

# Ringbom 스테링 엔진의 제작 및 특성 연구

이상원· 조경철\*· 원민영\*\*· 김수연· 정평석\*\*\*

## The characteristics of the Ringbom Stirling engine

Sang-Won Lee, Kyung-Chul Cho, Min-Young Won,

Soo-Yun Kim and Pyung-Suk Jung

**Key Words:** Ringbom Stirling Engine(링봄스텨링엔진), Low Temperature Difference(저온도차), Phase Angle(위상각), Pressure-Volume Diagram(압력-부피 선도),

### Abstract

Ringbom Stirling engine which is a kind of low temperature difference model Stirling engine is manufactured and its characteristics are measured at some temperature differences. Pressure, displacer position and rotation speed are measured. Displacer position and rotation speed are detected by photo-sensor. The hot side of Ringbom Stirling engine is warmed by electric heater. The cold side of Ringbom Stirling engine is cooled by the air.

This result may be useful for further design and manufacture of Ringbom Stirling engine. Also, it would be used as an educational material for mechanical engineering students.

### 1. 서론

스테링 엔진은 작동 유체(air)가 가열, 팽창, 냉각, 압축 과정을 거치는 열역학적 밀폐 재생 사이클(closed regenerative cycle)에 의해 열에너지를 기계적 일로 변환시켜 주는 기계적 장치로서, 1816년 영국의 Robert stirling에 의해 처음 개발되었다. 스테링 엔진의 열역학적 효율은 Carnot cycle에 가장 가까운 높은 이론적 열효율을 가지며 외연기관으로 다양한 열원의 활용이 가능하다.<sup>(1)</sup> 또한, 내연 기관 특유의 폭발 행정이 없으므로 소음·진동이 적으며, 연료 분사 밸브 등 각종 주변 장치가 생략됨으로서 기계적 구조가 간단하고, 고장 및 수리 요인이 적다는 장점으로

인해, 자원 절약 및 환경 문제가 대두되는 현대 산업 사회에서 그 실용화 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 스테링 엔진(Stirling engine)의 실용화 연구와 함께 모형 스테링 엔진의 제작도 활발히 이루어지고 있다. 저온도차 모형 스테링 엔진은 열역학적 에너지 변환 측면에서 실용성은 없으므로 자체적인 연속 회전운동의 실현을 목표로 하고 있으며, 커피잔, 컴퓨터 모니터의 발생열, 증발냉각, 나아가서 손바닥의 체온 등을 열원으로 하여 작동이 가능하며, 고도의 정밀 기술이나 가공 설비 없이도 독창적인 아이디어를 적용하여 다양한 형태의 모형 엔진을 제작할 수 있으므로 세계적으로 모형 제작에 대한 관심이 커지고 있다.<sup>(2)</sup> 또한 모형 스테링 엔진은 다양한 열원을 이용하여 열 에너지를 기계적 일로 변환시키는 에너지 변환 장치의 작동 원리를 보여줌으로서 기

\* 영남대학교 대학원 기계공학과

\*\* 영남대학교 학부 기계공학과

\*\*\* 정희원, 영남대학교 기계공학부

제공학 교육재료로 그 활용 가치가 높다. 또한 최근 인터넷의 활성화로 모형 스테링 엔진의 개발 및 제작에 대한 정보 교류가 동호인 차원에서 세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 국내에서는 90년대 초 일부 연구소와 대학을 중심으로 스테링 엔진에 대한 이론적 해석과 실제 엔진에 대한 작동 특성 연구·개발이 추진된 바 있으나, 기초적인 단계의 연구만 이루어졌을 뿐, 실용화 단계의 모델을 제시하지는 못했다.<sup>(3,5)</sup> 현재 국내의 모형 스테링 엔진의 개발 및 제작에 관한 연구는 거의 전무한 상태로서 해마다 중·고교생·일반인을 대상으로 모형 스테링 엔진 자작대회를 개최할 정도로 이 분야에 대한 활성화가 이루어진 가까운 일본과는 현저한 차이를 보여주고있다.

본 연구에서는 저온도차 스테링 엔진의 한 형태로서 power piston과 displacer를 기계적으로 연결하지 않는 Ringbom Stirling engine을 제작하고 고온부와 저온부의 온도차이가 변화할 때 engine의 운전특성이 어떻게 변화하는지를 측정하였다. 즉 작동유체의 압력, displacer의 위치 그리고 회전속도 등을 측정하여 p-v diagram을 작성하였으며 이를 통하여 운전특성의 변화를 살펴보았다.

