



가솔린 엔진의 냉각수 온도 변화에 따른 고장원인에 관한 연구

A Study on the Sources of Failure due to Change in Coolant Temperature in Petrol Engines

문종철* · 정지현***†

Jong-Chul Moon* and Ji-Hyeon Jeong***†

(Received 16 September 2019, Revision received 03 December 2019, Accepted 03 December 2018)

Abstract: The effect of cooling water on internal combustion engine vehicles has a great effect on the environmental as well as the mechanical. In order to quickly find the cause of failure of the cooling water system for vehicle, various analyses of cooling water temperature are required in the event of failure of the critical components of the cooling water system. Therefore, there is a problem that the lots of cooling devices should be serviced to determine the exact cause. In this study, the components of analysis system was designed considering various operating times and the failure area of the cooling water thermostatic, the high and low speed cooling fan. Experimental results showed that rapid analysis of the failure parts of the cooling water line was possible without disassembling and assembling the parts in the cooling water system.

Key Words : Internal combustion engine, Cooling water system, Operating time, Thermostatic, Cooling fan

1. 서 론

자동차를 운전하면서 자동차에 대한 정보와 고장의 상황을 운전자에게 가장 먼저 알려주는 것은 바로 계기판이다. 일반적인 계기판에는 자동차의 속도와 RPM(엔진회전수), 각종 경고등 및 지시등 그리고 냉각수 온도를 알려준다. 이런 여러 가지 자동차의 상태를 알려주는 계기판에서도 항상 운전자에게 정보를 주는 것은 속도와 회전수, 연료량 그리고 냉각수 온도이다. 그만큼 이 네 가지는 운전자에게 중요한 정보이다. 이중에서도 냉

각수 온도는 자동차 엔진의 상태를 알 수 있는 좋은 정보이며, 냉각수 온도의 변화에 따라 자동차 엔진성능에 영향을 줄 뿐만 아니라 최근 이슈인 배출가스에도 큰 영향을 미친다.

내연기관 가솔린 자동차는 4개의 행정과정 중 폭발행정에서 발생하는 열이 1,500~2,000℃에 달한다. 일반적인 가솔린 내연기관의 정상적인 작동 냉각수 온도는 약 75~95℃ 정도이며, 이는 실린더 헤드의 물 재킷에서 온도를 측정하여 ECU(Electronic Control Unit)로 정보를 보내고, 이 정보를 운전자가 확인할 수 있게 계기판에 표시된다.

***† 정지현(ORCID:https://orcid.org/0000-002-5670-7246) : 교수, 제주대학교 기계공학전공

E-Mail : badaro@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3627

*문종철(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-8364-8907) : 대학원생, 제주대학교 기계공학전공

***† Ji-Hyeon Jeong(ORCID:https://orcid.org/0000-002-5670-7246) : Professor, Major of Mechanical Engineering, Jeju national university.

*Jong-Chul Moon(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-8364-8907) : Postgraduate student, Jeju national university graduate school of Industry.

또한 이 정보를 각종 액츄에이터(Actuator) 및 TCU(Transmission Control Unit)로 보내 최적의 온도조건을 맞추기 위해 계산된 로직에 따른 작동을 하게 된다.

실린더 내부의 연소가스에 의해 발생한 열의 상당량이 실린더 헤드, 실린더 블록, 피스톤, 흡배기밸브 등으로 전달된다. 이러한 전달열에 의해 실린더는 지속적으로 열을 흡수하기 때문에 실린더의 과열을 방지하기 위한 냉각장치(cooling system)가 필요하다. 가솔린 엔진 냉각수 온도는 89~92℃를 기준으로 하며, 이 온도에서 엔진은 최상의 상태를 유지할 수 있다. 냉각수 온도가 상기 기준 온도를 초과하여 상승하면 유막이 파괴(전단현상)되고 금속과 금속이 직접 마찰, 출력이 떨어짐으로 자동차 엔진 성능에 큰 영향을 미치게 된다.¹⁾ 또한 냉각 시스템의 역할은 열부하 저감에 의한 내구성의 확보뿐만 아니라, 노크억제를 통한 자동차엔진 성능 EGR쿨러(Exhaust Gas Recirculation Cooler) 장착 차량의 열화 수행 및 엔진의 배기성능 향상²⁾과 연료 소비 향상을 통한 연비 개선 및 워업 시간 단축에 의한 유해 배기가스 저감 등으로 그 기능이 확대되고 있으며, 냉각수 온도의 효과적인 제어를 통하여 각 부하 조건별 오일의 온도를 최적으로 제어할 수 있으며, 이로 인하여 마찰 손실 저감의 효과를 간접적으로 얻을 수 있어 자동차 연비의 향상과 유해 배기가스의 저감에 대한 기대를 할 수 있다.³⁾ 따라서 자동차의 기계적 고장을 예방하며, 배출가스 저감을 위해서라도 냉각장치는 일정한 온도 유지를 위해 항상 정상작동을 유지하여야 한다.

