

# SMR용 RCP개요 및 상용화

2021. 10. 20.



Hyosung GoodSprings Performance Unit

1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요

2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차

3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안



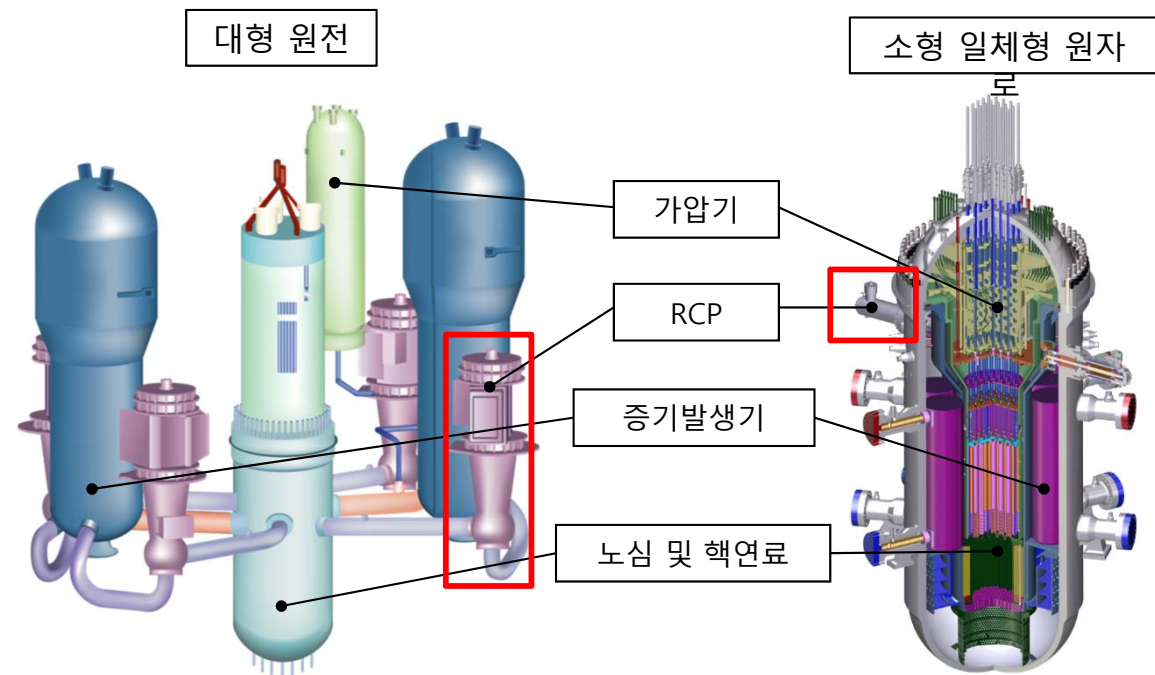
# 1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요

## 1) 개요

- 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactor; SMR)는 가압기, 증기발생기, 원자로 냉각재펌프가 하나의 원자로용기 내부에 배치된 일체형 원자로이며, SMR용 원자로 냉각재 펌프(Reactor coolant pump; RCP)는 용기에 일체형으로 조립되는 구조임
- SMR용 RCP는 대형원전용 RCP와는 다른 구조를 가져야 하므로, SMR에 적절한 구조를 가지는 RCP가 신규 개발되어야 함

## 2) RCP의 역할 및 중요성

- 원자로 내부의 냉각재를 강제 순환시켜 핵연료에서 발생한 열을 증기발생기로 전달하는 역할 수행
- 원자로 냉각재 계통(Reactor Coolant System, RCS) 위치하며, 1차 계통(NSSS)내 유일한 능동 기기임.
- RCP의 고장이 발생할 경우, 발전소의 출력 감소, 진동발생 등 1차 계통(NSSS)의 건전성에 중대한 영향을 미칠 수 있는 핵심 기기임

