

Engine Oil Jet System이 Engine Friction에 미치는 영향에 대한 연구

민선기
아주자동차대학 자동차계열

Study of Engine Oil Jet System Effect on Engine Friction

Sun-Ki Min

Division of Automotive Engineering, Ajou Motor College

요약 엔진에 터보차저를 사용하게 되면 엔진의 출력도 향상되지만 동시에 엔진의 온도도 높아지게 된다. 특히 피스톤의 경우는 냉각이 문제가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 오일 젯을 사용하는데, 오일 젯은 오일을 피스톤의 밑 부분에 분사하여 피스톤을 냉각시키는 것이다. 오일 젯이 사용된다면, 오일의 분사로 인하여 오일 유량의 증가 및 피스톤으로부터의 열전달에 의하여 높아진 오일 온도 문제를 해결하기 위하여 오일 펌프 용량 증대와 오일 쿨러의 사용이 필요하다. 그러나 용량 증대 오일 펌프와 오일 쿨러를 사용하면 엔진의 마찰 토크가 증가하는 원인이 된다. 본 연구에서는 오일 젯, 오일 쿨러 및 오일 펌프의 용량 증대로 인하여 엔진의 마찰 토크가 증가하는 정도에 대하여 연구하였다. 또한 각 부품의 사양을 변경함에 따라 마찰 토크가 얼마나 영향을 받는지도 측정되었다. 저속에서는 오일 펌프와 오일 쿨러에 의한 영향이 크고 고속에서는 오일 쿨러에 의한 영향이 큼을 알 수 있었다.

Abstract When turbochargers are applied to engines, the temperature of the engine becomes high, making the cooling of pistons very important. To solve this problem, an oil jet is used. The oil jet provides oil to the underside of piston for cooling. When an oil jet is used, oil pump size-up and oil cooler are needed because of the increased oil flow rate and higher oil temperature. On the other hand, these increase the friction torque of the engine. This study examined how much the friction torque of an engine increases by an oil jet, oil cooler, and oil pump size-up. In addition, the proportions of the friction torque of the engine increased by each part were measured by changing the engine assembly condition. At low speed, the oil pump and oil cooler had a larger effect on the friction torque than the other factors. At high speed, oil cooler had a larger effect than the other factors.

Keywords : Friction Loss, Friction torque, Oil Cooler, Oil Jet, Oil pump

1. 서론

요즘 엔진개발의 추세는 터보다운사이징과 같이 작은 배기량 엔진에 높은 출력을 내도록 터보를 장착하여 더 큰 배기량의 엔진을 대체하는 것이다. 이럴 경우 고출력으로 인해 엔진에서 발생하는 열량이 많게 되어 엔진의

온도가 상승하는 문제가 있다. 이 경우 특히 문제가 되는 것은 피스톤의 냉각이다. 실린더 헤드와 블록에는 냉각수 통로가 설치되어 있어 냉각수의 유량을 증가시키는 방법으로 냉각문제를 해결할 수 있으나 피스톤은 피스톤 링과 스커트면의 접촉에 의해서만 열전달이 되어 온도를 낮출 수 있으므로 별도의 냉각방법을 적용해야 할 필요

*Corresponding Author : Sun-Ki Min(Ajou Motor College)

Tel: +82-10-9072-2658 email: skmin@motor.ac.kr

Received March 22, 2016

Accepted June 2, 2016

Revised (1st April 8, 2016, 2nd April 19, 2016, 3rd April 27, 2016)

Published June 30, 2016

성이 있다. 피스톤의 온도를 낮추고 피스톤 부위의 윤활 효과를 좋게 하기 위하여 일반적으로 오일 젯 (oil jet)이 사용된다[1][2]. 오일 젯은 실린더 블록의 오일 갤러리에 오일 젯을 설치하여 오일을 피스톤의 밑부분에 분사하는 것으로 작동 방법을 묘사하면 다음과 같다.

