

시뮬레이션 해석을 통한 형상 별 타이로드 엔드 모델의 융합 기술 연구

이정호¹, 조재웅^{2*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ^{2*}공주대학교 기계자동차공학부

Convergence Technique Study of Model Tie Rod End by Configuration through Simulation Analysis

Jung-Ho Lee¹, Jae-Ung Cho^{2*}

¹Department of Mechanical & Automotive Engineering, Graduate School, Kongju University

^{2*}Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 본 연구에서는 타이로드 엔드의 형상에 따른 변형량과 응력, 피로 수명을 연구하였으며, 총 세 가지 형상을 가진 타이로드 엔드들을 CATIA 프로그램으로 3차원으로 모델링 한 뒤, ANSYS 유한요소해석 프로그램으로 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 타이로드 엔드 모델의 형상별로는 모델 A, B 및 C가 있다. 본 연구 결과로서는 모델 A형의 최대 변형량, 최대 등가 응력 및 최대 피로수명들은 각각 0.0614mm, 160.27MPa 및 336,930cycle로 나타났으며, 모델 B형의 최대 변형량, 최대 등가 응력 및 최대 피로수명들은 각각 0.0648mm, 90.889MPa 및 1,171,000cycle로 나타났다. 또한 모델 C형의 최대 변형량, 최대 등가 응력 및 최대 피로수명들은 각각 0.0402mm, 84.794MPa 및 20,000,000cycle로 나타났다. 이러한 결과 값들을 통하여 형상에 따른 타이로드 엔드 모델들의 내구성 예측할 수 있었고, 보다 진보된 타이로드 엔드의 설계 및 개발을 위한 데이터를 확보할 수 있었다. 또한 디자인 면에서 융합 기술로의 접목도 가능하여 미적인 감각물로 나타낼 수 있다.

• **Key Words** : 타이로드 엔드, 형상, 구조 해석, 피로 해석, 내구성, 융합 기술

Abstract Deformation, stress and fatigue life due to the configuration of tie rod end are investigated in this study. Tie rod ends with the total three kinds of configurations are modelled with three dimensions through CATIA program and the simulation analysis is carried out with the ANSYS finite element analysis program. There are the models of A, B and C by the configuration of the rod end. As this study result, maximum deformation, maximum equivalent stress and maximum fatigue life of A type model are shown to be 0.0614mm, 160.27MPa and 336,930cycles respectively. And maximum deformation, maximum equivalent stress and maximum fatigue life of B type model are shown to be 0.0648mm, 90.889MPa and 1,171,000cycles respectively. Maximum deformation, maximum equivalent stress and maximum fatigue life of C type model are also shown to be 0.0402mm, 84.794MPa and 20,000,000cycles respectively. The durability of the models of tie rod ends through the values of this result could be estimated and the data for the design and development of more improved tie rod end could be secured. And it is possible to be grafted onto the convergence technique at design and be shown as the esthetic sense.

• **Key Words** : Tie rod end; Configuration; Structural analysis; Fatigue analysis; Durability; Convergence technique;

*Corresponding Author : Jae-Ung Cho(jucho@kongju.ac.kr)

Received November 11, 2015

Revised December 24, 2015

Accepted February 20, 2016

Published February 29, 2016

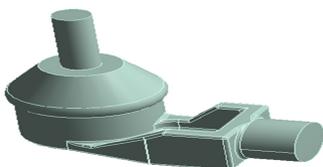
1. 서론

오늘날 경제가 비약적으로 발전함에 따라 국민들의 소득 수준은 증가하였고, 이는 자동차의 증가에도 영향을 미쳤다. 하지만, 자동차의 수가 늘어남에 따라 환경오염과 화석연료 문제가 야기되었다[1,2]. 이러한 문제들을 가장 효과적으로 해결하는 방법 중 하나는 자동차의 경량화이며, 경량화와 연관된 다양한 분야에서의 연구가 이루어져 많은 신기술들이 개발되었다. 자동차의 수많은 부품들 중 조향부품인 타이로드에는 조향력을 너클에 전달하는 역할을 하며, 중량이 다른 부품들에 비하여 상대적으로 적은 편이어서 그동안 경량화 영역에서 제외되어 있었다. 그러나 차량 전반적으로 경량화가 추구되면서 타이로드 역시 경량화를 위한 연구가 필요하게 되었다. 또한, 경량화 연구와 함께 해당 부품이 충분한 강성을 지닐 수 있도록 하기 위한 연구 역시 필요하게 되었다 [3,4,5,6,7]. 이에 따라 본 연구에서는 타이로드 엔드의 형상에 따른 변형량과 등가 응력, 피로 수명에 대하여 연구하였으며, 이를 위해 총 세 가지 형상의 타이로드 엔드를 CATIA V5 R11 프로그램으로 3D 모델링 한 뒤, ANSYS 유한요소해석 프로그램으로 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 이를 통하여 형상에 따른 타이로드 엔드 모델들의 내구성을 예측할 수 있었고, 보다 나은 타이로드 엔드의 설계 및 개발을 위한 데이터를 확보할 수 있었다. 또한 디자인 면에서 융합 기술로의 접목도 가능하여 미적인 감각을 나타낼 수 있다[8,9,10].

