

# 자동차 폐에너지 회수를 위한 기액 스텔링 엔진의 스프레이 효율 측정을 위한 실험장치 설계

## Test Rig Design for Performance Measurements of Spray Heating for Use in Vapor-Liquid Stirling Engine Aiming at Vehicle Waste Energy Recovery

심규호†·김민기\*·이윤표\*\*·장선준\*\*\*

Kyuhoo Sim, Min-Gi Kim, Yun-Pyo Lee, and Seon-Jun Jang

### 1. 서 론

현재 고유가 및 환경오염의 문제로 자동차 엔진에서 버려지는 폐에너지의 회수에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 스텔링 엔진(Stirling engine)은 외연기관으로서 다양한 열원 활용, 높은 에너지 변환효율, 구조의 단순성, 그리고 저진동, 저소음의 정숙성 등의 장점으로 인하여 새롭게 각광을 받고 있다<sup>(1)</sup>. 본 논문에서 제시되는 기액 스텔링 엔진(Vapor-liquid stirling engine)<sup>(2)</sup>은 고온 열원을 이용하여 작동 액체를 가열하고 이를 스프레이의 형태로 스텔링 엔진 내부의 작동공간에 공급함으로써 기존 스텔링 엔진에 비하여 열전달 효율을 크게 향상하여 폐에너지 회수율을 높일 수 있다.

Figure 1은 기액 스텔링 엔진의 개념도를 보여준다. 기액 스텔링 엔진은 스프레이 노즐을 통해 실린더 내의 고온부와 저온부 작동 공간에 각각 고온과 저온의 액체를 분사해 주는 구조로 되어 스프레이로 인한 가열 및 냉각 효율이 성능을 좌우한다.

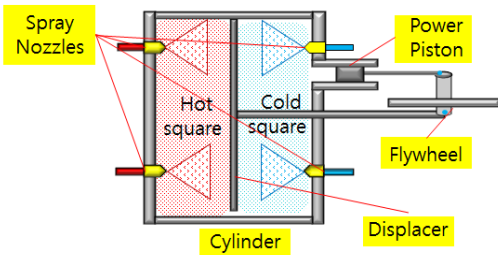


Fig. 1 Schematic of a vapor-liquid stirling engine

스프레이에 의한 열전달 현상과 관련하여 Kim<sup>(3)</sup>

† 교신저자; 정회원,

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

E-mail: [khsim@seoultech.ac.kr](mailto:khsim@seoultech.ac.kr); Tel: 02-970-7195

\* 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

\*\* 한국과학기술연구원 도시에너지시스템연구단

\*\*\*이노베이션 KR

은 마이크로 히터 표면으로의 스프레이 분무를 이용해 표면의 냉각 효율 및 열전달 현상에 대해 연구하였다. 실험은 분무 액체의 유량, 표면의 거칠기, 표면의 구조 등에 대하여 수행하였다. Horacek<sup>(4)</sup>은 스프레이 냉각에서 차냉각(Subcooling)과 유체에 용해된 가스(Dissolved Gas)가 고체 표면의 열전달에 미치는 영향을 연구했으며, Lin<sup>(5)</sup>은 압력과 비응축가스(Non-condensable gas) 등이 스프레이 냉각에서의 열전달에 미치는 영향에 대해 다루었다. 기존의 연구는 주로 고온 고체 표면에 대한 스프레이를 이용한 냉각에 초점이 맞추어져 있다.

본 논문에서는 기액 스텔링 엔진의 성능 향상을 위하여 스프레이 가열에 대한 열전달 성능 및 효율을 실험적으로 측정하기 위한 실험장치를 설계하고 열전달 모델을 수립한다. 실험장치는 표면 열전달 뿐 아니라 스텔링 출력에 영향이 큰 체적 열전달 효율을 측정할 수 있도록 한다.

### 2. 실험장치

Figure 2는 스프레이 열전달 효율 측정을 위한 실험장치의 개념도를 보여준다. 이 실험장치는 단열된 실린더, 팽창 변위를 갖는 피스톤, 가열수 공급을 위한 히터와 펌프 등으로 구성된다. 스프레이 노즐은 고온 액체를 내부로 분무하고 투입된 물은 배출된다.

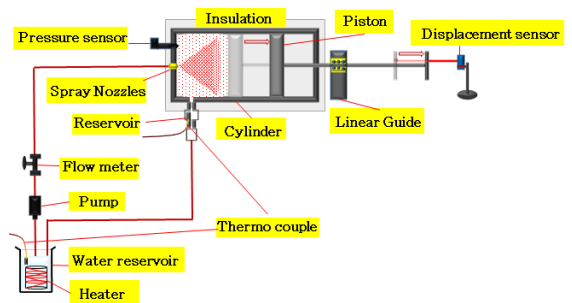


Fig. 2 Experiment test rig for spray efficiency measurements

Figure 3는 데이터 측정 시스템의 구성도를 보여준다. 열전대는 공급 및 배출되는 가열수의 온도를 측정하고, 유량계는 물의 유량을 측정한다. 실린더 벽면에 설치된 압력센서는 내부 압력을 측정하고, 레이저 변위센서는 팽창에 의한 피스톤의 변위를 측정한다.