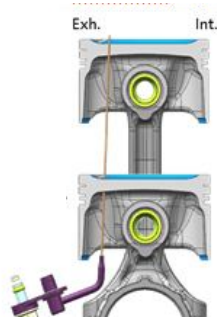


Fig. 1. Oil jet

오일 젯을 사용하게 되면 그에 따른 부수적인 여러 사항이 발생하게 된다. 즉 오일을 분사함에 따라 필요한 분사에 필요한 오일 유량과 오일 압력을 공급하기 위하여 오일 펌프(oil pump)의 용량을 증대시킬 필요가 있고 또한 피스톤으로 분사된 오일이 피스톤으로부터 열전달을 받아 오일의 온도가 상승하므로 오일 쿨러(oil cooler)를 사용하여 오일의 온도를 낮출 필요가 있다[3]. 이러한 사항들은 모두 결국 엔진의 마찰토크(friction torque)를 증가시켜 손실을 증가시키는 원인이 된다. 그동안의 연구에서는 오일 젯과 관련하여 냉각 효과나 오일 젯 내부의 오일 유동에 관한 연구만 이루어져 오일 젯을 설치할 경우, 증가하는 마찰 손실에 대한 연구는 미흡한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 오일 젯을 적용함에 따라 발생하게 되는 마찰토크의 증가를 최소화하여 엔진의 출력과 연비를 개선하기 위하여 오일 젯, 오일 쿨러 및 오일 펌프의 영향에 대해 연구하였다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험장치

시험은 Fig. 2의 오일 젯을 Fig. 3의 블록 하단에 설치하여 진행한다.

오일 젯에서 입구부분은 Fig. 3에서와 같이 블록의 오일의 통로인 메인갤러리에 끼워진다. 오일 젯 내부에는

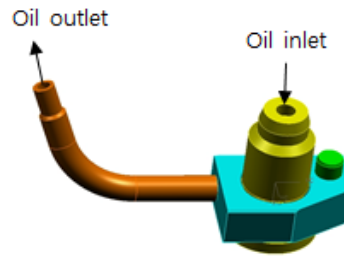


Fig. 2. Oil jet

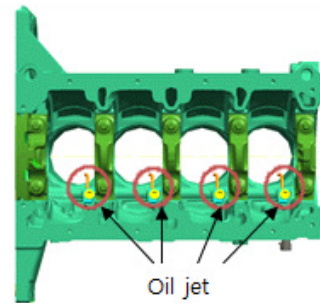


Fig. 3. Installation of oil jet in cylinder block

체크밸브가 있어 오일압이 일정한 압력 이상의 경우에만 오일이 토출된다. 본 연구에 사용한 오일 젯의 경우 메인 갤러리 내의 압력이 2기압에서 열리기 시작해서 3.5기압에서 1.2L/m의 유량을 토출한다. 오일 젯을 위하여 오일 펌프는 용량을 13cc/rev에서 15cc/rev로 증가시켰다.

2.2 시험 방법

시험은 엔진을 각 시험 조건에 맞게 조립한 후, 엔진을 동력계에 설치하여 엔진을 동력계로 아이들 rpm과, 1000rpm에서 6500rpm까지 500rpm 단위로 회전시키며 이 때 필요한 토크와 오일 압력 및 오일 유량 등을 측정하는 것에 의해 진행되었다.

- 1) 오일젯, 오일 쿨러 및 용량 증가 오일 펌프가 장착된 엔진을 동력계를 사용하여 각 rpm 별로 회전시키기 위한 마찰토크를 측정한다. 이 때 엔진 오일 온도는 90℃를 유지하여 오일 온도 변화에 의한 영향은 배제한다.
- 2) 우선 오일젯에 의한 영향을 확인하기 위해 실린더 블록에 가공된 오일젯 구멍을 막은 후 위의 1)의 방법과 동일하게 마찰 토크를 측정한다.
- 3) 증가된 용량의 오일 펌프로 인한 영향을 측정하기 위해 상기 2) 엔진 조건에서 오일 펌프를 기본 사

양으로 교체한 후 1)의 방법과 동일하게 마찰 토크를 측정한다.

- 4) 오일 젯을 사용하는 경우 오일의 온도가 피스톤으로부터의 열전달에 의하여 온도가 120℃ 정도까지 상승하게 되므로 오일의 점성 유지를 위하여 오일 쿨러를 사용하여 오일의 온도를 낮춘다. 오일 쿨러는 냉각수를 냉매로 사용하므로 90℃ 정도의 냉각수가 오일 쿨러로 유입된다. 그에 따라 오일 온도를 120℃에서 유지하면서 오일 쿨러로 유입되는 냉각수의 온도를 90℃로 유지하면서 마찰 토크를 측정하여 오일 쿨러가 장착되지 않은 경우와 비교하였다.

