

DOHC 가솔린기관의 열부하대책을 위한 실린더헤드 및 국소 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동해석

Visualization of Coolant Flow in the Cylinder Head and Exhaust Valve Bridge for the Countermeasure of Thermal Loading in the DOHC Gasoline Engine

위 신 환*, 이 종 태**
Shinwhan, Wei, Jongtai, Lee

ABSTRACT

As the preliminary stage for the countermeasure of thermal loading in miller cycle engine, coolant flows in the cylinder head of base engine including exhaust valve bridge were visualized and analyzed by using PIV technique. It was found that low coolant velocity regions were around exhaust valve bridge, around which stagnation of the coolant flow was observed due to the complex geometry configuration of water jacket. And velocity variation between each cylinder was remarkable. For the countermeasure of these, it is necessary to enhance coolant flow around exhaust valve bridge and to improve the deviation of coolant flow between each cylinder.

주요기술용어 : Visualization of coolant flow(냉각수 유동가시화), Exhaust valve bridge(배기밸브 브릿지), Particle image velocimetry(PIV기법), Flow pattern(유동양상), Cylinder head(실린더헤드)

1. 서 론

저압축 고폽창비 기관의 열적설계를 위한 기초 연구로, 저자들은 base기관이 되는 DOHC 가솔린 기관 연소실 각부의 벽표면 순간온도 및 순간열 유속을 측정하였다.¹⁻³⁾ 그 결과, 실린더헤드의 배기밸브 브릿지, 피스톤의 탑링 그루브 및 실린더 라이너의 siamese영역에서 순간온도 및 열유속의 크기 및 변동치가 다른 지점에 비하여 현저히 큰 것이 해석되었다. 또한 일부 임계치에 접근하는

경우가 있어 치명적인 장해를 가져올 수 있으므로 이에 대한 대책이 요구되는 것을 밝힌 바 있다.

연소실 벽면의 열부하는 벽면두께, 냉각수의 온도 및 유동형태에 주로 좌우된다. 벽면두께 감소에 의한 열부하 저감 방법은 구성품의 구조성 및 강도와 직결되므로 한계가 있다. 냉각수 온도 저감을 통한 열부하 저감방법은 라디에이터 및 냉각팬 등 냉각시스템의 성능 및 용량증대를 필요로 한다. 따라서 열부하 저감 방향은 냉각수 유동 형태를 개선하거나 유동을 강화하는 방향으로 진행되어야 하며 이를 위해 먼저 냉각수의 유동

* 회원, 성균관대학교 대학원

** 회원, 성균관대학교 기계공학부

양상 및 유동특성의 파악이 요구된다.

통상 기관 각부의 냉각수 유동에 관한 기존의 연구방법^{4,9)}은 냉각수에 오일, 염료 등과 같은 추적입자를 유입시켜 일반광원을 사용하여 직접 촬영하는 것이 일반적이다. 이는 빛의 산란이 적은 상부의 유동만이 가시화되고 공간적으로 중첩되므로 열부하 해석에 필요한 벽면 근처의 냉각수 유동속도 및 분포 등의 유동특성을 정량적으로 파악하기에는 미흡하다.

레이저를 이용한 유동가시화 기법인 PIV (Particle Image Velocimetry) 기법은 열부하 대책 확립에 필요한 국부적인 재순환 및 유동정체와 같은 정성적인 유동양상 뿐만 아니라, 각 위치에 따른 유동속도 및 분포 등을 정량적으로 상세히 해석할 수 있다. 그러므로 냉각수 유동의 PIV 계측은 기관 냉각계의 문제점 및 원인을 파악하고 개선 방향을 설정하는데 효과적이라 판단된다.

그러나 실린더헤드의 냉각수 통로는 기하학적 형상이 복잡하여 광원의 투사 및 촬영이 어려워, 실린더 헤드내 특히 열부하가 큰 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동을 PIV에 의해 해석한 결과는 명확히 보고되고 있지 않는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 저압축 고폽창비 기관에서 열적 장해가 발생될 것으로 예측된 연소실 각부의 열부하 대책을 마련하기 위해, 먼저 base기관인 DOHC 가솔린기관의 실린더헤드내 냉각수유동을 PIV에 의해 가시화하는 기법을 제시하였다. 그리고 냉각수유동의 가시화 결과로부터 실린더헤드 각부의 유동특성을 정성적 및 정량적으로 해석하고 이를 바탕으로 기존 냉각계의 문제점을 파악하였다. 해석에는 DOHC형상을 갖는 기관의 실린더헤드에서 열부하가 가장 큰 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동특성에 관심을 집중하였다.

2. 실린더헤드 및 밸브브릿지부의 PM 유동가시화 방법 및 실험장치

2.1 실린더헤드 각부의 유동가시화 방법

1) 실린더헤드부

Fig. 1은 실린더헤드의 냉각수 유동가시화장치를 나타낸 것이다. 실린더헤드의 상부에는 최대의 관측면적을 확보하고자 실린더헤드의 상부를 물통로 위치까지 절단하고 두께 10mm의 아크릴재질로 가시화창을 설치하였다. 흡기쪽 냉각수 통로내에는 레이저 시트빔이 열부하가 큰 스파크플러그 및 배기쪽을 통과할 수 있도록 폭 10mm, 두께 1.5mm, 길이 420mm의 반사경을 45°로 설치하였다. 스파크플러그의 뒤쪽에도 광원이 투사될 수 있도록 스파크플러그의 보스부를 제거하고 외경 30mm, 두께 2mm의 원통형 유리를 삽입하였다. 광원이 원통형 유리를 통과하는데 따른 굴절은 원통형 유리내에 냉각수와 같은 매질을 충전시켜 보정하였다. 또한 냉각수통로의 내면에는 광원의 난반사 방지제를 도포하였다.

