

판형 포일 가스 추력 베어링의 CFD 해석에 관한 기초 연구

황승목* · 양종인*†

A Fundamental CFD Study of a Plate-Type Foil Gas Thrust Bearing

Seung Mok Hwang*, Jongin Yang*†

Key Words : Gas Thrust Bearing(가스 추력 베어링), CFD(전산유체역학), Bearing Axial Load(베어링 축하중), Turbulence(난류), Laminar(층류), Transition(천이)

ABSTRACT

A CFD-based analysis was conducted to investigate the gas lubrication film behavior of a plate-type foil gas thrust bearing. The gas film thickness was varied to evaluate its effects on thermo-fluid characteristics, pressure distribution, and axial load capacity. In addition, laminar and turbulence models were applied to examine transition effects and the influence of heat transfer coefficients. The results show that decreasing film thickness significantly increases pressure gradients and shear stresses, leading to higher axial load capacity and power loss, particularly in the thin film region. Thermal effects cause substantial temperature rise due to viscous heating, strongly affecting bearing performance. Furthermore, the flow is predominantly laminar under thin film conditions, while turbulence models tend to underestimate axial load in fully laminar regimes. These findings highlight the importance of appropriate flow modeling and thermal boundary conditions for accurate performance prediction.

1. 서 론

가스 추력 베어링은 기체 윤활을 적용하여 마찰 손실이 작고, 고속 회전 기계 시스템에서 축하중을 지지하는 중요한 역할을 한다. 이러한 가스 추력 베어링은 회전 안정성에 관한 요건을 충족하면서도, 청정한 작동 환경과 회전 안정성을 제공하여 반도체 장비 및 항공우주 분야 등 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다^(1,2).

가스 추력 베어링의 성능은 베어링과 회전체 사이에 형성되는 가스 윤활막의 열·유동 특성에 의해 크게 좌우되며, 윤활막 내 압력분포로 인한 축 하중 지지력은 베어링의 정적 안정성 및 운전 신뢰성을 판단하는 데 중요한 판단 요소이다. 따라서 이들에 대한 이해는 가스 추력 베어링의 성능 평가 및 설계 최적화를 위해 필수적이다. kim 등은 가스 포일 추력 베어링의 축 하중지지 성능과 구동 토크 특성을 실험적으로 분석하였으며 고속 회전시 공기 유막 형성에 의해 마찰 토크가 감소하고, 하중 증가에 따라 토크와 온도가 증가하는 경향을 파악하였다⁽³⁾. moon과 kim은 윤활 유체 점도 변화에

따른 가스 추력 베어링의 성능특성을 해석하였으며, 해당 연구에서는 점도와 회전속도 변화에 따른 가스 추력 베어링의 동력 손실 특성을 해석적으로 분석하고 점도와 축방향 길이가 증가할수록 동력 손실이 증가하는 경향을 파악하였다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 가스 추력 베어링의 가스 유막(Gas fluid-film)을 대상으로 CFD 해석을 수행하여, 유막 두께 변화에 따른 열·유동 특성과 점성 효과, 하중 지지 성능을 분석하고자 한다. 일반적으로 가스 베어링의 회전 진동 안정성을 향상시키기 위해 포일 구조 등이 적용되나, 소형화될 경우 제작 어려움과 구조적 좌굴에 대한 취약성으로 적용에 한계가 있을 수 있다. kim 등은 표면 거칠기가 가스 포일 추력 베어링의 성능에 미치는 영향을 분석하였으며, 베어링이 소형화 될수록 그리고 표면 조도가 감소할수록 최대 하중지지력이 증가하고 마찰 토크 및 베어링 온도가 감소하는 경향을 파악하였다⁽⁵⁾. 그러나 기존 연구들은 대부분 범프 포일(bump foil) 형상에 따른 정적 및 동적 성능 평가에 집중되어 있으며, CFD 기반 천이 난류 모델이 가스 추력 베어링의 성능 예측에 미치는 영향을 체계적으로 분석한 연구는 상대적으로

* 국립금오공과대학교 기계공학부(School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

† 교신저자, E-mail : jiyang@kumoh.ac.kr

부족하다. 특히 향후 범프 구조의 적용이 제한되는 판형 가스 추력 베어링의 TEHD(Thermo-Elasto-Hydrodynamic) 해석 모델 구축을 위해서는 층류, 천이 및 난류 유동을 적절히 고려할 수 있는 기본 유동 모델의 검증이 선행될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 가스 추력 베어링에 대하여 SST 난류 모델과 Gamma Transition 모델을 적용한 CFD 해석을 수행하고, 천이 난류 모델이 베어링의 압력 분포, 하중지지 능력 및 마찰 특성에 미치는 영향을 비교·분석하였다. 이를 통해 향후 판형 가스 추력 베어링의 고정밀 TEHD 해석을 위한 기본 유동 모델을 제시하고자 한다.

