

열방출률 (Heat Rejection Rate)을 이용한 PTC (Powertrain Cooling) 성능 추정

민선기*

¹아주자동차대학 자동차계열

Estimation of PTC (Powertrain Cooling) Performance with Heat Rejection Rate

Sunki Min¹*

¹Division of Automotive Engineering, Ajou Motor College

요약 새로운 엔진과 차량을 개발하여 엔진을 차량에 탑재할 때, 중요하게 고려해야 할 사항 중의 하나는 냉각 성능이다. 만약 냉각 성능이 열악하다면 엔진은 과열되어 파손되게 된다. 그러나 자동차회사에서 일반적으로 엔진은 차량보다 훨씬 빠른 시기에 개발이 진행되게 되어 엔진을 차량에 탑재한 조건에서 냉각 성능을 시험할 수 없다. 본 연구에서는 몇 가지 시험과 계산 결과를 이용하여 엔진의 냉각 성능을 추정하였다. 첫 번째로 엔진의 열정산 시험이 진행되었다. 두 번째로 냉각수 유동 시험이 진행되었다. 이 시험에서 라디에이터로 유입되는 유량을 구할 수 있다. 그리고 차량의 냉각 시험 성능 조건으로부터 차량의 부하와 속도를 구하고, 이로부터 엔진의 토크와 rpm이 계산되었다. 그리고 이러한 결과를 비교하여 엔진의 냉각 성능이 추정되었다.

Abstract It is important to consider powertrain cooling performance, when engine is applied to new vehicle. If the performance is poor, engine will be damaged by overheating. But, the development timing of engine is faster than timing of vehicle, it is difficult to test the cooling performance of new engine and vehicle. In this study the powertrain cooling performance was estimated with some test and calculation data. First, the heat rejection test was conducted. From this test, the heat rejection data at required rpm and load was acquired. Second, coolant flow test was conducted. From this test coolant flow rate to radiator was measured. Then engine torque and rpm was calculated from vehicle load and speed. Vehicle load and speed was calculated from test mode. Then by comparing these data, the powertrain cooling performance was estimated.

Key Words : Coolant Flow Data, Heat Rejection Rate, PTC (Powertrain Cooling Performance)

1. 서론

엔진은 내부에서 연료와 공기를 연소시켜 유용한 에너지를 얻어 내는 열기관이다. 그에 따라 열이 지속적으로 발생되므로 엔진이 정상적으로 작동하기 위해서는 냉각수를 순환시켜 엔진을 냉각시켜야 한다. 엔진을 냉각시킨다는 의미는 엔진에서 발생하는 열을 냉각수가 흡수하여 라디에이터로 유입되어 열을 밖으로 방출시킨다는

의미이다. 이 경우 무조건 냉각수의 유량과 라디에이터의 용량을 크게 하면 좋을 것으로 생각되나, 필요이상으로 냉각수의 유량이나 라디에이터의 용량이 크게 되면 냉각수가 지나치게 냉각되어 엔진이 과냉 상태가 되어 효율이 떨어지고 냉각수의 과도한 유량을 순환시키기 위한 동력 손실이 발생하게 된다. 반대로 냉각수의 유량이나 라디에이터의 용량이 작게 되면 과열로 인하여 엔진이 파손될 수 있다. 따라서 엔진에 적합한 냉각수의 유량

*Corresponding Author : Sunki Min(Ajou Motor College)

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

Received January 29, 2015

Revised (1st March 20, 2015, 2nd May 6, 2015)

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

과 라디에이터의 용량을 선정하는 것이 필요하다. 그러한 용량이 적합한지 아닌지는 다양한 냉각 성능 시험 모드를 개발하여 엔진이 차량에 탑재된 상태에서 여러 가지 운전 조건에 따라 시험한 결과로 판단한다. 그러나 이러한 시험의 경우 몇 가지 문제점이 있는데 가장 대표적인 것은 엔진과 차량이 별개로 개발되기 때문에 각각의 개발 시점 차이가 클 경우, 차량 상태에서의 냉각 성능 시험의 시기가 너무 늦어 엔진에 시험 결과를 적용시키기 곤란하거나 아니면 라디에이터의 용량이 엔진의 발열량에 비해 너무 적어 아예 개선이 불가능한 경우가 발생하거나 하는 등의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 소프트웨어를 활용하여 미리 해석해보는 방법[1]도 있으나 본 연구에서는 엔진의 열방출률 (Heat Rejection Rate) 시험 결과와 여러 가지 운전 조건에서의 차량의 동력 성능 계산 결과를 활용하여 간단하게 PTC (Powertrain Cooling) 성능을 예측하고, 이를 실제 시험 결과와 비교하였다. 여기서 Powertrain Cooling은 엔진의 냉각을 의미하는데, 단순히 엔진 냉각이라고 표시하지 않는 이유는 엔진 냉각이라 하면 시험실에서 일정한 온도의 냉각수를 순환시켜 엔진의 온도가 균일하게 유지하는 것을 의미하기 때문이다[2]. PTC 라고 하면 엔진이 차량에 탑재된 상태에서 주행시 발생된 열량, 즉 냉각수로 전달된 열량을 라디에이터를 통하여 외부로 방출하여 엔진이 냉각되는 성능을 의미하므로 엔진과 차량의 운전 조건에 의해 영향을 많이 받는 상태에서의 냉각 성능을 의미한다.

