

자동차부품용 볼조인트의 Dust Seal 변형해석 Analysis of Deformations of Dust-seal in Ball Joint Used for Automobile Part

*최현진¹, 박철우¹, 박철휴¹, 최성대²

*H.J. Choi¹, C.W. Park¹, C.H. Park¹, #S.D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)²

¹ 대구기계부품연구원, ² 금오공과대학교 기계공학부

Key words : Ball Joint, Dust Seal, Analysis of Deformation, Automobile Part

1. 서 론

본 연구대상은 자동차 조향시스템 끝에 적용된 타이로드 엔드(Tie rod end)부의 볼조인트(Ball joint) Dust seal이다. 이것은 먼지, 모래, 물 등의 이물질로부터 Ball joint를 보호하고 동작부의 윤활유를 밀폐하여 윤활성을 유지시키는 역할을 함께 한다.

최근 연구결과에 의하면 볼조인트의 문제발생원인은 Dust seal의 손상으로 인한 문제가 상당부분을 차지하는 것으로 보고되고 있다 Seal의 밀봉효율과 수명에 큰 영향을 주는 인자중의 하나는 Seal의 접촉면에서의 합력, 즉 Seal의 수축력으로 이에 대한 해석은 Seal의 최적 설계 측면에서 대단히 중요하다. 최근 볼조인트의 작동조건은 더 많은 굴절각도를 요구하고 있으므로 형상에 선단부와 회전축사이에 작용하는 접촉압력이 어느 정도 유지되는지가 수명이나 볼조인트의 성능을 결정하는 주요인자다.

현재 이러한 Dust seal 뿐만 아니라 고무제품에 대해서도 유한요소법을 적용한 제품설계가 증가하고 있으며, 신뢰성도 높아지고 있다. 그러므로 본 연구에서는 기존제품 및 2가지 개선 설계안을 이용하여 Dust seal의 Rib형상 및 위치, Steel ring의 위치 등 설계변수에 따른 밀착력 및 변형을 해석하여 제품의 성능만족도를 평가하고자 한다. Dust seal의 재료의 비선형특성을 고려하여 상용해석프로그램인 MARC를 이용하여 수치해석을 수행하여 세 타입의 성능을 가시화 할 것이다.

2. 해석 방법

2.1 고무재료의 해석

Dust seal와 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 해석에서는 고무의 가장 큰 특성인 대변형과 비압축성의 고무거동을 표현하는데 일반화된 Mooney Rivlin모델(Generalized Mooney Rivlin model)을 이용하여 해석을 수행하였다.

$$U = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3)$$

여기서 U는 변형률 에너지를 나타내며, I_1, I_2 는 Cauchy Green 변형텐서의 주 불변량을 나타낸다. 이때 물성치를 나타내는 상수값들 C_{10}, C_{01}, C_{11} 는 기본적인 실험을 통해 구해진다. 통상적으로 이축인장시험이 가장 효과적이거나 이 시험은 시험과정이 복잡하고 어려우므로 통상 단축인장시험을 통해 상수를 구한다. 단축인장시험 결과만으로 상수를 구하는 것이 부정확하므로 단순압축, 순수전단 실험 등을 통해 보완할 수 있다.

한편 고무는 시험 중 반복하중 하에서 소위 Mullins 효과라고 불리는 연화(Softening)가 일어나며, 이는 첫 번째 부하에서 가장 두드러지고 여러 주기의 진행이후에도 여전히

히 나타나는 현상이다. 그러므로 초기 한두번의 실험결과는 고무의 특성이 과장되는 경향을 보이게 된다. 이러한 현상을 피하기 위해 제품의 사용조건에 맞는 변형률 상태까지 4~5번의 조절(Preconditioning) 단계를 거치고 난후 얻어지는 결과를 이용하여 상수 값들을 결정하였다.

2.2 수치해석 방법

해석에 적용된 Dust seal은 A사에서 생산되는 모델과 B사에서 신규로 적용하고자 하는 2가지 모델의 Dust seal에 대해 변형해석을 수행하여 형상에 따른 압축응력을 비교하였다. Fig.1은 실제 생산되고 있는 제품의 해석을 위한 3차원 model의 형상을 나타내고 있다.

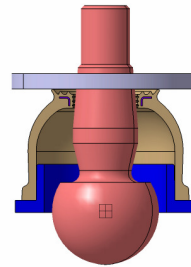


Fig. 1 Assemble of ball joint

Fig. 2는 해석을 수행하고자 하는 각 Case의 상세 디자인을 나타내고 있다.