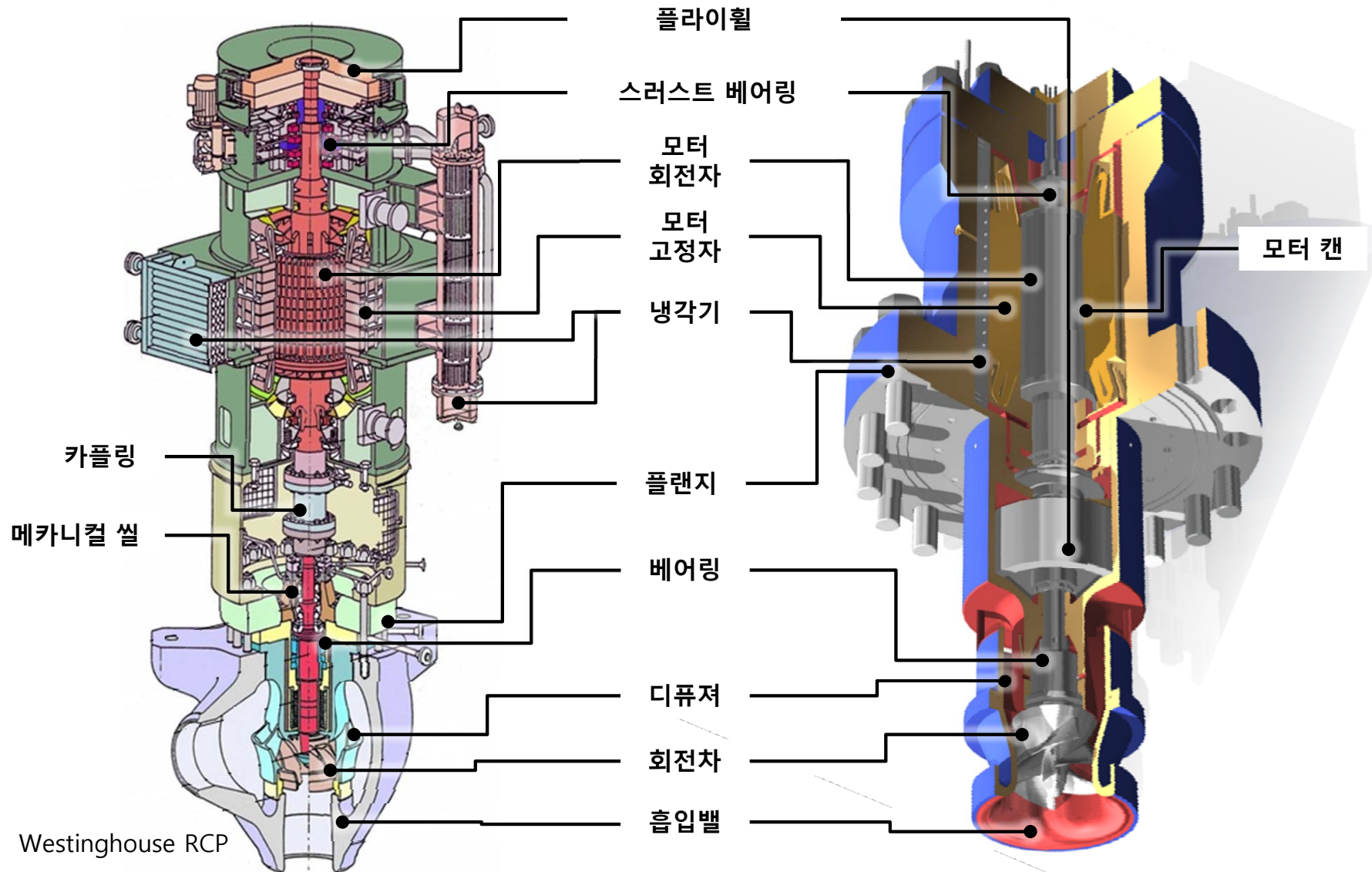


[기존 대형 원전 및 SMART100 원전 비교]



