

피스톤 헤드 온도에 오일 제트가 미치는 영향에 대한 연구

민선기
아주자동차대학 자동차계열

Study of Oil Jet Effect on the Temperature of Piston Head

Sunki Min

Division of Automotive Engineering, Ajou Motor College

요약 엔진의 성능이 향상될수록 엔진 내부에서 연소되는 연료의 양이 증가하고 그에 따라 엔진의 온도는 증가하게 된다. 특히 피스톤 헤드의 경우 냉각이 어려우므로 피스톤 헤드의 온도가 높아지게 된다. 그러나 피스톤 헤드의 온도가 너무 높게 되면 피스톤 헤드 표면에서 이상 연소가 발생하기 쉬워 토크 저하 및 엔진 과손과 같은 결과를 가져온다. 피스톤 헤드의 온도를 낮게 하기 위하여 오일을 피스톤 헤드 하단부로 분사하는 오일 제트가 사용되는데, 본 연구에서는 오일 제트에 의한 피스톤 헤드 냉각 효과를 확인하기 위하여 텀플러그를 사용하여 엔진 작동시 피스톤 헤드의 온도를 측정하였다. 텀플러그는 일종의 센서로 피스톤 헤드의 온도에 따라 텀플러그의 경도가 변화하여 변화된 경도를 이용하여 피스톤 헤드의 온도를 측정한다. 텀플러그를 사용하여 피스톤 헤드의 최고 온도를 오일 제트가 없는 상태와 설치된 상태에서 측정하였다. 오일 제트가 설치됨에 따라 피스톤 헤드의 온도는 변화되었다. 최고 온도 부위가 중앙부위에서 전후부위로 변경되었다. 또한 피스톤 헤드 내에서 온도 편차가 감소하여 좀 더 균일한 피스톤 헤드 온도 분포를 얻을 수 있었다.

Abstract As the performance of engines improves, the temperature of engines is increasing, resulting in a high piston temperature. An excessively high piston temperature may result in torque drop or engine failure. An oil jet is used to reduce the piston temperature. In this study, to monitor the effect of oil jet, a templug was used to measure the piston temperature. A templug is a kind of sensor and the hardness of the templug changes according to the piston temperature. Using a templug, the maximum temperature of the piston was measured with and without an oil jet. The piston temperature was lowered using the oil jet. The highest temperature region changed from the center crown to the front/rear area. In addition, the temperature difference between the highest and lowest regions became smaller.

Keywords : Piston head temperature, Oil jet, Templug, Turbo-charger, Turbo-downsizing

1. 서론

엔진의 성능 및 연비 향상을 위해 점점 소형의 배기량으로 고출력을 내는 엔진이 적용되고 있다. 이러한 엔진의 대표적인 방법은 터보-다운사이징(Turbo-downsizing)으로, 이는 엔진의 배기량은 작게 하며 작은 배기량으로 인한 출력의 부족은 터보차저를 장착하여 보완하는 방법이다. 그러나 이러한 엔진을 개발할 때 유의해야 할 사항의 하나는 고출력으로 인한 발열량의 증가로 엔진의 온도의

상승이다[1]. 실린더 헤드나 실린더 블록의 경우, 냉각수 통로가 장착되어 있어 유속을 증가시키는 방법 등으로 냉각 효과의 향상이 가능하나, 피스톤 헤드의 경우 냉각수와 접촉하지 않으므로 냉각이 용이하지 않고 과열되기 쉽다. 과열된 피스톤헤드는 노킹의 원인이 되어 엔진의 출력을 저하시키거나 심한 경우 과손되어 엔진을 불능상태로 만드는 원인이 된다[2]. 일반적으로 피스톤 헤드의 윤회를 위해서 크랭크축으로부터 오일이 간헐적으로 분사되는 시스템을 갖추고 있으나 이를 이용하여 피스톤의

*Corresponding Author : Sunki Min(Ajou Motor College)

Tel: +82-41-939-3055 email: skmin@motor.ac.kr

Received August 22, 2018

Revised (1st September 6, 2018, 2nd September 14, 2018)