2. 해석 방법

2.1 가스 유막 형상 모델링 및 격자 생성

본 연구에서는 가스 추력 베어링의 원주 방향으로 반복되는 6개 패드의 특성을 고려하여, Fig. 1과 같이 단일 가스 유막 모델(Single Gas Film)을 대상으로 한다. 가스 유막 모델에 대해 생성된 격자는 Fig. 2에 나타내었다. 사용된 격자의 종류는 모두 Hexa Mesh를 사용하여 생성해주었으며 총 생성된 격자의 개수는 약 72,000개이다. 격자개수의 경우 축방향



Fig. 1 Single gas film model

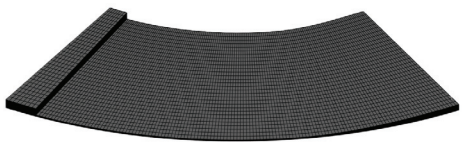


Fig. 2 Single gas film mesh

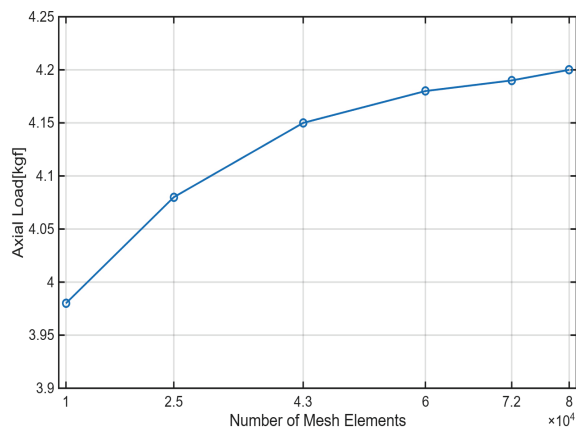


Fig. 3 Mesh independence test of axial load

과 반경방향에 대한 Edge Sizing을 이용하여 격자개수를 조절하였고, 층류모델을 적용하여 격자크기와 개수를 단계적으로 바뀌는 과정을 통해 격자독립성을 축하중을 기준으로 테스트하였다. 결과는 Fig. 3에 나타내었다. 해석 대상 베어링의 내경과 외경은 각각 38 mm와 68 mm로 모델링하였다.

2.2 경계 및 해석 조건

Fig. 4와 같이 베어링 모델의 양쪽 원주 방향 전·후단에는 주기(Periodic) 경계조건을 적용하여 전체 6개 패드를 고려하는 효과를 반영하였다. Fig. 5는 유체막 두께에 대한 단면도를 나타내었다. 반경 방향에는 Opening 경계조건을 적용하여 압력 손실에 따른 작동 유체의 유출 입량이 달리 계산되도록 하였다. 상대 압력조건은 주변 대기와 연결하기 위해 안쪽과 바깥쪽에는 0 Pa로 설정해주었고, 모든 면의 기준 온도는 20 °C로 설정해주었다. 난류경계조건은 모든 유로면에서 Zero Gradient로 설정해주었다. 축방향 기준 하부의 Collar 표면에는 회전벽 조건을 적용하였으며, 이때 회전수는 93,000RPM이다. 하부의 Collar 표면에서 열전달 효과를 파악하기 위하여 열전달계수를 100-1000 W/m²K로 지정해주었다. 유로면에서는 온도 경계 조건이 고려되었고, 탑포일면의 열전달 계수는 30W/m²K로 가정하였다. 해석 기준 압력은 1.5 bar이며, Fig. 4와 같이 최소 유막 두께를 조절하기 위해 격자 변형 기법이 추가로 고려되었고 Collar 표면의 경계 조건으로 변위량(Δz_{dis})이 입력된다.

