한국 CAD/CAM 학회 논문집
제 10권 제 5호 2005년 10월 pp. 375-379

기술논문

자동차용 고무 Dust Cover의 거동에 관한 연구

강태호*, 김인관**, 김영수***

An Analysis of Rubber Dust-Cover for Automotive Parts

Kang, T. H.*, Kim, I. K.** and Kim, Y. S.***

ABSTRACT

Durability of rubber dust cover in the ball joint for automotive suspension parts is analyzed by FEM and compared with experimental data. Upper open area of ball joint is sealed by dust cover for preventing outflow of the lubricating oil and intrusion of send, dust, water, etc. This rubber cover undergoes repeated loadings such as tension and compression while the car is running. Analysis about rubber material needs to consider every kinds of nonlinearities arise in finite element analysis, which are geometric nonlinearity due to large displacement and small strain, materially nonlinearity and nonlinear boundary condition such as contact. The deformation behavior of dust cover is analysed by using the commercial finite element program MARC. In the study, this program could solve these kinds of nonlinear analysis accurately. Finite element model of dust cover is considered as 3-dimensional half model based on 2-dimensional axisymmetric model. Material property of rubber is modeled by Ogden model and input data for calculation takes form uniaxial tension test of rubber specimen. The final object of the study is obtaining the design specification of dust covers and the result of analysis should be a useful data to design of rubber cover.

Key words : Suspension parts (현가장치), Ball joint (볼조인트), Dust cover(더스트커버), Self contact (자체접촉)

1. 서 론

최근 컴퓨터의 대형화와 고속화에 의한 성능향상으로, 대변형(Large deformations)과 하중에 대해 비선형적 거동을 하는 재료인 고무제품에도 유한요소법을 적용한 제품설계가 증가하고 있으며, 신뢰성도 높아지고 있다. 이러한 현실에 맞추어 자동차의 여러 시스템에 사용되는 고무제품에 대한 유한요소 해석이 활발히 진행중인 상태이다. 자동차의 부품은 각기 다른 재료와 움직임으로 유기적인 관계를 가지고 있기 때문에 각 부품의 실제 거동에 대한 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다.

본 연구대상인 고무커버는 주행 중 발생하는 진동이나 충격을 흡수하여 승차감과 자동차의 안정성을 향상시키는 자동차 현가장치 부품의 하나로, 컨트롤 암과 조향너클 사이를 연결하는 Ball-joint의 Dust cover이다. 이것은 먼지, 모래, 물 등의 이물질로부터 Ball-joint를 보호하고 동작부의 윤활유를 밀폐하여 윤활성을 유지시키는 역할을 함께 한다.

현재 이러한 Dust cover는 아직 시행착오법과 같은 경험에 의존한 설계를 하고 있으며 각 자동차의 모델에 따라 다른 형상으로 적용되고 있다. 그러므로 본 연구는 이러한 Dust cover설계의 스펙화(Specification)를 최종 목표로 두고, 먼저 Dust cover에 대한 Data base 구축을 이번 연구를 통해 수행하려 한다. 즉 밀폐된 내부와 거동에 의한 변형에서의 변화형상과 자체접촉이 일어나는 형태를 분석하기 위함이다.

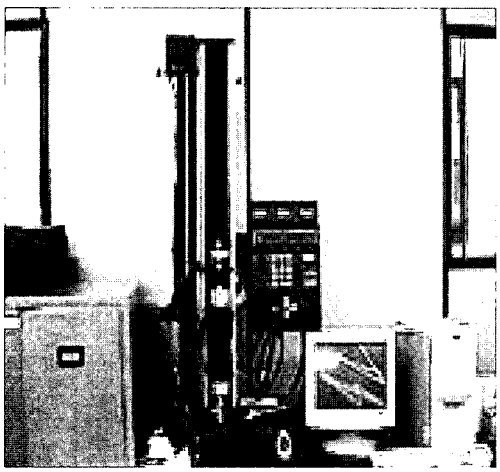
적용재료와 제품이 성형되는 조건과 같이 제작되어진 시편의 인장시험을 통하여 확보된 물성을 입력값으로 사용되었으며, 유한요소해석은 비선형 해석기능이 우수한 범용 구조해석 프로그램인 MARC를 사용하였다.

