

<논문> SAE NO. 933752

가위형 링크 기구를 이용한 기관의 피스톤 온도 분포 측정

Measurement of Engine Piston Temperature Distribution by Using Scissors-type Linkage System

김 재 업*, 이 종 화**, 김 세 응*** 김 응 서****
J. U. Kim, J. H. Lee, S. W. Kim, E. S. Kim

ABSTRACT

The program for the development of linkage system was made and the scissors-type linkage system was designed. The piston temperature distribution under steady state was measured by the linkage system and thermocouple. The effects of engine speed, coolant outlet temperature, and torque on the piston temperature were investigated.

The peak temperature finds itself at the center of piston crown and the temperature of the exhaust valve side is about 10°C higher than that of the intake valve side. As engine speed increases, piston temperature goes up almost linearly and the increasing rate was lower in the skirt than in the crown. As coolant outlet temperature increases by 10°C, piston temperature increases by 6~7°C at each measuring point. In case of torque the increasing rate is higher in the lower load than in higher load.

The scissors-type linkage system is useful for temperature measurements and can be used in other physical property measurements in the moving parts, such as piston and connecting rod assembly.

주요기술용어 : Scissors-type linkage system(가위형 링크 기구), Thermocouple(열전대), Piston temperature distribution(피스톤 온도분포)

1. 서 론

연소실 벽면으로의 열전달량은 기관의 종류, 운전 조건 등에 따라 다양하게 변화하며, 연소실을 구성하는 각 부분으로의 열전달량도 일정하지 않다. 연소실의 각 부분과 냉각 유체 사이의 불균일한 열전달량과, 서로 다른 열적 저항때문에

기관 각 구성품의 온도 분포는 일정하지 않게 된다.^{1, 2, 3)}

피스톤의 온도는 기관의 성능과 밀접한 관계가 있고, 피스톤의 내구성에도 영향을 미치므로 피스톤의 표면 온도를 측정함으로써 기관 회전 속도와 출력이 증가할 때 생기는 피스톤의 열적 손상의 원인을 분석하고, 문제점을 해결해 나갈

* 서울대학교 대학원 기계공학과
** 서울대학교 정밀기계설계공동연구소
*** 금오공과대학 기계공학과
**** 서울대학교 공과대학 기계공학과

수 있다. 또한 표면 온도는 유한 요소법에서 필요한 경계 조건이 되며, 실린더 내의 연소 모델링에도 유용한 정보로써 사용된다.

피스톤과 같이 고속으로 왕복 운동하는 부품의 온도를 측정하기 위해서는 특별한 장치가 필요하다. 지금까지 사용된 방법들을 분류해보면, 크게 링크 기구(Linkage System)를 이용하여 피스톤으로부터 나오는 센서선을 직접 기관의 밖으로 인출하는 방법과 단속적인 접촉에 의해 데이터를 받는 방법, 그리고 인출선을 따로 사용하지 않고 무선 송신을 이용하는 방법으로 나눌 수 있다⁴⁾.

링크 기구를 이용하는 경우 여러 형태의 링크 기구가 고안되었는데 크게 L링크(L-link), 그라스호퍼형 링크(Grasshopper-type Linkage), 가위형 링크(Scissors-type Linkage)로 나눌 수 있다. L 링크는 피스톤 핀 보스부와 연결된 L자 형태의 링크가 다른 지지부에 달린 직선 링크와 연결되어 있는 구조로 되어 있는데 링크의 설치를 위해 기관 본체를 변형해야 하는 단점이 있다. 그라스호퍼형 링크는 상단 링크는 커넥팅 로드 하단부와 연결되고 하단부는 오일팬의 한쪽에 피봇 조인트(pivot joint)로 고정되어 있는 구조로 되어 있다. 가위형 링크는 상단 링크는 그라스호퍼형 링크와 마찬가지로 커넥팅 로드 하단부와 연결되어 하단 링크는 크랭크 축 베어링에 연결되어 있는 고정부와 연결되어 오일팬 내에 장착하는 구조로 되어 있으며 현재까지 고안된 것들 중에서 가장 우수한 모델로 평가받고 있다. 링크 기구의 경우 자체의 관성으로 기관의 운동에 영향을 끼치게 된다는 점과, 센서선이 반복 하중을 받아 쉽게 단선되는 것이 단점이지만 이러한 문제는 어느 정도 해결되고 있고, 높은 기관 회전 속도에서 기관에 큰 변형을 가하지 않고 많은 데이터를 동시에 측정할 수 있는 장점이 있다.