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

온도를 낮추기에는 부족하다. 따라서 고출력 엔진의 경우 오일 제트를 설치하여 오일을 피스톤 헤드 밑면에 분사하여 피스톤 헤드를 냉각시키는 방법을 많이 사용하고 있다[3]. 오일 제트는 일종의 노즐로 실린더 블록내의 오일 통로에 연결되어 오일을 분사하는 장치이다. 본 연구에서는 오일 제트의 효과에 대해 연구하기 위하여 Fig. 1에 나타나 있는 템플러그(Templug)라는 일종의 센서를 사용하여 오일 제트를 설치하지 않은 경우와 설치한 경우의 피스톤 헤드 최고 온도 변화를 측정하였다. 피스톤 헤드의 온도를 측정하는 방법은 크게 써모커플(Thermocouple) 등을 사용한 직접 측정 방법[4]과 템플러그를 사용한 간접 측정 방법으로 구분할 수 있다. 써모커플을 사용하면 실시간으로 각 엔진 작동 상태에서의 피스톤 헤드 온도를 측정할 수 있는 장점이 있으나 피스톤 헤드의 상하 운동에 의한 반복 하중으로 인한 신호선의 단락의 우려가 있다. 템플러그는 일종의 육각볼트 형태의 센서로, 장착되는 부위의 온도에 비례해서 템플러그 헤드면의 경도가 변화되는 특성을 이용한 것이다. 템플러그를 피스톤 헤드에 설치하여 엔진을 작동시키면 피스톤 헤드 온도가 상승하고 이에 비례하여 템플러그 헤드면의 경도가 변화하게 되어 이러한 경도 변화 특성을 이용하여 피스톤 헤드의 온도를 추정하는 방식이다. 템플러그 사용시 경도가 최고 온도에서 결정되므로 다양한 조건에서의 측정은 곤란하다는 단점은 있으나 사용이 간단하고 신뢰성이 높으므로 엔진 작동시의 피스톤 헤드 최고 온도 측정을 위해 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 오일 제트의 효과를 확인하기 위하여 피스톤 헤드의 다양한 부위에 템플러그를 설치하여 시험을 하여 결과를 취득하였다.

2. 시험장치 및 시험방법

2.1 시험장치

Fig. 1에 본 연구에서 사용한 템플러그의 개략도가 나타나 있다. Fig. 2에는 피스톤 헤드에 장착된 템플러그의 위치가 나타나 있다. 템플러그는 각각 중앙 부위(Crown Center), 전부위(Front), 후부위(Rear), 흡기부위(Intake), 배기부위(Exhaust) 1개씩, 총 5 개가 장착되었다. 여기서 전부위는 엔진의 앞쪽, 즉 타이밍 벨트나 체인이 장착되는 방향의 부위를 의미하고, 후부위는 엔진에 미션이 장착되는 방향을 의미한다. 흡기부위는 흡기포트 방향, 배

기부위는 배기포트 방향의 부위를 의미한다. Table 1에는 본 연구에 사용한 엔진의 제원이 나타나 있다.

Table 1. Engine Specification

Type	1.6L DOHC
Bore * Stroke(mm)	79 * 81.5
Max Torque (Nm)	147 @ 3600rpm
Max Power (kW)	103 @ 5800

2.2 시험방법

시험 준비를 위해 우선 Fig. 2와 같이 피스톤 헤드의 원하는 위치에 템플러그를 위한 구멍을 가공한다. 가공 후 육각렌치를 사용하여 템플러그를 피스톤 헤드에 설치한 후, 엔진에 피스톤 헤드를 장착한다. 엔진을 동력계에 설치한 후, 템플러그 제작업체에서 정확한 측정을 위해 제공한 시험모드인 Table 2 및 Fig. 3과 같은 주행 모드로 엔진을 작동시킨다. 시험이 종료된 후, 피스톤 헤드를 탈거하여 템플러그를 피스톤 헤드에서 분리한다. 그 후 템플러그 헤드면의 경도 측정을 통하여 운행 중 피스톤 헤드의 최고 온도를 구한다. 본 연구에서 1.6 리터 엔진에서 오일 제트가 설치되지 않은 경우와 설치된 경우의 피스톤 헤드 온도 변화에 대해 연구하였다.

