

피스톤 냉각용 Oil Jet내 볼 체크 밸브 주위 유동 연구

권지혁⁺·정호윤⁺⁺·이종훈⁺⁺·최윤환⁺⁺⁺·이연원⁺⁺⁺

A Study on the flow of Ball Check valve in the Oil Jet for cooling the Piston

J.H.Kwon⁺, H.Y.Jung⁺⁺, J.H.Lee⁺⁺, Y.H.Choi⁺⁺⁺ and Y.W.Lee⁺⁺⁺

Abstract : As vehicles are recently becoming more important in our life, the study for engine capacity has been conducted for many years. Specially, the study on lubrication in the engine is needed to develop engine capacity. The role of lubrication is to reduce friction, manage the temperature and protect from corrosion etc. At the view point of the engine, lubrication and cooling of the engine have an effect on the life and efficiency, so we have to study this problem. Ball check valve is located in the inlet of the Oil Jet. Ball check valve is used to control the flow rate of the engine oil, which cools and lubricates the engine. Flow rate at the oil jet is very important, so the study for this problem is needed to conduct researches. The point of this study is to compute the flow rate and the flow in oil jet. The results of this study is that the mass flow rate is satisfied with the research which is obtained at the experiment.

Key words : Oil jet(오일 제트), Check valve(체크 밸브), Computational fluid dynamics(전산유체역학)

기호설명

k : Turbulence Kinetic Energy

ϵ : The rate of viscous dissipation

$\sigma_k, \sigma_\epsilon$: Prandtl Number

1. 서론

최근에는 자동차를 소유하지 않은 사람을 찾아보기 힘들 정도로 자동차의 보급이 많아지면서 배기가스에 의한 환경적인 문제가 대두되고 있다. 배기가스를 감소시키기 위한 방법의 일환으로 엔진의 성능을 향상시키기 위한 많은 연구들이 행해지고 있다. 엔진 성능향상의 방법 중 하나로 엔진의 윤활은 엔진에서 피스톤의 마모를 줄여주고, 엔진의

온도를 일정하게 유지시키는 역할을 함으로서 엔진의 효율을 높이는 역할을 하고 있다. 윤활을 위해 사용되고 있는 Oil Jet의 설계를 최적화 하여 엔진의 성능을 향상시킬 필요가 있다.

윤활의 사전적 정의를 살펴보면 ‘윤활은 베어링과 같이 두 개의 고체가 접촉하면서 서로 미끄러질 때 두 면 사이에 윤활제를 넣어서 마찰이나 마모를 줄이는 것 또는 그 상태나 작용’ 라고 나와 있다. 자동차 엔진에서 윤활은 마찰을 줄여주는 작용 외에 엔진에서 발생하는 열을 줄여주는 냉각의 역할까지 해주어 엔진의 효율을 높여준다. 그 외 피스톤과 실린더 사이에 유막을 형성하여 밀봉 및 방청 작용을 한다. 이런 이유로 엔진에서 효율적인 윤활 시스템을 필요로 하는 것이다.

윤활 시스템에서 질량유량(앞으로 유량으로 표기한다.)을 결정하기 위해서 입구 부분에서 볼 체크

+ 권지혁(부경대학교 기계공학부)

++ 정호윤, 부경대학교 대학원

++ 이종훈, 부경대학교 대학원

+++ 최윤환, 부경대학교 교수

+++ 이연원, 부경대학교 교수, E-mail: ywlee@pknu.ac.kr, Tel: 051)620-1417

밸브를 사용한다. 피스톤에 윤활유를 공급하는데 사용되는 Oil Jet의 경우 내부 체크 밸브는 고속으로 왕복운동을 하게 된다. 볼의 속도는 엔진의 회전수가 4000[rpm]에서 약 20.1[m/s]의 속도를 나타낸다. 이에 따라 볼의 위치에 따라서 내부의 유동이 바뀌게 되고 그에 따라 속도와 유량이 결정된다. 오일 제트의 유량은 엔진의 성능과 수명에 영향을 주기 때문에 정확한 유량을 얻을 수 있는 설계를 필요로 한다. 따라서 본 연구의 목적은 Oil Jet의 볼 체크 밸브에 의해 출구 측의 유량이 어떻게 변하는지를 확인하고, 볼의 위치에 따라 내부 유동이 어떻게 변하는지 관찰하는 것이다. 이를 위해 볼의 위치에 따른 엔진오일의 유동과 이를 통해 구해지는 유량을 수치 해석적 방법으로 구한다. 수치 해석적 방법으로 구한 데이터를 통하여 속도장과 Oil Jet의 토출 유량을 구한다. 초기 볼의 위치에 따라 유량이 선형적으로 변한 것으로 예상했으나, 실제 유량의 경우 초기 볼의 위치에는 거의 영향을 받지 않고, 볼이 입구 측에 가까이 위치할수록 유량이 급격히 감소함을 알 수 있었다.

