

난류영역에서 운전되는 유한폭 저어널베어링에서의 성능특성에 관한 실험적 연구

이득우\*, 김경웅\*\*

\* : 한국기계연구소 공작기계실

\*\* : 한국과학기술원 생산공학과

Experimental Study on the Performance of Finite Journal  
Bearing Operating in Turbulent Regime

Deug Woo Lee\* & Kyung Woong Kim\*\*

\* : KIMM Machine Tools Lab.

\*\* : KAIST Dept. of Production Eng.

---

Abstract - The performance of finite journal bearing operating in turbulent regime was experimentally investigated. In order to obtain experimental data contained operating conditions(thermal deformation etc.) of bearing, this study measured the pressure and the film thickness with sensors mounted on the journal. And, the continuous pressure profile and the film thickness profile were obtained.

1. 서론

최근 산업의 발달과 더불어 생산성 향상을 목적으로 사용기계가 고속화되고, 대형화되며, 또한 소비 동력 등을 줄이기 위한 저 점도의 윤활제 사용이 많아졌다. 이에 따라 베어링내에서의 유동도 층류를 벗어나 난류상태에 까지 이르고 있다. 이같이 유동이 난류가 되면 성능특성들은 층류상태를 가정한 예측치에 비해 크나큰 차이를 나타내며, 난류영역에서 운전되는 베어링의 설계를 위해서는 이 영역에 대한 정확한 성능예측이 필요하다.

저어널베어링에서 유동이 난류가 됨에 따라 구별되는 효과는 1949년 Wilcock[1]에 의해 처음으로 보고 되었는데, 그는 운전속도에 따른 마찰손실, 온도상승, 편심율의 변화 등을 제시하였고, 층류에서 난류로의 천이점을 확인하였다. 그 외 Smith & Fuller[2] 등의 많은 연구자[3,4]에 의해 실험적으로 난류 윤활에 대한 성능특성과 이론적 예측의 기초자료를 제공하고 있다.

그러나 현재까지의 실험결과들은 아직 난류윤활에 대한 성능특성파악과 이론의 검정자료로는 부족한 점이 있다. 이들은 편심율과 압력측정에서 산란도가 높고, 특히 베어링가공오차 또는 운전중의 온도상승에 따른 열변형 등을 실험값에 적절히 고려하지 못하고 있다. 또한 저어널베어링의 확산영역에 대한 정보의 부족으로 경계조건의 결정이 어렵다.

그러므로 본 연구에서는 운전상태의 영향이 최대한 포함된 실험자료를 얻으므로써 난류 유체윤활상태

의 보다 정확한 성능특성 파악 및 이론해석에 대한 검증자료를 제시하고자 한다. 이를 위해 저어널 내부에 계측기를 설치하여 압력 및 베어링간극을 연속적으로 측정하였다. 그 결과, 압력분포 및 유막두께의 변화 등을 알 수 있었고, 부압영역에 대한 경계조건의 선정에 대한 자료 및 이론 예측을 위한 기초자료를 얻었다.

## 2. 실험장치

그림 1은 실험장치의 개략도를 보여주고 있다. 전체는 시험베어링부, 하중부, 동력전달부, 급유부 및 계측부로 구성되어 있다. 시험축은 양 끝단에서 볼베어링으로 지지되어 있고, 가운데 부분에 위치한 저어널위에 시험베어링이 놓여 있다. 그리고 시험베어링을 지지하는 정압베어링이 그 아래 설치되어 있다. 윤활제는 베어링상부에서 공급한다.

시험 축은 베어링에서 발생하는 유막압력과 베어링사이의 간극을 연속적으로 측정하기 위해 내부에 계측기를 설치할 수 있도록 제작되었고, 저어널부의 축방향 중앙에 소형 압력계와 간극측정기를 설치하였다. 저어널부의 직경은 200.07mm이고, 길이는 200mm이다.

시험베어링에는 윤활제의 급유를 축방향으로 균일하게 하기 위해 축방향 긴 급유홈을 만들었고, 입구부에 급유압력을 측정하기 위한 압력계가 설치되었다. 베어링의 내경은 200.53mm로 저어널과의 평균간극이 0.23mm이다.

