

# 자동차 엔진 리어부의 PTFE Seal 응력해석

## Stress Analysis of PTFE Seal for Automotive Engine Rear Part

\*최현진<sup>1</sup>, 박철우<sup>1</sup>, 장은실<sup>1</sup>, 박철휴<sup>1</sup>, 이종철<sup>2</sup>, 김종갑<sup>2</sup>, 최성대<sup>3#</sup>

\*H.J. Choi<sup>1</sup>, C.W. Park<sup>1</sup>, E.S. Jang<sup>1</sup>, C.H. Park<sup>1</sup>, J.C. Lee<sup>2</sup>, J.G. Kim<sup>2</sup>, S.D. Choi<sup>3#</sup>(sdchoi@kumoh.ac.kr)

<sup>1</sup> 대구기계부품연구원, <sup>2</sup>(주)진양오일셀, <sup>3</sup>금오공과대학교 기계공학부

Key words : Seal of Automotive Engine, PTFE Seal, Engine Rear Parts

### 1. 서론

자동차용 오일셀은 일반적으로 금속보강환에 씰립을 형성하는 합성고무를 일체형으로 한 후, 적당한 조임력을 립부에 부여하기 위해 스프링을 끼워넣는 구조로 되어있다. 회전축과의 밀봉은 씰립선단부와 축 표면사이의 상대운동 하에서 아주 얇은 유체막을 형성시킴으로써 씰링역할을 하게 된다. 하지만, 씰링역할을 하는 씰립부에 회전시 자동차 엔진내부의 카본 슬러지나 내부의 잔류가스 이물질이 축적되어, 이것이 연마제 효과를 증가시켜 씰립부와 샤프트에 과대마모를 발생시키게 된다. 이를 개선하기 위해 오일셀의 내경부를 고무소재보다 내구성과 물리적 특성이 우수한 PTFE소재를 적용하고 외경부는 엔진하우징 조립 용이성 및 압축씰링성을 감안하여 기존 고무소재를 적용하여 내구성능이 우수하고 저마찰특성을 가지는 일체형 PTFE Seal을 개발하고자 하였다. PTFE소재는 테프론의 일종으로 충전제를 첨가하여 경도 및 내마모성 등 기계적 특성을 개선하여 무급유 슬라이딩재나 베어링 등에 사용되고 있다. 본 연구에서는 자동차 엔진셀 특성 중 가장 중요한 저마찰, 내마모성을 강화하기 위하여 PTFE소재에 Glass Fiber를 첨가한 Seal(이하 "A" Type)과 Glass Fiber 외에 자기윤활제 폴리브덴을 첨가하여 배합한 Seal(이하 "B" Type)의 기계적 특성을 비교검토 하였다. 따라서 자동차 엔진 리어부에 장착되어지는 씰의 형상설계를 바탕으로 2종류의 씰에 대한 응력 및 반력해석을 수행하여 씰의 스틸부와 고무, PTFE 립부에서 발생하는 최대응력값 및 접촉하중에 대하여 비교검토 하고 실제 2종류의 PTFE Seal을 제작하여 마찰계수와 토크 및 내구시험을 통하여 마모량을 검토하였다.

### 2. 형상 설계

"A" Type과 "B" Type 두 종류 모두 PTFE 립부는 나선선타입으로 설계를 하였으며 외경 및 돌기부는 고무용 오일셀 컨셉을 활용하여 형상설계를 하였다. Fig.1은 자동차 엔진 리어부 PTFE Seal의 디자인을 나타내고 있다.

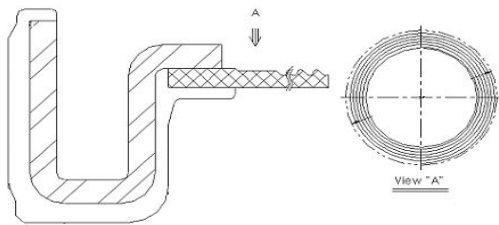


Fig. 1 Design of PTFE Seal for automotive engine rear part

### 3. 응력해석 및 결과

자동차엔진 리어부 씰의 형상설계 디자인을 바탕으로 첨가제가 다른 2종류의 PTFE Seal에 대한 응력 및 반력해석을 진행하였으며 해석은 유한요소법을 기반으로 하는 상용프로그램 Marc를 사용하여 비선형해석을 수행하였다.

#### 3-1. 물성치 평가

"A" Type과 "B" Type 두 종류의 PTFE소재 물성치를 확보하기 위하여 UTM(WL2100)측정기기를 활용하였으며 인장시험편은 ASTM D6381 Type 시편을 사용하여 500mm/min의 측정 속도로 인장시험을 수행하였다. 해석에 사용한 재료물성 데이터는 Fig. 2와 같다.