2. 시험 장치 및 시험 방법

2.1 냉각수 유동 시험

냉각수 유동 시험(Coolant flow test)은 엔진 회전수에 따른 냉각수의 유량을 측정하기 위하여 하는 시험이다. 정확한 유량 측정을 위하여 이 시험은 실제 차량과 동일하게 냉각수 회로(Cooling circuit)를 전용 리그에 설치하여 시험한다. 실제 차량과 동일하게 냉각수 회로를 구성하는 이유는 냉각수 회로를 구성하는 각 부품들 - 라디에이터, 히터 및 쓰로틀 바디 등 - 으로 유입되는 유량을 정확하게 측정하기 위함이다. 냉각수는 엔진을 통과하며 열을 흡수한 후, 엔진에서 나와서 일부는 히터로, 일부는 쓰로틀 바디 등으로 흘러가고 나머지는 라디에이터로 유입된다. 겨울철과 같은 경우에는 히터나 쓰

로틀 바디로 유입되는 냉각수도 어느 정도의 냉각 효과가 있을 것으로 생각되나, 여름철에는 냉각 효과를 기대하기 어렵기 때문에 순수하게 라디에이터로 유입되는 유량만 냉각 효과가 있을 것으로 생각하는 것이 필요하다. 그에 따라 실린더 블록 및 헤드를 기준으로 하여 냉각수가 흘러가는 모든 부품들 - 라디에이터, 히터 및 쓰로틀 바디 등 - 을 실제 차량과 동일한 위치에 장착시킨다. 그리고 각 부위로 유입되는 유량을 측정하기 위하여 유량계를 호스 중간 부분에 설치한다. 본 실험에서는 유량계에 의한 간섭 효과를 줄이기 각 호스의 내경과 유사한 크기의 Electro-Magnetic 타입의 유량계를 사용하였다. 또한 라디에이터 입출구, 히터 입출구 등에서의 냉각수 압력 강하와 블록 및 헤드에서의 냉각수 압력의 측정을 위하여 압력계를 장착하여 압력을 측정하였다. 개략적인 시험 장치는 Fig. 1과 같다.

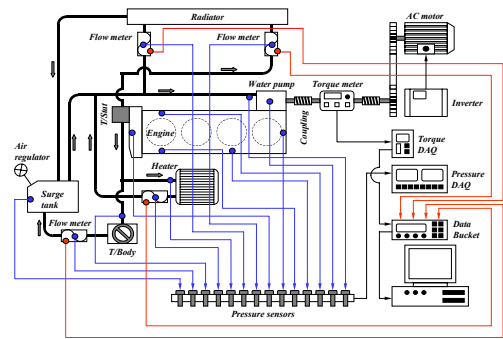


Fig. 1. Schematic Diagram of Coolant Flow Test

2.2 열방출률 시험

열방출률 시험(Heat rejection rate test)은 여러 운전 조건에서 엔진에서 냉각수로 전달되는 열량을 측정하는 것이다. 이 시험은 엔진 다이내모미터에 엔진을 장착한 후, 엔진을 정상적으로 작동시키며 엔진의 속도와 부하를 변경시켜 가며 각각의 조건에서 엔진의 냉각수 입출구 온도, 냉각수 유량 및 엔진 출력을 측정하는 것이다. 이 때 열방출률은 아래의 식 (1)에 의하여 계산된다.

식 (1)이 의미하는 것은 각 운전 조건에서 단위 시간당 엔진에서 냉각수로 전달되는 열량이고, 이것은 엔진이 열적으로 평형 상태에 있기 위해서는 결국 라디에이터에서 외부로 방출해야 되는 열량이 된다.

