

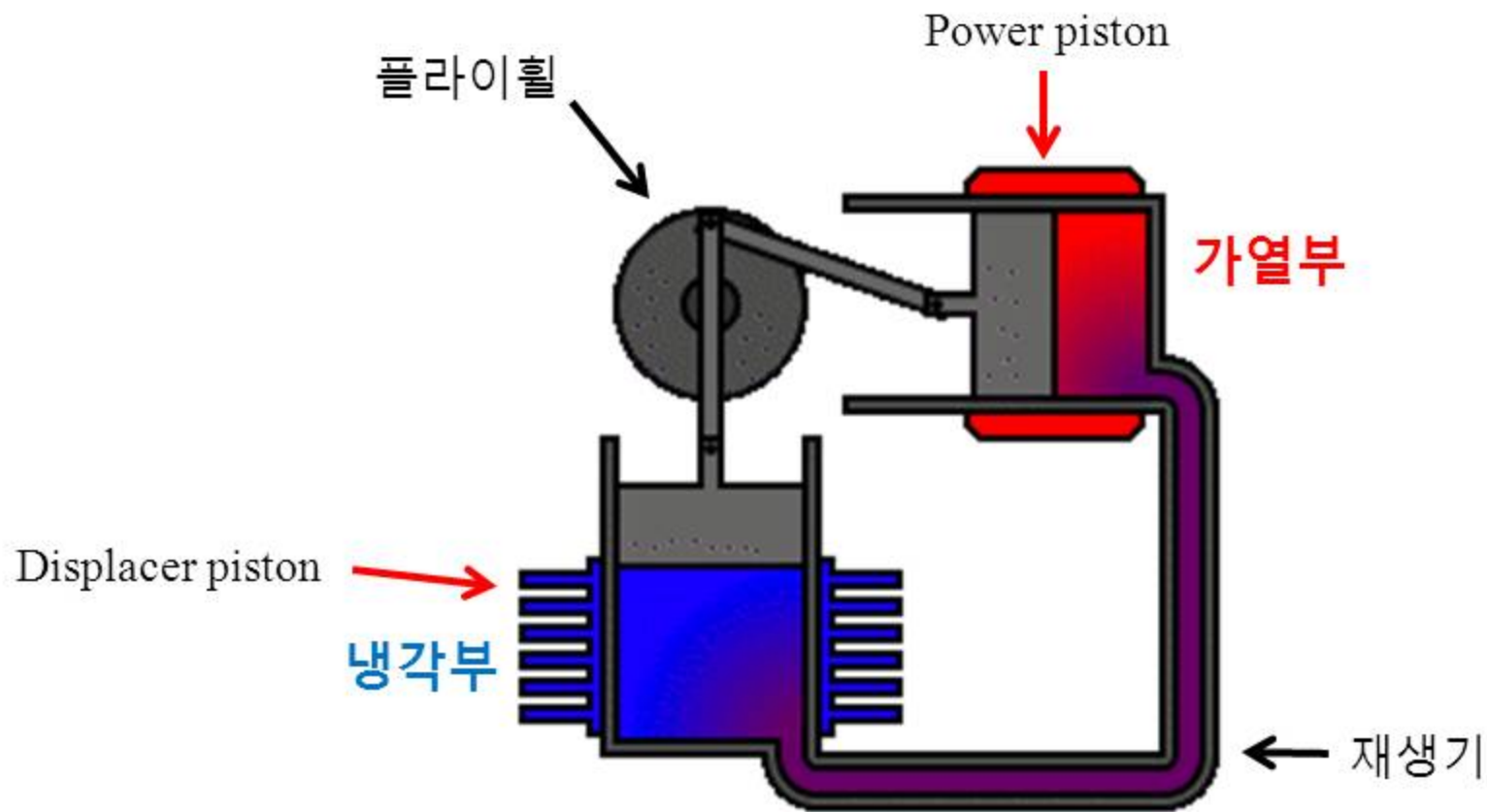
# 저급열원에서 작동하는 스테어링 엔진의 구현을 위한 공간분리기법의 적용

한국과학기술연구원

이윤표

yplee@kist.re.kr

## 스터링 엔진이란?



피스톤의 움직임에 따라 가열부와 냉각부의 용적을 변화시켜 내부 기체를 반복적으로 팽창, 수축 시킴으로서 열에너지를 운동에너지 또는 전기에너지로 변환시키는 장치

## 스터링 엔진의 특징



태양열 집광 스텐링 발전기 by SES

### 장점

다양한 열원 사용 : 태양열, 지열 등

외연기관 : 배기가스 관리

단순한 구조

상변화 및 폭발 행정 없음 : 정속함

### 단점

시동 장치가 필요



# 응용분야

## 태양열발전

태양광에 비해 높은 효율의 발전 가능



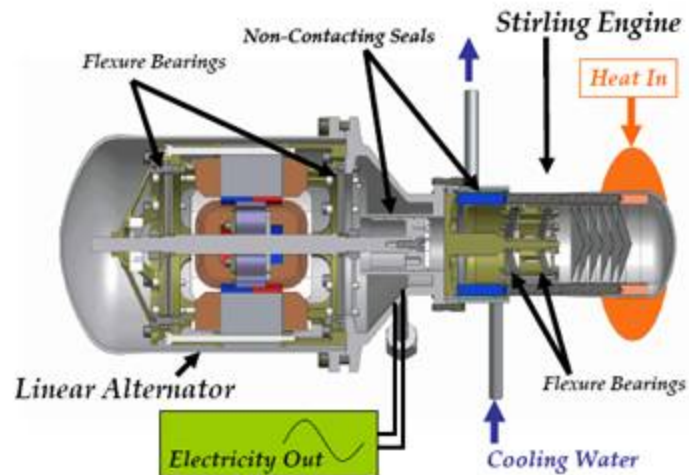
Maricopa solar project by NREL, Arizona, 2011

### Estimated annual energy

Solar dish Stirling : **629 kWh/m<sup>2</sup>**

Tracking Photovoltaic : **217 kWh/m<sup>2</sup>**

Southern California Edison and Sandia Nat'l lab.



집광장치 및 스텀링 엔진



Powerdish by Infinia



Suncatcher by SES

# 응용분야

www.kockums.se



## 잠수함의 전원공급

폭발행정이 없으므로 잠항시 정속한 운전이 가능하며 외연기관으로 다양한 열원을 이용할 수 있음

## 열병합 발전

열과 전기를 동시에 공급함으로써 발전효율을 극대화 (up to 90%) 할 수 있음



AC Whisper Gen 1kW 스테링 엔진

## 보병 휴대 발전기

미래보병의 각종 센서, 통신장비 등의 전력공급을 위한 소형, 경량, 저소음, 고효율의 휴대용 발전기



JP8 디젤을 28%의 효율로 35 W의 전기로 변환

www.sunpower.com





Free Piston Engine ( $\gamma$ -type)



Free Piston Engine ( $\beta$ -type)



Kinematic ( $\alpha$ -type) Engine



기구형 엔진  
120 rpm, 5 Watt

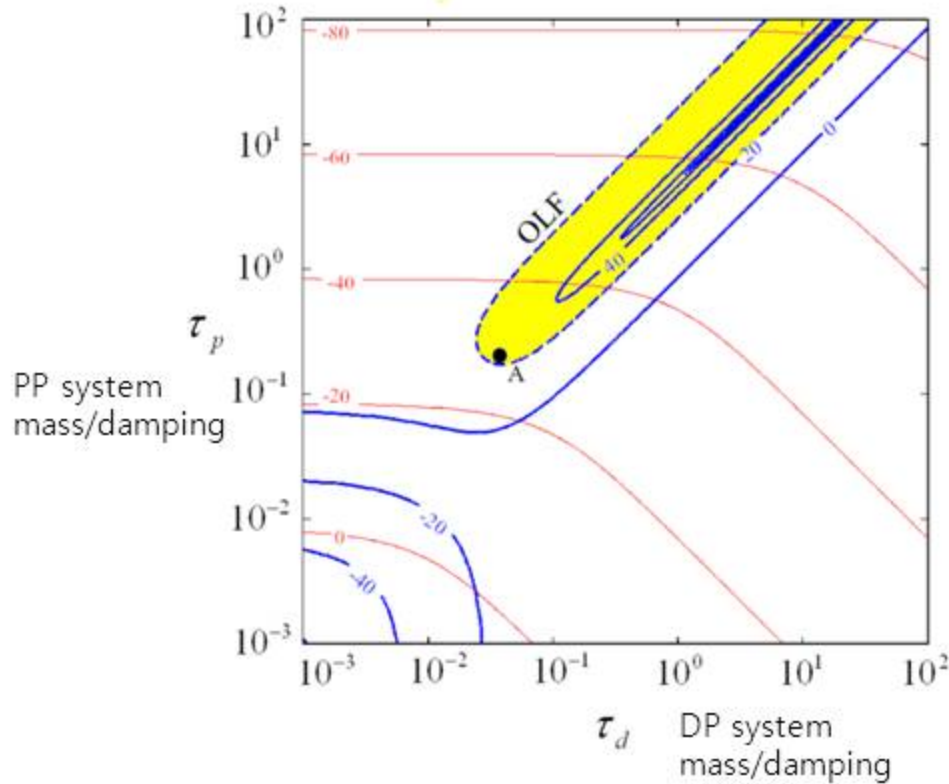
Free Piston 엔진  
 $\gamma$ -type: 6.5 Hz,  $\beta$ -type : 26 Hz, 20Watt

