

스털링 기관용 재생기에 관한 기초 연구(Ⅲ)

- 철선을 축열재로 한 재생기의 온도 분포와 압력 강하 특성 -

Basic Study on the Regenerator of Stirling Engine (Ⅲ)

- Temperature Distribution and Pressure drop property
of the regenerator with steel wire -

김태한*
정희원
T. H. Kim

오대건*
정희원
D. G. Oh

이정택*
정희원
J. T. Lee

1. 서 론

유가상승으로 인해 대체연료를 이용할 수 있는 농업용 열기관 개발이 요구되고 있다. 이에 어떤 형태의 연로도 이용 가능한 스텔링 기관이 대체 에너지 기관으로서 검토되고 있다. 스텔링 기관은 피스톤(piston), 디스플레이서(displacer), 가열기, 재생기(regenerator), 냉각기(cooler), 구동기구(drive-mechanism)로 구성된다. 스텔링 기관이 내연기관의 구성 요소와 다른 점은 디스플레이서, 열교환기가 있는 것이다. 이 기관에서 기관 성능에 가장 큰 영향을 미치는 것은 열교환기이다. 이 열교환기 중 재생기는 가열기와 냉각기 사이에 설치되어 동작 유체가 팽창공간에서 압축공간을 향하여 유동할 때(hot blow)는 동작 유체로부터 열을 흡수하고, 동작 유체가 압축공간에서 팽창공간에 향하여 유동할 때(cool blow)는 동작 유체에 열을 공급하는 역할을 한다. 스텔링 기관에 높은 열효율을 기대할 수 있는 것도 이 재생 열교환기가 있기 때문이다. 재생기의 성능에 영향을 미치는 인자로는 재생기 축열재의 전열 성능, 유동 마찰 손실 등을 들 수 있으며 이들은 재생기 축열재의 기하학적 형상과 재질 및 동작 유체의 종류에 의해 결정된다.

지금까지 재생기 축열재로 주로 연구된 것은 단일 및 복합 철망에 관한 것이었다. 철선을 축열재로 한 연구 결과는 찾아보기 힘들었다.

본 연구는 단일 철선을 재생기 용기 내에 선형으로 삽입한 것, 직경이 서로 다른 철선 2 종류를 삽입한 것, 철선과 철망 150메시를 혼합하여 재생기 용기 내에 선형으로 삽입한 것을 제안하고 이들을 축열재로 한 재생기를 스텔링 기관의 작동 조건과 동일한 왕복 유동 조건 하에서 실험하여 재생기 양단의 온도 분포 및 압력 강하 특성을 구명하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험 장치

그림 1은 실험장치의 구성도를 나타낸 것으로 스텔링 기관의 재생기의 성능을 분석하기 위한 실험 장치의 평면도이다. 실험 장치는 재생기 축열재의 성능 시험부인 재생기

* 경북대학교 농업기계공학과

(regenerator), 구동장치(drive mechanism) 및 냉각기(cooler), 가열기(heater), 보조 장치로 구성하였다. 시험부인 재생기 내부에는 각종 공시 축열재를 삽입하였다. 구동장치는 시험부에 동작체가 왕복 유동 상태가 되도록 2개의 실린더와 피스톤으로 구성하였으며 2개의 피스톤의 위상차는 180°로 하였다. 보조 장치로서는 2개의 피스톤의 상대 위상을 변화시킬 수 있는 장치로 구성하였다.