*교신저자, 학생회원, 부경대학교 대학원
**정회원, 부경대학교 RRC
***부경대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2005. 03. 28
- 심사완료일: 2005. 06. 20

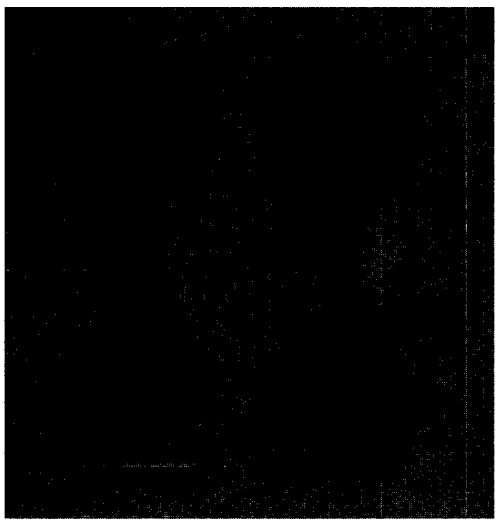
2. 재료시험

2.1 시험편 및 인장시험

해석에 필요한 재료의 물성을 얻기 위하여, 실제 제품과 같은 성형조건으로 제작한 3호형 시편 10개를 단축(Uniaxial) 인장시험 하였다. 제작된 시편의 재료 또한 실제 제품에 적용 되는 것이다. 고무재료의 수급 특성상 적용 제품에 따라 물성이 조금씩 바뀌기 때문에 소재별 인장시험을 거쳐야 한다. 인장시험에 사용된 시험장치는 Instron사의 Instron444모델 인장시험기이다. 아래의 Fig. 1은 인장시험기와 3호형으로 제작한 시편의 형상이다.



(a) Instron test machine



(b) Rubber specimen

Fig. 1. Tensile test and specimen.

2.2 인장시험 결과

인장시험으로 얻은 10개의 데이터는 오차가 큰 시편 2개를 제외하고 산술평균하였다. 그 결과 최대 신장율은 365%이고, 그때의 최대인장하중은 7.8 kg/mm^2 이었다. Fig. 2의 그림은 인장시험의 시험 결과이다. Table 1은 결과를 나타낸 것이다.

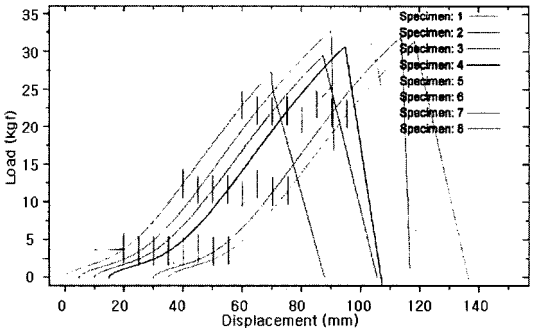


Fig. 2. load & displacement curve of tensile test.

Table 1. Result of tensile test

	Tensile strength (kgf/cm^2)	Strain (%)	Modulus at 100% (kgf/cm^2)	Modulus at 200% (kgf/cm^2)	Modulus at 300% (kgf/cm^2)
1	172.516	350.7	23.696	78.052	143.714
2	205.831	426.6	21.576	72.772	138.868
3	190	387.5	22.642	75.161	142.089
4	206.174	398.3	22.563	75.128	142.539
5	193.664	423.2	22.544	74.383	140.226
6	193.664	391.8	23.311	76.942	142.9
7	203.949	418.4	21.655	72.359	139.507
8	199.554	414.4	22.339	73.383	138.186
AV	195.669	401.360	22.541	74.772	141.004

인장시험으로부터 얻은 시험결과를 해석의 입력값로 쓰기 위해서는 재료의 거동을 나타낼 수 있는 함수로 표현해야 한다.

Dust cover와 같은 비압축성이 강한 재료는 매우 큰 비선형적 거동을 보이며, 재료의 특성을 잘 묘사하기 위해 변형률과 에너지함수에 근거한 여러 가지 모델들이 개발되어 왔다. 그 대표적인 모델로는 Neo - Hookean, Mooney Rivlin, Ogden 모델 등이 있다.

본 연구에서 실제 재료 실험결과를 바탕으로 근접 모델을 설정하여 이론적인 접근을 시도하였다. 사용된 고무재료는 Ogden모델에 의해 구해진 결과가 시편의 인장시험 결과를 가장 잘 표현하였다. 따라서 본

해석은 Ogden 모델을 사용하였으며, Ogden 모델의 변형률 에너지 함수는 다음과 같이 표현된다.