현재 출력 증강 및 제어시스템 적용 중

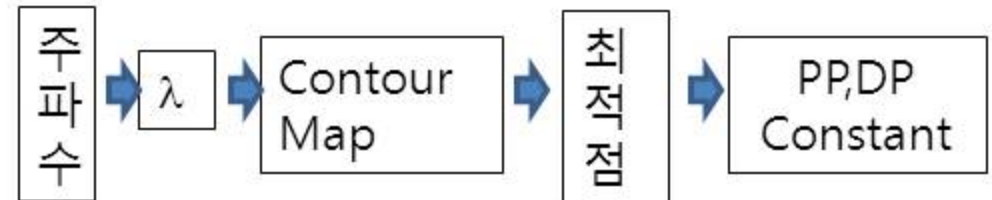
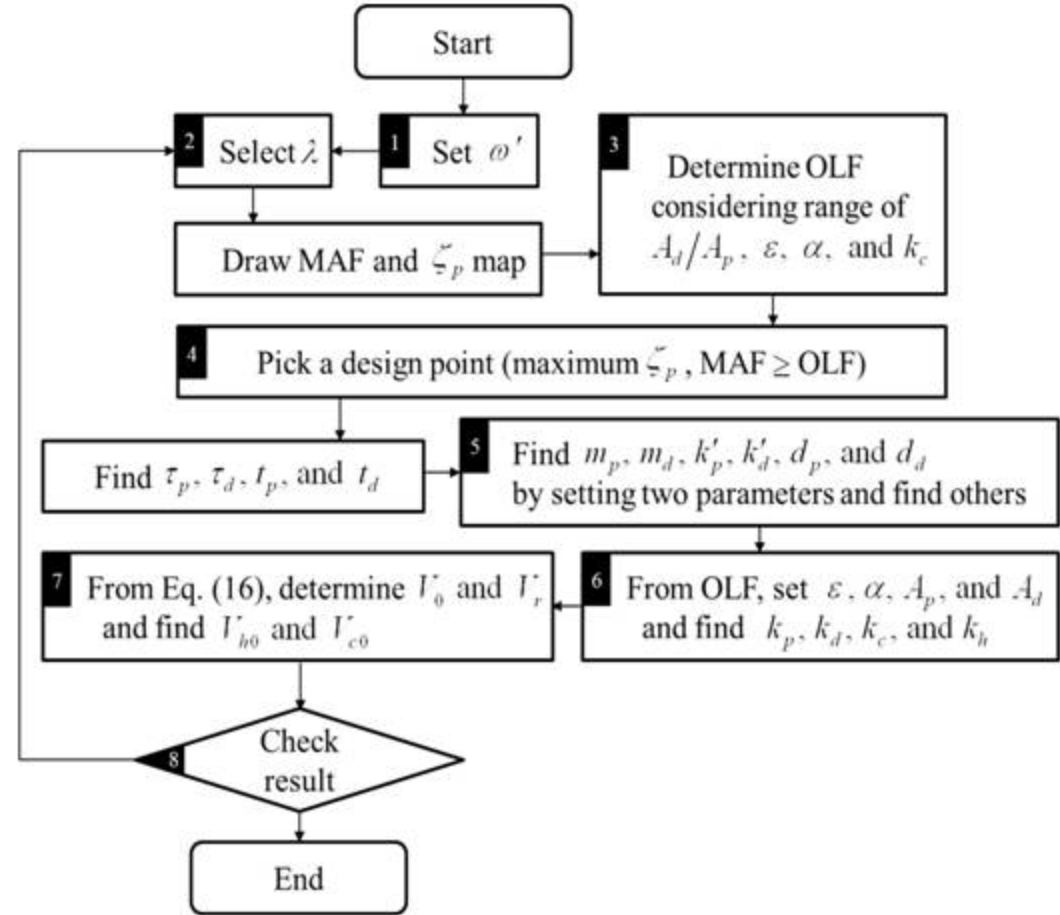
Free Piston 엔진 동역학 설계방법론

설계순서

동역학 계수 특성 연구

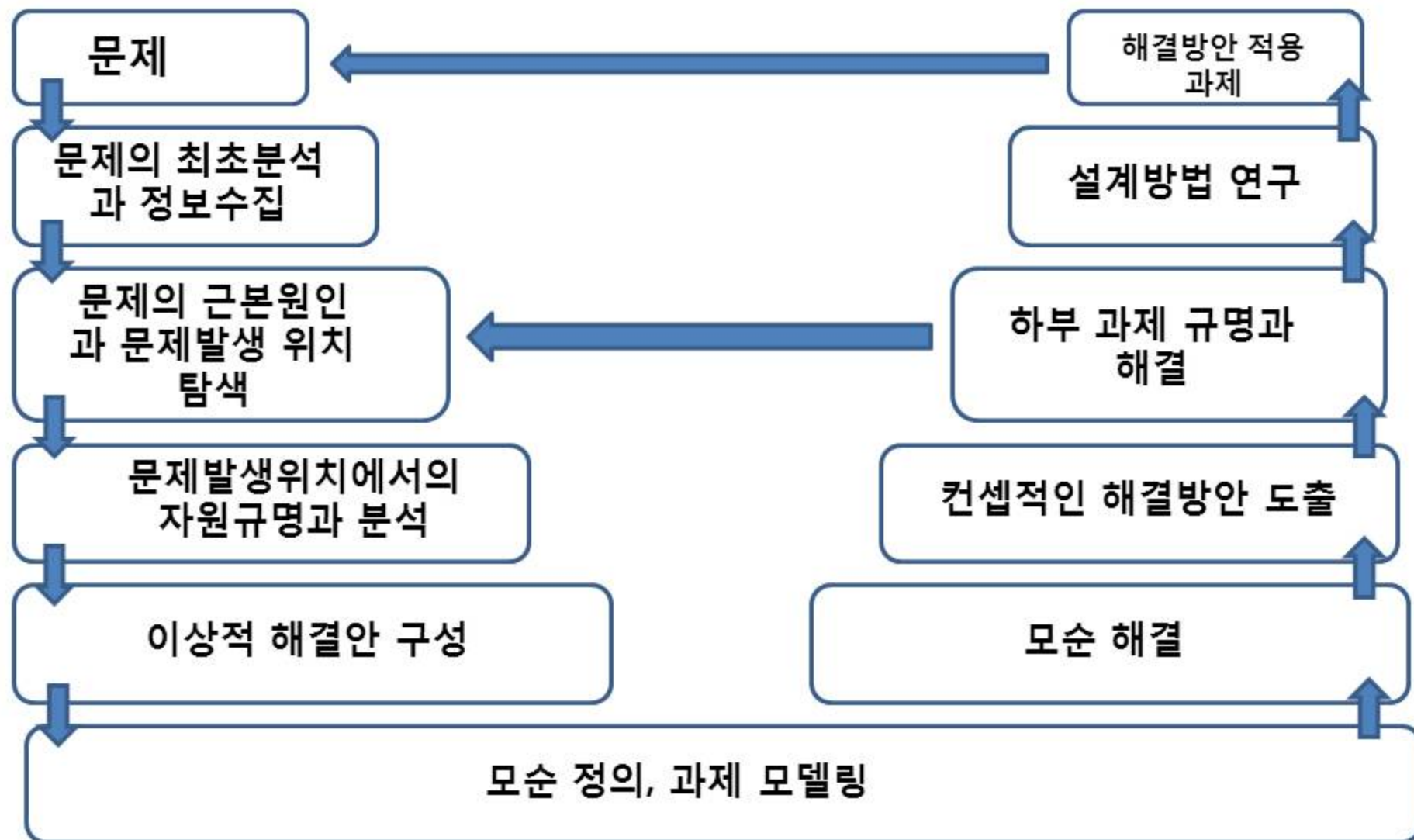


Magnitude Amplification Factor Contour Map  
(Operation Limit Factor 에 따른  
최적 설계파라미터 (A점) 산출)



