

제로터 펌프의 유동 해석

Flow Analysis of Gerotor Pump

*김명식¹, #정원지(wjchung@changwon.ac.kr)², 권구홍³, 안희춘⁴, 김형천⁵
 *M. S. Kim¹, #W. J. Chung(wjchung@changwon.ac.kr)², K. H. Kwon³, H. C. Ahn⁴, H. C. Kim⁵
¹²³ 창원대학교 기계설계공학과, ⁴⁵(주)영동테크

Key words : Trochoid, Gear Pump, Gerotor Pump, Oil Pump

1. 서론

현대 사회의 자동차 산업에서 가장 핵심적인 기술이 엔진 관련 기술이다. 엔진 내에는 금속 접촉에 의한 상대운동이 다수이며 이로 인해 발생된 마찰에너지가 열로 변화하여 고온이 되어 여러 손상을 일으킬수 있다. 이를 방지하기 위해 금속간 상대운동을 하는 부품사이에 윤활을 하여 마찰열을 줄일 수 있다. 이를 위한 윤활 공급 장치는 필수적이며 현재 제로터(Gerotor) 펌프가 가장 널리 사용되고 있다. 제로터 펌프는 구조가 간단하고 같은 크기의 다른 펌프에 비해 1회전당 토출유량이 많고 소형화에 유리하며, 외부로터(Outer rotor)와 내부로터(inner rotor) 사이의 상대적 운동이 작기 때문에 장시간 사용에도 효율 변화가 적어 자동차의 엔진과 자동변속기에 매우 적합하다.¹

제로터 펌프는 외부로터와 내부로터의 구성으로 회전축이 편심되어 미끄럼 접촉하며 치의 개수차이 만큼의 회전 속도의 차이를 보이며 회전한다. 회전과 동시에 로터간의 접촉으로 발생하는 공간이 회전하며 체적의 증감을 유발하고 이 체적의 증감에 따라 입구측에서는 유체를 흡입하여 출구측으로 유체를 토출한다. 또 흡입부와 토출부의 챔버형상은 연결되어 있지 않아 역류를 방지한다.

제로터 펌프에서 효율을 감소시키는 원인으로는 가공상의 오차, 작동 조건이 있으나, 유동상의 문제로는 로터가 회전하면서 발생하는 압력강하로 인한 로터사이에 발생하는 캐비테이션(Cavitation), 이로인해 발생하는 맥동, 간극에서 발생하는 누설(Leakage)이 가장 큰 요인이다. 맥동은 소음과 진동을 일으켜 펌프의 성능, 내구성을 감소시키고, 누설은 토출량의 20~30%의 효율을 감소시킨다. 이와 같은 문제를 수치해석을 통하여 감소시키고 최적화 시키기 위한 연구들이 많이 진행되어 왔다.²

본 연구에서는 자동차 엔진이나 자동변속기에 사용되는 오일 펌프를 대상으로 수치해석방법을 적용하여 유속에 대한 누설, 캐비테이션, 토출량 관계를 예측하고자 한다.

2. 해석 조건 및 방법

본 연구는 상용 유동해석 프로그램(CFX-pre)을 이용하여 유동장에서의 속도분포를 해석하였으며 입출구의 릴리프 밸브나 챔버의 형상을 적용하지 않아 동일한 형상의 입출구를 모델링하여 적용시켰다. 작동유는 오일펌프에 실제 사용되는 5W-30을 사용하였다. 적용된 모델 및 물성치는 Table 1과 같으며 난류모델로는 standard k-e을 이용하였다.

Table 1 Analysis condition data

	Data		Unit
Angular velocity	1000/2000/3000/4000		rev/min
5W-30 material	Density	859	kg/m ³
	Viscosity	0.0089232	kg/m-s
temperature of fluid	100		°C

Fig.1은 본 연구의 수치해석에 적용된 제로터 펌프의 모델로서 내부로터는 6개, 외부로터는 1개 많은 7개의 치를 가지고 있어 제로터 펌프의 특징인 식(1)과 같은 상대적인 각속도를

갖는다.²

$$\frac{w_{outer\ rotor}}{w_{inner\ rotor}} = \frac{N-1}{N} \quad (1)$$

제로터 펌프에서의 챔버 면적은 연속적으로 변화하며 N개의 로터로 이루어진 펌프에서 최대/최소 단면적은 내부로터가 1회전할 때 N-1번 반복된다. 또 외부로터 치에 상관없이 $\theta_3 = \pi$ 일 때 최대 단면적과 최소 단면적이 나타난다. 따라서 제로터 펌프의 토출량을 계산하기 위해서는 배제체적 식(2)를 고려한다.

