

박용 펌프 축용 립시일의 접촉응력 거동에 관한 연구

김성윤* · 김대영* · 안중렬**

A Study on the behavior of contact stress at the lip seal of marine pump

Sung Yun Kim, Dae Young Kim and Joong Yeal Ahn

Key Words: marine pump (박용 펌프), partial wear(편마모), lip seal(립시일), contact stress(접촉응력), finite element analysis (유한요소해석)

Abstract

The purpose of this study is to investigate geometric effect on the contact stress at a lip seal. The geometries of interest were angle, thickness of lip seal and width of contact surface. The contact stress was calculated by using a coupled thermo-mechanical analysis method. The friction thermal load between lip seal and sleeve was adopted to design load. Based on the FEA results, design variables for controlling the maximum contact stress at the lip seal were identified.

기호설명

q : 마찰열 [$J/m^2 \cdot s$]
 J : 마찰계수
 V : 회전 속도 [m/s] ($= rw$)
 p : 접촉압력 [N/m^2]
 r : 축반경 [m]
 w : 각속도 [rad]

1. 서론

박용 펌프 축용 립시일은 펌프 내부의 오일

이 외부로 누설되는 것을 방지하고 외부로부터 이물질의 침투를 방지함으로써 축의 기능을 보전시키는 역할을 하는 중요한 요소이다. 시일의 밀봉 효율과 수명에 영향을 주는 인자 중 접촉면에서의 접촉 열응력에 의한 마모는 시일의 최적 설계 측면에서 대단히 중요하다. 특히 불균일한 접촉 응력은 접촉면에서 편마모를 유발함으로써 시일의 내구성을 감소시키는 주인자로 작용한다.

최근 펌프 축 시스템의 고속화, 고하중화, 장수명화가 요구되면서 시일의 내구성 증가에 대한 요구가 급증하고 있다. 그러나, 립시일의 경우 실제 밀봉을 담당하는 접촉 면적이 작기 때문에 국부적인 마찰열의 발생으로 인한 국부적인 응력 집중과 시일 자체의 기계적 강도 특성을 동시에 고려하여 설계하기에는 어려움이 있었다.

이에 본 연구에서는 유한요소해석을 통하여 축의 운전조건 하에서 립시일의 접촉 열응력을 평가하고 주요 형상 설계 인자들 즉, 립시일의 각도, 접촉 면적, 두께 등의 인자들이 립시일의 접

† 현대중공업 기술개발본부 산업기술연구소
 E-mail : sykim13@hhi.co.kr
 TEL : (052)230-6168 FAX : (052)230-3445

* 현대중공업 기술개발본부 산업기술연구소

** 현대중공업 엔진기계사업본부 펌프설계부

축 열응력 특성에 대한 영향을 평가함으로써 주 인자를 규명하고, 이 결과를 토대로 내구성 향상 방안을 제안하고자 하였다.

2. 수치적 해석

2.1 해석 방법

립시일이 포함된 박용 펌프의 개략적 결합 형상은 Fig. 1과 같으며 립시일의 마찰 접촉 거동 특성 문제를 해석하기 위해 유한요소해석시 사용된 모델은 Fig. 2와 같이 4절점 축대칭 요소를 사용하였다. 이 때, 립시일과 접촉하는 오일의 온도는 60℃, 공기의 온도는 30℃로 가정하고 립시일이 정상 상태일 때 열 및 기계적 연성 해석을 수행하였다. 축과 립시일의 접촉에 의해 발생하는 마찰열은 접촉 압력(p), 마찰계수(f), 축의 회전 속도(V)를 고려하여 식 (1)과 같이 정의하였다. 여기서 접촉 압력은 축과 립시일의 간섭량은 고려하지 않고 스프링의 장력만을 고려하였으며 마찰계수(f)는 0.2로 가정하였다.

$$q = fVp \quad (1)$$

립시일에 사용된 소재는 PTFE 재질로서 유한요소 해석을 위한 열적 기계적 물성은 Table. 1과 같다.

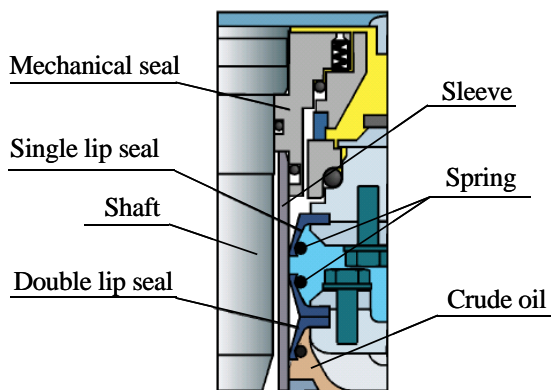


Fig. 1 Schematic diagram of crude oil pump

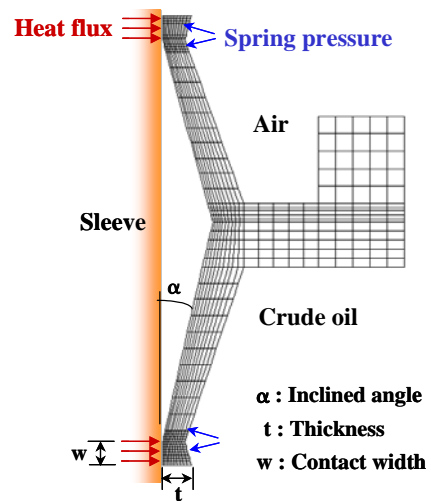


Fig. 2 Mesh and boundary condition used in FEA

Table 1 Material properties

Parameters	Values
Thermal Expansion coef. [$10^{-6}/K$]	13.5
Density [kg/m^3]	2160
Conductivity [W/mK]	0.25
Specific heat [J/kgK]	1400