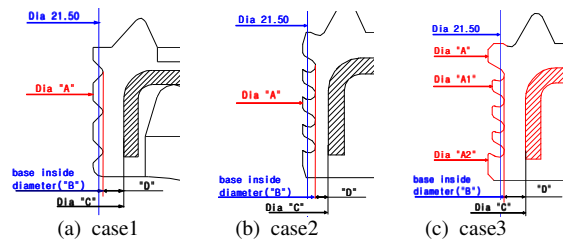


Fig. 2 Design of Dust seal

Dust seal의 조립 및 장착에 관한 해석은 최대칭모델만으로도 해석이 가능하나 해석의 관심부분은 조립이 아닌 장착 후와 최대각도의 작동 후 각 Case마다 Rib의 압축응력이므로 실제모델의 1/2인 3차원 유한요소 모델을 완성하여 해석을 수행 하였다.

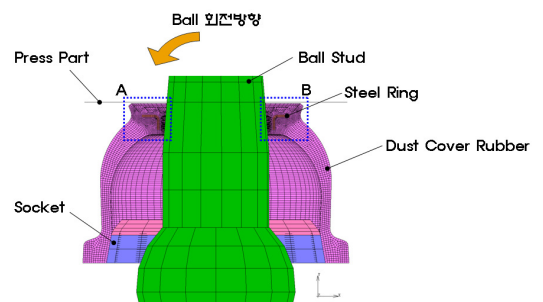


Fig. 3 Finite element model of Dust seal

Dust seal의 조립과 거동에 관한 해석조건의 Socket과 Rubber는 초기 접촉된 상황에서 Press part가 장착높이로 눌러주고, Ball stud가 21.5° 회전하도록 경계조건을 부여하였다. 해석에 사용된 Element type은 재료의 특성을 고려하여 Reduced & Herrmann Formulation Element를 사용하였다.

3. 해석 결과

Dust seal의 유한요소 해석결과 Ball stud의 기울어지는 쪽의(A) Rib와 반대쪽(B)의 Rib에서 발생하는 Contact normal stress를 비교하여 밀착성의 우수성을 확인하였으며, Von-Mises stress를 통해 Dust seal의 안정성을 확보하였다.

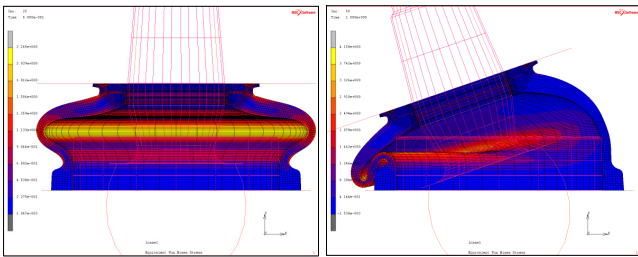


Fig. 4 von-Mises Stress shape of case1

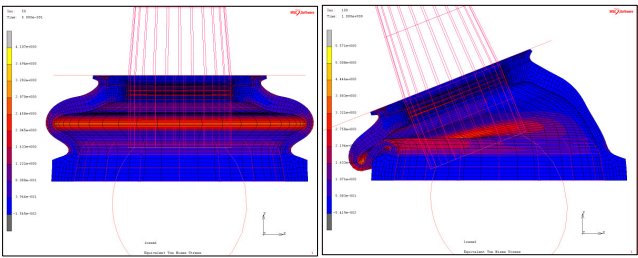


Fig. 5 von-Mises Stress shape of case2

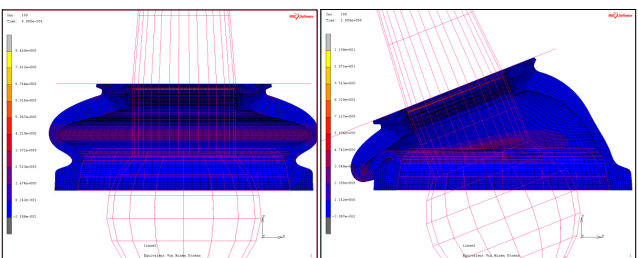


Fig. 6 von-Mises Stress shape of case3

해석결과 장착시의 최대 발생응력은 Case1은 2.27MPa, Case2는 4.11MPa로 Dust seal의 몸통부에서 발생하였으나 Case3는 8.46MPa로 1번 Rib에서 발생하였으며, 최대 작동시 발생응력은 Case1은 4.15MPa, case2는 5.75MPa, case3은 11.9MPa로 큰응력이 발생하였으며 발생위치는 장착시와 동일한 위치에서 발생하였다.