# 1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요

## 3) 대형원전 RCP와 SMR용 RCP 비교



# 1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요

## 4) SMR용 RCP의 구조적 특징

- 전동기 일체형 구조의 Canned Motor Pump Type 적용
- 흡/토출 Nozzle 없이 원자로용기에 일체형으로 조립

장시간 연속운전이 가능한  
Bearing System

내부 Cooler를 적용하여, 전동기 냉각

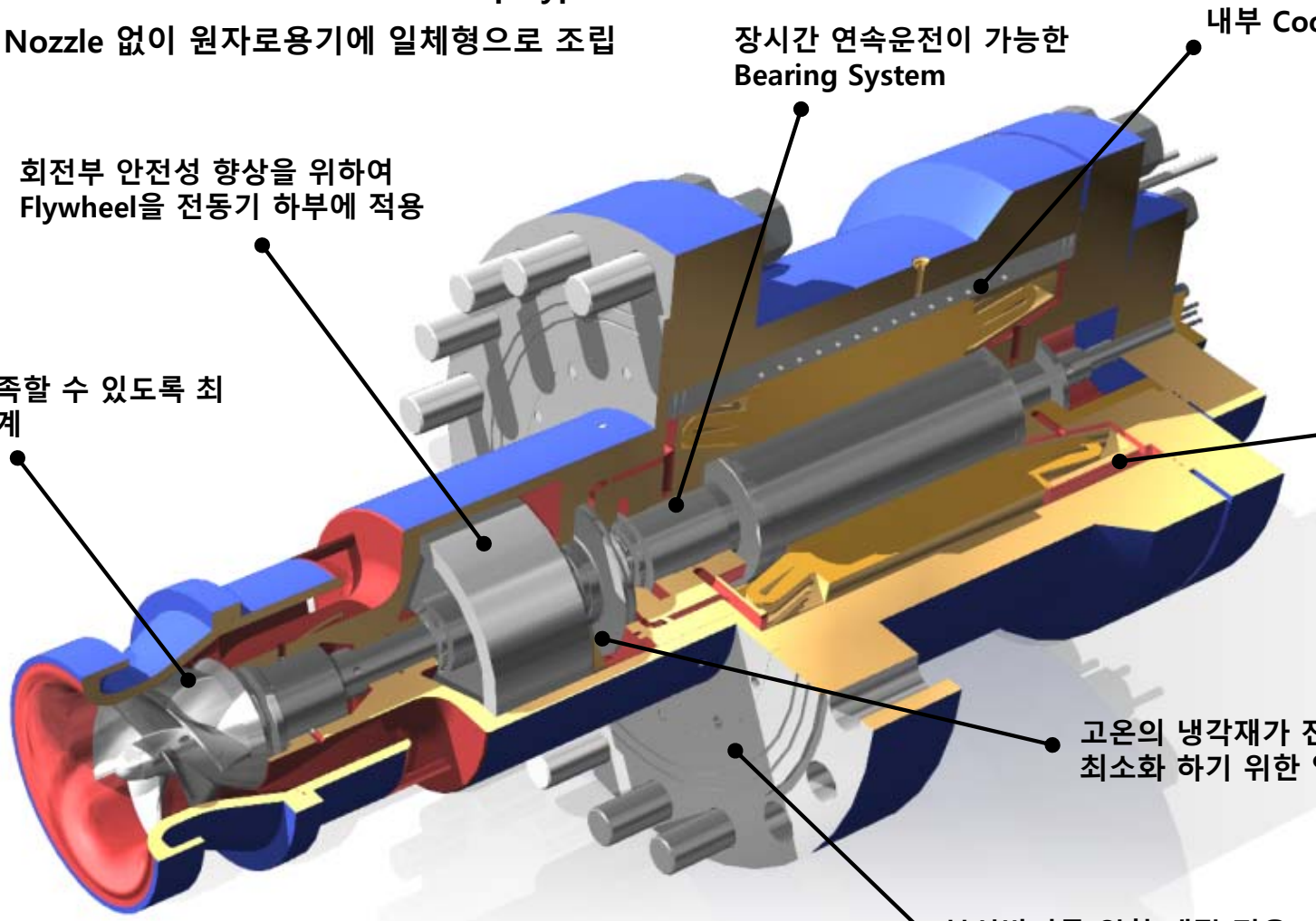
회전부 안전성 향상을 위하여  
Flywheel을 전동기 하부에 적용

요구 성능을 만족할 수 있도록 최  
적화된 수력 설계

전동기 냉각을 위한  
내부 순환 유로

고온의 냉각재가 전동기부로의 이동을  
최소화 하기 위한 열 차단 구조

부식방지를 위한 재질 적용



## 2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차

### 2) 수력설계

HYDRO D/B를  
이용한  
기본형상 설계

HYDRO 3D 설계

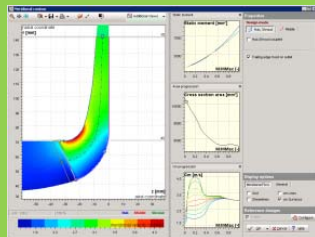
유동해석

모델펌프 제작 및  