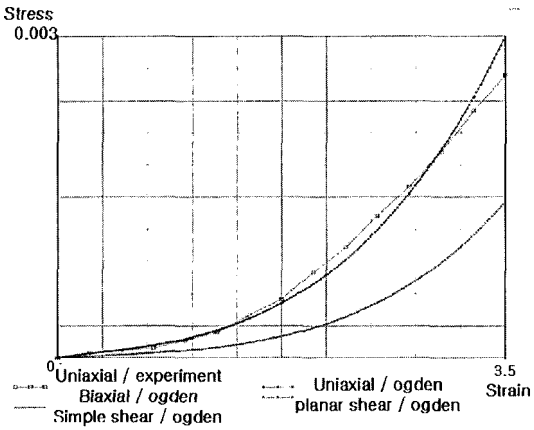


Fig. 3. Stress-strain curve (Ogdon model).

$$W=\sum_{n=1}^{N}\frac{\mu_n}{\alpha_n}\left[J^{\frac{-\alpha_n}{3}}(\lambda_1^{\alpha_n}+\lambda_2^{\alpha_n}+\lambda_3^{\alpha_n})-3\right]+4.5K(J^{1/3}-1)^2$$

W : Strain energy

λ_i : Stretch ratio

μ_i, α_i : Material constants

K : Initial bulk modulus

J : Volumetric ratio

$J=\lambda_1\lambda_2\lambda_3$

위의 Ogden 모델을 사용하여 얻은 응력변형률 곡선은 Fig. 3에 나타내었다.

3. 거동 해석

3.1 적용 제품 모델

본 연구에 사용된 Ball joint의 Dust cover는 C사에서 생산하여 실차에 적용되고 있는 제품이며, 그 모델은 위의 Fig. 4과 같다. Dust cover에는 고무의 형상을 유지하고, 그리스의 유출을 막기 위한 Steel 재질의 Ring이 상단 부에 삽입되어 있는 상태이다.

Dust cover의 해석을 위에서 언급한 것과 같이 조립에 의한 단순 압축은 2차원 축대칭 모델만으로 충분한 해석이 가능하므로 먼저 2차원으로 모델링하였다. 해석에 표현된 Part는 먼저 고무재료인 Cover와 그 속에 삽입된 Steel ring을 모델링하여 Mesh를 나누고, Ball stud와 Socket부분 그리고 커버를 압축하는 부분을 각각 강체로 모델링 하였다. 3차원 모델은

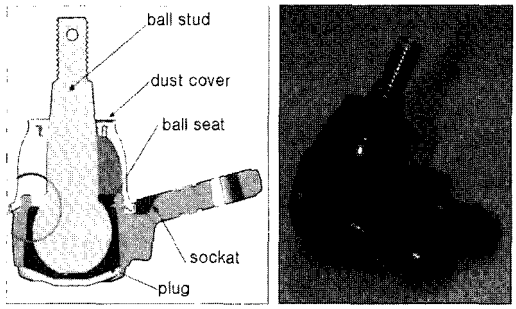


Fig. 4. Assemble of ball joint.

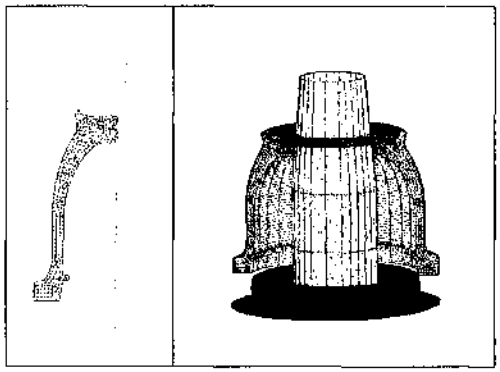


Fig. 5. Finite element model of dust cover.

2차원 모델을 축의 궤적을 따라 12도씩 15회 반복 확장시켜 실제 모델의 1/2인 3차원 유한요소 모델을 완성시켰다.

3.2 적용해석 조건

Dust cover의 조립과 거동에 관한 해석조건은 아래의 표와 같이 수행하였다.

