

자동차 엔진 프론트부의 PTFE 오일씰의 성능평가

최 현 진^{*1)} · 박 철 우¹⁾ · 이 종 철²⁾ · 김 종 갑²⁾ · 최 성 대³⁾

대구기계부품연구원 메카트로닉스부품산업화센터 생산시스템연구팀¹⁾ · (주)진양오일씰²⁾ · 금오공과대학교 기계공학부³⁾

Performance Evaluation of PTFE Oil-seal for Automotive Engine Front Part

Hyunjin Choi^{*1)} · Chulwoo Park¹⁾ · Jongcheol Lee²⁾ · Jonggab Kim²⁾ · Seongdae Choi³⁾

¹⁾Mechatronics Center Manufacturing System Research Team, Daegu Machinery Institute of Components & Materials, 12 Horim-dong, Dalseo-gu, Daegu 704-240, Korea

²⁾Jinyang Oilseal Co., Ltd. 100-52 Galsan-dong, Talseo-gu, Daegu 704-900, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

(Received 8 April 2010 / Accepted 24 August 2010)

Abstract : This study analyzed the mechanical characteristics and evaluated their subsequent performance for two types of seals which reinforced characteristics with lower friction and anti-wear functions among the foremost important features in the automotive engine seals; one with the addition of glass fiber to PTFE(Polytetrafluoro ethylene); the other with the addition of self-lubricant molybdenum addition to the glass fiber. Based on the configuration design of seal installed to the front part in the automotive engine, this study carried out interpretations on the stress and reaction for those two types of oil seals to compare the maximum stress and contact load generated from the seal steel, rubber and PTFE lip. This study also verified the stress concentration and anti-wear performance through the coefficient of friction, torque and durability test by producing two types of PTFE seals actually.

Key words : Seal of automotive engine(자동차엔진 씰), PTFE(PolyTetraFluoroEthylene, 폴리테트라플루오르에틸렌), Oil seal(오일씰), Engine front part(엔진 프론트부), Stress analysis(응력해석)

Subscripts

- CF : coefficient of friction
- CSF : coefficient for static friction
- CKF : coefficient of kinetic
- T : torque (kgf·mm)
- RF : radial force (kgf)
- WA : wear amount (mm)

1. 서론

자동차용 오일씰은 일반적으로 금속보강환에 씰립을 형성하는 합성고무를 일체형으로 한 후, 적당

한 조임력을 립부에 부여하기 위해 스프링을 끼워넣는 구조로 되어있다. 회전축과의 밀봉은 씰립선단부와 축 표면사이의 상대운동 하에서 아주 얇은 유체막을 형성시킴으로써 씰링역할을 하게 된다. 하지만, 씰링 역할을 하는 씰립부에 회전시 자동차 엔진내부의 카본 슬러지나 내부의 잔류가스 이물질이 축적되어, 이것이 연마제 효과를 증가시켜 씰립부와 샤프트에 과대마모를 발생시키게 된다.⁶⁾ 이러한 과대 마모로 인해 엔진오일의 누유로 인한 치명적인 엔진 결함을 발생시키게 된다. 이를 개선하기 위해 오일씰의 내경부를 고무소재보다 내구성과 물리적 특성이 우수한 PTFE소재를 적용하고 외경부는 엔진하우징 조립 용이성 및 압축씰링성을 감안하여 기존 고무소재를 적용하여 내구성능이 우수하고 저마

*Corresponding author, E-mail: knut21c@dmi.re.kr

찰특성을 가지는 일체형 PTFE 오일씰을 개발하고자 하였다. PTFE소재는 테프론의 일종으로 특수유기화합물이나 충전제를 첨가하여 경도 및 내마모성 등 기계적 특성을 개선하여 무금유슬라이딩재나 베어링 등에 사용되고 있다.^{3,4)} 본 연구에서는 자동차 엔진씰 특성 중 가장 중요한 저마찰, 내마모성을 강화하기 위하여 PTFE소재에 Glass Fiber를 첨가한 Seal(이하 "A" Type)과 Glass Fiber 외에 자기윤활제 물리브덴을 첨가하여 배합한 Seal(이하 "B" Type)의 기계적 특성을 비교검토 하였다. 따라서 자동차 엔진 프론트부에 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 오일씰을 제작하여 마찰계수와 토크 및 내구시험을 통하여 마모량을 검토하였다.