2.2 해석 결과

립시일의 마찰 접촉면에서 발생된 마찰열은 슬리브와 립시일의 내부로 전도되거나 대류에 의해 열전달이 진행되며 마찰면에서 발생된 마찰열에 의해 접촉 응력 및 열변형 거동이 결정된다.

립시일이 슬리브와 마찰 회전운동을 할 때 발생하는 마찰열에 의한 접촉 응력 해석 결과와 열변형 거동을 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3에서 립시일 접촉부 윗부분(Top)과 아랫부분(Bottom)에 대한 응력 해석 분포 결과를 접촉거리에 따라 나타내었는데 윗부분보다 아랫부분의 접촉 응력이 크게 나타나는 이유는 립시일 위쪽과 아래쪽의 공기와 오일의 온도차 때문이다. 또한 립시일 접촉부의 안쪽은 인장, 바깥쪽은 압축 응력이 작용함을 알 수 있는데 이러한 응력 구배가 발생함으로 인해 립시일의 접촉부는 Fig. 4와 같이 열변형에 의한 비틀림이 작용하게 된다. 이러한 비틀림은 특정부위에 응력 집중을 발생시킴으로서 립시일의 국부적인 마모를 유발시켜 수명을 저하시킨다. 따라서 이러한 접촉 열응력을 최소

화 할 수 있는 립시일의 설계가 필요함을 알 수 있다.

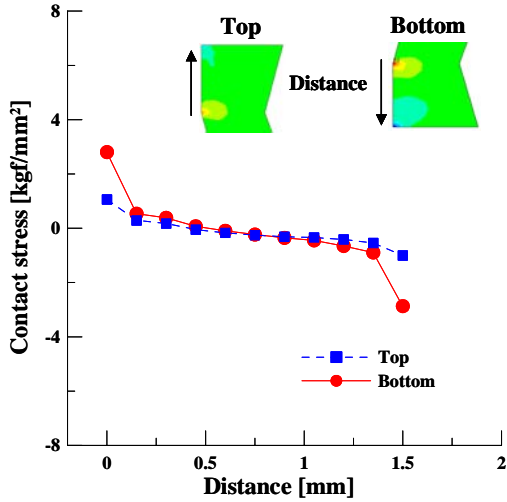


Fig. 3 Contact stress distribution of lip seal

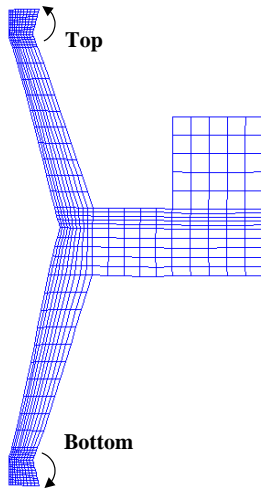


Fig. 4 Deformed shape of lip seal

3. 형상 설계 변수 및 해석 결과

립시일의 최적 설계를 위해 립시일의 각도, 폭 및 두께를 설계 변수로 설정하고 이에 따라 접촉 열응력 해석을 수행하였다.

3.1 형상각(α)의 영향

립시일 형상각도에 따라 접촉 열응력을 계산하고 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 경사각이 증

가함에 따라 립시일의 구조적인 불안정성으로 인하여 접촉 응력은 증가하지만 경사각 30° 이상에서는 더 이상의 접촉 응력 증가가 없음을 알 수 있다.

3.2 접촉 폭(w)의 영향

슬리브와 접촉하는 립시일의 접촉폭을 증감시키면서 발생하는 접촉 열응력을 평가하였다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 접촉폭이 증가하면서 마찰면의 온도는 상승하지만 립시일 전체적으로 고온 온도 증가에 의해 비틀림 열변형이 상대적으로 감소하여 편마모를 일으키는 접촉응력이 감소하는 결과를 가져온다. 그러나 일정 폭(3mm) 이상에서는 이러한 비틀림에 대한 영향이 일정해지므로 응력 감소량이 현저히 줄어들음을 알 수 있다.

3.3 접촉 두께(t)의 영향

접촉 두께에 따른 응력 평가결과 Fig. 7과 같이 두께 2mm 이하일 때는 두께가 감소할수록 두께 방향의 온도차 감소로 인해 열응력이 감소하며 두께 2mm 이상에서는 두께 증가시 열응력이 감소하는 경향을 보인다. 이는 일정 두께 이상이 되면 접촉부의 비틀림 강성이 커지므로 비틀림에 의해 발생하는 접촉 열응력이 상대적으로 감소하게 된다.