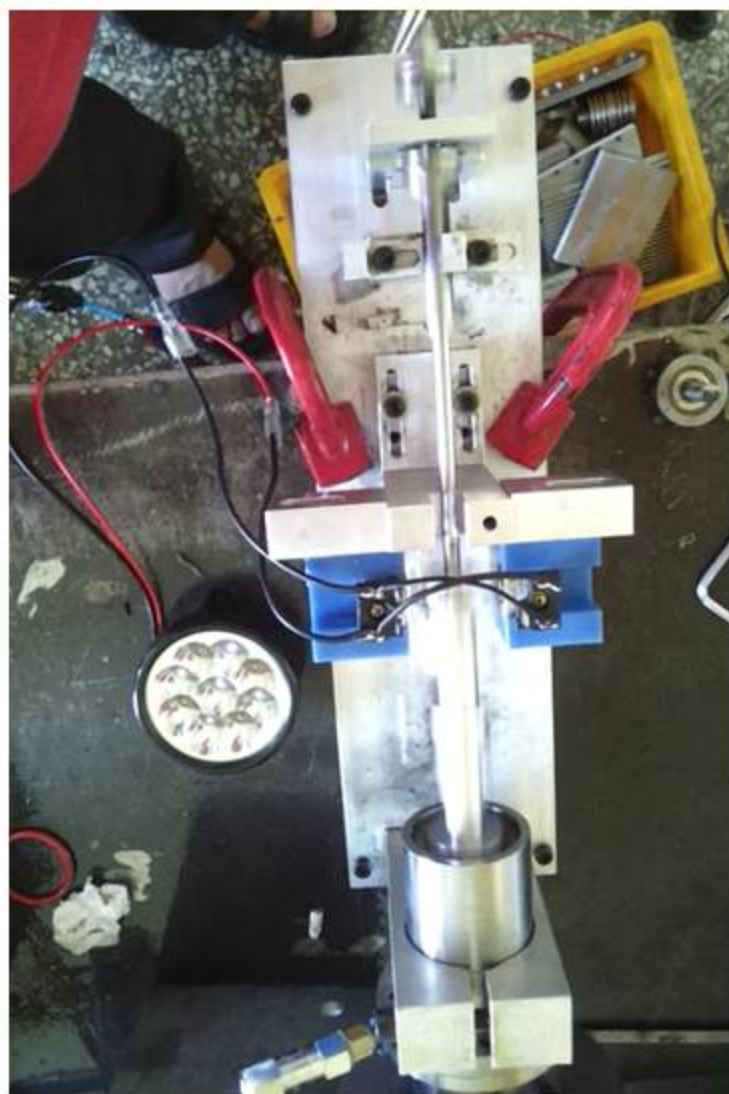
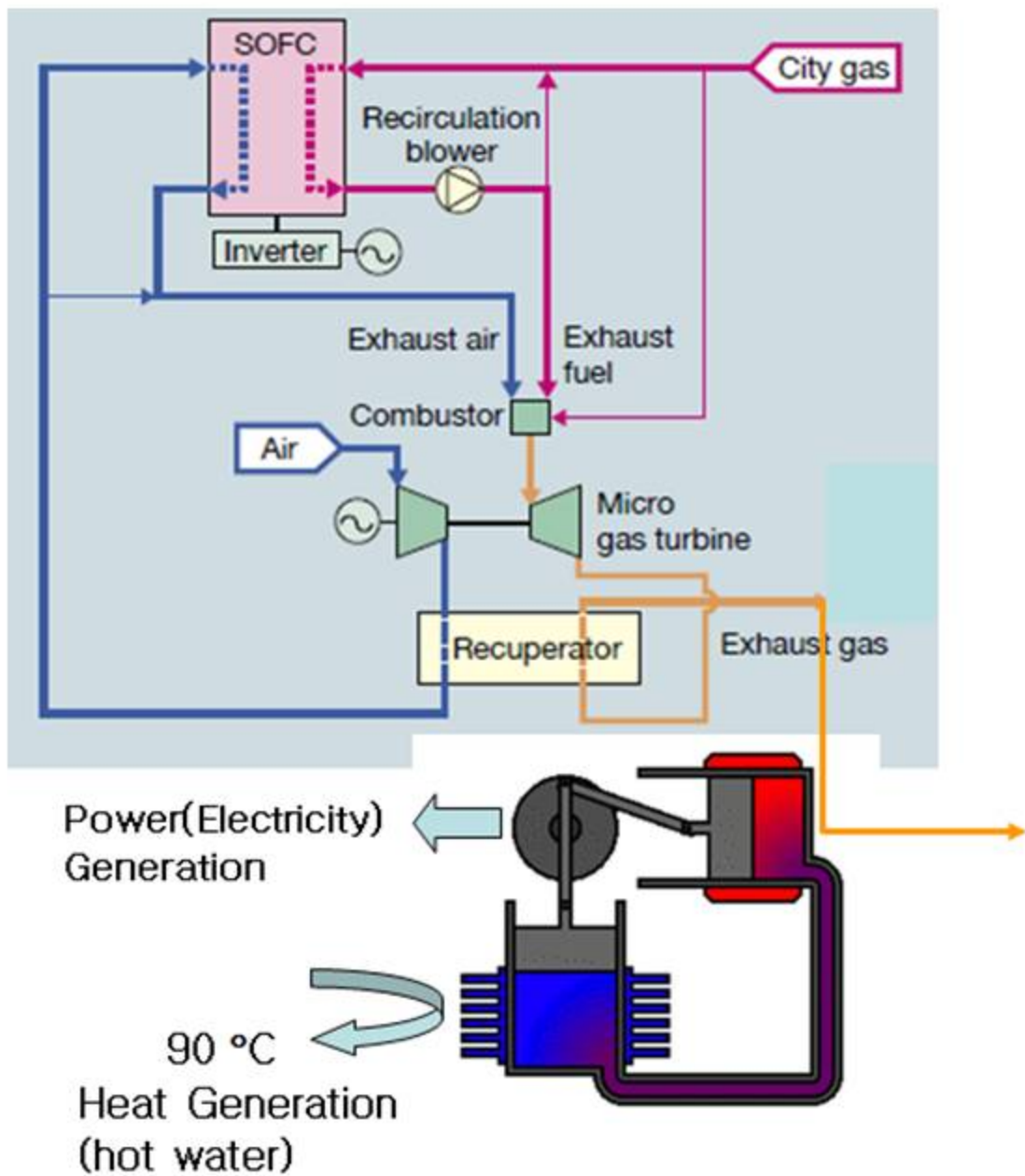
# ARIP 2009