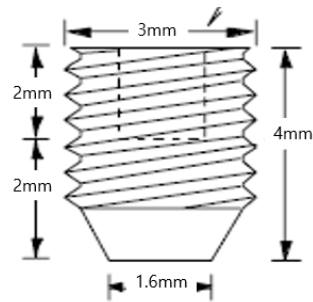


Fig. 1. Diagram of Templug

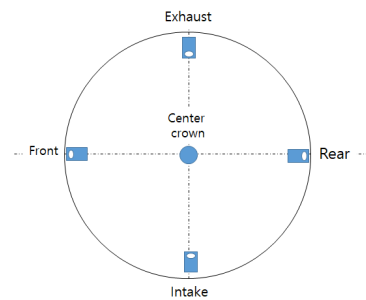


Fig. 2. Templug Location in Piston

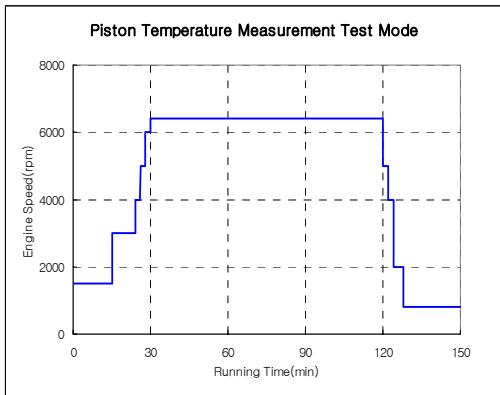


Fig. 3. Engine Operating Mode

Table 2. Engine Operating Mode

Step	Speed (rpm)	Torque (Nm)	Time (min)	Remark
1	0	0	0	Start
2	1500	60	15	Warm-Up
3	3000	90	3	
4	3000	110	3	
5	3000	WOT	3	
6	4000	WOT	2	
7	5000	WOT	2	
8	6000	WOT	2	
9	6400	WOT	90	Max. Temp.
10	5000	WOT	2	
11	4000	100	2	
12	2000	80	2	
13	2000	60	2	
14	Idle	-	2	Cooling Fan+냉각수 온도(70°C)
15	Idle	-	2	Cooling Fan+냉각수 온도(50°C)
16	Idle	-	18	Cooling Fan+냉각수 온도 (Min.)

3. 시험결과

Fig. 4는 1.6L 엔진에서 오일 제트가 설치되지 않은 경우의 피스톤 헤드 온도 측정 결과에 대한 시험결과이다. 시험결과를 보면 오일 제트가 설치되지 않은 경우, 피스톤 헤드에서 가장 고온인 부위는 중앙 부위임을 알

수 있다. 또한 1, 4번 피스톤 헤드에 비해 2, 3번 피스톤 헤드가 좀 더 고온임을 알 수 있다. 이는 연소 가스로부터 피스톤 헤드에 가해지는 열량의 차이에 의한 것이 아니라 피스톤 헤드에서 실린더 블록으로의 열전달량이 다르기 때문으로 생각된다. 즉 실린더 블록의 각 실린더가 냉각수와 접하는 면적의 차이로 1, 4번 실린더에서는 앞측과 뒷측에 냉각수 통로가 설치되어 있어 2, 3번 실린더에 비해 더 많은 열이 실린더 블록으로 전달되어 일반적으로 1, 4번 피스톤 헤드의 온도가 2, 3번에 비해 낮다. 결과에서 보면 각 피스톤 헤드에서 중앙부위의 온도가 가장 높고, 전후부위가 2번째, 흡기 및 배기부위의 온도가 낮은 편임을 알 수 있다. 흡기 및 배기부위의 온도가 낮은 이유는 흡기 및 배기 방향으로는 피스톤 헤드에 스커트 부위가 있어 열을 실린더 블록으로 전달하기 쉽기 때문인 것으로 생각된다. 반면에 Fig. 5와 같이 오일 제트가 설치된 경우의 결과를 보면 위의 경향이 Fig. 4와는 달라짐을 알 수 있다. 오일 제트가 설치된 경우, 중앙 부위의 온도는 평균 53°C 가량 낮아졌다. 전후부위 및 배기부위의 경우, 온도는 오일 제트가 설치되지 않은 경우에 비해 대략 30 ~ 33°C 가량 낮아졌다. 반면에 흡기부위의 경우, 낮아진 정도가 평균 23°C 정도로 다른 부위에 비해 오일 제트의 효과가 상대적으로 적음을 알 수 있다. 이는 오일 제트가 실린더 블록의 배기 방향 하부에 설치되어 있어 피스톤 헤드가 하사점에 위치할 때 피스톤 헤드의 배기 측으로 오일을 분사하고 피스톤 헤드가 상사점에 위치할 때는 피스톤 헤드 중앙 부위로 오일을 분사하기 때문에 피스톤 헤드의 중앙 및 배기부위가 흡기부위 보다 냉각이 잘되기 때문으로 생각된다[5]. 이러한 영향으로 피스톤 헤드 최고 온도 부위는 오일 제트가 설치되지 않은 엔진의 경우, 중앙부위 → 전후부위 → 흡기 및 배기부위 순서인 반면, 오일 제트가 설치된 엔진은 전후부위 → 중앙부위 → 흡기부위 → 배기부위로 바뀌었다. 이러한 현상은 Fig. 6과 7을 보면 명확히 알 수 있다.

