

자동차용 Gerotor형 오일 펌프의 유동 해석

원찬식*·허남건**·권성호***

Flow Analysis of Automotive Oil Pump of Gerotor Type

Chan-Shik Won*, N. Hur** and Sung Ho Kwon***

Key Words : Gerotor(제로터), Oil Pump(오일펌프), Node Expansion and Contraction Method(격자점신축방법), Arbitrary Sliding Interfaces(임의이동경계면)

Abstract

A flow characteristics of automotive oil pump of gerotor type has been investigated numerically. For the simulation of gerotor that have different rotating velocity at inner rotor and outer rotor, node expansion and contraction method was adopted. ASI (Arbitrary Sliding Interfaces) method was also applied at interface between rotating gerotor and stationary volute. The present results showed good agreement with the experimental data.

1. 서론

자동차 동력기관중 가장 핵심적인 장치인 엔진은 운전시 온도가 폭발행정의 순간적 최고 값으로 약 2000℃까지 올라가며 평균적으로 약 800℃ 정도를 유지한다. 따라서 실린더의 벽과 피스톤의 접동면, 크랭크축 베어링, 캠축 베어링 등에는 끊임없이 윤활유를 공급하는 것이 매우 중요하다. 이러한 연속적인 윤활유의 공급을 위하여 다양한 오일펌프가 사용되고 있다. 오일펌프는 자동차 엔진 윤활을 위해 크랭크축의 회전에 의해서 오일 팬에 있는 오일을 빨아 올려 엔진의 각 운동 부분에 오일을 압송한다. 이 중 Gerotor형 오일 펌프는 간단한 형상과 설치 공간의 효율성 및 정량적인 유량 제어의 용이함 등의 이유로 널리 사용되고 있다.

Gerotor형 오일 펌프는 Fig. 1과 같이 inner 로터와 outer 로터 두 개의 요소로 구성되어 있다. 그 중 inner 로터는 항상 outer 로터보다 한 개 적은 치(齒, tooth)를 가지고 있으며, inner 로터와 outer 로터의 배열은 편심 되어 위치하며 치의 차이만큼 회전 속도의 차이를 가지고 회전하게 된다. 회전과 동시에 볼류트 입구와 접한 로터의 체적은 점차적으로 증가하게 되고 증가된 부피에 의해 압력이 떨어져서 오일이 유입된다. 이 오일은 차폐된 상태로 볼류트 출구 부분으로 이송되어 로터의 체적이 줄어들어 흡입과 함께 엔진 각 부분으로 압송되게 된다. 로터의 회전과 오일의 유, 출입시 로터에서는 오일의 누유 및 회전 방향과 반대의 역류 현상 등 다양한 유동 현상이 존재하며 이러한 현상들은 오일 펌프의 효율과 직결된다. 그러므로 이러한 Gerotor형 오일 펌프의 유동 특성을 명확히 파악하는 것은 무엇보다도 중요하다하지만 아직까지 이에 대한 유동 해석은 많이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이는 Gerotor의 inner 로터와 outer 로터의

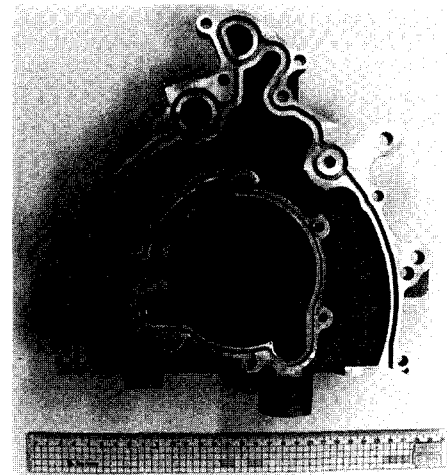


Fig. 1 Gerotor oil pump (HAC corporation product)

회전 속도가 다르기 때문에 로터 사이 유체영역의 해석 격자 처리가 어렵고 또한 Gerotor와 볼류트가 접하는 단면의 형상이 회전에 따라 변하기 때문에 이에 대한 적절한 모사 방법이 필요하기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 수치해석 상의 문제점들을 고려하여 Gerotor형 오일 펌프내의 유동해석을 수행하였다.

