

타원 형상을 갖는 지로터 치형에 대한 내부 유동해석 CFD Analysis for Gerotor Pump with Ellipse Teeth Profile

*문현기¹, 정성윤², 김철², 한승무³, 조해용⁴

*H. K. Moon¹, S. J. Jung², C. Kim(chulki@pusan.ac.kr)², S. M. Han³, H. Y. Cho⁴

¹ 부산대학교 창의공학시스템협동과정, ² 부산대학교 기계기술연구원, ³ 경희대학교 동서의료공학과, ⁴ 충북대학교 기계공학부

Key words : Ellipse lobe, Gerotor, Cavitation, CFD

1. 서론

지로터 펌프는 펌프 하우징과 내부 로터와 외부 로터로 구성되어 있어 구조가 간단하고 최근 소결 제품의 제작기술 발달로 가공의 정밀도가 높아짐에 따라 형상이 복잡하더라도 가공이 용이하며 조립이 쉽고 두 로터 사이의 상대운동이 적으므로 장기간 사용하여도 효율의 변화가 적어 흡입 성능이 우수하다. 이러한 이점 때문에 자동차의 엔진 오일이나 연료 펌프로 널리 채택되어 사용되고 있다.

지로터 펌프의 유동은 상변화(캐비테이션)를 동반하는 물리적인 특성과 로터 회전시 연속적으로 챔버 형상이 변하고, 또한 수십 마이크로 단위의 틱 간극이 존재하는 등 기하학적 형상의 복잡성으로 인해 수치해석적으로 접근하기가 매우 까다로웠다. 최근에는 지로터의 회전하는 유체 영역뿐만 아니라 그것과 하우징 포켓의 유체영역이 공유하는 격자면이 회전에 따라 변하기 때문에 격자 처리가 어려웠던 점이 해결되어 3D 시뮬레이션이 가능하고, 캐비테이션 현상을 적절하게 모사하는 모델링은 상용 코드인 CFD-ACE+의 모듈로 Full Cavitation Model 이 발표되기에 이르렀다.⁽¹⁾

본 연구에서는 앞선 연구에서 만들어진 타원 형상을 갖는 지로터의 치형을 대상으로 최근에 개발된 Full Cavitation Model 이 적용된 수치해석방법을 이용하여 캐비테이션을 포함하는 3 차원 비정상상태 유동해석을 수행하고 그 결과를 실험 결과와 비교하였다.

적용하였다. 사용된 캐비테이션모델은 bubble dynamics, turbulent fluctuation, 유체 내부 non-condensable gas 의 영향이 모델링 된 것이다. 발생된 증기의 수송방정식(6)은 N-S 방정식과 couple 되어 계산되며, 증기의 생성시간과 시간평균된 상변화율을 계산하기 위해 Rayleigh-Plesset 식을 사용하였다.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{f_v}{\rho_v} + \frac{f_g}{\rho_g} + \frac{1-f_v-f_g}{\rho_l} \quad (1)$$

$$\rho_g = \frac{WP}{RT} \quad (2)$$

$$\alpha_v = f \frac{\rho}{\rho_v} \quad (3) \quad \alpha_g = f_g \frac{\rho}{\rho_g} \quad (4) \quad \alpha_l = 1 - \alpha_v - \alpha_g \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho f) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} f) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla f) + R_e - R_c \quad (6)$$

$$R_e = C_e \frac{\sqrt{k}}{\sigma} \rho_l \rho_v \left[\frac{2 P_v - P}{3 \rho_l} \right]^{1/2} (1 - f_v - f_g) \quad (7)$$

$$R_c = C_c \frac{\sqrt{k}}{\sigma} \rho_l \rho_v \left[\frac{2 P - P_v}{3 \rho_l} \right]^{1/2} f_v \quad (8)$$

여기서, \vec{V} 는 유속벡터, $C_e (=0.02)$, $C_c (=0.01)$ 는 상변화 계수, f 는 증기의 유체 중 질량비(= $f_v + f_g$)를 나타낸다. 계산시 증기압(P_v), 표면장력(σ), 유체내의 비응축가스 농도(f_g)와 증기 밀도(ρ_v)는 미지수로서 미리 정해 주어야 한다. 이 때 작동유체내의 잔류가스 농도는 사전에 파악하기 힘든 물성치로 계산에는 일정량으로 가정하여 적용하였다.