## 생산-기술형 문제의 주요 단계도

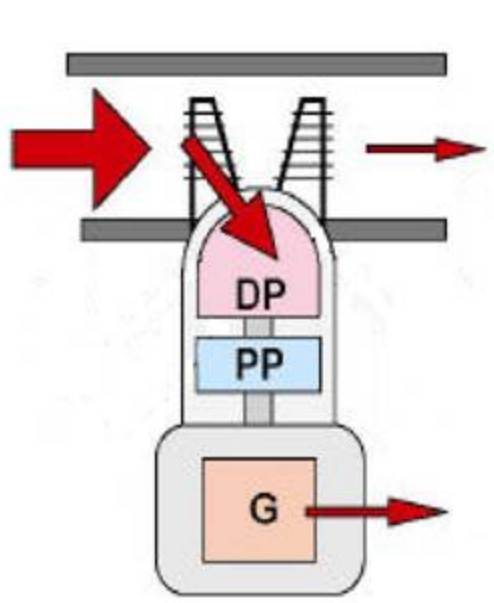




# 저급 열원(600 °C 이하 )으로 구동되는 스테링 발전기 개발 필요



# 1. 문제상황(폐열을 이용한 Stirling 엔진의 문제점) KIST Korea Institute of Science and Technology



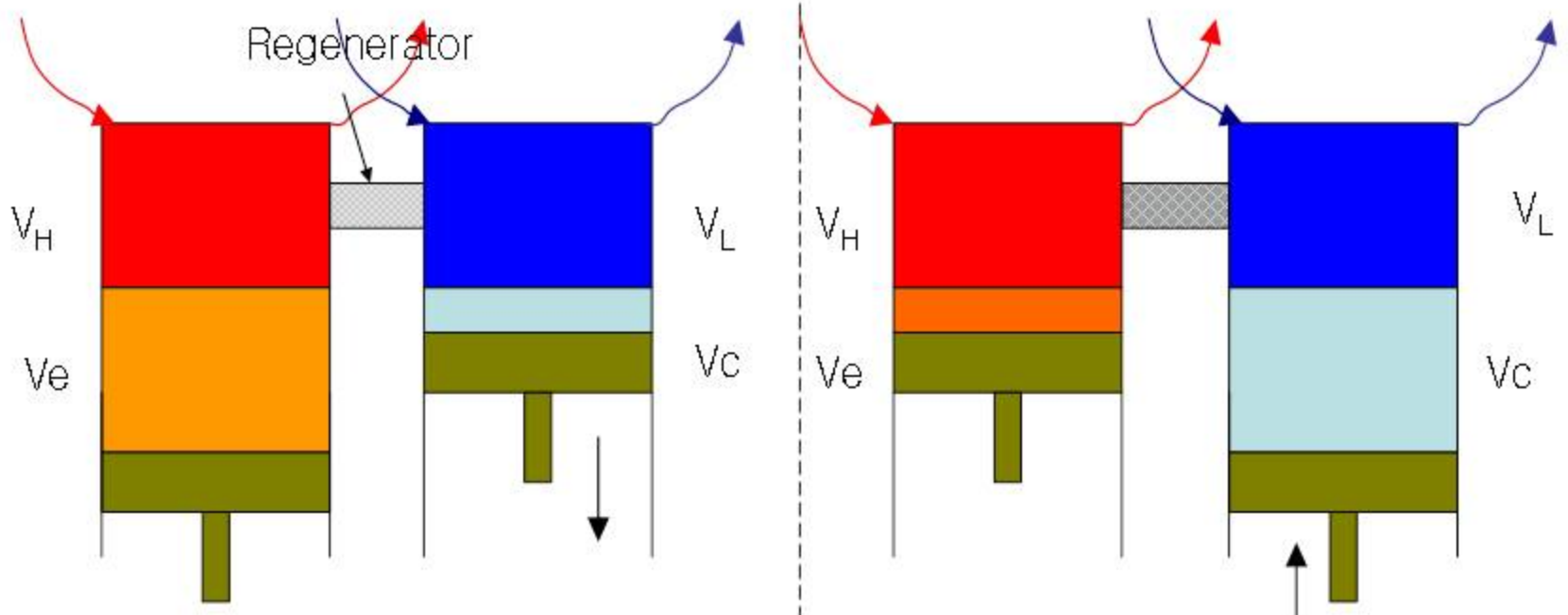
National Maritime Research Institute, Japan

800 °C < T

연료전지 폐열 < 600 °C

저온에서 작동 스텀링 엔진

개발 필요

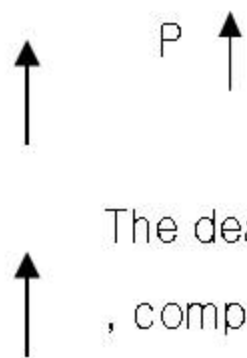


$$(V_e + V_H) / (V_e + V_c) > (V_c + V_L) / (V_e + V_c)$$

$$(V_e + V_H) / (V_e + V_c) < (V_c + V_L) / (V_e + V_c)$$

Heat Exchanger 내부 체적

Dead Volume

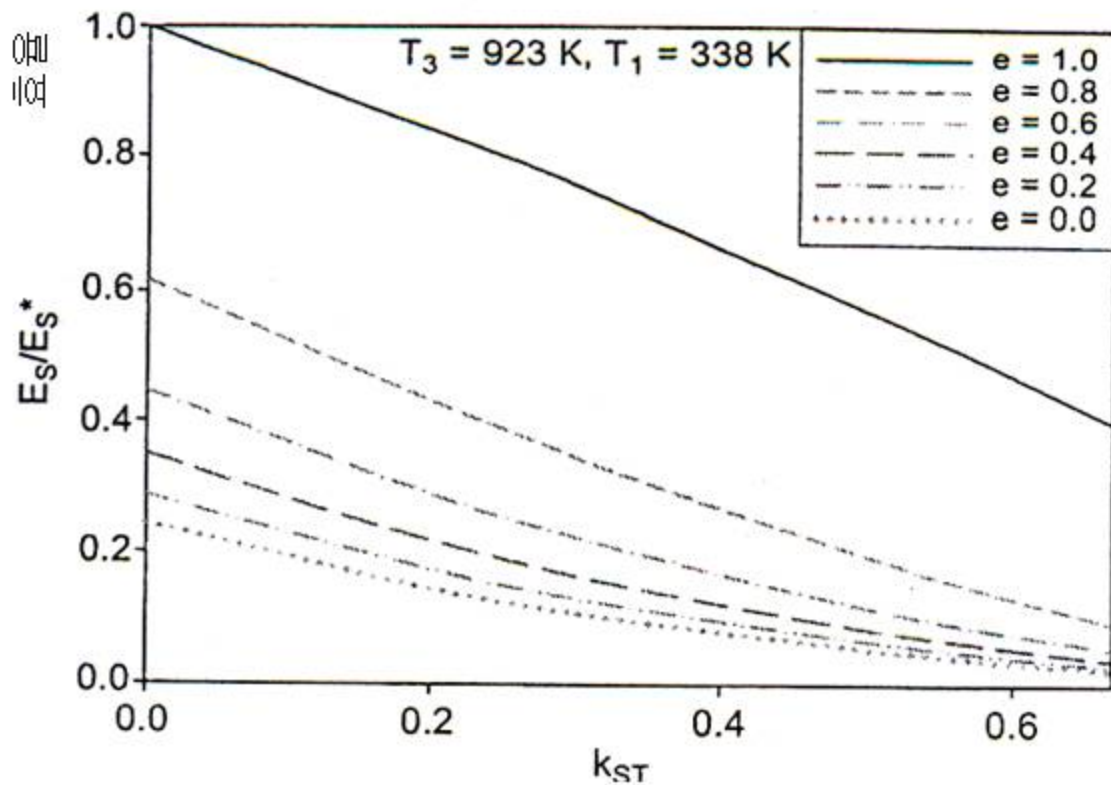


P ↑

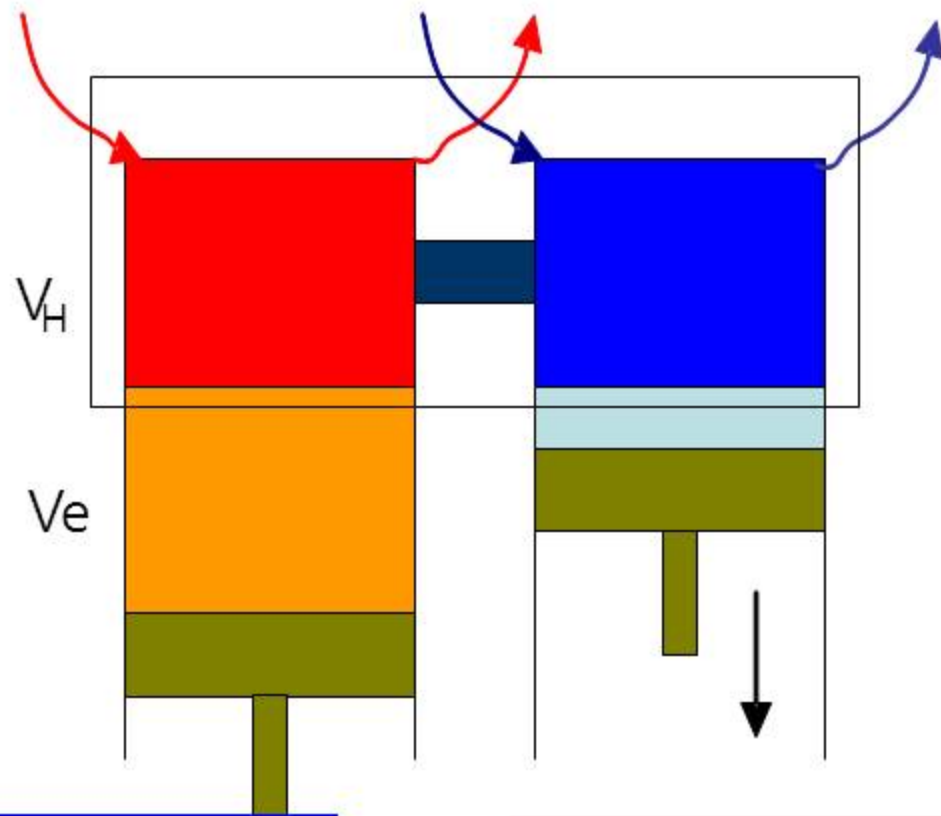
P ↓

The dead volumes ( $V_H + V_L$ ) must be as small as possible, comparing with the sweep volumes ( $V_e + V_c$ )

# 열교환기 면적에 따른 스텔링 엔진의 효율



Dead Volume 비율



열전달을 위해서  
열교환기의 체적  
필요 !!