$$V_{th} = \Delta A \times H \times (N-1) \quad (2)$$

ΔA 는 Fig.1의 $\theta_3 = \pi$ 일때의 최대단면적과 최소단면적의 차이이며 H 는 로터의 두께이다. N 은 외부로터 치의 개수이다. 그러므로 펌프의 체적효율(η_v)을 고려한 제로터 펌프의 유량(flow rate)는 식(3)과 같다.

$$q = V_{th} \times rpm \times \eta_v \quad (3)$$

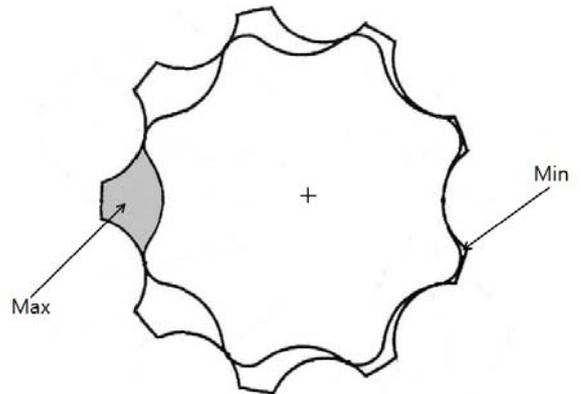


Fig.1 Schematic of area

3. 유동장 격자 생성

유동장의 격자는 CFX-Mesh를 이용하여 수치해석이 적용된 격자를 생성하였다. Number of Nodes는 약 16만개, Number of elements는 약 28만개이다. 내부로터와 외부로터가 만나는 부분에서의 유동장 격자는 표현이 불가능하여 누설을 최소로 하는 간극을 강제적으로 부여하였다.

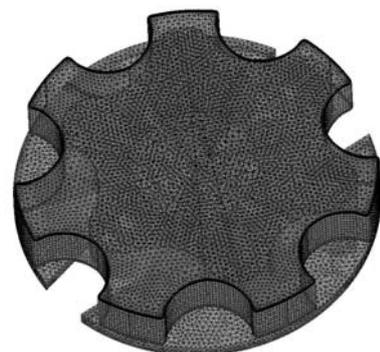


Fig.2 Mesh of involved model

4. 해석결과

결과를 보면 Fig.3는 내부로터를 105° 회전하였을때 내부로터와 외부로터 사이의 유동장내 유속벡터 분포와 간극사이의 유속벡터를 나타내고 있다. 장내 유속벡터를 보면 대부분의 유동의 유속은 로터의 회전방향과 일치하지만 체적이 커지는 곳의 간극사이에서 누설로 인한 유속벡터가 로터와의 반대방향으로 매우 빠른속도로 유동되었다.

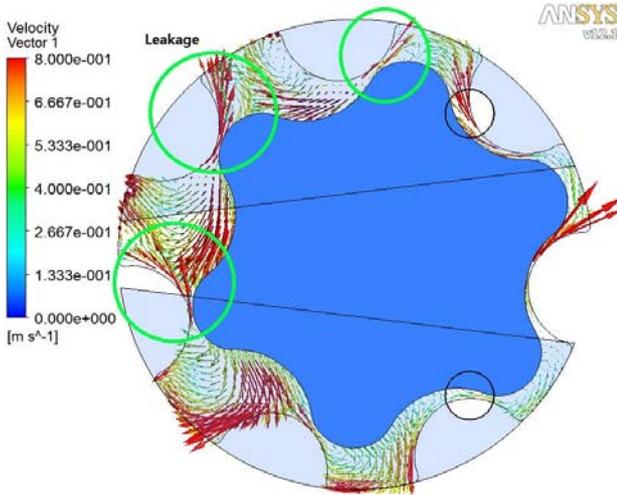
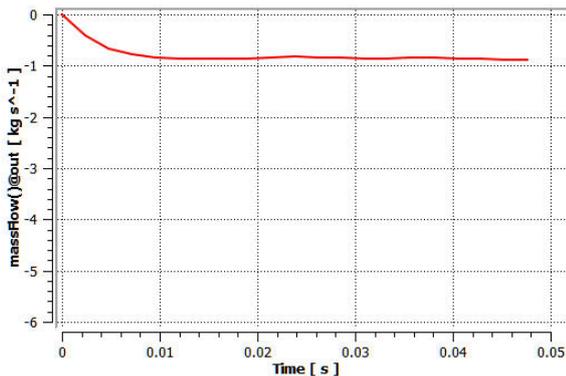
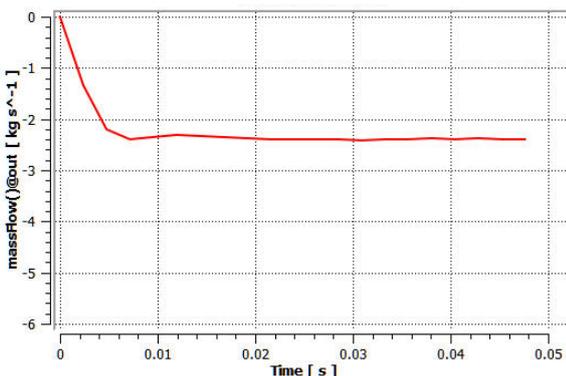