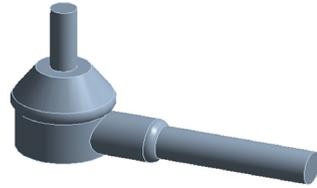
2. 연구 방법

2.1 연구 모델

본 연구에서는 시중에서 판매되고 있는 타이로드 엔드들을 참고하여 다음에 도시된 [Fig. 1]과 [Fig. 2], 그리고 [Fig. 3]과 같이 CATIA V5 R11 3D 설계 프로그램을 사용하여 타이로드 엔드 모델 A형과 B형, C형 총 세 가지 형상의 타이로드 엔드 모델들을 설계하였다[11,12,13].



[Fig. 1] A type tie rod end model

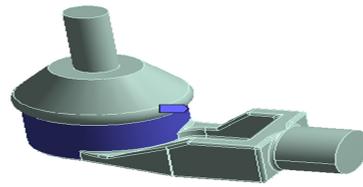


[Fig. 2] B type tie rod end model

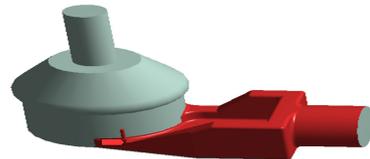


[Fig. 3] C type tie rod end model

2.2 경계 조건



(a) Fixed support



(b) Force condition

[Fig. 4] Constraint conditions of A type tie rod end model for simulation analysis

위에 도시된 [Fig. 4]는 시뮬레이션 해석을 수행하기 위해 각 타이로드 엔드 모델에 적용한 경계 조건을 나타낸 것으로 세 가지의 타이로드 모델들 모두 동일한 경계 조건이 적용되었기에 타이로드 엔드 모델 A형을 예로 들어 설명한다. 먼저, 타이로드에 적용되어 고정되는 부분에 Fixed support 조건을 주어 고정시킨 뒤, 너클에 조향력을 전달해주는 지지부에 차량 자체의 무게와 탑승자의 무게를 고려하여 600N의 힘을 가하는 Force 조건을 적용하였다. 다른 두 가지 모델인 타이로드 엔드 모델 B형과 C형 역시 동일한 경계 조건을 부여하여 해석을 수

행하였으며, 형상에 따른 각 타이로드 엔드 모델들의 변형량과 등가 응력 분포, 피로 수명의 내구성을 연구해보고자 하였으며, 각 타이로드 엔드 모델들의 재질은 Structural steel로 다음의 <Table 1>은 타이로드 엔드 모델들의 물성치이다[14,15].

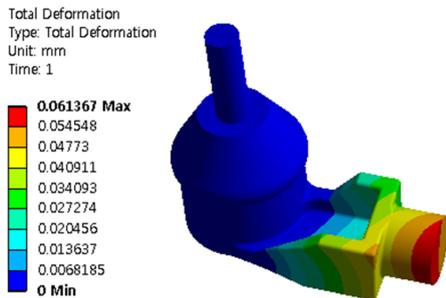
<Table 1> Material properties

Young's modulus(GPa)	200
Poisson's ratio	0.3
Density	7850
Yield strength(MPa)	250
Ultimate strength(MPa)	460

