

## 자동차 암에 있어서의 피로 변형의 시뮬레이션 해석에 관한 연구

조재웅<sup>1\*</sup>, 한문식<sup>2</sup>

### A Study on Simulation Analysis of Fatigue Deformation at Automotive Arm

Jae-Ung Cho<sup>1\*</sup> and Moon-Sik Han<sup>2</sup>

**요약** 본 연구를 통하여 피로를 받는 자동차 새시 부분인 암에 대한 안전성과 내구성을 예측할 수 있다. 하중의 변화는 하중의 진폭을 평균 하중으로 나눈 값으로서 하중의 변화가 0.5부터 0.75에서는 급격하게 피로 수명이 감소되나 0.75이상부터 1.5까지는 그 수명이 완만하게 변화된다. 이러한 결과들에 의하여 하중의 변화에 대한 피로 수명의 영향을 예측할 수 있다. 또한 집중 하중을 받는 로드 엔드의 연결 부분에서 최대의 손상값인 2.2를 보이고 있어 이 연결 부분에서 파단의 가능성이 가장 큼을 보이고 있다. 또한 이 부분에서는  $-6.93 \times 10^{-3}$ 의 압축 변형율로서 최대의 압축 응력이 349 Mpa이 되어 압축으로 인하여 파단 될 가능성이 큼을 알 수 있다.

**Abstract** The safety and the durability of the arm as an automotive chassis part under the fatigue can be predicted in this study. The fatigue life is sharply decreased from 0.5 to 0.75 at the change of load which is the amplitude load divided by average load. But its life is slightly decreased at the change of load from 0.75 to 1.5. The influence of fatigue life according to the change of load can be predicted by these results. As the value of maximum damage is 2.2 and the value of maximum compressive strain or stress is  $-6.93 \times 10^{-3}$  or 349 Mpa at the connected part of rod end applied by concentrated load respectively, there is the greatest possibility of destruction due to the compression at this part.

**Key Words** : safety, durability, arm, automotive chassis part, change of load, fatigue life, fatigue damage, fatigue strain

#### 1. 서론

일반적으로 강도상에 있어서 충분한 허용응력으로 설계된 된 기계라 할지라도 의외로 항복응력보다 훨씬 낮은 응력 하에서도 파괴가 잘 일어난다. 따라서 이를 규명하기 위한 여러 가지 연구가 광범위하게 이루어져 왔으며 이들에 대하여는 파로나 충돌 파괴를 이용한 여러 가지 연구가 발표되고 있다[1]. 또한 자동차 차체나 새시에 있어서 파괴를 규명하기 위해서 피로 크랙 및 최적화 설계 등의 연구가 활발히 진행되고 있다[2-4]. 특히 대부분의 피로 파괴는 불규칙적으로 일어나고 있어 이론 해석에 의하지 않고서는 그 예측이 불가능한 실정이다. 본 연구에서는 다른 피로 해석 소프트웨어에 비하여 정확하고

효율적인 해석 결과를 얻어 낼 수 있고 피로수명의 해석 결과들에 대하여 수렴성이 좋은 Ansys workbench 프로그램을 사용하였다[5,6]. 본 연구에서는 자동차의 현가장치 중 암이 피로에 의한 변형을 받는 경우를 시뮬레이션을 하였고 그 재료의 안전성과 수명 관계를 해석하였다. 그 연구 내용으로서는 피로를 받는 암의 모든 부분에 대하여 그 수명과 손상들을 예측할 수 있었고 하중의 변화에 따른 피로 수명의 영향을 해석 할 수 있었다. 또한 이러한 수명 및 손상 매트릭스들에 의하여 어떠한 작은 응력의 피로 사이클들일지라도 그 재료에 대한 영향을 알아 낼 수 있었다. 이러한 본 연구의 결과를 종합하여 자동차의 현가장치 부품에 응용한다면 그 파손 방지 및 내구성을 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

<sup>1</sup>공주대학교 기계·자동차공학부

<sup>2</sup>계명대학교 기계·자동차공학부

\*교신저자: 조재웅(jucho@kongju.ac.kr)

## 2. 모델 및 해석

### 2.1 유한 요소 모델

본 연구에서의 해석모델의 유한요소분할 모양과 치수는 그림 1 및 2와 같다.