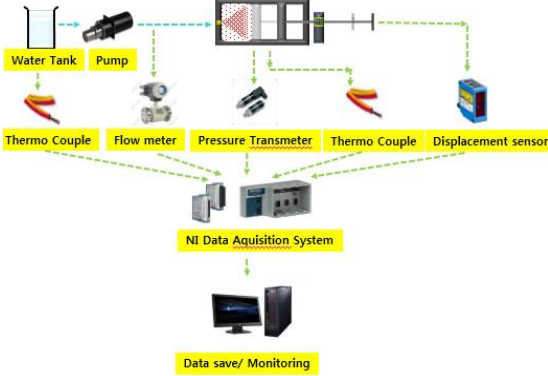


Fig. 3 Diagram of Data Acquisition System

스프레이 유량으로 인한 엔탈피의 변화( $\dot{H}$ )과 외부의 열에너지 전달량( $\dot{Q}$ ), 그리고 부피팽창에 의한 피스톤 일( $\dot{W}$ )의 총합은 실린더 내부에너지의 변화( $\dot{U}$ )를 유발하므로, 실험장치의 열전달 모델은 식 (1)의 에너지 평형(Energy balance)으로 주어진다<sup>(6)</sup>.

$$\dot{U} = -\dot{W} - \dot{H} = \dot{U}_a + \dot{U}_s \quad (1)$$

여기서, 내부에너지 변화는 공기( $\dot{U}_a = m_a \dot{u}_a$ )와 스프레이의 내부에너지 변화( $\dot{U}_s = m_s \dot{u}_s$ )의 합이다. 실린더의 단열과 분무의 기화가 없음을 가정한다. 부피 팽창을 정압과정이라 가정하면, 피스톤 일은

$$\dot{W} = \dot{W}_b = \dot{P}V + P\dot{V} = P\dot{V} \quad (2)$$

스프레이 유량 엔탈피의 변화는 질량유량( $\dot{m}_w$ )과  $\Delta h = C_w \Delta T$ 의 관계에 의해

$$\dot{H} = \dot{m}_w C_w (T_{w,out} - T_{w,in}) \quad (3)$$

여기서 시간  $t_1$ 에서  $t_2$ 가 되었을 때 내부에너지 변화는  $\dot{u} = C_p \left( \frac{T_2 - T_1}{\Delta t} \right)$ 이므로, 실린더 내부의 공기와 스프레이 각각의 시간당 내부에너지 변화는

$$\dot{u}_a = C_p \left( \frac{T_{a,2} - T_{a,1}}{\Delta t} \right), \quad \dot{u}_s = C_w \left( \frac{T_{s,2} - T_{s,1}}{\Delta t} \right) \quad (4)$$

실린더 내부 스프레이 온도는 출구 유량 온도와 같다고 가정하면, 스프레이의 내부에너지는

$$\dot{u}_s = C_w \left( \frac{T_{w,out,2} - T_{w,out,1}}{\Delta t} \right) \quad (5)$$

마지막으로 위의 실린더 내부에너지, 피스톤 일률, 스프레이 엔탈피를 에너지 평형식에 대입하면 실린더 내부 공기의 내부에너지 변화는 다음과 같다.

$$\dot{U}_a = -m_s C_w \left( \frac{T_{w,out,2} - T_{w,out,1}}{\Delta t} \right) - P\dot{V} - \dot{m}_w C_w (T_{w,out} - T_{w,in}) \quad (6)$$

여기서 아래 첨자 a, s, w는 각각 공기, 스프레이, 물을 의미하고, 아래 첨자 1, 2는 각각 시간  $t_1$ 과  $t_2$ 에서의 상태량을 의미한다.

### 3. 결론

본 논문에서는 기액 스텔링 엔진의 성능 향상을 위하여 스프레이 가열에 대한 열전달 성능 및 효율을 실험적으로 측정하기 위한 실험장치를 설계하고 열전달 모델을 수립하였다. 향후 실험장치를 제작하고 초기 분무체적, 액체 유량 및 온도, 노즐 개수 등에 대한 실험을 수행하여 기액 스텔링 엔진에 가장 효율적인 분무 조건을 획득하고자 한다.

### 후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비(일부)지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

- (1) Paepe, M. D., D'Herdt, P. and Mertens, D., 2006, Micro-CHP systems for residential applications, Energy conversion and Management, Vol.47, pp.3435~3446.
- (2) S. Jang, Y.P. Lee, 2011, Stirling engine of which the heat-exchange parts are improved, Patent, 10-2011-0049162, Pending.
- (3) Jungho Kim, 2005, Spray cooling heat transfer: The state of the art, International Journal of Heat and Fluid flow, Vol.28, pp.753~767
- (4) Bohumil Horacek, 2004, Single nozzle spray cooling heat transfer mechanisms, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.48, pp.1425~1438
- (5) Lanchao Lin, 2003, Heat transfer characteristics of spray cooling in a closed loop, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.46, pp.3737~3746.
- (6) Cengel, 2010, Thermodynamics, McGrawHill.