

# CFD를 이용한 Oil Jet의 노즐부 해석

정호윤<sup>+</sup> · 권지혁<sup>++</sup> · 이종훈<sup>+++</sup> · 최윤환<sup>++++</sup> · 이연원<sup>++++</sup>

## A Study on Nozzle of Oil Jet using CFD

Ho-Yun Jung<sup>+</sup>, Ji-Hyuk Kwon<sup>++</sup>, Jong-Hoon Lee<sup>+++</sup>, Yoon-Hwan Choi<sup>++++</sup> and Yeon-Won Lee<sup>++++</sup>

**Abstract** : Now a days Automobiles are becoming more important in our life, the study on piston of engine is needed because, piston's cooling and lubrication of piston have an effect on the life and efficiency of engine directly. So, this study is about nozzle part of oil jet for cooling piston in the automotive engine. Piston exposes combustion gas of over 2000℃ and is shocked high pressure at the time of explosion shortly. Furthermore strong friction occurs by high speed rotation. The cooling system is considered from oil jet to piston. The previous system cooled the lower part of piston only. So, efficiency was low. To improve this system, make the oil gallery in the piston, and oil flows into the gallery. The value of oil flow rate into the gallery is important. Consequently, the point of this study is the research of investigation of flow characteristics for variable Re number. This study has been modelled by a commercial CFD code FLUENT, allowing to assess its validity

**Key words** : Oil jet(오일 제트), Nozzle, CFD(Computational Fluid Dynamics), Oil gallery(오일 갤러리)

### 기호설명

Re : Reynolds number

$k$  : 난류 운동에너지

$\epsilon$  : 난류 운동에너지의 소멸율

### 1. 서론

최근 자동차의 대중화로 인하여 자동차산업은 급속한 발전을 이루었다. 그리고 수요의 증대와 더불어 고품질과 내구성의 향상이 요구되어지고 있다. 이에 더욱 효율적인 시스템의 개발이 이루어지고 있고, 오일제트도 이러한 측면에서 만들어진 시스템이다. 자동차의 신차개발에 있어, 엔진의 중요성은

매우 크다. 일반적으로 자동차 엔진은 실린더와 실린더헤드 및 실린더 내에서 왕복 운동하는 피스톤의 사이에 형성되는 연소실에서 연료를 연소시켜 발생된 폭발력을 피스톤에 연결된 커넥팅로드를 통해 크랭크샤프트를 회전시킴으로써 열에너지를 기계적인 회전력으로 변환하는 장치이다.

엔진 내의 피스톤은 2000℃이상의 연소가스에 노출되고 폭발시의 고 압력을 단시간에 충격적으로 받을 뿐 아니라 실린더 내부를 고속으로 운동하므로 실린더 벽과 피스톤 사이에 강한 마찰이 생기며 이를 냉각수나 외기로 직접 냉각할 수 없기 때문에 실린더 블록의 하부에 오일제트를 설치하여 피스톤에 오일을 분사하여 냉각시키게 된다. 기존의 오일제트는 피스톤의 하부만을 냉각시켰기 때문에 효율이 높지 않았다. 효율을 증가시키기 위해 피스톤

+ 부경대학교 대학원

++ 부경대학교 대학원

+++ 부경대학교 대학원

++++ 부경대학교 기계공학부

+++++ 책임저자(부경대학교 기계공학부), E-mail: [ywlee@pknu.ac.kr](mailto:ywlee@pknu.ac.kr), Tel: 051-620-1417

내부에 오일 갤러리를 형성하고 오일제트로부터 분사된 오일이 피스톤 안으로 직접 흐르게 한다. 즉, 노즐로부터 나온 엔진오일이 피스톤의 오일갤러리로 들어가는 유량이 중요하게 된다.

따라서 본 연구는 노즐부의 레이놀즈수에 따른 유동특성과 질량유량에 대해 조사하였다. 수치해석은 널리 사용되고 있고, 성능이 검증된 상용코드인 FLUENT를 사용하였으며, 레이놀즈수 500~5000사이에 대하여 수치해석을 수행하여 유량을 조사하였다. 현재까지 오일제트에 관한 연구는 미비하기 때문에 본 연구를 통하여, 오일제트 연구의 기초를 확립하고, 나아가 최적설계 조건을 얻고자 함이 그 목적이다.

## 2. 수치해석

### 2.1 형상 및 격자

연구에 사용된 오일제트는 현재 생산되고 있는 모델 중 하나를 채택하여 수치해석을 실시하였으며, 그 실제 형상은 Fig. 1에 나타내었다. 오일제트는 크게 체크밸브부와 노즐부로 나눌 수 있다. 본 연구



Fig. 1 Photograph of oil jet

에서는 체크밸브부의 유동은 제외하고, 노즐로부터 피스톤 하부 오일갤러리 입구까지의 유동특성을 조사하였다.