3. 시험 결과

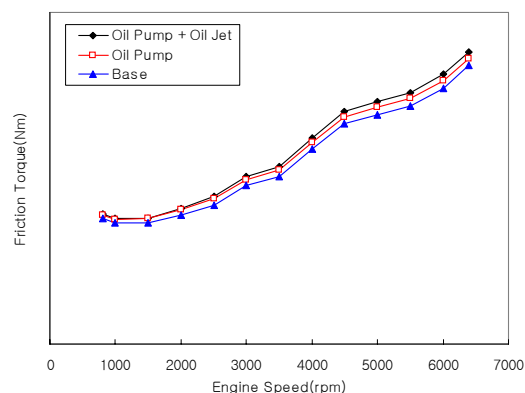
3.1 엔진 시험 결과

Fig. 4에는 기본 사양, 오일 펌프 용량을 증가한 사양 및 추가로 오일 젯까지 장착한 경우의 결과가 나타나 있다. 여기에서 Base는 기본사양 엔진을, Oil Pump는 용량 증가 오일 펌프를, Oil Pump+Oil Jet은 용량 증가 오일 펌프와 오일 젯을 장착한 엔진의 시험결과를 의미한다. Fig. 4 (a)의 결과 그래프를 보면 오일 펌프 용량 증가 및 오일 젯 추가에 따라 마찰 토크(friction torque)가 증가하는 것을 알 수 있다. 여기서 마찰 토크는 엔진을 회전시키기 위해 필요한 토크를 의미하므로 결국 마찰 손실이 된다.

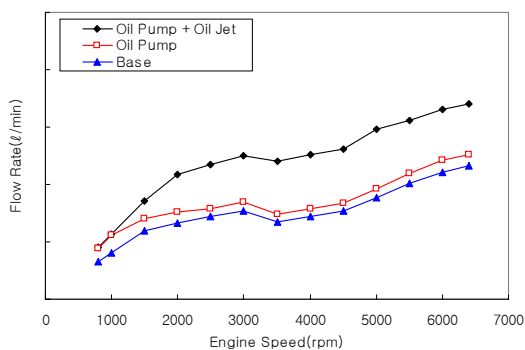
Fig. 4 (b)에는 각 사양별 오일 유량 특성이 나타나 있다. 기본 사양에 비해 오일 펌프 용량을 증가시킨 펌프를 장착한 경우, 오일 유량은 엔진 운전 전 영역에서 약 2.0 l/min 가 증가하는 것으로 나타났다. 추가로 오일 젯을 장착한 경우, 오일 유량은 기본 사양 대비 약 35% (6,400rpm 및 90℃ 조건) 증가하였다. 결과 그래프에서 유량 곡선이 3,000 ~ 5,500rpm 영역에서 선형적으로 증가하지 못하고 감소한 원인은 가변밸브타이밍 조절장치(VVT)가 작동됨에 따라 VVT로 공급되는 오일량이 변동하였기 때문으로 판단된다. (시험시 실제 엔진 성능과 동일한 조건을 유지하기 위해 VVT를 엔진 속도 및 스로틀 밸브 개도에 맞게 작동시킴)

Fig. 4 (c)에는 각 사양별 메인 갤러리(main gallery) 내의 오일 압력 특성이 나타나 있다. 결과를 보면 기본

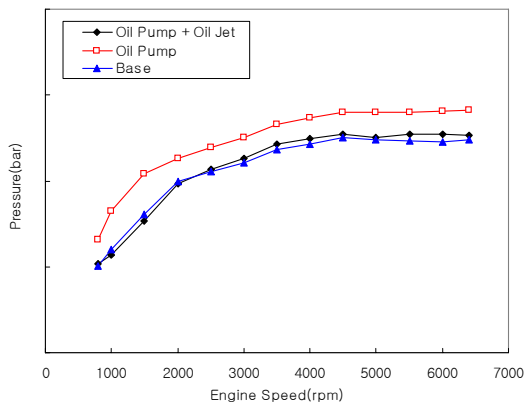
사양의 오일 압력이 가장 낮고, 오일 펌프의 용량만을 증가시킨 경우의 오일 압력이 가장 높다. 이는 오일 젯을 설치한 경우, 오일 젯에서 오일이 분출되며 메인 갤러리 내의 오일 압력을 낮추었기 때문으로 판단된다.



