

## 내연기관 실린더 헤드 조립체 내부의 냉각수 유동 및 열전달에 관한 연구

서 용 권,<sup>\*1</sup> 허 성 규,<sup>2</sup> 김 병 휘<sup>3</sup>NUMERICAL STUDY ON THE COOLANT FLOW AND HEAT TRANSFER  
IN THE CYLINDER HEAD ASSEMBLY OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINEY.K. Suh,<sup>\*1</sup> S.G. Heo<sup>2</sup> and B.H. Kim<sup>3</sup>

*In this study we investigated the characteristics of fluid flow and heat transfer within a coolant passage in the cylinder head assembly of an internal combustion engine by using a commercial CFD code, CFX. The complex coolant passage of the cylinder head assembly was modelled by suitable choice of a grid system and careful attention was paid in the construction of meshes near the walls where significant cooling occurs. To treat the simultaneous heating and cooling of the combustion walls we invented a methodology allowing a heat source within the solid wall and the convective cooling at the interface between the solid and the fluid. We managed to reproduce the experimental results by adjusting parameters appropriately. We have found that high temperature was concentrated at the surface of the cylinder jacket. It turned out that the effect of oil cooling from the piston head was unexpectedly significant. On the other hand the effect of cooling from the ambient air is almost negligible. The CFD method proposed in this study is believed to be useful in the early stage of the design of the engine-cooling system.*

**Key Words :** 전산유체역학(CFD), 내연기관(Internal Combustion Engine), 실린더 헤드 조립체(Cylinder Head Assembly)

## 1. 서 론

산업화 이후 지속적인 화석연료 사용의 증가는 기후변화와 생태계 교란을 야기하고 있으며 이는 인류 생존에 위협을 주는 요소로 인식되고 있다. 이러한 화석연료 사용은 산업 및 발전용과 수송용 기계가 전체에서 큰 부분을 차지하고 있는 것으로 알려져 있으며 각 나라에서는 화석연료 연소에 의한 배기배출물질의 규제를 점차적으로 강화하고 있는 실정이다.

이러한 분위기를 반영하듯 수송용 기계를 대표하는 내연기관분야에서는 연소효율 개선을 통한 출력향상, 연료사용 절감 및 배기배출물 감소 등을 목표로 다양한 연구개발이 진행되

고 있다. 특히 내연기관의 연소는 고온 고압의 열 유동 현상이 동반되며 이를 최적화하기 위한 냉각시스템의 구성은 내연기관의 성능뿐 아니라 주요 부품의 수명을 결정하는 중요한 요소로 인식되고 있다.

현재, 국내의 연구성과를 중심으로 한 엔진 냉각수 유동 및 열전달에 관한 문헌조사에 의하면, 전문수 등[1]은 엔진의 효율적 냉각과 관련된 변수들 중 워터 펌프 최적화와 냉각수 유로 홀 패턴 변경을 유동 가시화 기법을 이용하여 연구를 수행하였고 신창훈 등[2]은 엔진 운전조건에 따른 냉각 성능모사를 위한 프로그래밍에 관한 연구를 수행하였다. 박태식 등[3]은 실린더 헤드 내 유로 형상변경에 따른 냉각수 유동을 실험을 통한 가시화 연구를, 최갑승 등[4]은 선박용 디젤엔진 내부 표면온도 해석에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 서용권 등[5]은 냉각시스템 성능개선을 위한 설계인자 확보와 유동해석 방법 정립을 목표로 연구를 수행한 바 있으며, 국외 연구로는 Kajiwara 등[6]이 피스톤 내부의 오일냉각 효과에 대해 분석한 사례가 있다. 하지만 기존 연구는 내연기관의 냉각수 유동에 관한 연구와 열전달에 대한 연구가 개별적으로 진

접수일: 2008년 10월 28일, 수정일: 2009년 1월 12일,

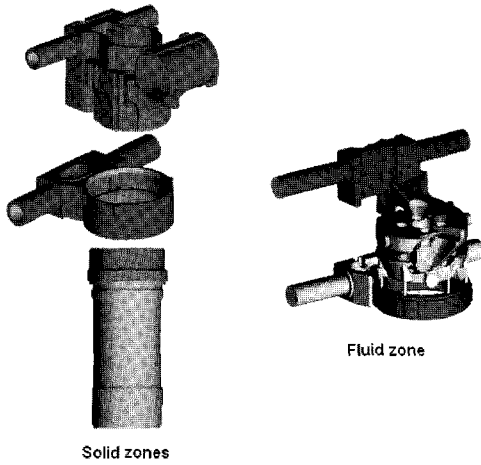
계재확정일: 2009년 1월 16일.

1 종신회원, 동아대학교 기계공학부

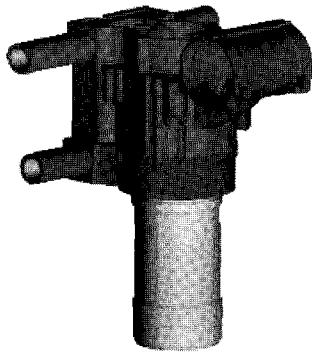
2 정회원, (주)디엔디이

3 STX엔진(주) 엔진기술연구소

\* Corresponding author, E-mail: yksuh@dau.ac.kr



(a)



(b)

Fig. 1 Schematic drawing of a cylinder head assembly; (a) solid and fluid zones; (b) assembled model for CFD

행되어져 왔으며 연소실을 구성하는 실린더 헤드 조립체에 의한 냉각수와 금속부가 접하는 영역에서의 유동 및 열전달에 대한 복합적 연구는 제한적으로 이루어져 왔다.