Fig. 2에 엔진내부와 장착된 오일제트의 형상을 보여주고 있다. 수치해석을 수행하기 위해 노즐과 피스톤하부 오일갤러리 입구까지를 해석영역으로 하였으

며, 피스톤의 위치는 피스톤이 상사점에 도달하였을 때의 지점으로 하였다. 계산 시간과 격자수를 줄이기 위해 축대칭으로 형상을 모델링 하고, 실린더 블록의 영향이나 커넥팅 로드와 같은 기하학적 영향은 본 연구에서는 제외하기로 했다.

계산 격자는 Fig. 3과 같이 GAMBIT을 이용하여 2-D geometry에 사각격자를 형성시켰다. 격자의 개수는 약 25000개 정도로 Fig. 3에서 보는 것과 같이 전체 격자와 노즐부의 격자를 확대한 모습을 나타내었다. 엔진오일이 분출되는 노즐부와 피스톤측 사이에 좀 더 정확한 계산을 위하여 격자를 조밀하게 구성하였다..

### 2.2 경계조건

본 연구에 사용된 엔진 오일 디젤 자동차용 엔진 오일로, SAE 10W30등급이며, 유온 90℃일 경우의 밀도와 점도를 물성치로 사용하였다.

노즐 입구측의 직경은 2.7(mm), 출구측인 피스톤하부의 오일갤러리 입구의 직경은 6(mm)이다. 벽면 경계조건은 점착(no-slip)경계조건을 사용하여 계산을 하였다. 그리고 출구는 pressure outlet 조건을 주었다. 중력 방향은 -X축 방향이다.

### 2.3 해석방법

수치해석은 널리 사용되고 있고, 성능이 검증된 상용코드인 FLUENT를 사용하였으며, 레이놀즈수 500~5000사이에 대하여 수치해석을 수행하여 유량을 조사하였다. 2-Phase 유동문제를 풀기 위하여, VOF(Volume of Fraction)모델로 수치해석을 실시하였다. 엔진 오일내부의 공기 함유량은 무시하고 엔진 오일만 노즐을 통과하게 하였다.

유동장을 계산하기 위해 Standard k-ε model을 사용하였고, 그 수식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot (\rho k \vec{U}) = \nabla \cdot \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right] + 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \epsilon \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (\rho \epsilon \vec{U}) = \nabla \cdot \left[ \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} \cdot E_{ij} - \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

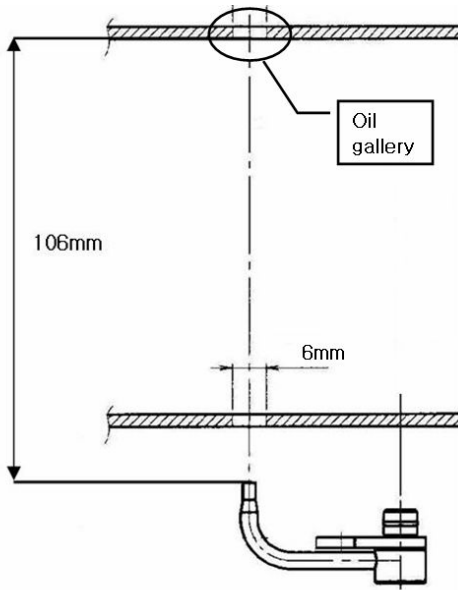


Fig. 2 Schematic diagram of oil jet system

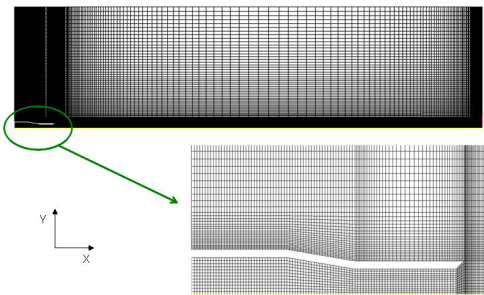


Fig. 3 Numerical grid arrangement

여기서 계수  $\mu_t$ 는 다음의 식에서 구할 수 있다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

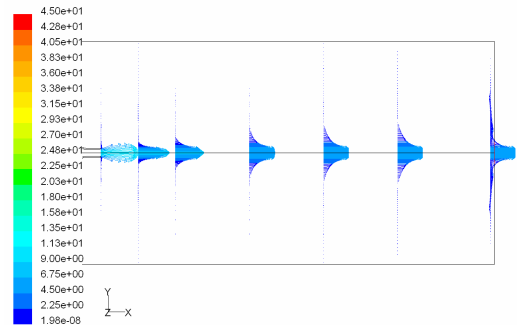
이 식에 사용된 계수는  $C_\mu = 0.09$ ,  $\sigma_k = 1.00$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1.30$ ,  $C_{1\varepsilon} = 1.44$ ,  $C_{2\varepsilon} = 1.92$ 를 사용하였다.