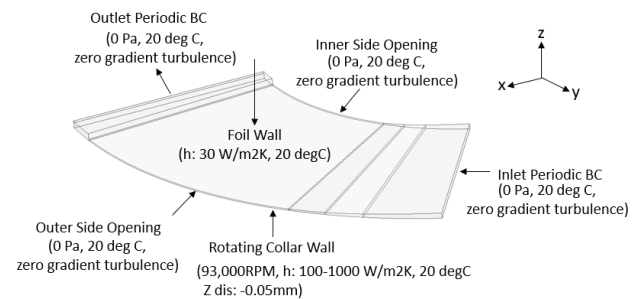


Fig. 4 Single gas film boundary condition

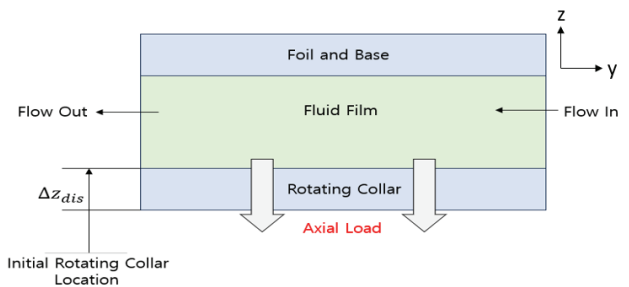


Fig. 5 Mesh deformation method to control the fluid film thickness

본 해석에서는 고해상 이류 기법(High Resolution advection scheme)을 적용하였고, 정상 상태 계산을 수행한다. 해의 수렴 기준은 continuity, momentum, energy 방정식에 대한 RMS 잔차가 모두 1×10^{-6} 이하를 만족하면서 축 하중이 반복 계산에 따른 특정 값 수렴성을 토대로 판단되었다. 해석에 대한 기본 난류 모델로 k- ω based SST turbulence 모델이 적용되었으며, 또한 층류, 천이 및 난류 영역을 함께 모사하기 위하여 SST기반의 Gamma transition model을 추가적으로 적용하였다. 해당 모델은 간헐성 방정식을 이용하여 층류-난류 천이 현상을 예측한다. 유체의 물성은 공기를 이상기체로 적용하였고, 온도의 함수로 표현되는 점성, 열전도도가 함께 고려되었다.

3. 해석 결과

3.1 천이 난류 및 열적 효과 고려

본 절에서는 난류와 에너지 방정식을 고려한 CFD 해석을 수행하였다. 본 절에서 사용된 난류 모델은 간헐성 모델(Gamma transition model)을 통해 층류, 난류, 천이 영역에 대해 모사가 가능하다. 기본 난류 모델로 k- ω 기반의 SST(Shear Stress Transport) 모델을 적용하였다. SST 모델은 완전히 발달된 난류 유동에 대해 우수한 예측 성능을 보이나, 층류에서 난류로의 천이 과정을 직접 모사하는 데에는 한계가 있다. 본 연구의 가스 베어링 유동에서는 층류, 천이 및 난류 영역이 동시에 존재할 수 있으므로, 이를 보다 정확하게 예측하기 위해 SST 기반의 Gamma Transition 모델을 추가적으로 적용하였다. Gamma Transition 모델은 유동 내 난류 간헐성(intermittency)을 나타내는 γ 수송방정식을 추가로 해석하며, γ 는 0에 가까울수록 층류 상태, 1에 가까울수록 완전히 발달된 난류 상태를 의미한다. 계산된 γ 값은 SST 모델의 난류 생성항을 조절하여 난류 발생 시점과 천이 영역을 예측함으로써, 층류 · 천이 · 난류 유동이 공존하는 영역을 보다 현실적으로 모사할 수 있다. 회전 벽면에는 일정한 열전달계수($HTC = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$)를 적용하였다. 최소 유체막 두께를 0.1 mm, 0.05 mm, 0.02 mm, 0.01 mm로 변화

시키며 정적 성능 변화를 분석하였고, Table 1은 그 해석 결과를 나타낸다. 최소유체막 두께가 감소함에 따라 축방향 지지력은 급격히 증가하는 경향을 보이며, 이는 유체막이 얇아질수록 점성 전단 효과가 지배적으로 작용하기 때문이다. 한편, 유체막 두께 감소에 따라 마찰손실에 의한 동력 손실 또한 증가하였으며, 이에 따라 최대 온도는 0.01 mm 조건에서 약 891.8 °C까지 상승하였다. 이는 실제 운용에는 사용할 수 없는 조건에 해당되며, 유막 내 충분한 냉각 유량 공급이 필요함을 의미한다.