이에 본 연구에서는 내연기관 실린더 헤드 조립체 내부의 냉각수 유동 및 열전달 현상을 복합적으로 고려하여 상용 프로그램인 CFX를 이용하여 연구하였다. 특히 냉각수 뿐 아니라 공기 및 오일에 의한 열전달 효과를 함께 고려하여 실제 계측결과와의 비교를 도모하였다.

## 2. 모델 및 경계조건 처리

### 2.1 모델 및 격자생성

내연기관의 연소실을 감싸고 있는 실린더 헤드 조립체는 크게 실린더 헤드, 실린더 라이너와 고온 영역의 냉각을 위한

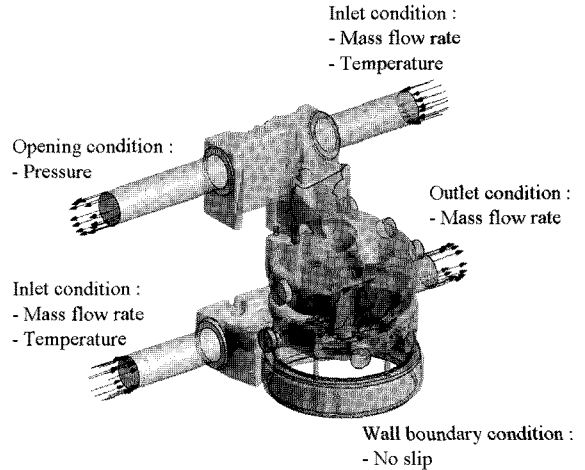


Fig. 2 Boundary conditions for the fluid zone

냉각자켓으로 구성되며, 이러한 고체 영역 조립에 의해 형성되는 냉각수 유로는 연소실에서 발생하는 열을 받아서 이송하는 냉각수가 흐른다. Fig. 1(a)는 이러한 실린더 헤드 조립체의 고체영역과 유체영역을 구분하여 보여주고 있으며 Fig. 1(b)는 각 부분이 조립된 상태의 고체와 유체가 혼합된 영역을 나타내고 있다.

수치해석을 위한 격자는 상용 프로그램인 ICEM CFD[7]를 사용하여 구성하였으며 격자는 계산영역 대부분을 비정렬 사면체로 구성하고 벽면에는 경계층유동 해석을 위해 육면체 격자를 적용하였다. 그리고 최종 격자개 정보는 Table 1과 같다.

### 2.2 영역별 경계조건 처리

#### 2.2.1 유동영역

본 연구에 사용된 작동유체는 물로 가정하였고 난류모델은  $k-\epsilon$  모델을 적용하였다. 그리고 정상상태 유동조건으로 수치해석을 수행하였으며 반복 계산을 통한 잔여오차는  $1 \times 10^{-4}$  이하가 되도록 계산하여 만족스러운 결과를 얻었다. Fig. 2는 수치해석을 위한 전처리 단계에서 설정한 유동장의 경계조건들을 나타내고 있다.

Table 1 Grid generation

Material	Name	No. of element	Remarks
Fluid	Fluid	4,700,000	-
Solid	Cylinder head	2,510,000	-
	Cylinder liner	540,000	Source domain included
	Water jacket	810,000	-
Total		8,500,000	-

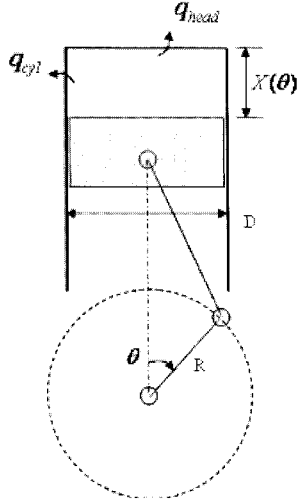


Fig. 3 Schematic drawing for calculation of heat flow in a cylinder liner

2.2.2 열전달영역

냉각수를 둘러싸고 있는 실린더 헤드 조립체의 고체영역 재질은 모두 열전도계수 60.5[W/mK]인 steel로 가정하였다. Table 2는 1차원 시스템 해석 결과로부터 얻어진 단일 실린더의 연소에 의해 발생하는 열 유입량의 값을 나타낸다.

실린더 헤드 조립체로의 열 유입은 연소실에서만 이루어지며, 실린더 헤드와 실린더 라이너 수직 벽면을 통한 열 유입, 그리고 피스톤을 통한 열전달로 구성된다. 이렇게 유입된 열은 실린더 헤드 조립체를 거친 뒤 냉각수로 전달된다. 추가로 실린더 내벽에서의 유힬오일에 의한 냉각도 상당하며, 또한 실린더 헤드 조립체 외벽에서의 공기에 의한 냉각도 수반된다.

먼저 연소실과 접하는 실린더 헤드에서의 열전달은 실제 연소실과 접하는 실린더 헤드의 면적을 통해 열이 균일하게 전달한다고 가정하고 전체 열 유입량(0.732[kJ/cycle])을 헤드의 전열면적으로 나누고 이것을 다시 단위 시간당으로 환산한 값을 열 유속 경계조건으로 적용하였다

실린더 라이너를 통한 열 유입량은 1 사이클 동안 변하고 또 라이너의 수직방향 위치에 따라서도 다르다. 본 연구에서는 1행정 동안 크랭크 각도  $\theta$ (혹은  $\hat{\theta}$ )에 따른 열 손실 데이터  $Q(\theta)$ [J/deg]가 주어지는 것으로 하고, 이를 바탕으로 다음 식을 이용하여 열 유속 양  $q_{in}(\theta)$ 을 구하였다.