2. 수치 해석적 방법

2.1 Geometry와 격자생성

Oil Jet의 경우 입구와 출구 압력 차이에 의해 볼 체크 밸브가 상하 왕복 운동을 하고, 이 볼 체크 밸브에 의해서 유량이 조절한다. 그리고 출구 노즐을 통해 실린더에 엔진오일을 공급하는 장치이다. 본 연구의 목적은 볼 체크 밸브에 의한 유동의 변화와 유량의 변화를 알아보는 것이다. 본 연구의 목적을 만족하는 결과를 얻기 위해 Oil Jet 전체에 대해서 해석을 하였다. 볼 체크 밸브의 위치에 따른 내부의 유동을 확인하기 위해 볼의 위치를 고정시키고, 고정된 볼의 위치에 따라 내부 유동의 변화를 살펴볼 것이다. Fig. 1에는 Oil jet의 Geometry를 나타낸 것이다. Fig. 2는 볼이 캡의 최상부로부터 1.5[mm]에 위치한 상황에서 Oil Jet의 격자를 나타낸 것이다. 이 경우 계산에 볼을 밀어 올려주는 스프링은 유동에 다소 영향을 줄 것으로 예상 되지만, 스프링을 고려할 경우 격자수가 급격하게 증가하고, 격자의 왜곡도가 심하기 때문에 고려하지 않기로 한다.

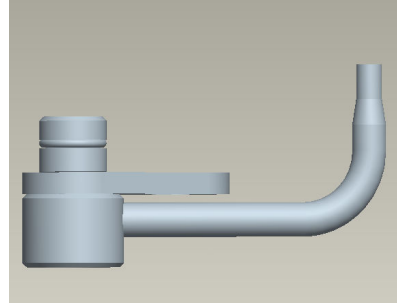


Fig. 1 Geometry of the Oil Jet

볼 밸브의 위치에 따라 각각 격자를 따로 작성하여 위치에 따른 내부유동을 확인 하였다. 격자는 tetra-mesh로 했고, 각각의 격자의 개수는 약 25만 개에서 50만개 정도의 격자를 생성 하였다. 격자의 경우 볼과 벽면 사이의 공간에 많은 격자를 넣어야 하기 때문에 볼의 위치에 따라 격자의 개수가 달라졌다.

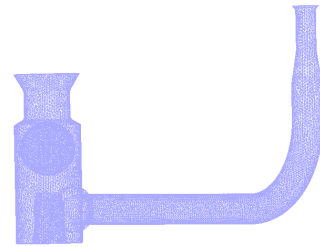


Fig. 2 Meshes for the computation of the Oil Jet

2.2 계산방법

계산에 사용된 난류모델은 표준 k-ε 모델이다. 볼의 위치에 따른 유량의 변화와 내부유동을 관찰하기 위해 볼의 위치를 고정시키고 계산을 수행했다. 아래의 식은 k와 ε를 위한 수송방정식이다.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{k} \vec{U}) = \nabla \cdot \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right] + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \epsilon \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\rho \epsilon \vec{U}) = \nabla \cdot \left[\frac{\mu_t}{\sigma_t} \nabla \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (2)$$

여기서 계수 μ_t 는 아래의 식에서 구한다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3)$$

여기에 사용되는 나머지 계수는 적당한 값을 사용한다. 이 식을 위해 사용된 계수는 $C_\mu = 0.09$, $\sigma_t = 1.00$, $\sigma_\epsilon = 1.30$, $C_{1\epsilon} = 1.44$, $C_{2\epsilon} = 1.92$ 를 사용한다.

2.3 경계조건

경계 조건의 경우 입구에 4[kgf/cm²]의 압력이 작용한다. 이를 토대로 입구에 pressure inlet의 조건을 적용하였다. 출구의 경우 대기압의 조건이기 때문에 pressure outlet조건을 적용하였다. 내부에 유동하는 엔진오일의 경우에는 SAE 10W-30 engine-oil을 사용하였다. 입구와 출구를 제외한 나머지 부분은 벽으로서 no slip조건을 적용하였다. 벽의 경우 no slip조건을 적용하였다. 온도의 경우 실험을 조건인 90℃로 가정하고 오일 제트 전체에 대해서 온도의 영향은 무시했다. 엔진오일의 경우에도 90℃의 물성치를 구하여 적용하였다. 90℃에서 엔진 오일의 밀도는 833.1[kg/m³]이고 점성계수는 0.0117[kg/ms]이다.