실린더 헤드부 냉각수의 전반적인 유동은 레이저의 시트빔을 반사경에 투사하여 가시화하고자 하는 임의 위치에 반사시키고 실린더헤드 상면의 가시화창을 통해 가시화 하였다.

2) 배기밸브 브릿지부

배기밸브 브릿지부는 실린더 헤드에서 열부하가 가장 큰 곳으로 이 지점의 냉각계에 대한 상세한 유동특성 파악이 필요한 지점이다. 배기밸브 브릿지 부근의 냉각수통로는 스파크플러그의 보스부와 2개의 밸브포트 및 시트 사이에 위치하여 협소하므로 실린더 헤드부의 가시화 방법으로는 레이저 시트빔이 통과할 수 있는 영역이 제한된다. 따라서 가시화영역을 확보하고 다차원적으로 유동을 가시화 할 수 있도록 스파크플러그의 보스부에 해당하는 원통형 유리내 타원형의 반사경을 설치하여 레이저 시트빔을 입사시키는 방법을 고안하였다.

Fig. 2는 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동가

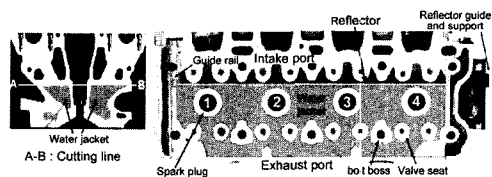


Fig. 1 Coolant flow visualizing parts in the cylinder head

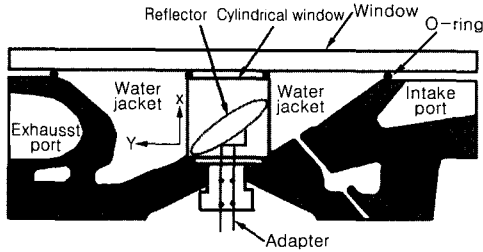


Fig. 2 Coolant flow visualizing part around exhaust valve bridge

시화 장치를 나타낸 것이다. 타원형의 반사경은 브릿지부 유동의 공간적인 분포를 파악하고자 모든 방향 및 위치를 가시화 할 수 있도록 회전 및 높이 조절이 가능하게 하였다. 상기의 반사경은 각 배기밸브 브릿지부의 유동양상 및 유동편차를 비교하기 위해 각 실린더마다 설치하였다.

배기밸브 브릿지부의 x축 단면의 유동은 레이저 시트빔을 원통형 유리내 반사경에 반사시켜, 가시화 하고자 하는 임의 위치에 투사한 후 실린더헤드의 관측창을 통해 가시화 하였다. x축 가시화 단면은 냉각수의 횡류를 공간적으로 파악할 수 있도록 연소실 벽면과 근접한 브릿지부 냉각수 통로의 하부에서 상부까지 10mm 간격의 세 단면으로 하였다. y축 단면의 유동은 레이저 시트빔을 실린더헤드에 부착된 관측창 쪽으로부터 투사시킨 후 원통형 유리내 반사경에 나타난 유동화상을 가시화 하도록 하였다. y축 가시화 단면은 냉각수의 상승류 및 하강류를 각 위치별로 파악할 수 있도록 브릿지부의 말단인 밸브 시트 부근, 스파크 플러그 부근과 그 중간 지점인 15mm간격의 세 단면으로 하였다.

2.2 실험장치

2.2.1 냉각수 유동가시화 장치

Fig. 3은 냉각수 유동가시화장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 크게 실린더 헤드부의 냉각수 유동가시화장치, 냉각수 및 추적입자 순환장치, PIV 시스템으로 구성된다.

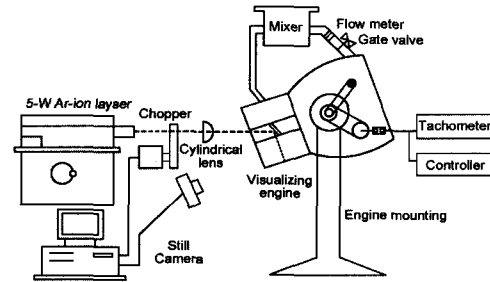


Fig. 3 Experimental setup for coolant flow visualization by PIV

실린더 헤드부의 냉각수 유동가시화장치에는 실린더헤드 가시화부, 실린더블록, 물펌프로 구성된다. 냉각수 유동을 실제 엔진에서의 동일하게 모사시키기 위하여 기관의 기존 물펌프를 사용하였으며, 1.3PS 용량의 DC 모터를 사용하여 회전수를 조절하였다. 냉각수출구에 게이트밸브와 전자유량계(S31-LM)를 설치하여 기관운전 조건에 따라 유량을 변화시킬 수 있도록 하였다. 유량은 냉각수 온도를 일정하게 제어하기 위해 직수로 공급하여 수행한 연소실 벽표면온도 측정실험에서 얻은 각각의 기관운전조건에 따른 유량추정치를 적용시켰다.