$$q_{in}(\hat{\theta}) = \int_{\hat{\theta}}^{2\pi-\hat{\theta}} \frac{Q(\theta)}{\pi DX(\theta)} d\theta + \int_{2\pi+\hat{\theta}}^{4\pi-\hat{\theta}} \frac{Q(\theta)}{\pi DX(\theta)} d\theta \tag{1}$$

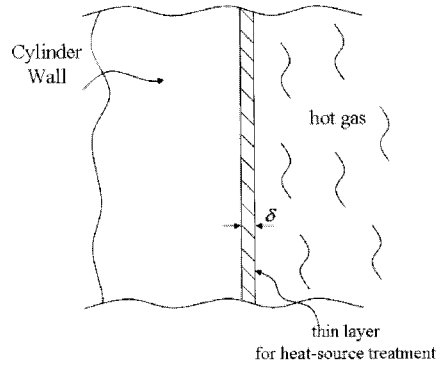


Fig. 4 Schematic diagram of thermal flow into a cylinder liner with a thin linear source

여기서,

$$X(\theta) = X_0 + R(1 - \cos\theta) \tag{2}$$

는 크랭크 각  $\theta$ 에 따른 피스톤 상면의 수직방향 위치 좌표,  $D$ 는 피스톤 직경,  $R$ 은 크랭크 반경, 그리고  $X_0$ 는 피스톤이 상사점에 위치하였을 때 실린더 헤드 하면과 피스톤 상면과의 거리를 나타낸다(Fig. 3 참조).

실린더 라이너 외벽에서는 공기 흐름에 의한 강제대류 방식의 냉각이 이루어진다고 가정하고 다음 식으로 구한 열유속 값을 적용하였다.

$$q_c = h_c(T_s - T_\infty) \tag{3}$$

여기서  $T_s$ 와  $T_\infty$ 는 고체 벽면과 외부 공기의 온도를 각각 나타내며, 열전달계수  $h_c$ 는 실린더 외벽을 평판으로 가정하고 난류경계층 이론을 적용하여 아래 식에 의해 구한다

$$h_c = \frac{kNu}{L} \tag{4}$$

여기서 너셀트 수  $Nu$ 는 프란틀 수  $Pr$ , 레이놀즈 수  $Re$ 를 사용한 난류경험식  $Nu=0.036Pr^{1/3}Re^{0.8}$ 으로 구한다[8].  $k$

Table 2 Heat input (at 1 cycle for 1 cylinder)

Element	Wall heat input [kJ/cycle]
Cylinder head	0.732
Cylinder liner	1.268
Piston	0.944