다음과 같은 계산 조건으로 상용 해석 코드인 FLUENT를 이용하여 계산을 수행하였다.

3. 연구 결과

3.1 Oil Jet 내부의 속도분포

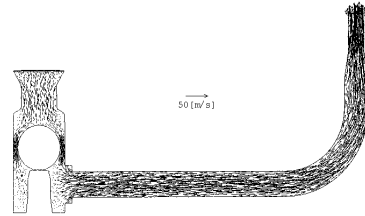
Oil Jet내에서의 속도 분포는 볼을 지나기 전까지 저속으로 나타나지만 볼을 지나면서 오일이 흐르는 유로가 좁아져 속도가 증가함을 살펴볼 수 있다.

Fig. 3에 0.9[mm]에 있을 때 y=0의 단면에 대해서 속도와 볼 주위의 유동을 확대해서 나타낸 것이다.

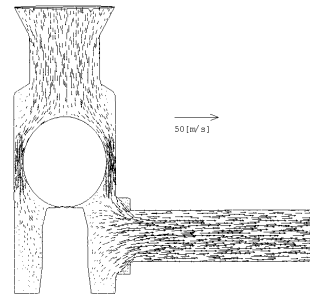
이 때 0.9[mm]는 캡의 윗면과 볼의 아랫부분까지의 거리를 나타낸다.

속도의 경우 거의 모든 경우에서 관과 노즐을 지나는 동안 단면적의 감소로 인하여 속도가 증가하는 현상이 나타났다. 그리고 2.1[mm]이상의 위치에서는 볼과 벽면 사이에서 역시 유로가 감소하면서 속도가 급격하게 증가하는 것을 관찰할 수 있다.

볼의 위치가 0.9[mm]에 있을 때의 속도는 체크 밸브를 지나 관의 입구 부분에서 속도가 빨라지는 것을 살펴볼 수 있다. 그리고 볼과 벽에 의해서 유로가 좁아지는 부분에서 약간의 속도가 증가하지만 이 경우 속도가 약 7[m/s]정도로 나타났다. 하지만 관의 중심부분에서 속도는 11[m/s]를 나타내었다. 곡관을 지나는 부분에서 속도가 중심 바깥쪽으로 치우치는 것을 살펴볼 수 있었다. 곡관에서 유동이 원심력에 의해 바깥쪽으로 치우치는 현상이 발생하게 된다. 그렇기 때문에 중심의 내부에서는 흐르는 유체의 양이 줄어들어 중심 내부의 압력 또한 감소하게 된다.

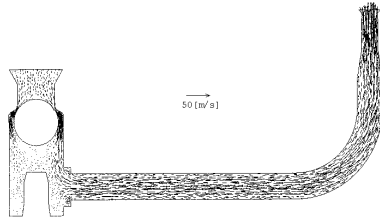


(a) velocity vector

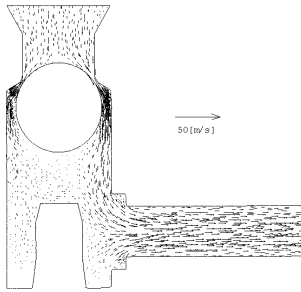


(b) enlarged figure of (a)

Fig. 3 The vector of velocity at 2.7[mm] from the top of the cap



(a) velocity vector



(b) enlarged figure of (a)

Fig. 4 The vector of velocity at 2.7[mm] from the top of the cap

Fig. 4에 2.7[mm]에 있을 때 $y=0$ 의 단면에서 속도를 나타낸 것이다.

볼이 2.7[mm] 위치에 있을 경우 관 중심에서의 속도는 8[m/s]로 나타났다. 이는 앞에서 살펴본 0.9[mm]일 때보다 느린 속도를 나타내었다. 반면 볼과 벽면사이의 공간이 좁아짐에 따라 그 틈새에서의 속도가 28.2[m/s]의 빠른 속도를 나타내었다.

볼의 위치가 상승함에 따라 유로의 단면적이 줄어들어 그로 인해 볼을 통과하는 오일의 속도가 증가하고, 관으로 접어드는 부분에서 관 입구의 단면적이 감소하여 속도가 증가했다.

3.2 토출유량 특성

본 연구에서 가장 중요한 결과인 유량의 경우 볼의 위치에 따라 변화를 보였다. 볼 위치가 0[mm]일 때와 2.7[mm]일 때의 유량의 차이가 0.01491 [kg/s] 정도로 나타났다.