2. 수치 해석 방법

2.1 해석 대상

해석 격자

Gerotor형 오일 펌프는 Fig.1에 나타난 실제 제품을 이용하여 Fig. 2와 같이 계산 격자를 생성하였다. 로터 치의 개수는 inner 로터는 9개, outer 로터는 10개이며 시계 반대방향으로 회전하게 된다. 따라서 그림에서 회전에 따라 부피가 증가하는 아래쪽이 입구가 되며 로터의 부피가 줄어드는 윗부분이 출구가 된다.

* 서강대학교 기계공학과 대학원, ace@sogang.ac.kr

** 서강대학교 기계공학과, nhur@ccs.sogang.ac.kr

*** (주)HAC 기술연구소, shkwon@hacc.co.kr

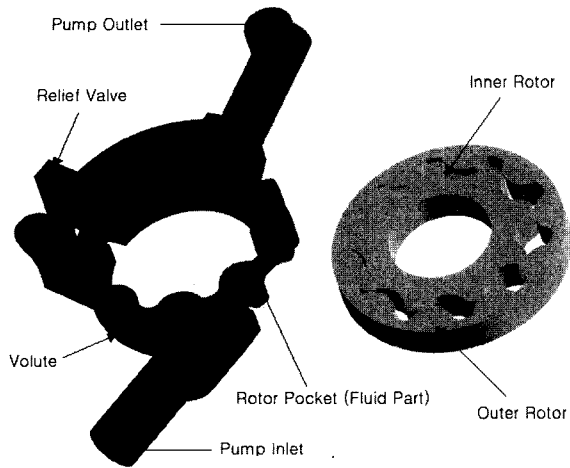


Fig. 2 Computational Mesh of gerotor oil pump

계산 격자는 볼류트와 편심된 로터를 고려하여 해석 대상 전체에 대하여 유체 셀 약 38,000개, 고체 셀 약 5,800개, 그리고 로터의 움직임을 모사하기 위한 셀 셀 8,600개 등 총 52,400개를 사용하였다.

경계 조건

Gerotor형 오일 펌프 내부 유동 해석을 위하여 Fig. 3과 같은 경계조건을 적용하였다. 계산 격자에서 펌프의 입, 출구 부분에는 압력 경계 조건을 주었으며, 그리고 회전하는 Gerotor와 정지해 있는 볼류트의 접합 면에는 Attach 경계 조건을 적용하였다. 그리고 Gerotor의 inner 로터와 outer 로터 벽면에는 각각의 회전 속도를 갖는 벽 경계 조건을 적용하여 계산을 수행하였다.

해석 내용

본 연구에서는 상용 프로그램인 STAR-CD^[1]를 사용하여 비정상 압축성 난류 유동을 해석하였다. 지배방정식은 기본적인 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식을 사용하였고, 난류 모델은 k-ε 모델, 해석 알고리즘은 PISO 법을 적용하였다. 계산은 본 연구실에서 보유하고 있는 Linux Cluster를 사용하였으며, CPU 1개 사용시 1 time step 당 25초의 시간이 소요되었다. 그리고 회전에 의해 유동이 완전히 발달할 때까지 계산을 수행하여 총 27~28 시간의 계산시간이 소요되었다. 아울러 Gerotor 형 오일 펌

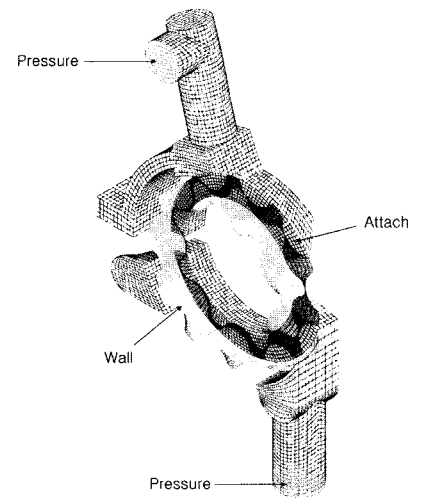


Fig. 3 Boundary conditions of gerotor oil pump

프 유동 해석의 타당성을 검증하기 위하여 출구의 압력에 따른 유량 변화와 Gerotor 회전 속도에 따른 유량 변화를 계산하였으며 이를 기존 실험 결과와 비교하였다.