2. 형상 설계

"A" Type과 "B" Type 두 종류 모두 PTFE 립부는 나사선타입으로 설계를 하였으며 외경 및 돌기부는 고무용 오일씰 컨셉을 활용하여 형상설계를 하였다.²⁾ Fig. 1은 자동차 엔진 리어부 PTFE 오일씰의 디자인을 나타내고 있다.

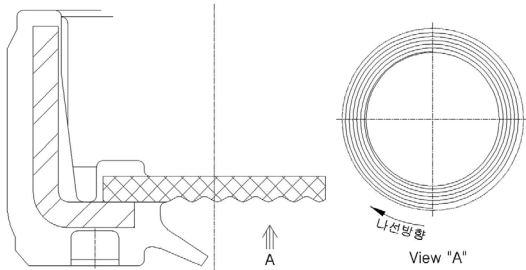


Fig. 1 Design of PTFE seal for the front part in the automotive engine

3. 응력해석

자동차엔진 프론트부 씰의 형상설계 디자인을 바탕으로 첨가제가 다른 2종류의 PTFE 오일씰에 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)측정기기 및 Extensometer(Withlab사 3600 pulse)를 활용하였으며 인장시험편은 ASTM D6381 Type 시편을 사용하여 500mm/min의 측정 속도로 인장시험을 수행하였다. 해석에 사용한 재료물성 데이터는 Fig. 2와 같다.

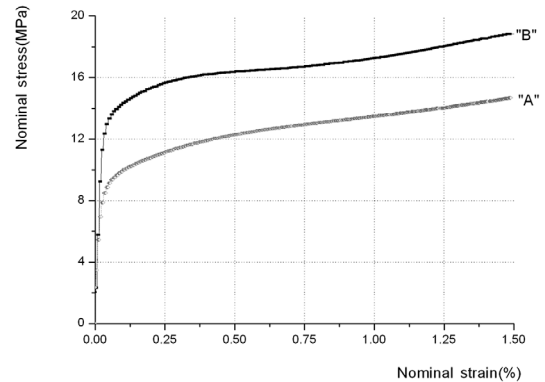


Fig. 2 Data of material properties

3.2 경계조건 및 Contact 조건

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

또한 외부 하우징과 고무와의 교차는 0.5mm가 발생하도록 하우징을 이동시켰으며, 내부 샤프트는

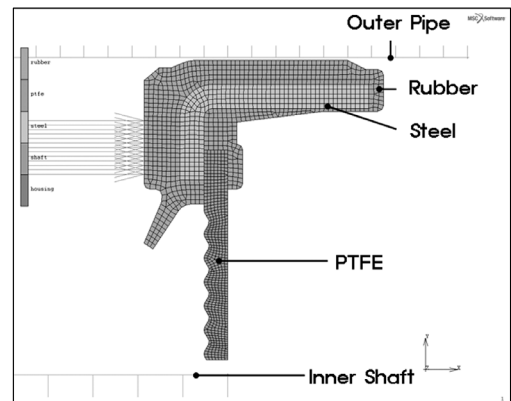
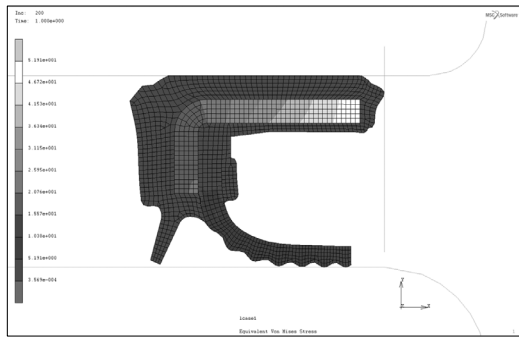
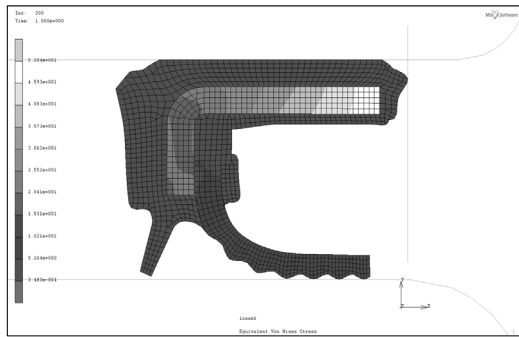