Stirling Engine 의  
작동을 위해서는  
이 공간 없어야 !!



矛盾 !!





# 이 시스템에서 발견되는 결함(불필요한 사건, 현상, 상황)은 ?

Sweep Volume 을 Dead Volume 의 2 배 이상이 되기 위해  
Stirling Engine 의 피스톤의 지름과 Stroke 가 키우면 내구성 문제 발생

## ① 무엇이 발생하는가?

스터링 엔진의 구동이 안됨.

## ② 어디서 발생하는가?

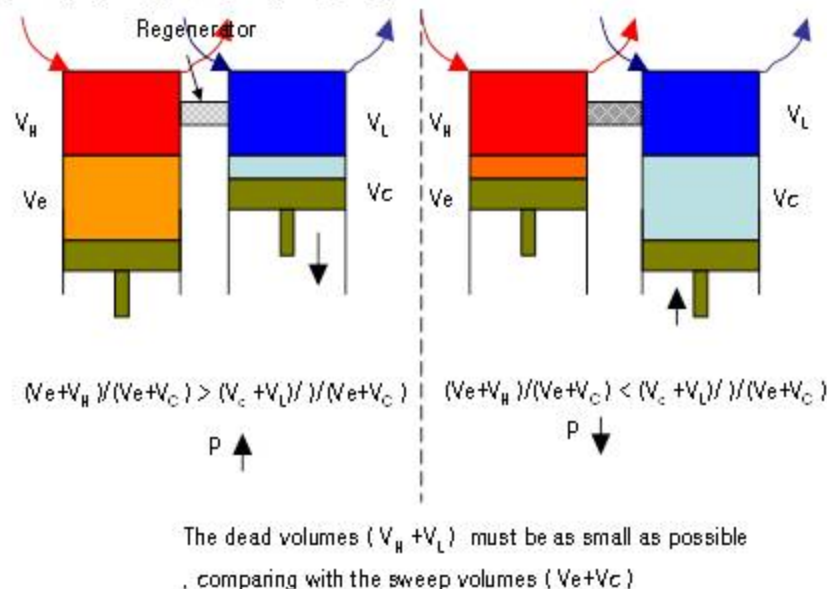
열교환기 내부

## ③ 언제 발생하는가?

Heater 와 renerator, cooler 에 남아 있는 가스의 질량이 sweep volume 에 비해 너무 클 때

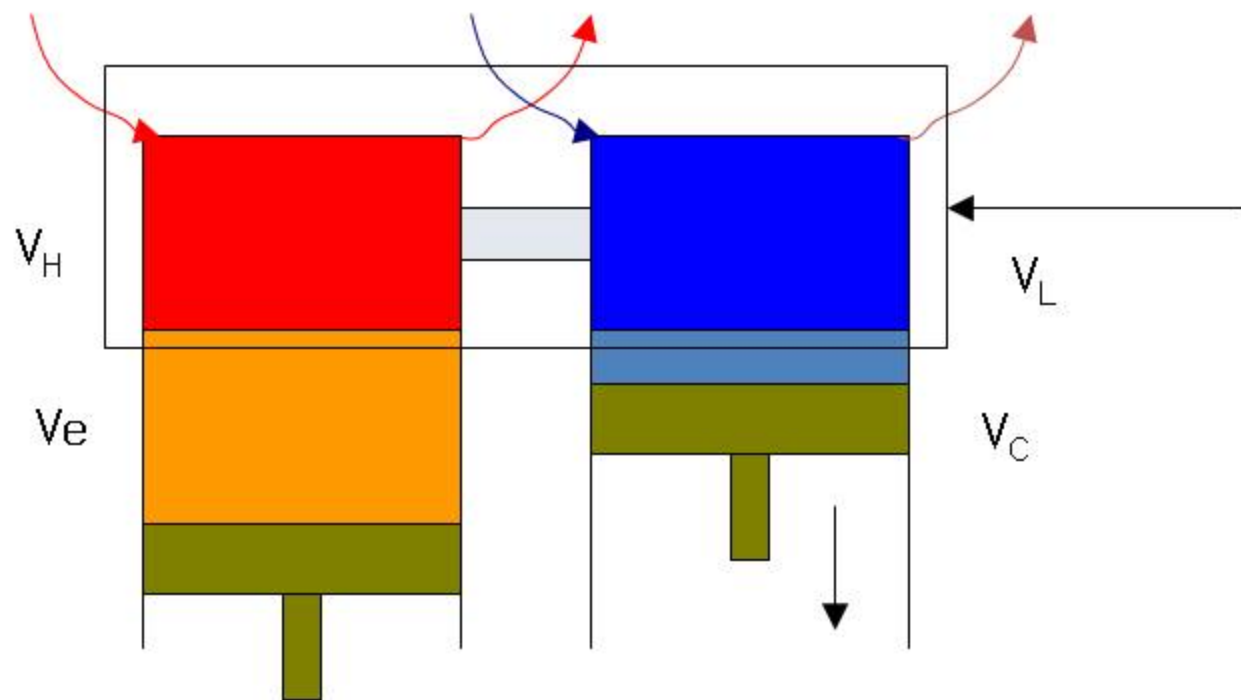
## ④ 왜 발생하는가?

가열원이 온도가 낮으므로 열전달 면적을 넓히기 위해 커다란 열교환기를 사용하므로





### 3. 문제의 분석 및 Operating Zone 규정

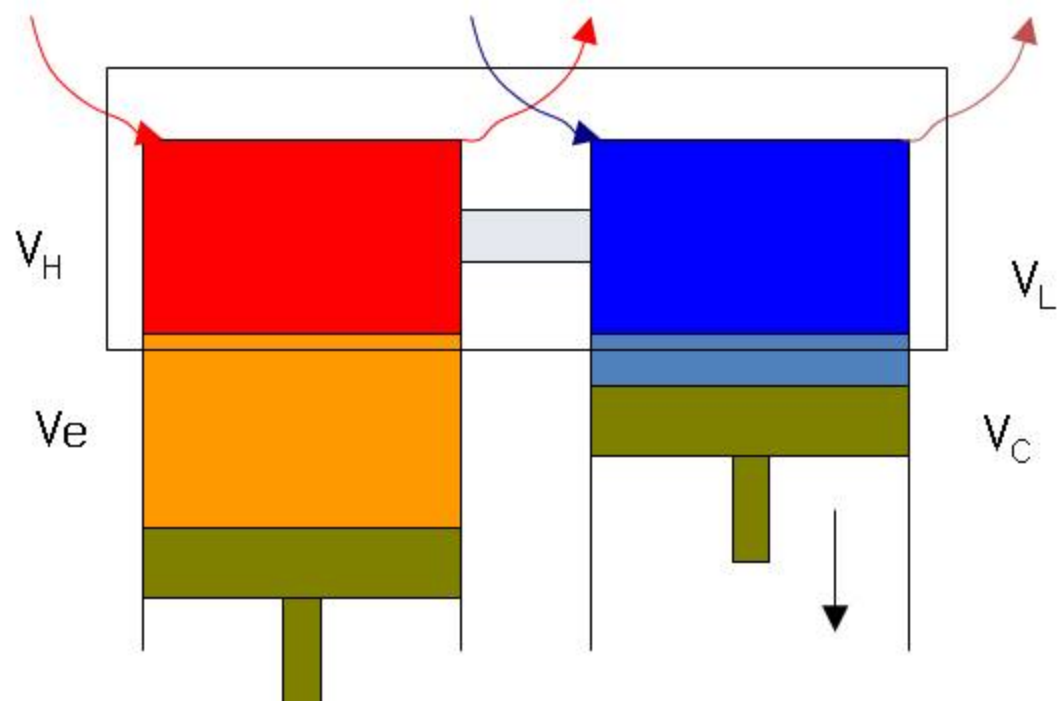


열전달은 위해서는  
있어야 하지만  
Stirling Engine 의  
성능향상을 위해서  
는 작동가스의 공간  
에는 없어야 한다.