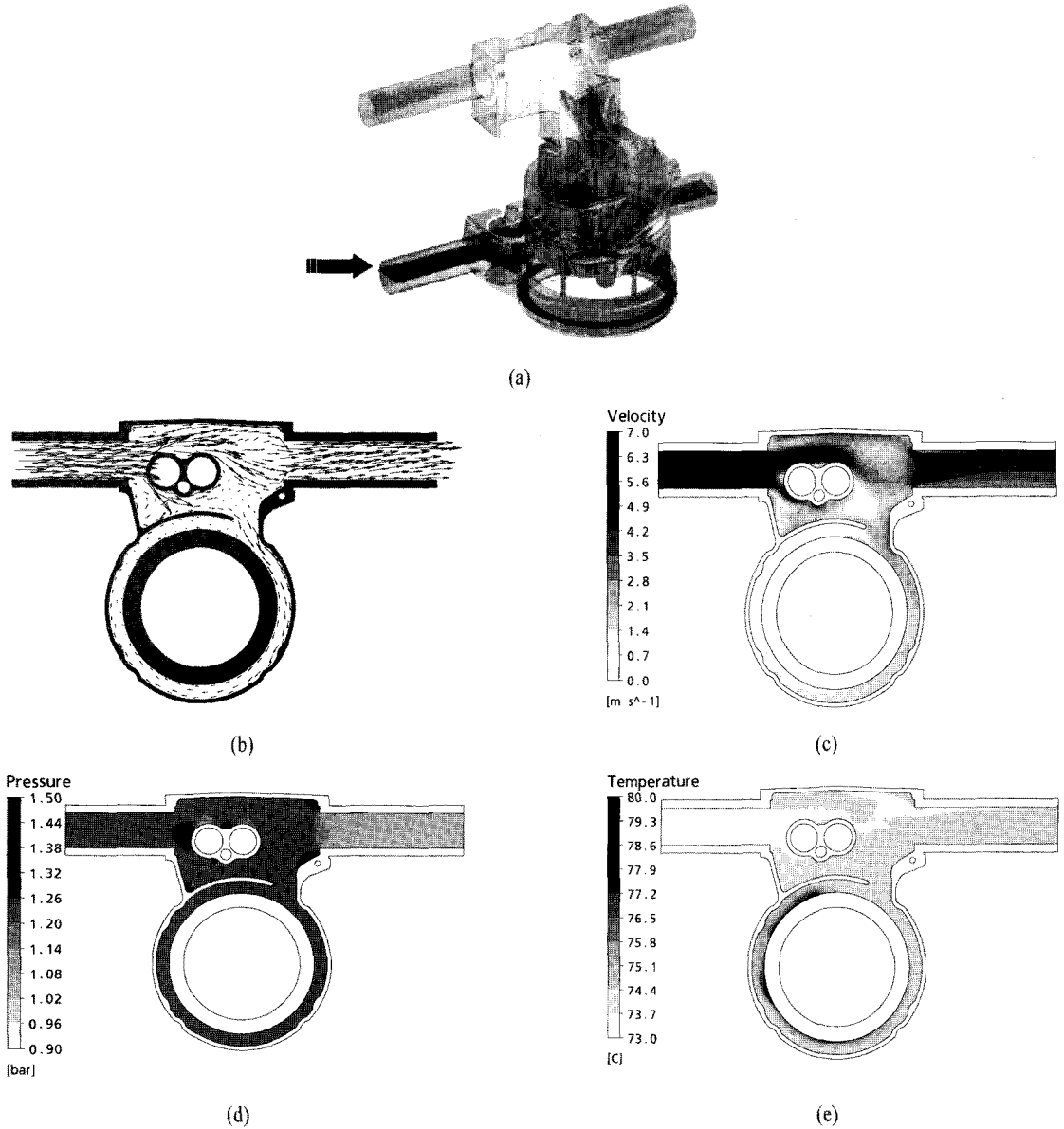


Fig. 5 CFD results on the central horizontal plane passing the lower pipe and cooling jacket; (a) position of the central plane; (b) distribution of velocity vector; (c) velocity magnitude; (d) pressure; (e) temperature (Max. velocity magnitude=6.76[m/s], Min. velocity magnitude=0.07[m/s])

는 공기의 열전도 계수,  $L$ 은 평균 선단(leading edge)으로부터 떨어진 거리이다.

피스톤의 원활한 왕복운동과 연소가스 역류를 방지하기 위한 목적과 더불어 엔진의 냉각을 위한 윤활 오일이 피스톤 측면으로부터 분출되고 이것이 실린더 내벽에 도포되는데 이에 따른 냉각효과도 국부적으로 상당하다. 이 양의 정확한 예

측도 매우 어려운데 본 연구에서는 단순히 아래 식에 의해 계산한다.

$$q_{oil} = h(T_w - T_{oil}) \tag{5}$$

여기서 열전달계수  $h$ 는 실린더 라이너 내벽 위치에 따른 함

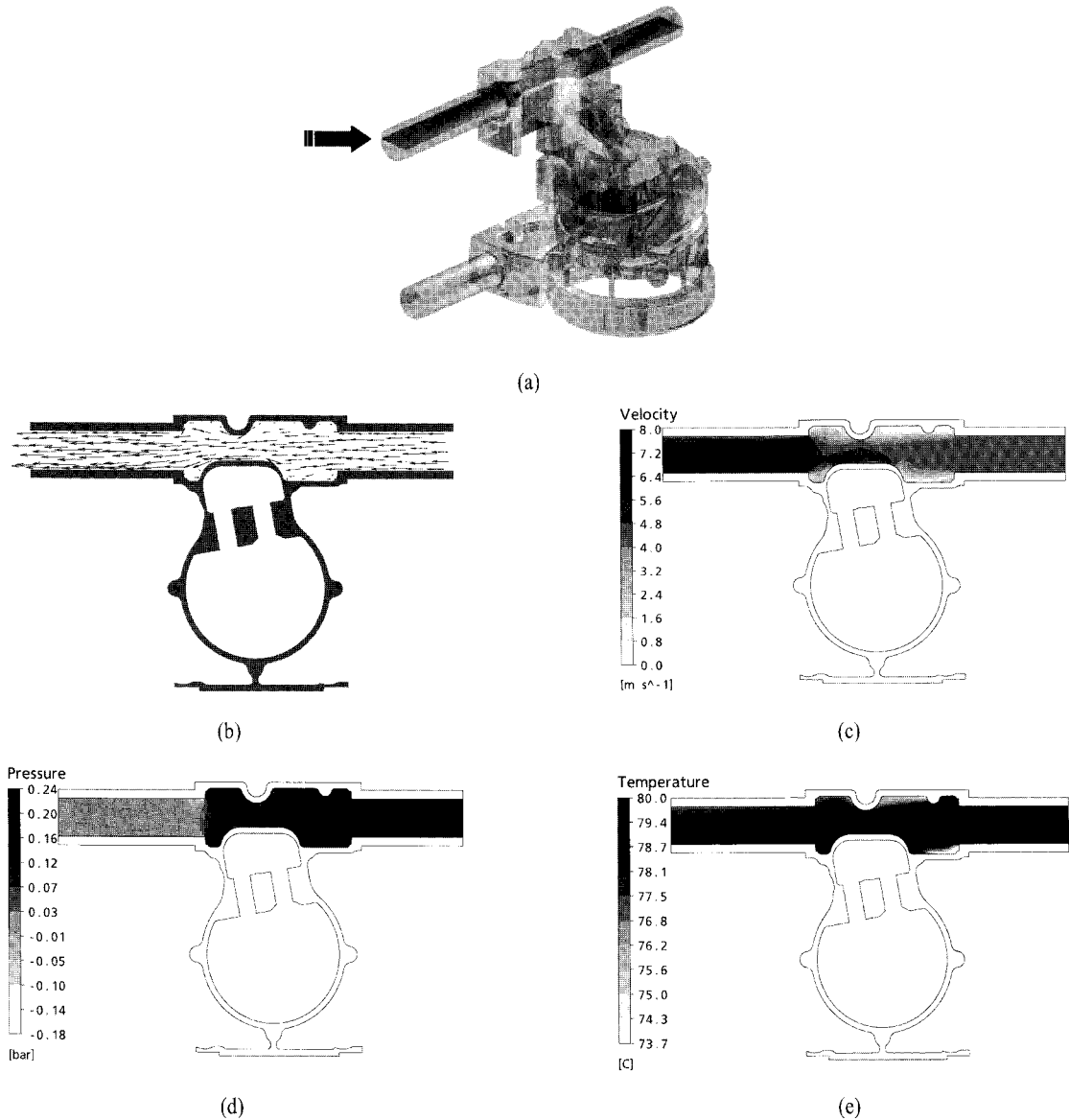


Fig. 6 CFD results on the central horizontal plane passing the upper pipe; (a) position of the central plane; (b) distribution of velocity vector; (c) velocity magnitude; (d) pressure; (e) temperature (Max. velocity magnitude=7.19[m/s], Min. velocity magnitude=0.3[m/s])