2.2 해석 방법

격자점 신축 방법

실제적으로 Gerotor형 오일 펌프는 로터의 움직임과 inner 로터와 outer 로터 사이의 유체 셀의 움직임을 적절하게 모사할 수 있어야 유동해석을 수행할 수 있다. 이는 앞에서도 언급했듯이 inner 로터와 outer 로터의 회전 속도가 다르기 때문에 기존의 회전하는 유체기계의 이동격자 방법을 쓰는 경우 로터사이의 유체 셀이 꼬이게 되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 격자점 신축 방법을 사용하여 Gerotor의 움직임을 모사하였다. 격자점 신축 방법은 Fig. 4와 같이 유체 셀을 실제적으로 회전시키는 것이 아니라 회전시 로터의 위치에 따라 격자점을 반경방향으로 줄이거나 늘여서 계산 격자를 변경하고 이를 통해 Gerotor의 움직임을 모사한다.

입의 이동 경계면

Gerotor는 회전에 따라 그 체적이 계속 변하므로 볼류트와 접하는 면의 형상 또한 변하게 된다. 따라서 수치해석시 접합면이 수시로 변하는 이 부분에 특별한 처리를 해주어야 한다. 그래

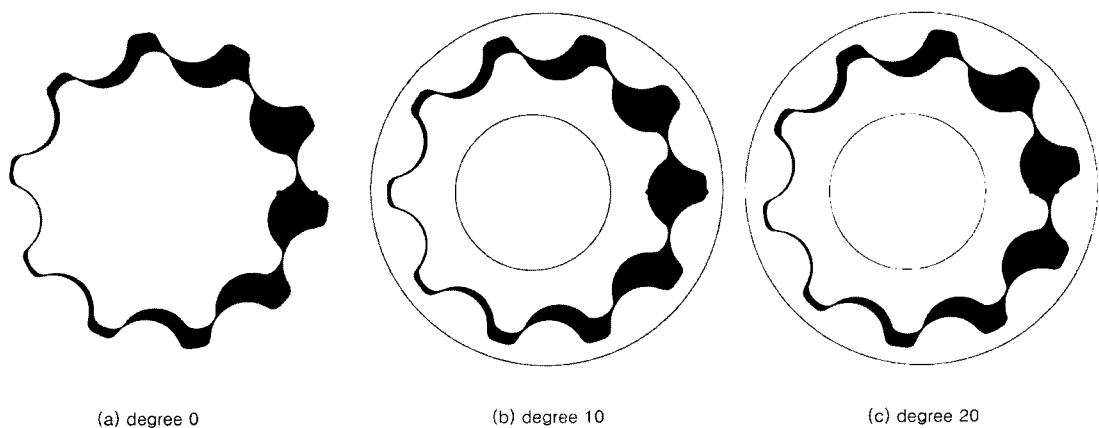


Fig. 4 Scheme for gerotor moving : Node Expansion and Contraction Method

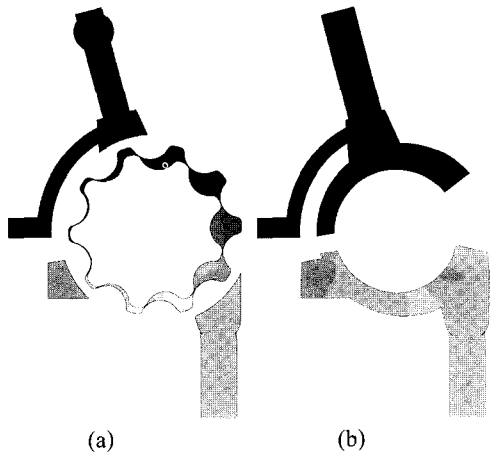


Fig. 5 Pressure Distribution of gerotor oil pump (rotor 4000rpm, outlet pressure 3 atm) (a) Section of gerotor (b) Section of volute

서 본 연구에서는 임의의 이동 경계면(ASI, Arbitrary Sliding Interfaces)방법을 적용하였다. 이 방법은 다른 격자 구조를 갖는 셀 block들을 유체 셀들의 위치에 따라 서로 연결 시켜주는 것이다. 이 때 경계 조건으로는 Attach 조건이 사용되며 회전에 따라 유체 셀이 접하는 부분은 연결 시켜주고 접하지 않는 부분은 벽면 경계조건으로 간주하여 계산을 수행함으로써 Gerotor 회전에 대한 적절한 경계조건들을 설정해 준다.

