

회전용적형 기어펌프의 유체-구조연동 전산해석

이 중 호,¹ 김 태 구,² 이 상 옥^{*3}

FLUID-STRUCTURE INTERACTION ANALYSIS OF EXTERNAL GEAR PUMP

J.H. Lee,¹ T.G. Kim² and S.W. Lee^{*3}

A hydraulic gear pump is widely used in many industrial applications to provide both high pressure and high flow rate by physical displacement of finite volume of fluid with each revolution. In this study, two dimensional fluid-structure interaction simulation of gear pump flow was carried out to examine detailed complex flow patterns and structural stress distribution on rotors by using a commercial software ADINA. The effect of rotor clearance size on the flow characteristics, specially the temporal variation of velocity and pressure field, which is a main source of flow noise, also was investigated.

Key Words : 회전용적형 기어펌프(Hydraulic gear pump), 전산유체역학(CFD), 유체-구조 연성해석(Fluid-Structure Interaction), 압력 맥동(pressure fluctuation), 간격(Clearance)

1. 서 론

회전용적형 펌프는 간단한 구조로 공간 활용이 다양하고 경량 및 소형의 특성과 유량 제어의 용이함으로 인하여 여러 유압펌프에 널리 적용된다. 또한 로터와 케이싱의 배제유적을 넓혀 고유량을 얻을 수 있는 장점이 있다.

그러나 흡입부에서 유체를 흡입하여 토출부로 유체가 이동하면서 유로 형상과 로터와 케이싱 사이의 미소간극에서 발생하는 누설유동에 의한 압력저하로 인하여 흔히 펌프 효율 저하가 발생한다. 또한 출구부의 주기적인 비정상 유동으로부터 유기되는 높은 변동 압력은 펌프소음 및 진동의 원인이 된다. Manring et al.[1]은 맥동유동 특성과 로터 기어치 개수 변화의 상호관계에 대한 이론적인 분석을 통하여 최적의 로터 설계형상을 도출하고자 하였다. 그러나 보다 상세한 펌프 내부 맥동유동 특성 및 비정상 맥동압력 발생 원인에 대한 이해를 위해서는 신뢰성 높은 전산유동해석을 통한 펌프내부

점성유동장의 상세해석 및 성능 분석이 매우 중요하다. 회전용적형 기어 펌프 및 각종 펌프의 성능 평가 방법으로는 크게 실험적 방법과 CFD(Computational fluid dynamics) 방법으로 분류 된다. 그러나 실험적 방법은 공간 및 비용적인 측면에서 많은 제약이 따르기 때문에 현재는 CFD 방법으로 대부분 펌프 성능 및 평가를 하고 있다.

펌프에 대한 전산유동해석 연구로는 내부로터의 편심회전에 의한 내적공간의 증감을 이용하여 작동되는 내접식(internal) 회전용적형 펌프인 제로터 펌프에 대한 연구가 수행되었으며[2-3], 특히 Kim et al.[4]은 본 연구에서 적용된 펌프 모델과 같은 외접식(external) 회전용적형 기어펌프의 내부 유

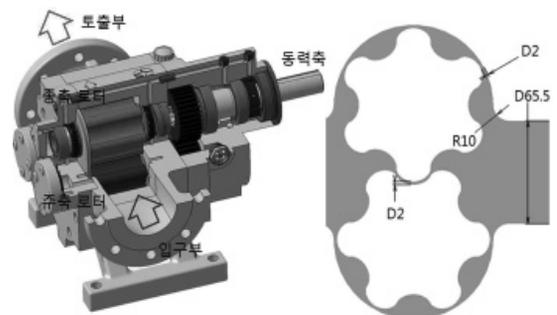


Fig. 1 Configuration of gear pump model

1 정희원, 울산대학교 일반대학원

2 준희원, 진명21(주)