Fig. 6은 오일 제트가 없는 경우 각 피스톤 헤드 부위별 온도를 그래프로 나타낸 것이고, Fig. 7은 오일 제트가 설치된 경우의 온도를 나타낸 것이다. Fig. 6을 보면 우선 2, 3번 피스톤 헤드의 온도가 다른 피스톤 헤드에 비해 높음을 알 수 있고, 각 피스톤 헤드에 대해서는 피스톤 헤드 중앙 부위의 온도가 가장 높은 편이고 전후부위의 온도가 대체로 비슷하고, 흡기 및 배기부위의 온도

가 유사함을 알 수 있다. Fig. 7을 보면 전체적인 피스톤 헤드의 온도가 저하되었음을 알 수 있고, 특히 중앙부위의 온도가 많이 저하되었음을 알 수 있다.

Fig. 8에는 오일 제트 설치에 따른 온도 차이가 각 부위별로 나와 있다. 가장 효과가 큰 부위는 중앙부위이고, 가장 작은 부위는 흡기부위이다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 오일 제트의 분사 방향이 중앙부위와 배기부위를 향하고 있으므로 오일 제트에 의한 영향이 가장 적은 것으로 생각된다. Fig. 9에는 온도 저하의 피스톤 헤드별 평균값이 나와 있는데, 대략 30 ~ 40°C 정도의 온도 저하 효과가 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 10에는 각 피스톤 헤드에서의 온도 편차의 개선 정도가 나타나 있다. 피스톤 헤드에서 온도 편차의 증대는 열응력에 의한 파손을 야기할 수 있으므로 적은 것이 좋은 것으로 알려져 있는데, 오일 제트의 설치에 의해 각 피스톤 헤드에서의 온도 편차가 감소하였음을 알 수 있다.

