

자동차 파워스트어링 오일씰 내구성 향상에 관한 연구

최현진*, 최성대#

A Study on the Enhancement of Durability for the Power Steering Oil Seal of Automotive

Hyun-Jin Choi*, Seong-Dae Choi#

(Received 4 June 2010; received in revised form 28 June 2010; accepted 29 June 2010)

ABSTRACT

This study aimed to enhance the durability by distributing the stress concentration at the contact and increasing the mechanical characteristics, as well as by changing the surface shape for LIP in the low-pressure seal among oil seals installed to the power steering of automotive. Accordingly, results were derived from comparisons and reviews with oil seals under the existing mass production by carrying out the performance tests after designs and productions are done with the addition of embo shapes on the surface of LIP in the low-pressure seal. As a result of this study, it has been identified that the durability of oil seals with the addition of embo shapes was enhanced with higher radial force and less variation in the internal diameter for the LIP. In addition, it was seen that the sealing ability for those oil seals is superior to the existing oil seals as their rotational torque values are less than those of the existing oil seals.

Key Words : Power Steering Oil Seal(파워스트어링 오일씰), Durability(내구성), Low-Pressure Seal(저압씰), Radial Force(긴박력), Rotational Torque(회전토크)

1. 서 론

최근 자동차분야의 파워스트어링 어셈블리는 EPS장치가 일부 적용되고 있지만 모터의 힘만으로 구동되기 때문에 중/대형차의 경우에는 힘부족으로 유압방식이 파워스트어링 분야를 주도하고 있다. 최근 추세는 자동차의 차체와 샤시가 중,대형화 됨으로서 기존보다 큰

구동에너지가 필요하지만, 차량의 연비와 경량화 및 원가절감정책으로 인해 내부의 핵심부품은 오히려, 소형화/정밀화가 필요하다. 특히, 파워스트어링은 자동차 전체부품 중 조향을 담당하는 핵심부품으로 내구성과 함께 안정성 확보를 병행하는 것이 더 큰 중요성을 가지게 되었다. 무엇보다도 유압시스템을 유지시키는 씰링부품의 내구성 증대는 중요하다고 할 것이다. 이러한 자동차용 오일씰은 기계의 윤활과 구동을 시키는 오일을 밀봉하는 기계적인 요소로 오일이 기계의 틈새로부터 누유되는 것을 방지하며, 외부의 미세먼지가 기계 안으로 침입하는 것을 방지하는 핵심기능부품이다. 특히 자동차가 점차 고급화됨에 따라 저압타이어의

* 대구기계부품연구원

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부
E-mail : sdchoi@kumoh.ac.kr

이용, 대형차량의 자동화 등으로 전문의 접지 저항이 증대하여 조향핸들의 조작력도 커져야 하는 이유로 조향장치의 기구적 개량이 요구되나 기계식 조향장치는 한계가 있기 때문에 조향장치에 유압동력원을 설치하여 조향핸들의 조작력을 보조하는데, 이 장치의 내구성과 기능은 유압을 밀봉하는 씰링부품에 의해 좌우되며, 이를 위해 부품의 고기능화가 절실히 요구된다. 따라서 본 연구에서는 자동차 파워스티어링에 장착되어지는 오일씰 중 저압씰의 Lip부 표면형상을 변경하여 접촉부위의 응력집중을 분산하여 기계적 특성을 강화하여 내구성을 향상시키고자 하였다.

2. 오일씰 종류

파워스티어링에 장착되는 오일씰은 Fig. 1과 같이 고압씰과 저압씰로 나뉘어지고 고압씰은 기어어셈블리로 오일공급시 누유를 방지하는 Rack bar씰이 있으며 저압씰은 밸브 어셈블리부의 오일 누수 및 이물질을 방지하는 Pinion씰과 Input씰로 구분된다.