Fig. 6은 최소 유막 두께에 대한 압력과 온도 분포를 나타

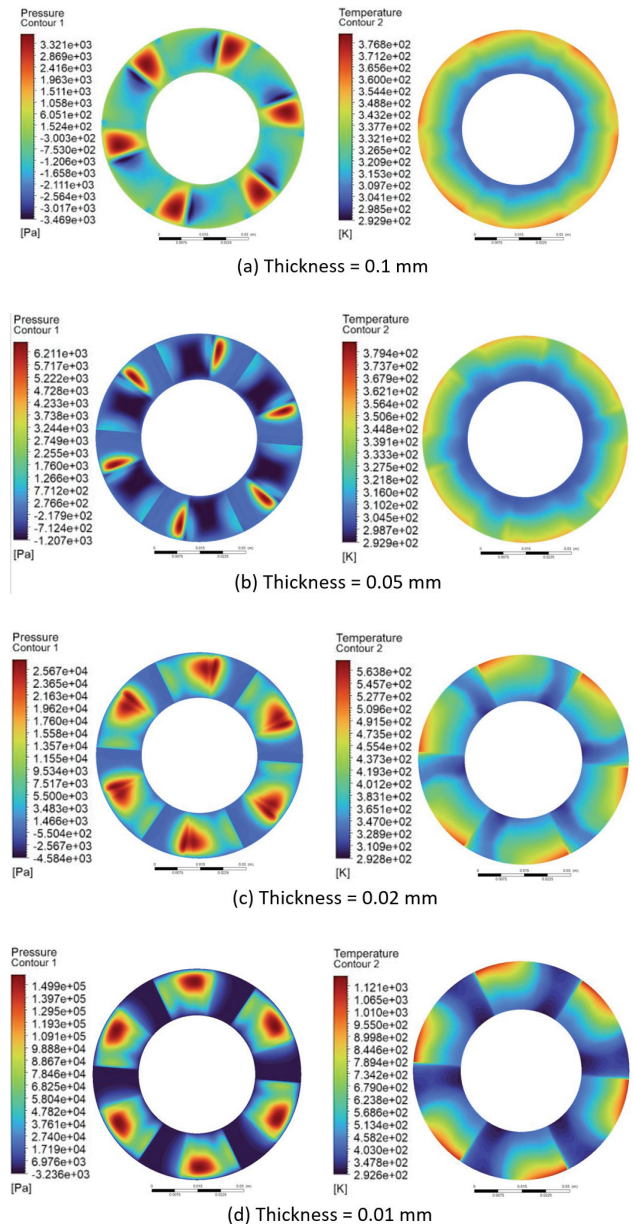


Table 1 CFD results considering transitional turbulence and thermal effects

Min. Film Thickness [mm]	Rotating Wall Heat Transfer Coefficient [W/mK]	Axial Load [N]	Power Loss [W]	Max. Temp [degC]
0.1	500	-0.981	132.5	107.6
0.05	500	0.588	77.2	110.9
0.02	500	19.52	167.9	305.1
0.01	500	110.6	366.4	891.8

Fig. 6 Pressure and temperature distribution depending on min. film thickness when considering transitional turbulence and thermal effects; thickness = 0.1 mm (a), 0.05mm (b), 0.02mm (c), 0.01mm (d)

내며, 좌측은 압력 분포, 우측은 온도 분포 결과이다. 압력분포에서 유체막 두께가 0.1 mm인 경우 비교적 완전한 압력 분포가 형성되었으나, 두께가 감소할수록 국부적인 고압 영역이 뚜렷하게 형성되는 것을 확인할 수 있다. 온도 분포에서는 유막 두께가 감소함에 따라 전체적인 온도 수준이 상승하였으며, 고온 영역은 주로 회전 방향 기준 각 패드 후단부에 형성되었다. 이는 얇은 유막 조건에서 전단 변형률이 증가하고, 이에 따른 점성 발열이 크게 증가하기 때문이다. 또한, 각 패드 전단부에서는 공기가 유입되어 냉각되는 효과가 크며 패드 내 점성 발열이 주위로 충분히 냉각되지 않아 패드 후단부로 갈수록 온도가 상승하는 패턴을 갖는다.

최소 유막 두께가 감소함에 따라 유동은 관성 지배적인 상태에서 점성 지배적인 상태로 전환되는 경향을 보인다. 이는 두꺼운 유막 상태에서는 후단부로 갈수록 압력이 감소하는데, 얇은 유막 상태에서는 반대로 상승하는 경향으로 확인 가능하다. 또한, eddy viscosity를 통해 유체막 두께 감소 시 난류강도가 약화되는 경향을 확인하였다. 이는 유동 공간이 제한됨에 따라 난류 발생이 억제되고, 패드 전단부에서는 국부적인 난류가 존재하나 후단 영역에서는 층류 거동이 우세하다는 것을 나타낸다.

3.2 층 · 난류 모델 비교(열적 효과 무시)

본 절에서는 층 · 난류 모델링에 적절한 방법론을 확립하기 위해 열적 효과를 무시하고, 층류와 난류 모델의 비교 연구를 수행하였다. 본 절의 난류 모델은 3.1절에서 사용된 모델과 동일하다. Table 2와 Table 3은 층류 및 난류 모델에 대한 해석 결과를 나타낸다. 두 모델 모두 최소 유막 두께가 감소함에 따라 축 방향 하중과 동력 손실이 증가하는 경향을 보인다. 최소 유막 두께가 0.1 mm 및 0.05 mm인 조건에서는 두 모델 모두 음의 축방향 하중 또는 매우 작은 하중을 예측하였으며, 이로부터 해당 조건에서는 충분한지지 압력이 형성되지 않았음을 확인할 수 있다. 특히 동일 조건에서 난류 모델은 층류 모델에 비해 상대적으로 큰 동력 손실을 예측하였으며, 이는 난류 모델에서 추가적인 난류 점성 효과가 고려되기 때문으로 판단된다.

최소 유막 두께가 0.02 mm 이하로 감소함에 따라 두 모델

Table 2 Turbulence model results neglecting thermal effect

Min. Film Thickness [mm]	Axial Load [N]	Power Loss [W]	Operating Temperature [°C]
0.1	-1.37	125	100
0.05	0.39	111.8	100
0.02	12.36	172.8	100
0.01	49.62	277.3	100

Table 3 Laminar model results neglecting thermal effect

Min. Film Thickness [mm]	Axial Load [N]	Power Loss [W]	Operating Temperature [°C]
0.1	-2.25	79.2	100
0.05	-1.57	90	100
0.02	18.04	158.1	100
0.01	72.37	277.1	100