단속적인 접촉 방식은 상사점이나 하사점과 같은 위치에서 순간적으로 데이터를 전송받기 때문에 연속적인 데이터를 얻을 수 없어 현재는 사용되지 않고 있다. 무선 송신의 경우는 아주 작은 전송 시스템을 피스톤 하단부에 부착하고 외부에서 안테나를 사용하여 데이터를 전송받는

방식으로 선을 사용하지 않는다는 점이 매우 큰 장점이다. 그러나 장치의 소형화, 센서의 선정, 전기 장치들을 피스톤에서 전달되는 열로부터 차단하는 단열, 전송에 필요한 전원, 그리고 가장 큰 문제인 송수신 과정에서 발생하는 노이즈의 제거 등 기술적으로 해결해 나가야 할 점이 아직도 많이 남아 있고 링크 기구보다 측정점의 수가 적은 것이 단점으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 가위형 링크 기구를 개발하고 이를 이용해 기관 회전 속도, 냉각수 출구 온도, 토크 변동에 따른 피스톤의 여러 위치에서 정상 상태 온도 분포를 측정하였다.

2. 가위형 링크 기구

2.1 개요

링크 기구의 목적은 운전 상태하의 기관으로부터 기관의 운전에 미치는 영향을 최소한으로 적게 하면서 센서선을 안전하게 보호하고 원하는 신호를 기관 밖에서 검출할 수 있도록 하는 데 있다. 링크 기구를 설계할 때 고려할 점은 다음과 같다.

- 1) 각 링크간의 각도 변화량이 최소이어야 한다.
- 2) 링크가 받는 힘이 최소이어야 한다.
- 3) 고속으로 회전하는 기관의 운전 조건에 견딜수 있는 강도를 지녀야 한다.
- 4) 기관 내 좁은 공간에서 다른 구동부와 간섭없이 원활한 운동을 해야 된다.
- 5) 열전대선의 도출이 용이한 형상이어야 한다.

링크간의 각도 변화량은 열전대선의 비틀림각을 결정 짓는 중요 인자이므로 열전대선의 수명을 늘리기 위해서는 링크간의 각도 변화량이 최소가 되도록 설계되어야 한다. 일반적으로 링크의 길이가 길어질수록 링크간의 각도 변화량은 작아지게 된다. 그러나 링크의 길이는 기관의 제한된 형상과 링크 자신의 무게로 인해 기관에 주게되는 영향 때문에 또한 되도록 작게 선정되어야 한다. 이 점이 링크의 최적 설계에서 가장 큰 어려움이다.

링크 기구는 기관에서 운동이 가장 심한 부분 중의 하나인 커넥팅 로드 하단부에 연결되므로 심한 진동을 받고 빠른 회전을 하게 된다. 이러한 조건에서 움직이는 링크 기구의 내구성이 보장되기 위해서는 링크 기구의 각 부재가 운전 중 받게 되는 힘이 최소이어야 하고, 재질 역시 충분한 강도를 가져야 한다.

본 연구에서는 링크 기구의 최적 설계를 위해서 기관 운전 중의 링크 기구를 구성하고 있는 부재들 사이의 각도 변화량, 각속도, 각가속도 그리고 각 부재의 각가속도와 가속도를 계산하여 이들의 최적값을 찾아주는 프로그램과, 이렇게 해서 선정된 여러 형태의 링크 기구의 운동 궤적을 보여주는 그래픽 프로그램을 작성하였다.