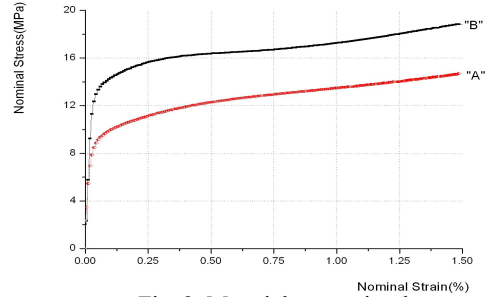


Fig. 2 Material properties data

#### 3-2. 경계조건 및 Contact 조건

해석은 3차원 모델링을 통해 수행하지 않고 2차원 축대칭 문제로 가정하였으며 Contact 조건은 고무와 스틸, 고무와 PTFE, 스틸과 PTFE는 Glue Contact 조건을 부여하였으며, 샤프트 및 하우징과 내부 씰과는 Touching Contact 조건을 부여하였다. Fig. 3은 해석 경계조건을 보여준다.

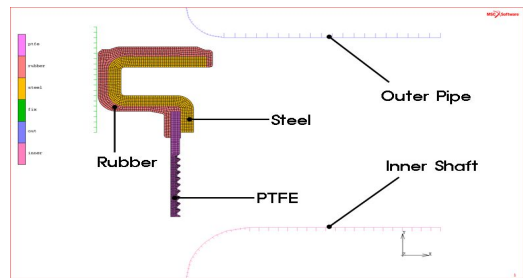
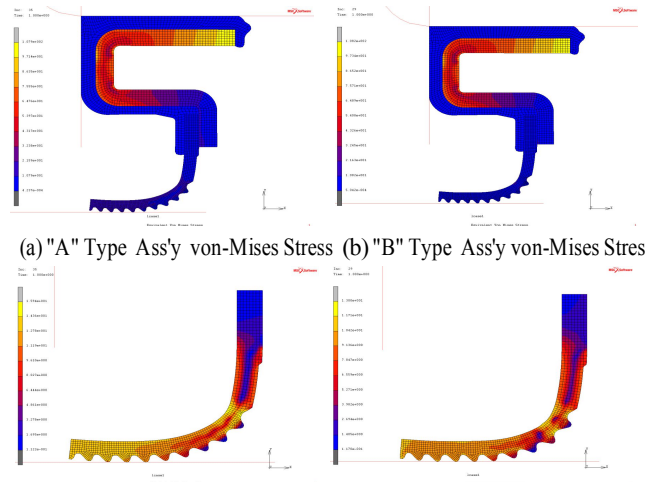


Fig. 3 Boundary conditions

#### 3-3. 해석결과

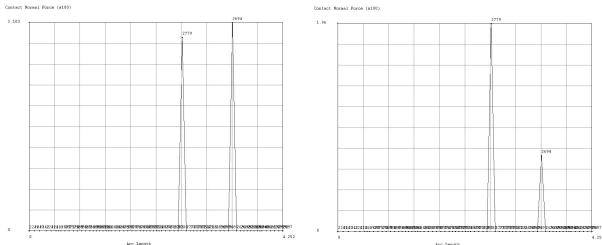
해석 결과 최대발생응력은 "A", "B" Type 각각 107.9 MPa, 108.2MPa로 스틸부에서 발생되었으며, PTFE 끝단에서는 약 13MPa, 16MPa로 고무부에서는 약 2.82MPa의 응력이 발생함을 알 수 있었다. 스틸부와 고무부는 "A", "B" Type 차이가 없었으나 PTFE부는 "B" Type가 응력집중이 높음을 알 수 있었다. Fig. 4는 "A", "B" Type의 스틸부와 고무부 및 PTFE부의 응력해석결과를 보여준다.



(a) "A" Type Ass'y von-Mises Stress (b) "B" Type Ass'y von-Mises Stress  
(a) "A" Type PTFE von-Mises Stress (b) "B" Type PTFE von-Mises Stress

Fig. 4 Analysis results

Contact Normal Force는 Fig. 5의 그래프를 보면 0점 위치가 제일안쪽부터 시작하며 최대의 Contact Normal Force가 발생되는 Rib부의 최대하중은 "A", "B" Type 각각 110.3N, 196N이 발생되어 조임력이 큰 "B" Type의 씰링력이 우수함을 유추할 수 있었다. 또한 접촉시 발생된 하중을 모두 합하면 내구시험을 통하여 측정될 수 있는 PTFE Seal의 긴박력값과 상관계수를 확인할 수 있다.



(a) "A" Type Contact normal force (b) "B" Type Contact normal force  
Fig. 5 "A", "B" Type of the contact normal force results

4. 금형 및 시제품 제작

제작 금형은 썰의 PTFE와 스틸, 고무 일체 성형 구조로 제작하였으며, 표준규격 내 나사 피치를 설정하여 나사선 가공이 된 3단 Transfer 고무금형, 스틸의 드로잉 블랭킹과 피어싱을 위한 프레스금형, PTFE SHEET 압축금형을 제작하여 "A" Type과 "B" Type 두 종류의 PTFE Seal 시제품을 제작하였다. Fig. 6은 3단 Transfer 고무금형 및 제작된 오일씰 시제품이다.