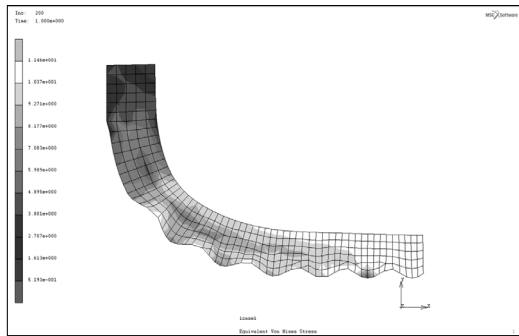
Fig. 3 Boundary conditions



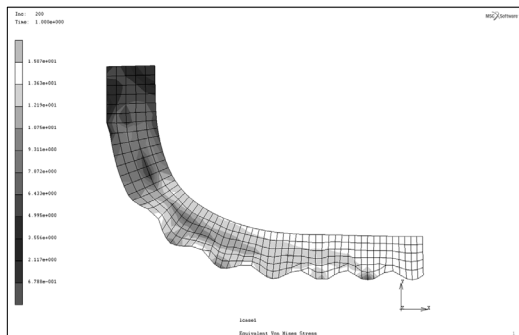
(a) "A" type ass'y von-Mises stress



(b) "B" type ass'y von-Mises stress



(c) "A" type PTFE part von-Mises stress



(d) "B" type PTFE part von-Mises stress

Fig. 4 Analytical results

반경이 17.5mm가 되도록 이동을 시켜 변형 및 Contact Normal Force를 확인하였다. Fig. 3은 해석 경계조건을 보여준다.¹⁾

3.3 해석결과

해석 결과 최대발생응력은 "A", "B" Type 각각 51.9MPa, 51.0MPa로 스틸부에서 발생되었으며, PTFE 끝단에서는 약 11.4MPa, 15.0MPa이 고무부에서는 약 2.8MPa의 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 PTFE부의 응력해석결과를 보여준다.

Contact Normal Force는 Fig. 5의 그래프를 보면 0 점 위치가 제일 안쪽부터 시작하며 Contact Normal Force가 발생되는 립부의 적용하중은 "A", "B" Type 각각 113N, 164N이 발생되어 조임력이 큰 "B" Type의 설링력이 우수함을 유추할 수 있었다. 또한 접촉 시 발생된 적용하중 값은 내구시험을 통하여 측정될 수 있는 PTFE 오일셀의 긴박력값과 상관계수를 확인할 수 있다.

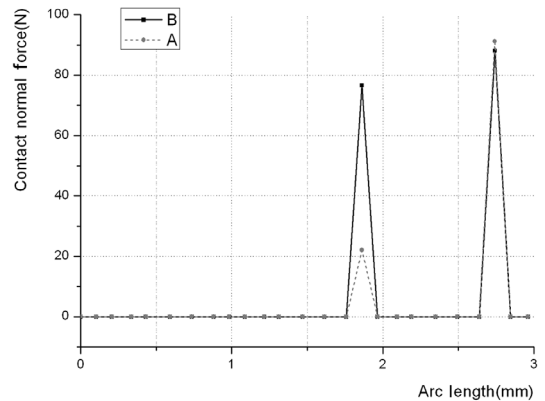


Fig. 5 Results for both A and B type of the contact normal force

4. 금형 및 시제품 제작

제작 금형은 셀의 PTFE와 스틸, 고무 일체 성형 구조로 제작하였으며, 표준규격 내 나사 피치를 설정하여 나사선 가공이 된 3단 Transfer고무금형, 스틸의 드로잉 블랭킹과 피어싱을 위한 프레스금형,