Fig. 7의 Rib위치 중 1번 Rib의 Contact normal stress를 비교하면 Fig. 8에서 보는 것과 같이 유사한 형태로 발생함을 알 수 있다. 4번 Rib의 Contact normal stress를 비교하면 Fig. 9와 같으며, Ball stud와의 조임량 증가에 따른 발생응력이 크게 증가함을 알 수 있다. Case3의 4번 Rib에서 발생된 응력은 너무 과도하여 작동상의 내구성 확보 차원에서 문제가 발생할 것으로 판단되어 Case2의 경우를 채택하여 샘플을 제작 하고자 한다.

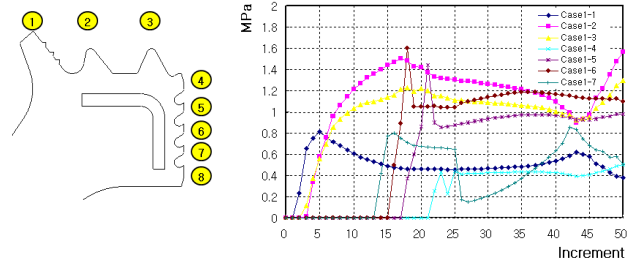


Fig. 7 Contact Normal Stress of Case1 in Part A

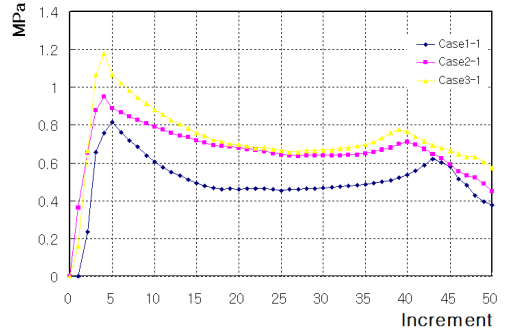


Fig. 8. Contact normal force of no.1 rib

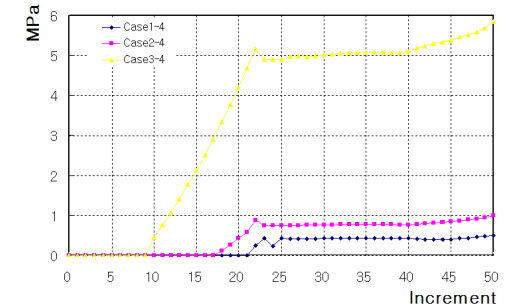


Fig. 9 Contact normal force of no.4 rib

4. 결 론

본 연구에서는 Dust seal의 기존 양산품과 신규개발품간의 유한요소 해석을 통한 결과를 비교 검토함으로써 Dust seal의 성능에 대한 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) Rib 형상에 따른 Ball stud의 밀착력 분석으로 작동중의 Dust seal의 성능 만족여부를 판단 할 수 있어 초기개발 대응 및 품질확보가 가능할 것으로 판단된다.

(2) Dust seal와 Ball stud와의 조임량을 양산품보다 1mm증가 시켰을 때 발생될 것으로 예상된 Wind up 현상이 발생하지 않는 것으로 확인 되었다.

(3) Ball stud가 최대 굴절시 B part에서 Press part와의 Contact normal stress가 2번 3번 Rib에서 발생하지 않았으나 1번 Rib 및 4~8번 Rib까지 Contact normal stress 발생하여 이물질 유입 차단 기능을 수행하는데 문제가 없는 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) MSC. MARC User's Guide
- (2) 신수정, 이태수, 오수익, 1998, “고무패드 변형의 3차원 유한요소해석(2)”, 대한기계학회논문집 A권 제22권 제1호, pp. 121~131.
- (3) 강태호, 김인관, 김영수, 2005, “자동차용 고무 Dust Cover의 거동에 관한 연구”, 한국 CAD/CAM학회 논문집 제10권 제5호, pp. 375~379.
- (4) 김태완, 문석만, 구영필, 조용주, 2001, “유니버설 조인트 베어링용 시일의 성능평가를 위한 유한요소해석”, 한국정밀공학회지 제18권 제9호, pp 140~146.