(a) Friction torque



(b) Oil flow rate



(c) Oil pressure

Fig. 4. Engine test result

3.2 오일 젯 효과

Fig. 5 에는 오일 젯이 엔진 마찰 토크에 미치는 영향에 대한 결과가 나타나 있다. 결과 그래프는 기본 사양 대비 오일 젯 장착 사양의 마찰 토크의 증가분(Δ torque)이 나타나 있다. 엔진 속도 및 오일 온도에 따른 엔진 마찰 토크를 측정된 결과, 기본 사양 대비 최대 0.9 Nm (90℃ 및 6400rpm 조건) 정도 증가함을 알 수 있었다.

펌프류의 구동력은 펌프 입출구간 압력차와 유량의 곱($\Delta P \times Q$)에 비례하므로 이에 따른 마찰 토크와 오일 펌프의 구동력 차이를 비교 분석해 보면 오일 펌프 구동력과 유사한 경향으로 엔진 마찰 토크의 차이가 증가함을 알 수 있었다. 그러나 엔진 속도 약 5,000rpm 이후 오일 펌프의 구동력이 감소함에도 불구하고 마찰 토크의 차이가 계속 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 오일 젯에 의해 크랭크 케이스내의 오일 입자의 농도 증가로 인해 크랭크 축과 콘넥팅 로드 등이 회전시 저항이 증가(windage effect)했기 때문으로 판단된다[4].

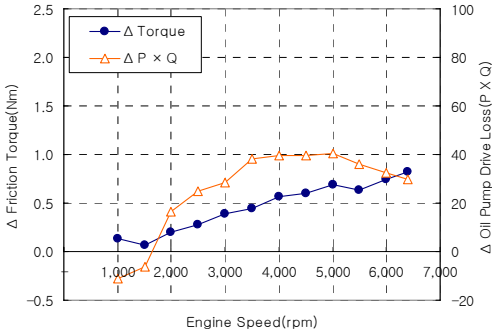


Fig. 5. Oil jet effect on friction torque

3.3 오일 펌프 효과

오일 젯에 필요한 오일의 공급을 위하여 유량을 증가시킨 오일 펌프의 영향을 평가 시험한 결과가 Fig. 6에 나타나 있다. 시험은 오일 온도 90℃ 조건에서 진행하였다. 용량이 증가된 오일 펌프의 경우, 마찰 토크가 기본 오일 펌프와 비교해서 저속에서는 약 0.3 Nm 정도, 고속에서는 최대 약 1.0 Nm의 마찰 토크가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 오일 펌프의 유량이 증가하면서 토출 압력도 상승하였기 때문에 오일 펌프의 구동력이 증가하여 엔진을 작동시키기 위한 마찰 토크가 증가하였기 때문이다.

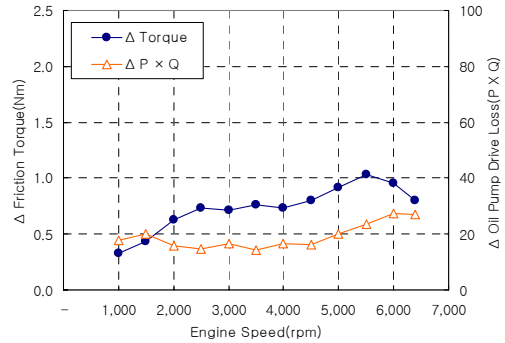


Fig. 6. Oil pump effect

3.4 오일 젯 및 오일 펌프 효과

Fig. 7에는 오일 젯과 증가된 용량의 오일 펌프가 엔진 마찰 토크에 미치는 영향에 대해 오일 온도 90℃ 조건에서 시험한 결과가 나타나 있다.

그래프를 보면 오일 젯과 용량 증가 오일 펌프를 설치한 경우, 엔진 회전속도에 비례하여 마찰 토크가 증가하는 경향을 보였다. 오일 온도 90℃ 조건에서 엔진 회전 속도 1000rpm에서 마찰 토크는 0.4Nm가 증가하였고, 6,000rpm에서 1.7Nm의 마찰 토크가 증가하는 것으로 측정되었다. 그래프를 보면 저속에서는 오일 펌프의 용량 증가에 의한 마찰 토크의 차이가 큰 것을 알 수 있고, 고속으로 갈수록 오일 펌프에 의한 마찰 토크 증가량은 크게 변화하지 않으나 오일 젯에 의한 마찰토크 증가량은 계속적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 마찰 토크는 저속에서는 오일 펌프에 의해 영향을 많이 받고 고속에서는 오일 젯에 의해 영향을 많이 받는 것을 알 수 있다.