2.2 링크 기구 설계

Fig.1에는 본 설계에서 사용한 좌표계와 링크를 구성하는 각 부재의 명칭을 나타내었다. 좌표(x_0, y_0)는 크랭크축을 나타내고, (x_5, y_5)는 링크 기구의 운동을 지지하는 고정점이 된다. Fig.2는 크랭크각에 따른 링크 1과 링크 2 그리고 링크 2와 링크 3 사이의 각도 변화를 두 종류의 링크 기구에 대해 보여주고 있다. 첫번째 링크 기구는 $a=70, b=100, c=51, l_x=10, l_y=150$ mm인 경우이고, 두번째 링크 기구는 l_y 를 170mm로 20mm만큼 늘린 것이다. 여기서 중요한 것은 위에서도 언급했듯이 각도의 최대값과 최소값의 차이가 되는 각도 변화량이다. 그림에서 볼 때 경우 2가 경우 1보다 적은 각도 변화량을 보이고 있기 때문에 우수한 모델로 평가된다.

Fig.3은 Fig.2에서 예를 든 두가지의 링크 기구에 대해, 1000rpm으로 회전할 경우, 크랭크각에 따른 링크 1과 링크 2의 각가속도 변화를 나타낸 것이다. 링크 기구의 연결부에서 작용하는 힘이 최소가 되려면 이 값들이 작아져야 한다. 여기서도 작은 각가속도를 가지는 두번째 링크 기구가 우수하다.

작성된 프로그램에 의해 각 물리량이 최적값을 갖고 다른 구동부와의 간섭이 발생하지 않도록 부재의 길이를 산정한 뒤 열전대선의 도출을 쉽게 하고 전체 질량을 감소시키는 방향으로 형상을

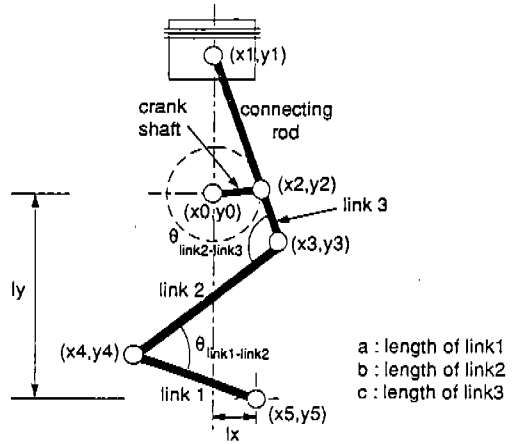


Fig.1 Coordinates and notation of piston assembly and linkage system.

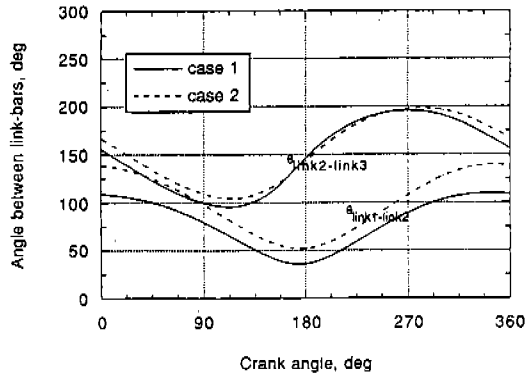


Fig.2 Variations of the angle between link-bars with crank angle.

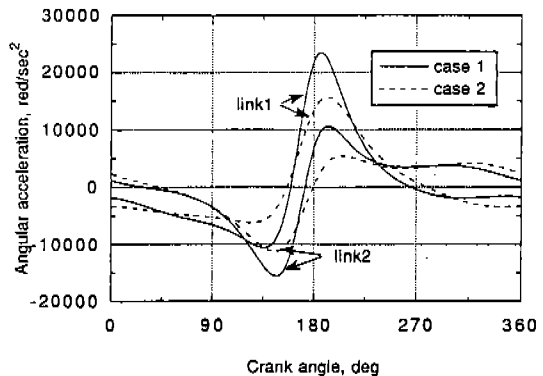


Fig.3 Variations of the angular acceleration of link-bars with crank angle(1000rpm).