수로 구하게 되며 여기서는 냉각 오일이 일시에 접촉한 시점부터 발생하는 비정상 열전도 현상으로 가정하고 이에 대한 이론식을 적용하여 열전달계수를 구하였다.

$$h = 2k \sqrt{\frac{\Delta t}{\pi \alpha}} \frac{1}{(\Delta t)_t} \quad (6)$$

여기서,  $k$ 와  $\alpha$ 는 오일의 열전도 계수와 열확산 계수를 각각

나타내며,  $(\Delta t)_t$ 는 크랭크의 회전 주기,  $\Delta t$ 는 실린더 내면의 각 지점(좌표  $y$ 로써 표현)이 크랭크 1회전 동안 오일과 접촉하는 시간을 나타낸다.

마지막으로, 실린더 라이너 내벽을 통한 연소가스의 열 유입과 윤활 오일에 의한 열 냉각이 한 사이클 전체를 기준으로 볼 때 동시에 이루어지므로 이에 대한 경계조건의 처리가 문제가 된다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 열 유입의 조건을 실린더 라이너 내벽의 극히 얇은 부분에 대해 소스

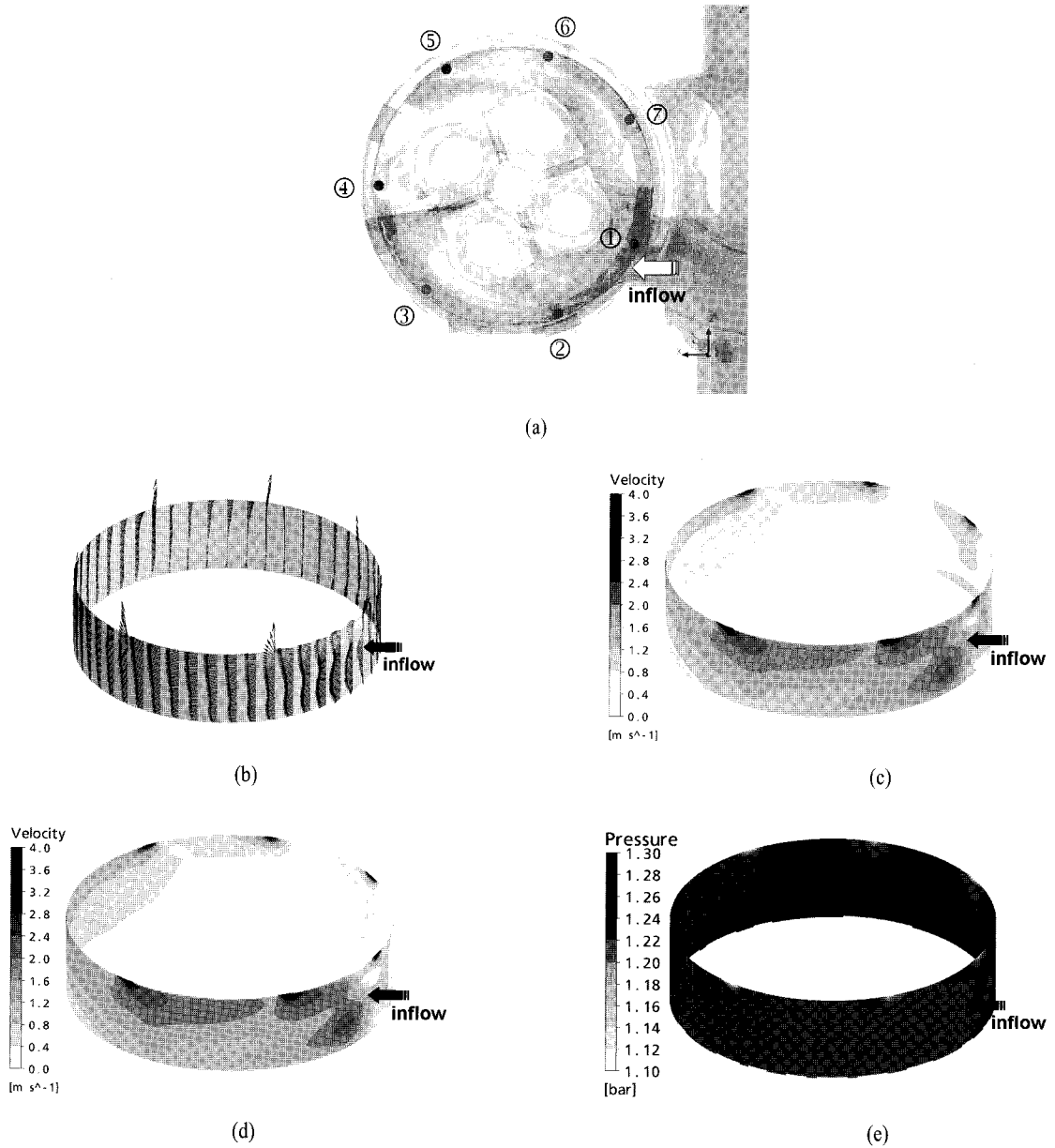


Fig. 7 CFD results on the central circular plane passing the cooling jacket; (a) position of the central plane; (b) distribution of velocity vector; (c) velocity magnitude; (d) pressure; (e) temperature (Max. velocity magnitude=4.89[m/s], Min. velocity magnitude=0[m/s])