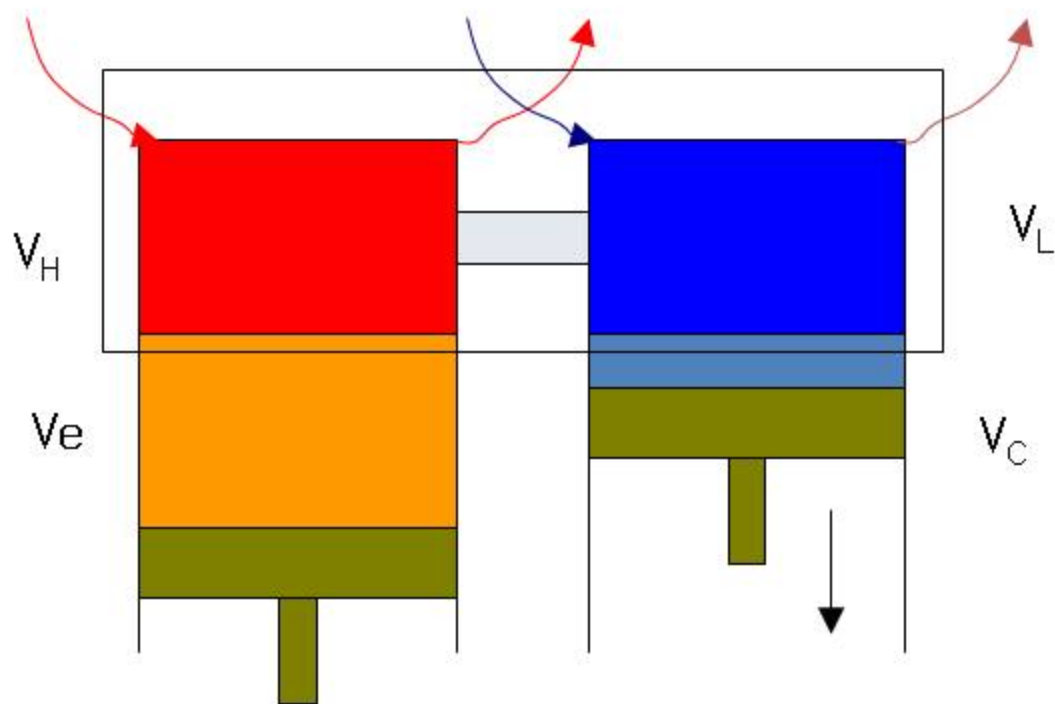
## 4. 물질-장 자원분석 및 선택

- 물질: 열교환기내 가스, 열교환기, 피스톤, Sweep volume
- 장: MATCEM
- M: 중력, 마찰, 접촉, 진동, 가스/유체역학, 첨가물
- Thermal: 가열, 냉각, 상 변화, 대류
- Chemical



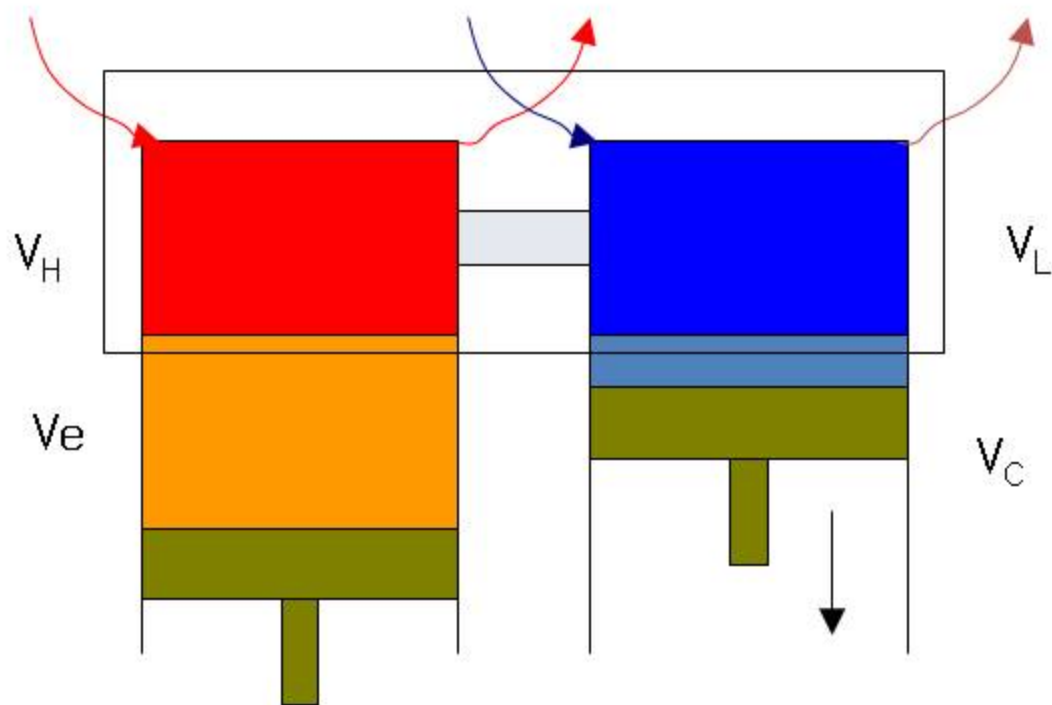
## 5. IFR 도출

- 작동가스는 스스로 열을 전달하여 Dead Volume 이 zero 가 되어야 한다.



## 6. 물리적 모순 도출

- 열교환을 위해서 열전달 면적은 필요하나
- 작동에 관여하지 않는 Dead Volume 으로 작용하므로 필요하지 않다.