설계하였다. 열전대선은 각 링크 연결부의 핀을 통해 도출되도록 되어 있으며 각 링크에서 링크와 단단히 고정할 수 있도록 설계하였다. 열전대선은 각 링크 연결부의 핀을 통과하는 부분에서만 한정된 비틀림을 받도록 되어 있다. 링크 기구의 재질은 전체 질량을 고려해서 두랄루민으로 하였으며, 고속에서의 진동에 따른 링크의 내구성 감소를 해결하기 위해 각 링크 연결부의 틈새를 허용되는 한계까지 줄여 횡방향으로의 떨림이 최소화되도록 하였다. 링크 연결부의 핀은 한쪽 링크에서만 억지 끼워 맞춤이 되도록 하였다. 윤활은 오일팬속의 오일로 이루어진다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

실험에 사용된 기관은 실린더 직경 76.5mm, 피스톤 행정 81.5mm, 압축비 9, 배기 체적 1.498ℓ인 수냉식 4기통 4사이클 전기 점화 기관이며, 기관 동력계는 수냉 와전류 제동형으로, 최대 흡수 마력 100ps, 최고 흡수 회전 속도 7000rpm이다. 기관의 회전 속도와 토크는 기관 동력계에서 수동 또는 자동으로 제어할 수 있다.

기관 각 부재의 온도는 냉각수의 온도 변화에 큰 영향을 받으므로, 본 실험에서는 냉각수의 온도를 일정하게 유지시켜주기 위해 펌프로 구동하는 별도의 냉각장치를 사용하였다. 이 냉각장치는 외부로부터 냉각수를 공급받아 기관으로 공급되는 냉각수의 온도를 제어할 수 있도록 되어 있다. 냉각수 공급 장치에는 또한 별도의 예열기를 부착하여 실험에 들어가기 전에 냉각수의 온도를 원하는 온도로 올려주고, 기관을 예열하는 데에도 사용된다.

열전대선으로부터 나오는 온도의 기록은 직접 메모리 방식의 12비트 A/D 변환기를 사용하는 다채널 기록계를 이용하였다. 사용한 다채널 기록계는 확장시 24채널(확장전 12채널)까지 동시에 측정해 낼 수 있는 장비로서 본 실험에서는 총 9채널을 이용하였으며, Fig.4에는 실험 장치의 개략도를 나타내었다.

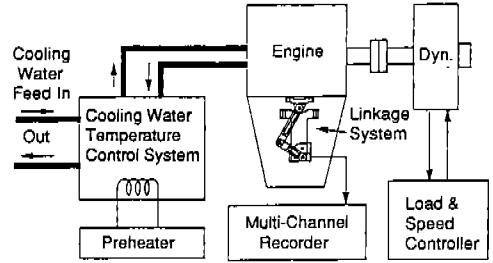


Fig.4 Schematic diagram of experimental apparatus.

3.2 피스톤 온도 측정

본 연구에서 사용된 열전대선은 미국 OMEGA사에서 제작한, 소선 지름이 0.254mm(0.01 in)인 K-형(Cromel and Alumel) 열전대선으로서 최대 사용 온도 범위가 $-200\sim 1250^{\circ}\text{C}$ (EMF: $-5.973\sim 50.633\text{mV}$)이다.

열전대선은 지름이 0.254mm인 두 개의 구멍이 뚫린 세라믹 단열재를 사용하여 피스톤과 절연하였고, 이 절연된 열전대선은 알루미늄 에폭시를 사용하여 피스톤의 각 측정점에 고정하였다. 사용한 접착제는 전기적으로 부도체이고 열전달계수가 낮기 때문에 피스톤의 순간적인 온도 변화에 늦게 반응하는 단점이 있지만 정상 상태의 온도를 측정하는 본 실험에서는 크게 문제되지 않으므로 실험을 진행하였다. Fig.5(a)는 피스톤의 측정점으로부터 링크 기구까지 열전대선을 인출하는 방법을 보여주고 있다. 열전대선은 각 측정점으로부터 모아져 피스톤에 뚫린 구멍을 통해 일단 피스톤 핀의 내부로 보내진 뒤 피스톤 핀에 가공된 구멍을 통해 커넥팅 로드로 나오도록 되어 있다. 이 방법은 열전대선의 굽힘이 최소화 되도록 하는 방법으로써 내구성이 우수한 도출 방법으로 평가되고 있다. 실제 실험 결과 이 방법으로 인출된 열전대선은 거의 단선이 되지 않았음을 알 수 있었다.