(source)로 처리하였다. Fig. 4는 이러한 개념을 나타내고 있다. 비록 연소가스가 고온이지만 극히 짧은 시간 동안에 열전달이 이루어지므로 실린더 내벽이 열을 흡수하는 층도 매우 얇을 것으로 가정할 수 있기 때문에 이러한 가정은 타당하다고 판단된다. 실린더 라이너 내벽의 임의의 두께  $\delta$ 의 체적을 생성하고 식 (1)로 구한 열유속을  $\delta$ 로 나눈 양을 이 층에서의 소스로 적용하였다.

경계조건 적용을 위한 출구온도 예측을 위해 단일 냉각 시스템에서 연소가스의 열량이 모두 냉각수에 의해 냉각된다고 가정하면 열역학 제 1법칙에 의해 유입된 열량  $Q_{in}$ 은 냉각수에 전달된 열량  $Q_{out}$ 과 같다는 식이 성립한다. 이 때 실린더 헤드와 실린더 라이너 내벽에 가해진 열량은

$$Q_{in} = (1.268 + 0.732) \times 10 = 20 [kW] \quad (7)$$

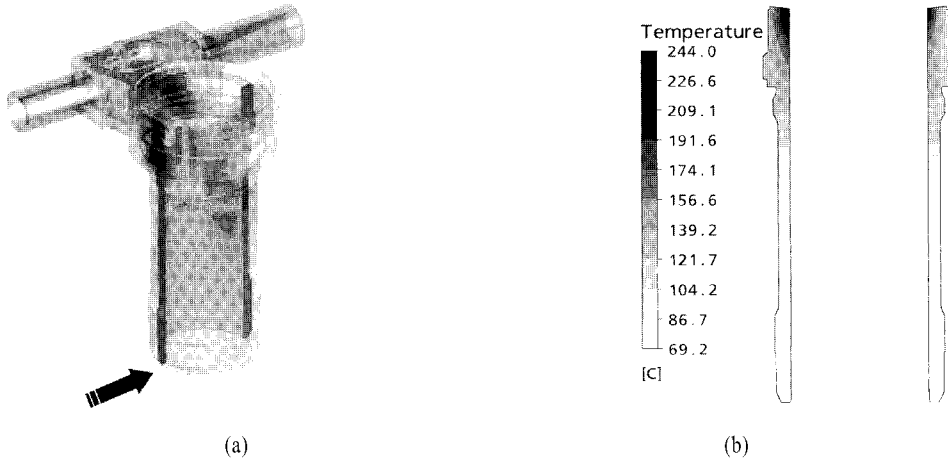


Fig. 8 Temperature distribution on a vertical plane across the cylinder liner; (a) position of the plane; (b) temperature plot

이고 냉각수가 받은 열량은

$$Q_{out} = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) = 2.324 \times 4181.7 \times (T_{out} - 346.85) \quad (8)$$

이므로 냉각수 최종 출구온도는 75.76[°C]로 예측 가능하다.

### 3. 수치해석 결과 및 고찰

Fig. 5(a)는 수치해석 결과를 제시하기 위해 선택한 하부 관로의 중심축을 통과하는 수평단면의 위치를 나타낸 것이다. 이 단면에서 속도벡터 분포(Fig. 5(b) 참조)를 보면 하부 입구를 통해 유입된 유체는 장애물 윗부분과 아랫부분으로 나뉘어 진행한다. 윗부분의 유체는 하부 출구로 나아가기 때문에 속도가 크고 유량도 많은 반면(Fig. 5(c) 참조) 아랫부분 유체의 대부분은 냉각 자켓 내부로 유입되고 일부는 윗부분으로 흐르는 유체와 합류하여 와류를 생성하고 있다. 또한 냉각 자켓으로 유입된 유체가 원주방향으로 회전하면서 진행할 때 흐름이 점차 느려지는 것은 자켓의 원주방향 상면에 위치한 노즐을 통해 점차적으로 유체가 빠져나가기 때문이다. 압력분포는 Fig. 5(d)에 제시되어 있는데, 장애물 앞에서 유동의 정체로 인해 압력이 일시적으로 높고 그 외에는 그다지 주목할 만한 특징이 나타나지 않고 있다. 온도분포 Fig. 5(e)를 보면, 냉각 자켓 입구에서는 유체의 속도가 빨라 실린더 라이너로부터 받은 열을 빨리 전달하지만 냉각 자켓 입구와 먼 위치에서는 유속이 낮고 또 열이 정체되어 냉각수 온도가 높은 것을 알 수 있다.

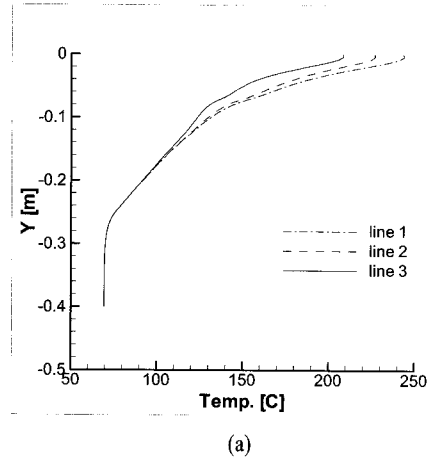
Fig. 6(a)는 상부 관로 중심축을 지나는 수평단면의 위치를 나타낸 것이다. 이 단면에서의 속도벡터와 크기 분포(Fig.