밀도 압력 관계식

작동 유체인 오일은(SAE 5W-30 engine oil) 통상 비압축성으로 고려할 수 있으나, inner 로터와 outer 로터 간극은 노즐에서와 같이 순간적으로 빠른 속도를 보이거나 높은 압력구배를 갖는 부분이 나타난다. 일반적인 비압축성 계산시 이런 영향으로 유동계산은 발산하게 된다. 따라서 본 연구에서는 압축성을 고려하여 다음과 같은 압력 밀도 관계식을 적용하였다.

$$\rho = \rho_0 \exp(-kp) \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1)$$

여기서 ρ 는 밀도, ρ_0 는 기준 밀도(140°C), k 는 압축률 그리고 p 는 압력을 나타낸다. 이 식을 적용하였을 때 전체적으로 밀도변화는 아주 작지만 로터 간극에서의 수치적 발산을 적절히 처리할 수 있다.

점성 계수 제어

본 연구에서 사용된 Gerotor는 회전시 inner 로터와 outer 로터가 매우 작은 간극(0.1mm)으로 운동한다. 그러나 이런 경우 간극 부분의 유체 셀의 부피가 거의 0이 되어 수치해석이 불가능하므로 inner 로터의 크기를 실제 로터의 99% 크기(반경 기준) Gerotor의 계산 격자를 생성하였다. 그리고 이 때 inner 로터의 크기 축소율로 인해 나타나는 간극을 통한 누유를 방지하기 위하여 이 부분의 점성 계수 값을 크게 설정함으로써 실제 물리 현상에 타당한 결과 값이 도출되도록 하였다.

3. 해석 결과

3.1 압력 및 속도 분포

Gerotor형 오일 펌프 내부 유동 해석을 수행하여 압력과 속도 결과를 Fig. 5, 6에 나타내었다. Fig. 5의 압력 결과 그림에서

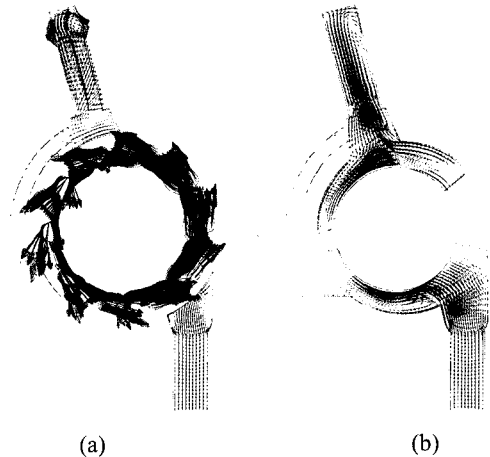


Fig. 6 Velocity vector of gerotor oil pump (rotor 4000rpm, outlet pressure 3 atm) (a) Section of gerotor (b) Section of volute

볼 수 있듯이 로터사이 유체 영역의 부피가 늘어남에 따라 낮은 압력 분포를 보이며 출구 쪽으로 갈수록 유체 영역 부피가 줄어들어 따라 압력이 높게 나타남을 알 수 있다. 이러한 압력 구배를 통해 오일이 유입되고 엔진 부위로 압송되지만 입구 부분과 출구 부분의 큰 압력 구배는 로터 간극 부분에서 역류를 발생시킨다. 결국 역류의 발생은 펌프의 효율을 저감시키는 영향을 미치게 된다.

Fig. 6의 속도 결과 그림을 살펴보면 오일의 유입과 배출이 원활하게 이루어짐을 확인 할 수 있다. 하지만 볼류트 입구와 출구 부분에서 큰 와류가 발생함을 쉽게 확인해 볼 수 있다. 결국 이러한 유동 양상은 펌프 효율에 손실을 가져오게 되며 볼류트의 형상이 최적화되어 있지 않음을 알 수 있다. 따라서 좀 더 효율적인 펌프 설계를 위해서는 이러한 점이 반영되어야 할 것이다.

