

# Experimental Data Visualization using OpenFOAM and Python

오픈폼과 파이썬을 이용한 실험 데이터 가시화

김 종태 ([ex-kjt@kaeri.re.kr](mailto:ex-kjt@kaeri.re.kr))

한국원자력연구원 사고대처기술연구실

2019 8<sup>th</sup> OpenFOAM Korea User's Community Conference

2019년 9월 26-27일

부산 대학교

## □ 연구 배경

### ○ 실험 및 해석(computer simulation) 결과 분석

#### ▶ 실험 및 해석 연구: 데이터 분석은 데이터 생산만큼 중요한 작업

- 실험 및 해석에 피드백, 데이터의 활용 (설계, 문제점 해결 등)

#### ▶ 해석 결과 분석

- x-y plot: time-history를 이용한 특정 지점에서의 시간에 따른 변화를 분석, line-plot을 이용한 profile 분석
- surface plot: 벽면 등 다양한 표면에서의 계산값 분포 분석
- 3-D volume plot: 3차원 데이터를 이용한 iso-surface, particle-trajectory 등 분석

#### ▶ 실험 결과 분석

- x-y plot, spectral plot: 실험 결과 분석의 가장 일반적인 정량적 분석 방법
  - » 물리 현상의 전반적인 거동을 분석하고 이해하는 데는 한계
- surface plot, 3-D volume plot 등의 필요성
  - » 3차원 거동에 대한 관심의 증가에 따른 많은 지점에서 동시 측정 데이터 생산
  - » 3차원 실험 데이터에 대한 분석 기술 요구

## □ 연구 필요성 방법

### ○ 실험 결과의 3차원 분석

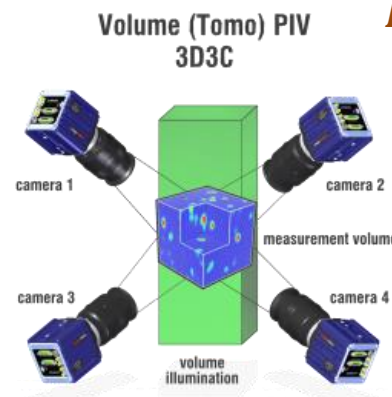
- ▶ 실험 및 해석 연구: 데이터 분석은 데이터 생산만큼 중요한 작업
  - 실험 및 해석에 피드백, 데이터의 활용 (설계, 문제점 해결 등)

### ○ 실험 데이터 3차원 분석의 필요성

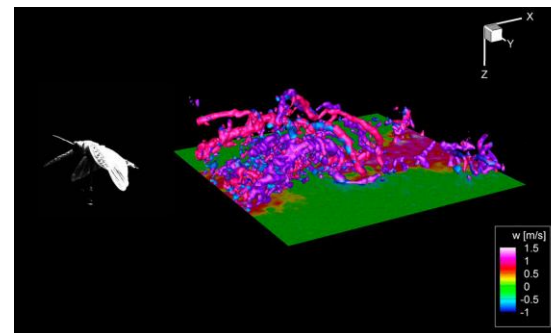
- ▶ 실험 현상에 대한 이해도 증진
- ▶ 현상의 3차원 거동 분석
- ▶ 실험의 국소 데이터 오류 파악
- ▶ 실험 데이터 상관관계 효율적 분석