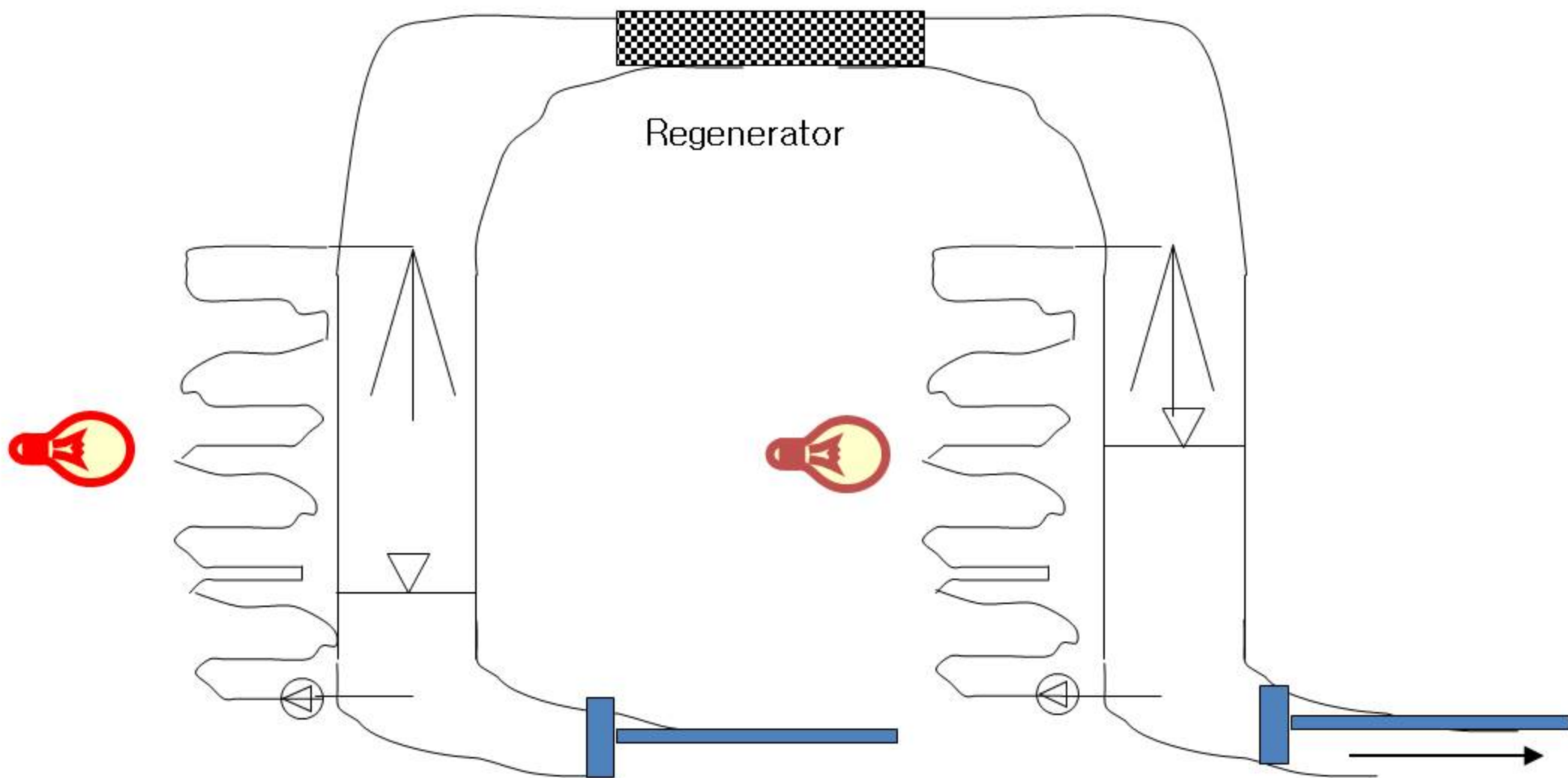




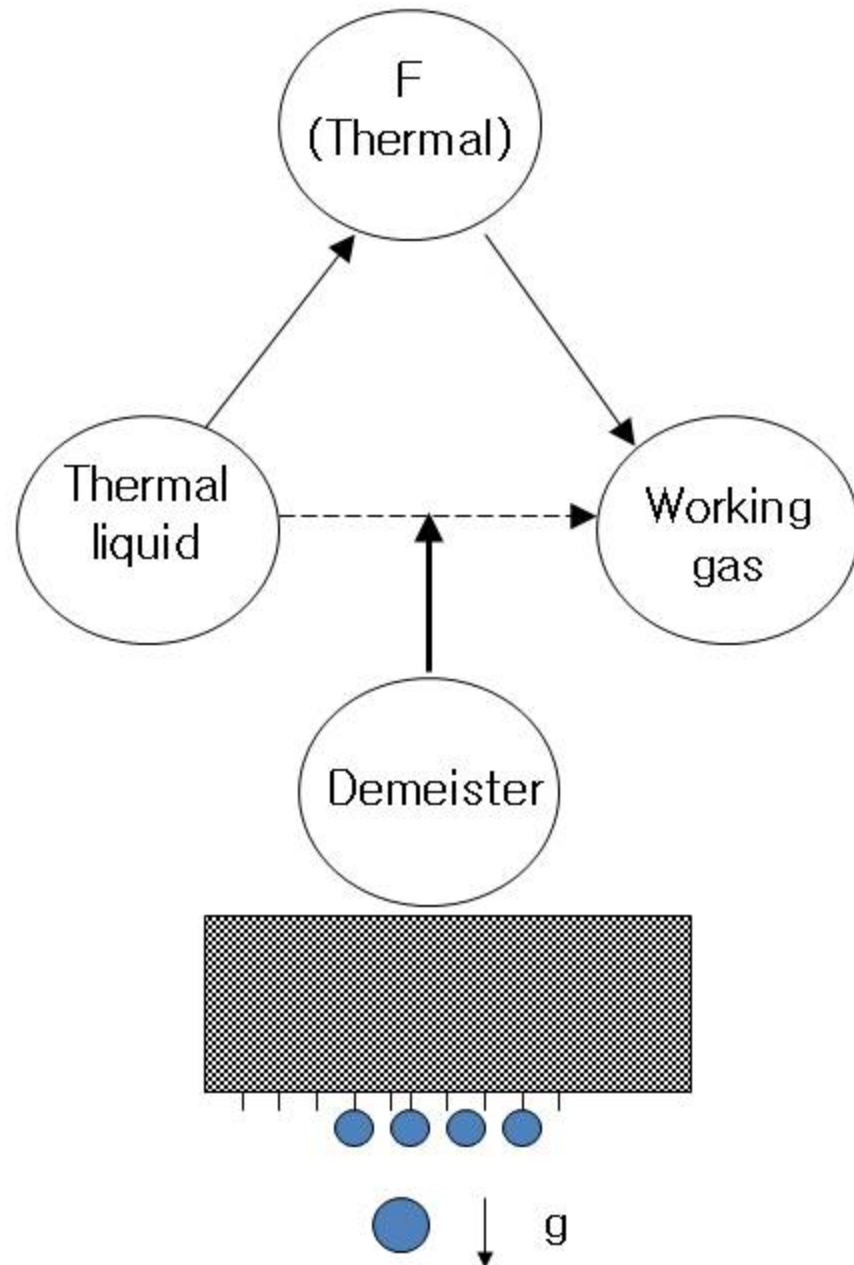
## 7. 물리적 모순 해결

공간적 분리: 열을 받는 매체와 작동매체를 분리한다.

시간적 분리: 열을 받는 시점과 열을 내보내는 시점을 분리한다.



## 8. 모순 해결을 위한 MATCEM 도입



해로운 현상: 가열부의 Thermal liquid 가 증발하여 냉각부로 넘어감

IFR: Thermal liquid 는 스스로 냉각부로 넘어가지 않고 가열부로 돌아간다.