## 2. 링봄 스테링 엔진의 제작

모형 스테링 엔진의 제작은 외부로의 출력 획득보다는 엔진의 자체적인 구동을 궁극적인 목표로 하며, 열역학적 출력의 전부 혹은 대부분은 엔진작동 시 발생하는 기구학·동역학적 마찰로 소모되게 된다. 따라서, 커피잔, 체온 등 매우 낮은 온도차의 열원에서 발생한 미소 출력으로 자가 구동을 이루기 위해서는 엔진 자체의 여러 마찰 요인을 최소화하는 것에 제작의 주요초점을 맞추어야 하며, 이를 위해서는 기계공학적 안목을 기본으로 한 구체적인 설계·계산 과정이 요구된다. 예를 들면, 가장 큰 마찰 손실이 발생될 것으로 예상되는 power piston & cylinder, displacer piston & cylinder 사이의 마찰을 줄이기 위해서 간극을 증가시키게 되면, 내부 작동 기체의 누수가 생기고, 압력차가 발생하지 않게 된다. 따라서, 적절한 재질의 선정으로 어느 정도 이러

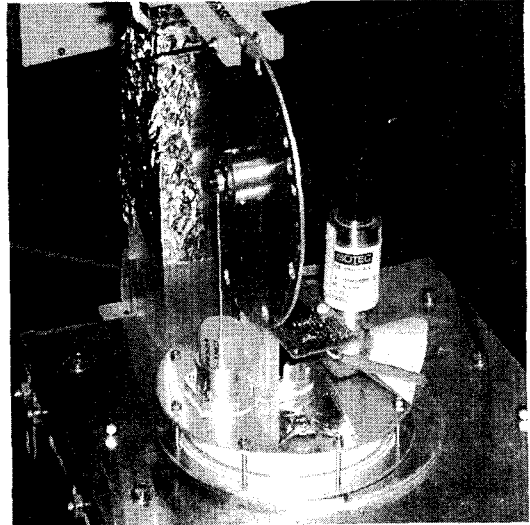


Fig. 1 Photograph of Ringbom Stirling engine

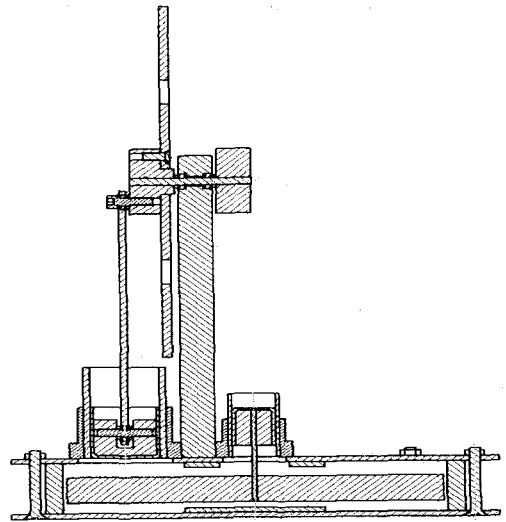


Fig. 2 Drawing of Ringbom Stirling engine

한 한계를 보상한다 하더라도 마찰 감소에 대한 근본적인 한계가 있다. 실험 대상인 모형 엔진이 본 실험실에서 직접 설계 및 제작되었지만, 일부 부품의 제작은 정밀가공이 이루어져야 하고, 계산에 의한 설계대로 가공되었더라도, 여러 번의 시행착오를 거치면서 수정하였다.

Fig. 1은 본 연구를 위하여 자체 제작된 링봄 스테링 엔진의 실물 사진을 보여주고 있다. 그리고 Fig. 2는 링봄 스테링 엔진의 도면을 나타낸

다. 상세한 도면치수는 생략하였다. 도면에서 보는 것처럼 **power piston**에 의하여 **fly wheel**이 구동되고 **displacer piston**에 의하여 **displacer**가 구동된다. 즉 **power piston**과 **displacer**를 연결하는 기계적 장치가 존재하지 않는다.

### 3. 링봄 스테링 엔진의 작동 특성

본 실험에 사용된 모형 스테링 엔진은 직접 설계·제작된 모델로써 외부로 출력의 추출은 없으며 발생 출력은 작동시 자체 마찰로 모두 소산된다. Table 1은 제작 모델의 실험 조건으로 위상각(Phase angle), 압축비(Compression ratio), 냉각 온도(Cooling temperature) 등은 일정하게 두고, 가열 장치에 공급되는 전압을 조절하여 가열 온도만 변화시켰다. 내부 압력 측정은 측정범위 0~1psig의 압력계(Sensotec Co., P-100MV)를 사용하였으며, **power piston**에 의한 체적 변화는 상용 광센서(Takex Co., FT505)를 사용하여 측정하였고 **displacer piston**에 의한 체적 변화는 자체 제작한 광센서를 이용하여 측정하였다. 가열판·냉각판의 온도는 T-type thermocouple을 표면에 부착하여 측정하였다.