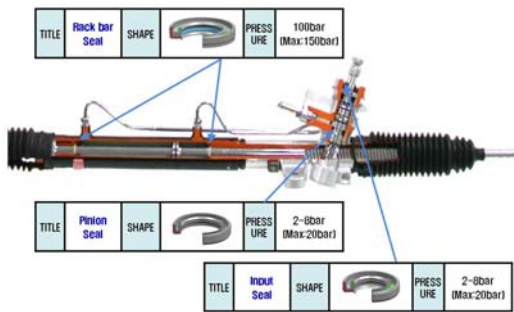


Fig. 1 Power steering Oil-seal of automotive

3. 형상설계

상대부 샤프트와 직접적으로 접촉되어지는 저압씰 Lip부의 기존 양산품의 형상구조에서 Fig. 2와 같이 Lip 표면에 돌기(Embo)형상을 추가하여 형상설계를 하였다.

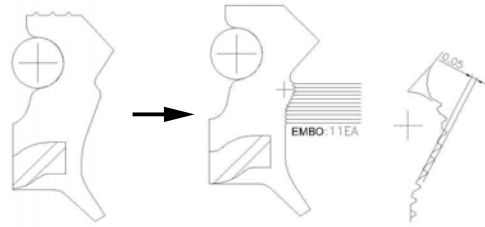


Fig. 2 Design of low pressure Oil-seal lip

4. 응력해석

기존 자동차 파워스티어링에 장착되어지는 양산품 저압씰과 돌기형상을 추가한 저압씰의 접촉부 압력증가에 따른 응력해석을 씰형상 설계 디자인을 바탕으로 수행하였으며 해석은 유한요소법을 기반으로 하는 상용프로그램인 Marc를 사용하여 비선형해석을 하였다.

4.1 재료 물성 및 경계조건

오일씰의 기본물성을 확보하기 위하여 ASTM D6381 Type 인장시편으로 UTM(WL2100)측정기기를 활용하였으며 인장시험으로 얻은 재료 물성데이터를 Marc에 입력하여 해석을 수행하였다. 경계조건은 Fig. 3과 같이 오일씰의 내측부는 샤프트에 압입된 형태로 구속하였으며 경계조건을 모델링 하기 위해 CONTACT 요소를 사용하여 샤프트, 스틸, 스프링은 강체로 고무부는 변형체로 하였으며 샤프트는 2mm 변위를 주고 해석 시 오일씰 Lip부로 2mm 변위를 구속하여 실제 조립상태를 구현하였다. 또한 오일씰 스프링 하중은 스프링 권경지름의 원형형상에 부여하였으며 내압은 압력 부여위치의 노드를 캐비티로 정의하여 0~7bar의 압력을 부여하였다.

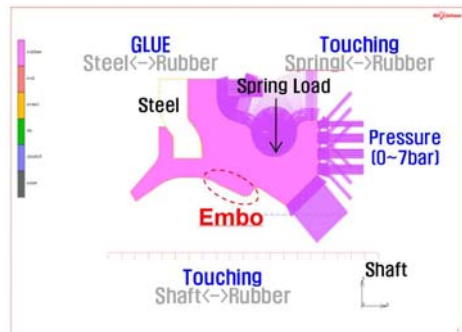


Fig. 3 Boundary conditions

4.2 해석결과

해석 결과 기존 양산품 및 돌기형상을 추가한 오일셀 모두 압력증가에 따라 PEAK값, 접촉량, 접촉응력이 선형적으로 증가하였으나 샤프트 접촉량은 1bar 수준까지는 모두 유사한 수준으로 확인되었으나 2bar 부터 7bar까지는 돌기사양이 돌기 돌출로 인하여 샤프트 지지력 발생 및 접촉응력분산에 영향을 준 것을 알 수 있었다.

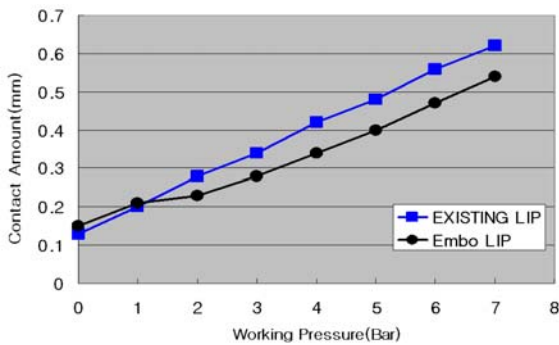
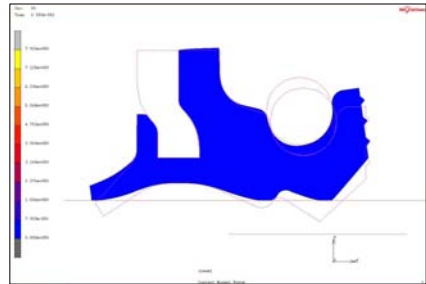