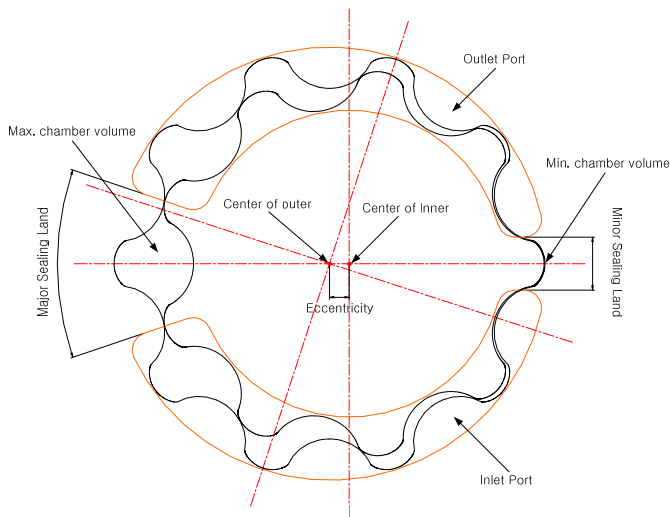


Fig. 1 Gerotor teeth profile and port arrangement

2. 유한 요소 해석

2.1 해석방법

본 연구에서는 상용 유동해석 코드인 CFD-ACE+를 이용하여 지로터 펌프의 내부의 유동장 및 압력장을 계산하였다. 이때 난류모델은 standard k-ε 난류모델을 이용하였고, 저압 영역의 상변화를 계산하기 위하여 캐비테이션 모델을

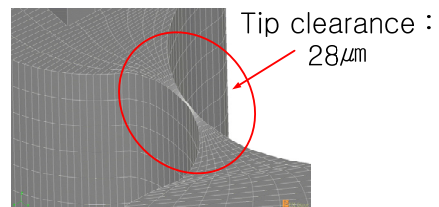
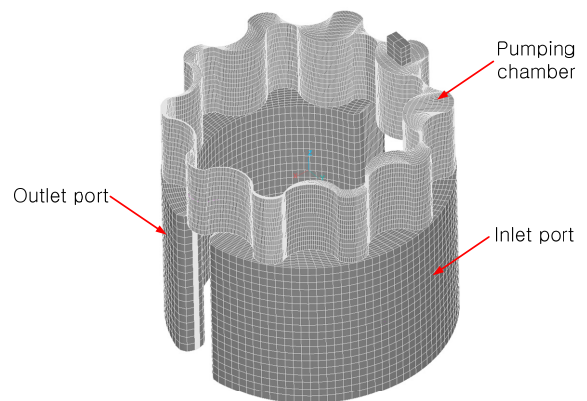


Fig. 2 Configuration of the system

2.2 해석 격자

본 연구의 해석시 고려된 격자 모델을 Fig. 2에 나타내었다. 전체의 셀수는 약 11만개이며 Fig. 2에서 보는 바와 같이 육면체 격자로 생성하였다. 펌핑 챔버의 격자는 시계 방향으로 회전하며, 회전과 동시에 격자는 **deforming** 된다. 로터의 틈 간극은 실제 제작되는 로터의 틈 간극과 같은 28 μm 로 모델링하였다. 치형 형상에 따른 지로터 펌프의 성능을 평가하기 위해 모델링 형상은 최대한 단순화하기 위해 입출구 포트 단면 형상을 일정한 유동길이를 하여 입출구 유동통로의 형상으로 하였다. 입출구 포트 끝단의 경계는 고정된 압력경계조건이 선택될 수 있는 출구 경계 조건을 부여하였다. 지로터 회전시 지로터의 펌핑 챔버의 면과 하우징 포켓상의 셀 면이 불규칙하게 접하게 되는 공유면은 임의의 공유 경계조건이 사용되었다. 로터 회전은 1.6도씩 225시간 스텝으로 1회전이 이루어지도록 하였고, 입구와 토출 포트 끝단의 압력차가 3bar일 때 회전속도가 4000rpm인 경우에 대하여 계산을 수행하였다. 이때 1회전이 이루어지는 시간은 0.015초이다.

3. 해석 결과 및 고찰

Fig. 3은 로터 회전에 따른 토출 포트 단면상의 특정 위치에서의 시간에 따른 순간 압력변화를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 지로터의 구동 로터인 내부 로터가 3회전 후의 압력변화는 주기성을 띄는 것을 볼 수 있다. 따라서 내부로터 3회전 이후 수렴하였다고 판정하고 계산 결과값을 추출하였다.

