

ANSYS Workbench를 활용한 타이어 구조 해석

한 철 희^{*1)}

충주대학교 항공기계설계학과¹⁾

Structural Analysis of a Tire using an ANSYS Workbench

Cheolheui Han^{*1)}

1)Department of Aeronautical and Mechanical Design, Chungju National University, 50 Daehak-Ro, Chungju 380-702, Korea

(2011. 03. 31 Received / 2011. 05. 07 Accepted)

Abstract : Structural analysis of a tire is done using a commercial software, ANSYS Workbench. The properties of rubber of the tire is represented using a Mooney-Rivlin model. The bead in the tire is made of structural steel. 3D CAD model of the tire is obtained from a commercial CAD-specialized software, CATIA. Using an imported 3D CAD geometric model, a mesh system with fifty thousand nodes is constructed using ANSYS. A time-variant point force is applied to the rim of the tire, and the deformation of the tire is computed. It is found that both bending and twisting of the tire are observed where the point force is applied. The deformation of the tire is asymmetric, which results in the help of ripping the tire using the helper. It is also found that the deformation undergoes linearly with the applied force. When the force is larger than 1500N, then the deformation becomes larger than the half of the thickness of the tire. In the future, a more realistic rubber model will be applied and validated with the measured data.

Key words : Computational Structural Analysis(전산구조 해석), Mooney-Rivlin Model(무니 리블린 모델), Plastic Deformation Analysis(소성변형해석), Tire(타이어)

1. 서 론

우리나라의 자동차 설계 및 제조 기술은 선진국의 기술에 육박하고 있으나, 정비 장비의 제조 기술은 아직 미미한 수준으로, 일부 정비 관련 기업의 제품은 대부분 소형 차량 용도로 제한되어 있다. 특히, 자동차 정비공장에 사용되는 타이어 탈부착기는 타이어와 휠을 분리하거나 타이어와 휠을 합체하는 작업을 수행하는 장비이다. 대형 버스나 트럭, 중장비 등에서 사용되는 14"에서 56"까지의 대형 타이어의 교환에 사용되는 타이어 탈부착기는 소형 또는 중형 타이어 탈착기와 달리 대형 타이어의 중량

과 부피를 고려한 설계와 개발이 요구되나, 아직 국내에서 개발이 되지 않고 있는 실정이다.

일반적으로 타이어 탈 부착기는 먼저 조우 클램프가 수평 메인 기둥과 병합하고, 리프팅 기능을 수행하며, 전체적인 구동력은 유압과 전동의 병행 운전에 의하므로 상호 연동 시스템을 개발하여 원활한 작업성과 운전성을 확보가 매우 중요하다. 일반적으로 타이어는 고분자 상태의 고무, 휠과 고무부분을 접합시켜 공기의 누설을 방지하는 비드, 그리고 고무를 지지하며 강성을 감당하는 휠로 구성되어 있다. 따라서, 타이어 탈착에 요구되는 힘을 정확히 파악하여야 헬퍼를 작동시키는 유압실린더의 정확한 설계 요구조건을 설정할 수 있다. 본연구에서는 타이어와 비드를 포함한 구조물의 소성해석 연

^{*} Corresponding author. E-mail: chhan@cju.ac.kr

구를 수행하였다.

2. 수치해석

2.1 기하학적 형상 및 격자

타이어 탈착기에 적용되는 유압실린더의 사양을 결정하고 구조안정성 해석을 하기 위해서는 먼저 타이어의 형상 및 재질에 대한 3차원 모델링이 중요하다.

Fig.1 에 나타난 바와 같이 휠 및 타이어의 실제 형상을 기준으로 CATIA를 사용하여 3차원 모델링 연구를 수행했다. 또한, 탈착기 및 타이어 3차원 CAD 모델링 작업을 통합하여 아래와 같이 타이어를 부착한 탈착기 3차원 CAD 모델을 확보하였다.