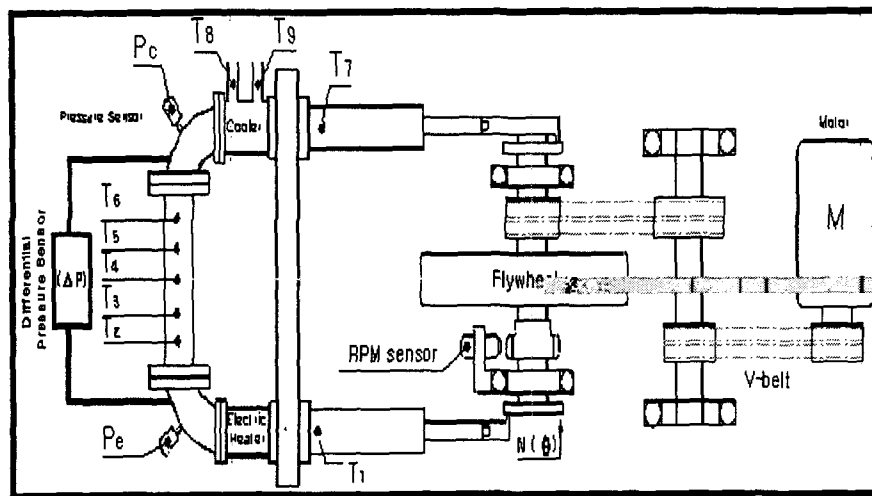


Fig. 1 Experimental apparatus of the regenerator in a stirling engine

가열기는 전기를 이용하여 가열을 하였고, 공급열량을 1.8kW로 일정하게 연속 가열하는 방식을 채택하여 재생기로 공급되어지는 열량을 일정하게 유지되도록 하였다. 냉각기는 원통 다관식으로 제작하여 수돗물을 연속적으로 공급하여 냉각하였다. 그리고 구동축의 회전수 변화는 전동기에 인버터를 장착하여 회전수를 조절할 수 있도록 하였다.

본 연구에 사용된 실험장치의 제원은 표 1과 같다. 피스톤 1개의 행정체적이 115cm³이고 공기를 동작 유체로 하였다. 재생기의 직경은 70mm이며 길이는 130mm이다.

Table 1 . Specification of experimental equipment

Engine type	Two Piston type
bore × stroke(mm)	φ 35 × 120
phase angle	180 deg.
working fluid	air
stroke volume ratio	1
regenerator size(φ × L) (mm)	φ 70 × 130

2.2. 실험재료 및 방법

2.2.1. 실험재료

표 2는 공시 축열재의 종류, 삽입한 축열재 개수, 적층 매수 및 그에 따른 전열 표면적을 계산하여 나타낸 것이다. 표에서와 같이 철망은 메시 번호 150을 사용하였다. 공시 축열재로서 단일 철선 $\phi 1.2$ 의 경우는 2669개를 재생기에 삽입하였고 그 때의 전열 표면적은 13,140.82 cm^2 이었다.

Table. 2 Surface area of wire mesh, steel wires

steel wire(dia)	counts per bunch	surface area(cm^2)
$\phi 2.7$	527	5,871.57
$\phi 2.0$	961	7,909.96
$\phi 1.6$	1,502	9,875.24
$\phi 1.2$	2,669	13,140.82
$\phi 0.9$	4,746	17,505.10
$\phi 0.7$	7,921	22,705.91
$\phi 0.9 - \phi 1.2$	4,746 - 2,669	15,322.96
$\phi 1.2 - \phi 0.9$	2,669 - 4,746	15,322.96
$\phi 1.2 - \phi 1.6$	2,669 - 1,502	11,508.03
$\phi 1.6 - \phi 1.2$	1,502 - 2,669	11,508.03
150 - $\phi 0.9$	500 - 4,746	27,699.78
150 - $\phi 1.2$	500 - 2,669	25,517.64
$\phi 0.9 - 150$	4,746 - 500	27,699.78
$\phi 1.2 - 150$	2,669 - 500	25,517.64
150 - $\phi 0.9 - 150$	250 - 4,746 - 250	27,699.78
150 - $\phi 1.2 - 150$	250 - 2,669 - 250	25,517.64
150 - $\phi 1.6 - 150$	250 - 1,502 - 250	23,884.85
150 - $\phi 2.0 - 150$	250 - 961 - 250	22,902.21

또한 실험에 사용한 복합 철선(4종류), 철망-철선-철망(4종류), 철선-철망(4종류)을 선정하여 실험하였다. $\phi 0.9$ - $\phi 1.2$ 인 경우 가열부 쪽에 철선 $\phi 0.9$, 냉각부 쪽에 철선 $\phi 1.2$ 를 다발로 묶어 삽입하였으며 이 때의 전열 표면적은 15,322.96 cm^2 이었다. $\phi 1.2$ -150의 경우 가열부 쪽에 철선 $\phi 1.2$ 를 2669개, 냉각부 쪽에 철망 150메시를 500매 적층하였으며 이 때 전열 표면적은 25,517.64 cm^2 이었다. 150- $\phi 0.9$ -150의 경우 철망 150메시 사이에 철선 $\phi 0.9$ 을 4746개를 삽입하였다. 이 때의 전열 표면적은 27,699.78 cm^2 이었다.