시험

최종모델선정



<HYDRO D/B를 이용한 통계분석>

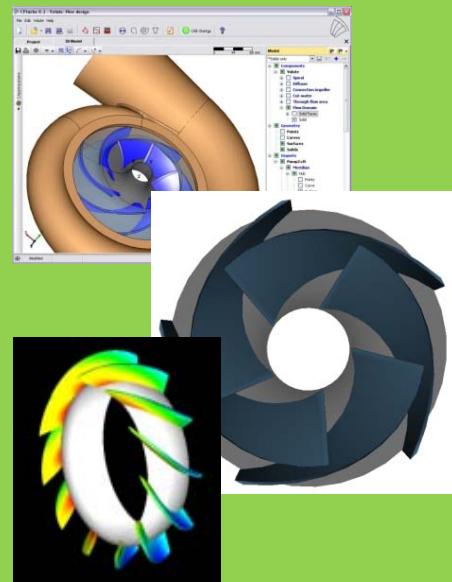


<2D 자오면 설계>

● 자체 Data Base 활용

● 자체 설계 프로그램 및  
회전차 전용 설계프로그램 활용

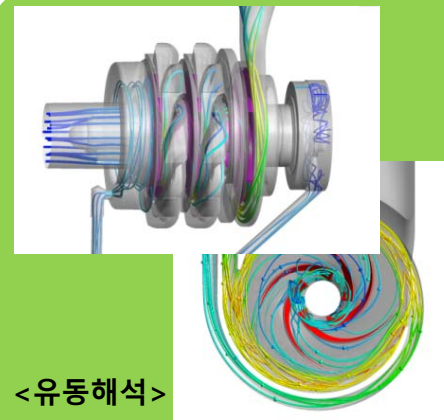
● 기본형상 변수  
(성능변화 주요 인자) 선정



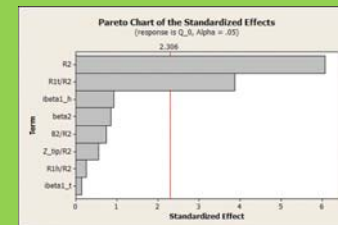
<HYDRO 3D 형상>

● 자체 설계프로그램 활용

● 전용 설계프로그램 활용



<유동해석>



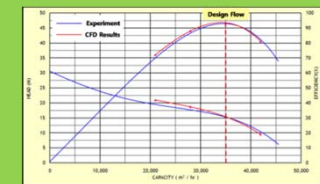
<실험계획법>

● 유동해석 전용 프로그램  
100~200 Case 이상 유동해석

● 실험계획법 및  
최적화 프로그램 활용



<모델 펌프>



<성능 비교>

● 모델펌프용 HYDRO 제작

● 규격(IEC, HI, JIS 등)에 맞게  
성능 시험 실시

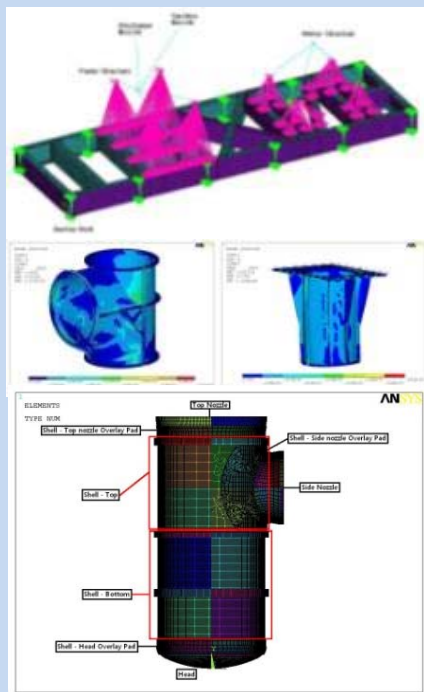
● 실물 펌프 제작을 통한 성능 검증



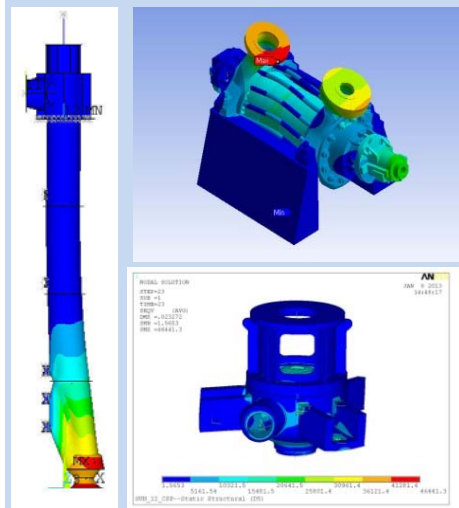
## 2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차

