

## 전방 차축의 구조해석에 관한 연구

한문식\*, 조재웅#

### Study on Structural Analysis of Front Axle

Moon-Sik Han\*, Jae-Ung Cho#

(Received 19 March 2011; received in revised form 31 August 2011; accepted 6 October 2011)

#### ABSTRACT

This study analyzes about front axle through the analyses of stress, fatigue and vibration. Maximum equivalent stress is shown with the frequency of 60Hz in case of the harmonic vibration analysis applied with force. Among the cases of nonuniform fatigue loads, 'SAE bracket history' with the severest change of load becomes most unstable but 'Sample history' becomes most stable. In case of 'Sample history' with the average stress of 0 to  $-2 \times 10^5$ MPa and the amplitude stress of 0 to  $-2.5 \times 10^5$ MPa, the possibility of maximum damage becomes 3%. This stress state can be shown with 6 times more than the damage possibility of 'SAE Bracket history' or 'SAE transmission'. The structural result of this study can be effectively utilized with the design of front axle by investigating prevention and durability against its damage.

**Key Words** : Front Axle(전방 차축), Natural Frequency(고유 진동수), Harmonic Vibration(하모닉진동), Nonuniform Fatigue Loads(불규칙 피로 하중들), Fatigue Life(피로수명), Fatigue Damage(피로 손상), 레인플로우(Rainflow)

#### 1. 서 론

현실상 도로 사정이 매우 잘 갖추어져 있다고는 하나 아주 매끄럽지 못한 것이 현실이다. 자동차는 지면과 접촉하여 운행함으로써 차체에 무리가 갈수도 있는 것이다. 현재 차량을 이용하고 있는 사람들은 기본적인 차량의 출력이나 차량의 안전성에 중점을 두고 있기는 하나 더 편안한 승차감을 원하고 있다<sup>[1]</sup>. 이런 승차감과 가장 밀접한 것이 세시 부분이고 그 와중에

도 가장 중요한 역할을 하는 것이 현가장치인 것이다. 이에 차체를 떠받치고 있는 현가장치의 중요성 또한 매우 중요하게 된 것이다. 이에 차량의 현가장치의 중요부분인 액슬에 대한 근래의 연구는 차동기어나 종감속 기어부의 강도나, 유격에 의한 내구성 및 기어노이즈에 국한되어 진행되어 왔다<sup>[2]</sup>. 또한 차량설계 시 동급차종의 기존설계를 참고하거나 경험에 의존하는 경우가 많다. 이러한 초기설계안은 개발차량의 동특성에 대한 충분한 이해가 부족한 까닭에 대부분 만족스럽지 못한 결과를 낳게 된다<sup>[3]</sup>. 또한 차체를 받치고 있는 이 단품역시 충격과 피로에 매우 강하면서도 좀 더 차안의 사람들에게 좀 더 안락함을 제공할 수 있는 현가장치 시스템으로 제작되어야 한다<sup>[4-6]</sup>. 이에 현가

\* 계명대학교 기계자동차공학과

# 교신저자 : 공주대학교 기계자동차공학부

E-mail : jucho@kongju.ac.kr

장치의 중요부품인 전방 차축을 모델링 한 후 피로 및 진동 해석을 하여 그 내구성 및 안전도를 고찰하여 보았다<sup>[7]</sup>.

## 2. 모델링 및 경계조건

### 2.1 연구모델

본 연구에서는 전방 차축에 4500N의 힘을 주어서 전방 차축에 발생하는 변형량과 응력을 구한다. 모델의 형상은 실제 차량에 사용되는 전방 차축을 모델링 후 ANSYS로 해석하여 보았다<sup>[7]</sup>. Fig. 1은 본 모델을 불러내어 기본적으로 해석을 하기 전에 Mesh작업을 한 모습이다.