2.2.2. 실험방법

실험장치의 크랭크 회전각도(θ) 및 회전속도(n)는 원주 상에 18도의 간격으로 20개의

요철을 설치한 회전원판을 크랭크축에 부착하고 픽업 센서로 회전 펄스를 검출하여 측정하였다. 구동부의 회전수는 100rpm에서 600rpm까지 100rpm씩 증가시켜 실험을 하였다. 또한 압력은 그림 1 에서와 같이 압축 및 팽창공간 압력 P_c , P_e 와 재생기 축열재 양단의 압력차 ΔP 를 스트레인 게이지식 압력센서를 이용하여 측정하였다. 온도는 K형 열전대를 이용하여 재생기의 길이 방향으로 5개소($T_2 \sim T_6$)를 측정하고 팽창 및 압축공간온도(T_1, T_7) 및 냉각수 입, 출구의 온도(T_8, T_9)를 측정하였다. 이상의 측정 점으로부터 신호를 증폭해서 A/D변환하고 컴퓨터에 의해 온라인 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 단일 직경의 철선을 축열재로 한 재생기의 온도분포 및 압력강하 특성

그림 2은 재생기 축열재로서 단일 철선 $\phi 0.7$, $\phi 0.9$, $\phi 1.2$, $\phi 1.6$, $\phi 2.0$, $\phi 2.7$ 을 사용하여 구동부의 회전 속도를 100rpm에서 600rpm까지 변화시켰을 때 재생기 양단 온도차를 나타낸 것이다.

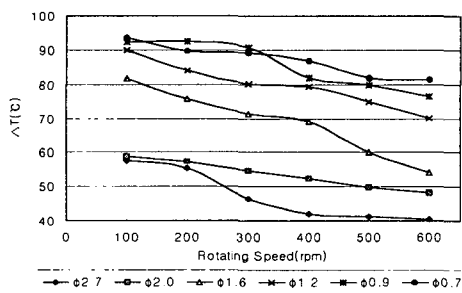


Fig. 2 Effect of rotating speed on temperature difference between the inlet and outlet of the regenerator for different bunched wires

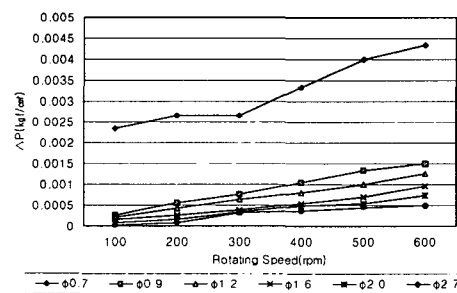


Fig. 3. Effect of rotating speed on pressure drop between the inlet and outlet of the regenerator for different bunched wires

그림에서와 같이 재생기 양단의 온도차는 재생기의 축열재로 사용한 철선의 직경이 작을수록, 즉 전열 표면적이 클수록 커지는 경향을 보였으나, $\phi 0.7$ 과 $\phi 0.9$ 의 경우에는 거의 비슷하였다.

그림 3은 그림 2의 공시 축열재에 대해 동일한 조건에서 재생기 양단의 압력 차를 실험한 결과를 나타낸 것이다. 그림을 보면 철선의 직경이 커질수록 양단의 압력 차가 작아졌으며, 이것은 재생기 축열재의 전열 표면적이 감소하여 유동 저항이 줄어들기 때문이다. 재생기 양단의 압력 차가 큰 순서로 나열하면 철선 $\phi 0.7$, $\phi 0.9$, $\phi 1.2$, $\phi 1.6$, $\phi 2.0$, $\phi 2.7$ 이었다.

이상에서 그림 2과 그림 3을 살펴본 결과, 전열 표면적이 가장 큰 철선 $\phi 0.7$ 이 단일 철선 6종류 중에 재생기 양단의 온도차가 가장 컸으며 다음이 $\phi 0.9$ 였다. 반면 철선 $\phi 0.7$ 이 재생기의 양단 압력 차가 가장 크게 나타났으며 $\phi 0.9$ 가 그 다음으로 나타났다.

따라서 이들 2종류의 공시 축열재의 성능을 비교하기 위하여 재생기 양단의 온도차 증가에 따른 기관의 압력증가량과 압력강하 곡선의 차를 비교한 결과, 단일 철선 $\phi 0.7$ 이 단일

철선 $\phi 0.9$ 에 비해 재생기 양단의 온도차 크기에 의한 압력 상승량이 100rpm에서 0.013265 kgf/cm², 300rpm에서 -0.028636kgf/cm², 600rpm에서 0.052535kgf/cm²으로 평균 0.015336kgf/cm²인데 비해 재생기 양단의 압력 강하량 차는 단일 철선 $\phi 0.7$ 이 단일 철선 $\phi 0.9$ 에 비해 각각의 회전수에서 0.0023kgf/cm², 0.0024kgf/cm², 0.0038kgf/cm²이며 평균 0.002934kgf/cm²으로 높게 나타나 단일 철선 $\phi 0.7$ 와 $\phi 0.9$ 가 비슷하게 나타났다. 따라서 단일 철선 $\phi 0.7$ 과 $\phi 0.9$ 의 성능은 비슷함을 알 수 있었다.