### 3. 수치해석 결과

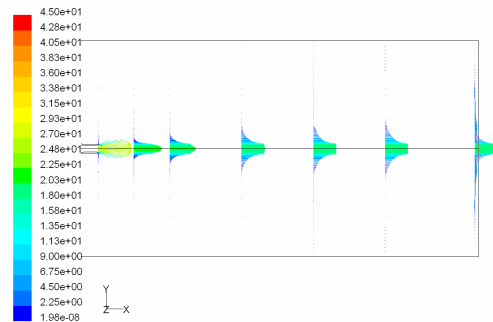
#### 3.1 속도장 및 유동장 해석

오일제트 노즐의 유동특성에 대해서 수치해석을 한 결과 중 먼저 속도장을 살펴보자. Fig. 4의 (a), (b), (c)는 레이놀즈수 변화에 따른 속도장을 나타낸 것이다. 그림은 공기와 오일의 속도분포를 동시에 나타내고 있다. 즉 노즐의 중심축으로부터 멀어지면서 속도가 급격히 줄어드는 것을 볼 수 있는데 이 부분은 공기의 속도벡터이다. 유체의 점성으로 인하여 엔진오일이 분출됨에 따라 오일의 유동에 의한 공기의 유동이 형성됨을 알 수 있다. 그리고 노즐로부터 엔진오일이 분출되어 나올 당시는 노즐 중심축의 오일의 속도가 빨랐지만, 노즐 출구로부터 멀어지면서 완전히 발달된 유동의 형태를 보이고 있다.

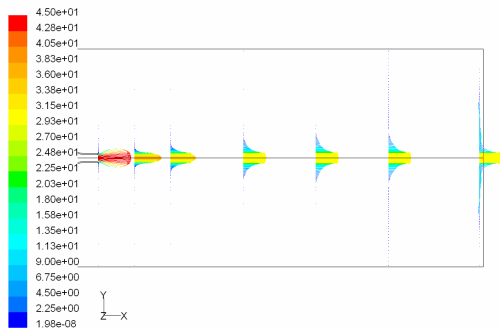
그리고 레이놀즈수가 증가함에 따라 속도는 증가하고 있지만, 속도 분포는 레이놀즈수에 따라서 거



(a) Re=1000



(b) Re=3000



(c) Re=5000

Re	노즐출구속도(m/s)	Outlet 속도(m/s)
500	4.75	2.87
1000	9.05	6.12
2000	17.75	12.12
3000	26.5	18
4000	35.59	23.7
5000	44.29	29.9

Fig. 4 Velocity profiles according to Reynolds number

의 일정한 형태를 나타내고 있다.

노즐 출구에서의 속도와 outlet 부분인 피스톤 오일갤러리의 속도는 Table 1에 나타내었다. 그리고 Fig. 5에 노즐 출구부터 피스톤 오일갤러리까지의 속도 분포를 나타내었다. 노즐 출구로부터 50mm까지는 속도가 점차 감소하지만, 50mm이후부터는 속도변화까지 거의 없음을 보여주고 있다.

Fig. 6은 Re=5000일 때의 엔진 오일의 Volume fraction을 나타내고 있다. 중간의 적색이 1의 값을 가지고 주위의 청색이 0의 값을 나타낸다. 즉 적색부분이 엔진오일이 100%임을 나타내고 청색은 공기가 100%임을 나타낸다. 그리고 각각의 레이놀주 수에 따라 거의 비슷한 volume fraction을 보여주었다.

### 3.2 질량 유량 고찰

본 연구에서는 경계조건에서 outlet으로 정한 엔진 피스톤부의 오일 갤러리 입구에서의 질량유량을 조사하였다. Re=500일 경우에는 0.0114(kg/s), Re=3000일 경우에는 0.06819(kg/s), Re=5000일 경우

에는 0.1136(kg/s)를 나타내었다. Fig. 7에서 질량 유량 값들의 변화를 보면 선형적임을 알 수 있다. 이는 직경이 6mm인 오일 갤러리로 엔진 오일이 전