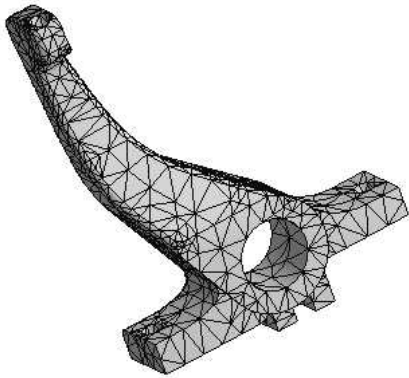


Fig. 1. Mesh of front axle

Table 1은 이 모델링의 구조용 강으로서의 물성치를 나타낸 것이다.

Table 1 Material property of structural steel

Young's modulus(MPa)	$2 \times 10^5$
Poisson's ratio	0.3
Density(kg/m <sup>3</sup> )	7850
Tensile yield strength(MPa)	250
Compressive yield strength(MPa)	250
Tensile ultimate strength(MPa)	460

### 2.2 모델의 경계조건

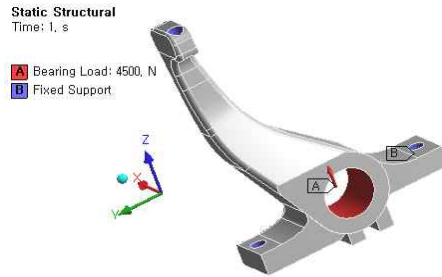


Fig. 2. Condition of structural constraint

본 연구에서의 구조해석을 위하여 Fig. 2와 같은 조건을 주었다. Fig. 2와 같이 Z축을 기준으로 이 전방 차축의 모델은 서 있는 모양이고, 하중은 Z축으로 받는 형태이다. 또한 다른 부분들은 다른 부품들과 결합되기 때문에 하중이 Z축으로만 받게 되고 다른 축으로는 회전하지 않는다. 따라서 A로 표시된 부분에서 베어링이 결합되고 A에는 베어링 하중으로서 앞차축의 중량인 4500N을 가하였다. 그리고 A로 표시된 부분에서는 다른 부품들과 결합되어 있기 때문에 고정조건을 주었다.

## 3. 해석결과

Fig. 3은 정적 구조해석에 대한 등가 응력을 등가 응력을 나타내는 그림으로서 하중이 작용되는 부분에서 19.659MPa이 나왔다.

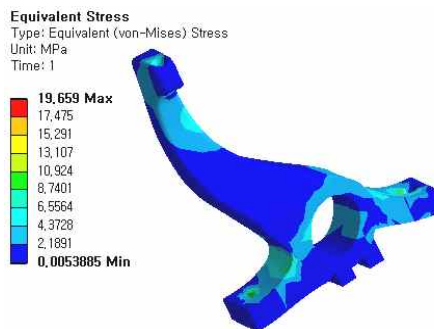


Fig. 3 Equivalent stress at structural analysis

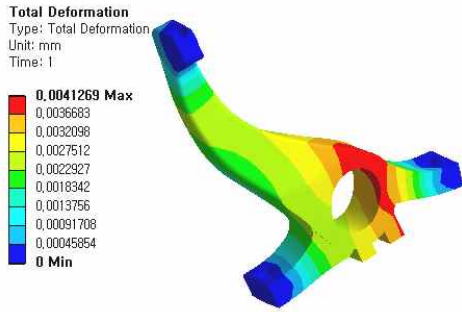


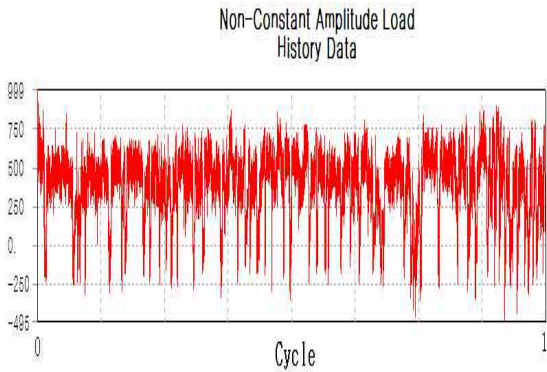
Fig. 4 Total deformation at structural analysis

Fig. 4는 전변형량을 확인할 수 있는 그림으로서 해석결과 최대 변형량은 0.0041269mm로서 베어링이 결합된 부분인 두께가 얇은 부분의 위쪽 부분에서 나타났다.