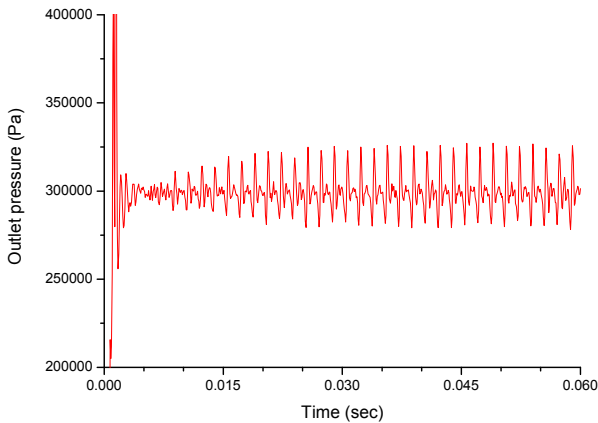


Fig. 3 Outlet pressure ripple at 4000rpm, $\Delta p=3\text{bar}$

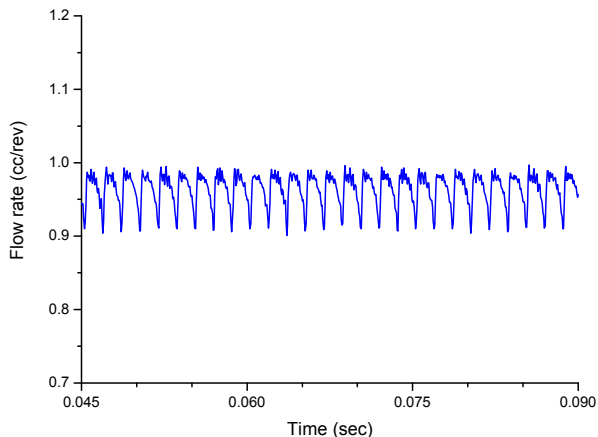


Fig. 4 Time history of instantaneous flow rate at 4000rpm, $\Delta p=3\text{bar}$

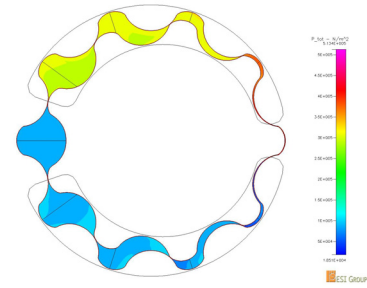


Fig. 5 Pressure distribution on the Gerotor fluid zone.

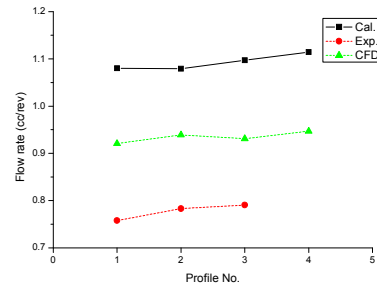


Fig. 6 Comparison of results according to the teeth profile

Fig. 5는 지로터의 펌핑 챔버의 단면 위에서의 압력분포를 나타낸 것이다. 최소 압력은 흡입이 시작되는 부분에서 확인할 수 있으며 최대 압력은 토출이 거의 끝나는 부분에서 확인할 수 있다. Fig. 6은 앞선 연구에서 개발된 4가지 형태의 타원 치형을 실험을 통한 측정값과 이론계산값, CFD 계산결과를 비교하였다. 측정값과 CFD 계산결과에 따른 유량은 대략 14% 정도로 예상보다 다소 큰 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이는 하우징 측면 누설과 틈 간극에 대한 누설이 충분히 고려되지 않았고 캐비테이션에 대한 해석이 충분이 이루어지지 않아 예상보다 값이 큰 차이가 나는 것으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 타원 형상을 갖는 지로터 치형에 대한 내부 유동해석을 수행하고 유동해석 결과 실험을 통한 측정값과 CFD 계산 결과의 차이가 다소 있었으나 그 경향성은 확인할 수 있었다. 향후 다양한 치형에 대한 유동해석을 수행할 예정이며, 좀더 정확한 계산결과를 얻기 위해 실제에 가까운 형상으로 모델링을 하여 최적의 포트 설계를 위한 유동해석을 병행할 예정이다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업의 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. Santosh, k., Nick, M., and Richard, T., "Numerical Simulation of Cover Plate Deflection in the Gerotor Pump," SAE-05-AE-185, 2005
2. 양승용, 차성중, "제로터 오일 펌프의 공동 유동 시뮬레이션," 한국자동차공학회 추계학술대회논문집 Vol. 1, pp. 599-604, 2005.
3. 남경우, 조석현, 박재인, "엔진 유탄용 제로터 오일펌프 유동해석," 대한기계학회논문집 B 권, 제 30 권, 제 10 호, pp. 1019-1025, 2006.
4. 김재훈, 김철, "지로터 오일 펌프용 통합적 설계 자동화 시스템 개발," 한국정밀공학회지 제 23 권, 제 2 호, pp. 88-96, 2006.