

피스톤 냉각용 Oil jet 유동해석

권지혁^{1*}, 정호윤¹, 이종훈¹, 최윤환², 이연원²

NUMERICAL ANALYSIS ON INTERNAL FLOW OF OIL JET COOLING THE PISTON

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

Recently, the interest of the engine capacity and environment of the atmosphere is increasing, so the researches for the engine capacity have been conducted for a long time. But the internal environment of an automotive engine is very severe. A piston is exposed to combustion gas of over 2000 °C and strong friction is occurred by high speed motion in the cylinder. The friction between piston and wall of the cylinder causes the increase of temperature in the engine. The temperature of the engine has an effect on the engine capacity. If the temperature is high, the capacity of the engine is low. So we have to maintain the optimum temperature. To maintain the optimum temperature, the enough flow rate of the engine oil is needed. The oil jet is used to control the flow rate of the engine oil and supply the engine oil to the piston and cylinder. The purpose of this study is to check the mass flow rate of the engine oil and the characteristics of internal flow of the oil jet. Flow pattern of the engine oil is very important because it concludes the loss in the oil jet. This study is the previous research about the oil jet and we will consider the movement of the ball check valve to get more accuracy result.

Key Words: 전산유체역학(CFD), 오일 제트(Oil jet), 피스톤 냉각(Piston cooling)

1. 서 론

최근 자동차를 많이 사용하게 되면서 그 성능에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 특히 엔진내부의 온도가 고온일 때 엔진의 성능에 악영향을 끼치기 때문에 적절한 온도를 유지시키는 것이 중요하다.

특히 본 연구의 주제인 오일제트는 엔진의 피스톤과 실린더에 엔진오일을 분사하여 엔진내부의 온도상승을 억제하는 장치이다. 엔진 내부에서 피스톤과 실린더 벽면에서 마찰에 의해 온도가 상승하게 되는데 이러한 온도의 상승을 억제하기 위해 Oil jet를 사용한다. 엔진 냉각의 성능을 향상시키기 위해 토출되는 엔진오일의 유량과 엔진오일의 분사 위치에 대한 연구가 필요하다. 정확한 위치에 적절한 유량을 분사하여 효율적인 냉각을 해야 한다.

본 연구는 Oil jet내부의 유동특징을 파악하여 최적의 토출

유량을 얻을 수 있는 설계를 하는데 그 목적을 두고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 준 정상상태로 가정하고 내부 유동의 특징과 토출유량에 대한 계산을 수행하였다. 그리고 본 연구를 통해 얻은 결과를 바탕으로 하여 최고의 효율의 Oil jet를 설계하는 것을 최종적인 목적으로 한다.

2. 수치해석

2.1 Geometry와 격자 생성

수치해석을 하기 위해 먼저 선행되어야 할 작업이 형상작업과 격자생성이다. 아래의 Fig. 1에 Oil jet의 Geometry가 나타나 있다.

본 연구에서 준 정상적으로 가정하였기 때문에 격자역시 불의 위치에 따라 개별적으로 격자를 생성하였다. 각각의 경우 대한 격자의 개수는 약 25만개에서 50만개 정도였다. 격자의 개수는 불의 위치가 상부에 위치할수록 불과 벽면 사이의 공간이 좁아져 이 부분에 많은 격자가 필요로 하게 되어 불의 위치가 상부에 있을 때 급격하게 늘어나게 되었다.

1. 부경대학교 학생

2. 부경대학교 교수

* Corresponding author E-mail: ywlee@pknu.ac.kr

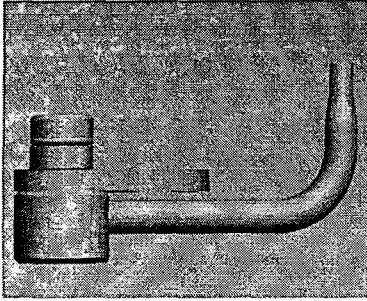


Fig. 1 Geometry of Oil jet

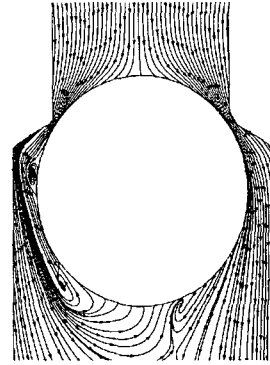


Fig. 2 The streamline where ball is at the 2.7[mm] from the top of the cap

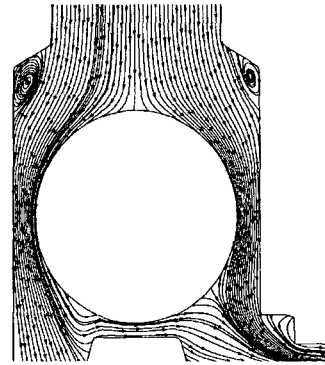


Fig. 3 The streamline where ball is at the 0.3[mm] from the top of the cap

2.2 지배 방정식 및 경계조건

Oil jet의 경우 입출구의 압력차에 의해 작동하기 때문에 입구와 출구에 압력조건을 적용하였다. 입구에서 Oil pump로부터 엔진오일의 공급받아 작동하는데 이때의 압력이 4[kgf/cm²]이고, 출구의 경우 대기압으로 하여 계산을 수행하였다. 내부에 유동하는 엔진오일의 경우에는 SAE 10W-30 engine-oil을 사용하였다. 입구와 출구를 제외한 나머지 부분은 no-slip의 벽으로 가정하여 계산을 하였다. 내부의 온도의 경우 90℃로 가정하고 온도에 의한 영향은 무시하였다.

