Also, models 3 and 2 showed structural durability in order of this value. In the case of fatigue analysis, the maximum fatigue lives of the three models were equal to $2\times10^7$cycles. However, model 1 showed the highest value among the three models, as the minimum fatigue life of model 1 becames 92.56 cycles. Also models 3 and 2 showed fatigue durability in order of this value. The maximum possibility of fatigue damage for models1,2,and 3 became 30%. If the results of this study are applied to change the design shape of the under bar of cars, the ride comfort for automobile passengers and car durability can be improved.

**Key Words :** Under bar(언더바), Fatigue life(피로수명), Fatigue damage(피로 손상), Damage possibility(손상 가능성), Durability(내구성)

## 1. 서 론

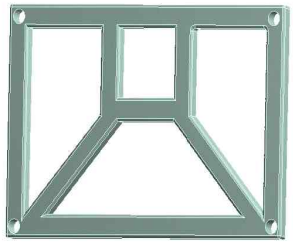
자동차의 승차감을 결정하는 것은 서스펜션이다. 서스펜션은 자동차가 받는 충격을 완화해준다. 또 타이어의 접지력을 높여 엔진의 힘을 노면에 전달하고 방향을 틀 때 차량의 자세를 제어한다. 1900년대 이전 원시적 형태의 자동차가 등장했을 때는 잘 닦여진 포장도로는 찾아보기 힘들었다. 당시엔 탑승자가 느끼는 충격이 커서 서스펜션의 도입과 개발을 통하여 승차감을 양호하게 하였다[1-3]. 최근에는 뒤틀어짐을 막고 차체 강성을 향상시키기 위해서 자동차 하부에 장착하는 언더바가 인기리에 있다. 차체 하부 앞과 뒤, 좌우에 파이프를 달아 차체 강성을 보강하는 방식이다. 실제로 언더바를 달게되면 서스펜션의 불필요한 움직임이 줄어들고, 단단한 차체 때문에 승차감이 좋아진다. 이에 따라 본 논문에서는 세 가지 언더바의 모양을 찾아보았고, CATIA를 이용하여 모델링하였으며, 이를 해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 구조 및 피로해석을 수행[4,5]함으로써 동일한 자동차 주행 조건하에서 어떠한 형상의 언더바가 더 내구성이 있는가를 고찰해 보았다[6].

# Corresponding Author : jucho@kongju.ac.kr
Tel: +82-41-521-9271, Fax: +82-41-555-9123

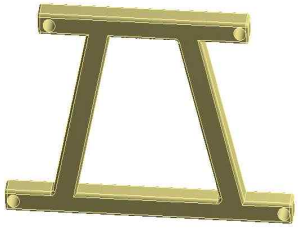
## 2. 연구 모델 및 구속조건

### 2.1 연구모델 및 구속조건

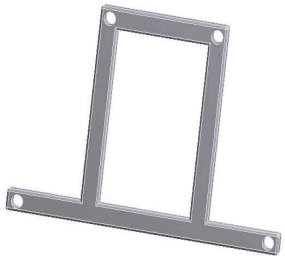
자동차의 현가장치 종류중의 하나인 언더바를 모델로 하였고, 동일한 힘을 주었을 때 언더바의 모양(형상)에 따른 구조 변화를 알아본다. 모델의 형상은 실제로 판매되는 언더바의 형상을 참조하여 CATIA를 이용하여 모델링한 후 ANSYS를 이용하여 해석하였다. Fig. 1은 시중에서 잘 사용되는 Model 1, 2, 3에 대한 세 가지 모델들에 대한 모양들이다. Fig. 2는 이 세 가지의 형상들에 대한 Mesh들을 보여준다. 모델들의 물성치는 Table 1에 나타나 있다[7].