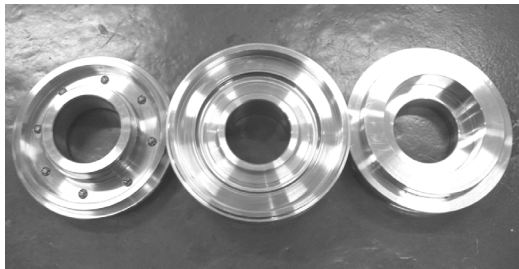


Fig. 6 Triple of transfer rubber mold



Fig. 7 Prototype of PTFE seal

PTFE Sheet 압축금형을 제작하여 “A” Type과 “B” Type 두 종류의 PTFE 오일씰 시제품을 제작하였다. Fig. 6은 3단 Transfer 고무금형이며 Fig. 7은 제작된 오일씰 시제품이다.

5. 성능시험

5.1 마찰계수 및 회전토크 측정 시험

오일씰의 기계적 특성인 내마모 성능에 중요한 인자인 마찰계수와 토크를 측정하였으며 마찰계수는 ASTM D1894 규격에 따라 23±2°C, 50±%RH 환경에서 시험하고 회전토크는 60 ~ 120rpm의 측정 구간에서 시험하였다.³⁻⁵⁾ Table 1은 “A”, “B” Type 각각의 마찰계수와 회전토크 시험결과이며 Fig. 8은 토크 측정을 위한 지그 조립상태를 보여준다. 시험결과 접촉 응력해석 결과에서 접촉응력이 상대적으로 높았던 “B” Type이 마찰계수가 작았고 토크 시험값은 “A”, “B” Type 모두 유사한 수준이었다. 회전저항을 판단할 수 있는 마찰계수의 값이 작은 “B” Type의 오일씰은 PTFE소재에 첨가된 몰리브덴이 자기윤활 작용을 한 것으로 사료되어지며 접촉부의 고체 윤활제에 따른 마찰 저감이 유효함을 알 수 있었다. 이에 따라 오일씰의 장기 내구성과 씰링력은 “B” Type이 높을 것으로 판단되어진다.

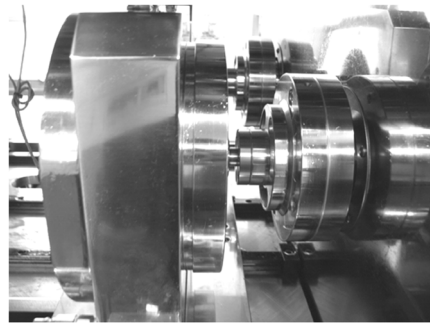


Fig. 8 Test for torque measurement

Table 1 Test results of coefficient of friction and torque

	“A” type (PTFE+GLASS)		“B” type (PTFE+GLASS+MoS2)	
	CSF	CKF	CSF	CSF
CF	0.22	0.20	0.20	0.18
T	60rpm	120rpm	60rpm	120rpm
	0.05	0.11	0.06	0.12

5.2 마모량 및 긴박력 측정 시험

내구시험 또한 “A”, “B” Type PTFE 오일씰 각각 진행하여 성능을 비교하였으며 대기압 조건에서 140°C, 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.⁶⁾ Fig. 9는 회전내구시험장치, Fig. 10은 긴박력 측정 Test 장치를 보여주고 있으며 Table 2는 시험결과치를 보여준다.

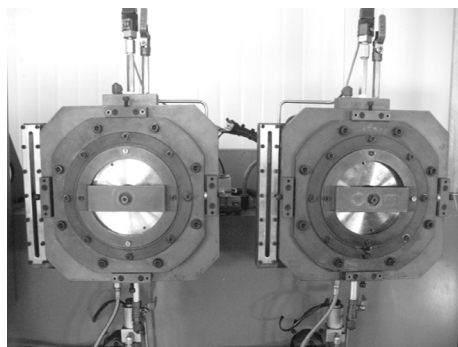


Fig. 9 Test for oil revolution measurements

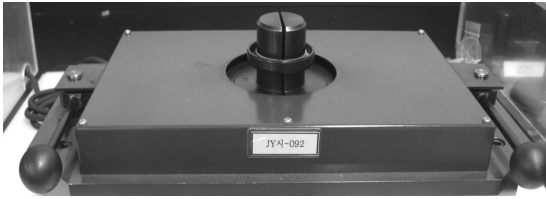
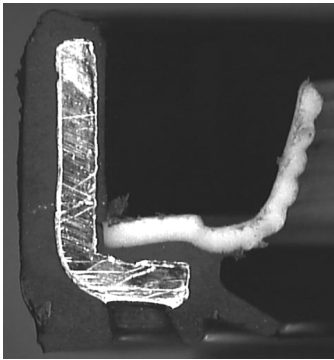