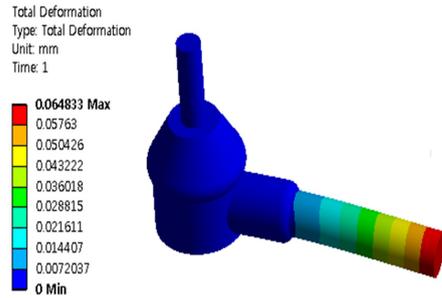
3. 연구 결과

3.1 각 타이로드 엔드 모델들의 변형량

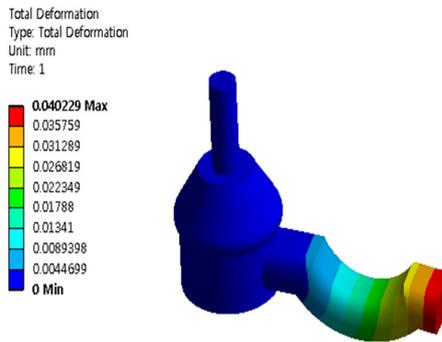
다음에 도시된 [Fig. 5]와 [Fig. 6], 그리고 [Fig. 7]은 각각 타이로드 엔드 모델 A형과 타이로드 엔드 모델 B형, 타이로드 엔드 모델 C형의 시뮬레이션 구조 해석 결과로 각 타이로드 엔드 모델들의 변형량을 나타낸 것이다. 해석 수행 결과, 타이로드 엔드 모델 A형의 최대 변형량은 약 0.0614mm로 나타났으며, 타이로드 엔드 모델 B형의 경우 최대 변형량은 약 0.0648mm, 그리고 타이로드 엔드 모델 C형의 최대 변형량은 약 0.0402mm로 나타났다. 각 모델들을 상호 비교하였을 때, 타이로드 엔드 모델 C형의 최대 변형량이 가장 작게 나타났으며, 세 가지 타이로드 엔드 모델 모두 너클에 조향력을 전달해주는 지지부의 끝부분에서 최대 변형이 발생하는 것으로 나타났다.



[Fig. 5] Total deformation of A type tie rod end model



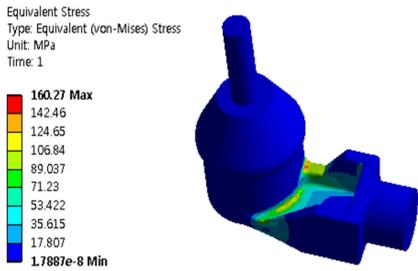
[Fig. 6] Total deformation of B type tie rod end model



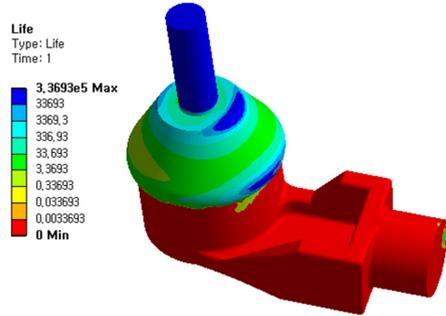
[Fig. 7] Total deformation of C type tie rod end model

3.2 각 타이로드 엔드 모델들의 등가 응력

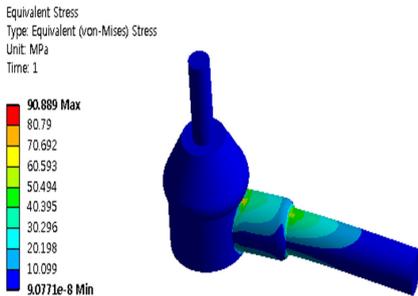
다음의 [Fig. 8]과 [Fig. 9], [Fig. 10]의 경우 각 타이로드 엔드 모델들의 시뮬레이션 구조 해석 결과로 타이로드 엔드 모델들의 등가 응력 분포를 나타낸 것이다. 해석 결과, 타이로드 엔드 모델 A형의 최대 등가 응력은 약 160.27MPa로 나타났으며, 타이로드 엔드 모델 B형에서 발생하는 최대 등가 응력은 약 90.889MPa로 나타났다. 타이로드 엔드 모델 C형의 최대 등가 응력의 경우는 약 84.794MPa로 나타났다. 해당 결과들을 토대로 비교를 하였을 때, 타이로드 엔드 모델 C형이 최대 등가 응력이 가장 작게 나타났으며, 또한 최대 변형량 비교에서처럼 각 타이로드 엔드 모델들의 최대 등가 응력 발생 위치는 굉장히 유사하게 나타났다. 이는 모두 타이로드와의 고정부와 너클에 조향력을 전달해주는 지지부의 중간 지점에서부터 발생하는 경향을 보였다.