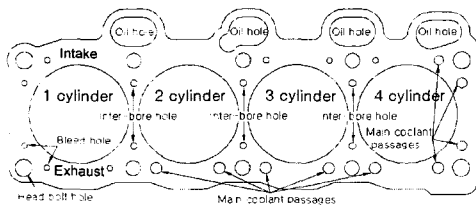
냉각수 및 추적입자 순환장치는 내부에 설치된 교반기에 의해 추적입자의 퇴적을 막고 냉각수와 입자가 균등하게 섞이게 한다. 추적입자는 평균지름 150 μ m, 비중 1.1의 PVC입자를 사용하였다.

PIV 시스템은 레이저 광원 및 광학계, 화상취득 및 처리장치로 구성된다. 광원은 5W Ar-ion 레이저(Spectra-Physics, Model 168)를 사용하였다. 연속광의 단속에는 스테핑모터를 이용한 단발구동형의 chopper를 사용하였다. 각각의 실험에서 최적의 유동화상을 취득하기 위하여 chopper의 회전속도 및 camera에 대한 chopper의 delay시간을 냉각수 유동속도에 따라 제어하였다. 유동장의 촬영에는 스틸카메라(F-801s, Nikon)와 zoom렌즈 및 bellows를 사용하였다. 촬영된 유동장의 화상은 image scanner에 의해 컴퓨터에 입력하고 처리하였다.

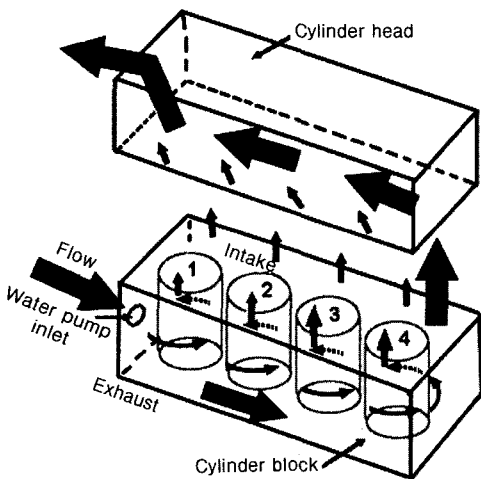
2.2.2 실험기관의 헤드 개스킷 형상 및 냉각수 공급방식

실린더 헤드내 냉각수의 유동은 냉각수 유량 뿐만 아니라 헤드 개스킷의 물통로 형상 및 냉각수 공급방식에도 크게 영향을 받는다. 본 연구에 사용된 엔진의 헤드 개스킷의 물통로 형상과 냉각수 공급방식을 고려한 기관내 냉각수의 주요 동 양상을 Fig. 4에 나타낸다.

Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 헤드 개스킷의 주 냉각수 통로는 열부하가 큰 배기쪽에 주로 위치하며, 두 실린더가 인접한 siames부의 냉각을 위해 inter-bore hole이 설치되어 있으며, 국부적인 유동정체를 완화하기 위해 상대적으로 작은 물통로인 bleed hole이 존재함을 볼 수 있다. 실린더별 주냉각수 통로는 4번 실린더에 집중되어 있음을 볼 수 있다.



(a) Hole pattern of the cylinder head gasket



(b) The aspect of main coolant flow

Fig. 4 Hole pattern of the cylinder head gasket and the aspect of main coolant flow

본 연구에 사용된 기관의 냉각수 공급방식은 주냉각수 통로가 4번 실린더에 집중되어 있는 series flow 방식이다. 냉각수의 주흐름은 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같이 semi-open deck의 구조를 갖는 실린더블록의 배기쪽에 약간 치우쳐서 설치된 물펌프로부터 실린더블록을 1번에서 4번 실린더로 차례로 통과한 후 실린더헤드에서 그 역순으로 통과하여 1번 실린더헤드의 출구로 빠져나간다. 각 실린더간 상승류 지점 즉, 배기쪽 주냉각수 통로, inter-bore hole 및 bleed hole을 통해 일부의 냉각수가 직접 실린더헤드로 유입된다.

3. 냉각수 유동양상의 해석

3.1 실린더헤드의 냉각수 유동양상

1) 유동가시화 결과

실린더 헤드내 전반에 걸친 냉각수 유동을 PIV에 의해 가시화하고 일부 지점의 경우 직접관찰에 의해 그 경향을 연소실 중앙부와 배기쪽을 중심으로 전 실린더에 대해 나타낸 것이 Fig. 5이다. 그림에서 왼쪽이 1번 실린더이며 '○' 표시는 실린더 블록에서 헤드로 연결된 inter-bore hole로 상승류가 발생하는 지점을 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 실린더헤드내 냉각수의 유동양상은 Fig. 4(b)의 주유동 양상과 동일하게 4번에서 1번 실린더로 유동이 진행되며 각 실린더별로 거의 동일한 경향을 보인다. 연소실 중앙부의 냉각수 유동은 스파크 플러그의 보스부를 중심으로 흡배기쪽으로 분기되어 흐르는 경향이다. 배기밸브 브릿지부의 유동은 Inter-bore hole과 배기쪽에 위치한 주냉각수 통로를 통해 유입된 상승류의 일부가 배기밸브 시트부를 선회하여 브릿지부로 유입되면서 형성되며, 브릿지부로 유입된 유동은 스파크 플러그 주변의 냉각수 유동에 흡수되는 양상을 보인다.