3.2 압력 변동

Fig. 7은 Gerotor로 오일이 유입되는 부근과 유출되는 부근의 볼류트에서의 압력 변동을 나타내었다. 압력은 로터 치의 개수 비에 따라 40°마다 주기적인 특징을 나타내며 변한다. 또한 그림에서 확인해 볼 수 있듯이 Gerotor 입/출구 부분 압력은 펌프 양 끝단 입/출구 경계의 압력값을 기준으로 Gerotor의 회전에 따라 주기적으로 변함에 따라 적절히 유동이 유입되고 유출되고 있음을 알 수 있다.

3.3 출구압과 유량 관계

Fig. 8에 출구 압력에 따른 압력과 유량과의 관계를 실험값과 비교하여 나타내었다. 결과를 살펴보면 Relief Valve가 열리는 5×10^5 Pa 이하 부분에서는 약간의 차이점은 나타나지만 대체적으로 실험 결과의 경향성에 잘 맞추어 들어감을 확인해 볼 수 있다. 실제로 볼류트 내의 압력이 5×10^5 Pa 이상인 경우 엔진의 안전성을 위하여 Relief Valve가 열리게 되고 따라서 상당량의 유량이 볼류트 입구 쪽으로 다시 들어가게 되어 출구에서 나가는 유량이 감소하지만 본 연구에서는 이러한 점을 고려하지 않았다. 계산된 압력 범위에서 유량을 살펴보면 유동 출구 부분에서의 압력이 커질수록 유동 저항이 커지므로 전체적으로 유량은 감소하게 된다. 그러나 계산 결과를 살펴보면 그 값이 실험에 의하여 추정된 결과보다 크게 나타난다. 이러한 결과의 차이점은 Gerotor 부분과 볼류트 사이의 간극을 통한 누

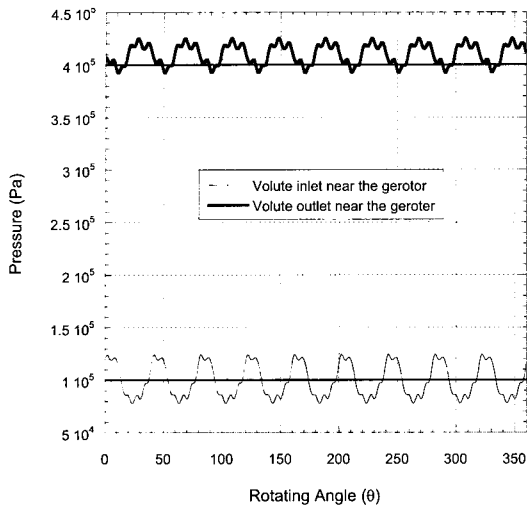


Fig. 7 Relative pressure variation at volute near the gerotor inlet/outlet

수 현상 등이 계산시 반영되지 않았기 때문에 실험값에 비해 좀 더 큰 값이 나타나게 된다. 아울러 로터 계산 격자 생성시 실제 크기의 99%로 만들었기 때문에 달린 로터사이의 유체영역의 부피 차이에서 결과값의 차이가 영향을 주었다고 고려된다.