### 3) 구조설계

- Stress analysis, Seismic Analysis(Static and Dynamic Analysis), Fatigue and Operability Analysis
- Strength test using FSI(Fluid Structure Interaction) / Heat Transfer, Thermal Transient Analysis

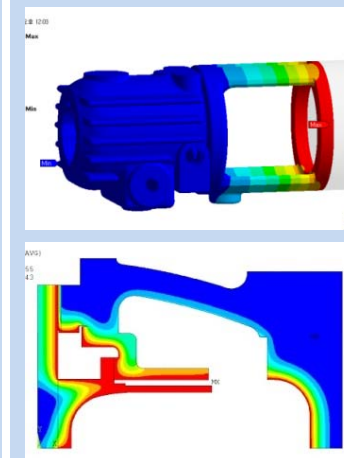


Structural Strength Analysis

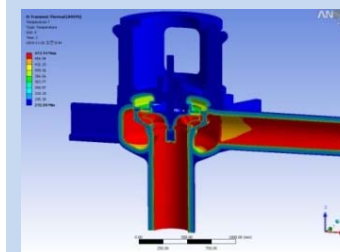


Structure and Seismic analysis were performed in accordance with ASME QME-1 code.

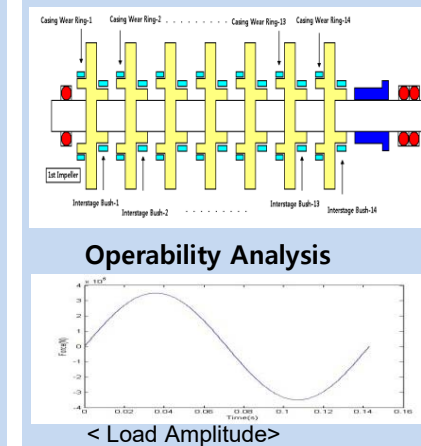
Seismic Analysis



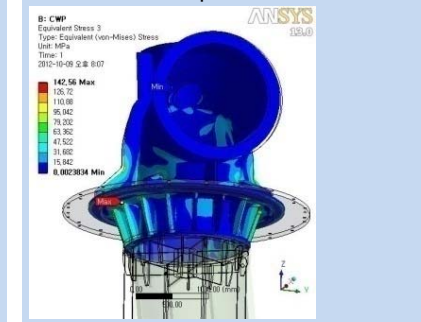
Heat Transfer Analysis



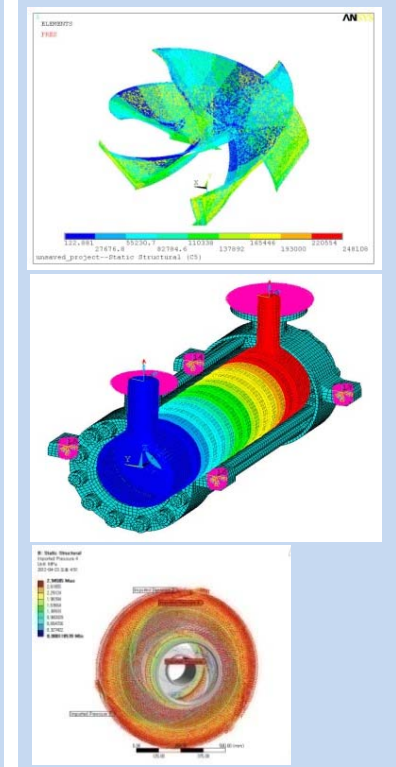
Thermal Transient Analysis



Operability Analysis



Fatigue Analysis

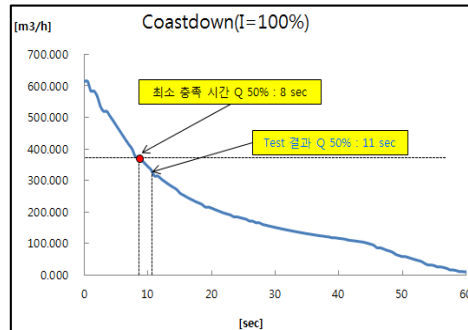
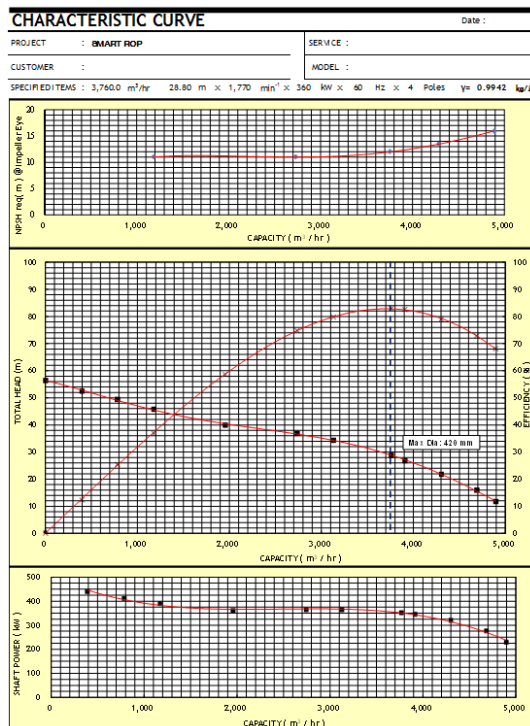