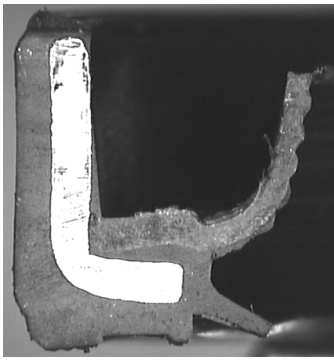
Fig. 10 Test for radial force measurements

Table 2 Test results for radial force and wear amount

RF	"A" type (PTFE+GLASS)		"B" type (PTFE+GLASS+MoS2)	
	Test before 9~10	Test after 6~7	Test before 12~13	Test after 8~9
WA	0.07		0.03	



(a) Cross-sectional view of A type



(b) Cross-sectional view of B type

Fig. 11 Cross-sectional view of both A and B type

내구시험 결과 PTFE 접촉응력해석 결과와 같이 긴박력 또한 "B" Type이 높고 마모량은 "A" Type 보다 적음을 알 수 있었다. 유리섬유를 첨가한 "A" Type의 오일씰 또한 내구시험 전, 후 긴박력과 마모량이 기존 고무소재 보다 현저히 적어 마모성능이

우수함을 알 수 있었으나 유리섬유와 몰리브덴을 배합한 "B" Type의 오일씰이 상대적으로 우수하여 PTFE 소재의 기계적 특성을 개선하기 위해 유리섬유와 몰리브덴을 배합한 충전제를 사용하면 내마모성을 강화할 수 있을 것이라 사료된다. Fig. 11은 내구시험 후 "A", "B" Type 내경 PTFE부의 단면사진을 보여준다.⁶⁾ 단면 사진에서도 볼 수 있듯이 "B" Type의 PTFE 나사선부위의 마모가 적어 내마모성이 우수함을 알 수 있었다.

5.3 역조립 누유량 시험

제품의 펌핑력을 알아보기 위하여 역조립 누유량 시험을 실시하였다. 역조립 누유량 시험은 내구시험기에 일반적인 형태로 오일씰을 조립하면 표면 상태의 누유량을 판단할 수가 없기 때문에 고안한 방법이다.⁶⁾ 오일씰을 역으로 조립하여 회전시키기 때문에 제품의 pumping력을 상대적으로 비교할 수 있는 시험이다. 역조립 누유량 시험 방법은 Fig. 12와 같이 내구시험기에 오일씰을 역으로 조립하여 외부로 유출되는 엔진 오일의 양을 측정하는 시험으로 오일씰을 역으로 조립하여 회전시키기 때문에 제품의 펌핑력을 상대적으로 비교할 수 있다.⁶⁾ 시험 조건은 Table 3과 같으며 Table 4는 시험결과를 보여준다.

실험결과 두가지 사양이 유사한 결과값을 나타내었으나, 몰리브덴이 함유된 "B" Type 사양이 역조립 누유량이 크고, 전후변화량이 적음을 알 수 있었다. 이는 역조립 누유량이 클수록 실제 조립시 내부로 오일을 펌핑해주는 양이 많으므로 내부 오일씰링에 유리하다고 판단할 수 있다.