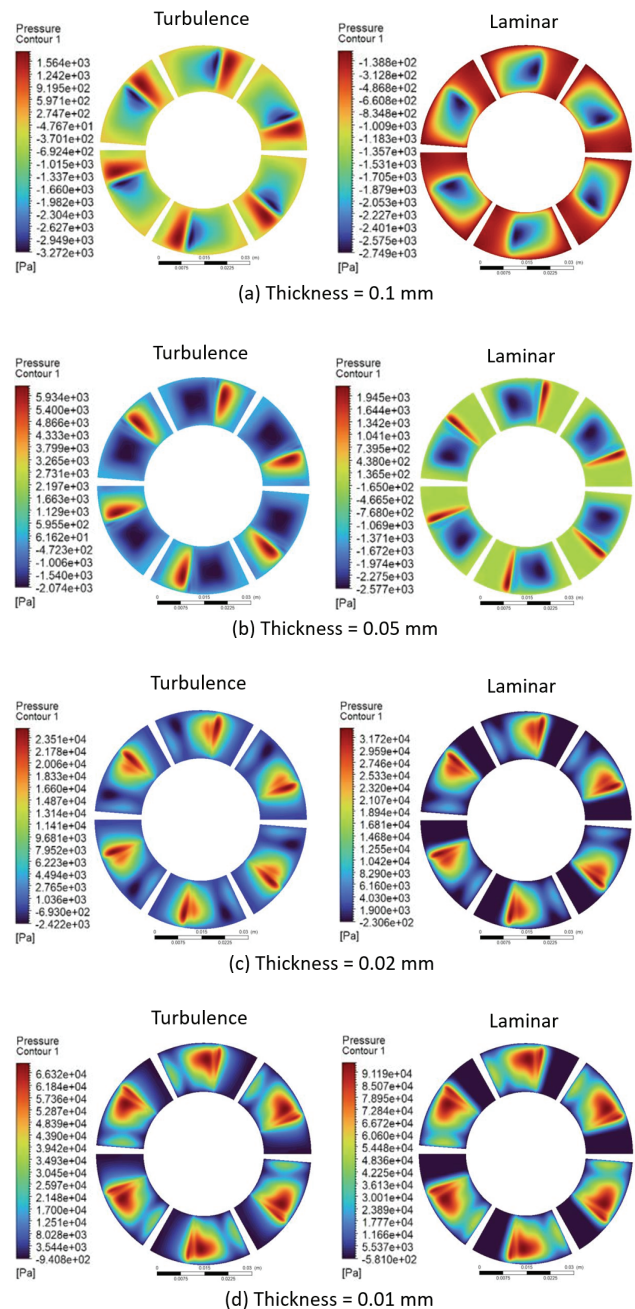


Fig. 7 Pressure distribution comparison between turbulence and laminar models without considering thermal effect; thickness = 0.1 mm (a), 0.05mm (b), 0.02mm (c), 0.01mm (d)

모두 양의 축방향 하중을 예측하였다. 그러나, 동일 조건에서 층류 모델은 난류 모델에 비해 더 큰 축방향 하중을 예측하는 경향을 보여, 압력 및 전단응력 분포 특성의 차이를 분석해 볼 필요가 있다. Fig. 7은 난류 모델과 층류 모델의 압력분포를 나타낸다. 유막 두께가 상대적으로 큰 조건에서 작아지는 조건에 따라 두 비교 모델간 압력 분포 형상의 경향이 유사해졌다. 특히, 얇은 유막 조건에서는 압력분포의 공간적 패턴이 두 모델간 거의 유사하게 나타났다. 유막이 두꺼울 때, 유동은 완전 난류 상태에 가깝기 때문에 층류 모델의 예측 정확도가 떨어져 발생한 차이로 판단된다. 그리고, 유막이 얇은 상태에서는 유동이 층류 영역에 해당되며, 층류

모사도 어느 정도 가능한 난류 모델이 층류 모델과 유사한 결과를 보이는 것이다.

Fig. 8은 난류 모델과 층류 모델의 전단응력 분포 비교를 나타낸다. 난류 모델과 층류 모델의 벽면 전단응력 분포를 비교한 결과, 두 모델 모두 유막이 두꺼울 때, 회전 방향 기준 패드 전단 부근에서 전단응력이 크게 나타나고, 유막이 얇아질수록 후단부에서 전단 응력이 증가하는 공통적인 경향을 보인다. 압력 분포 비교에서와 유사하게 최소 유막 두께가 비교적 큰 조건에서는 난류 모델과 층류 모델 간 전단응력 분포 차이가 뚜렷하게 나타났다.

최소 유막 두께가 매우 작은 경우에는 점성 효과가 관성 대비 매우 지배적이므로 층류 유동 상태이다. 본 절의 난류 모델은 감마 천이 모델을 포함하고 있어 층류 영역도 모사 가능하며, 결국 층류와 난류 모델의 해석 결과는 거의 유사하게 나타나야 한다. 그러나 본 연구에서 크진 않지만 예측 결과에 차이가 발생하였고, 이에 대한 조금 더 면밀한 비교 분석을 위해 다음절에서 완전 층류 상태에서 두 모델을 비교한다.