Fig. 4 Contact amount

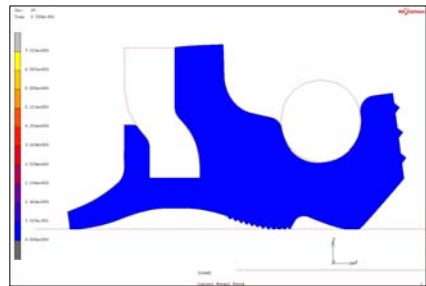
Table 1 Analytical results

LIP	Pressure	0	1	2	3	4	5	6	7
		PEAK Value(N)	0.8	1.6	2.1	2.5	2.9	3.2	3.5
EXISTING	Contact Amount(mm)	0.13	0.20	0.28	0.34	0.42	0.48	0.56	0.62
	Contact Stress(N)	0.8	2.0	3.3	4.6	6.3	8.0	9.2	10.3
	Total LIP Stress(N)	4.9	7.4	8.8	11.2	14.3	16.6	18.0	20.0
Embo	PEAK Value(N)	2.5	4.1	5.2	6.1	6.7	7.3	7.7	8.1
	Contact Amount(mm)	0.15	0.21	0.23	0.28	0.34	0.40	0.47	0.54
	Contact Stress(N)	2.2	4.2	6.3	8.0	9.4	12.4	14.9	18.5
Total LIP Stress(N)		5.3	7.9	10.9	13	15.3	18.8	22.5	27.0

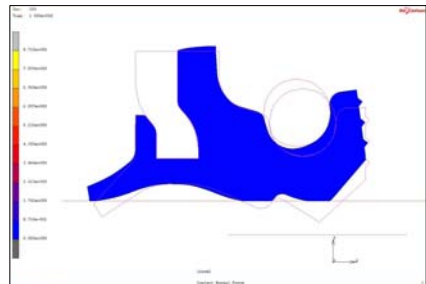
샤프트 접촉응력은 돌기사양이 수치적으로 높은 수준이며 이는 내경부 돌기로 인한 LIP부 내경치수가 상대적으로 적게 변화한 영향으로 판단되어지며 압력 별 변형량 또한 Fig. 5와 같이 기존 양산 셀보다 적음을 알 수 있다. LIP부 총 응력값은 기존 사양보다 높아 돌기형상을 추가한 저압셀 씰링력이 우수함을 유추할 수 있었다. Fig. 6와 7은 기존 양산 저압셀 및 돌기형상을 추가한 저압셀의 압력별 응력분포 해석결과로 LIP부의 접촉응력이 돌기형상으로 인하여 분산됨을 알 수 있다.



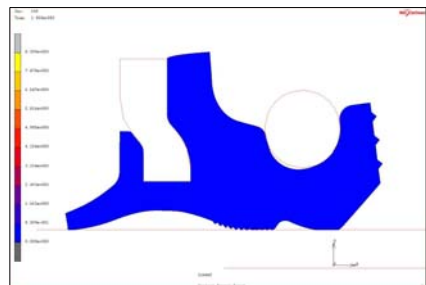
(a) Existing of Oil-seal(2 bar)



(b) Embo type of Oil-seal(2 bar)

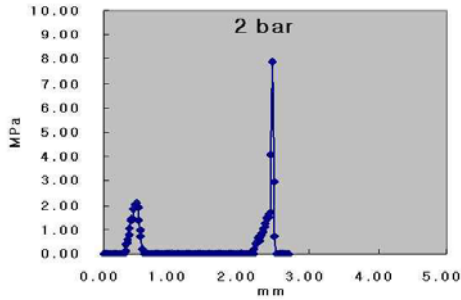


(c) Existing of Oil-seal(7 bar)