3.2. 복합 철선을 축열재로 한 재생기의 온도 분포 및 압력 강하 특성

그림 4는 재생기 축열재로서 복합 철선 $\phi 1.6-\phi 1.2$, $\phi 1.2-\phi 1.6$, $\phi 0.9-\phi 1.2$, $\phi 1.2-\phi 0.9$ 을 사용하여 구동부의 회전 속도를 100rpm에서 600rpm까지 변화시켰을 때 재생기 양단 온도차를 나타낸 것이다. 복합 철선 축열재 $\phi 1.6-\phi 1.2$ 의 경우 재생기 전체 길이를 반으로 나누어 가열부 쪽에 철선 $\phi 1.6$ 을 삽입하였고, 냉각부 쪽에 철선 $\phi 1.2$ 를 삽입하였다.

그림에서와 같이 복합 철선을 사용할 경우 가열부 쪽보다 냉각부 쪽에 철선 직경이 작은 것을 삽입하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

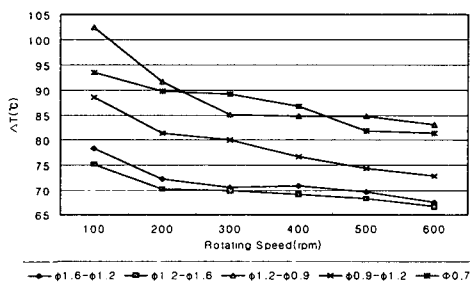


Fig. 4 Effect of rotating speed on temperature difference between the inlet and outlet of the regenerator for the combination of various wires

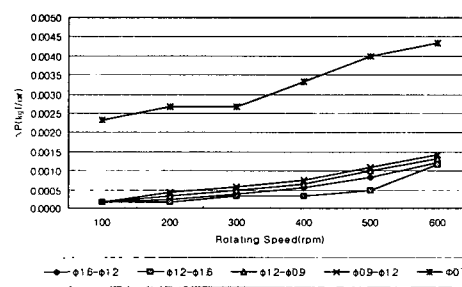


Fig. 5 Effect of rotating speed on pressure drop between the inlet and outlet of regenerator for the combination of various wires

또한 철선의 직경이 큰 것의 조합보다는 직경이 작은 철선의 조합이 재생기 양단의 온도차가 크음을 알 수 있다. 이는 철선 직경이 작은 것을 조합한 경우가 큰 것을 조합한 경우보다 전열 표면적이 크기 때문이다. 그림 5은 그림 4의 공시 축열재에 대해 동일한 조건에서 재생기 양단의 압력 차를 실험한 결과를 나타낸 것이다. 압력 차가 큰 순서대로 나열하면 복합 철선 $\phi 0.9-\phi 1.2$, $\phi 1.2-\phi 0.9$, $\phi 1.6-\phi 1.2$, $\phi 1.2-\phi 1.6$ 이었다. 복합 철선의 직경이 작은 것의 조합이 직경이 큰 것의 조합보다 압력 차가 미소하나마 크게 나타났다. 이것 역시 전열 표면적 증가에 의한 유동 마찰 저항이 증가하였기 때문이다.

이상에서 그림 4와 그림 5을 살펴본 결과, 복합 철선 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 가 $\phi 0.9-\phi 1.2$ 보다 재생기 양단의 온도차가 큰 반면, 압력 차는 적으므로 재생기 축열재로서 더 적합한 것으로 나타났다. 복합 철선 중에 재생기 양단의 온도차가 가장 크게 나타난 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 와 단일 철선 중에서 성능이 가장 우수한 $\phi 0.7$ 을 비교하면 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 가 $\phi 0.7$ 에 비해 미소하나마 재생

기 양단의 평균 온도차가 크게 나타났으며 재생기 양단의 압력 차가 낮게 나타나 복합 철선 $\phi 1.2$ - $\phi 0.9$ 가 단일 철선 $\phi 0.7$ 보다 성능이 우수한 것으로 나타났다.