3.3 층 · 난류 모델 비교(완전 층류 상태)

앞 절에서 사용된 난류 모델의 예측 정확성을 확인하기 위해 완전 층류 조건에서 층류 모델과 비교한다. 이를 위해 난류 모델은 앞 절의 천이 난류 모델과 동일하다. 천이 난류 모델에서는 0부터 1 사이로 계산되는 간헐성 값을 통해 층류와 난류 정도를 파악할 수 있으며, 완전 층류 상태를 구현하기 위해서는 이 값을 0으로 강제하면 된다. 또한, 간헐성이 강제되지 않고 모델에 의해 계산되는 경우도 함께 비교된다. 해석 케이스는 앞선 해석에서 확인했던 완전 층류 상태로, 최소 유막 두께가 0.005mm인 경우로 한다. 해석 조건 및 결과는 Table 4에 나타내었다.

해석 결과, 층류 모델을 적용한 경우 축하중은 약 25 kgf 로 예측된 반면, 난류 모델에서는 약 18.7 kgf 수준으로 층류 모델보다 낮은 수준의 축 하중 예측 값을 보인다. 이는 난류 모델의 예측 정확도가 완전 층류 상태에서 떨어질 수 있음을 나타낸다. 난류 간헐성 모델 적용 시 발생한 축하중 예측 오차(약 25%)의 주요 원인으로는 자동 벽함수(automatic wall function)의 적용 한계를 들 수 있다. 벽면 인접 영역에서의 격자 해상도가 충분하지 않을 경우, 난류 모델은 층류 영역

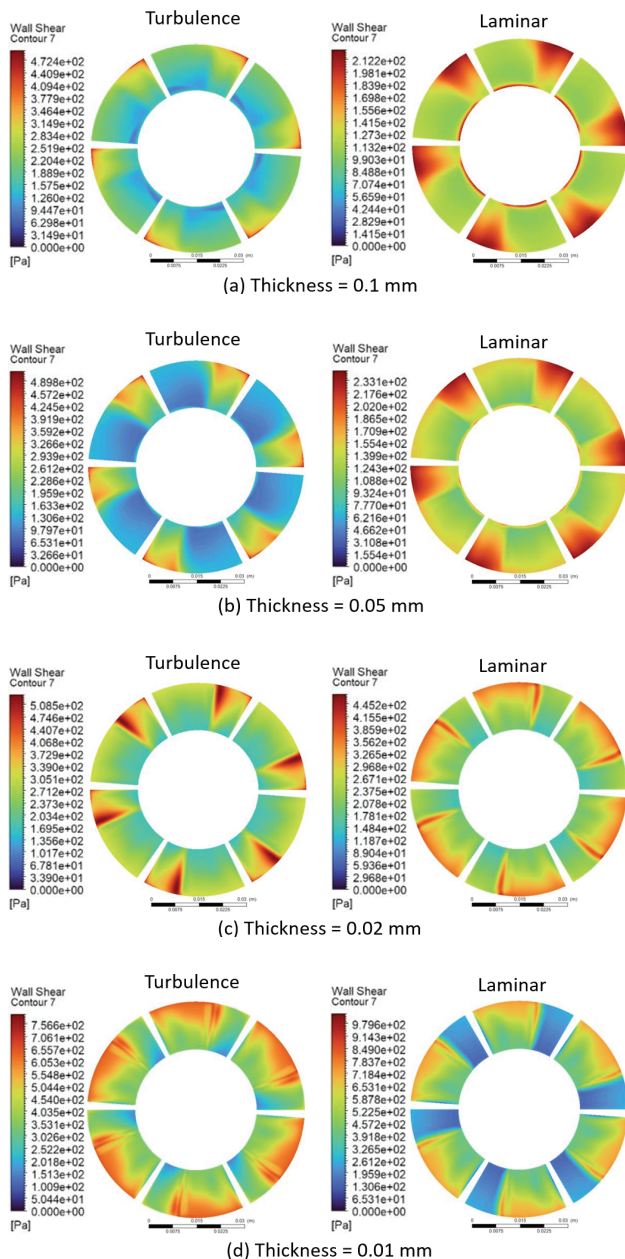


Fig. 8 Wall shear contour comparison between turbulence and laminar models without considering thermal effect

Table 4 CFD results in fully laminar condition

Turbulence Intermittency	Min. Film Thickness [mm]	Axial Load [N]	Power Loss [W]
Laminar	0.005	245.63	865.042
Calculated	0.005	183.57	751.853
Specified with 0	0.005	183.57	751.853

에서도 난류 특성을 과도하게 반영할 가능성이 있다. 특히 본 해석 조건과 같이 완전 층류가 지배적인 영역에서는 벽면 근처의 속도 구배와 전단응력 예측이 전체 하중 계산에 큰 영향을 미치므로, 난류 모델 사용 시 벽면 인접 격자 보정이 필요할 것이다. 본 연구에서 적용된 베어링은 축 하중을 발생시키는 유동 상태가 층류이기 때문에 이러한 천이 난류 모델 보다는 층류 모델을 고려하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