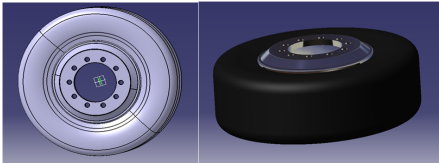


Fig. 1 Geometric shapes of a tire

2.2 기하학적 형상 및 격자

Fig. 2에 CATIA를 사용하여 작성한 3차원 CAD 모델을 import한 그림을 나타내었다. 타이어 및 비드부분 모두 그림 2.2에 나타난 바와 같이 6면체의 격자요소를 가지도록 격자시스템을 구성하였다. 사용된 노드수는 49776개, 요소 개수는 16147개이다.

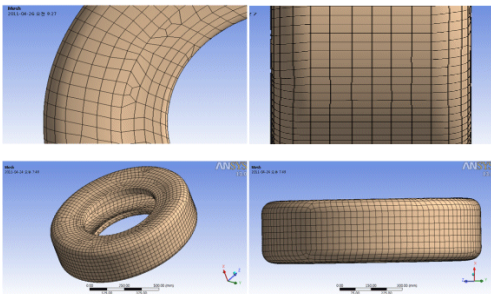


Fig. 2 Grids for the present analysis

2.3 해석 및 경계조건

힘을 주었을 때 고정을 시키지 않으면 타이어가

움직여 해석이 불가능하므로 한 곳을 고정 시켜 해석을 해야 한다. 즉 위 그림에 파란색 부분을 모든 방향에 대하여 완전고정조건으로 잡고 힘을 빨간색 부분에 준다. 그리고 힘을 한 번에 주게 되면 stress, strain, Deformation에 대한 수렴이 불가능 하므로 step을 5s를 주고 0s부터 5s까지 점차적으로 힘을 200N씩 증가 시켜 마지막 5s일 때 1000N을 부여 한다.

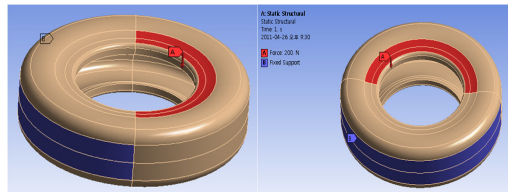


Fig. 3 Convergence test

2.4 타이어 물성치 모델링

2.4.1 Rubber 물성

Rubber는 거의 비압축성 물질로 대부분의 비압축성 물질들은 부피변화를 크게 수반하지 않은 상태에서 대변형이 가능한 물질들이다. 또한 대부분의 압축성 물질들은 포아송비가 0.48에서 0.5의 값을 가지며, 초탄성(hyperelasticity) 물질이다. 일반적으로 rubber의 힘-변형 곡선은 그림 1.3에 잘 나타나 있듯이, 인장력을 받을 경우 변형이 연성으로 진행된다 다시 경화되는 특성을 나타내며, 본 연구에서는 헬퍼가 타이어의 일부분에 압축력을 가하는 경우 재료는 급격히 경도가 증가하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 주어진 변형률값에 대하여 고무와 같은 초탄성물질들의 응력은 변형률성분에 대한 변형에너지 밀도함수(W)를 미분하여 계산할 수 있다.

$$[S] = \frac{\partial W}{\partial [E]}$$

여기서 E는 알려진 Green-Lagrangian 변형률이며 S는 2차의 Piola-Kirchoff 응력으로 계산된다. W는 단위 부피당 에너지항이다. 본 계산에서 초탄성 물질들은 등방성 물질이라고 가정하고 계산을 수행했다.