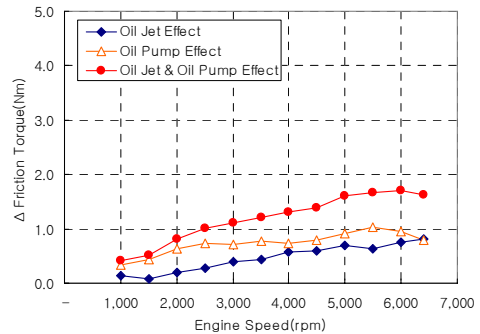
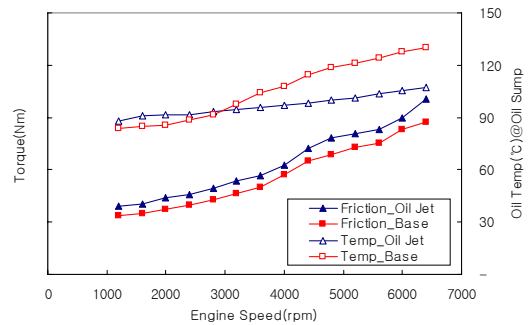


Fig. 7. Oil jet & oil pump effect

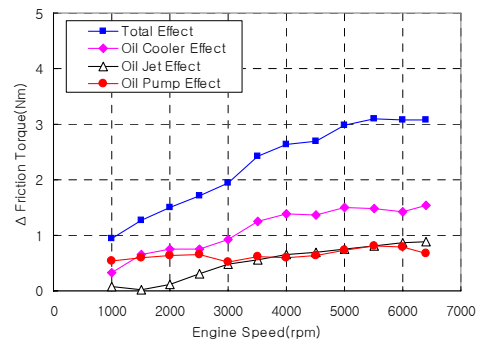
3.5 오일 쿨러 효과

엔진에 오일 젯을 설치하여 정상적으로 작동시키는 경우, 피스톤으로부터의 열전달로 인하여 오일의 온도가 많이 상승하게 된다. Fig. 8에는 오일 젯을 장착한 엔진과 기본 사양 엔진의 오일 온도와 마찰 토크에 대한 시험 결과가 나타나 있다. Fig. 8 (a)의 시험 결과에서 중속까지는 오일 젯 장착 사양과 기본 사양 엔진간 오일 온도 차이가 적으나 3,200rpm 이후부터 오일 온도 차이가 증가하기 시작하여 6,400rpm 에서 오일 젯 사양 엔진의 오일 온도가 108℃로 기본 사양 엔진의 오일 온도 131℃보다 약 23℃낮게 측정되었다. 이와 같이 오일 온도가 상승할 경우, 오일 점성의 저하로 인하여 윤활 성능이 하락하므로 이를 방지하기 위하여 오일 쿨러를 설치하여 오일의 온도가 너무 높게 유지되지 않도록 하고 있다. 그러나 오일 쿨러를 설치할 경우 오일 온도가 강하됨에 따라 오일의 점도가 높아지게 된다. 오일의 점도가 높아지면 그에 따라 마찰력이 증가하여 마찰 토크가 증가하게 된다. 엔진 오일이 오일 쿨러를 지나게 되면 냉각수 90℃에 의한 열 교환으로 5 - 7℃의 온도강하 발생하여 (@6,400rpm) 실제 엔진에는 약 103℃ 내외의 오일이 공급되어 오일 쿨러를 장착한 경우 오일 온도 차이는 약 28 - 30℃가 될 것으로 판단된다. Fig. 8 (b) 그래프에서는 전체 마찰 토크 증가에 대한 각 부품의 영향을 알 수 있다. 저속에서는 오일 쿨러에 의한 영향과 오일 펌프에 의한 영향이 비슷하나 고속으로 갈수록 오일 쿨러에 의한 영향이 커지는 것을 알 수 있다. 이는 회전 속도가 고속이 되면서 오일의 점성에 의한 영향이 더 커지기 때문으로 생각된다.