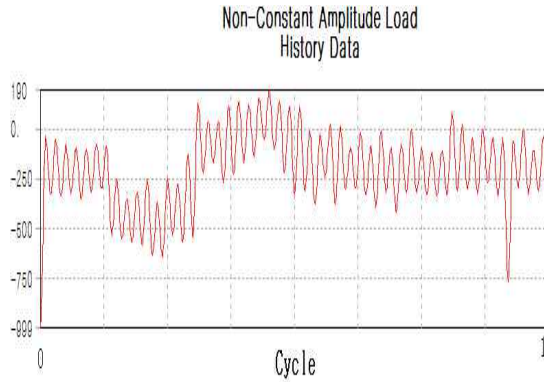
### 3.1 피로 해석

실제 차량이 달리면서 단품이 받는 피로는 셀 수 없이 많을 것이다. 특히 주행 중 생기는 작은 돌 등에도 피로가 생겨나고, 또한 도로에 수없이 많은 방지턱을 넘을 시에도 발생한다.

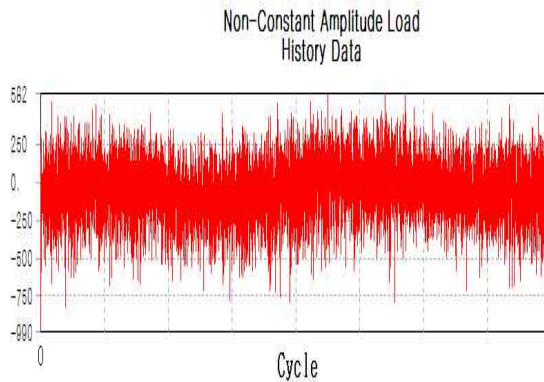
Fig. 5는 실제 차량이 받을 수 있는 불규칙 진폭하중의 내역들인 'SAE Bracket History', 'SAE Transmission', 'Sample History'로서 서로 비교할 수 있었다. 각각의 하중에 따라서 주기적인 1 사이클의 경과에 따른 하중의 진폭 양상을 보여 주고 있다.



(a) SAE Bracket history



(b) SAE Transmission

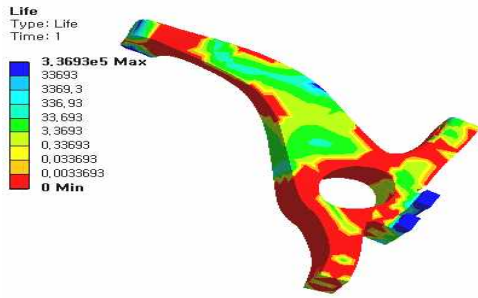


(c) Sample history

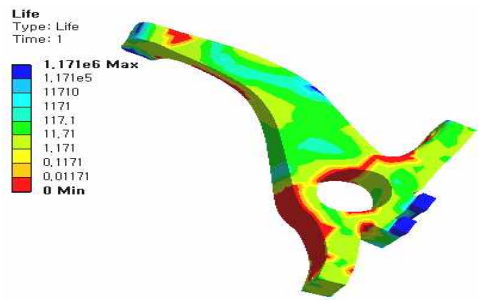
Fig. 5 Histories of fatigue loads according to cycles

Fig. 6은 단품의 수명을 예측하여 본 것이다. 3가지의 피로 하중들 중에서 SAE Bracket History가 가장 수명이 작은 것으로 나타났다.

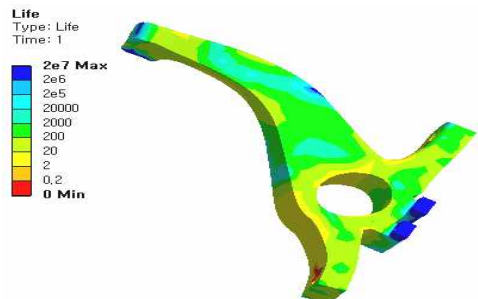
Fig. 7은 임계 위치에 대한 Rainflow 매트릭스들에 대한 그림들로서 'SAE Bracket history', 'SAE Transmission', 'Sample history'들의 3가지 불규칙 진폭하중에 대해서만 적용된다. 그리고 Fig. 6은 본 해석에 가해지는 하중 내역의 구성으로서 진폭 응력과 평균 응력에 대한 그 빈도수들로서 그려지는데, z축은 주어진 진폭 응력과 평균 응력에 대한 빈도수에 해당된다.