정압베어링은 압력을 조절하여 시험베어링에 하중을 가하도록 설계되었으며, 압력은 최대 15기압까지 조절할 수 있다.

## 3. 실험방법

본 실험에서는 난류상태인 저어널베어링의 성능을 조사하기 위해 물을 윤활제로 사용하였다. 급유는 베어링의 상부에서 이루어지며, 급유구에 설치된 압력계에서 압력을 측정하고, 그 값을 축내부에 설치된 박판 압력계의 급유구에서의 기준값으로 설정하여 원심력의 영향을 보정해 주었다. 하중은 정압베어링 하부에 설치된 하중계에서 측정하였다. 축의 회전수는 압력 및 간극의 출력값에서 주기를 측정하여 얻어진다.

그림 2는 측정방법에 대한 계통도를 보여준다. 저어널 내부에서 연속적인 압력 및 간극신호가 비접촉식 슬립링(Slip-ring)을 통해 디지털 오실로스코프(Digital Oscilloscope)로 받아들여 처리된다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

그림 3, 4는 저어널베어링에서의 연속적인 압력분포와 유막두께분포를 보여주고 있다. 운전조건은 Reynolds 수 2630이고, 편심율 0.79인 경우이다. 그리고 Reynolds 수와 편심율은 다음식으로 계산하였다.

$$Re = UC/\nu \quad (1)$$

$$e = (h_{max} - h_{min}) / 2C \quad (2)$$

여기서 Re: Reynolds 수, U: 저어널 속도, C: 유막의 평균간극,  $\nu$ : 동점성계수, e: 편심율, h: 유막두께

그림에서 간극의 급격한 변화가 있는 곳이 급유구이고, 그 부분에서 압력도 급격한 변화를 나타내고 있다. 하중은 정압베어링에서 수직방향으로 주어짐으로 베어링의 상부에 위치한 급유구의 방향과 동일하게 되며, 따라서 급유구에서 최대 유막두께까지의 각도로 편심각이 결정된다. 그리고 이 급유압력과 외부에서 측정된 급유압력을 비교하여 박판압력계에 미치는 원심력의 영향을 보정하였다.

그림 5는 일반적으로 이론해석시 사용되는 근사식,  $h=230(1 + 0.474\cos(\theta))$  에서의 값과 실험에서의 유막두께 측정값과의 비교를 보여주고 있다. 값의 차이는 약  $10\mu\text{m}$  정도이다. 베어링에서의 변형은 베어링 가공시 생기는 가공오차, 운전중의 열변형 및 하중에 의한 탄성변형등이 복합되어 나타날 수 있는 것으로 실험에 반드시 수반되는 오차이다. 그런데 베어링에서의 유동은 매우 좁은 간극하에서 이루어지므로 이 정도의 오차에서도 성능에 큰차이를 나타내므로 이같은 오차를 포함한 운전상태에서의 정확한 실험 결과를 얻는 것이 중요하다. 그러므로 저어널면에서 실제 운전상태 중에 연속적인 간극을 측정하고, 동시에 압력을 측정하는 방법이 가장 실제에 근접된 실험결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

그림 6, 7, 8, 9는 급유구를 기준으로 1 주기에 대한 압력 및 간극변화를 비교하여 나타내었다. 운전조건은 Reynolds수 2630, 3480, 5120, 6570이다. 압력분포는 베어링의 수렴영역에서 증가하여 최소유막두께를 기점으로 확산영역에 들어 급격히 감소하여 캐비티영역에서의 비교적 균일한 압력을 유지하는 형상으로 측정되었다.

그림 10은 편심율에 따른 부하용량의 변화를 보여주고 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 난류영역에서 운전되는 저어널베어링의 운전상태를 포함한 압력분포, 유막두께등을 측정하는 실험 방법을 제시하였다. 그리고 기존의 실험자료에서 부족한 연속적인 유막두께와 압력분포 및 부하능력을 측정하여, 난류영역에서 운전되는 베어링의 성능을 파악하고 이론예측의 검정자료를 제시하였다.