3.4 열전달 계수 영향(난류 및 열적 효과 고려)

본 절에서는 회전 벽면 열전달 계수가 가스 포일 추력 베어링의 열-유동 특성에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해 열전달 효과를 고려한 CFD해석을 수행하였으며, 최소 유막 두께를 고정된 상태에서 회전 벽면 열전달 계수만을 변화시켜 가며 축 하중, 동력 손실 및 최대 온도 변화를 비교하였다. 본 해석을 통해 열전달 계수의 변화가 유막 온도 분포 및 점성 변화에 미치는 영향을 평가하고, 열전달 모델의 중요성을 검토하고자 한다.

Table 5는 열전달 계수 변화에 따른 CFD해석의 결과이다. 회전 벽면 열전달 계수가 증가함에 따라 유막 내 최대온도는 감소하는 경향을 보였다. 특히, 열전달 계수가 낮은 조건에서는 유막 내 열 축적 현상이 두드러지게 나타났으며, 이로 인해 국부적인 고온 영역이 형성되었다. 이는 가스 베어링과 같이 유막 두께가 매우 얇은 시스템에서 열 방출이 제한될 경우, 온도 상승으로 인한 재료의 건전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

또한, 온도 상승에 의한 가스의 점성계수가 증가함에 따라, 유막 내 전단 응력이 증가하고 결과적으로 축 하중이 크게 증가하는 경향을 보였다. 열전달 계수가 낮은 조건에서는 축 하중이 크게 예측되는 반면, 열전달 계수가 증가함에 따라 온도 및 점성의 증가 정도가 완화되어 축 하중이 감소하였다. 이는 냉각 시스템의 성능이 베어링의 하중 지지 특성에 큰 영향을 미친다는 것을 보여준다. 특히 열전달 계수의 작은 변화에도 축 하중 및 최대 온도가 크게 변동될 수 있기 때문에 열전달 계수에 대한 신뢰성 있는 경계조건 설정이 필수적이며, 실험 또는 문헌 기반의 물성 및 열전달 계수 산정이 요구된다.

Table 5 CFD result for several heat transfer coefficients

Min. Film Thickness [mm]	Rotating Wall Heat Transfer Coefficient [W/m ² K]	Axial Load [N]	Power Loss [W]	Max. Temp [°C]
0.01	100	411.01	672.4	7594.6
0.01	500	116.01	385.4	888.2
0.01	1000	68.95	321.2	359.8

3.5 등온 조건에서 성능 분석(층류 해석)

3.1절에서는 의미 있는 축 하중이 발생하는 유막 두께 조건에서 상당한 동력 손실과 허용 불가능한 최대 온도가 나타남을 확인하였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 유막 반경 방향으로 충분한 강제 냉각 유동이 적용되지 않았기 때문으로 판단된다. 냉각 시스템의 영향을 배제하고 보다 의미 있는 해석을 수행하기 위해, 등온 조건에서 축 하중 지지력과 동력 손실을 예측하였다. 또한, 천이 해석이 가능한 난류 모델은 완전 층류 조건에서 예측 정확도가 저하될 수 있음을 확인하였다. 의미 있는 하중을 발생시키는 유동 상태는 층류 영역에 해당하므로, 본 해석에서는 난류 모델을 고려하지 않았다.

Fig. 9와 Fig. 10은 유막 두께 및 온도 변화에 따른 종합적인 해석 결과를 정리한 그래프이다. Fig. 9는 유막 두께 변화에 따른 축 하중을, Fig. 10은 유막 두께 변화에 따른 동력 손실을 나타낸다. 두 그래프의 해석 결과에 따르면, 유막 두께가 감소할수록 축 하중은 급격히 증가하며, 동시에 전단