**(a) Model 1**

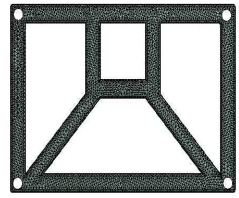


**(b) Model 2**

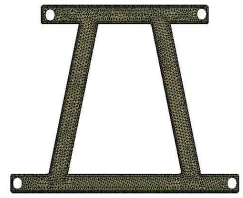


**(c) Model 3**

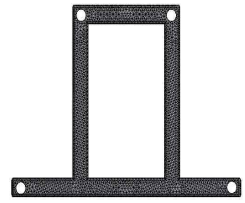
**Fig. 1 Models of Under Bar**



**(a) Model 1**



**(b) Model 2**



**(c) Model 3**

**Fig. 2 Meshes of analysis models**

**Table 1 Material property**

| | |
|---|---|
| Density | 2770 kg/m³ |
| Young's Modulus | 71 GPa |
| Poisson's Ratio | 0.33 |
| Tensile Yield Strength | 280 MPa |
| Compressive Yield Strength | 280 MPa |
| Tensile Ultimate Strength | 310 MPa |

세 가지 모델들의 구속 조건은 Fig. 3에서 보는 것과 같이 언더바의 나사부분과 자동차가 결착되는 부분을 고정시켰고, 한쪽 방향에서 충격을 받는다고 가정하였다. 충격 하중 조건으로서는 언더바는 통상 작용될 수 있는 25kg의 하중이 작용하여 자동차가 시속 108km/h로 가다가 충돌이 된다고 가정하였다. 따라서 충돌 속도는 30m/s 가 되고 통상적으로 짧은 시간을 0.05초로 보기 때문에 충돌시간을 0.05초로 하였다. 따라서 25Kg의 하중으로서 언더바에 접촉

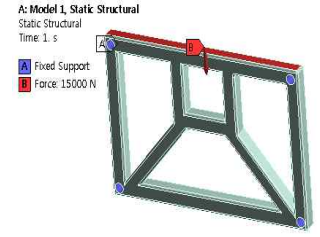
한 순간부터 0.05초 동안의 짧은 시간에 (1)식과 같이 일정한 운동량으로 가해진다고 가정하였다.

$$\triangle \quad m \times v = 25 \times 30 = 750kg \bullet m/\sec \qquad (1)$$

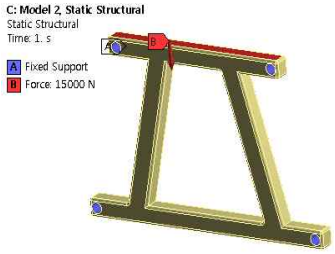
따라서 충격량에 의하여 가해지는 충격력은

$$F = \frac{\triangle P}{\triangle t} = \frac{750kg \bullet m/\sec}{0.05\sec}$$
$$= 15000\, kg \bullet m/\sec \ = 15000N$$

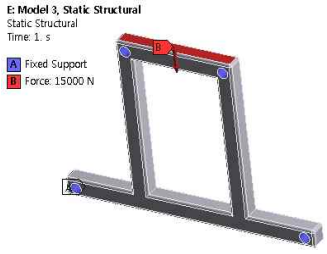
이 된다.
그러므로 세 가지 모델들은 동일한 조건으로서 15000N의 힘을 받는다고 가정하였다.




**(a) Model 1**




**(b) Model 2**

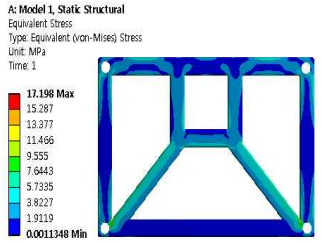



**(c) Model 3**

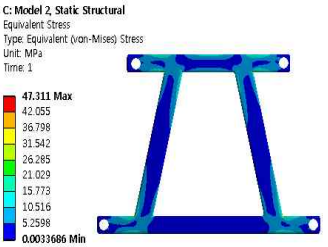
**Fig. 3 Constraint conditions of models**

## 2.2 구조해석 결과

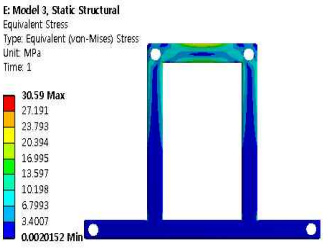
한쪽 방향에서 15000N의 힘을 주는 동일한 구속조건으로 언더바의 모양이 다른 Model 1, 2 및 3에 대하여 구조해석을 하였다. Fig. 4와 Fig. 5는 세 가지 모델에 대한 각각의 등가응력과 전변형량의 결과를 보여준다. Model 1의 최대 등가응력은 17.198MPa, 최대 변형량은 0.016mm이고, Model 2의 최대 등가응력은 47.311MPa, 최대 변형량은 0.055mm이고, Model 3의 최대 등가응력은 30.59MPa, 최대 변형량은 0.031mm의 값을 보여주는 것을 알 수 있다. Model 1이 다른 모델과 비교했을 때, 최대 등가응력과 최대 변형량이 가장 작고 Model 3, 2순으로 작게 나타나, Model 1이 구조 해석에 있어서 그 안전성이 가장 높다는 것을 알 수 있다.