커넥팅 로드까지 나온 열전대선들은 커넥팅 로드에서 접착제를 사용하여 단단히 고정된 후 다시 링크 기구까지 인도되어 여기서부터는 Fig.5(b)에 나타나 있는 것과 같이 링크 연결부의 핀 구멍을 통해 링크를 따라 기관 밖의 다채널 기록계로

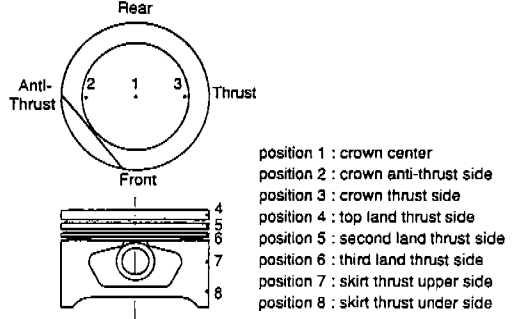
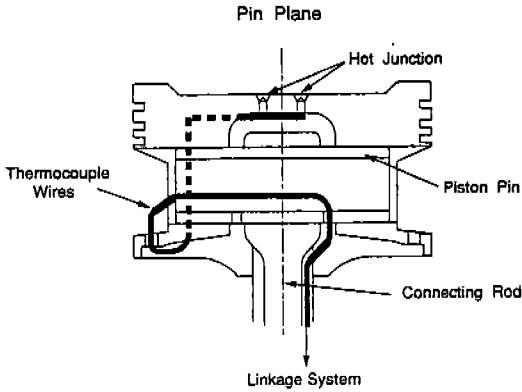


Fig.6 Temperature measuring points in the piston.

a) From hot junction to connecting rod

인출된다.

온도 측정은 열전달의 양상이 비교적 균일하다고 생각되는 2번 피스톤에 대해서 수행되었으며 측정 위치는 모두 8지점으로 Fig.6에 나타낸 바와 같다. 피스톤의 온도는 기관이 정상 상태에 도달한 때부터 약 30초간 받은 데이터를 평균하여 얻었다.

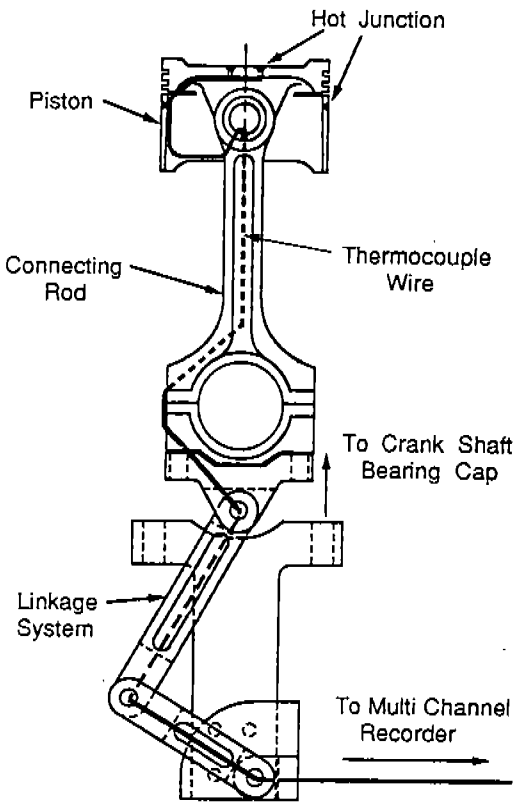
4. 결과 및 검토

기관 회전 속도, 냉각수 출구 온도, 토크 변화에 따른 피스톤의 정상 상태 온도 분포를 측정하였으며, 각 인자가 피스톤 온도 분포에 미치는 영향은 다음과 같이 요약할 수 있다.