아래의 Table 1에 볼의 위치에 따른 유량을 나타내었

다. 특징적으로 볼의 위치가 2.1[mm]이후로 유량이 급속하게 감소함을 알 수 있다. 이는 이 위치에서 볼의 상승에 의해 유로가 좁아지게 되어 흐르는 유량이 줄어드는 것으로 생각된다. 그리고 0[mm]에서 2.1[mm]사이에서 유량의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 볼의 위치가 유량의 변화에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 볼의 위치에 의한 유량의 변화를 fig. 5에 나타내었다.

Table 1 The mass flow rate associated with the position of ball

볼의 위치(mm)	유량(kg/s)
0	0.04617
0.3	0.04626
0.6	0.04601
0.9	0.04597
1.2	0.04573
1.5	0.04579
1.8	0.04584
2.1	0.04459
2.4	0.03976
2.7	0.03126

그리고 볼이 2.8[mm]의 위치에 있을 때 유로가 막혀 흐르는 유량이 없게 된다. 이 경우 그 계산의 값이 의미가 없기 때문에 그 값을 계산하지 않았다.

한 주기 동안의(여기서의 한 주기는 0[mm]에서 2.8[mm]까지의 볼의 이동을 말한다.)유량의 평균을 구하기 위해 수치해석을 통해 구한 값으로 평균유량을 구하였다. 한 주기 동안의 평균유량은 0.04512[kg/s]였다. 이는 실험을 통해 얻은 값인 0.0458[kg/s]와 거의 일치하는 값을 구할 수 있었다. 그리고 실험을 통해 구한 유량과 가장 일치할 때의 볼의 위치는 1.8[mm]에 위치했을 때 가장 근사한 값을 구할 수 있었다.

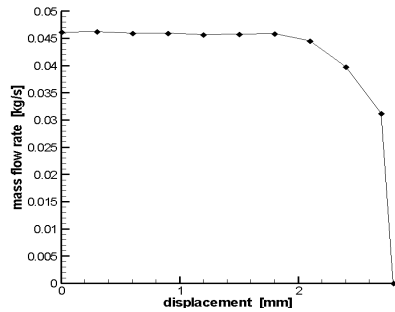


Fig. 5 The relationship between the mass flow rate and the position of ball

4. 결 론

본 연구는 볼 체크 밸브의 위치에 따라 Oil Jet의 내부유동이 어떻게 변하는지를 확인하고, 볼의 위치에 따라 출구에서의 유량이 어떻게 변하는지 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 볼의 위치가 0[mm]에서 2.1[mm]에 위치하는 경우 관 내부의 속도는 일정하게 흐른다. 하지만 볼의 위치가 2.1[mm]이상일 때 관 내부의 속도역시 감소하게 된다. 그리고 2.1[mm]이상일 경우 볼과 벽면 사이의 틈새에서 유속이 빨라짐을 알 수 있었다.
- 2) 유량은 0[mm]위치에 있을 때 0.04617[kg/s]로 나타났고, 2.7[mm]일 때 0.03126[kg/s]로 나타났다. 질량 유량의 차이는 0.01491[kg/s]의 차이를 보였고, 한주기 동안의 평균유량은 0.04512[kg/s]이다.
- 3) 유량은 0[mm]에서 2.1[mm]까지는 변화가 없지만 2.1[mm]이상의 위치에 있을 경우 유량이 급격하게 감소하였다. 이런 결과는 볼이 2.1[mm]이상의 위치에 있을 경우 볼이 유로를 막아 유량을 감소시키기 때문이다.

후 기

본 연구는 부경대학교 BK21 기계 사업단 후원 및 산업자원부 한국산업기술재단 지원 “지역 혁신인력양성사업” 으로 수행되었으며, 또한 자료제공에 협조해 주신 (주) 이원정공 기술연구소 관계자 분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] H.K.Versteeg, W.Malalasekera An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method, Longman Group Ltd, 1995 pp.70 ~ 72
- [2] 김 기태 Oil-Jet 윤활시 가스터어빈용 고속 Ball Bearing 윤활특성 한국윤활학회지, 제 12권 제 4호, pp.28 ~ 34, 1996
- [3] 송재수, 정우진, 김성원 자동변속기 내 체크밸브의 모델링 및 최적화 연구 한국자동차공학회 논문집 제5권 제2호 pp. 111 ~ 119, 1997
- [4] 김려원 Spool Type Valve의 유량특성에 관한 고찰, 부산공업대학논문집 제 12집, pp.115 ~ 122, 1971
- [5] Frank M. White, Fluid Mechanics Fourth Edition, WCB/McGraw-Hill, 1999, pp.344 ~ 346