**(a) Model 1**

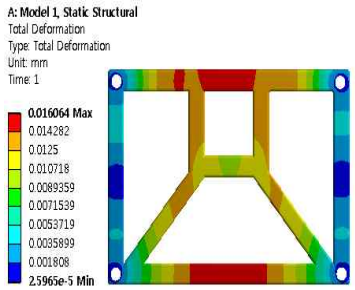



**(b) Model 2**

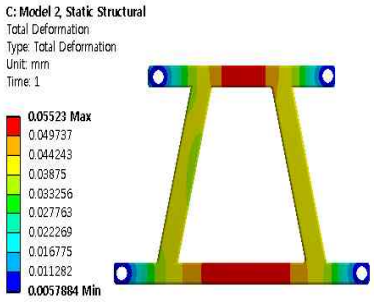



**(c) Model 3**

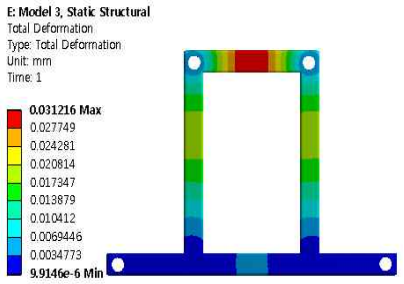
**Fig. 4 Contours of equivalent stress**




**(a) Model 1**




**(b) Model 2**



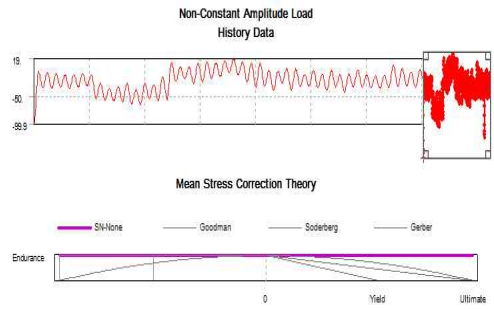

**(c) Model 3**

**Fig. 5 Contours of total deformations**

## 2.3 피로해석결과

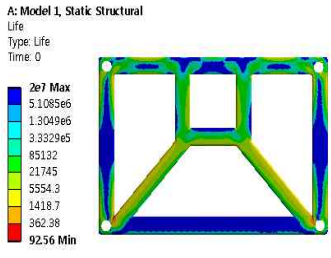
구조해석에서와 같이 15000N의 힘을 Model 1, 2 및 3에 대하여 동일하게 피로 하중을 가하여 피로해석을 하였다. 피로에 대한 해석 결과의 출력들은 피로 수명 및 피로 파손을 포함하고 있다. Fig. 6은 경과되는 1 사이클에 대한 응력 진폭과 평균 응력인 피로 하중의 내역을 나타내는데, Sample history하중 조건으로서 세 가지 모델들에 적용하였다. 자동차가 주로 운행되는 아스팔트로 포장된 도로의 경우로서는 Sample history가 적용된다.

Fig. 7과 Fig. 8은 세 가지 모델들에 대한 Sample history의 피로수명 및 파손의 결과 값을 보인다. 피로수명의 결과 값을 보게 되면 Model 1, 2, 3의 최대 수명은 $2\times10^7$Cycle로 같음을 알 수 있으나 최저 수명은 Model 2의 경우가 6.53 Cycle로 가장 짧고 Model 1의 경우가 92.56 Cycle로 가장 긴 것을 알 수 있다. 따라서 Model 1의 경우가 가장 피로 수명이 길게 나타나고, Model 3 및 2의 순으로 나타났다. 또한 Fig. 8에서 볼 수 있는 바와 같이 등고선으로 된 피로 손상은 설계 수명을 사용 가능 수명으로 나눈 것으로 정의된다. 피로 손상이 아주 많은 부분으로서 3가지 경우들을 공히 비교할 수 있다. 파손의 결과 값을 보게 되면 Model 1, 2, 3의 최소파손은 50임을 알 수 있이나 Model 2의 경우가 $1.531\times10^8$로 손상이 가장 크고 Model 1의 경우가 $1.08\times10^7$로 손상이 가장 작은 것을 알 수가 있다. 따라서 피로 파손의 경우도 Model 1의 경우가 가장 피로 파손이 적게 나타나고, Model 3 및 2의 순으로 나타났다.