## 참고문헌

1. Wilcock D.F. "Turbulence in High-Speed Journal Bearing" Trans ASME, Vol.72, 1950, pp.825
2. Smith, M.I. and Fuller, D.D. "Journal Bearing Operation at Superlaminar Speeds" Trans. ASME, 1956, pp.469
3. Burton, R.A. and Carper, H.J. "An Experimental Study of Annular Flows with Applications in Turbulent Film Lubrication" ASME J. of Lub. Tech., 1967, pp.381
4. Gardner, W.W. and Ulschmid, J.G. "Turbulence Effects in Two Journal Bearing Applications" ASME J. of Lub. Tech., 1974, pp.15
5. Kato, T. and Hori, Y. "Turbulent Lubrication Theory Using k- $\epsilon$  Model for Journal Bearings" JSLE, Vol.28, 1983, pp.907

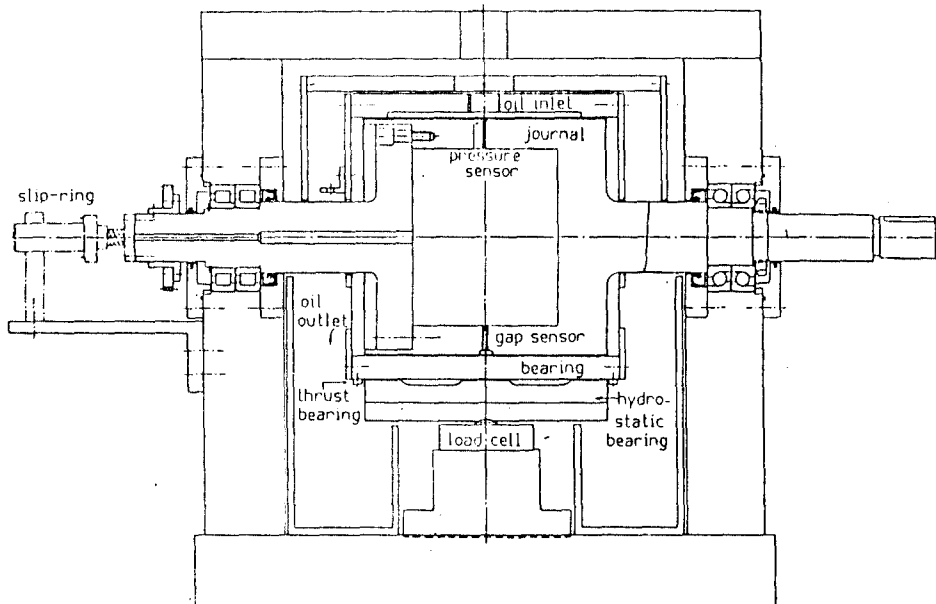


Fig.1 Schematic diagram of the experimental setup

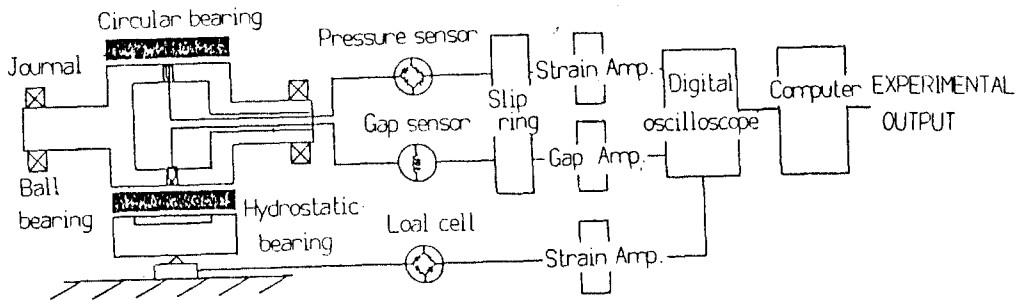


Fig.2 Schematic diagram of the measurement system