3.3. 철망과 철선을 혼합한 재생기 축열재의 온도 분포 및 압력 강하 특성

3.3.1 철망과 철선을 절반씩 재생기에 삽입한 경우(철망-철선)

그림 6는 재생기 축열재로서 철망과 철선을 사용하여 구동부의 회전 속도를 100rpm에서 600rpm까지 변화시켰을 때 재생기 양단 온도차를 나타낸 것이다. 철망-철선 축열재 150- $\phi 1.2$ 의 경우 재생기를 반으로 나누어 가열부 쪽에 철망 150메시를 적층하였고, 냉각부 쪽에 철선 $\phi 1.2$ 를삽입하였다.

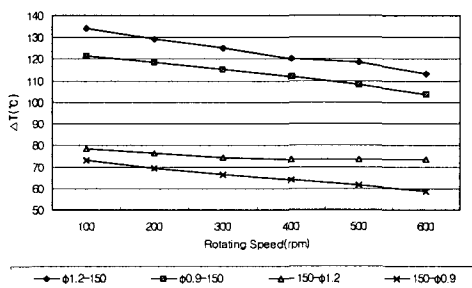


Fig. 6 Effect of rotating speed on temperature difference between the inlet and outlet of the regenerator for the combination wire with wire-mesh

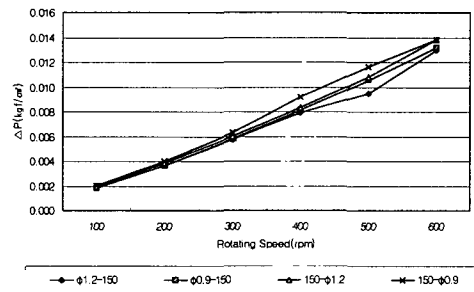


Fig. 7 Effect of rotating speed on pressure drop between the inlet and outlet of the regenerator for the combination wire with wire-mesh

그림에서 보듯이 $\phi 0.9-150$ 이 150- $\phi 0.9$ 보다 재생기 양단의 온도차가 높게 나타났으며, $\phi 1.2-150$ 이 150- $\phi 1.2$ 보다 재생기 양단의 온도차가 높게 나타났다. 즉, 재생기를 반으로 나누어 가열부 쪽에 철선을 삽입하고 냉각부 쪽에 철망을 삽입한 것이 가열부 쪽에 철망을, 냉각부 쪽에 철선을 삽입한 것보다 재생기 양단의 온도차가 높게 나타났다. 철망-철선 축열재 4종류의 양단 온도차를 큰 순서대로 나열하면 $\phi 1.2-150$, $\phi 0.9-150$, 150- $\phi 1.2$, 150- $\phi 0.9$ 이었다.

그림 7는 그림 6의 공시 축열재에 대해 동일한 조건에서 재생기 양단의 압력 차를 실험한 결과를 나타낸 것이다. 철선-철망의 경우 재생기 양단의 압력 차가 큰 차이는 없었으나, 철선-철망의 재생기 양단의 압력 차는 재생기를 반으로 나누었을 때 철선을 가열부 쪽에, 철망을 냉각부 쪽에 삽입한 것이 더 낮게 나타났다. 또한 철선의 직경이 작은 것을 사용한 경우가 재생기 양단의 압력 차가 높게 나타났다. 양단의 압력 차가 큰 순서대로 나열하면 150- $\phi 0.9$, 150- $\phi 1.2$, $\phi 0.9-150$, $\phi 1.2-150$ 이었다.

이상 그림 6와 그림 7를 살펴본 결과, 재생기 축열재로서 철망-철선을 사용할 경우 철선-철망 $\phi 1.2-150$ 이 전열 표면적은 작으나 재생기 양단의 온도차가 가장 큰 것으로 나타났으며 재생기 양단의 압력 차는 가장 낮게 나타나 공시 철망-철선 혼합 축열재중 가장 우수함을 알 수 있다. 또한 철망-철선 혼합재를 축열재로 사용할 경우 재생기를 반으로 나누어

서 가열부 쪽에 철선을 , 냉각부 쪽에 철망을 삽입한 것이 반대로 삽입한 것보다 재생기 양단의 온도차는 높게 나타났고, 재생기 양단의 압력 차는 낮게 나타났다. 그리고 가열부 쪽에 철선의 직경이 작은 것을 사용한 것보다 굵은 것을 사용한 경우, 재생기 양단의 온도차는 높게 나타났고 재생기 양단의 압력 차는 낮게 나타났다.

철선-철망 축열재 중에 성능이 가장 우수한 것으로 나타난 $\phi 1.2-150$ 과 단일 철선 $\phi 0.7$, 복합 철선 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 를 비교하였다. 그림 8은 이들 축열재들의 재생기 양단의 온도차를 나타낸 것이다. 재생기 양단의 온도차가 가장 크게 나타난 것은 철선 철망 축열재 $\phi 1.2-150$ 이었으며 다른 축열재들은 온도차가 크게 차이는 없었으나 미소하나 $\phi 1.2-\phi 0.9$, $\phi 0.7$ 의 순으로 낮아졌다.