초탄성 물질들의 특성을 나타내기 위한 변형률 에너지 밀도함수는 Mooney-Rivlin 및 Blatz-Ko 두 개의 종류가 있다. 본 연구에서는 Mooney-Rivlin 함수를 사용했다. Mooney-Rivlin 함수는 보통 2개 파라미터 모델, 5개 파라미터 모델, 9개 파라미터 모델이 사용되며, 본 연구에서는 아래 주어진 식과 같이 2개의 매개변수를 사용하는 함수로 정의하였다.

$$W = a_{10} (I_1 - 3) + a_{01} (I_2 - 3) + 1/2 k (I_3 - 1)^2$$

위 수식에서 a_{10} , a_{01} 은 매개변수, K 는 체적탄성계수를 나타낸다. 또한 E 값은 대략 $6(a_{10}+a_{01})$ 의 값을 가진다. 표 10에 나타난 계수값을 사용하여 응력변형률 곡선을 나타내면 그림 1.4와 같다.

Mooney-Rivlin 모델은 다음 구속조건을 만족시킬 때 타당한 물성치를 구현한다. 응력이 변형의 연속함수이어야 하며 단축변형에서 양 또는 음의 값이 항상 발생해야 한다. 본 모델은 대부분 단축 또는 등방축 압축이나 인장을 받을 때 사용되며 변형의 양상은 대부분 비슷한다. 이는 초탄성 물질의 비압축성에 기인한다. 본 연구에서 사용한 2개 파라미터 모델의 경우에는 $a_{10} + a_{01} > 0$ 이라는 구속조건을 만족시켜야 한다.

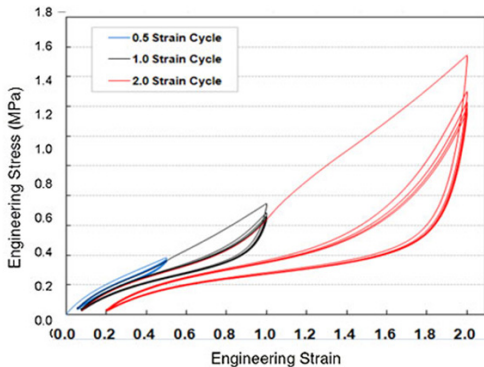
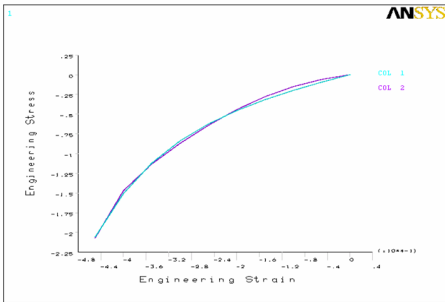


Fig. 3 Stress-strain diagram using a Mooney-Rivlin model

2.4.2 비드 물성

비드는 구조강(Structural Steel) 재질로 이루어져 있으며, 구조강 재질은 Table 1에 나타내었다. 구조강은 교량과 같은 국가기간 산업과 항공우주 및 자동차와 같은 첨단 고부가가치 산업에 사용되는 재질로 다음과 같은 물성치를 가진다.

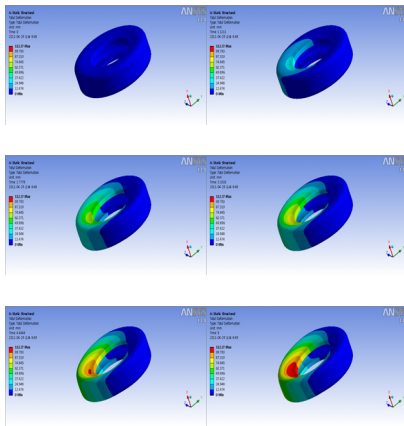
Table 1 Material properties of structural steel

Strain-Life Parameter		
Display Curve Type	Strain-Life	Pa
Strength Coefficient	9.2E+08	
Strength exponent	-0.106	
Ductility coefficient	0.213	
Ductility Exponent	-0.47	
Cyclic Strength coefficient	1X+09	Pa
Cyclic Strain Hardening Exponent	0.2	
Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa
Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa

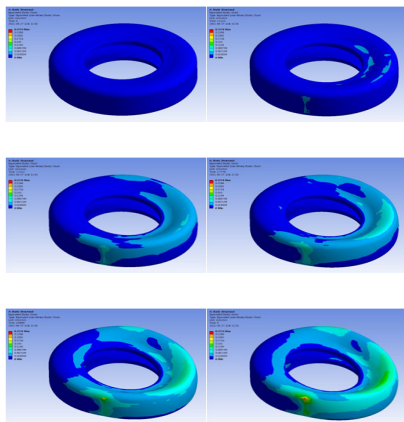
3. 결과 및 분석

비드를 포함한 타이어의 거동분석은 타이어의 안전적 작업이나 헬퍼 형상설계자료로 매우 중요하다. 해석을 위해 먼저 하중을 0에서 크기 500N[약 50kg중]으로 5초 동안 증가시켰을때, 타이어의 변형을 계산하여 Fig. 4(a)에 나타내었다. 그림에서 인가된 하중이 작을 경우 타이어의 변형은 거의 발생하지 않는다. Fig. 4(b)와 같이 하중을 증가시키면 타이어 내부 직경에 가까운 부분 즉 집중하중이 가해지는 부분에서 높이 방향의 굽힘(bending) 발생하여 타이어 부재의 높이(타이어 두께)가 감소하며, 동시에 뒤틀림이 발생한다. 또한, 집중하중을 받은 부재 부분에서 굽힘에 의한 높은 수준의 변형이 발생하고, 비드와 휠사이의 접촉부분과 집중응력을 받지 않는 부분에서의 변형은 미미한 수준이다. 따라서, 헬퍼를 사용하여 인가한 하중으로 타이어가 비대칭

으로 변형하면, 휠로부터 타이어를 탈착시키기에 매우 용이하다.



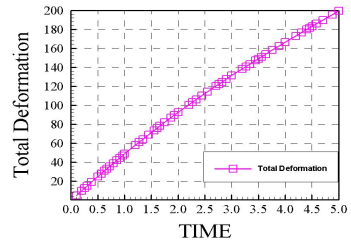
a) 하중 500N



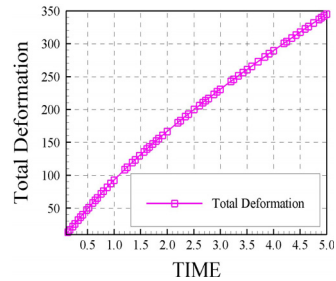
b) 하중 1000N

Fig. 4 Stress-strain diagram using a Mooney-Rivlin model

Fig. 5에 하중 및 하중인가시간 변화에 따른 타이어 변형의 크기변화를 나타내었다. 시간에 따른 하중 및 변형량 변화는 오히려 일정시간이 지나면 선형임을 알 수 있다. 또한 최대하중은 2배 증가했음에도 불구하고 최대변형은 1.5배 정도 증가하였다.



(a) 1,000N



(b) 2,000N

Fig. 5 Stress-strain diagram using a Mooney-Rivlin model

4. 결 론

본 연구에서는 타이어 탈 부착기에 적용되는 유압 시스템 설계를 위하여 타이어의 소성변형에 관한 연구를 수행하였다.

- 1) 하중을 증가시키면 타이어 내부 직경에 가까운 부분 즉 집중하중이 가해지는 부분에서 높이 방향의 굽힘(bending) 발생하여 타이어 부재의 높이(타이어 두께)가 감소하며, 동시에 뒤틀림이 발생한다.
- 2) 시간에 따른 하중 및 변형량 변화는 오히려 일정시간이 지나면 선형임을 알 수 있다. 또한 최대하중은 2배 증가했음에도 불구하고 최대변형은 1.5배 정도 증가하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2010년 중소기업기술혁신개발사업 대형타이어 탈착기 개발 과제 지원을 받아 수행한 연구임.

References

- 1) ANSYS Workbench User's Guide, Release 12.1, ANSYS, Inc., Nov. 2009.