6(b), 6(c) 참조)를 보면 우측 입구로부터 유입된 유체는 아래 쪽을 통해 올라온 유체와 합쳐지고 이 후 관로 내부 형상으로 인해 한 쪽으로 치우친 유동의 형태를 나타낸다. Fig. 6(d)의 압력은 관로 입구부근이 높고 출구 방향으로 갈수록 낮게 나타나고 있으며 특히 관로 면적변화가 심하게 발생하면서 압력 강하가 현저하게 나타난다. 출구의 온도 계산결과(Fig. 6(e) 참조)는 앞의 2절 끝에서 제시한 열균형 원리에 따른 계산결과와도 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

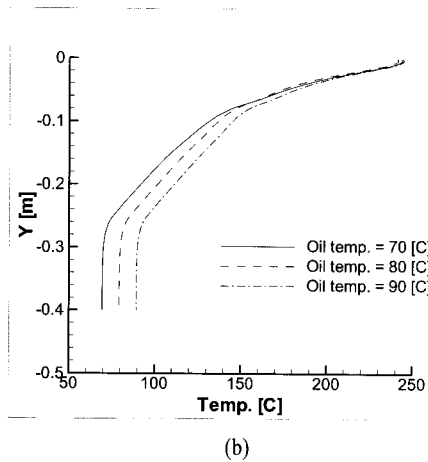
Fig. 7(a)는 냉각자켓 내부의 유동 및 열전달 특성 확인을 위한 원주 단면 위치를 숫자로 구분하여 나타낸 것이다. 속도 벡터 및 절대 속도 크기의 포를 나타내는 Fig. 7(b), 7(c)를 보면 입구를 통해 유입된 유체는 시계방향으로 자켓 통로를 돌면서 각각의 노즐에 공급되며 이에 따라 하류로 갈수록 속도가 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 압력분포 Fig. 7(d)를 보면 상부 헤드영역으로 연결되는 노즐의 입구를 제외하면 전체적으로 거의 균일한 분포를 보이고 있다. 노즐 입구에서는 빠른 유속으로 인해 상당한 압력강하가 발생하고 있다. 온도 분포 Fig. 7(e)를 보면, 자켓 입구에서는 빠른 유체 속도로 인해 열전달이 활발하여 온도가 낮고 시계방향으로 나아가면서 조금씩 온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 5번 노즐 위치의 아랫부분에서 온도가 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8(a)는 실린더 라이너에 수직인 축단면 위치를 나타낸 것이다. Fig. 8(b)의 온도분포에 의하면 실린더 라이너 상단에서 최고 온도가 나타나고 있으며 최저 온도는 윤활 오일의 온도와 같음을 확인할 수 있다.

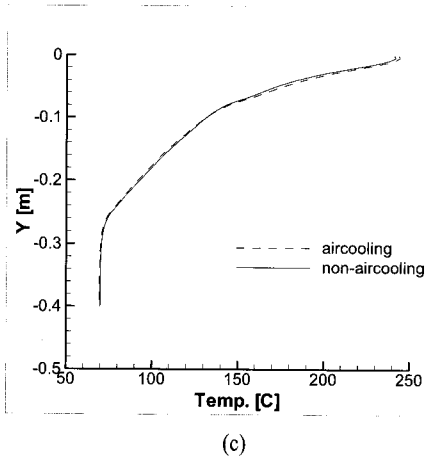
Fig. 9(a)는 연소가스에 의해 직접 열을 받는 실린더 내벽에서 상하로 3개의 선을 긋고 각 선에서의 위치 변화에 따른 온도 분포를 나타낸 것이다. 온도는 상부에서 가장 높고 아래



(a)

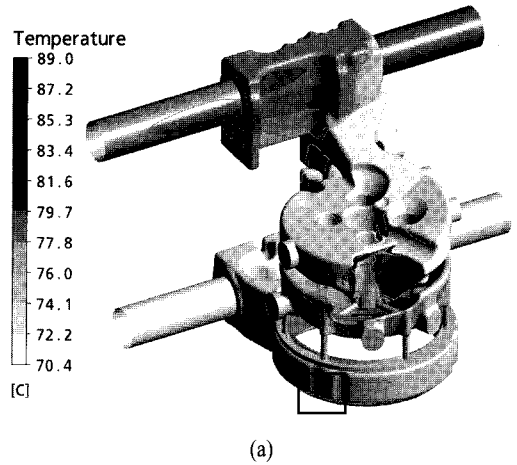


(b)

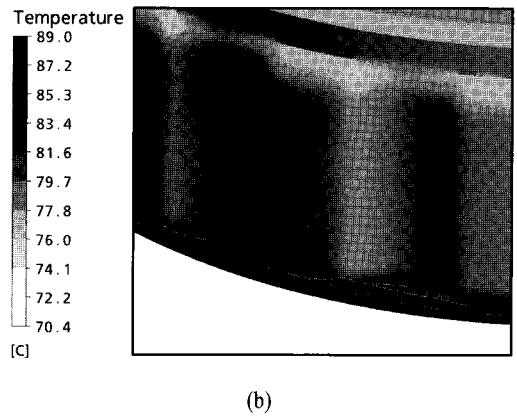


(c)

Fig. 9 Temperature distribution along vertical lines on the inner surface of the cylinder liner; (a) dependence on 3 different lines; (b) dependence on the oil temperature; (c) dependence on the air cooling



(a)



(b)

Fig. 10 Temperature distribution on the external surface of the cylinder head assembly; (a) overall surface-temperature distribution; (b) zoom-in of the local surface where the maximum temperature is attained