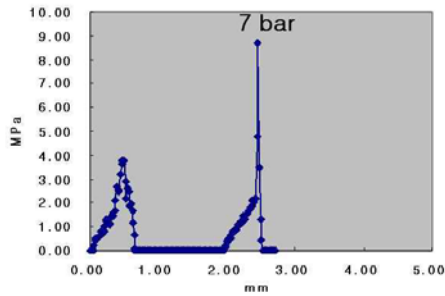


(d) Embo type of Oil-seal(7 bar)

Fig. 5 Result of strain analysis

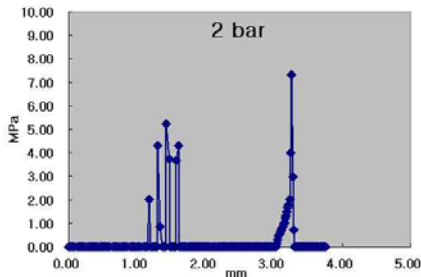


(a) 2 bar

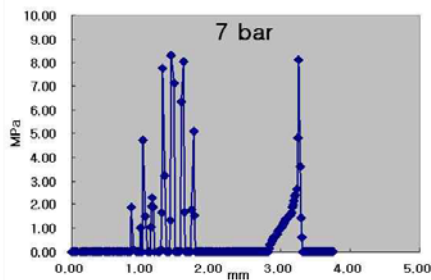


(b) 7 bar

Fig. 6 Contact stress resulting graph (Existing of Oil-seal)



(a) 2 bar



(b) 7 bar

Fig. 7 Contact stress resulting graph (Embo of Oil-seal)

5. 금형 및 시제품 제작

제작 금형은 저압셀의 스틸, 고무 일체 성형 구조로 제작하였으며, 2단 Transfer 고무금형, 스틸의 드로잉 블랭킹과 피어싱을 위한 프레스금형을 제작하여 돌기 형상을 추가한 저압셀의 시작품을 제작하였다. Fig. 8은 Transfer 고무금형 및 제작된 저압셀 시작품이다.



Fig. 8 Transfer rubber mold and prototype of Oil-seal

6. 성능시험

6.1 내구시험

시작품에 대한 내구시험을 저압셀 시험기와 긴박력 측정장치로 진행하여 기존 양산품과 돌기사양을 추가한 저압셀에 대하여 성능을 비교하였으며 대기압 조건에서 135℃, 20kg/cm²의 Surge압력, 720° 회전각의 시험조건으로 20만회 구동 후 LIP의 내경 변화량과 긴박력(Kgf)을 측정하였다. LIP의 내경 변화량은 시험 전, 후를 3차원 측정기로 측정하였으며 긴박력은 오일셀의 축치수에 대응되는 분할된 치구의 한 방향에서 가해지는 힘을 로드셀에서 측정하여 그 값을 원주율로 계산하였다. 또한 각 오일셀을 마주보게 조립하고 정압을 10kg/cm²씩 증가하여 3분간 유지한 후 오일누유를 확인하였다. Fig. 9과 Fig. 10는 저압셀 시험기와 긴박력 측정 Test

장치를 보여주고 있으며 Table 2는 시험결과치를 보여준다.



Fig. 9 Durability test equipment

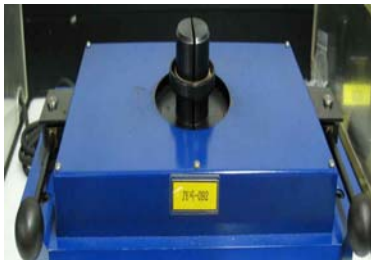


Fig. 10 Durability test radial force measurements

Table 2 Durability test results

	Existing Seal		Embo Seal			
	Before	After	Before	After		
Radial Force(kgf)	3.5	1.6	▽1.9	4.0	2.5	▽1.5
Lip Diameter(∅)	17.61	18.29	△0.68	17.58	18.17	△0.59
Oil Leak	No		No			

내구시험 결과 접촉응력해석 결과와 같이 긴박력 또한 기존 양산품보다 돌기형상을 추가한 오일셀이 높았고 LIP부의 내경변화량 또한 적어 돌기형상을 추가한 저압셀의 내구성이 우수함을 알 수 있었다. 정압시험은 기존 양산품 및 돌기형상을 추가한 오일셀 모두 오일누유는 없었다.