4.1 기관 회전 속도에 따른 영향

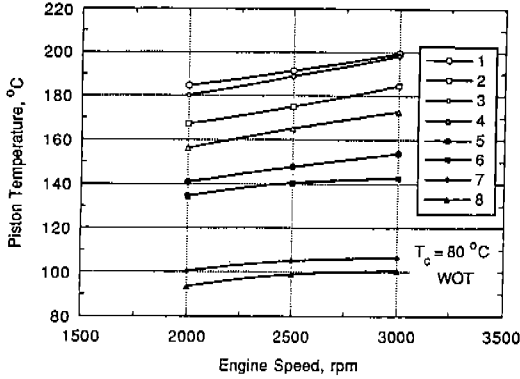
전부하(WOT) 상태에서 냉각수 출구 온도를 80°C로 유지한 채 기관 회전 속도를 변화시켜 가며 피스톤의 온도를 측정하였으며, Fig.7에는 그 결과를 나타내었다.

실험은 2000, 2500, 3000rpm에 대해 이루어졌는데, 기관 회전 속도가 증가함에 따라 피스톤의 온도는 거의 선형적으로 상승하는 경향을 나타내었다. 회전 속도가 증가할수록 단위 시간당의 연료 소비량의 증가와 함께 열방출량도 증가하므로 피스톤의 열부하도 증가하게 된다. 최고 온도점은 크라운 중심부인 1번 위치이며, 주목할 점은 크라운 부분에서 온도 분포가 결코 대칭적

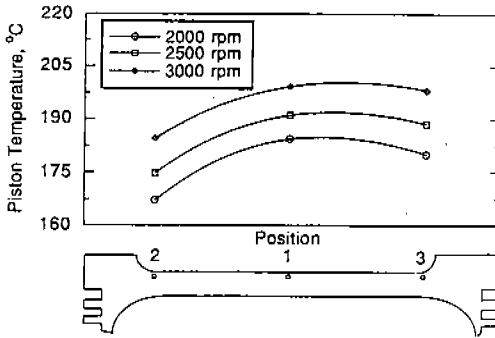


b) From connecting rod to multi-channel recorder

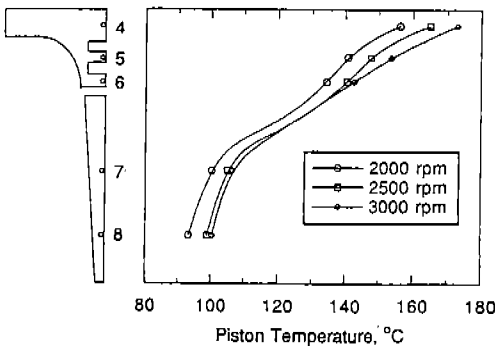
Fig.5 Installation method of thermocouple wire.



a) Piston temperature vs. crank angle



b) Temperature gradient at crown



c) Temperature gradient at land and skirt

Fig.7 Variations of piston temperature with engine speed(WOT, $T_c=80^\circ\text{C}$).

으로 나타나지 않는다는 사실이다. 기관의 각 부재료의 열전달률에 관한 종래의 Woschni의 관계식 결과(2)는 피스톤 크라운 중심부에 대해 온도 분포가 거의 대칭이 됨을 보인 바 있는데, 이는 실제로 피스톤으로의 열전달 현상을 정확히 예측하지 못한 것임을 알 수 있다. 배기 밸브 쪽인 3번이 흡기 밸브 쪽인 2번보다 10°C 이상 높게 나타나는데 이는 흡기 밸브쪽은 유입되는 차가운 신기로 냉각되며 상대적으로 배기밸브쪽은 고온의 배기 가스에 의해 높은 온도로 유지되기 때문이다. 또한 냉각수 통로가 있는 실린더 블럭과의 비대칭적인 열전달도 원인이라고 생각된다. 따라서 실린더 블럭의 냉각수 통로를 설계할 때에 이 점에 대한 고려가 필요하다.