(a) SAE Bracket History



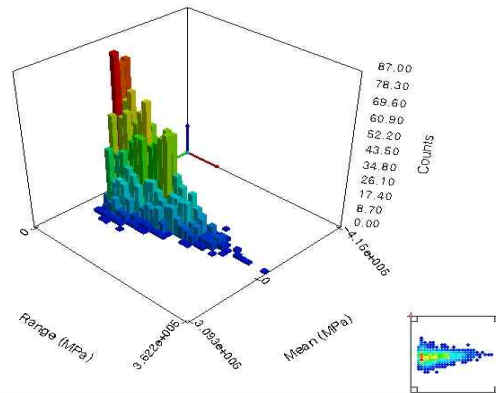
(b) SAE Transmission



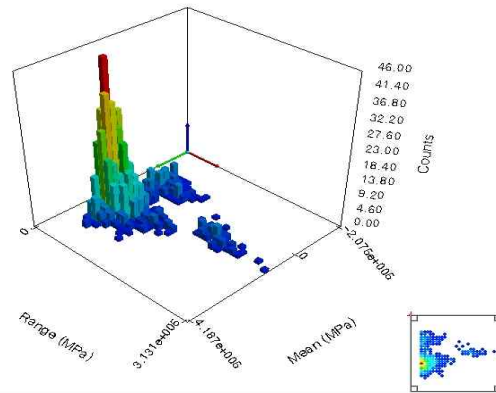
(c) Sample history

Fig. 6 Fatigue lives

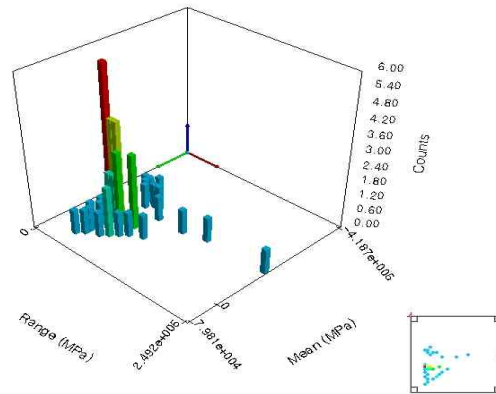
Fig. 7에서 보면 'SAE Bracket history'의 경우가 상대적인 손상은 평균 응력이 0부근의 상태에서 최대의 빈도수가 80정도로서 상대적인 손상을 많이 일으켜 어떤 다른 경우들보다는 더 파손의 가능성이 더 일어남을 알 수 있었다. 또한 'Sample history'의 경우는 이 상태에서 최대의 빈도수가 5정도로서 손상을 가장 적게 일으켜 그 파손의 가능성이 가장 작음을 알 수 있었다.