그림 9은 그림 8에서의 공시 축열재의 재생기 양단의 압력 차를 나타낸 것이다. 재생기 양단의 압력 차가 가장 낮게 나타난 것은 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 이었으며 $\phi 0.7$, $\phi 1.2-150$ 의 순으로 높아졌다. 그림 8과 9을 살펴본 결과, 재생기 양단의 온도차가 가장 크게 나타난 것은 $\phi 1.2-150$ 이었으며 다음이 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 였다. 반면 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 가 $\phi 1.2-150$ 보다 재생기 양단의 압력 차가 작았다.

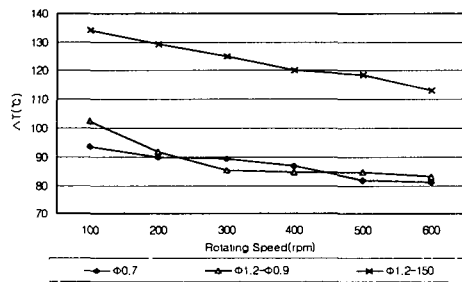


Fig. 8 Effect of rotating speed on temperature difference between the inlet and outlet of the regenerator for the various matrices

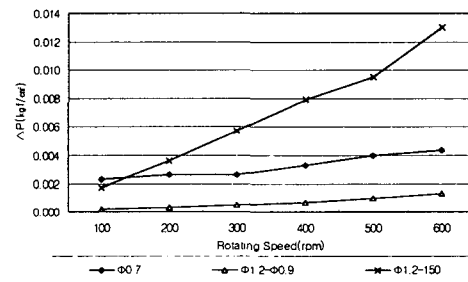


Fig. 9 Effect of rotating speed on pressure drop between the inlet and outlet of the regenerator for the various matrices

이 공시 축열재들의 성능을 비교하기 위하여 재생기 양단의 온도차 증가에 따른 기관의 압력 증가량과 압력 강하 곡선의 차를 비교한 결과, $\phi 1.2-150$ 이 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 에 비해 재생기 양단의 온도차 크기에 의한 압력 상승량이 100rpm에서 0.385532kgf/cm^2 , 300rpm에서 0.482504kgf/cm^2 , 600rpm에서 0.360621kgf/cm^2 인데 비해 재생기 양단의 압력 강하량 차는 각각의 회전수에서 0.0016kgf/cm^2 , 0.0052kgf/cm^2 , 0.0117kgf/cm^2 로 철선-철망 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 이 작게 나타났다. 따라서 축열재의 성능 비교는 재생기 양단의 온도차 크기에 의한 압력 상승량이 재생기 양단의 압력 강하량보다 크면 우수한 것이므로 복합 철선 $\phi 1.2-150$ 가 철선-철망 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 에 비해 성능이 우수하였다.

3.3.2. 철망사이에 철선을 삽입한 경우(철망-철선-철망)

그림 10은 재생기 축열재로서 철망 150메시 사이에 철선을 삽입한 후 구동부의 회전 속도

를 100rpm에서 600rpm까지 변화시켰을 때 재생기 양단 온도차를 나타낸 것이다. 철망과 철선을 혼합하여 사용하는 경우에는 재생기의 전 길이를 3등분하여 양단부에 철망을 적층하고 중앙부에 철선을 삽입하였다.

그림과 같이 150- ϕ 2.0-150이 재생기의 양단 온도차가 가장 컸으며 150- ϕ 0.9-150이 재생기의 양단 온도차가 가장 작았다. 150- ϕ 0.9-150이 전열 표면적이 가장 크지만 재생기 양단의 온도차가 가장 작은 것은 유동 마찰 저항이 크기 때문이다. 재생기의 양단 온도차를 큰 순서대로 나열하면 150- ϕ 2.0-150, 150- ϕ 1.6-150, 150- ϕ 1.2-150, 150- ϕ 0.9-150 이었다.

그림 11은 그림 10의 공시 축열재에 대해 동일한 조건에서 재생기 양단의 압력 차를 실험한 결과를 나타낸 것이다. 150- ϕ 0.9-150이 양단 압력 차가 가장 컸으며 그 다음이 150- ϕ 1.2-150, 150- ϕ 1.6-150, 150- ϕ 2.0-150순이었다. 즉, 전열 표면적이 클수록 양단의 압력 차가 크게 나타났다.