톱랜드(top land) 부분인 4번과 세컨드랜드(2nd land) 부분인 5번의 온도차가 20°C 정도로서 큰 온도 구배를 보이고 있으며, 이로부터 많은 양의 열이 1번 압축링을 통해 방출됨을 알 수 있다.

스커트(skirt) 부분인 7번과 써드랜드(3rd land) 부분인 6번의 온도차가 약 30°C 이상으로 나타나는 데 이는 오일링 홈에 슬릿(slit)을 내어 열전달을 차단했기 때문이다. 온도의 증가 폭은 스커트 부분으로 갈수록 둔화되는데 기관 회전 속도가 증가할수록 열이 피스톤 하부로 바로 방출되어 스커트 부분까지 전달되는 양이 적어지기 때문으로 생각된다.

4.2 냉각수 출구 온도에 따른 영향

전부하 상태에서 기관 회전 속도를 2000rpm으로 고정시키고, 냉각수 출구 온도를 50, 60, 70, 80°C 로 바꿔가며 실험을 수행하였으며, Fig.8에는 그 결과를 나타내었다.

냉각수 온도가 증가함에 따라 모든 측정점에서 피스톤의 온도가 상승하는데 주목할 점은 모든 측정점에서 기울기가 거의 일정하다는 것이다. Fig.7에서 기관 회전 속도에 따른 피스톤 온도의 증가폭이 적은 부분에서는 작았던 점과 비교하면 특이한 결과이다. 이로부터 냉각수 온도에 따라 열전달량이 모든 점에서 거의 고르게 증가한다는

것을 알 수 있다. 냉각수 출구 온도가 10°C 상승함에 따라 피스톤의 온도는 모든 측정점에서 고르게 6~7°C만큼 상승했다.

4.3 토크 변화에 따른 영향

기관 회전 속도를 2000rpm, 냉각수 출구 온도를 80°C로 고정시키고, 토크를 변화시키며 피스톤의 온도를 측정하였으며, 그 결과를 Fig.9에 나타내었다.

모든 측정점에서 토크 증가에 따라 온도가 증가하지만 온도의 증가폭은 토크증가에 따라 감소됨을 볼 수 있는데, 이는 토크가 적은 영역에서는 피스톤의 온도가 토크 변화에 따라 민감한 반응을 보인다는 것을 의미한다. 또한 증가폭은 크라운 부분에서 스커트 부분으로 내려갈수록 점진적으로 감소된다.

5. 결 론

가위형 링크 기구를 개발하였고, 이를 이용하여 기관 회전 속도, 냉각수 출구온도, 토크 변화에 따른 전기 접화 기관의 피스톤의 정상 상태 온도 분포를 측정하였다. 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 가위형 링크 기구 설계를 위해 각 링크 연결부에서의 각도 변화량, 각속도, 각가속도와 링크의 질량 중심에서의 가속도, 각가속도를 계산하는 프로그램과 링크 기구의 운동 궤적을 보여주는 프로그램을 작성하였고, 이는 모든 왕복동 기관에 대해서도 사용될 수 있다.
- 2) 가위형 링크 기구는 피스톤의 온도를 측정할 수 있는 유용한 장치이며, 나아가 피스톤이나 커넥팅로드 어셈블리 등과 같은 운동 부분으로부터 다른 물리량을 측정하는 데에도 이용될 수 있다.
- 3) 피스톤의 최고 온도점은 크라운 중심부로 나타났고, 배기 밸브쪽의 온도가 흡기 밸브쪽의 온도보다 10°C 이상 높게 나타난다.
- 4) 기관 회전 속도가 증가함에 따라 피스톤의 온도는 거의 선형적으로 증가하는데 그 상