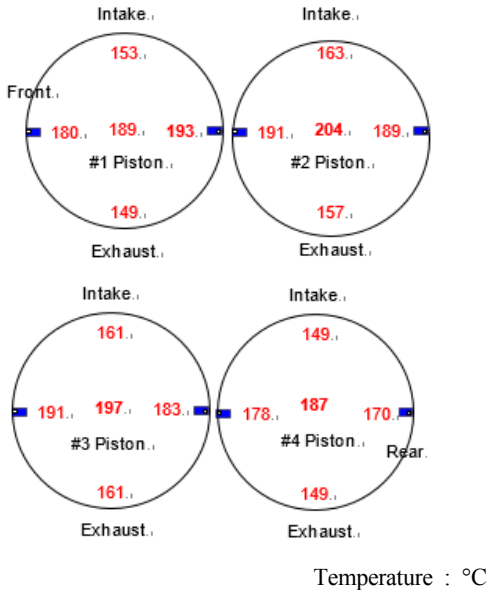


Fig. 4. Temperature of Piston Head without Oil Jet

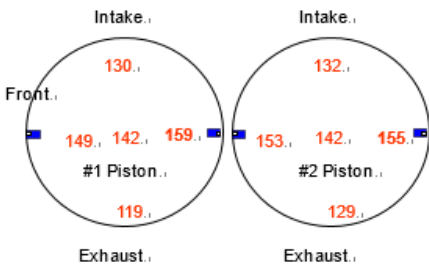


Fig. 5. Temperature of Piston Head with Oil Jet

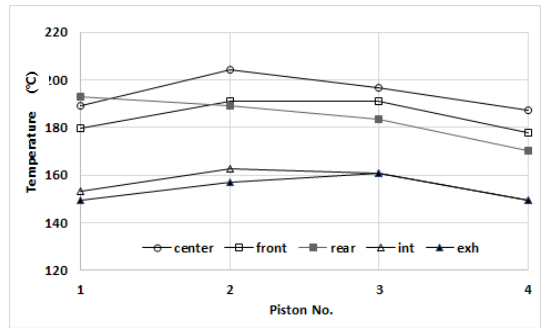


Fig. 6. Temperature of Piston Head w/o Oil Jet

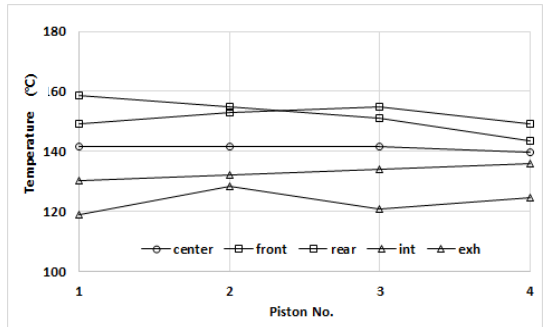


Fig. 7. Temperature of Piston Head with Oil Jet

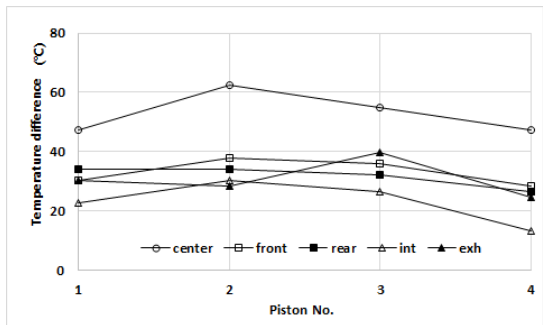


Fig. 8. Temperature Difference between with & without Oil Jet per Piston Head Area

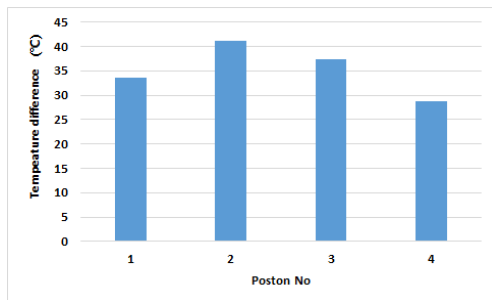


Fig. 9. Average Temperature Difference between with & without Oil Jet

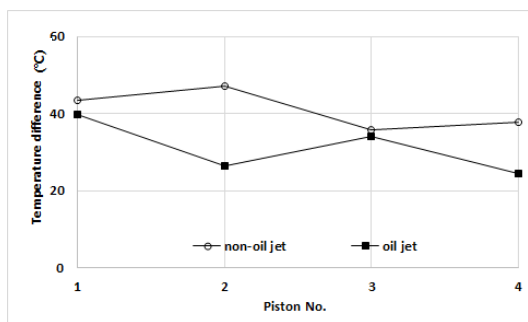


Fig. 10. Temperature Deviation in each Piston Head between with & without Oil Jet

4. 결론

오일 제트가 설치되지 않은 경우와 설치된 경우에 대해 피스톤 헤드 각 부위별 온도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

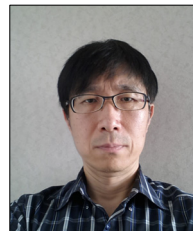
- 1) 오일 제트가 설치되지 않은 경우 2, 3번 피스톤 헤드의 온도가 전체적으로 높은 편이고, 각 피스톤 헤드 중앙부위 → 전후부위 → 흡배기 부위 순으로 온도가 높음을 알 수 있었다.
- 2) 오일 제트가 설치된 경우, 각 피스톤 헤드별 온도가 많이 저하하였음을 알 수 있었고, 피스톤 헤드 부위별 온도 분포도 전후부위 → 중앙부위 → 흡기부위 → 배기부위로 바뀌었음을 알 수 있었다. 또한 최고 및 최저 온도간 편차도 감소하여 피스톤 헤드 내에서 온도 분포가 균일해짐을 알 수 있었다.

References

- [1] J. Lim, D. Kim, H. Park, J. Song, J. Han, C. Yook, S. Park, "A Study of Downsizing Effect on Turbocharged LPG Direct Injection(T-LPDI) Engine for Fuel Economy and Performance Improvement", *Proc. of KSAE Annual Conference*, KSAE15-A0076, 2015
- [2] Nakic, Donald J., "Effect of elevated piston temperature on combustion chamber deposit growth", *SAE*, SAE940948, 1994.
- [3] B. Min, J. Kim, J. Choi, "A Study on the Method and Effect of Piston Cooling", *KSAE*, KSAE No. 99370084, 1999.
- [4] Suzuki Masatosh, Ueda Shingo, Watanabe Toshiyasu, "Real-Time Piston Temperature Measurement Using Induction Telemetry System", *SAE*, SAE-2006-01-1248, 2006.
- [5] J. Lim, J. Jeon, S. Park, "Study of Piston Oil Jet Target Influence on Gasoline Engine", *Prod. of KSAE Annual Conference*, KSAE14-A0028, 2014.

민 선 기(Sunki Min)

[정회원]



- 1992년 2월 : 연세대학교 공과대학 원 기계공학과 (기계공학석사)
- 1999년 8월 : 연세대학교 공과대학 원 기계공학과 (기계공학박사)
- 1999년 9월 ~ 2012년 2월 : 한국 지엠 부장
- 2012년 3월 ~ 현재 : 아주자동차 대학 자동차계열 교수

<관심분야>

내연기관, 열유체공학, 엔진 관련 해석, 엔진 관련 시험