### ○ 3차원 가시화 실험

- ▶ 3-D PIV 등



*Figs. from lavision.de*



### ○ 다점 측정 데이터의 3차원 가시화

- ▶ 데이터 후처리를 통한 3차원 가시화

## □ 실험 데이터 3차원 가시화

### ○ 기본 개념

▶ 다점 측정 실험 데이터의 3차원 가시화를 위한 데이터 맵핑 활용

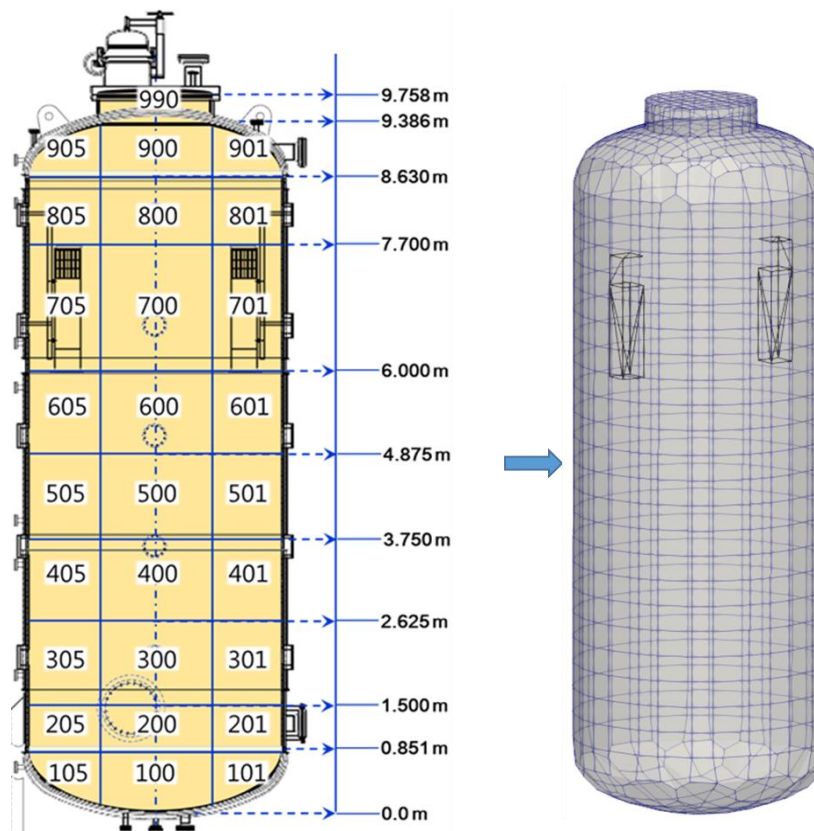
- point data를 field data로 형(format) 변환
- 다점 실험 데이터의 3차원 격자(real 3-D mesh)로의 맵핑