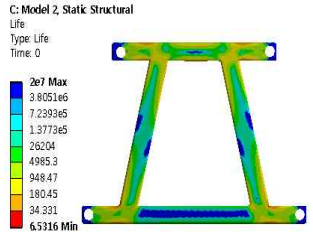



**(a) Sample history**

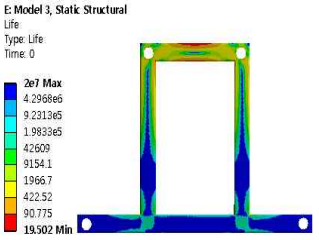
**Fig. 6 Load histories at nonuniform fatigue loads**




**(a) Model 1**

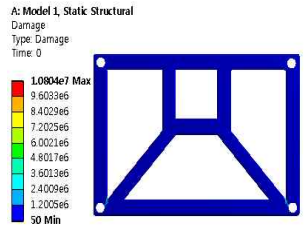



(b) Model 2

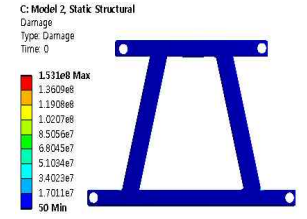



(c) Model 3

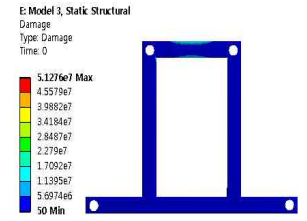
**Fig. 7 Contour plots of fatigue lives**




(a) Model 1




(b) Model 2

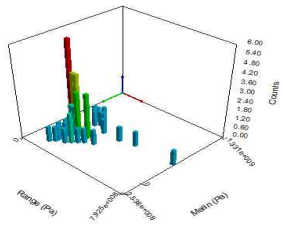



(c) Model 3

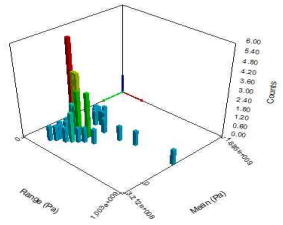
**Fig. 8 Contour plots of fatigue damages**

Fig. 9는 Model 1, 2, 3의 세 가지 모델들에 대하여 각각 임계 위치에 대한 Rainflow matrix에 대한 결과 값들이다. Fig. 9는 본 해석에 가해지는 하중 내역의 구성으로서 진폭 응력과 평균 응력에 대한 그 빈도수들로서 그려지는데, Z축은 주어진 진폭 응력과 평균 응력에 대한 빈도수에 해당된다. 결과 값을 보면 Model 1, 2, 3의 최대 빈도수는 5정도임을 알 수 있고, 여기서 Model 3이 상대적인 손상을 많이 일으켜 두 모델보다 파손의 가능성이 더 일어남을 알 수 있다.

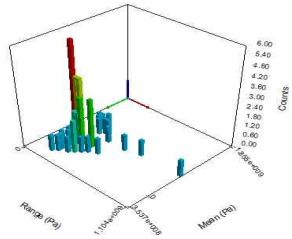
Fig. 10은 Model 1, 2, 3의 세 가지 모델들에 대하여 파손에 대한 임계 위치에서의 Damage 매트릭스들에 대한 그림들로서, 불규칙 진폭하중에 대해서만 적용되는데 $10^9$Cycle의 무한 수명에 대한 상대적 손상 가능성을 나타내고 있다. Model 1, Model 2 및 3의 최대의 파손 가능성은 30%정도가 되는 것을 볼 수 있다.