자원: Thermal Media, Working gas, regenerator, gravity, surface tension

MATCHEM 적용

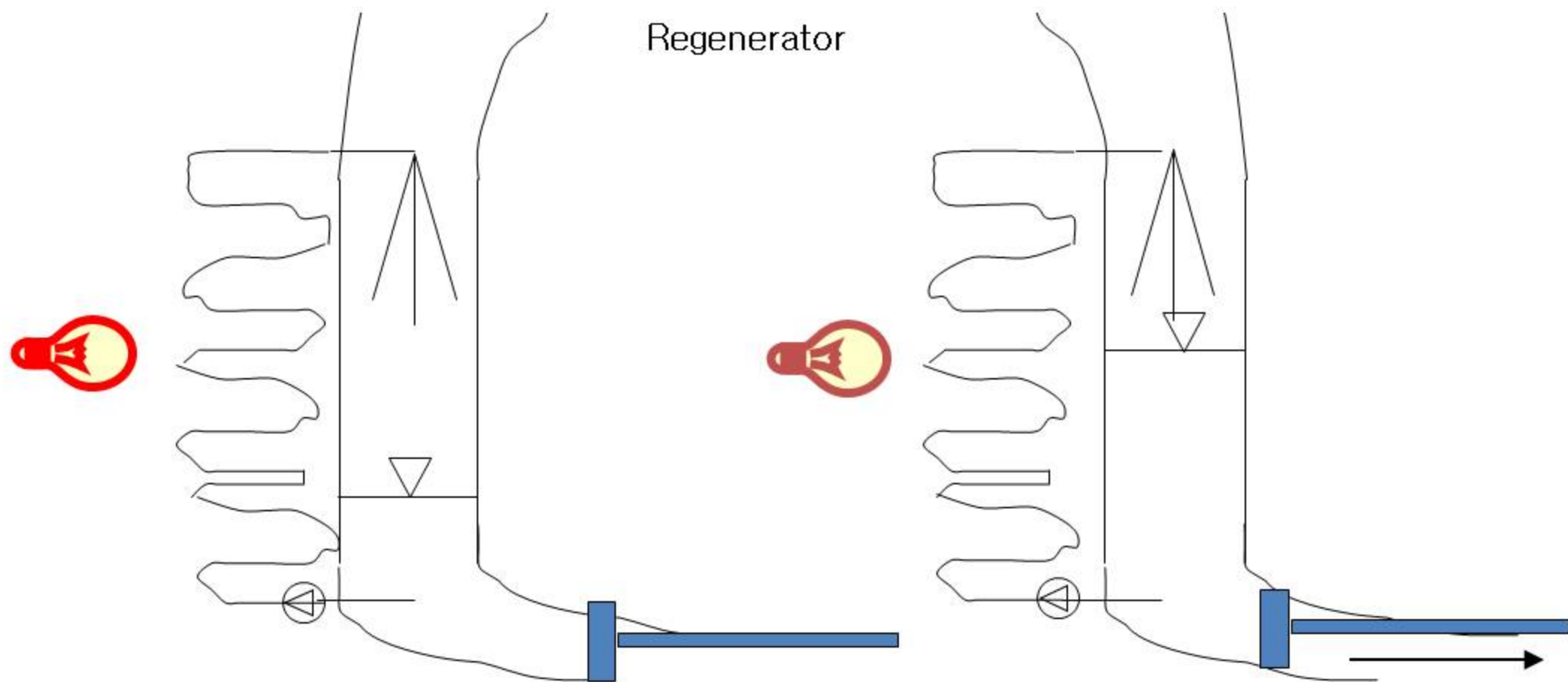
M: 충돌

Thermal: 냉각, 상변화, 대류

## 9. 해결안 분석

팽창부에서 증발된 용액이 냉각부로 넘어감으로 인하여  
가열부의 열매체 고갈되는 문제점

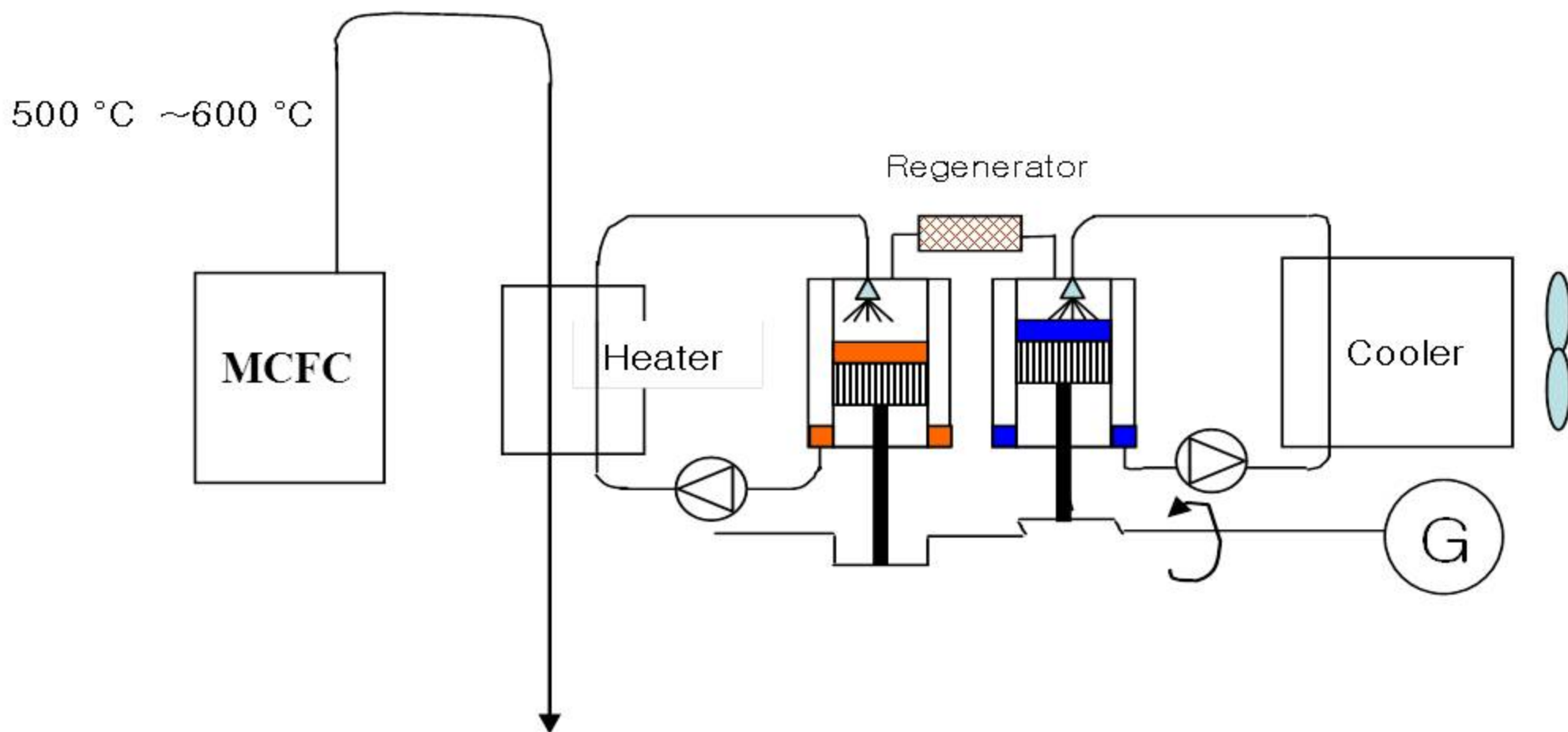
피스톤에 직접닿는 매체가 액체로 인하여 피스톤의 왕복주기가 늦어짐.  
피스톤의 윤활유가 가열매체에 녹아들므로 인한 수명저하 발생



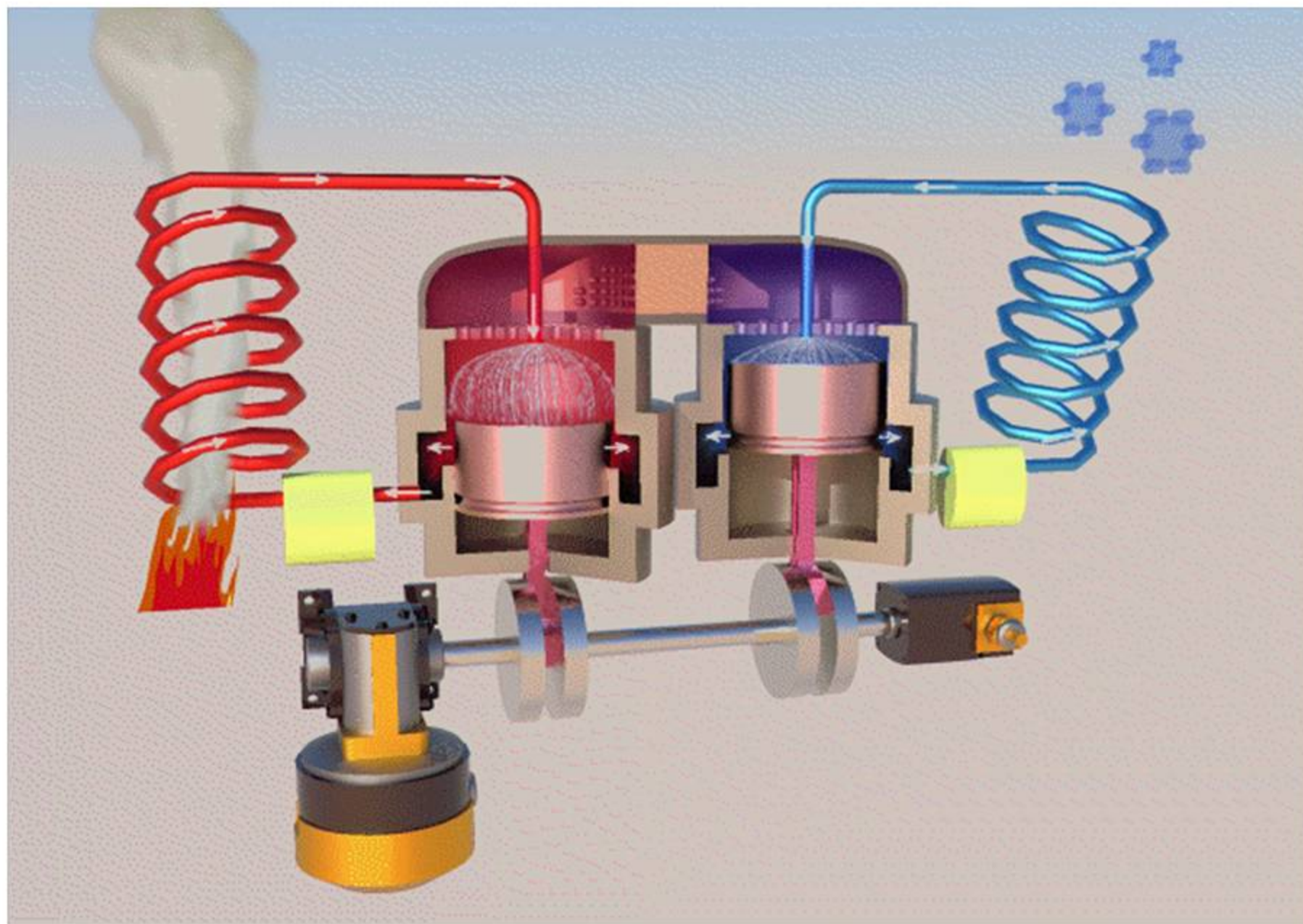


## 10. 해결안 정리 및 확정

- 시간의 분리: 열을 받고 주는 시간
- 공간의 분리: 열 교환기 매질의 분리: 액체와 기체  
상층에 쌓이는 액체 층의 최소화를 위한 경사



# 폐열 이용 기-액 혼합 스테어링 엔진 개념도



# 출원번호통지서

출원일자 2011.05.24  
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출원번호 10-2011-0049162 (접수번호 1-1-2011-0388732-63)  
 출원인명칭 한국과학기술연구원(3-1998-007751-8)  
 대리인성명 김종수(9-2006-000796-7)  
 발명자성명 장선준 이윤표 조복희  
 발명의명칭 열교환부가 개량된 스테어링 엔진