(a) SAE Bracket history



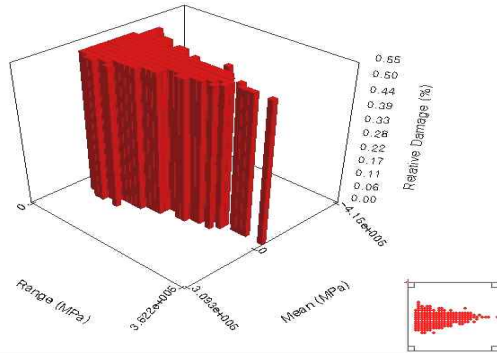
(b) SAE Transmission



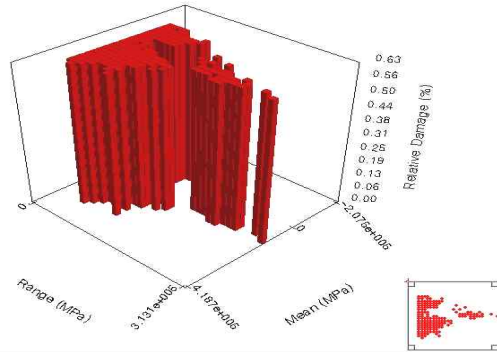
(c) Sample history

Fig. 7 Plots of rainflow matrices

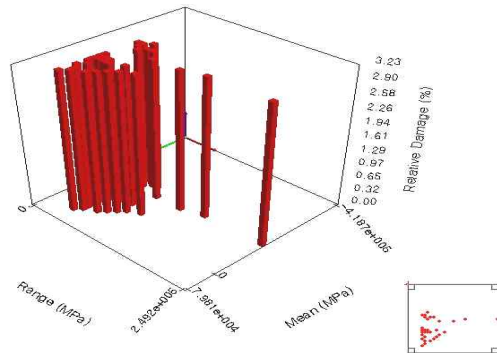
Fig. 8은 본 연구 모델에서 파손에 대한 임계 위치에서의 Damage 매트릭스들에 대한 그림들로서 불규칙 진폭하중에 대해서만 적용되는데  $10^9$ 사이클의 무한 수명에 대한 상대적 손상 가능성을 나타내고 있다.



(a) SAE Bracket history



(b) SAE Transmission



(c) Sample history

Fig. 8 Plots of damage matrices

Fig. 8에서 보면 'Sample history'의 경우가 다소 안정된 경향을 보이고 있으나 평균 응력이 0Pa부터  $-2 \times 10^5$ MPa이고 응력 진폭이 0MPa부터  $2.5 \times 10^5$  MPa에 있어서 최대 3%의 손상 가능성을 보이고 있어 이 부분의 응력 상태가 파손의 가능성이 많다고 예측할 수 있었다. 그리고 'Sample history'의 경우가 최대 0.5% 정도의 파손가능성을 보이는 'SAE Bracket history'나 'SAE Transmission' 경우보다 6배의 파손의 가능성이 큼을 알 수 있었다.

### 3.2 진동 해석

Modal 해석을 통한 고유진동수를 확인하기 위하여 위의 피로 해석과 같은 구속 조건을 주었다. 6개의 고유진동수를 구하여 Table 2에 나타내었다.

그리고 고유 진동수가 최대 6000Hz 이내에 있으므로 이 범위 내에서 실제적으로 Fig. 2와 같은 구조 해석에서의 하중과 변위 조건으로서 하모닉 해석을 하였다.

Table 2 Natural frequency

Mode	Frequency(Hz)
1	1678.1
2	3010.2
3	3373.6
4	3623
5	4660.5
6	5928.6

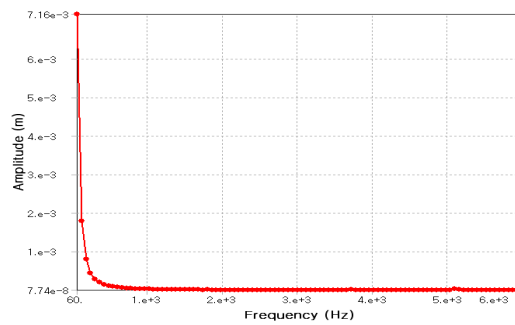


Fig. 9 Harmonic frequency response

위의 Fig. 9 에서 볼 수 있듯이 60Hz일 때 최대의 진폭 변위값을 나타낸다. 따라서 이 60Hz에서 Fig. 10 및 11과 같이 실제 변위와 응력을 확인하였다.