가솔린 내연기관 차량에 매우 중요시되는 냉각장치는 내연기관의 출력, 연료소비율, 기계적 고장에 많은 영향을 주는 요인이 된다. 내연기관 냉각장치에는 라디에이터, 라디에이터 캡(압력식), 보조물탱크, 냉각수 호수, 수온조절기(Thermostat), 냉각팬, 워터펌프, 팬벨트, 물재킷 등이 있다.⁴⁾ 이 모든 부품이 서로 조화를 이루며 내연기관 냉각수의 적정 온도인 75~95℃를 유지하게 된다. 냉각장치의 고장으로 정비소에 입고된 차량을 정비하려면 냉각장치의 여러 구성품을 모두 정비해야

정확한 원인을 파악할 수 있다. 구성품이 많으면 그만큼 고장의 원인을 찾는 것이 쉽지 않으며, 냉각장치의 특성상 눈에 보이지 않는 부분이 많기 때문에 고장원인을 찾는 것은 더욱 어렵고, 정확한 원인 판단을 위해서는 냉각장치의 각 부분을 탈거하여 상태를 확인하고 다시 조립하는 방법을 사용함으로써 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

본 연구에서는 내연기관의 냉각장치의 각 구성품 고장에 따른 냉각수 온도변화를 분석하여 실제 냉각장치 고장으로 정비소에 입고되는 차량에 있어 신속하게 고장부위 파악 및 수리를 할 수 있게 HI-DS Premium을 이용하여 가솔린 내연기관의 고장부위에 따른 냉각수 온도변화를 분석하는 방법으로 연구를 진행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 실험에 사용된 가솔린 자동차 엔진 시뮬레이션(Simulation)이다. 본 시뮬레이션은 현재 준중형세단에 많이 쓰이는 엔진 G-1.6 GDI(Gasoline Direct Injection)으로 현대자동차(주)에서 제작한 것으로 수냉방식을 쓰는 가솔린기관이며, 현재 일반 준중형세단 외에도 하이브리드 자동차(HEV, Hybrid Electric Vehicle), 플러그인하이브리드 자동차(PHEV, Parallel Hybrid Electric Vehicle) 등 다양한 가솔린 자동차에 사용되는 엔진이다. G-1.6 GDI 엔진사양은 Table 1과 같다.



Fig. 1 Gasoline 1.6 GDI engine simulation

Table 1 Gasoline 1.6 GDI engine specification

	Data
Type	Series, DOHC
Cylinder count	4
Cylinder internal diameter	77mm
Cylinder stroke	85.44mm
Exhaust volume	1,591cc
Ignition order	1-3-4-2



Fig. 2 Comprehensive car diagnostic machine (HI-DS Premium)

Table 2 Comprehensive Vehicle diagnostic machine

category		specification
voltage output	Output range	0.0V ~ 5.0V±0.1V
	forced stop	Output data can range from 0.0V to 5.0V in case of deviation
frequency output	Output range	1Hz ~ 15kHz±0.5%
	Duty	50%
	Voltage level	Maximum:5V, Minimum:0V
	forced stop	In case the ground side output data is taken out of the voltage range of (-)1.0V to 6.0V.
Actuator control	frequency range	1Hz ~ 999Hz±0.5%
	Duty Range	1% ~ 99% @ 1Hz ~ 999Hz (step by step 1%)
	Pulse Width	Dependent on frequency or duty
	allowable current	2A±0.3A

데이터를 얻기 위한 장비로는 현재 현장에서 가장 많이 사용되고, 냉각수의 온도변화에 대한 데이터의 수집이 용이한 자동차 종합 진단기 (HI-DS Premium)를 사용하였으며 Fig. 2와 같다. 본 자동차 종합 진단기는 지아이티(주)에서 제작한 제품이며 사양은 Table 2와 같다.