전반적인 유동의 크기는 4번 실린더에서 1번 실린더로 갈수록 실린더 블록으로부터 유입되는 냉각수 유량증대로 인해 커지며, 흡배기쪽의 경우 고온의 배기포트가 위치한 배기쪽의 유동

속도가 흡기쪽에 비해 현저히 큼을 보였다.

Fig. 6은 열부하가 큰 스파크플러그 및 배기밸브 브릿지 부근의 유동을 상세히 살펴보기 위해, 3번 실린더의 냉각수유동을 가시화 한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 냉각수 유량은 직수를 사용한 기관실험에서 기관회전수 1500rpm과 50% 기관부하의 유량측정치를 대표치로 적용한 상당 유량이다.

가시화 사진에서 흰 선은 냉각수의 유동속도 및 방향을 나타내는 추적입자의 궤적이다. 냉각수 유동방향은 대체적으로 스파크플러그 보스부를 중심으로 4번 실린더와 인접한 오른쪽에서 2번 실린더와 인접한 왼쪽으로 향하는 유동양상이다. 흰 선은 스파크플러그를 중심으로 왼쪽의 2번 실린더쪽이 오른쪽의 4번 실린더쪽보다 블록으로부터의 상승류 증가에 따른 유량증가로 전반적으로 긴 경향을 보인다. 배기밸브 포트 및 시트부 근처의 경우 냉각수 통로의 기하학적 형상의 복잡성으로 인해 다른 지점에 비해 흰 선의 길이가 짧고, 일부 지점에서는 거의 점의 형태로

나타남을 볼 수 있다.

2) 속도벡터 및 등속도분포

냉각수의 유동속도 및 방향을 정량화하기 위해 상기 가시화결과로부터 구한 속도벡터 및 공간적인 등속도분포를 나타낸 것이 Fig. 7이다. 여기서 등속도분포는 PIV 계측결과 얻어진 각각의 유속을 일정한 간격의 그리드를 생성하고 각 격자점에 유속을 표시한 후, 2차원 선형데이터 보간법을 이용하여 구하였다.

속도벡터에서 보는 바와 같이 냉각수의 주유동 방향은 전술한 바와 같이 주로 스파크플러그의 오른쪽에서 왼쪽으로 향하는 양상이며, 주유동 방향으로 갈수록 유동속도가 증가하는 경향이다. 실린더블록으로부터의 냉각수 유입에 의해 형성된 배기밸브 시트부 및 브릿지부의 유동은 스파크플러그 주위의 주유동에 흡수되는 양상을 보인다.

등속도 분포에서 보는 바와 같이 스파크플러그를 중심으로 2번 실린더와 인접한 왼쪽의 유동이 4번 실린더와 인접한 오른쪽 유동에 비해 상대적으로 매우 빠르는데, 이는 실린더간 유동이 불균일함을 보이는 것이다. 또한 실린더헤드에서

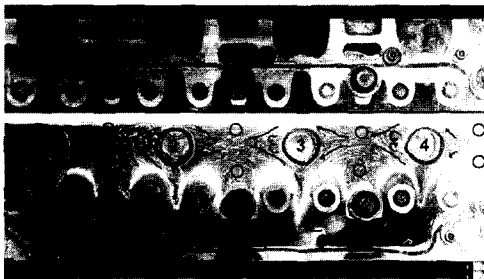
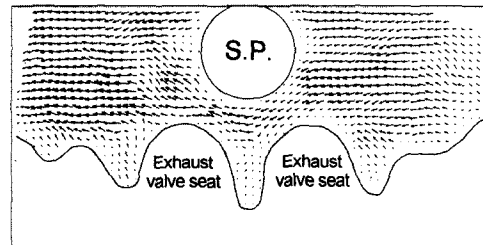


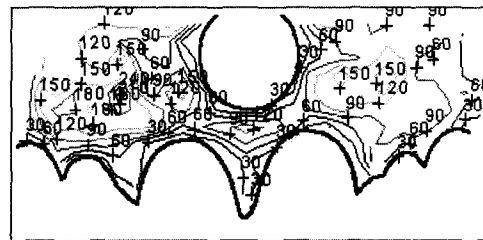
Fig. 5 Visualization photograph of coolant flow in cylinder head



Fig. 6 Visualization photograph of coolant flow around spark plug and exhaust valve bridge



(a) Velocity vector field



(b) Equi-velocity contour

Fig. 7 Velocity vector field and equi-velocity contour around spark plug and exhaust valve bridge

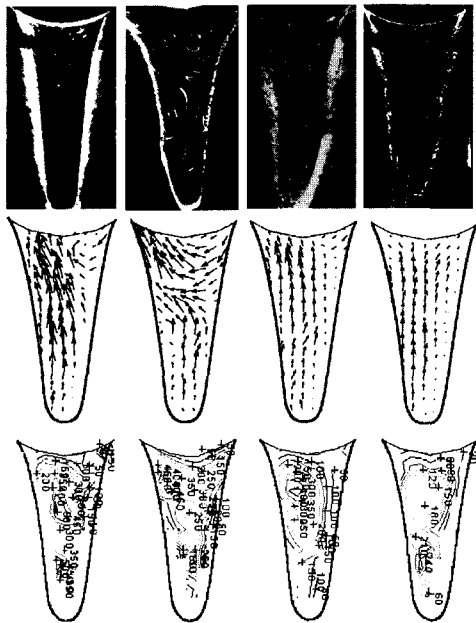
열부하가 큰 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동은 다른 지점의 유속의 1/3~1/5 정도로 극부적으로 아주 빈약한 유속을 나타낸다. 이와 같이 배기밸브 브릿지부의 유동이 빈약한 것은 스파크플러그, 2개의 배기포트 및 밸브시트 사이에 위치함에 따른 기하학적 형상으로 인해, 냉각수가 원활히 순환될 만큼의 냉각수 통로가 확보되지 못해 극부적인 유동정체가 발생되기 때문이다.