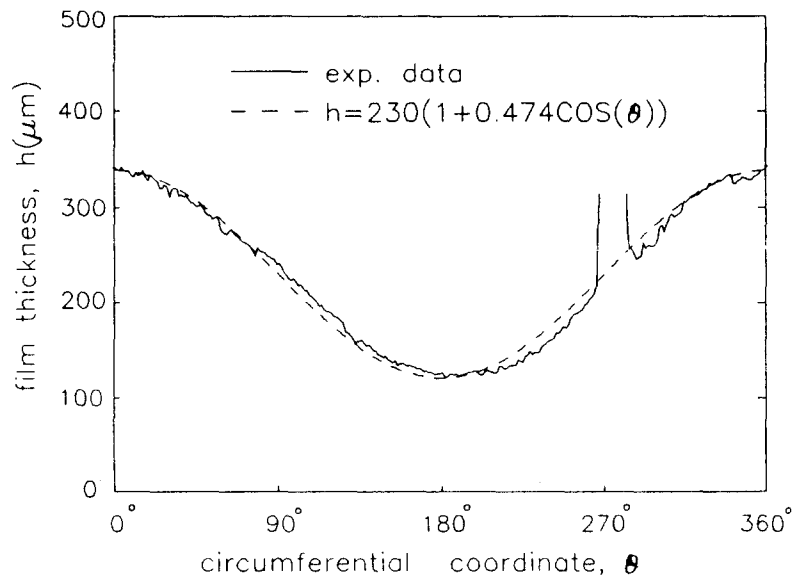


Fig.5 Film thickness in circumferential direction

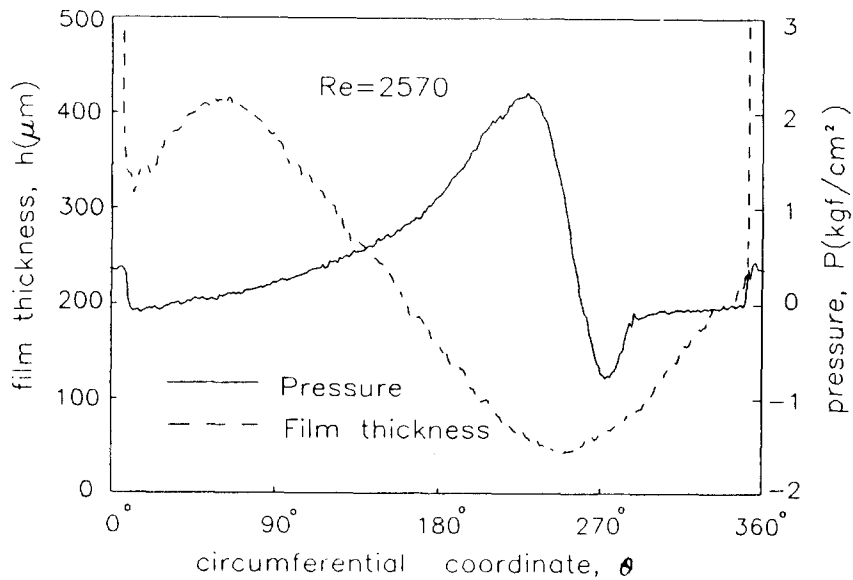


Fig.6 Pressure and film thickness in circumferential direction

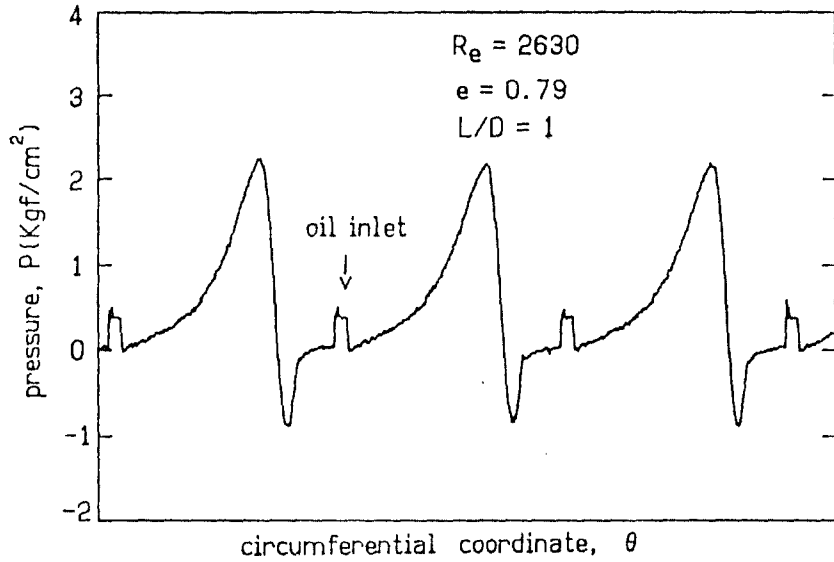


Fig.3 Typical pressure distribution

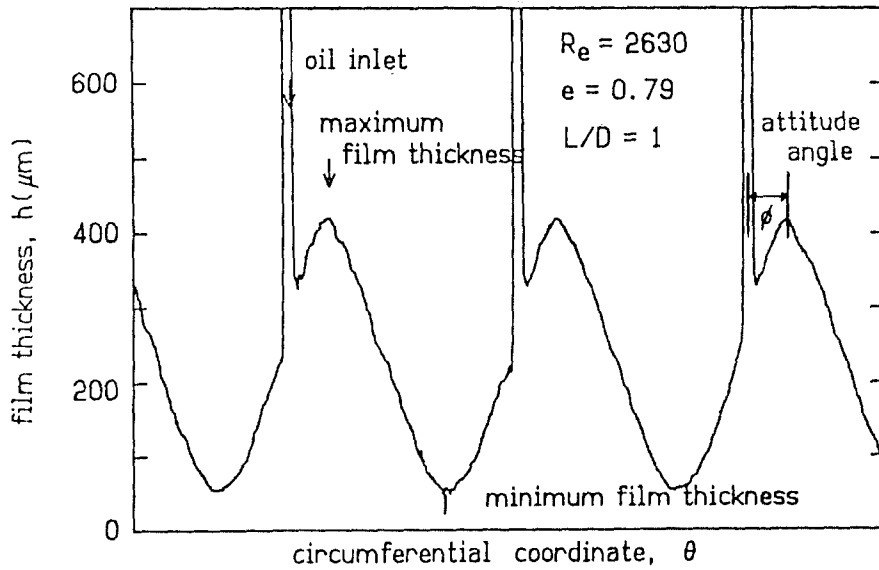


Fig.4 Typical film thickness distribution