## □ 개발 방법

○ 실험 데이터 관리(형식 변환)를 위한 파이썬 프로그램 활용

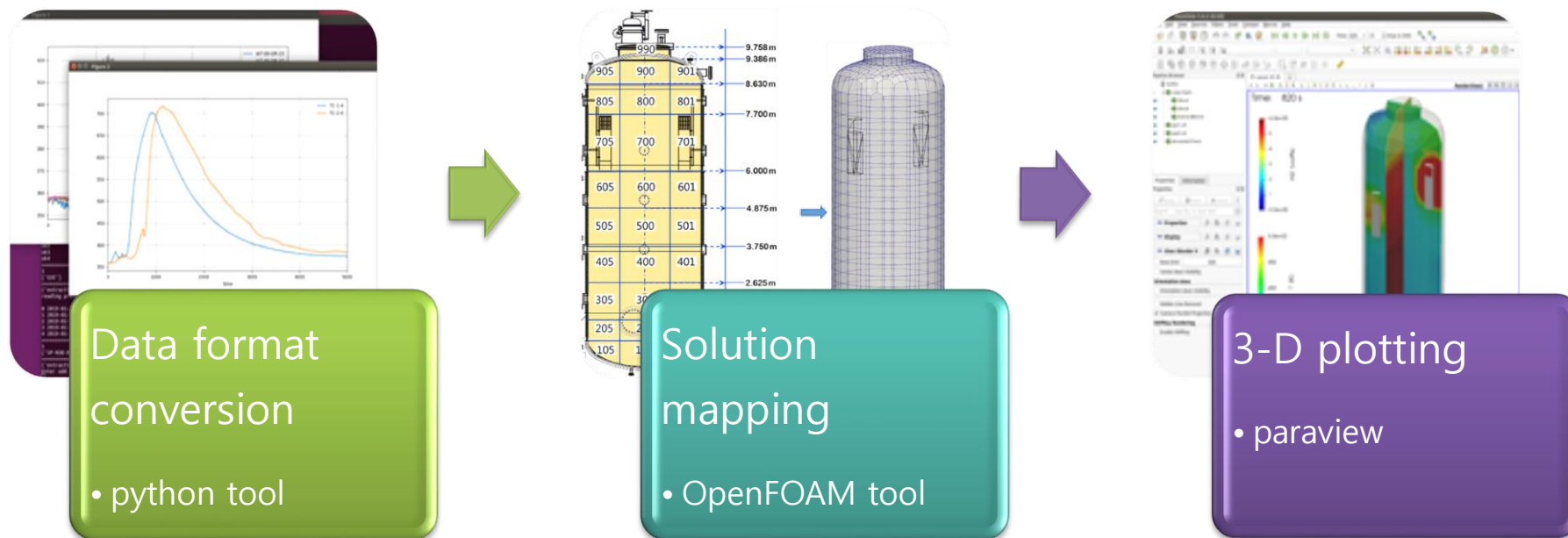
○ 3차원 격자 생성 및 데이터 맵핑을 위한 오픈폼 라이브러리 활용

*Data  
mapping  
to 3-D  
mesh*



# 실험 데이터 3차원 가시화 도구 개발

## □ 실험 데이터 3차원 가시화 절차 및 도구



### ○ 가시화 데이터 추출

- ▶ DAS (data acquisition system)에 의해 저장된 실험 데이터에서 가시화 데이터 추출
- ▶ 파이썬 프로그램 expDataConverter.py를 이용한 데이터 추출 및 변환 자동화

### ○ 데이터 맵핑

- ▶ 추출된 데이터의 가시화를 위한 격자생성 및 맵핑
- ▶ 오픈폼 라이브러리 기반 맵핑 도구 probeToMesh 이용 오픈폼 형식의 가시화 데이터

### ○ 3차원 가시화

- ▶ paraview를 이용한 데이터 가시화 및 plotting

## □ 파이썬을 이용한 가시화 데이터 추출

### ○ 실험 데이터 후처리

#### ▶ 데이터 형식 변경 (format conversion)

- labView 등 DAS 프로그램에서 저장한 excel/csv 데이터의 형식 변경

#### ▶ 원시 데이터 (raw data) 프로세싱

- point-processing: 단위 변경, EOS 계산 등 point-calculation 수행
- field-processing: area-averaging, volume-averaging 등은 3차원 맵핑후 paraview 혹은 오픈폼 유틸리티를 활용할 수 있다.

### ○ 파이썬 데이터 후처리

#### ▶ 엑셀과 visual-basic을 이용한 방식

- 기본 template을 구성후 반복 활용이 가능
- big-data, 복잡한 수식, 외부 DB 연계, 반복계산 등의 경우 불리

#### ▶ 파이썬을 이용한 방식

- 파이썬 수식의 가독성 우수
- big-data, 복잡한 수식, 외부 DB 연계, 반복계산 등의 경우 유리

## □ 데이터 맵핑

- 다점 측정 (multi-point probing) 방식에 의해 얻어진 실험 데이터를 실제 형상의 3차원 영역으로 mapping하는 과정
- 맵핑된 데이터는 3차원 데이터와 같이 가시화 및 또다른 후처리가 가능

## □ 오픈폼을 활용한 데이터 맵핑 도구 개발

### ○ 도구 개발 방법

- ▶▶ 상용 데이터 처리 소프트웨어 활용
- ▶▶ in-house (독자) 코드 개발
- ▶▶ 오픈-소스 오픈폼 라이브러리 기반 (오픈폼 데이터 포맷 사용)
  - paraview reader에 적합