Fig. 3은 가열부와 냉각부 사이의 온도차가 22.5K 일 때 엔진 내부의 압력과 **displacer piston** 위치를 한 사이클 동안 그린 그림이다. **Power piston**이 하사점까지 내려가면 엔진 내부의 압력은 최고가 되며, 이 때 **displacer piston**은 상승하기 시작한다. 즉 엔진의 냉각부와 열교환이 이루어져 냉각된 작동유체는 **power piston**이 하강함에 따라서 압축되게 된다. 따라서 엔진 내부의 압력에 의하여 **displacer piston**은 빠르게 상승하게 된다. **Displacer piston**의 상승에 의하여 **displacer**도 상승하게 되며 결과적으로 작동유체는 엔진의 가열부와 열교환을 하게 된다. **Power piston**의 운동이 진행됨에 따라서 엔진 내부의 압력이 강하게 되며 이로 인하여 **displacer**는 자중과 **displacer piston** 윗면에 작용하는 대기압에 의하여 하강하게 된다. 하사점까지 하강한 **displacer**는 엔진 내부의 압력이 다시 최고점에 도달할 때까지 하사점에 머물게 된다. 한편 **power piston**은 상사점을 통과한 다음 **fly wheel**의 관성력에 의하여 다시 작동유체를 압축

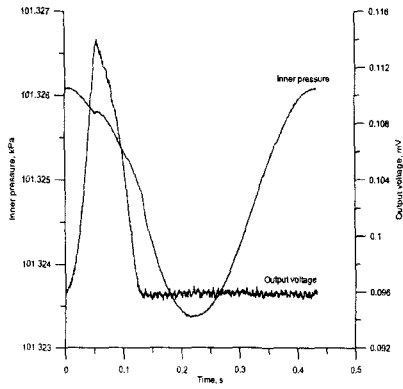
Table 1 Experiment condition.

Displacer storke (mm)	6
Powerpiston storke (mm)	4
Atmosphere Temp. (K)	290.15
Cooling Temp. (K)	293.15
Heating Temp. (K)	315.65 ~ 320.65

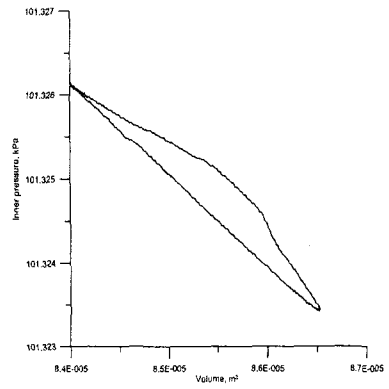
하게 된다. Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 엔진 내부의 압력은 비교적 완만하게 변화하지만 **displacer piston**의 움직임은 아주 급격하게 이루어진다는 것을 알 수 있다. 이는 엔진 내부의 압력변화에 주요한 역할을 하는 **power piston**은 **fly wheel**과 기계적으로 연결되어 있으나, **displacer piston**은 **fly wheel**과 아무런 기계적 연결이 되어있지 않기 때문이라 생각된다. 따라서 이러한 현상은 **power piston**과 **displacer** 사이에 기계적 연결장치가 없는 Ringbom Stirling engine의 고유한 특징이라 판단된다. 그러나 이와 같은 특성은 엔진의 출력과 효율에 부정적인 영향을 미칠 것이므로 보완장치가 필요할 것으로 생각된다.

Fig. 4는 fig. 3의 측정결과를 p-v 선도로 그려본 그림이다. **Power piston**과 **displacer** 사이에 기계적 연결장치를 가지고 있는 일반적인 저온도차 스테링 엔진의 경우에는 p-v 선도가 매끈한 타원형의 형태를 나타내게 된다. 그러나 본 실험에서 측정된 Ringbom Stirling engine 즉 **power piston**과 **displacer** 사이에 기계적 연결장치가 존재하지 않는 저온도차 스테링 엔진의 경우는 **displacer piston**의 움직임이 부드럽지 않기 때문에 이로 인하여 p-v 선도 역시 매끈한 타원형 형태로 그려지지 않게 된다.

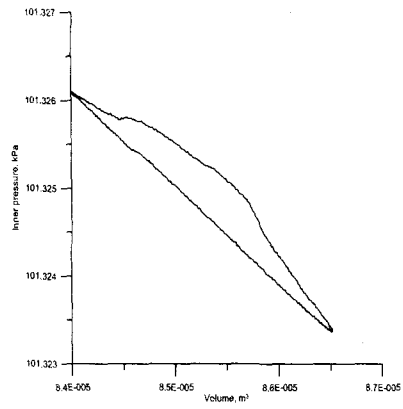
Fig. 3에서 fig. 8사이의 그림에서 나타난 것처럼 엔진 가열부와 냉각부 사이의 온도차가 증가할수록 엔진의 회전속도가 빨라진다는 사실을 알 수 있다. 그러나 온도차가 지나치게 증가하게 되면 엔진 내부의 압력이 과도하게 상승하게 되어서 **displacer piston**은 더 이상 움직이지 못하고 상사점에서 정지하게 된다. 즉 지나친 가열부의 온도상승은 엔진 내부 압력의 상승을 가져오고 이는 자중과 대기압에 의하여 **displacer piston**이 하사점으로 하강할 수 없는 상태를 만들게 된다.