2.2 실험방법

본 실험은 기관을 공회전(600~700 rpm)으로 실시하였고, 자동차 종합 진단기를 연결하여 엔진 냉각수 온도의 변화에 따라 저 항이 달라지는 서미스터의 특성을 갖고 있는 냉각수온 센서(Water temperature sensor)^{5,6)}의 결과물을 이용한 데이터 기록방식을 사용하였다. 모든 실험은 기관 가동 전 충분히 냉각시켜 장시간 주차한 상황을 가정하고 실험하였으며, 외기 온도에 대한 온도변화의 폭을 줄이기 위하여 실내에서 실험을 실시하였으며 그 밖의 조건은 모두 동일한 상태에서 실험하였다.

정상적인 엔진의 온도변화를 측정하고 총 5가지 상황을 가정하여 냉각시스템 고장시의 냉각수 온도를 측정하였다. 실험 중 워터펌프 고장 시 냉각수 온도변화 실험은 정상적인 워터펌프의 작동 시 냉각수 유속은 약 0.3~0.6 m/s가 되어야 한다.⁷⁾

Fig. 3과 같이 임펠러(Impeller)가 90% 이상 마모된 펌프를 사용하여 실험을 실시하였고, 냉각수 온도조절기 고장 시 온도변화의 실험은 냉각수온도조절기가 닫힌 채 고장난 부품을 사용하였으며, 정상대비 효율이 0%인 부품을 정상엔진에 장착하여 실험을 실시하였다. 누수 및 증발로 인한 냉각수 부족시의 온도변화 실험 시에는 엔진의 정상 냉각수량인 6 L의 절반인 3 L를 배출하여 냉각수로 인한 냉각효과의 효율을 50%로 낮추어 실시하였고, 냉각수 배출 시에는 엔진 과열 시 누유로 인한 화재⁸⁾ 방지하기 위하여 라디에이터 (Radiator) 배출구를 통하여 냉각수를 배출하여 실험을 실시하였다. 냉각팬 고장 시 냉각수온 변화를 살펴보기 위해서는 냉각팬의 구동을 정지하기 위하여 냉각팬 커넥터를 탈거하여 ECU에서 냉각팬의 작동신호를 냉각팬으로 전송해도 냉각팬이

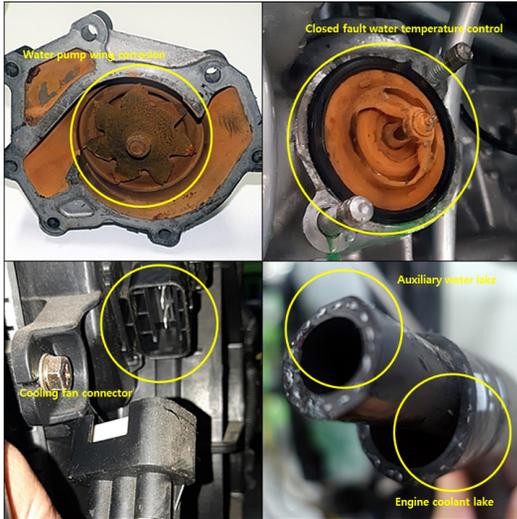


Fig. 3 Failure area of the cooling system

작동하지 않게 하여 온도변화를 확인하였고⁹⁾, 냉각수호수 막힘 고장 시의 냉각수 온도변화를 확인하기 위해서는 정상적인 냉각수관에 별도로 두께가 5 mm인 냉각수관을 삽입하여 5 mm의 이물질이 있다는 것을 가정하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 고장 상황별 냉각수 온도변화