3 정희원, 울산대학교 기계자동차공학부 교수

* TEL : 052) 259-2765

* Corresponding author, E-mail: leesw@ulsan.ac.kr

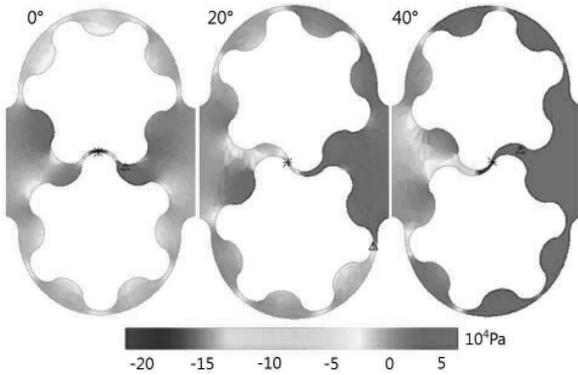


Fig. 2 Pressure distribution with 20 deg. angular interval

동장 및 압력 변화에 대한 수치해석을 수행하였다. 또한, 용적형 수차의 내부 유동장 및 압력맥동 분석을 위한 CFD 해석이 수행되었다.[5] 그러나 로터의 회전으로 인한 내부유동장의 주기적인 비정상성과 함께, 로터와 케이싱 그리고 주축로터와 종축로터사이의 매우 좁은 간극에서의 수치격자 재생성의 복잡성 때문에 수치해석상의 어려움을 가지고 있다.

2. 해석모델 및 수치해석 방법

수치해석에 적용된 회전용적형 기어펌프 모델은 Fig. 1에 보인 바와 같이 펌프 케이싱 내에 위치한 6개의 동일한 수의 기어치를 가진 한 쌍의 주축로터와 종축로터로 구성되며 종축로터와 주축로터는 서로 반대방향으로 회전하면서 배제용적의 변화를 생성시키며 작동하게 된다. 이 때 로터 기어의 외경은 84mm, 내경은 60mm이고, 로터 설계회전수는 분당 1800회이다. 또한 로터와 케이싱 사이 및 주축로터와 종축로터 사이에는 2mm의 일정한 간극을 두었다. 회전용적형 기어펌프의 경량화를 목적으로 로터 및 케이싱의 재료로 Nylon 6/6 소재를 사용하였으며, Nylon 6/6의 영률(Young's modulus)는 $E=1.59 \times 10^7 \text{kPa}$ 이고, 밀도(Density)는 $\rho=1.56 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 이다. 이 때 본 연구에 적용된 로터의 설계 배제용적으로부터 계산된 이론적인 시간당 토출유량은 84.6kg/s이며, 펌프 흡입부와 토출부 유로의 폭 크기는 동일하게 65.5mm를 적용하였다. 로터회전에 따른 유동장 및 압력의 변화와 로터에 작용하는 구조적 응력의 상호작용 해석을 위하여 상용 프로그램인 ADINA 8.6.1을 이용하여 유체-구조 연동해석을 수행하였다. 초기 모델링 및 격자 생성은 ADINA-M과 ICEM-CFD를 이용하여 생성한 뒤, 주축로터와 종축로터의 회전에 의해 연속적으로 변화하는 계산영역의 변형을 고려하기 위하여 매 계산 시간 단계에서 로터 근처영역의 격자가 자동적으로 재생성하도록 하였다. 이 때 재생성 되는 격자수와 격자 Quality가

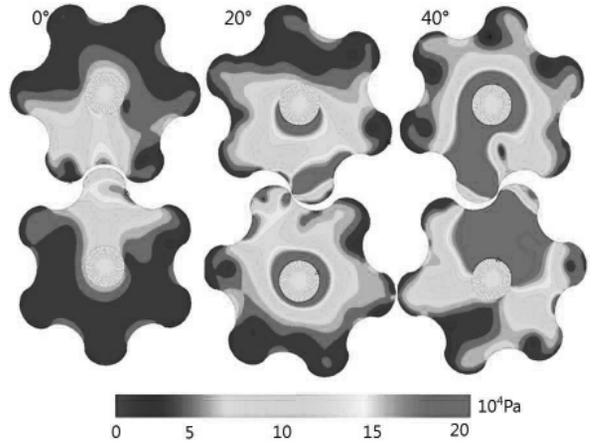


Fig. 3 Von-misses stress at different rotational angles

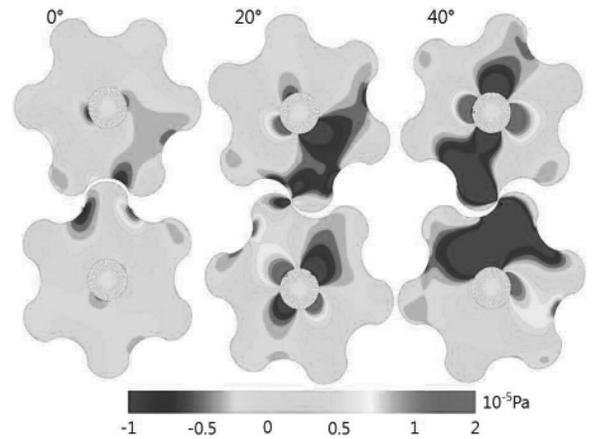


Fig. 4 Strain distribution at different rotational angles

초기상태와 유사한 값을 유지하도록 격자생성 파라미터를 조절 하였다. 압력은 입구부분 및 출구부분을 각각 대기압조건과 $p=1.0 \times 10^6 \text{Pa}$ 으로 적용하였으며, 난류 모델로는 표준 k-e 모델을 사용하였다. 사용한 격자는 유동장 변화가 심한 로터 주위에 격자를 밀집시키는 기법의 적용과 함께 약 14000개의 삼각형 비정렬 격자시스템을 생성하였다.