여기서 유량계는 Coolant Flow Test와 동일하게 Electro-Magnetic 타입의 유량계가 사용되었다.

$$Q = \rho \times C \times \dot{V} \times (T_o - T_i) \quad (1)$$

- Q : heat rejection rate#
- ρ : density
- C : specific heat
- \dot{V} : coolant volume flow rate
- T_o : engine outlet temperature
- T_i : engine inlet temperature

3. PTC 성능 추정 방법

일반적으로 PTC 성능은 테스트 차량을 제작한 후, 엔진에 대한 제어 캘리브레이션 데이터가 어느 정도 작성된 후 이루어진다. 자동차 회사별로 차량의 냉각성능을 평가하는 시험 모드가 다양하게 있는데, 여기서는 가장 가혹한 조건으로 여겨지는 언덕길 저속 주행을 PTC 성능 추정의 대상으로 정하였다. 언덕길 저속 주행 조건이 가혹한 조건인 이유는 언덕길 주행을 위해 엔진은 고부하 상태에서 운행되거나 저속으로 자동차가 움직임에 따라 차량 외부의 공기의 속도는 낮아 라디에이터로 유입되는 공기의 유량이 작아 라디에이터의 냉각 효과가 저하되기 때문이다.

PTC 성능 추정을 하기 위해서는 먼저 실제 차량의 언덕길 저속 주행 모드에 필요한 엔진의 성능과 속도를 구한다. 그리고 그 성능 조건에서의 냉각수 유량과 열방출량을 구한 후, 라디에이터로 유입되는 냉각수 유량을 고려한 라디에이터의 냉각 효과와 비교하는 것이다. 이와 같이 엔진이 차량에 탑재되어 운행 중의 냉각 성능을 예측하기 위해서는 우선 2가지의 시험이 선행되어야 한다. 하나는 전부하 영역에 걸친 열방출량시험 (Heat Rejection Rate Test)을 통한 엔진의 열방출량 측정이고, 다른 하나는 냉각 회로를 차량 상태와 동일하게 구성한 상태에서의 냉각수 유량 측정 시험이다. 이 시험을 통하여 엔진의 각 회전속도에서 냉각수 유량을 알 수 있다. 그 다음에는 언덕길 저속 차량 주행 모드에 해당하는 엔진의 출력을 구해야 한다. 본 연구에서는 자동차 회사에서 사용하는 7.2% 경사도, 40km 정속 주행 조건을 대상으로 하였다. 이러한 주행 모드에 필요한 엔진의 출력을 계산하기 위해서는 우선 이러한 주행 모드에 해당하는 차량의 출력을 계산해야 한다. 차량의 출력은 식 (2)을 이용하여 구할 수 있다. 식 (2)는 차량이 일정한 속도로 주행하기 위해 필요한 힘에 차량의 속도를 곱한 것으로 출력을 계산하는 식이다. 식 (2)에는 차량의 무게, 도로

와의 마찰 손실, 경사에 의한 효과 및 주행시 바람에 의한 손실 등이 고려되어 있다. 이 계산 결과를 기본으로 하여 엔진의 출력을 계산한다.

$$W = F \times V = (F_R + F_{DB} + F_D + F_G) \times V \quad (2)$$

- W : vehicle power
- F : road load force
- V : vehicle speed
- F_R : force due to friction
- F_{DB} : force due to trailer drawbar
- F_D : force due to drag
- F_G : force due to grade

엔진의 토크는 식 (3)을 사용하여 구한다. 차량의 출력으로부터 엔진의 토크를 계산하기 위해서는 타이어의 크기, 기어비 및 트랜스 미션 등에서의 마찰 손실 등을 고려하여야 한다. 식 (2)에서 구한 차량의 출력을 $2\pi N$ 으로 나누고 구동계의 마찰손실을 고려함으로써 엔진의 토크를 구할 수 있다.

$$Tq = \frac{W}{2\pi N} \times \frac{1}{C_f} \quad (3)$$

- Tq : engine torque
- W : vehicle power
- N : engine speed corresponding to vehicle speed
- C_f : correction factor due to transmission friction loss