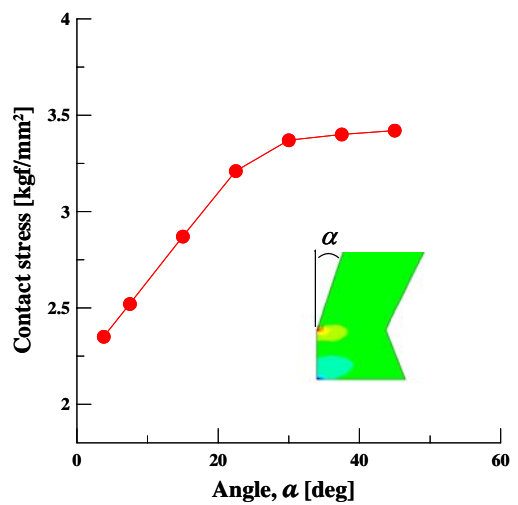


Fig. 5 Variations of contact stress with seal angle

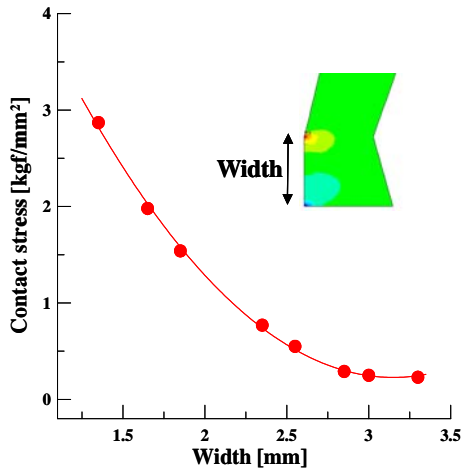


Fig. 6 Variations of contact stress at the lip seal with contact width

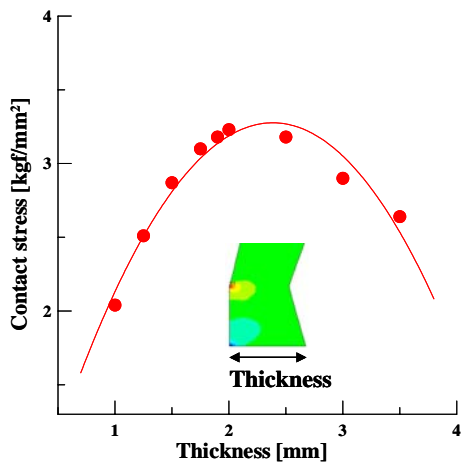


Fig. 7 Variations of contact stress at the lip seal with thickness

이상의 해석 결과는 축의 직경, 회전 속도, 스프링 압력 등에 따라 립시일의 절대 접촉 응력 값의 차이가 있을 수 있지만 그 경향은 일정한 것으로 판단된다. 따라서 펌프 축용 립시일의 설계시 접촉 각도(α)를 감소시키고, 접촉 면적(w)를 증가시키는 동시에 온도를 고려하여 접촉 두께(t)를 선정한다면 립시일의 수명을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

펌프 축용 립시일의 수명 향상을 위해 접촉부의 마멸을 유발할 수 있는 접촉 열응력을 최소화하기 위한 형상 설계에 대한 연구를 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 립시일의 경사각도(α)에 따른 접촉 응력 평가 결과 경사각(α)이 증가함에 따라 응력은 증가하지만 일정 각도(30°) 이상에서는 더 이상의 응력 증가가 없음을 알 수 있었다.
- 2) 립시일의 접촉 면적(w)이 증가할수록 접촉 응력은 감소하며 이는 립시일의 편마모량을 감소시켜 립시일의 수명향상에 효과가 있음을 알 수 있었다.
- 3) 접촉부 두께(t) 증가에 따른 접촉 응력 해석 결과 특정두께에서 최대 응력이 발생하므로 설계시 이를 고려하여야 한다.

참고문헌

- (1) Bond, R., Johnston, D.E. and Lopes, R. D. J., 1986, "A New Rotary Shaft Seal Lip Design Giving Improved Product Performance", ASLE Lub. Eng, Vol.42, No.4, pp.218-223
- (2) Satio, T., Iida, S., Wada, N., Heizen, S. R., and Nishina, H., 1990, "Development of a New Radial Lip Seal with Rubber and PTFE Lips", SAE, 900335
- (3) Hai Sui, Heiko Pohl, 1999, "Wear and friction of PTFE seals" Wear, Vol. 224, pp.175-182
- (4) Kim, C. K. and Shim W. J., 1997, "Analysis of contact force and thermal behavior of lip seals" Tribology International, Vol. 30, No. 2, pp.113-119
- (5) Kim, C. K., 1999, "Finite Element Analysis of the Contact Stress Characteristics in Scraper Seals", Journal of KSME , Vol A 23, No. 6, pp.895-902
- (6) Kim, C. K., 1994, "Coupled Thermal-Mechanical Analysis of Rubber Oil Seals", Journal of KSTLE, Vol 10, No. 2, pp.39-42