

# 변압기 오일펌프용 추력베어링 마모 개선 사례

최 원 호, (주)효성 기술연구소

## 1. 개 요

본 사례는 변압기용 오일펌프의 추력베어링에서 발생한 마모의 진단사례이다. 습식 변압기는 전기를 승압 또는 감압시키는 코어 및 권선부를 밀폐된 외함 내에 설치하고 절연유를 채운다. 절연유는 코일권선에 흐르는 전기가 선로 이외로 전기가 통전되는 것을 방지하고 권선에서 발생하는 열을 냉각시키는데 사용되고 오일펌프는 냉각효율을 높이기 위해 절연유를 강제 순환시킨다.

이 오일펌프는 전동기 축에 펌프의 임펠러가 부착되어 있는 펌프 모터 일체형 펌프이며, 변압기의 특성상 절연유가 대기에 노출되면 절연유의 절연특성에 큰 영향을 미치기 때문에 양액되는 절연유가 밖으로 새지 않는 구조를 하고 있다. 또 변압기 절연유에 금속성의 입자가 존재하게 되면, 높은 전압에 의해 부분방전이 발생하게 되고 변압기 사고로 유발된다. 따라서 오일펌프의 회전부 특히 베어링에서의 마모방지는 매우 중요하다. 본 사례에서는 오일펌프의 추력베어링에서 마모가 발생하는 것은 전동기 냉각을 위해 토출액 일부를 전동기 쪽으로 By-Pass함에 따라 전동기에서 펌프 임펠러 축으로 추력이 존재함에 따라 발생하는 것으로 판단하고 전동기의 축에 밸런싱 홀을 가공하여 추력을 상쇄시킴으로써 추력베어링의 마모문제를 해결할 수 있었다.

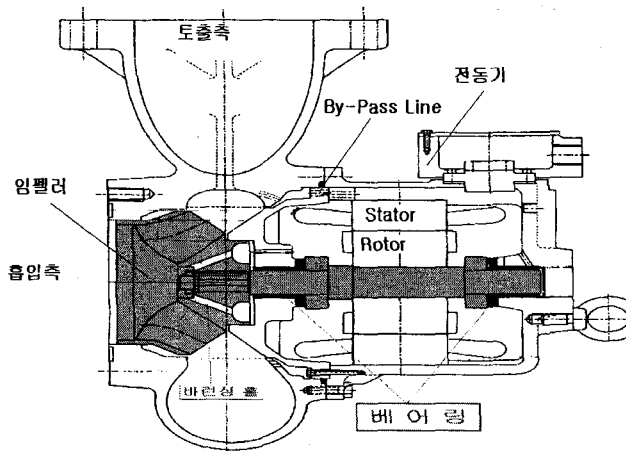


그림 1 오일펌프의 단면도

표 1 오일펌프 및 절연유의 사양

펌프 유량, 양정	180(m <sup>3</sup> /hr)× 6(m)
전동기 동력	7.5HP, 1780RPM, 3Φ, 220/380V
절연유의 종류	광유 1종 4호
절연유 동점성계수	8.7X10 <sup>-6</sup> (m <sup>2</sup> /s)
비중량	842 (kg/m <sup>3</sup> )

## 2. 추력베어링의 마모 원인

오일펌프의 사양과 절연유의 특성을 표 1에 나타내었다. 그림 1은 오일펌프의 조립단면도를 나타낸다. 펌프 운전 중 한 대가 시험운전 중 과전류로 인해 펌프가 트립되어 분해 점검을 실시한 결과, 임펠러 축의 추력베어링에 마모가 발생하였다. 그림 2와 3은 임펠러축의 추력 베어링과 전동기축을 나타낸다.

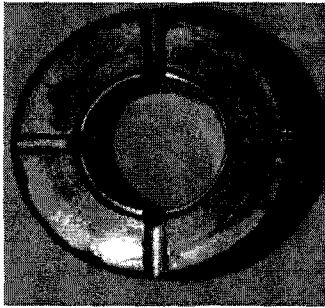


그림 2 마모가 발생한 추력 베어링



그림 3 오일펌프의 전동기 축

조립이나 가공상태 점검결과 이상이 없는 것으로 확인되었다. 임펠러 축의 추력 베어링만 마모가 발생하였고, 그 반대측 베어링은 마모가 없는 점을 고려하여 마모의 원인이 추력에 의한 것으로 판단하고 펌프모터의 추력을 검토하였다. 그림 4에서 임펠러 흡입측에는 임펠러의 형상에 의한 추력이 발생한다 그림에서 노란색부분은 저압(흡입압력)이며 청색 부분은 임펠러의 원심력에 의해 절연유가 높은 토출압력을 갖게 된다. 임펠러에서 발생하는 추력은 다음과 같이 약 64kgf로 계산되었다.

$$\frac{\pi}{4} \times (D_1^2 - aD_2^2) \times \gamma = \frac{\pi}{4} \times (0.167^2 - 0.9 \times 0.134^2) \times 842 \times 6 = 46kg_f$$

전동기의 원활을 위하여 임펠러를 빠져나온 고압의 절연유를 By-Pass시켜 전동기 뒤쪽으로 흐르도록 되어있었기 때문에 이 부분의 추력을 고려할 필요가 있었다. 이 추력을 계산한 결과는 다음과 같다.

$$\frac{\pi}{4} \times \alpha \times D^2 \times \gamma \times h = \frac{\pi}{4} \times 0.9 \times 0.138^2 \times 842 \times 6 = 68 \text{kgf}$$

단, 여기서  $\gamma$ 는 절연유의 비중량,  $h$ 는 펌프의 토출양정,  $\alpha$ 는 보정계수를 나타낸다 따라서 전체 추력은 114kgf로 계산되었다.