엔진의 토크를 구하면 필요한 모든 자료가 갖춰졌으므로 Fig. 2와 같은 방법으로 엔진의 열방출량과 그 때의 라디에이터에서 외부로 방출되는 열량을 비교한다. 즉 먼저 냉각수 유동 시험과 열방출량 시험을 하여 기본 데이터를 확보한다. 그리고 차량의 냉각 시험 주행 모드에 필요한 엔진의 토크와 회전속도를 구하여 실험에서 구한 Heat Rejection 데이터로부터 그 주행 모드에서 냉각수로 방출되는 열량을 구한다. 또한 엔진의 냉각수 유동 시험결과로부터 그 주행 모드에서 라디에이터로 유입되는 냉각수의 유량을 구한다. 라디에이터로 유입되는 냉각수의 입출구 온도차는 최소 6 ~ 7°C 정도 유지되도록 선정되므로 유량 데이터와 이러한 온도차를 이용하여 라디에이터에서 대기로 방출되는 열량의 계산이 가능하다. 이렇게 구한 데이터를 비교하여 엔진에서의 열방출량보다 라디에이터의 방열량이 더 큰 값을 갖는지 확인한다.

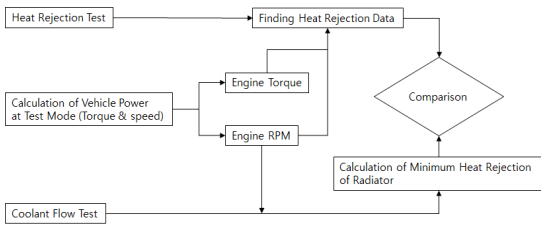


Fig. 2. Estimation Method of Powertrain Cooling Performance

4. PTC 추정 결과

4.1 열방출량 및 냉각수 유동 시험결과

Fig. 3에 엔진의 열방출량 시험결과가 나와 있다. Fig. 3 그래프에서 x 축은 엔진의 회전 속도, y 축은 엔진의 토크이다. 사각형 안의 숫자는 엔진의 열방출량 시험결과이다. 그래프를 보면 동일한 토크에서 엔진 회전속도가 증가할수록 열방출량이 증가하고, 동일한 엔진 회전 속도에서 토크가 증가할수록 열방출량도 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 엔진의 열방출량은 토크가 증가할수록, 엔진 회전 속도가 증가할수록, 증가한다.

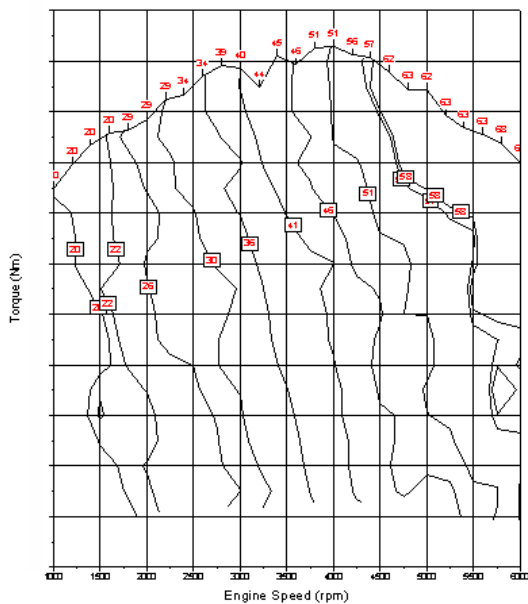


Fig. 3. Heat Rejection Test Result

Fig. 4에는 냉각수 유동 시험결과가 나타나 있다. x 축은 엔진의 회전속도, y 축은 냉각수 유량이다. 결과로

나타난 데이터는 차례로 펌프, 라디에이터, 히터, 쓰로틀 바디로 유입되는 유량을 의미한다. 냉각수 유동 시험결과를 보면 엔진의 속도가 증가함에 따라 각 부품으로 유입되는 유량이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 여기서 중요한 것은 라디에이터로 유입되는 유량으로 실질적으로 엔진의 냉각에 영향을 미치는 유량이다.

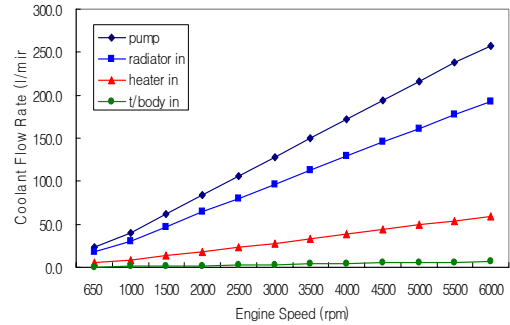


Fig. 4. coolant Flow Test Result

4.2 차량 및 엔진 출력 계산

본 연구에서 준중형차와 1600cc 엔진을 대상으로 계산하였다. 식 (2)로부터 구한 차량의 출력은 힘 1,666 N 및 시속 40 km/h 이다. 이를 기준으로 식 (3)을 이용하여 엔진의 출력을 계산하면 112 Nm, 2000 rpm의 데이터가 구해진다. 이 데이터를 기준으로 엔진의 열방출량 데이터를 구하면 엔진의 열방출량은 25 kW 정도이다.