Fig. 6 Triple of transfer rubber mold and PTFE Seal of the prototype

5. 성능시험

5-1. 마찰계수 및 회전토크 측정시험

오일씰의 기계적 특성인 내마모 성능에 중요한 인자인 마찰계수와 토크를 측정하였으며 마찰계수는 ASTM D1894 규격에 따라 23±2℃, 50±%RH 환경에서 시험하고 회전토크는 60~120rpm의 측정구간에서 시험하였다. Table 1은 "A", "B" Type 각각의 마찰계수와 회전토크 시험결과이며 Fig. 7은 토크 측정을 위한 지그 조립상태를 보여준다.

Table 1 Test results of Coefficient of friction and Torque

coefficient of friction	A Type (PTFE+GLASS)		B Type (PTFE+GLASS+MoS2)	
	Coefficient for Static Friction	coefficient of kinetic friction	Coefficient for Static Friction	coefficient of kinetic friction
	0.2256	0.2040	0.2029	0.1849
Torque (Kgf·mm)	60rpm	120rpm	60rpm	120rpm
	0.062	0.113	0.064	0.114

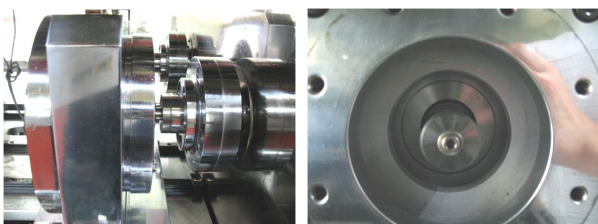


Fig. 7 Torque measurement of the test

시험결과 응력해석과 접촉응력이 상대적으로 높은 "B" Type이

마찰계수가 작았고 토크 시험값은 "A", "B" Type 모두 유사한 수준이었다. 이는 축조임력은 증가하지만 회전저항을 판단할 수 있는 마찰계수와 토크 값은 "B" Type이 작거나 유사하여 전체적인 Seal의 씰링력은 "B" Type이 높다는 것을 알 수 있었다.

5-2. 내구시험

내구시험 또한 "A", "B" Type PTFE Seal 각각 진행하여 성능을 비교하였으며 대기압 조건에서 140℃, 7,000rpm의 시험조건으로 240시간 구동 후 마모량과 긴박력(Kgf)을 측정하였다. 마모량은 시험 전, 후 내경 립의 두께를 3차원 측정기로 측정하였으며 긴박력은 오일씰의 축치수에 대응되는 분할된 치구의 한 방향에서 가해지는 힘을 로드셀에서 측정하여 그 값을 원주율로 계산하였다. Fig. 8은 긴박력 측정 Test 장치를 보여주고 있으며 Table 2는 시험결과치를 보여준다.

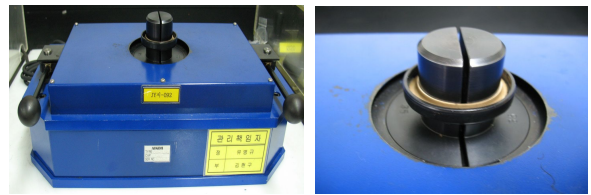


Fig. 8 Radial Force measurement of the test

Table 2 Test results of radial force and wear

Radial Force(kgf)	A Type (PTFE+GLASS)		B Type (PTFE+GLASS+MoS2)	
	Test before	Test after	Test before	Test after
	9~10	6~7	12~13	8~9
Wear Amount (mm)	0.06		0.04	

내구시험 결과 PTFE 접촉응력해석 결과와 같이 긴박력 또한 "B" Type이 높고 마모량은 "A" Type 보다 적음을 알 수 있었다. Fig. 9는 내구시험 후 "A", "B" Type 내경 PTFE부의 단면사진을 보여준다. 단면 사진에서도 볼 수 있듯이 "B" Type의 PTFE Seal의 내마모성이 우수함을 알 수 있었다.



(a) "A" Type cross sectional photograph (b) "B" Type cross sectional photograph  
Fig. 9 "A", "B" Type of the cross section photograph

6. 결론

본 연구에서는 자동차 엔진부 씰링부에 적용하기 위한 PTFE Seal을 첨가제가 다른 2 Type Seal에 관하여 응력해석 및 기계적 특성 시험을 통하여 내구성을 비교하였다. Seal의 접촉응력 값 및 긴박력은 Glass Fiber와 몰리브덴을 첨가한 PTFE Seal이 높았으나 마찰계수는 상대적으로 낮은 시험 값이 나왔으며 회전토크는 차이가 없었다. 마모량 또한 Glass Fiber와 몰리브덴을 첨가한 PTFE Seal이 작아 Glass Fiber만 첨가제를 사용한 PTFE Seal보다 응력집중이 커 씰링력이 크고 내마모성이 우수함을 판단할 수 있었다.

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) 이종철, "PTFE(Polytetrafluoroethylene) 복합재료를 용한 SEAL 응용에 관한 연구"박사학위논문(2009)