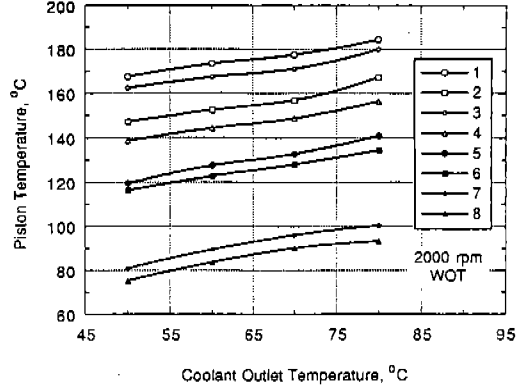


Fig.8 Variations of piston temperature with coolant outlet temperature(WOT, 2000 rpm).

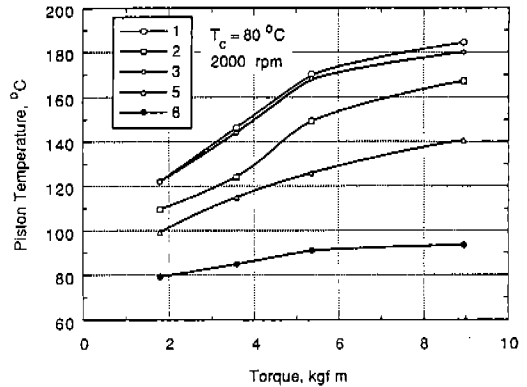


Fig.9 Variations of piston temperature with torque(2000rpm, Tc=80°C).

승폭은 크라운 부분에서 스커트 부분으로 갈수록 감소된다. 냉각수 출구 온도가 10°C 증가함에 따라 피스톤 온도는 전 측정점에서 6~7°C 고르게 상승하였다. 토크 증가의 경우 모든 측정점에서 저부하쪽에서는 급격한 온도 증가를 나타냈고 고부하로 갈수록 상승폭이 줄어들었다.

참 고 문 헌

1. 이정현, 최재권, 이현순, "Linkage System을 이용한 피스톤의 온도 측정", 자동차학회 춘계학술강연 초록집, 1989.

2. 유세종, “전기 점화 기관에서 연소 및 가스 교환 과정을 고려한 실린더 주위의 열전달 특성에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 박사 학위논문, 1992.
3. J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, 1989.
4. C. R. Mure and K. T. Rhee, “Instantaneous Heat Transfer over the Piston of a Motored Direct Injection-Type Diesel Engine”, *SAE paper* 890469, 1989.
5. R. W. Burrahm, J. K. Davis. W. D. Perry, and Armando De Los Santos, “Development of a Piston Temperature Telemetry System”, *SAE paper* 920232, 1992.
6. S. Furuham, H. Suzuki, “Temperature Distribution of piston Rings and Piston in High Speed Diesel Engine”, *Bulletin of the JSME*, vol. 22, no. 174, pp.1788~1795, 1979.
7. S. Furuham, Y. Enomoto, “Piston Temperature of Automobile Gasoline Engine in Driving on the Road”, *Bulletin of the JSME*, vol. 16, no.99, pp.1385~1400, 1973.
8. D. N. Assanis, F. Friedmann, “A Telemetry Linkage System for piston Temperature Measurement in a Diesel Engine”, *SAE paper* 910299, 1991.
9. *Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement*, ASTM special Technical Publication 470A, 1979.
10. *Temperature measurement of engines*, JSME S 007, 1986.
11. G. Woschni, J. Fieger, “Determination of Local Heat Transfer Coefficients at the Piston of a High Speed Diesel Engine by Evaluation of Measured Temperature Distribution”, *SAE paper* 790834, 1979.
12. K. L. Hoag, “Measurement and Analysis of the Effect of Wall Temperature on Instantaneous Heat Flux”, *SAE paper* 860312, 1986.

후 기

이 연구는 대우자동차의 지원을 받아 이루어진 것이며, 이에 관계자 제위에게 감사드립니다.