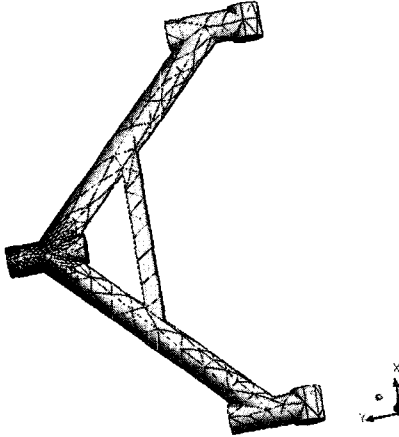


그림 1. 모델의 유한 요소 분할

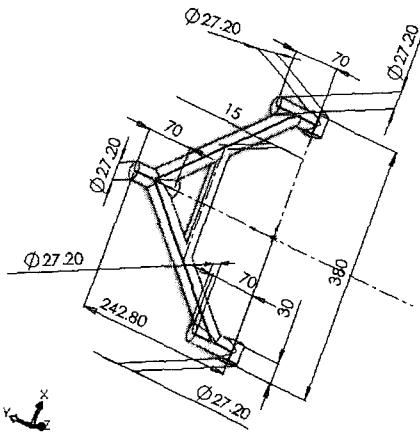


그림 2. 모델의 치수 (단위: mm)

모델의 절점 및 요소들의 개수는 각각 12054 및 7592이며 시험편의 재료는 구조용 강으로서 그 특성은 표 1에 나타나 있다[7]. 본 연구에 있어서는 변형률 및 수명 방법이 시뮬레이션 피로 모듈로 수행되는데 이러한 재료의 매개 변수들은 표 2와 같고 무한 수명 값을  $10^9$  사이클로 정하고 있다. 더 높은 수치로 정하게 되면 상대적으로 응력 사이클들이 작게 되어 손상의 가능성을 더 적게 할 수 있다.

표 1. 모델의 물성치

Young's Modulus	$2 \times 10^5$ Mpa
Poisson's Ratio	0.3
Mass Density	$7.85 \times 10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup>
Tensile Yield	250 Mpa
Compressive Yield	250 Mpa
Tensile Ultimate	460 Mpa

표 2. 변형률 및 수명의 매개변수들

Strength Coefficient	920 Mpa
Strength Exponent	-0.106
Ductility Coefficient	0.213
Ductility Exponent	-0.47

또한 구속 조건으로서는 그림 3과 같이 Main Frame과 Lower Arm을 연결시키는 Bracket과 결합이 이루어지는 부분에 실린더 같은 지지조건으로서 구속시킨다. 하중의 적용은 타이어에서 가해지는 힘을 가장 많이 받는 로드 엔드의 연결 부분과 꺾어져 있는 부분에 집중하중으로서 10000 N을 작용한다.

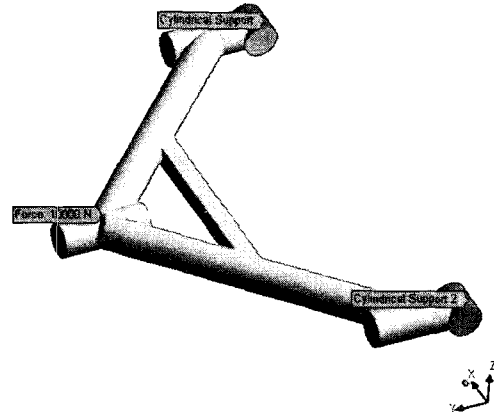


그림 3. 모델의 구속 조건들

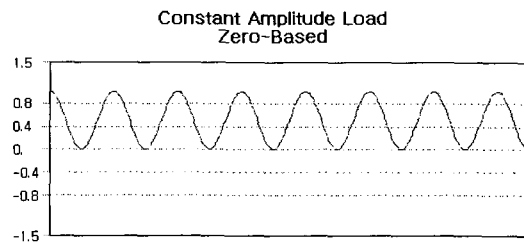


그림 4. 하중 내역

변형을-수명의 방법은 소성효과를 고려하여 전변형을 진폭( $\epsilon_a$ ) 및 수명( $N_f$ )과 관련된 방정식은 (1) 식과 같다.