실린더헤드부의 냉각수 유동해석결과, 배기밸브 브릿지부는 열부하가 크에도 불구하고 유동이 빈약하므로, 상가지점의 냉각수 유동에 대해 다음과 같이 상세히 해석하였다.

3.2 배기밸브 브릿지부의 유동양상

1) 실린더별 유동편차

Fig. 8은 각 실린더별 배기밸브 브릿지부의 유동가시화 결과와 이로 부터 구한 속도벡터 및 등속도 분포를 나타낸 것이다. 여기서 냉각수 유량



(a) 1-cylinder (b) 2-cylinder (c) 3-cylinder (d) 4-cylinder

Fig. 8 The results of coolant flow visualization, velocity vector and equi-velocity contour in each exhaust valve bridge

은 기관회전수 3000 rpm과 50%기관 부하의 상당 유량이다.

배기밸브 브릿지부의 속도벡터의 주된 경향은 실린더블록으로부터의 상승류에 의해 생성된 브릿지부의 말단의 유동이 브릿지부를 지나 스파크 플러그로 나가는 양상으로, 전반적으로 각 실린더 별로 동일한 양상이다. 하지만 1번과 2번 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동은 3, 4번 배기밸브 브릿지부의 경우와 달리 스파크플러그 주위 유동의 일부가 와를 형성함을 볼 수 있다. 1, 2, 3번 배기밸브 브릿지부의 속도벡터는 브릿지부 끝단에서 스파크플러그를 향하는 유동이 인접실린더로부터 유입되는 유동에 흡수되어 스파크플러그의 좌측으로 나가는 유동양상이다. 이에 반해 4번 배기밸브 브릿지의 경우는 스파크플러그의 우측에서의 유동이 거의 상승류만 생성되어 상대적으로 유동속도가 낮으므로 브릿지의 끝단에서 스파크플러그로 향하는 유동의 일부가 우측으로 역류하는 양상을 보인다.

속도벡터의 크기는 각 실린더별로 큰 차이를 보이는데 이는 전술한 바와 같이 실린더블록으로부터의 상승류 및 인접실린더에서 유입되는 각 실린더별 냉각수 유량의 차이를 의한 것이다. 브릿지부의 속도벡터의 크기는 실린더헤드 냉각수의 주유동 방향인 4번에서 1번 실린더로 갈수록 유량증대로 인해 4번에서 1번 브릿지부로 갈수록 전반적으로 증가함을 보인다.

각 배기밸브 브릿지부의 등속도 분포는 밸브 브릿지부의 말단에서 낮은 유속을 나타내며 스파크 플러그와 인접할수록 큰 유속을 갖는 영역이 증가함을 나타낸다. 또한 배기밸브 브릿지부 냉각수의 주유동은 전반적으로 중심에서 약간 왼쪽에 치우쳐 있음을 알 수 있다.

연소실 벽면온도의 불균일화를 야기할 수 있는 실린더간 냉각수 유동의 불균일 정도를 파악하고자 상기 가시화 결과로부터 공간평균유속을 실린더헤드 개스킷의 물통로 면적과 함께 나타낸 것이 Fig. 9이다. 여기서 공간평균유속은 Fig. 8의 속도벡터 및 등속도분포에 나타낸 각 기

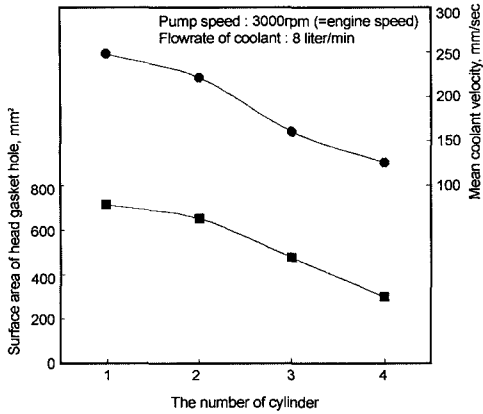


Fig. 9 Mean velocity of coolant flow and surface area of head gasket hole in each exhaust valve bridge

리드 점의 RMS(Root Mean Square) 속도를 상기 그림 영역에 걸쳐 공간 평균한 값이다. 헤드 개스킷의 물통로 면적은 배기밸브 브릿지부의 유속이 인접 실린더로부터 유입된 유동과 실린더블록으로부터의 상승류에 의해 생성됨을 고려하여, 각 브릿지부와 인접한 배기쪽 inter-bore hole 과 주냉각수 통로를 4번에서 1번 실린더로 갈수록 누적된 단면적으로 구하였다.