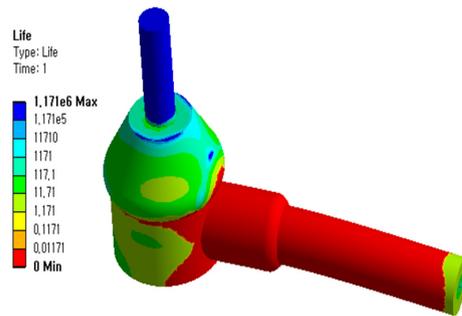
[Fig. 8] Equivalent stress of A type tie rod end model



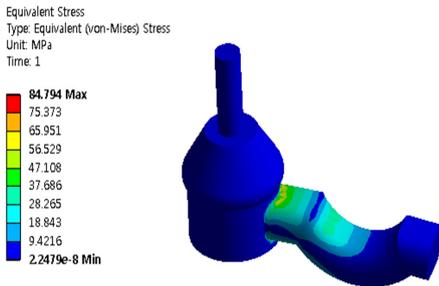
[Fig. 11] Fatigue life of A type tie rod end model



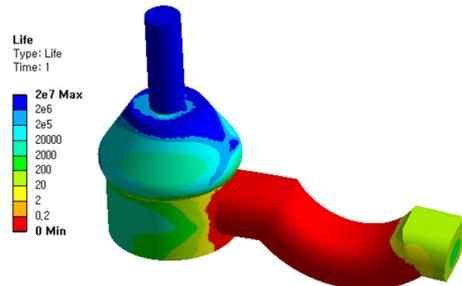
[Fig. 9] Equivalent stress of B type tie rod end model



[Fig. 12] Fatigue life of B type tie rod end model



[Fig. 10] Equivalent stress of C type tie rod end model



[Fig. 13] Fatigue life of C type tie rod end model

3.3 각 타이로드 엔드 모델들의 피로 수명

다음의 [Fig. 11]과 [Fig. 12], [Fig. 13]은 각각의 타이로드 엔드 모델들의 시뮬레이션 피로 해석 결과로 각 타이로드 엔드 모델들의 피로 수명을 나타낸 것이다. 피로 해석 결과, 타이로드 엔드 모델 A형의 경우 최대 피로 수명은 약 336,930cycle, 타이로드 엔드 모델 B형의 최대 피로 수명은 약 1,171,000cycle로 나타났으며, 타이로드 엔드 모델 C형의 최대 피로 수명은 약 20,000,000cycle로 나타났다. 세 가지 형상의 타이로드 엔드 모델 모두 너클에 조향력을 전달해주는 지지부와 그 주변에서 최소 수명을 보였는데 타이로드 엔드 모델 A형, B형, C형 순으로 최소 수명 범위가 점차 좁아지는 경향을 보였다.

3.4 각 타이로드 엔드 모델들의 결과 비교

다음의 <Table 2>는 각 타이로드 엔드 모델들의 해석 결과값들을 표로서 나타낸 것으로 이러한 각 결과값들을 모델 간 상호 비교하였을 때 타이로드 엔드 모델 C형의 최대 변형량과 최대 등가 응력, 최대 피로 수명이 다른 두 가지의 타이로드 엔드 모델들보다 좋은 것으로 나타나 해당 모델이 자동차의 타이로드에 적용하기에 가장 튼튼하고, 내구성이 뛰어나며, 적합한 모델인 것으로 판단된다.

<Table 2> Comparison with analysis results of each tie rod end model

	Maximum deformation (mm)	Maximum equivalent stress(MPa)	Maximum fatigue life(cycle)
A type	0.0614	160.27	336,930
B type	0.0648	90.889	1,171,000
C type	0.0402	84.794	20,000,000

4. 결론

본 연구에서는 형상 별 타이로드 엔드 모델들에 대하여 시뮬레이션 구조 해석 및 피로 해석을 수행하여 각 타이로드 엔드 모델들의 변형량과 등가 응력 분포, 피로 수명에 대하여 연구하였으며, 이를 토대로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 타이로드 엔드 모델 A형의 경우 다른 타이로드 엔드 모델 B형과 C형과 비교하여 최대 등가 응력, 최대 피로 수명 및 최소 피로 수명의 분포 범위가 가장 크게 나타나 이를 개선하기 위한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.
- 2) 타이로드 엔드 모델 B형은 타이로드 엔드 모델 A형에 비하면 최대 등가 응력과 최대 피로 수명이 개선되었으나, C형에 비하면 최대 등가 응력과 특히 최대 피로 수명이 크게 떨어지는 것으로 나타났다.
- 3) 타이로드 엔드 모델 C형의 경우가 다른 타이로드 엔드 모델들과 비교하여 최대 변형량과 최대 응력, 최대 피로 수명 및 최소 피로 수명의 분포 범위의 모든 비교 항목들이 가장 좋은 것으로 나타나 해당 모델이 자동차의 타이로드에 적용하기에 가장 튼튼하고, 적합한 모델인 것으로 판단된다.
- 4) 세 가지의 타이로드 엔드 모델들 모두 너클에 조항력을 전달해주는 지지부 혹은 지지부의 끝부분에서 취약한 경향을 보였는데 이는 응력 집중 현상 때문인 것으로 판단되며, 추후 이러한 응력 집중 현상을 해소하기 위한 설계 형상의 변화를 통한 개량, 적용 소재, 취약 부위에 덧댐 방식을 이용한 이중 재료 접합 등 보다 다양한 관점에서의 연구를 수행해야 할 것이다.
- 5) 본 연구를 통해 도출한 데이터들은 기존의 타이로드 엔드들보다 향상된 내구성을 지닌 타이로드 엔