계산에 사용된 난류모델은 표준 k-ε모델이다. 아래의 식은 k와 ε를 위한 수송방정식이다.

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

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

여기서 계수 μ_t 는 아래의 식에 나타나 있다.

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

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

3. 연구 결과

3.1 볼의 위치에 따른 유동해석

본 연구의 목적인 Oil jet의 내부유동의 특성을 파악하기 위해 볼 체크 밸브 부근에서의 유동을 우선으로 나타내었다.

Oil jet의 내부 유동의 경우 볼이 2.1[mm]에 위치할 때를 기준으로 2.1[mm]보다 볼이 상부에 있을 때의 유동의 특징이 Fig. 2에 나타나 있고, 2.1[mm]보다 하부에 위치할 때의 유동특징이 아래의 Fig. 3에 나타나 있다.

Fig. 2에서처럼 볼이 2.1[mm]보다 상부에 위치할 때 볼과 벽사이의 공간이 좁아 고속으로 엔진오일이 볼 체크 밸브를 통과한다. 그리고 이때 볼 주위에서 재순환 영역이 발생하고 볼 하부에서의 유동역시 복잡했다. 하지만 Fig. 3에서처럼 볼이 2.1[mm]보다 하부에 위치할 때 볼 상부의 벽에서 재순환 영역이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 이런 형태의 유동은 2.1[mm]보다 하부에 위치한 모든 경우에 대해 비슷한 형태의 유동특성을 보였다. 그 이유는 이 경우 볼과 벽면사이의 단면적에서 차이가 없기 때문이다. 볼을 통과하는 엔진오일의 속도에서 큰 차이가 없었기 때문이다.

3.2 곡관부의 유동의 특징

곡관의 경우 일반적으로 원심력에 의해 유동자체가 곡관 중심의 바깥쪽으로 쏠리는데 Oil jet의 경우에도 이와 같은 현상이 발생하였다. Fig. 5에 볼의 위치가 2.7[mm]일 때, 곡관의 세 부분, 곡관의 입구부분과 중간부분 그리고 곡관은 나왔을

때의 유동을 vector로 나타내었다. 처음 곡관으로 유입될 때 Z-방향의 속도 성분이 관찰되었고 이후 곡관을 지날수록 Z-방향의 속도 성분의 크기가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 그리고 곡관을 나왔을 때 곡관에서 X-축을 중심으로 두 개의 secondary flow가 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

그리고 X-Z 평면에서의 속도를 살펴보면 이 경우 X-축 방향으로 z 방향의 최대 속도가 치우쳐서 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 유체가 곡관의 중심으로부터 바깥쪽으로 원심력을 받았기 때문으로 생각된다.

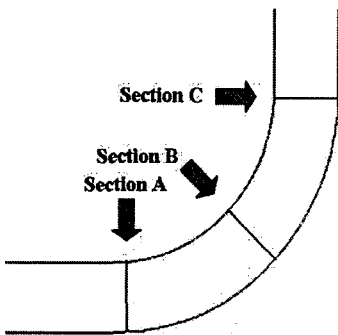


Fig. 4 The sections at the curved tube

3.3 노즐 유동 및 출구 유량

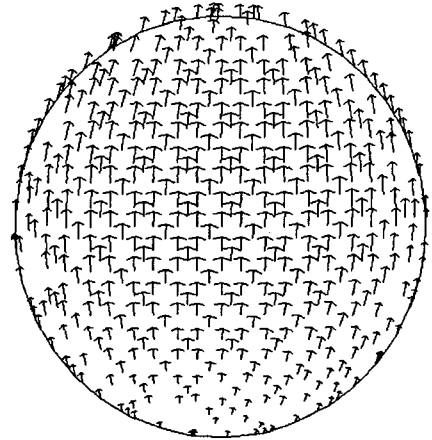
본 연구는 엔진을 냉각시키기 위한 적절한 토출유량을 구하는 것이 목적이기 때문에 볼의 위치에 따른 토출유량을 구하였다.

토출 유량을 구하기 전에 출구에서 속도의 분포를 살펴보면 아래의 Fig. 6과 같이 나타났다. 이 때 속도는 볼의 위치가 2.7[mm]일 때의 속도를 vector로 나타낸 것이다.