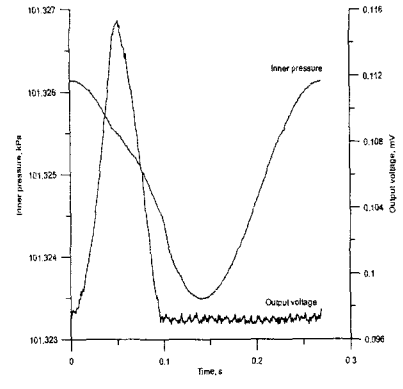
**Fig. 3** Inner Pressure and displacer history ( $\Delta T = 22.5K$ ).



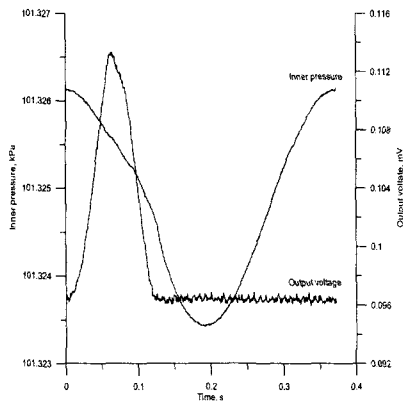
**Fig. 6** Pressurere and volume diagram ( $\Delta T = 25.0K$ ).



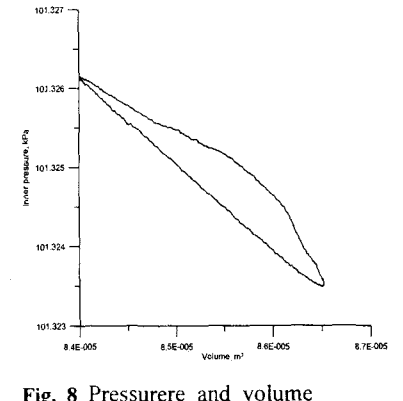
**Fig. 4** Pressurere and volume diagram ( $\Delta T = 22.5K$ ).



**Fig. 7** Inner Pressure and displacer history ( $\Delta T = 27.5K$ ).



**Fig. 5** Inner Pressure and displacer history ( $\Delta T = 25.0K$ ).



**Fig. 8** Pressurere and volume diagram ( $\Delta T = 27.5K$ ).

따라서 Ringbom Stirling engine의 경우 가열부와 냉각부의 온도차가 적정한 범위 내에서만 운전이 가능하다는 사실을 알 수 있으며, displacer piston의 움직임을 부드럽게 만들 수 있는 보완장치를 추가한다면 운전범위를 확대할 수 있을 것이라 생각된다.

## 5. 결론

저온도차 모형 Ringbom Stirling engine을 자체 제작하여 그 특성을 측정하였으며 p-v 선도를 그려보았다. 본 실험에서 측정된 결과는 기존의 저온도차 Stirling engine과는 다른 특성을 보여주었으며 특히 p-v 선도는 매우 특이하였다. 이러한 결과는 power piston과 displacer 사이에 기계적 연결장치가 없는 Ringbom Stirling engine의 고유한 특성이라고 생각된다. 또한 적정한 온도범위 내에서만 운전이 가능하다는 사실도 알 수 있었다..

## 참고문헌

- (1) Urieli, I., and Berchowitz, D. M., 1984, Stirling Cycle Engine Analysis, Adam Hilger Ltd., Bristol.
- (2) Senft, J. R., 1993, An Introduction to Stirling Engines, Moriya Press.
- (3) 유효선, 노승탁, 1990, "재생기효율을 고려한 스테링기관의 예비설계," 대한기계학회 논문집 제14권, 제5호, 대한기계학회, pp. 1356~1364.
- (4) 최갑석, 박태인, 최준변, 이장희, 황의선, 1990, "스터링 엔진 개발," 선박용 스테링 엔진 개발 연차 보고서, 과학기술처.
- (5) 이춘식, 정종수, 강병하, 정형호, 김응태, 유효선, 이대길, 정석호, 정광섭, 1990, "스터링엔진 개발 연구-범용 스테링 엔진," 범용 스테링 엔진 연구 연차 보고서, 과학기술처.