FSI Analysis

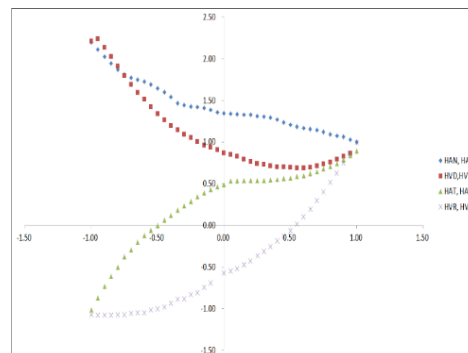
## 2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차

### 5) 성능검증

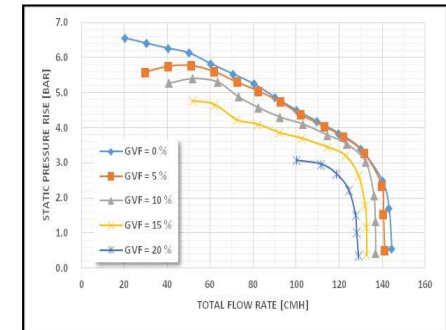
- 성능시험 : RCP의 유량-양정을 측정하여 요구성능을 만족 여부를 평가
- 과도운전 시험 : 고온에서, 기동/정지를 반복 및 연속운전을 통하여 RCP의 내구성을 평가
- 완전특성시험 : 1대의 RCP가 비상정지 될 경우 RCS내부의 급격한 냉각제 유량 변화 및 역류에 대한 펌프특성 평가
- 관성서행시험 : RCP 비상정지시 원자로 내부를 지속적으로 냉각하기 위해 필요한 RCP의 관성유량 평가
- 압력맥동시험 : 원자로 종합진동평가를 위한 펌프의 압력맥동 특성 평가
- 이상유동시험 : 냉각재에 용해되어 있는 N2가스가 용출 시 펌프의 성능변화 특성 평가



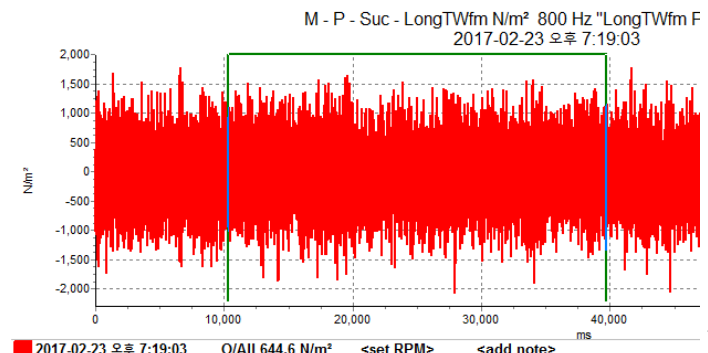
<관성서행곡선>



<호모로고스곡선>



<이상유동시험>



<압력맥동측정>



### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 1) 원자로 냉각재 펌프 상용화를 위한 협력방안

- 원자로 냉각재 펌프 상용화를 위하여, 소재 조달 및 가공, 신규 재료의 개발, 성능검증 Infra 구축 등 협력업체 / 연구기관/ 정부기관의 협업이 필요