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_f'}{E}(2N_f)^b + \epsilon_f'(2N_f)^c \quad (1)$$

여기서

- $\sigma_f'$  는 응력 계수
- $b$ 는 응력 지수
- $\epsilon_f'$  는 내구성 계수
- $c$  는 내구성 지수이다.

피로 하중은 천천히 진행되지만 구조물 자체는 변형을 반복하되 저사이클 하에서도 파괴되려는 현상을 규명하였다. 그림 4와 같은 하중 내역으로서 본 해석에 있어서는 시간에 따라 변동하는 균일 진폭하중의 방법을 택하고 기본 하중에 대하여는 그 배율을 적용할 수 있다. 이 배율은 1이고 하중이 시간에 따라 변동하게 된다.

## 2.2 해석 결과

피로에 대한 해석 결과의 출력들은 피로 수명, 파손 및 하중의 변화에 따른 피로 수명의 영향을 포함하고 있다. 본 연구의 모델에 대하여 사용 가능 수명에 대한 등고선 그림이 그림 5에 나타나 있다. 변동진폭의 하중으로 본 모델에 작용됨으로써 부분이 파괴될 때까지의 하중의 기간에 대해서는 블록 수들로 나타내 준다. 따라서 주어진 하중의 내역이 한 달 간의 하중을 표현하고 그 수명이 100으로 된다면, 예측되는 모델의 수명은 100개월이 된다. 그림 5에서 보면 암의 다리 중간 부분에서 최대의 수명,  $10^9$ 을 나타내어 안정성이 가장 좋음을 알 수 있다. 반면 집중 하중을 가장 많이 받는 로드 엔드의 연결 부분에서 최소의 수명,  $4.55 \times 10^4$ 을 보이고 있어 그 수명이 가장 짧아져서 안정성이 나빠짐을 알 수 있다.

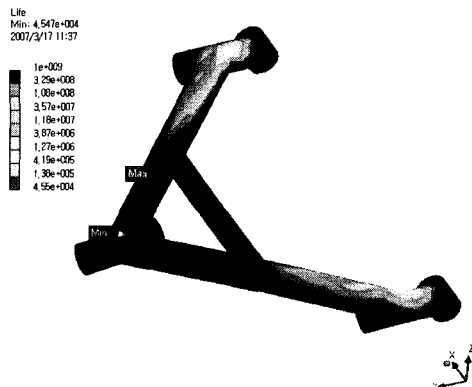


그림 5. 사용 수명의 등고선

그림 6은 평균 하중에 대한 전변형량을 보이고 있다. 실린더 지지부에서는 거의 변형이 없고 집중 하중을 가장 많이 받는 로드 엔드의 연결 부분에서 변형량이 4.806 mm나 됨을 알 수 있다. 따라서 이 연결 부분에서 파단의 가능성이 가장 큼을 보이고 있다. 그림 7에서는 등고선으로 된 피로 손상을 나타내었는데 손상은 사용 가능 수명으로 나누어진 설계 수명으로 정의되어지고 설계 수명은  $10^5$ 으로 정하고 있다. 역시 암의 다리 중간 부분에서 최소의 손상인 0.0001을 나타내어 손상의 가능성이 희박하여 안정성이 가장 좋음을 알 수 있다. 반면 집중 하중을 가장 많이 받는 로드 엔드의 연결 부분에서 최대의 손상인 2.2를 보이고 있어 손상의 위험성이 가장 많아져 그 안정성이 가장 나빠짐을 알 수 있다.