라디에이터의 열방출량 계산을 위해서 라디에이터로 유입되는 냉각수 유량을 구하면 엔진 회전속도 2000 rpm에서 64 l/min이 측정되었다. 라디에이터의 열방출량은 차량의 속도와 외부의 바람 속도 등에 의해 영향을 많이 받는데, 여기서는 최악의 경우를 고려해서 외부의 바람에 의한 냉각 효과는 고려하지 않고 라디에이터에 장착되어 있는 냉각팬을 회전시켜 냉각하는 경우로 가정하였다. 이 경우 일반적으로 라디에이터 입출구 온도차가 6°C 가 되도록 라디에이터와 냉각팬을 설계하므로 이 운전 조건에서 라디에이터에서 방출하는 열량은 26.5kW가 되어 엔진의 발열량을 약간 상회함을 알 수 있다. 그에 따라 이 조건에서 엔진이 주행되어도 냉각적인 문제는 없을 것으로 생각되고 냉각수 유량, 즉 냉각수 펌프의 용량 등은 적합한 것으로 생각된다.

Fig. 5에 실제 차량으로 7.2% 경사도를 40km/h로 주

행하는 경우, 엔진 입출구에서의 냉각수 온도가 그래프로 표시되어 있다. 그래프에서 위쪽의 데이터는 엔진 출구의 냉각수 온도이고 아래의 데이터는 엔진 입구의 냉각수 온도이다. 엔진 입구의 온도는 냉각수가 라디에이터를 통과하며 냉각되어 출구보다 온도가 낮아지게 된다. 시험은 사시동력계에서 수행되는데, 엔진이 충분히 워밍업 될 때까지 차량을 주행한 후, 시험을 시작하여 정해진 시간동안 주행한 후 차량을 멈추는 것으로 구성되어 있다. 시험 시작시 87℃의 냉각수 온도가 시험이 진행됨에 따라 완만하게 상승하여 110℃ 정도에 도달했음을 알 수 있다. 결과적으로 냉각수 온도가 완만하게 상승하기는 하나 시험 구간 종료 시점까지 엔진에서 유출되는 냉각수의 온도가 110℃ 정도로 엔진의 냉각 문제는 발생하지 않았음을 알 수 있다.

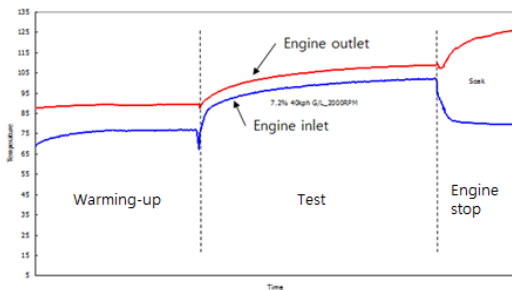


Fig. 5. Coolant Temperature at Inlet & Outlet of Radiator at Vehicle Test

4. 결론

차량 상태에서의 Powertrain Cooling Performance 추정과 관련하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

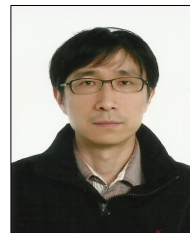
- 1) 엔진의 열방출량 시험 결과와 냉각수 유동 시험 결과를 이용하여 차량에 엔진을 장착하여 실제로 시험해 보기 전에 Powertrain Cooling Performance를 추정할 수 있는 방법을 개발하였다.
- 2) 실제 엔진 및 차량 시험 결과에 대하여 적용한 결과 차량 상태에서의 결과를 어느 정도 예측 가능함을 알 수 있었다.

References

- [1] Sungpil Won, Jonggap Youn, "Computer Simulation of an Automotive engine Cooling System", Transactions of KSAE, Vol. 11. No. 4, pp. 58-67, 2003.
- [2] Kichan Kim, Moonsoo Chon, J. Yun, Sunki Min,, "An Experimental Study on Engine Cooling System Improvement", Proc. of KSAE Autumn Conference 2000-03-2128, pp47-52, 2000.

민 선 기(Sunki Min)

[정회원]



- 1992년 2월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (기계공학석사)
- 1999년 8월 : 연세대학교 연세대학원 기계공학과 (기계공학박사)
- 1999년 8월 ~ 2012년 2월 : 한국지엠 부장
- 2012년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수

<관심분야>

내연기관 성능 및 연비 개선