3. 해석 결과 및 고찰

로터회전수가 1800RPM인 경우, 로터가 초기 위치로부터 각각 0도, 20도 및 40도의 회전 각도를 가질 때 로터 주위에서의 압력 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 이 때 회전 각도인 0도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 주축 로터와 종축 로터가 서로 수치축 직선상에서 정렬하였을 때로 정의하였으며, 로터가



60도 회전하였을 때 다시 초기 각도인 0도의 상대적 로터 위치와 동일하게 된다. Fig. 2의 압력분포 결과에 대응하는 회전 각도에서 로터에 작용하는 Von Mises Stress 분포와 Strain을 각각 Fig. 3와 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 2에 보인 바와 같이 로터와 로터 및 로터와 케이싱 사이의 간극에서 상대적으로 낮은 압력이 발생함을 알 수 있으며, 특히 회전각도 40도의 경우 로터 사이의 배체부가 닫히기 시작하면서 상대적으로 매우 높은 압력이 토출부 영역에, 그리고 매우 낮은 압력이 흡입부 영역에 동시에 발생함을 알 수 있다. 이로 인하여 회전각도 40도에서 유체의 흡입량과 토출량이 상대적으로 높아지게 된다. 이렇듯 토출부와 흡입부의 높은 압력차이에 의해 발생하는 부하로 인하여 주축로터와 종축로터사이의 간극에서 높은 속도의 누설 유동과 함께 로터에 응력집중이 발생함을 알 수 있다. 또한 토출부의 유속은 로터의 회전에 따른 배체용적의 연속적인 변형과 함께 상하 방향으로 주기적인 변동이 생기며, 이로 인한 구조적 응력변동으로 인해 로터 진동이 발생하게 된다. 이러한 로터의 구조응력 최대값은 간극의 증가에 따라 현저히 작아지는 경향을 보였으나, 간극사이의 누설유동으로 인하여 토출량이 줄어들어 펌프효율 저하가 발생하였다.

해석 결과, 로터에 작용하는 최대응력이 약 0.58 MPa 인 것으로 계산되었으며, 이는 Nylon 6/6 의 항복응력 (Yield stress)인 45MPa 보다 훨씬 낮은 값으로 나타났다. 그러나 실제 기어펌프 설계시 토출량 증가와 고압 생성을 위하여 간극을 매우 작게 설계하게 되며 이로 인하여 유체압력 변동폭이 상대적으로 커지게 된다. 그러므로 이러한 간극감소에 따른 외부하중 증가로 로터에 작용하는 구조적 응력도 크게 증가하리라 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 2차원 기어펌프의 유동장에 대한 수치해석을 수행하였으며, 동시에 이러한 복잡한 유동장에 의해 로터에 유기되는 구조적 하중을 계산하였다. 보다 정확한 펌프 유동장 및 구조응력 분포를 위하여 실제 미세간극을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

후 기

본 논문은 울산대학교 자유 과제 학술연구비(2009년) 지원에 의하여 수행하였습니다.

참고문헌

- [1] 2003, Manring, N.D., and Kasaragadda, S.B., "The theoretical flow ripple of an external gear pump," *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol.125, pp.396-404.
- [2] 2006, 남경우, 조석현, 박재인, "엔진유허용 제로터 오일 펌프 유동해석," *대한기계학회*, pp. 1019-1025.
- [3] 2003, 원찬식, 허남건, 권성호, "자동차용 제로터형 오일 펌프의 유동 해석," *유체기계저널*, 제6권, 제4호, pp.7-13.
- [4] 2007, Kim, H. and Marie, H., "Two-dimensional CFD analysis of a hydraulic gear pump," *Proceedings of the 2007 ASEE Annual Conference*, Honolulu, Hawaii, June.
- [5] 2007, 최영도, 김유택, 이영호, "CFD에 의한 용적형수차의 압력맥동 및 내부유동 해석," *한국마린엔지니어링학회지*, 제31권, 제6호, pp.687-693.