3.4 Rotor 회전 속도에 따른 유량 분포

Fig. 9에는 Gerotor 회전속도에 따른 유량 결과를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 계산 결과는 Gerotor 회전속도에 따라 선형적인 결과를 보인다. 그러나 실험 결과와 비교해 볼 때 Gerotor의 회전 속도가 빨라질수록 차이가 커짐을 확인해 볼 수 있다. 이는 Gerotor의 회전 속도가 빨라질수록 로터 및 볼류트 내에 와류 및 cavitation의 발생으로 유동저항이 커지게 되기 때문으로 생각된다. 이는 실험을 통해서도 4000 rpm 이상에서는 cavitation이 발생하여 볼류트 출구로 유출되는 유량이 감소함을 확인해 볼 수 있다. 또한 실험시 로터의 회전에 따른 온도증가로 점도가 감소되어 결국 간극을 통한 누설량을 증가시키기 때문에 볼류트 출구에서 유량이 감소될 수 있다. 그러나 본 계산에서는 온도의 영향 등은 고려되지 않아 차이를 보일 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 효과적인 Gerotor, 볼류트 설계를 위해서는 이러한 점들이 고려되어 해석되어야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서는 자동차용 Gerotor형 오일 펌프에 대하여 수치 해석을 수행하였다. 이 중 Gerotor의 움직임을 모사하기 위하여 격자점진축 방법을 사용하였으며, Gerotor와 볼류트의 회전시 계산격자의 연결성을 위하여 임의이동경계면 방법을 적용하였다. 계산을 통해 Gerotor 회전시 나타나는 inner 로터와 outer 로터의 역류 현상 및 볼류트 내부의 와류 발생등의 유동현상을 확인할 수 있었다. 아울러 출구 압력이 높아짐에 따라 유량이 감소함과 Gerotor의 회전속도에 따른 유량과의 관계를 알 수 있었다. 현재까지 연구는 Gerotor형 오일 펌프의 해석 가능성, 내부 유동의 경향성 및 여러 가지 작동환경에 따른 결과들을 제시하였다. 향후 Gerotor와 볼류트 사이의 누유 현상 및 계산격자의 영향, 온도 및 점도의 영향 등을 고려하여 연구를 수행하고자 한다.

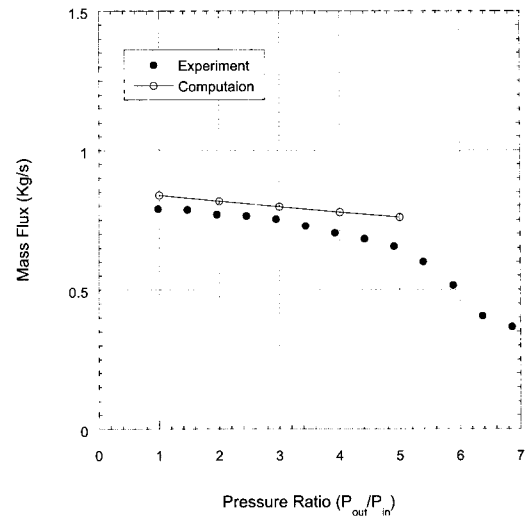


Fig. 8 Mass flux in the volute outlet depending on various pressure ratio (Gerotor speed 3000 rpm)

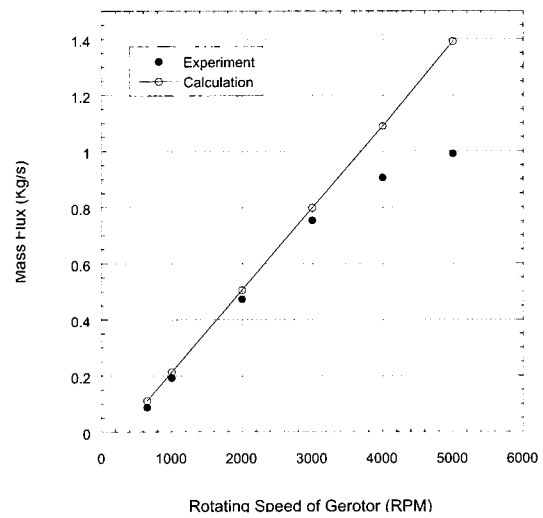


Fig. 9 Mass flux depending on various gerotor rotating speed (pressure ratio: 2.94 Pa)

후 기

본 논문은 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 2002년도 초고속 응용기술 지원 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] "STAR-CD v3.10 User Guide," Computational Dynamics Limited, 1999
- [2] 허남건, 원찬식, 허성범, 권성호, "Water 펌프 및 Oil 펌프 유동해석," 서강대학교산업기술연구소, 2002
- [3] Yu Jiang, Andrzej Przekwas and Chin-Yuan Perng, "Computational Analysis of Oil Pumps with an Implicit Pressure Based Method Using Unstructured Mixed Element Grids," SAE Paper960423, 1996, pp. 21 ~ 31.
- [4] <http://www.cfdreview.com>
- [5] <http://www.vianenterprises.com>