각 실린더별 누적된 헤드 개스킷의 단면적은 그림에서 보는 바와 같이 냉각수 주유동 방향인 4번에서 1번 실린더로 갈수록 증가하는 경향임을 알 수 있다. 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동 속도는 4번에서 1번 브릿지부로 갈수록 증가하는 경향으로 헤드 개스킷의 물통로 면적의 경향과 거의 동일함을 알 수 있다. 이는 Fig. 4(b)에 나타난 주유동 양상에서 보는 바와 같이 냉각수의 주흐름이 4번에서 1번 실린더로 진행됨에 따라 헤드 개스킷의 물통로를 통해 실린더블록으로부터 유입되는 냉각수 유량이 증대하기 때문이다. 또한 1번 실린더쪽으로 가는데 따라 물펌프에 근접하게 되므로 냉각수압력의 증가로 인한 상승류도 커지는데 기인하는 것으로 생각된다.

각 배기밸브 브릿지부의 냉각수의 공간 평균 유속은 4번 실린더의 경우 125mm/sec로 가장 느리며, 1번 실린더의 유속은 4번 실린더에 비해 약 98%, 2번 실린더는 약 77%, 3번 실린더는 약 28%

정도 큰 값을 나타낸다.

각 실린더별 냉각수 유동을 가시화하여 해석한 결과, 4번 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동이 빈약하여 열부하가 클 것으로 예상되므로 4번 배기밸브 브릿지를 대상으로 냉각수 유동을 다음과 같이 공간적으로 파악하였다.

2) 공간적 유동해석

Fig. 10은 상당기관회전수 3000rpm에서 배기밸브 브릿지부 x축 단면의 냉각수 유동을 가시화한 결과로부터 구한 속도벡터와 등속도 분포를 나타낸 것이다. 여기서 가시화 영역이 위치별로 차이를 보이는 것은 배기밸브 브릿지부의 냉각

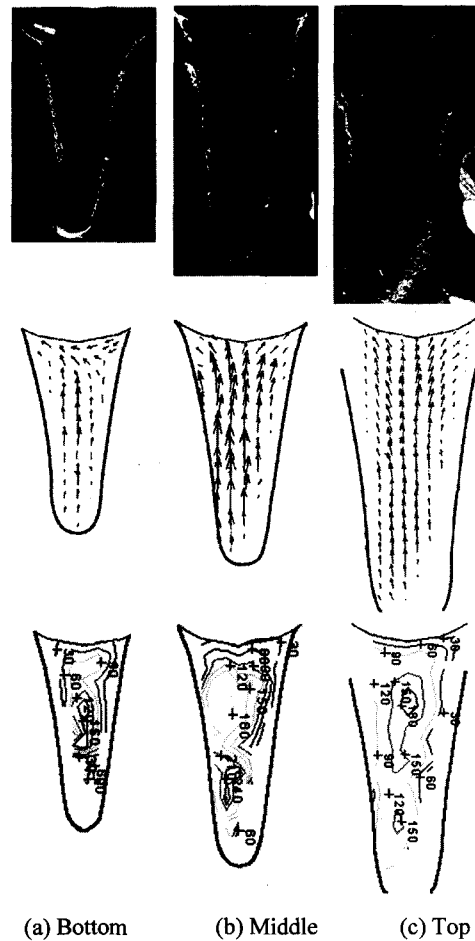


Fig. 10 The results of coolant flow visualization and equi-velocity contour in the x-plane of valve bridge

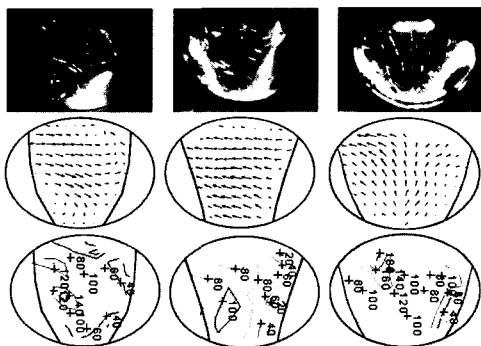
수 통로의 형상이 V형으로 측정단면의 위치가 위쪽으로 갈수록 가시화 영역이 넓어지기 때문이다.

x축 속도벡터의 경향은 배기밸브 브릿지부의 말단에서 스파크플러그로 향하는 유동이 인접실린더로부터 유입되는 유동에 흡수되어 스파크플러그의 좌측으로 나가는 양상으로 대체로 각 단면에 따라 동일한 양상이다. 그러나 스파크플러그 주위의 속도벡터에서 보는 바와 같이 연소실 벽면과 인접한 하부 단면의 경우 브릿지부 말단을 통해 브릿지부로 유입된 유동이 스파크플러그의 오른쪽에서 유입된 유동에 흡수되어 왼쪽으로 빠져나가는 양상이나 중간단면 및 상부단면의 경우 일부의 냉각수가 오른쪽으로 역류하는 양상을 보인다.

각 단면의 공간평균유속은 중간부분이 가장 크며 연소실 벽면근처인 하부가 가장 작은 값을 보인다. 이는 상하부 모두 벽면과 근접해 있는데 따른 전단력의 차이에 의한 것으로 생각된다. 중간단면의 공간평균 유속은 하부단면의 유속에 비해 약 50%정도, 상부는 약 26%정도 큰 값을 보인다.