##### 소재 조달 및 가공

- 주물, 단조, 볼트재 등
- 5축 가공, 정밀가공 등

##### 재료 개발

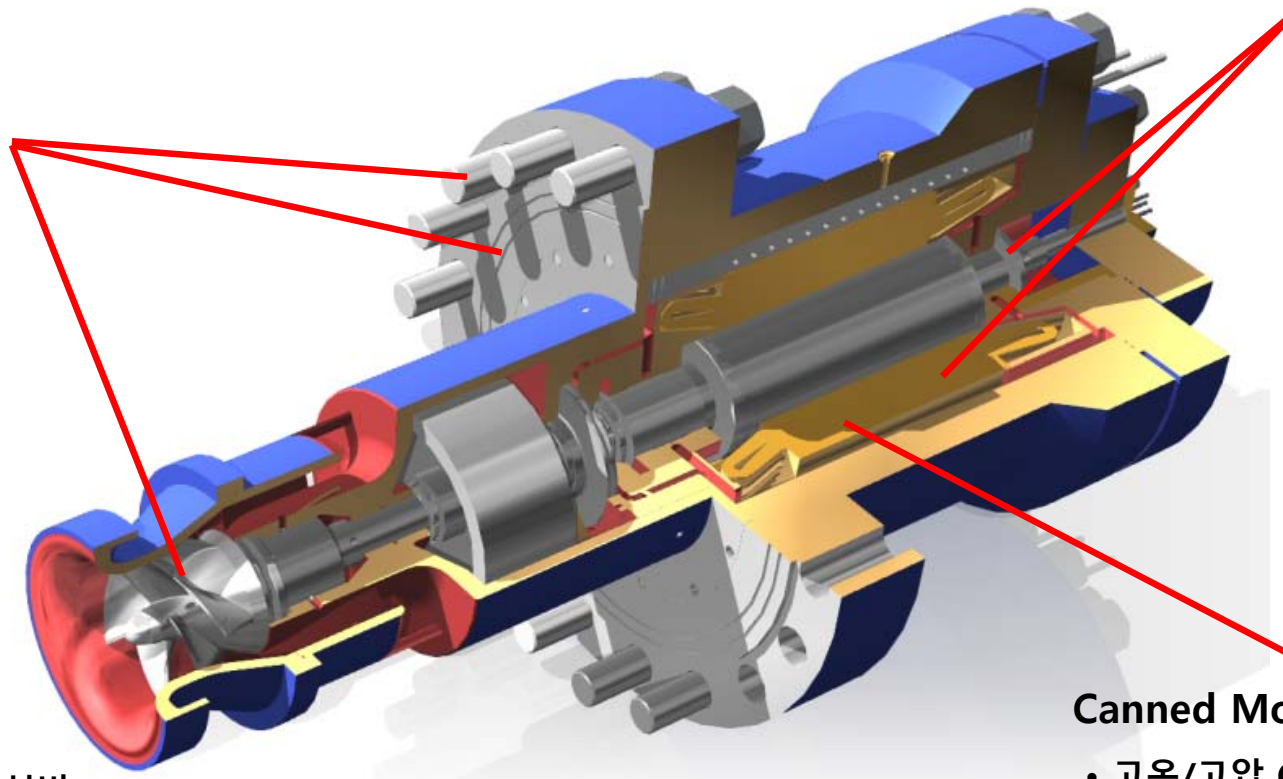
- 고온용 절연물
- 베어링 소재 등

##### 성능검증 Infra

- 고온, 고압용 펌프 시험설비
- 베어링 등 부품 검증 설비

##### Canned Motor 개발

- 고온/고압 Canned Motor



### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 2) 소재 조달 및 가공

- 펌프 부품의 대부분은 주물 및 단조 소재 가공하여 적용하며, 수력부 및 유로의 형상 등 복잡한 형상의 설계가 제품으로 구현 되어야 함
- 따라서, 소재업체 및 가공업체와 설계단계 부터 협업이 필요 함
  - 단조, 주물 KEPIC 소재 업체 조사 및 발굴
  - RCP 압력부에 대한 형상 제작 기술 개발
  - RCP 수력부 형상에 대한 금형, 제작 기술 개발
  - 주축 KEPIC 소재 업체 조사 및 발굴
  - 5축 가공 및 정밀 가공 업체 조사 및 발굴



[주물 금형]



[단조 소재]