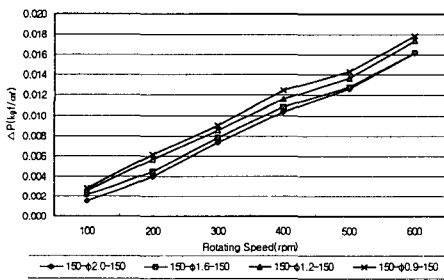


Fig. 10 Effect of rotating speed on temperature difference between the inlet and outlet of the regenerator for the combination wire-mesh with wire

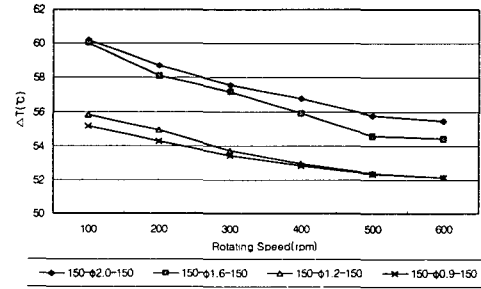


Fig. 11 Effect of rotating speed on pressure drop between the inlet and outlet of the regenerator for the combination wire-mesh with wire

이상 그림 10과 11를 살펴본 결과, 철망 사이에 철선을 삽입한 4종류의 축열재 중 철선의 직경이 큰 150- ϕ 2.0-150이 재생기 양단의 온도차가 가장 크게 나타났으며 그 다음이 150- ϕ 1.6-150으로 나타났고 가장 낮게 나타난 것이 150- ϕ 0.9-150이었다. 또한 재생기 양단의 압력 차는 150- ϕ 2.0-150이 가장 낮게 나타났고 그 다음이 150- ϕ 1.6-150이었으며 재생기 양단의 압력 차가 가장 높게 나타난 것은 150- ϕ 0.9-150이었다.

따라서 철망사이에 삽입한 철선의 직경이 큰 것이 철선의 직경이 작은 것보다 재생기의 양단의 온도차가 높게 나타났다. 이것은 철망사이의 철선의 직경이 작은 것일수록 동작 유체의 유동 손실이 높게 나타났기 때문이다. 또한 재생기 양단의 압력 차의 경우 철망사이에 삽입한 철선의 직경이 작을수록 전열 표면적이 커져서 압력 차 역시 높게 나타났다. 그러므로 철망사이에 철선을 삽입한 것 중 가장 우수한 것은 150- ϕ 2.0-150으로 나타났다.

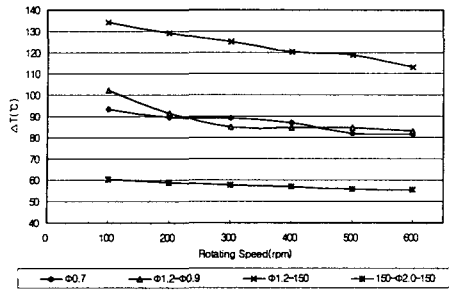


Fig. 12 Effect of rotating speed on temperature difference between the inlet and outlet of the regenerator for the various matrices

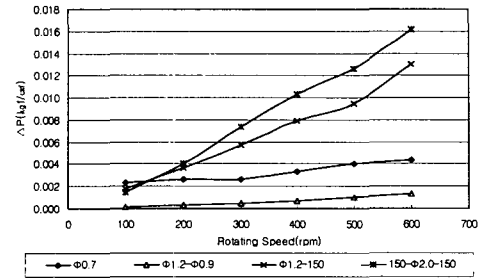


Fig. 13 Effect of rotating speed on pressure drop between the inlet and outlet of the regenerator for the various matrices

그림 12은 성능이 우수한 공시 축열재에 대한 재생기 양단의 온도차를 나타낸 것이다. 이들 공시 축열재 중 재생기 양단의 온도차를 큰 순서로 나열하면 $\phi 1.2-150$, $\phi 1.2-\phi 0.9$, $\phi 0.7$, $150-\phi 2.0-150$ 이었다.

그림 13은 그림 12의 공시 축열재에 대한 재생기 양단의 압력 차를 나타낸 것이다. 재생기 양단의 압력 차를 큰 순서로 나열하면 $150-\phi 2.0-150$, $\phi 1.2-150$, $\phi 0.7$, $\phi 1.2-\phi 0.9$ 이었다.