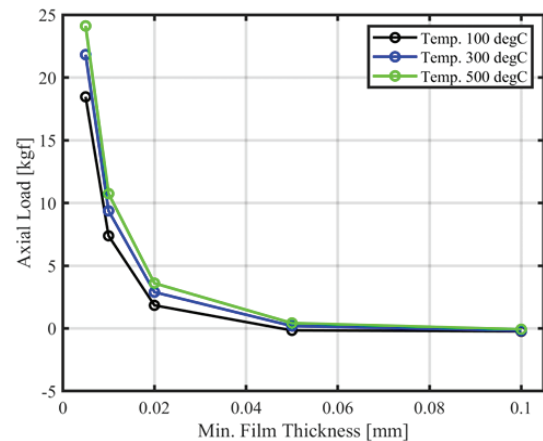


Fig. 9 Axial load according to changes in min. film thickness

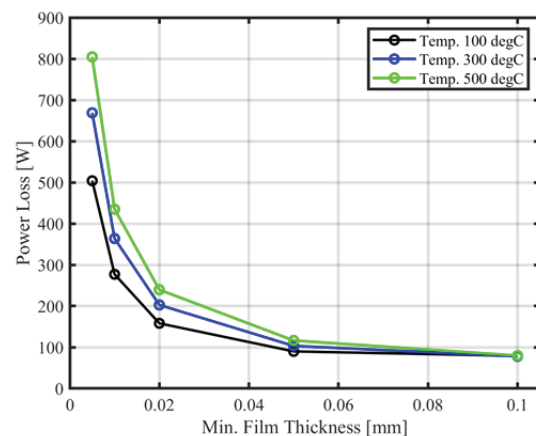


Fig. 10 Power loss according to changes in min. film thickness

응력과 동력 손실 또한 증가하는 경향을 보인다. 특히 최소 유막 두께가 0.02 mm 이하로 감소하는 영역에서는 축 하중과 동력 손실의 증가율이 크게 확대되어, 설계 시 매우 중요한 구간임을 확인할 수 있다. 또한, 온도가 증가함에 따라 이전 해석 결과와 유사하게 축 하중 지지력과 동력 손실이 함께 증가하는 경향을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 판형-포일 가스 추력 베어링의 정적 성능 특성을 규명하기 위하여 최소 유막 두께를 변화시키며 CFD 해석을 수행하고, 층류 및 난류 모델의 예측 특성을 비교하였다. 또한 열전달 계수 변화와 등은 조건 해석을 통해 열-유동 효과가 베어링 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

해석 결과, 최소 유막 두께가 감소할수록 압력 구배와 전단 응력이 증가하여 축 하중 지지력과 동력 손실이 동시에 증가하는 경향을 보였다. 특히 0.02 mm 이하의 얇은 유막 영역에서는 하중과 동력 손실의 증가율이 급격히 확대되어 설계상 중요한 구간임을 확인하였다. 열적 효과를 고려한 경우 점성 발열로 인해 국부적인 고온 영역이 형성되었으며, 열전달 계수 변화에 따라 최대 온도와 축 하중이 크게 달라지는 것으로 나타났다. 이는 냉각 조건이 가스 추력 베어링의 성능 예측에 중요한 변수임을 의미한다.

층류 및 난류 모델 비교 결과, 의미 있는 하중이 발생하는 얇은 유막 조건에서는 유동이 층류 지배 영역에 해당하며, 완전 층류 조건에서 난류 모델은 하중을 과소 예측하는 경향을 보였다. 따라서 본 연구에서 적용된 베어링은 의미있는 축 하중을 발생시키는 유동상태가 층류이기 때문에 이러한 천이 난류 모델보다는 층류 모델을 고려하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

종합적으로, 가스 추력 베어링의 정적 성능은 유막 두께와 열전달 조건에 민감하며, 특히 얇은 유막 영역에서의 정확한 유동 모델 선택과 열적 경계조건 설정이 신뢰성 있는 성능 예측을 위해 필수적임을 확인하였다.

후 기

이 성과는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(RS-2024-00451800).

본 과제는 2026년도 교육부 및 경상북도의 재원으로 경북앵커센터의 지원을 받아 수행된 지역성장 인재양성체계(앵커)-(특화산업 Scale-up)의 결과입니다(2026-anchor-15-105).

본 연구는 국립금오공과대학교 슈퍼컴퓨팅센터 고성능컴퓨팅 자원의 지원을 통해 수행되었습니다.

Reference

- (1) Bin Hu, Anping Hou, Rui Deng, Rui Wang, Zhiyong Wu, Qifeng Ni, Zhong Li, 2023, "Numerical Investigation of Bump Foil Configurations Effect on Gas Foil Thrust Bearing Performance Based on a Thermos-Elastic-Hydrodynamic Model", Lubricants, Vol. 11, No. 10, p. 417.
- (2) Sung Ho Hwang, Syed Muntazir Mehdi, Tae Ho Kim, 2023, "Static Performance Measurements and Model Predictions of Gas Foil Thrust Bearing with Curved Incline Geometry", Lubricants, Vol. 11, No. 11, p. 480.
- (3) Tae Ho Kim, Tae Won Lee, Moon Sung Park, Jung Min Park, Jin Sung Kim, Jin Hee Jeong, 2015, "Experimental Study on the Load Carrying Performance and Driving Torque of Gas Foil Thrust Bearings", Tribology and Lubricants, Vol. 31, No. 4, pp. 141~147.
- (4) Chang Gook Moon, Tae ho Kim, 2016, "Analysis of Performance Characteristics of Gas Foil Bearing with Variations in Lubricant Viscosity", Proceedings of the KSTLE 2016 Fall Conference (Lubricants Symposium), pp. 75~76.
- (5) Sung Ho Hwang, Dae Yeon Kim, Tae Ho Kim, 2023, "Effects of Surface Roughness on the Performance of a Gas Foil Thrust Bearing", Tribology and Lubricants, Vol. 39, No. 2, pp. 81~85.