Fig. 9에는 오일 쿨러를 장착한 경우의 시험 결과가 나타나 있다. 기여도를 엔진 회전 속도 6,400rpm 에서 분석한 결과가 나와 있다. 그래프를 보면 오일 쿨러 1.5Nm (48%), 오일 젯 0.9Nm (28%), 오일 펌프 0.7Nm (23%)인 것으로 나타나 오일 젯과 기타 필요한 부품이 적용되면서 마찰 토크는 총 3.1Nm 증가한 것으로 보이고, 오일 쿨러에 의한 영향이 가장 큰 것을 알 수 있다.



(a) Engine oil temperature & friction torque



(b) Engine friction torque analysis

Fig. 8. Oil cooler effect

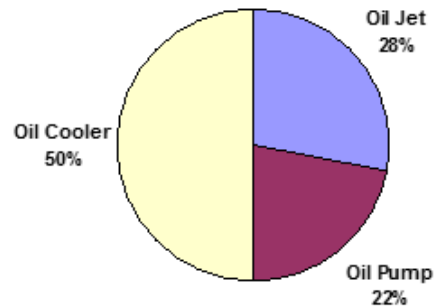


Fig. 9. Friction torque distribution

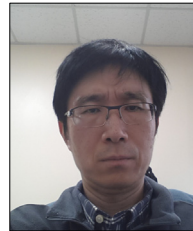
4. 결론

오일 젯, 용량 증가 오일 펌프 및 오일 쿨러를 적용한 경우 발생하는 마찰 토크의 증가에 대한 각 부품의 기여도를 확인하기 위하여 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 오일 젯이 추가되면서 오일 젯으로 공급되는 오일 유량이 증가하여 오일 펌프의 구동 손실이 증가하고, 고속에서 크랭크 케이스내의 오일 입자의 증가로 인하여 회전 부품의 의 운동 손실이 증가하여 약 0.9Nm의 마찰토크가 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 오일 펌프의 용량 증대로 인하여 토출 유량이 약 19% 상승하고 오일 압력도 상승 하여 약 0.7Nm의 마찰 손실이 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 오일 쿨러가 추가되면서 오일의 냉각 효과로 인하여 오일의 점도 상승으로 약 1.5Nm의 마찰 손실이 증가하는 것으로 나타났다. (최대 30℃ 차이 발생할 경우)
- 4) 따라서 오일 젯과 오일 펌프가 약 1.6Nm 의 마찰 토크를 증가시키고, 오일 쿨러의 오일온도 강하 효과로 인하여 합계 약 3.1Nm의 마찰 손실이 발생한 것으로 나타났다.
- 5) 이러한 결과로 볼 때, 오일 젯의 장착에 위한 마찰 토크의 증가는, 저속에서는 오일 펌프와 오일 쿨러에 의한 영향이 크고, 고속에서는 오일 쿨러에 의한 영향이 크므로, 전체적인 마찰 손실을 최소화하기 위해서는 오일 쿨러의 용량을 최적 설계하여 오일의 온도가 지나치게 낮아지는 것을 방지해야 함을 알 수 있었다. 또한 오일 펌프의 용량도 오일 젯의 분사량을 고려하여 용량 증가를 최소화하여야 마찰 손실을 최소화할 수 있음을 알 수 있었다.

민 선 기(Sun-Ki Min)

[정회원]



- 1992년 2월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1999년 8월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1999년 8월 ~ 2012년 2월 : 한국지엠 부장
- 2012년 2월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 부교수

<관심분야>
자동차 엔진 성능, 연비, 배출가스

References

- [1] Byung Soon Min, Joong Soo Kim, Jae Kwon Choi, "A Study on the Method and Effect of Piston Cooling", KSAE, Transaction of the KSAE, Vol. 7, No. 3, 1999.
- [2] Varghese, Mani Bijoy., Goyal, Sandeep Kumar., Agarwal, Avinash Kuma., "Numerical and experimental investigation of oil-jet-cooled piston", SAE, SAE - 2005 - 01-1382, 2005
DOI: <http://dx.doi.org/10.4271/2005-01-1382>
- [3] Wakabayashi, Ryo., Shimada, Takamasa., Takiguchi, Masaaki., "Effects of oil flow rate of piston cooling jet on piston friction characteristics effects of piston clearance, skirt coating and FM additives", SAE, SAE-2003-08-0238,2003, 2003
- [4] Sunki Min, Bong Jo Kim, Choonggu Lee, "Increase of Motoring Torque According to Crankcase Oil Quantity", The 13th International Pacific Conference on Automotive Engineering International Conference, IPC-13 - 1228 1232, 2005