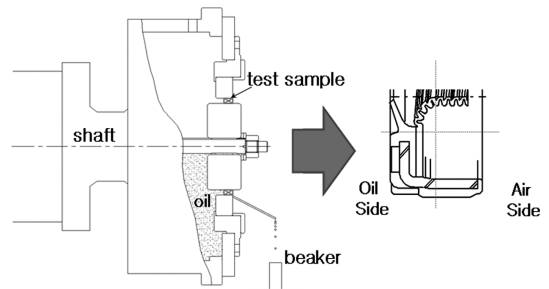


Fig. 12 Model for leaking test of oil seal for inverse assembling

Table 3 Conditions of oil leakage test for inverse assembling

Item	Condition
Shaft surface roughness	Rmax 1.2
Shaft eccentricity	0.2 mm TIR
Test eccentricity	0.2 mm TIR
Oil type	5W20
Oil temperature	140 °C
Oil amount	Shaft center
Pressure	Atmosphere pressure
Shaft revolution speed	7000 rpm
Test time	Each revolution speed : 1min
Valuation item	Measurement data
Shaft diameter	Ø 35

Table 4 Test results of radial force and wear

Test types	Revolution speed	“A” type	“B” type
Oil leakage for inverse assembling (g/min)	Before	12.2	13.6
	After	10.9	11.5
	Changes	-2.3	-2.1

6. 결론

본 연구에서는 자동차 엔진 프론트 씰링부에 적용하기 위한 PTFE 오일씰을 첨가제가 다른 2종류 Type에 관하여 응력해석 및 기계적 특성 시험을 수행하고 내구성을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 오일씰 PTFE부의 응력해석결과 “B” Type이 응력 집중이 높음을 알 수 있었고 최대 Contact Normal Force가 발생하는 립부의 적용하중 또한 “B” Type의 씰이 높아 씰링력이 “A” Type 보다 우수함을 유추할 수 있었으며 내구시험을 통하여 측정된 PTFE 오일씰의 긴박력 값과 비례상관계수를 확인할 수 있었다.
- 2) 2종류 Type의 오일씰 시작품을 제작하여 마찰계수 및 회전토크 값을 측정한 결과 “B” Type의 오일씰이 작거나 유사하여 장기 내구성 및 전체적인 씰링력이 높다는 것을 알 수 있었다.

- 3) 240시간 구동 후 마모량과 긴박력을 측정한 결과 0.04mm의 미세한 차이이지만 “B” Type의 오일씰의 마모량이 적었고, 접촉응력해석 결과와 같이 긴박력은 높게 나와서 오일 씰링력은 유리할 것으로 판단된다.
- 4) 2종류 Type의 오일씰의 누유량을 알아보기 위해 구동 내구시험기에 역으로 조립하여 회전구동 시험을 한 결과 “B” Type 오일씰이 역조립누유량이 크고 변화량이 적어 내부 오일 씰링에 우수함을 판단할 수 있었다.
- 5) 상대적으로 기계적특성이 우수한 “B” Type PTFE 오일씰을 실제 적용하기 위해서는 향후 오일씰 PTFE부와 립부의 형상변화에 따른 기계적 특성 및 실차 적용을 위한 신뢰성을 확보할 필요가 있다고 판단되어진다.

References

- 1) MSC. MARC User's Guide, 2009.
- 2) Y. M. Huh, K. O. Lee, T. Y. Sim and S. S. Kang, “Study on Geometry Design of Lip-Seal for Automobile Wheel Bearing Considering Drag Torque and Sealing Performance,” Transactions of KSAE, Vol.15, No.4, pp.10-16, 2007.
- 3) Y. Z. Kim and Y. H. Kim, “A Study on the Effects of Additives on the Friction and Wear Properties of PTFE Composite,” Journal of the KSCM, Vol.13, No.4, pp.11-18, 2000.
- 4) Y. Z. Kim, S. H. Eum and Y. H. Kim, “Effects of Additives on the Friction and Wear Properties of PTFE Composites,” Proceeding of KSCM Autumn Conference, No.1, pp.88-94, 1999.
- 5) K. C. Rusch and R. W. Sanderson, “Frictional Losses of Dual-material Lip-type Shaft Seals,” 26th ASLE Annual Meeting, Boston Massachusetts, pp.213-220, 1971.
- 6) J. C. Lee, “Study of SEAL Application Using PTFE(Polytetrafluoroethylene) Composites,” Ph.D. Dissertation, Keimyung University, 2009.