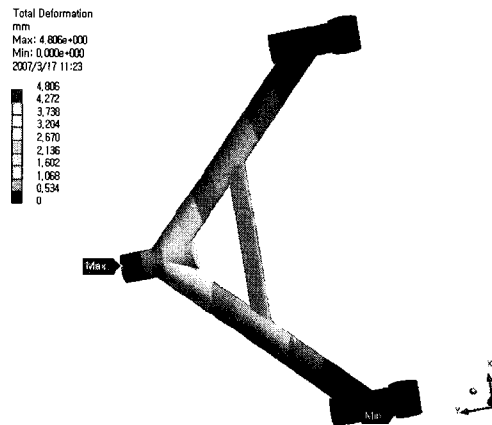


그림 6. 전변형량의 등고선

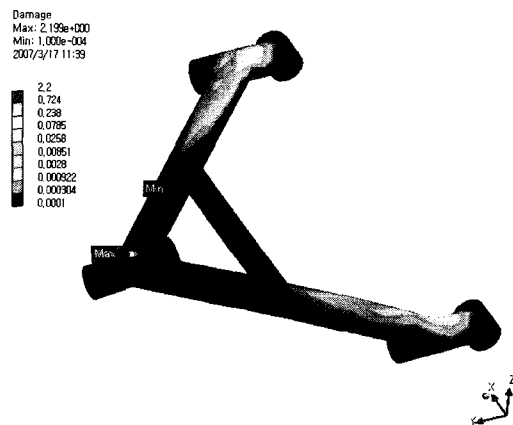


그림 7. 피로 손상의 등고선

그림 8은 하중의 변화에 대하여 유용 가능한 피로 수명을 나타낸 것이다. 하중의 변화는 하중의 진폭을 평균

하중으로 나눈 값이다. 하중의 변화가 0.5일 때는  $5.54 \times 10^6$  인데, 0.75에서  $10^4$ 이 되어 급격하게 그 수명이 감소된다. 0.75이상부터 1.5까지는 그 수명이 완만하게 변화된다. 1.5일 때는  $5.53 \times 10^3$  이 되어서 그 피로 수명이 완만하게 변화되어 하중의 변화에 대한 피로 수명의 변화가 완만하다. 따라서 이 범위에서는 하중의 변화에 대한 피로 수명의 영향이 그리 크지 않음을 알 수 있다.

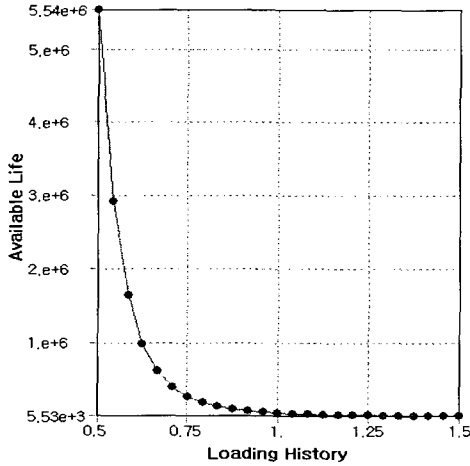


그림 8. 하중의 변화에 대한 피로 수명

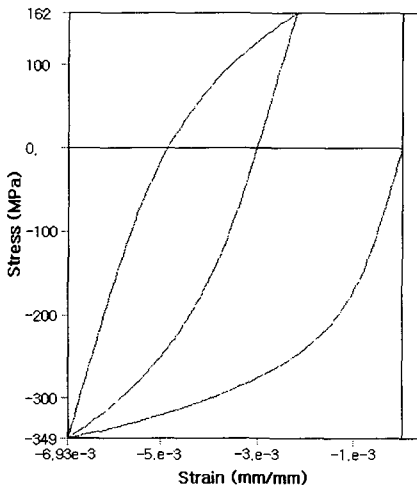


그림 9. 이력현상에 대한 von-Mises 응력-변형률 곡선

그림 9는 이력현상에 대한 것으로서 주기적인 von-Mises 응력-변형률의 거동을 나타내고 있다. 그림 9에서와 같이 가장 집중 하중을 많이 받는 로드 엔드의 연결 부분에 메시를 10배로 많이 나누었다. 이 부분에서 압축 변형률을 받고 있으며  $-6.93 \times 10^{-3}$ 의 변형률에서 최

대의 압축 응력이 349 MPa이 된다. 또한  $-5 \times 10^{-3}$  및  $-3 \times 10^{-3}$ 의 변형률에서 응력은 다시 0이 됨을 알 수 있고  $-2 \times 10^{-3}$ 의 변형률에서는 최대의 인장응력 162 MPa이 된다.