6.2 회전토크 측정시험

오일셀의 내마모 성능의 중요 인자인 회전토크는 -20℃와 135℃의 온도와 15~180rpm의 시험조건에서

측정하였다. Fig. 11은 회전토크 측정을 위한 지그 조립상태를 보여주고 있으며 Table 3은 회전토크 측정결과이다.



Fig. 11 Torque measurement of the test

Table 3 Test results for torque

℃	RPM	Existing Seal(N.cm)			
		Pressure(MPa)			
		0	0.2	1.0	2.0
-20	15	34.5	40.0	68.5	84.1
	180	64.4	56.7	108.9	126.9
135	15	13.1	12.0	18.9	22.1
	180	13.3	17.5	57.5	69.4

℃	RPM	Embo Seal(N.cm)			
		Pressure(MPa)			
		0	0.6	1.0	2.0
-20	15	32.3	38.7	61.2	79.8
	180	59.7	52.4	97.6	115.5
135	15	12.8	11.9	16.8	20.2
	180	12.5	15.3	52.4	66.7

시험결과 회전토크는 두 Type 저압셀 모두 유사한 수준이었으나 돌기형상을 추가한 저압셀이 기존 양산품 보다 작아 전체적인 오일셀의 쉐어링력이 높다는 것을 알 수 있었다.

7. 결론

본 연구에서는 자동차 파워스트어링에 장착되어지는 오일셀 중 저압셀 LIP부의 표면에 돌기형상 추가 설계 및 응력해석을 통하여 시제품을 제작하였다. 또한 성능시험을 통하여 기존 오일셀과 비교검토를 한 결과

다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 응력해석결과 샤프트 접촉량은 돌기사양이 0.05 ~ 0.1mm 수준으로 낮게 나타나 돌기 돌출로 인하여 샤프트 지지력 발생 및 접촉응력분산에 영향을 준 것을 알 수 있었다.
- (2) 샤프트 접촉응력은 돌기사양이 수치적으로 높은 수준이며 LIP부 총응력값 또한 기존 사양보다 높아 쉘링력이 우수함을 알 수 있었다.
- (3) 내구시험 결과 접촉응력해석 결과와 같이 긴박력 또한 돌기형상을 추가한 오일씰이 높았고 LIP부의 내경변화량은 상대적으로 낮아 내구성이 우수함을 알 수 있었으며 회전토크 또한 기존 양산품 보다 낮아 쉘링력이 높다는 것을 알 수 있었다.

- Torque and Sealing Performanec" Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 4, pp.10-16, 2007.
7. Rusch, K. C. and Sanderson, R. W., "Frictional losses of dual-material lip-type shaft seals", 26th ASLE Annual Meeting, Bostone Massachusetts, P. 213-220, May, 1971.
 8. J. C. Lee, "Study of SEAL application using PTFE (Polytetrafluoroethylene) composites", Ph.D. Dissertation, 2009.

참고문헌

1. MSC. MARC User's Guide
2. M. Sugiyama, M. Hirono and Y. Hayashi, "Advanced Seal Design for Rack and Pinion Power Steering Cylinder", SAE Technical Paper Series, No. 890660, pp. 47-57, 1989.
3. Shinichi Obayashi, "Analysis to Reduce the Sliding Friction of Power Steering Rod Seals", SAE Technical Paper Series, No. 980583, pp. 1-4, 1998.
4. S. J. Shin, T. S. Lee and S. I. Oh, " Three - dimensional Finite Element Analysis of Rubber Pad Deformation(1)" Transactions of the Korean Society of mechanical engineers, Vol. 22, No. 1, pp.111-120, 1998.
5. K. Mikuni, K. Takeno, Y. Shimokawa and H. Nishina, "Development of Seal for Power Steering" , SAE Technical Paper Series, No. 2000-01-0681, pp. 1-6, 2000.
6. 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