Table 2. Boundary conditions of analysis

Model	Part	Condition	비고
c_body1	rubber	deformable	restrict the contact with socket in all direction socket
c_body2	steel ring	deformable	-
c_body3	socket	rigid	+6.5 mm of x-direction, assemble with rubber bt 3 times step
c_body4	press part	rigid	after assembly, x-direction displacement for compress is −12 mm (1 mm for 1 time)
c_body5	ball stud	rigid	after compress, ball stud rotate 23° for 5 time by 10 step of z-direction

Dust cover와 소캣의 조립에 의한 압축해석은 2차원으로 해석하고, 얻어진 2차원 해석 결과를 Ball stud의 회전을 위해 3차원으로 모델링된 것의 Initial condition으로 입력하여, 전체 해석 시간을 단축하였다. 해석에 사용된 Element type은 Dust cover의 비압축성, 비선형 재료거동을 해석하기 위하여 Reduced & Hermann Formulation Element를 사용하였다. 연구에 사용된 상용 프로그램인 MSC. Marc의 경우 자동 접촉에서 강체와 가변체에 대한 접촉과 가변체와 가변체에 대한 인식이 모두 가능하며, 변위와 속도, 힘 등의 전달에 대한 계산을 수행 할 수 있다.

3.3 해석 결과

Dust cover의 유한요소해석 결과 조립에 의해 압축된 부위의 응력은 최대 0.21 kg/mm^{2}이었다. 결과는

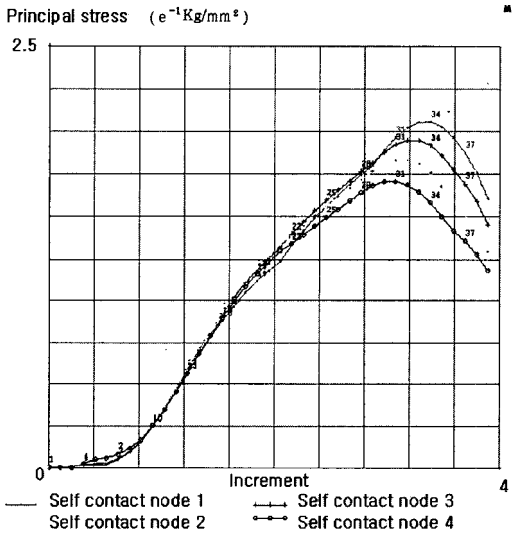


Fig. 6. Stress curve of rubber.

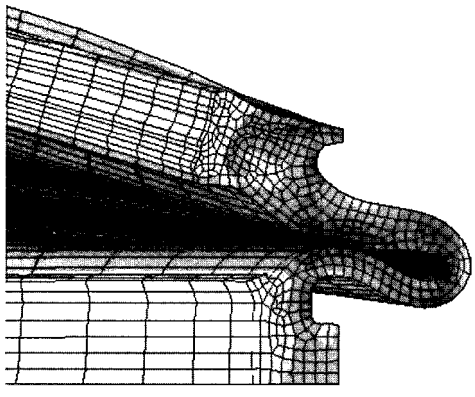
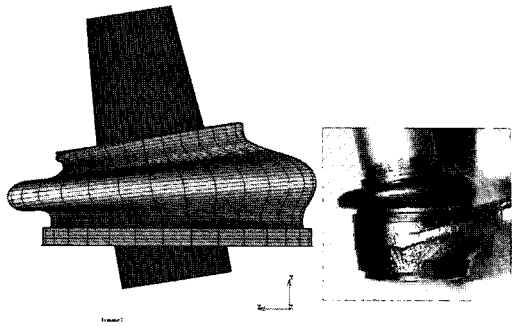
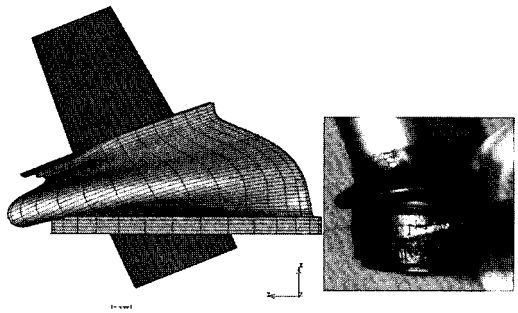


Fig. 7. Occurrence of self contact (16°).



Moving angle 10°



Moving angle 23°

Fig. 8. Comparison of simulation and actual state.

Fig. 6에 나타내었다.