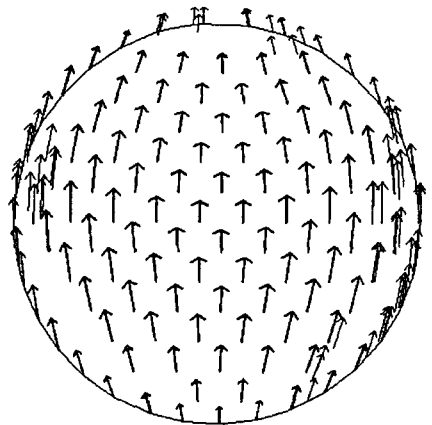
출구에서는 곡관부에서 발생한 Secondary flow가 소멸되어 관찰되지 않고 관을 따라 z-방향의 속도가 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 출구에서 형상 때문에 관의 벽면에서 z-방향의 속도 이외에 다른 속도가 나타나는 것을 관찰할 수 있었다.

토출유량의 특징은 볼의 위치가 2.1[mm]보다 하부에 위치할 때 볼 위치의 변화에 따라 토출 유량이 거의 변하지 않고 일정한 것을 알 수 있다. 하지만 이 경우에도 볼의 위치가 하부로 내려올수록 토출 유량이 약간씩 증가하는 것을 알 수 있다.

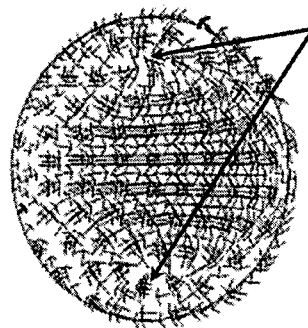
볼의 위치가 2.1[mm]보다 상부에 위치할 경우 볼을 통과하는 속도는 증가하지만 볼과 벽면에 의해 생기는 통과면적이 줄어들어 결과적으로 최종 토출이 급격하게 줄어드는 것을 알 수 있다.



(a) The velocity vector at section A



(b) The velocity vector at section B



The center of secondary flow

(c) The velocity vector at section C

Fig. 5 The velocity vector at the curved tube where the ball is 2.7[mm]

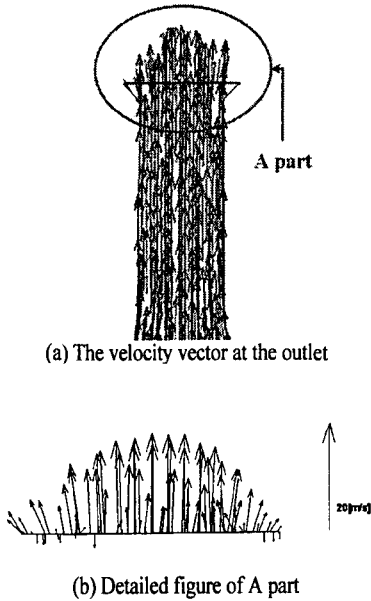


Fig. 6 The velocity vector at the outlet

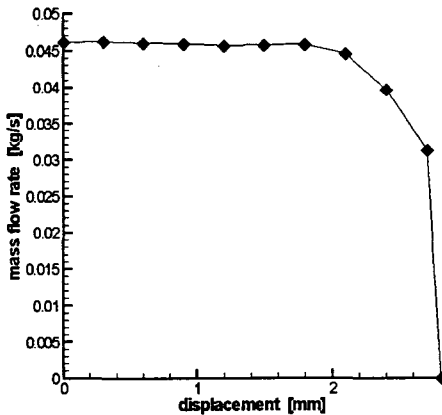


Fig. 7 The relationship between the mass flow rate and the position of ball

4. 결 론

본 연구는 볼의 위치에 따른 내부 유동의 특성과 토출유량의 변화를 준 정상 상태로 계산을 수행하여 알아보았다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 1) 볼의 위치에 따른 엔진오일의 내부 유동의 특성은 볼의 위치가 2.1[mm]보다 상부에 있을 때와 하부에 있을 때로 구별할 수 있었다. 볼이 2.1[mm]보다 상부에 있을 때 볼을 통과하는 속도가 빠르게 나타났지만, 하부에 있을 때는 볼을 통과하는 속도보다 관 입구에서의 속도가 더 빨랐다.
- 2) 곡관을 지날 때 관의 중심축을 기준으로 양쪽에 Secondary flow가 발생하는 것을 관찰 할 수 있었다.
- 3) 토출유량의 경우 볼이 상부에 위치할 때 급격하게 변화하였고, 하부에 위치할 때 안정적이었다.

참고 문헌

- [1] H.K.Versteeg, W.Malalasekera, 1995, "An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method," Longman Group Ltd, p.70-72.
- [2] 김 기태, 1996, "Oil-Jet 윤활시 가스터어빈용 고속 Ball Bearing 윤활특성," 한국윤활학회지, 제12권, 제4호, p.28-34.
- [3] 송재수, 정우진, 김성원, 1997, "자동변속기 내 체크밸브의 모델링 및 최적화 연구," 한국자동차공학회논문집, 제 5권, 제2호, p.111-119.
- [4] 김려원, 1971, "Spool Type Valve의 유량특성에 관한 고찰," 부산공업대학논문집, 제12집, p.115-122.
- [5] Frank M. White, 1999, Fluid Mechanics Fourth Edition, WCB/McGraw-Hill, 1999, pp.344~346