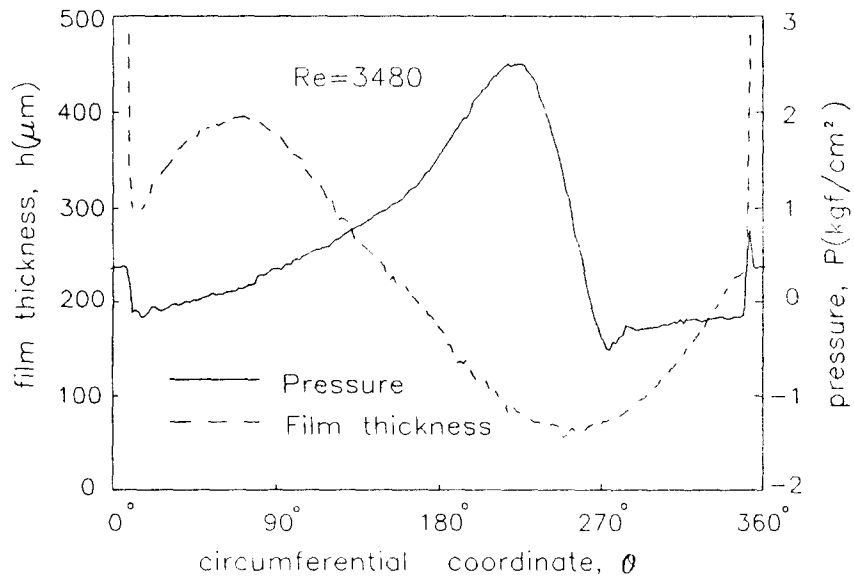


Fig.7 Pressure and film thickness in circumferential direction

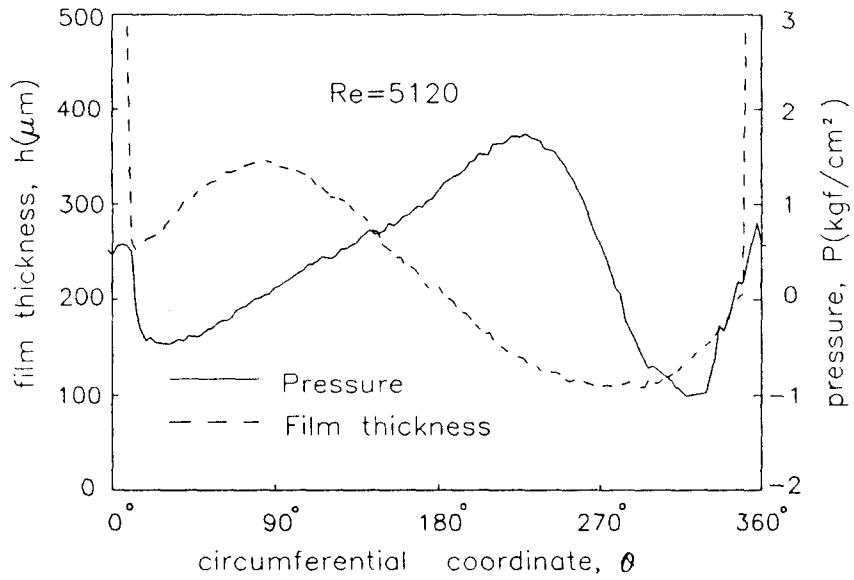


Fig.8 Pressure and film thickness in circumferential direction

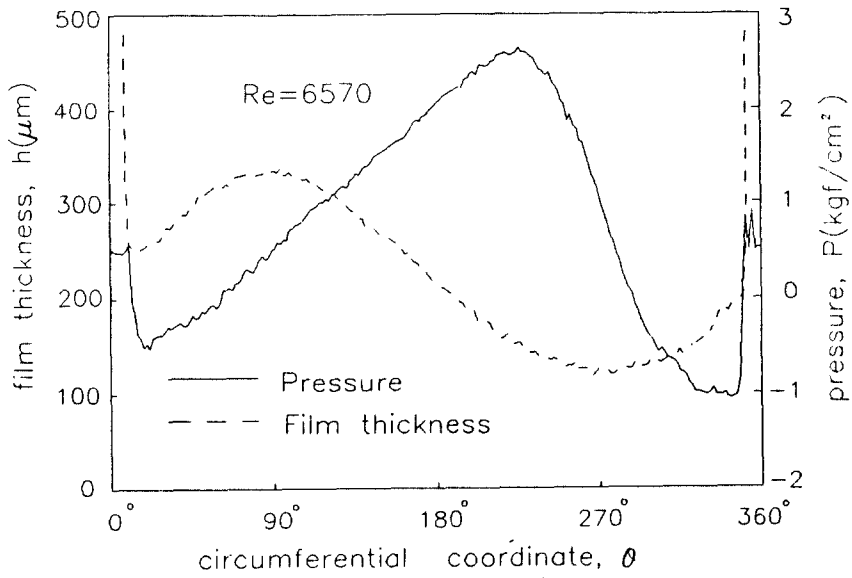


Fig.9 Pressure and film thickness in circumferential direction

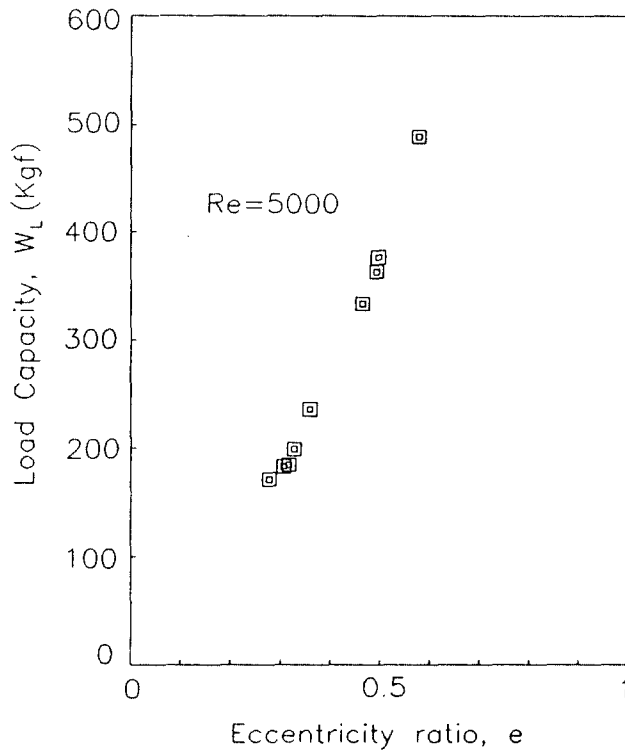


Fig.10 Load capacity vs. eccentricity ratio