Fig. 4는 정상적인 엔진의 냉각수온도의 변화를 나타낸다. 자동차 가솔린엔진은 냉각수 온도의 변화에 따라 냉각수온도조절기의 열림시간이 결정되고 저속냉각팬 및 고속냉각팬이 작동된다. 본 실험에서는 정상 작동 시 엔진은 엔진구동 후 약 800초 후 냉각수 온가 85°C에서 냉각수온도조절기가 열었고, 엔진 구동 후 1,370초 부근에서 냉각수온도가 95°C를 나타내었으며 저속냉각 팬이 약 20초 동안 작동하여 80°C까지 냉각수온도를 낮추었다.

Fig. 5는 워터펌프 고장 시 냉각수 온도의 변화를 나타내었다. 워터펌프 고장 시 냉각수의 온도변화를 분석해 보면 냉각수의 온도가 오르는 시간이 정상엔진보다 확연히 빠르고, 저속냉각팬 작동 시작시간 또한 정상 엔진의 경우 1,390초에서

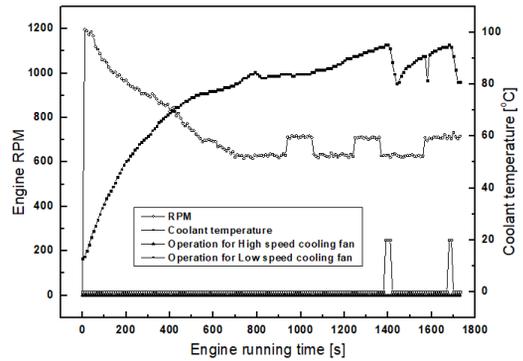


Fig. 4 Coolant temperature with normal engine

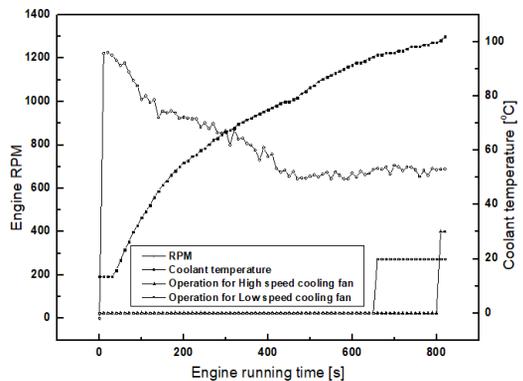


Fig. 5 Coolant temperature with water pump failure

작동했으나 워터펌프 고장 시에는 660초에서 작동이 시작되었다.

Fig. 6은 냉각수온도조절기 고장 시 냉각수 온도의 변화를 나타내었다. 데이터를 분석해 본 결과, 냉각수온도조절기 고장 시에는 정상 작동하는 냉각수온도조절기의 작동구간 없이 온도가 지속적으로 상승한다는 것을 확인할 수 있었으며, 저속 냉각팬 작동 시작시간 또한 정상 엔진에 비해 빠르다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 냉각수 부족 시 냉각수의 온도변화를 나타내는 그래프이며 정상 엔진보다 냉각수의 상승속도가 빠르고, 95°C에서 저속팬이 작동되기 시작하고 중간에 작동이 중단되지 않고 계속 작동하였다. Fig. 8은 냉각팬 고장 시 온도변화를 나타내는 그래프이며 확인 결과, 초기 온도변화는 정상 엔진의 냉각수 온도변화와 큰 차이가 없으나