(a) Model 1

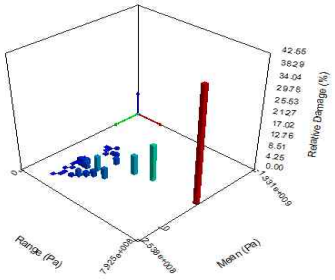



(b) Model 2

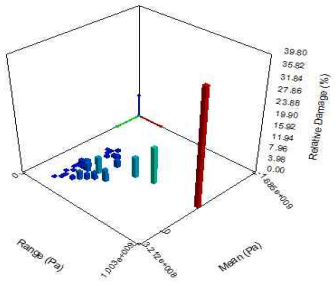



(c) Model 3

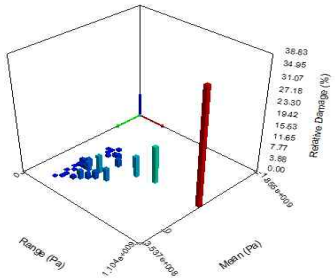
**Fig. 9 Plots of rainflow matrices**




**(a) Model 1**




**(b) Model 2**




**(c) Model 3**

**Fig. 10 Plots of damage matrices**

## 3. 결 론

자동차의 현가장치의 일종인 언더바에 대하여 동일한 자동차 주행 조건하에서 구조와 피로 해석을 수행하여 어떠한 모양의 언더바가 더 내구성이 있는가를 고찰하였는데 본 연구를 통하여 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

1. Model 1이 다른 모델과 비교했을 때, 최대 등가응력과 최대 변형량이 가장 작고 Model 3, 2순으로 작게 나타나, Model 1이 구조 해석에 있어서 그 내구성이 가장 높다는 것을 알 수 있다.
2. 피로수명 결과 값을 보게 되면 세 가지 모델들의 최대수명은 $2\times10^7$Cycle으로 같음을 알 수 있으나, 최저 수명에 있어서는 Model 1의 경우가 92.56 Cycle로 가장 길고 Model 2의 경우가 6.53 Cycle로 가장 짧게 나타났다. Model 1의 경우가 가장 피로 수명이 길게 나타나고, Model 3 및 2의 순으로 나타났다
3. 피로 해석에 있어 Model 1, Model 2 및 3의 최대의 파손 가능성은 30%정도가 되는 것을 볼 수 있다.
4. 본 연구 해석의 결과를 이용하여 자동차의 현가장치의 일종인 언더바의 모양에 대한 변화를 주어 설계함으로서 차량의 승차감과 내구성이 더 양호해질 것으로 사료된다.

## References

1. Kim, J. K., Jang, B. H., Park, Y. C. and Lee, K. H., “Durability Evaluation of Automobile Control Arm”, Journal of KSMPE, Vol. 11, No. 4, pp. 168-172, 2012.
2. Han, M. S. and Cho, J. U., “Structural and Fatigue Analysis on Shock Absorber Mount of Automobile”, Journal of KSMPE, Vol. 11, No. 1, pp. 125-133, 2012.
3. Kang. G. H. and Kim. C. S., “Damping Characterization of the Double-skin Aluminum Extruded Panels for Rolling Stock Carbody”, Journal of KAIS, vol. 14, No. 7, pp. 3197-3202, 2013.
4. Kim, H. Y., Lee, S. K. and Shin, Y. J., "Analyses of Deployment Process and Sled Test for Designing Airbag Module", Transactions of KSAE, pp.118-128, 1998.
5. Kim, A. K., Tunvir, K., Park, S. J., Jeong, G. D., Hasan, M. A. and Cheon, S. S.,"Study on Compressive Behavior of Heterogeneous Al-alloy Foam by Cruciform-Hemisphere Model", Modelling

and Simulation in Materials Science and Engineering, Vol. 14, Issue 6, pp. 933, 2006.

6. Kwon, H. H., Moon, K. J., and Song, S. E., "Forging Process Analysis of the Multi-forging Die for the United Universal Pipe Joint of the Intermediate Shaft," Journal of KSMTE, Vol. 19, No. 1, pp. 33-41, 2010.
7. Lee, Y. S., Jun, B. H. and Oh, J. M.,“A Study on the Design Optimization of Composite Cylindrical Shells with Vibration, Buckling Strength and Impact Strength Characteristics”, Transaction of KSAE, Vol.5, No. 4, pp. 48-69, 1997.