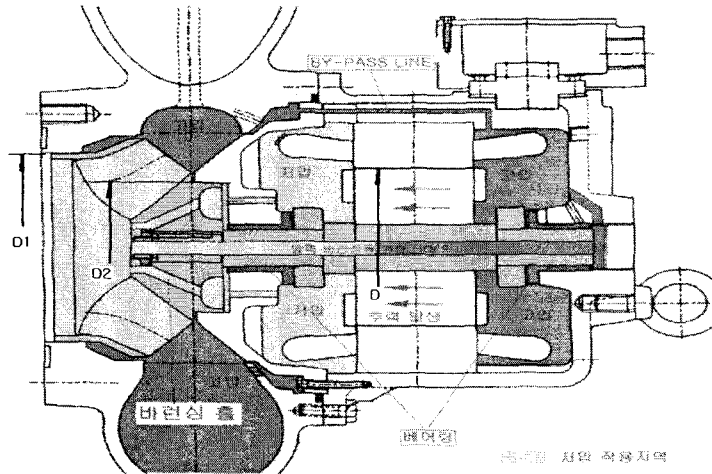


그림 4 오일펌프의 압력분포 및 축 밸런싱 홀

### 3. 베어링 마모 대책

추력베어링의 유막 형성 성능을 향상시키기 위해, 여러 가지의 형태의 추력베어링을 검토하였으나 베어링 가공원가 문제로 곤란하였다. 따라서 베어링 추력 면에 오일 홈의 개수 및 형상을 변경과 연마면 정도 향상 및 조립형상 공차 및 베어링 직각도 정도를 향상시키고 펌프를 10일간 운전한 결과, 그림 5와 같이 작은 마모가 발생하였다.

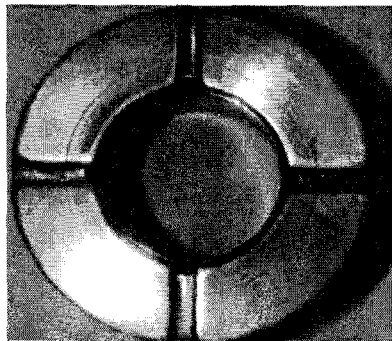
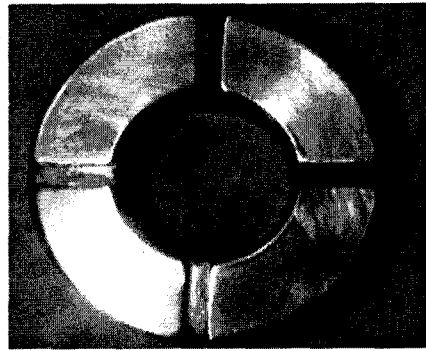
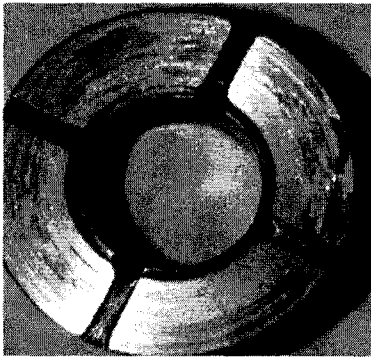


그림 5 베어링 마모

절연유의 동점도 계수가 물의 2배 정도 밖에 되지 않아 유막이 쉽게 파괴되는 것으로 판단되었다. 따라서 그림 4와 같이 전동기 축에 구멍을 관통시켜 압력상쇄가 되도록 하였다. 따라서 추력에 의한 베어링 마모 여부를 확인하기 위하여 축에 구멍을 만든 오일펌프와 기존의 오일펌프를 비교, 시험하였다. 추력이 높은 악조건을 만들기 위하여 펌프 운전을 체절점에 가까운 8m의 수두압력에서 만 15일간을 운전하였다. 그 결과 기존의 펌프는 그림 6(a)와 같이 임펠러 축의 추력 베어링이 심한 마모가 발생하였으나, 그림 6(b)의 축에 구멍을 내어 압력을 상쇄시킨 펌프의 추력 베어링에는 마모가 거의 발생하지 않았다. 따라서 마모의 원인은 과도한 추력 때문인 것으로 나타났다.



(a) 기존 펌프운전의 베어링상태

(b) 개선 펌프의 베어링 상태

그림 6 개선 전후 베어링의 비교

#### 4. 결론

추력베어링의 마모는 절연유의 점성이 매우 낮으므로(물 2배 수준의 점성), 오일의 유막 형성이 어려워 비교적 작은 추력에도 유막이 쉽게 파괴되고 마모가 발생하는 것으로 판단되었다. Step베어링 또는 틸팅패드 베어링과 같은 베어링은 가공의 난이함에 따라 오일펌프의 제조원가 측면에서 제작이 어렵고, 전동기에서 발생하는 추력을 전동기 축에 구멍을 만들어 펌프의 압력을 상쇄함으로써 마모를 개선함에 따라 적은 비용으로 마모 문제를 개선한 것으로 판단된다.

향후 베어링 마모에 따른 진동특성을 연구하여 오일펌프의 마모결함 진단 Tool을 개발하고자 한다.