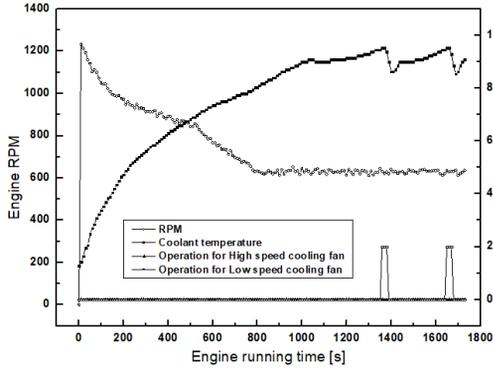


Fig. 6 Coolant temperature with thermostatic failure

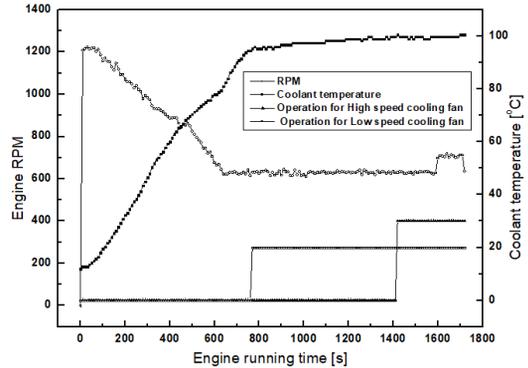


Fig. 7 Coolant temperature with coolant shortage

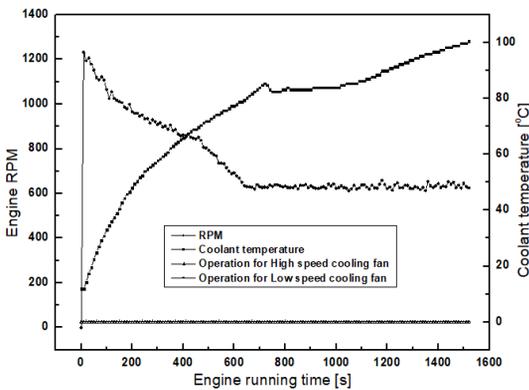


Fig. 8 Coolant temperature with cooling fan failure

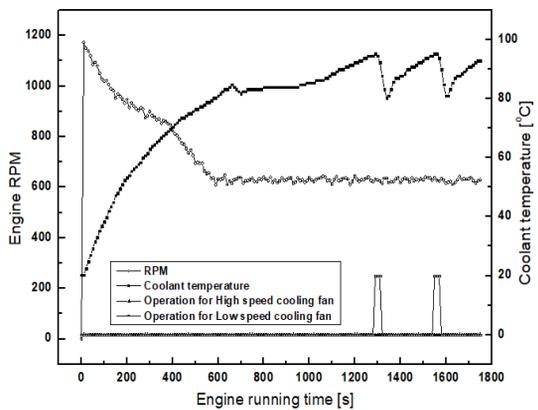


Fig. 9 Coolant temperature with coolant lake blockage

냉각팬 작동 온도에서도 냉각팬이 작동하지 않아 온도가 계속적으로 상승한다는 것을 알 수 있었다. Fig. 9는 냉각수 호수 막힘 시 냉각수 온도의 변화를 나타내었다. 냉각수관의 막힘을 5 mm로 두어 실험을 진행하여 막힘율에 따른 온도의 변화를 판단하기에는 오차가 존재한다. 냉각수 막힘이 있는 엔진의 경우 정상 엔진에 비해 냉각수 온도가 빠르게 상승하나 냉각팬의 작동으로 온도는 정상 엔진과 비슷한 수준으로 안정된다는 것을 확인할 수 있었다. 각 고장 상황 시 냉각수 온도에 따른 저속 냉각팬과 고속 냉각팬의 작동 시작 시간 및 작동시간을 확인하기 위하여 저속 냉각팬과 고속 냉각팬의 작동 시부터 작동 중의 모든 시간에 임의의 값(저속 냉각팬 : 20, 고속 냉각팬 : 30)을 주어 온도변화에 따른 작동상태를 동시에 확인할 수 있게 하였다.

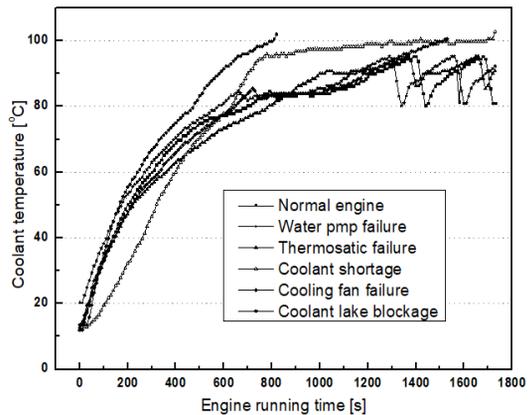


Fig. 10 Coolant temperature on overall abnormal situations

각 실험 중 Fig. 5와 Fig. 7의 경우에는 엔진냉

각수의 온도가 100℃가 넘는 시점에서 과열에 의한 엔진의 손상을 방지하기 위하여 엔진 시뮬레이션의 구동과 데이터 수집을 중지하였다.