드의 설계 및 개발에 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 또한 그동안 자동차의 내부에 장착되는 부품인 만큼 디자인이 무시되는 경향이 있었는데, 형상에 대한 연구를 진행함으로써 발생하는 응력이나 변형을 방지하고, 기존의 투박한 디자인에서 조금이나마 벗어날 수 있는, 디자인 면에서 융합 기술로의 접목도 가능하여 미적인 감각을 나타낼 수 있다.

REFERENCES

- [1] C. Z. Jin, K. K. Jin, S. K. Ha, H. S. Seo, I. S. Yoon, "Structure Analysis and Design Optimization of Stiffeners in LNG Tanks", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 36, No. 3, pp. 325-330, 2012.
- [2] S. S. Kang, J. H. Lee, "Evaluation of Fatigue Life and Structural Analysis for Dish-Type and Spoke-Type Automobile Wheels", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 35, No. 10, pp. 1315-1321, 2011.
- [3] D. H. Choi, K. H. Lee, "Structural Analysis and Optimization of a Pedestal for Deck Crane", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 95-100, 2012.
- [4] Y. J. Jang, J. H. Lee, K. W. Kang, "Structural Integrity of Small Wind Turbine Composite Blade Using Structural Test and Finite Element Analysis", Journal of the Korean Society Mechanical Engineers, Vol. 36, No. 9, pp. 1087-1094, 2012.
- [5] M. S. Han, J. U. Cho, "Structural Analysis on Flange Coupling due to Change of Bolt Numbers", Journal of the Korean Society Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 5, pp. 57-66, 2013.
- [6] J. S. Moon, J. W. Kim, J. C. Shin, M. S. Kim, "Reliability Estimation of Door Hinge for Home Appliances", Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 29, No. 5, pp. 689-697, 2005.
- [7] J. U. Cho, M. S. Han, "Structural Durability

Analysis Related to Shape and Direction of Bicycle Frames”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 6, No. 22, pp. 969-975, 2013.

[8] H. K. Choi, J. U. Cho, “Structural Analysis on the Fracture of Bonded Double Cantilever Beam Model”, Jou. of Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 14, No. 4, pp. 41-47, 2012.

[9] H. J. Jung, “The Analysis of Data on the basis of Software Test Data”, Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 10, pp. 1-7, 2015.

[10] Y. H. Cho, “Manufacturing convergence simulation system effect for the degree of perfection improvement of the new product”, Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 6, pp. 91-103, 2015.

[11] W. B. Lee, W. Y. Hao, B. P. Kyung, S. H. Ryu, “Dismantling Simulation of Nuclear Reactor Using Partial Mesh Cutting Method for 3D Model”, Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 4, pp. 303-310, 2015.

[12] Y. C. Lim, H. S. Yang, “A Design of a Context-Aware System in Solar Cell Equipment with the use of Multi-sensor”, Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 11, pp. 265-272, 2014.

[13] B. H. Kim, J. H. Um, R. G. Jeong, Y. S. Byun, S. W. Kang, “Development of an Operation Control System of the Vertical Transferable Korean Personal Rapid Transit”, Journal of Digital Convergence, Vol. 12, No. 10, pp. 337-343, 2014.

[14] J. H. Lee, J. U. Cho, “Convergence Technique Study through CAE due to the Shape of Lift for Car”, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 5, pp. 49-54, 2015.

[15] J. H. Lee, J. U. Cho, “Study on Convergence Technique due to the Shape of Cruiser Board through Structural Analysis”, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 4, pp. 99-104, 2015.

저자소개

이 정 호(Jung-Ho Lee)

[학생회원]



- 2015년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부(공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학과(공학석사 과정)

<관심분야> : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[종신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)

· 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야> : 기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석