Fig. 11은 배기밸브 브릿지부의 y축 단면에서 냉각수 유동을 가시화한 결과로부터 구한 속도벡터 및 등속도분포를 나타낸 것이다.

y축 단면의 유동은 x축 단면의 유동과 달리 각 위치별로 유동양상이 큰 차이를 나타내고 있다.



(a) Around valve seat (b) Middle (c) Around spark plug

Fig. 11 The results of coolant flow visualization, velocity vector and equi-velocity contour in y-plane of valve bridge

밸브시트 부근의 유동양상은 실린더블록으로부터의 상승류에 의해 생성된 유동이 밸브시트를 따라 왼쪽으로부터 브릿지부로 유입되는 횡류임을 알 수 있다. 스파크플러그 부근의 유동양상은 브릿지부 및 인접실린더로부터 유입된 일부 유동이 스파크플러그에 부딪쳐 상승하는 경향으로 대부분 상승류를 보임을 알 수 있다. 상기의 중간단면의 유동의 경우 브릿지에서 왼쪽으로 유출되는 양상을 보인다. 상기결과로부터 y축 단면에서는 x축 단면과는 달리 공간적으로 와류가 생성됨을 알 수 있다. 각 단면의 등속도 분포에서 보는 바와 같이 스파크플러그 주변 단면의 경우가 가장 빠른 특성을 나타내지만 그 차이는 크지 않다. y축 세단면의 공간평균유속은 x축 세단면의 경우에 비해 약 24% 정도 작은 값을 보였다.

상기의 x축과 y축 단면의 결과는 가시화장의 상면으로부터 일반광원을 사용하여 직접 촬영하는 경우 각 위치별 유동이 중첩되거나 빛의 산란이 적은 맨상부의 유동만이 가시화됨으로서 유동측정결과가 실제와 다르게 측정될 수 있음을 확인하는 것이다. 또한 PIV기법에 의한 유동 가시화 결과가 일반광원을 사용하는 직접촬영보다 신뢰성이 있음을 보이는 것이다.

Fig. 12는 배기밸브 브릿지부의 공간평균유속

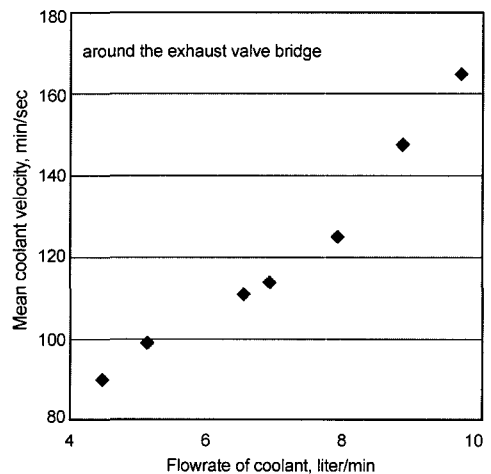


Fig. 12 Mean coolant velocity around exhaust valve bridge versus flow rate of coolant

을 기관운전조건에 따른 냉각수 유량변화에 대해 나타낸 것이다. 냉각수 유량의 절대치는 전술한 바와 같이 직수를 사용한 기관실험하의 상당 유량이므로 라디에이터가 부착된 실제기관의 경우에 비하여 현저히 작다.

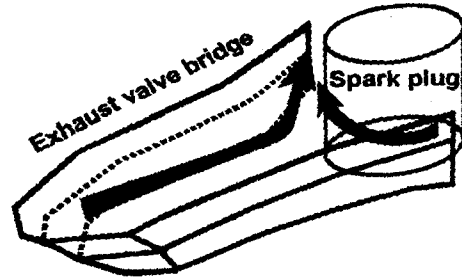
배기밸브 브릿지부의 공간평균 유속은 냉각수의 유량이 증가함에 따라 전반적으로 증가하는 경향이다. 배기밸브 브릿지부 냉각수의 유속증가율은 대체로 유량이 큰 경우가 작은 경우에 비해 큰 것을 보이고 있다. 배기밸브 브릿지부의 공간평균유속은 냉각수 유량이 2배로 증가함에 따라 약 65% 정도 증가함을 보인다. 이것은 물펌프 임펠러의 회전수 증가에 따른 압력에너지의 상승과 냉각수 출구의 밸브 개폐도에 따른 냉각수 유량의 증가로 배기밸브 브릿지부의 국부적인 유동정체가 완화되는데 기인하는 것으로 볼 수 있다.

상기 결과로부터 열부하가 집중되는 배기밸브 브릿지부에 드릴가공 물통로 등과 같은 국부적인 물통로 설치하여, 냉각시스템의 용량증대 없이 브릿지부의 국부적인 유동강화 및 열부하의 저감을 도모할 수 있음을 보이는 것이다.

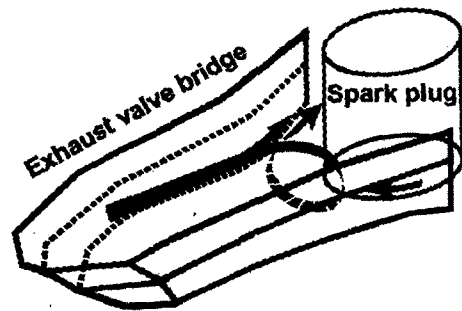
3.3 배기밸브 브릿지부의 3차원 유동양상

Fig. 13은 상기의 속도벡터 및 등속도분포의 해석결과를 바탕으로 배기밸브 브릿지부 냉각수 유동의 공간적인 양상을 파악하여 구한 3차원 유동양상을 나타낸 것이다.