3.2 냉각수 온도변화 비교

Fig. 10은 정상적인 엔진의 냉각수 온도변화와 각 고장 상황별 냉각수 온도변화를 나타내었다. 정상적인 엔진 구동 시 냉각수온도조절기의 열림 시간과 저속 냉각팬, 고속 냉각팬의 구동 시작 시간을 나타내었다. 이를 살펴보면 정상적인 엔진의 냉각수 온도변화와 비교하여 각 고장 상황별로 냉각수의 온도가 더 빠르게 상승하는 것을 확인할 수 있었고, 냉각수온도 조절기 열림 시간도 정상 엔진보다 빠르게 시간차가 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 저속팬과 고속팬의 경우에는 가동되는 시간뿐만 아니라 가동시간도 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

가솔린 내연기관 냉각장치의 따른 각 구성품마다 고장별 냉각수 온도변화를 분석하여 냉각수 시스템의 고장원인을 연구하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 고장부위에 따라 냉각수의 온도 변화가 시간별 각각 다른 특성을 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다.

2) 냉각수 온도에 따라 작동이 결정되는 냉각수 온도도조절기와 저속냉각팬 및 고속냉각팬 등의 작동시간이 서로 다르다는 것을 확인할 수 있었다.

3) 따라서 실제 엔진의 냉각라인 고장으로 정비소에 입고한 차량의 점검에서 냉각수계통의 모든 단품들을 탈부착하여 점검하는 방법에서 벗어나 냉각수온도의 변화만으로 특정 고장부위의 추정이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

향후 추가적인 실험과 각 엔진마다의 특성을 고려하여 프로그래밍화 한다면 차량용 진단기를 통해서도 냉각계통의 문제점을 파악하는데 시간과 비용이 절약될 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2019학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

Author contributions

J. C. Moon; Writing-original draft, J. H. Jeong; Writing-review.

References

1. H. K. Lee, 2010, "Experimental Study on Engine Performance Improvement and Exhaust Gas Reduction Using Coolant Additives", Hongik University Graduate School, pp. 3-4.
2. K. B. Lee and K. C. Oh, 2016, "NOx Emission Characteristic according to Aging of EGR Cooler in Non-Road Diesel Engine", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 20, No. 5, pp. 37-45.
3. S. I. Hong, 2015, "Automotive Engine Performance Analysis of antifreeze content and water type", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 3, pp. 1594-1595.
(<https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.1594>)
4. I T. Kim, H. J. Kim, S. H. Lee and J. I. Won, 2005, "Latest car maintenance engineering", Golden-Bell a publishing house, pp. 72-88.
5. J. S. Lee and I. M. Son, 2009, "Failure Forecasting Technology of Electronic Control System Using Automobile Input/Output Signal Detection", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 13, No. 1, pp. 59-64.
6. M. B. Kim, 2006, "Motor vehicle sensor", Golden-Bell a publishing house, pp. 43-45.
7. K. H. Choi, B. H. Kim and K. H. Kim, 1996, "An Analysis of Performance and Cavitation Characteristics of the water pump in automobile Cooling system", The Kyung Hee J. of Laser

- Engineering, Vol. 7, pp. 90-91. (<https://doi.org/10.4767/KAIS.2019.27.3.185>)
8. E. P. Lee, 2019, "Analysis of a Car Fire Caused by a Coolant Leak", Transactions of KSAE, Vol. 27, No. 3, pp. 185-191.
9. P. S. Kim, T. S. Baek and Y. M. Ahn, 2002, "Waveform analysis technique", Golden-Bell a publishing house, pp. 282-285.