따라서 이 집중 하중을 받는 이 부분에서는 압축응력이 훨씬 더 많이 작용되어 압축으로 인하여 파단될 가능성이 큼을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구를 통하여 직경이 27.2mm이고 폭과 길이가 각각 242.80mm 및 380mm인 차량의 주행안전성에 큰 역할을 하는 상, 하 컨트롤 암으로서의 자동차의 현가장치 부품에 대한 안전성과 내구성을 예측할 수 있었는데, 이러한 결과들을 이용하여 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

- (1) 하중의 진폭을 평균 하중으로 나눈 값으로서의 하중의 변화가 0.5부터 0.75에서는 피로 수명이 급격하게 감소된다. 그러나 하중의 변화가 0.75이상부터 1.5까지는 그 수명이 완만하게 변화된다. 이러한 결과들에 의하여 하중의 변화에 대한 피로 수명의 영향을 예측할 수 있다.
- (2) 집중 하중을 받는 로드 엔드의 연결 부분에서 최대의 손상인 2.2를 보이고 있고 변형량도 4.806mm나 됨을 알 수 있다. 따라서 이 연결 부분에서 파단의 가능성이 가장 큼을 보이고 있다.
- (3) 로드 엔드의 연결부에서는  $-6.93 \times 10^{-3}$ 의 변형률로서 최대의 압축 응력이 349 Mpa이 된다. 이 부분에서는 압축응력이 훨씬 더 많이 작용되어 압축으로 인하여 파단될 가능성이 큼을 알 수 있다.

### 참고문헌

- [1] S. Tanaka, M. Ichikawa, S. Akita, "A Probabilistic Investigation of Fatigue Life and Cumulative Cycle Ratio," Eng. Frac. Mech., Vol. 20, pp.501-513, 1984.
- [2] W. C. Park, S. C. Huh, J. W. Jung, H. W. Lee, M. H. Boo, "A Study on Fatigue Crack Behavior of Metal Matrix Composites for Automobile Engine," Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 5, pp.140-146, 2003.
- [3] K. D. Park, C. G. Jung, "The Effect of Compressive Residual Stresses of Two-stage Shot Peening for

- Fatigue life of Vehicle Spring Steel,” Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 1, pp.185-192, 2003.
- [4] S. Y. Han, S. Y. Song, “Shape Optimization of Structures in Opening Mode,” Transactions of KSAE, Vol. 10, No. 2, pp.141-149, 2002.
- [5] John Swanson, “Design Space”, Ansys Workbench, Ansys. Inc., 2003.
- [6] D. A. Hancq, A. J. Walters, J. L. Beuth, “Development of an Object Oriented Fatigue Tool,” Engineering with Computers, Vol.16, pp.131-144, 2000.
- [7] J. Bannantine, J. Comer, J. Handrock, “Fundamentals of Metal Fatigue Analysis,” New Jersey, Prentice Hall, 1990.

**조재웅(Jae-Ung Cho)**

[정회원]



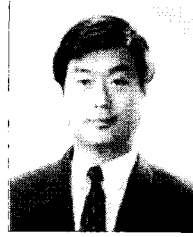
- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌시 동적 해석

**한문식(Moon-Sik Han)**

[정회원]



- 1979년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1981년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1986년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학부 교수
- 2006년 8월 ~ 현재 : 계명대학교 산학협력단 단장

<관심분야>

피로, 파괴 및 강도평가, 구조 및 재료 강도해석, 차체/구조 내구설계 및 재료 기술