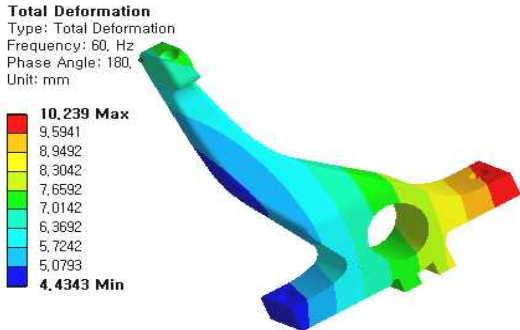


Fig. 10 Total deformation at 60Hz on harmonic response

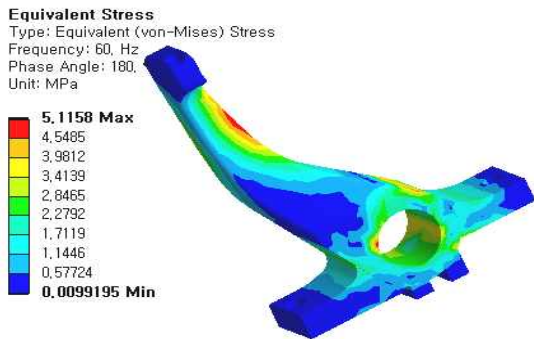


Fig. 11 Equivalent stress at 60Hz on harmonic response

Fig. 10에서와 같이 전방 차축의 위쪽부분에서 최대 10.239mm로 변형된 것을 알 수가 있고 Fig. 11에서 알 수 있듯이 최대 등가 응력은 5.1158MPa임을 확인할 수가 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 현가장치의 중요부품인 전방 차축에 대한 피로 하중 및 진동에 따른 수명 및 파손 등 내구성을 해석하였다. 이에 대한 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 하중이 작용되는 부분에서 최대 등가응력이 19.659MPa를 나타내고, 베어링이 결합된 부분인 두

께가 얇은 부분의 위쪽 부분에서 최대 변형량을 나타낸 것을 알 수가 있다.

2. 불규칙 피로 하중들 중에서는 하중의 변화가 극심한 'SAE bracket history'의 경우가 대체적으로 가장 불안정한 경향을 보이고 있고, 비교적 하중의 변화가 완만한 'Sample history'의 경우가 가장 안정함을 보이고 있다.
3. 'Sample history'의 경우가 안정된 경향을 보이고 있으나 평균 응력이 0부터  $-2 \times 10^5$ MPa 이고, 응력 진폭 0부터  $2.5 \times 10^5$ MPa 에 있어서 최대 3%의 손상 가능성을 보이고 있어 이 부분의 응력 상태가 'SAE bracket history'나 'SAE transmission' 경우보다 6배의 파손의 가능성이 많다고 예측할 수 있었다.
4. 실제 하중 조건에서의 60Hz의 하모닉 진동수에서 최대의 변형량을 일으킴을 보이고 있다.

본 연구의 결과를 종합하여 전방 차축의 설계에 응용한다면 그 파손 방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Hwang, W. G., Kim, W. Y. and Im, H. E., "Development of Optimal Design System of Vehicle Suspension", KSAE, Vol. 7, No. 3, pp. 339-347, March, 1999.
2. Park, T. W., Kim, K. J., Choi, B. I., Sung, C. W., Kim, S. S. and Kim, H. Y., "Effect and Reduction Method of Rotating Unbalance Mass on Vibration Characteristics of Front Axle", KSAE, Vol. 7, No. 6, pp. 165-169, November, 2007.
3. Lee, J. H. and Yoo, D. W., "A Study on the Fatigue Failure of Front and Rear Axles for Wheel Loader using Endurance Diagram", Transactions of the KSME, pp. 250-254, April, 2010.
4. Kim, J. W., Bae, K. I. and Kim H. S., "The Contribution of the Front Axle in Lateral deflection during the Tight Cornering", Autumn Conference Proceeding of KSAE, Vol. II, pp. 972-976, November, 2005.
5. Lee, W. H., Hwang, B. C., Kim, C. and Bae, W. B., "Fatigue and Robust Analysis for Improving

- the Suspended Pedal of Vehicles", KSPE, Vol. 26, No. 7, pp. 105-111, July, 2009.
6. Shin, O. C., Jung, S. R., Chung, W. J., Kim, J. M. and Park, S. S., "Development Portable Measurement System for Property Test of Manual Transmission Car", Multibody System Dynamics, Vol. 11, pp. 127-145, 2004.
  7. Swanson, John, AUTODYN 12.0, ANSYS Inc., U.S.A. 2009.