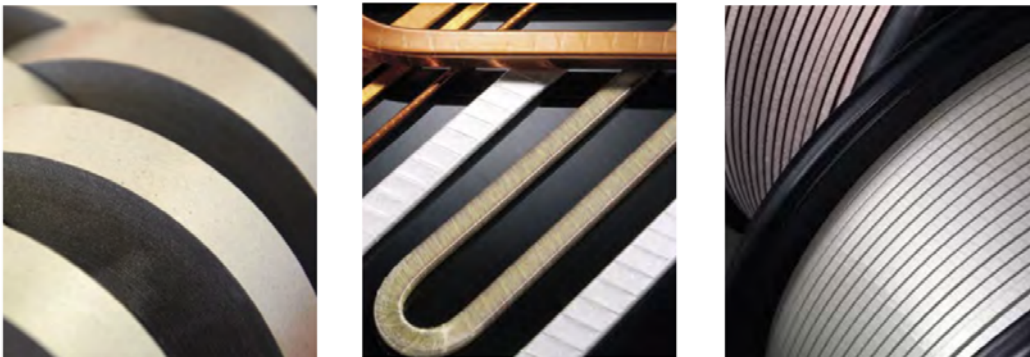


[5축 가공]

### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 3) 신규 재료의 개발

- SMR용 RCP는 고온의 냉각재가 펌프 내부 및 전동기부를 순환하는 구조를 가지므로, 고온의 냉각재에 사용가능한 다수의 부품용 재료를 신규로 개발하여 적용하여야 함
- 또한, 신규 재료의 검증을 위하여 부품단위의 검증이 수행되어야 함
- 연구기관 및 소재업체와 협업이 필요 함
  - 고온에서 절연 성능이 유지될 수 있는 절연재료 신규 개발
  - 고온조건에서 내 마모성이 우수한 베어링 소재 개발



[고온 절연물 소재(Ref. 스위스 Vonroll)]



[베어링 소재(Ref. 미국 GT)]



### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 4) Canned Motor 개발

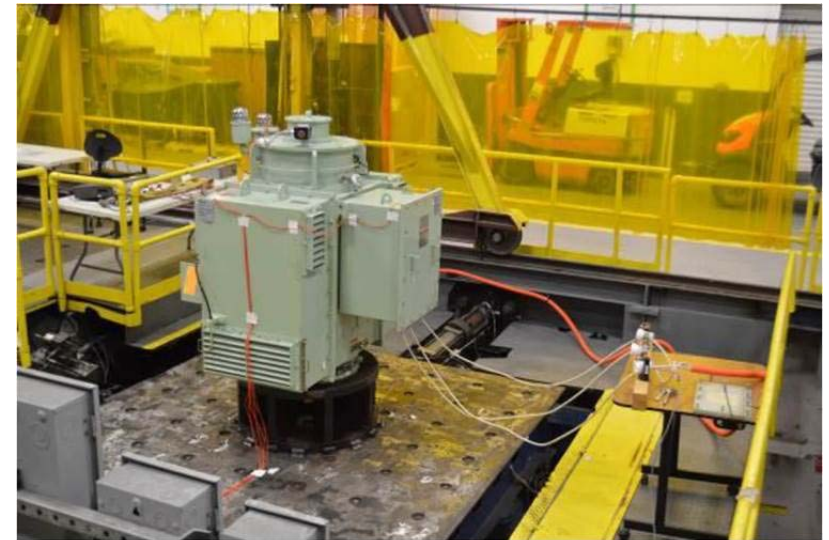
- 현재 국내에는 4000V이상의 고압 전동기를 Canned Motor형태로 양산하는 업체는 없음
- 따라서, SMR용 Canned Motor의 신규 개발 및 검증이 필요함
  - 고온에서 절연 성능이 유지될 수 있는 절연재료 적용
  - Canned Motor 용접기술 개발
  - 원자력 환경에서 건전성 유지를 위한 검증시험 수행



[캔드 모터]



[캔드모터 용접]



Hyosung 150 HP Vertical Motor – Seismic Test Setup

### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 5) 검증 시설 Infra 구축

- 국내에 RCP를 시험할 수 있는 설비는 한국원자력연구원에 있는 설비가 유일하지만, 해당 설비는 대형원전용 RCP를 시험하기 위하여 구축된 설비임.
- 대형원전대비 SMR은 열출력 기준으로 약 1/10수준이므로 RCP의 유량도 이와 비슷한 수준으로 예상됨.
- 따라서, SMR용 RCP 전용의 고온/고압 펌프 시험설비의 신규 구축이 필요 함
- 시험설비의 구축에는 초기 투자비용이 높고 RCP의 특성상 시장 형성이 되어있지 않은 SMR산업의 특성 상 국가 차원의 투자 및 지원이 필요함



[대형 원전 APR1400 RCP(Ref.원자력연구원 홈페이지)]



[효성 굿프링스 고압 시험 설비]



**Global Top Energy, Machinery & Plant  
Solutions Provider**

**THANK YOU!**