차체접촉은 Ball stud가 Fig. 7과 같이 16도 회전했을 시에 발생하였다. 이는 실제 운동과 일치하는 결과로 단계별 비교는 Fig. 8에 나타내었다.

4. 결 론

Ball joint의 Dust cover의 조립 및 요동에 의한 고무커버의 변형에 관한 해석에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고무 물성에 관한 입력값은 Ogden model에 의해 구해진 값이 실제 모델의 거동을 가장 잘 표현하였다.

2. 조립에 의한 압축으로 생긴 고무의 인장부위에는 최대 0.21 kg/mm^{2}의 응력이 항상 존재한다. 이 응력 집중 부위는 Ball stud의 회전에 따른 요동이 생기면 응력이 이완됨을 확인할 수 있었다.

3. 자체접촉은 요동각이 16도에서 발생함을 확인 할 수 있었다.

4. 최대 23도로 요동각을 주었을 때의 최대응력은 0.278 kg/mm^{2}였고 그때의 Strain 값은 0.518로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 부경대학교 RRC의 지원을 받아 작성 되었습니다.

참고문헌

1. Rossignac, J. R. and Requicha, A. A. E., "Offsetting Operations in Solid Modelling", *Computer Aided Geometric Design*, Vol. 3, pp. 129-148, 1986.
2. Weiler, K., "Topological Structures for Geometric Modeling", PhD Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, August 1986.
3. 이상헌, "사출 성형 제품의 설계 및 해석의 통합 환경을 제공하기 위한 특징 형상 기반 비다양체 모델링 시스템의 개발", 박사 학위 논문, 서울대학교, 1993.
4. Gursoz, E. L., Choi, Y. and Prinz, F. B., "Boolean Set Operations on Non-manifold Boundary Representation Objects", *Computer-Aided Design*, Vol. 23, No. 1, pp. 33-39, 1991.
5. Lee, K. and Kwon, B. W., "Efficient Modeling Method of Sheet Objects", *ASME Computers in Engineering Conference*, Vol. 1, pp. 437-446, 1992.
6. Nonlinear Finite Element Analysis of Elastomers, MARC Analysis Research Co., 1996.
7. Mark, J. E., Erman, B. and Eirich, F. R., "Science and Technology of Rubber", Academic Press, 1994.
8. Lee, B. C. and Kwak, B. M., "A Computational Method for Elasto-plastic Contact Problems", *Comput. & Struct.*, Vol. 18, pp. 757-765, 1984.
9. Bathe, K. J. and Chaudhary, A., "A Solution Method for Planar and Axisymmetric Contact Problems", *Int. J. Numer. Methods Eng.*, Vol. 21, pp. 65-88, 1992.
10. Crisfield, M. A., "Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures", John Wiley & Sons, Vol. 1, 1991.
11. 김헌영, 김종재, "변위-압력 유한요소법을 이용한 고무재료 대변형 해석", 대한기계학회, pp. 135-140, 1999.
12. 이형욱, 김세호, 이충호, 허훈, 오승탁, 이종화, "3차원 자체접촉을 위한 유한요소해석에 의한 등속조인트 고무부트의 변형해석", 대한기계학회논문집, Vol. 21, No. 12, pp. 2121-2133, 1977.
13. 구진모, 이수홍, "공리적 설계법을 이용한 차량용 고무설비 설계 지원 CAD 시스템 개발", 한국CAD/CAM학회 논문집, Vol. 8, No. 2, pp. 84-89, 2003.

강 태 호

1999년 부경대학교 기계설계학과 학사
2001년 부경대학교 냉동공조공학과 석사
2001년~현재 부경대학교 냉동공조공학과 박사과정
관심분야: 하이브리드 고분자 재료, 고분자 성형 CAE

김 인 관

1994년 부경대학교 정밀기계공학과 학사
1996년 부경대학교 금형공학과 석사
2004년 부경대학교 냉동공조공학과 박사
2004년~현재 친환경 첨단 에너지 기계연구센터 교수
관심분야: 신재생 에너지, 비철금속 성형공정, 고분자 재료 성형, 하이브리드 고분자 재료

김 영 수

1979년 부산대학교 기계공학과 학사
1981년 서울대학교 기계설계학과 석사
1994년 Concordia University 박사
1981년~1982년 대우조선
1984년~현재 부경대학교 냉동공조공학과 교수
관심분야: 복합재료, 고효율 열교환 시스템, 자동차 경량화 부품, 수소 에너지