Table 1 Velocity magnitude of each Reynolds number

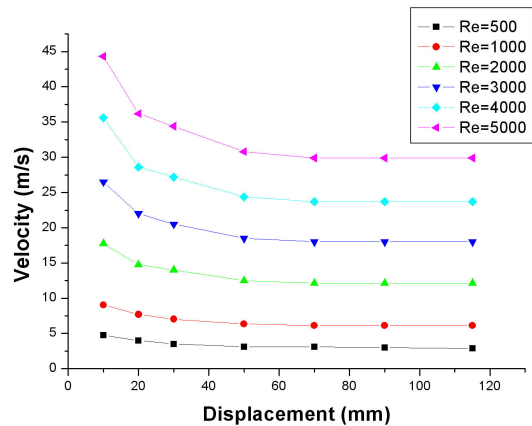


Fig. 5 Velocity distribution along the displacement

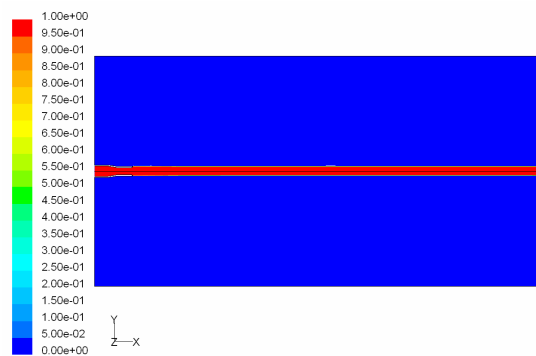


Fig. 6 Volume fraction for engine-oil for Reynolds number of 5000

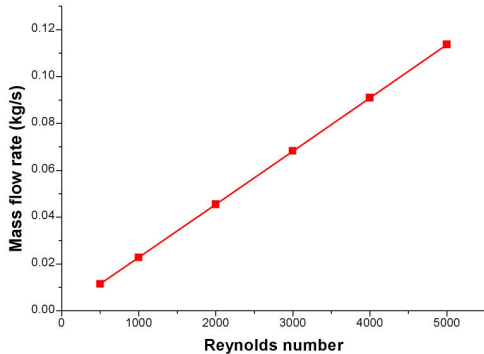


Fig. 7 Mass folw rate at outlet

량 통과하기 때문이다. 그리고 초기조건에 엔진 오일에 공기의 포함을 고려하지 않았고, 실제 엔진에는 오일제트의 위치가 실린더에 가깝게 위치하고 있다. 추후의 연구에서 3차원 풀 도메인으로 수치 해석을 실시할 것이며, 좀 더 실제에 가까운 연구 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 부경대학교 BK21 기계사업단 후원 및 산업자원부 한국 산업기술재단 지원 “지역혁신인력양성사업” 으로 수행되었으며, 또한 자료제공에 협조해 주신 (주) 이원정공 기술연구소 관계자 분께 감사드립니다.

## 4. 결 론

국내 자동차업계에서 사용되고 있는 한 모델로서, 엔진내부의 실린더 블록 하부에 위치한 오일제트의 노즐로부터 분사된 엔진오일의 속도 분포와 유동형태, 그리고 피스톤 하부에 위치한 오일갤러리를 통과하는 엔진오일의 질량유량을 수치해석한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 각 레이놀즈수에 대한 속도분포의 형태는 거의 비슷한 유형을 띠었다. 노즐 출구로부터 106mm에 이르는 오일 갤러리 사이에 있어 약 50mm부터 오

일갤러리까지의 속도분포는 변화가 거의 없다.

- 2) 실제 상황과 같은 다른 변수들은 고려하지 않고, 엔진 오일의 유동형태를 조사하였을 때, 레이놀즈수에 따라 제트류 형상이 비슷하였다. 즉 직경 6mm인 오일갤러리로 오일이 전량 유입된다.
- 3) 본 연구에서 사용한 노즐 형상에 있어서 오일 갤러리로 유입되는 질량 유량은 선형적으로 변하며, 이것은 수식  $f(Re) = 2.27E-05 \times Re$  로 근사시킬 수 있다.

## 1. 참고문헌

- [1] 최봉준, 이정희, 최영기, 2001, " Numerical Study on Flow and Heat Transfer Characteristics for an Oblique Impingement jet Using  $k-\epsilon-\overline{v'^2}$  Model", 대한기계학회 논문집 B권 제 25권 제 9호, pp. 1183~1192
- [2] Ja Ye Koo, 2003, "The Effects of Injector Nozzle Geometry and Operating Pressure Conditions on the Transient Fuel Spray Behavior ", KSME International Journal, Vol. 17 No. 3, pp. 617~625
- [3] H. Tennekes, J. L. Lumley, 1994, "A First Course in Turbulence", MIT Publishing Company, Inc. pp.154~163
- [4] H. K. VERSTEEG, W. MALALASEKERA, 1995, "An introduction to computational fluid dynamics The finite volume method", LONGMAN Group Ltd. pp. 70~72