로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보이는데 이는 연소실 내 연소에 의한 열이 1 사이클 동안 상부에서 가장 오랫동안 전달되고 하부로 내려갈수록 전달되는 전달되는 시간이 짧기 때문이다. 또한, 피스톤에서 공급되는 윤활 오일이 실린더 벽면과 접촉하는 기간은 하부에서 길고 상부로 갈수록 짧기 때문에 오일에 의한 냉각은 아래로 갈수록 더 효과적이라는 사실로부터 그 결과를 이해할 수 있다. Fig. 9(b)는 윤활 오일 온도에 따른 냉각성능 비교를 위한 온도분포 계산결과를 나타낸 것이다. 냉각 자켓 부근에서는 그다지 큰 차이가 보이지 않으나, 실린더 하부로 내려올수록 온도 차이가 커지며 각 경우에서 설정한 윤활 오일 온도에 접근함을 알 수 있다. Fig. 9(c)는 식 (3)에 의해 구해진 열전달 계수를 적용하여 실린더 라이너 외벽 면에서 25°C 외부공기에 의한 냉각효과 유무에 따른 해석결과를 나타낸 것이며 실제 공기에 의한 냉각효과



는 윤활 오일에 의한 냉각 효과에 비해 미미하여 온도분포에 거의 영향을 주고 있지 않음을 알 수 있다.

Fig. 10(a)는 유동장 전체의 온도분포를 나타낸 것이다. 냉각 자켓과 실린더 헤드를 통과한 냉각수는 전체적으로 일정한 온도분포를 유지하고 있으며 상부관로에서 높은 온도를 나타내는 이유는 수치해석 상부 입구 유입온도를 다소 높게 가정하였기 때문이다. 한편, 유동장 전체에서 최고 온도는 Fig. 10(b)에서 확인이 가능하며 이 위치는 냉각 자켓 입구와 멀리 떨어진 5번 노즐 부근의 바닥부분으로 유로가 좁고 속도가 낮아 유체가 정체되어 높은 온도를 나타낸다고 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

내연기관의 실린더 헤드 조립체의 냉각성능 예측을 위해 수치해석 기법을 사용하여 유동과 열전달 특성을 조사하였다. 실제 엔진의 실린더 헤드 조립체 구조는 매우 복잡하며 모든 요소를 고려한다는 것은 거의 불가능하므로 적절히 단순화시킨 구조를 대상으로 고체-유체 상호작용에 의한 연성해석을 수행하였다. 단순화시킨 구조임에도 불구하고 수치해석용 모델은 기하학적으로 여전히 복잡하여 상당한 격자 수를 필요로 하였으며 이에 따라 컴퓨터를 병렬 연결한 상태에서 계산을 수행하였음에도 불구하고 많은 계산시간이 요구되었다.

본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 실린더 라이너 내 벽면을 통한 열전달은 고온 연소가스에 의한 열유입과 피스톤 오일 홀에서 공급되는 오일에 의한 열유출이 서로 다른 시간대에서 이루어지므로 이를 효과적으로 처리하기 위한 방안으로 실린더 라이너 고체표면 근처의 얇은 층에서 소스(source)가 존재한다는 가정을 도입하였으며 이와 동시에 오일에 의한 냉각은 오일과 실린더 라이너 벽면과의 열전달 계수를 사용하여 처리하여 만족스러운 결과를 얻었다.

- (2) 오일을 통한 열유출을 처리하기 위해 비정상 열전도 이론을 사용하여 열전달계수를 구하였다.
- (3) 실린더 라이너 외벽에서의 공기유동에 의한 냉각은 실린더 라이너 내벽에서의 윤활 오일에 의한 냉각에 비해 미미하며 결과에 큰 영향을 주지 않는다.
- (4) 오일에 의한 냉각효과는 의외로 컷으며, 따라서 엔진 냉각 장치의 설계에서 이를 중요한 인자로 고려할 필요가 있다.

#### 참고문헌

- [1] 2004, 전문수, 황용하, “엔진 냉각 시스템 개선에 관한 실험적 연구,” *한국액체머립화학회지*, Vol.9, No.4, pp.77-82.
- [2] 2005, 신창훈, 이승희, 박원규, “엔진 냉각시스템 성능에 측에 관한 수치해석적 연구,” *대한기계학회 추계학술대회*
- [3] 2004, 박태식, 김경준, 민병두, “엔진 냉각 시스템 유로 개선의 최적화를 위한 실험적 연구,” *한국자동차공학회 추계학술대회 논문집*, pp.463-468.
- [4] 2003, 최갑승, 김창호, 이동제, 김형만, 이동호, “대형 디젤 엔진의 연소실 평균온도 측정에 관한 연구,” *한국자동차공학회 추계학술대회 논문집*, pp.203-208.
- [5] 2008, 서용권, 허성규, 정성식, “선박용 디젤엔진의 냉각수 유동에 대한 수치해석적 및 이론적 연구,” *한국마린엔지니어링학회지*, 제32권, 제1호, pp.119-130.
- [6] 2002, Kajiwara, H. et al., "An analytical for prediction of piston temperature distribution in diesel engines," *JSAE, Review* 23, pp.429-434.
- [7] 2007, ANSYS ICEM CFD/AI\*Environment 11.0 SP1, ANSYS, Inc., Release date Aug. 16.
- [8] 2002, Kreith, F. and Bohn, M.S., *Principles of Heat Transfer - 6th edition*, Thomson, p.269.
- [9] 2004, Woodyard, D., *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines - 8th edition*, Elsevier, p.269.