1, 2, 3번 배기밸브 브릿지부의 유동양상은 브릿지부의 말단에서 스파크플러그로 향하는 유동이 오른쪽의 인접 실린더로부터 유입되는 유동에 흡수되어 스파크 플러그의 왼쪽으로 나가는 경향이다. 이에 반해 4번 브릿지부의 유동양상은 스파크플러그의 오른쪽의 유동이 상대적으로 빈약하므로, 브릿지부로 유입된 유동이 스파크플러그 주변에서 좌우로 나뉘게 된다. 브릿지부의 오른쪽으로 역류하는 유동은 스파크 플러그의 오른쪽에서 유입되는 저속의 유동과 만나 상부에서 하부로 와류를 형성하며, 하부의 연



(a) Around 1, 2, 3 exhaust valve bridge



(b) Around 4 exhaust valve bridge

Fig. 13 3-dimensions coolant flow pattern around each exhaust valve bridge

소실 벽면을 따라 왼쪽으로 유출되는 경향이다. 배기밸브 브릿지부에 형성되는 냉각수 유동양상은 기관운전조건에 따라 유속 및 와의 크기는 다소 차이를 나타내나 전반적으로 동일한 경향을 보였다.

전술한 바와 같이 실린더헤드 및 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동은 대체로 정성적으로 동일하나, 유동의 정량치는 열부하가 큰 배기밸브 브릿지부가 다른 지점에 비해 현저히 작으며 각 실린더간의 편차가 큰 것을 알 수 있었다. 이 결과는 배기밸브 브릿지부의 유동을 강화하고 각 실린더간의 유동편차를 감소시킬 필요가 있다는 것을 의미하는 것이다.

4. 결론

실린더헤드 및 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유동을 PIV기법으로 가시화하여, 냉각수 유동특성을 해석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 밸브 브릿지 부근과 같이 물통로의 기하학적 형상이 복잡한 지점의 냉각수 유동을 PIV 기법에 의해 상세히 파악할 수 있는 유동가시화 장치를 제시하였으며 이는 냉각수통로내 정성적 및 정량적 유동해석에 효과적으로 적용 가능하리라 생각된다.

2) 실린더헤드부의 냉각수 유동해석결과, 유속은 4번에서 1번 실린더로 갈수록 냉각수의 유량증가에 의해 커지며, 국부적인 열부하의 원인인 유동정체 및 재순환유동은 물통로의 기하학적 형상이 복잡한 배기밸브 브릿지 및 시트부에서 관찰되었다.

3) 배기밸브 브릿지부의 유동가시화 결과, 배기밸브 브릿지부의 냉각수 유속은 다른 지점의 약 1/3정도로 아주 빈약하며, 각 실린더간 유동편차는 최고 약 2배 정도임이 파악되었다.

4) 배기밸브 브릿지부의 공간적인 유동양상 해석 결과, 열전달에 직접 관여하는 연소실 벽면 근처인 하부의 유속은 일반광원으로 가시화되는 상부나 중앙부에 비해 약 30~50% 정도 작은 값을 보였다.

5) 상기와 같은 결과로부터, 배기밸브 브릿지부의 빈약한 유동 및 유동의 불균질화는 국부적인 열부하 증대 및 벽면온도의 불균일화에 의한 열응력 발생의 원인이 될 가능성이 있으며, 따라서 이 부분의 유동강화 및 유동개선이 필요함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1) 조진우, 류영, 이종태, "DOHC 가솔린기관의

연소실 벽표면순간온도와 비정상열유속의 측정 및 해석-제1보:실린더헤드에 관한 연구," 한국자동차공학회논문집, 제7권 제1호, pp.10-19, 1999.

2) 위신환, 류영, 이종태, "DOHC 가솔린기관의 연소실 벽표면순간온도 및 비정상 열유속 측정 및 해석-제2보:피스톤에 관한 연구," 한국자동차공학회논문집, 제7권 제2호, pp.8-18, 1999.

3) 위신환, 이종태, "DOHC 가솔린기관의 연소실 벽표면순간온도 및 비정상 열유속 측정 및 해석에 관한 연구-제3보: 실린더 라이너," 한국자동차공학회논문집 제8권 제3호, pp.1-11, 2000.

4) F. Pischinger, "Vehicle Engine Development Trends under Future Boundary Conditions," SAE 945001, 1994.

5) A. Yuzo, "Numerical Simulation and Experimental Observation of Coolant Flow Around Cylinder Liners in V-8 Engine," SAE 880109, 1988.

6) L. Kevin, "The Use of Flow Visualization and Computational Fluid Mechanics in Cylinder Head Cooling Jacket Development," SAE 891897, 1989.

7) 오균, 박준현, 윤정의, "엔진 냉각수 통로의 유동가시화," 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, 1997.

8) C. Arcoumanis, et al., "Coolant Flow in the Cylinder Head/Block of the Ford 2.5L DI Diesel Engine," SAE 910300, 1991.

9) 민병순, 최재권, "기관내 냉각수 유동형태가 연소실 벽면온도에 미치는 영향에 관한 연구," 한국자동차공학회논문집, 제1권 제1호, pp.14-21, 1993.