이 공시 축열재들의 성능을 비교하기 위하여 재생기 양단의 온도차 증가에 따른 기관의 압력 증가량과 압력 강하 곡선의 차를 비교한 결과, 복합 철선 $\phi 1.2-150$ 이 $\phi 1.2-\phi 0.9$ 보다 성능이 우수하였으며 공시 축열재 중에 가장 성능이 우수한 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 스텔링 기관의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 재생기의 설계에 적합한 축열재를 찾을 목적으로 단일 철선 6종류($\phi 0.7$, $\phi 0.9$, $\phi 1.2$, $\phi 1.6$, $\phi 2.0$, $\phi 2.7$), 복합 철선 4종류($\phi 1.6-\phi 1.2$, $\phi 1.2-\phi 1.6$, $\phi 0.9-\phi 1.2$, $\phi 1.2-\phi 0.9$), 철망-철선을 서로 다르게 혼합한 축열재 8종류($150-\phi 0.9$, $150-\phi 1.2$, $\phi 0.9-150$, $\phi 1.2-150$, $150-\phi 0.9-150$, $150-\phi 1.2-150$, $150-\phi 1.6-150$, $150-\phi 2.0-150$)을 공시 축열재로 하여 스텔링 기관의 운전조건과 동일한 왕복 유동 상태에서 축열재의 삽입 방법에 따른 온도 분포 및 압력 강하 특성에 관한 실험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단일 철선을 축열재로 사용한 경우, 재생기 양단의 온도차는 단일 철선의 직경이 작을수록 커지는 경향을 보였으나, 양단의 압력 차는 단일 철선의 직경이 커질수록 작아졌다. 단일 철선 $\phi 0.7$ 과 $\phi 0.9$ 의 성능은 이들 2종류의 공시 축열재의 성능을 비교하기 위하여 재생기 양단의 온도차 증가에 따른 기관의 압력증가량과 압력강하 곡선의 차를 비교한 결과, 거의 비슷함을 알 수 있었으며 최적치를 나타냈다.

2. 복합 철선 4종류의 경우, 가열부 쪽에 $\phi 1.2$, 냉각부 쪽에 $\phi 0.9$ 를 삽입한 것이 반대로 삽입한 것보다 재생기 양단의 온도차가 큰 반면, 압력 차는 적으므로 재생기 축열재로서 더

적합한 것으로 나타났다. 복합 철선을 사용할 경우 가열부 쪽보다 냉각부 쪽에 철선 직경이 작은 것을 삽입하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 또한 철선의 직경이 큰 것의 조합보다는 직경이 작은 철선의 조합이 재생기 양단의 온도차가 큼을 알 수 있다.

3. 철망-철선 혼합재를 축열재로 사용할 경우 재생기를 반으로 나누어서 가열부 쪽에 철선을, 냉각부 쪽에 철망을 삽입한 것이 반대로 삽입한 것보다 재생기 양단의 온도차는 높게 나타났고, 재생기 양단의 압력 차는 낮게 나타났다. 재생기 축열재로서 철망-철선을 사용할 경우 철선-철망 $\phi 1.2-150$ 이 전열 표면적은 작으나 재생기 양단의 온도차가 가장 큰 것으로 나타났으며 재생기 양단의 압력 차는 가장 낮게 나타나 공시 철망-철선 혼합 축열재중 가장 우수함을 알 수 있다.

4. 철망사이에 철선을 삽입한 축열재의 경우, 철망사이에 삽입한 철선의 직경이 큰 것이 철선의 직경이 작은 것보다 재생기의 양단의 온도차가 높게 나타났고 재생기 양단의 압력차는 작게 나타났다. 그러므로 철망사이에 철선을 삽입한 것 중 성능이 우수한 것은 150- $\phi 2.0-150$ 으로 나타났다.

5. 실험한 재생기 축열재들 중에서 성능이 우수한 것들을 비교한 결과, 복합 철선 $\phi 1.2-150$ 이 가장 성능이 좋은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Barnes.C., G.T Render : 1986, An Investigation into the effect of various regenerators on the performance of a Stirling engine, Proc. of the 21th IECEC : 512-518.
2. Bartolini, C.M., V.naso : 1984, Parametric thermal analysis of the Stirling Engines Metallic Regenerators, Proc. of the 19th IECEC: 2067-2072.
3. Chen,N.C.J., F.P. Griffin : 1984, "Effects of pressure - drop correlations on Stirling engine predicted performance, Proc. of the 18th IECEC : 708-713.
4. Kim Tae Han, T. Okamoto, O. Kitani, T. Torii : 1993, Influence of generator matrix element on output performance of Stirling engine: Journal of the JSAM55(2) : 3-11