Fig.3 Velocity vector of rotating fluid

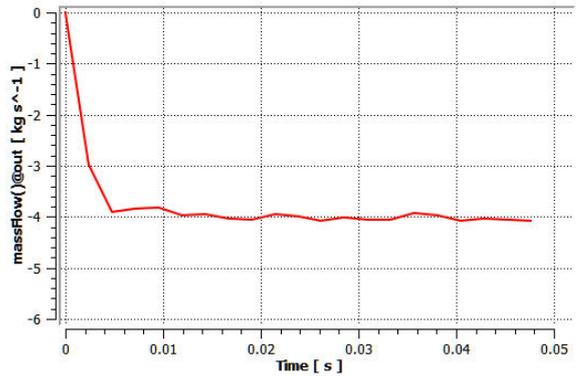
로터의 회전속도가 증가 할수록 난류에 의한 속도변동이 증가한다. 속도분포와 압력분포는 비슷한 경향을 보이므로 압력 변동도 증가한다. 이 압력 변동은 유속이 빠른 곳에서는 압력이 저하되어 기포가 발생함으로써 캐비테이션이 일어날 가능성이 많다. Fig.4 (a)~(d)는 내부로터 회전속도를 달리하여 시간에 따른 출구의 유량을 나타내었다. 흡수 값은 유동이 도메인에서 외부방향 나가는 것을 의미하며 내부로터의 회전속도가 빨라짐에 따라 토출량도 증가한다.



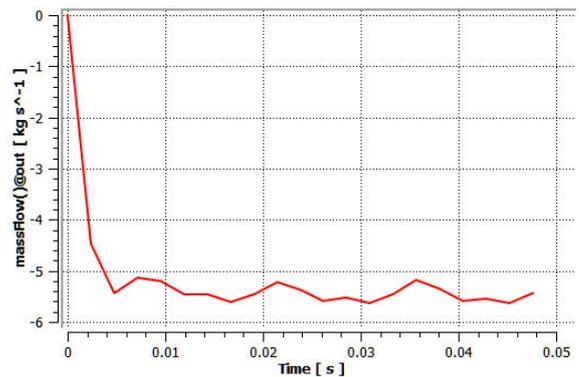
(a) 1000rev/min Angular velocity



(b)2000rev/min Angular velocity



(c) 3000rev/min Angular velocity



(d) 4000rev/min angular velocity

Fig.4 Mass Flow Rate at the outlet over Time

토출량은 증가하였으나 (a)1000rev/min의 회전속도에서의 토출 유량이 안정적으로 균일하게 나오는 반면 (b), (c), (d)로 갈수록 회전속도가 높아짐에 따라 토출량이 균일하지 않다. 이는 유속의 증가에 따른 캐비테이션 발생으로 인하여 체적효율이 나빠지면서 발생하는 손실이 토출유량에 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다.

5. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 제로터 펌프의 로터부분만을 고려하여 로터의 속도와 유체의 속도의 관계에서 누설을 파악하고 유량을 확인하고자 하였다. 해석 결과 유량 특성을 파악할 수 있었다. 향후 입출구의 형상까지 고려하여 펌프의 압력변화와 로터의 속도에 따른 Cavitation과 누설의 특성을 파악하여 진동과 소음의 원인이 되는 맥동을 줄일 수 있는 방안을 모색할 계획이다. 또 제로터 펌프의 유동 특성을 이용하여 입출구 형상에 대한 최적설계를 통하여 맥동 감소를 수행할 계획이다.

후기

본 연구는 “연비 및 운전 편의성 향상을 위한 고마력용 Multi-Step Transmission 개발” 과제수행 연구에 의한 것입니다.

참고문헌

1. 김중찬, 김무성, 신중호, 권순만 "트로코이드 펌프의 치형 설계에 관한 연구" 한국정밀공학회지, pp.267-268, 2006.
2. Sok-Hyun Jo, Jae-In Park, Kyung-Woo Nam "Numerical Simulation in the IC Engine Lubricating Gerotor Oil Pump" The Korean Society of Mechanical Engineers, pp.1019-1025, 2006
3. 원찬식, 허남건, 권성호 "자동차용 Gerotor형 오일 펌프의 유동 해석" 대한기계학회, pp.573-576, 2002