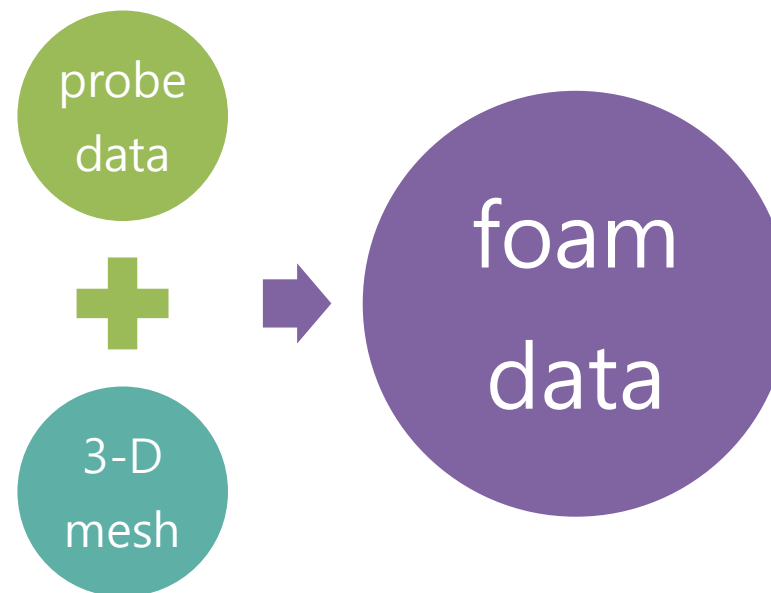
### ○ 오픈폼 기반 맵핑 도구의 장점

- ▶▶ 실험 데이터의 3차원 맵핑 후 기존 오픈폼 유틸리티를 활용하여 2차 후처리가 가능
  - field conversion/manipulation
  - data transfer to initialize a new simulation
  - sectional area averaging
  - volume averaging

## □ 오픈폼 기반 데이터 맵핑 도구

### ○ probeToMesh

▶▶ 파이썬 도구에서 추출된 데이터를 3차원 격자에 맵핑



*Input file  
for the  
mapping  
program*

```
wrinteInterval 20;  
startTime 0; //7200;  
endTime 5000;  
fields (T H2);  
  
H2  
{  
  dataFile "constant/xH2.dat";  
  #include "H2ProbeLocations"  
}  
  
T  
{  
  dataFile "constant/temp.dat";  
  #include "TProbeLocations"  
}
```

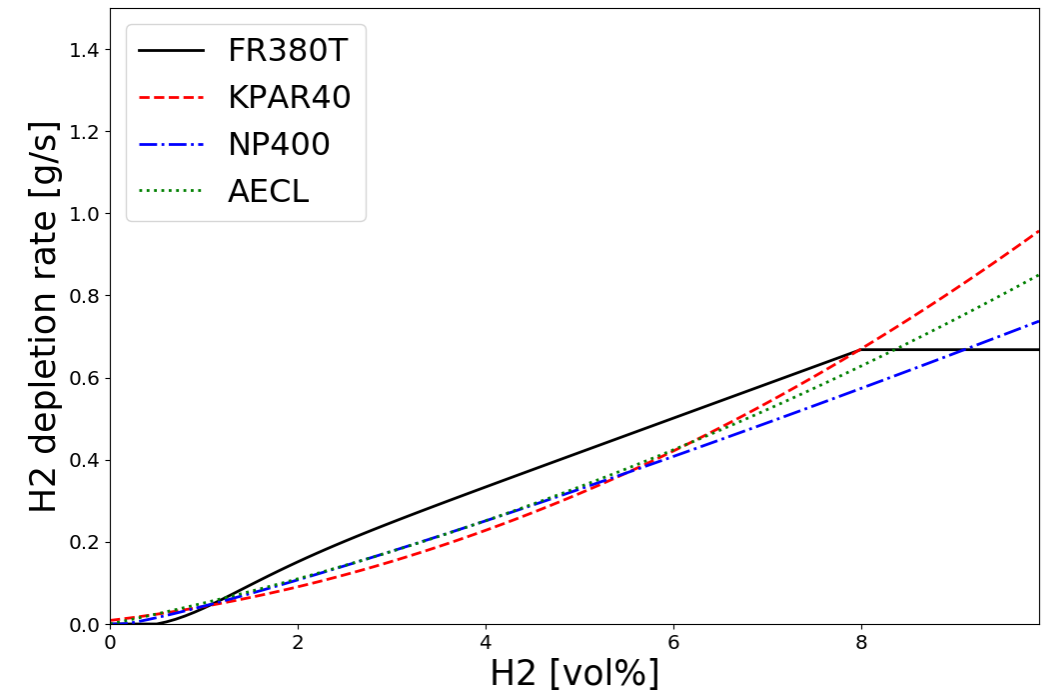
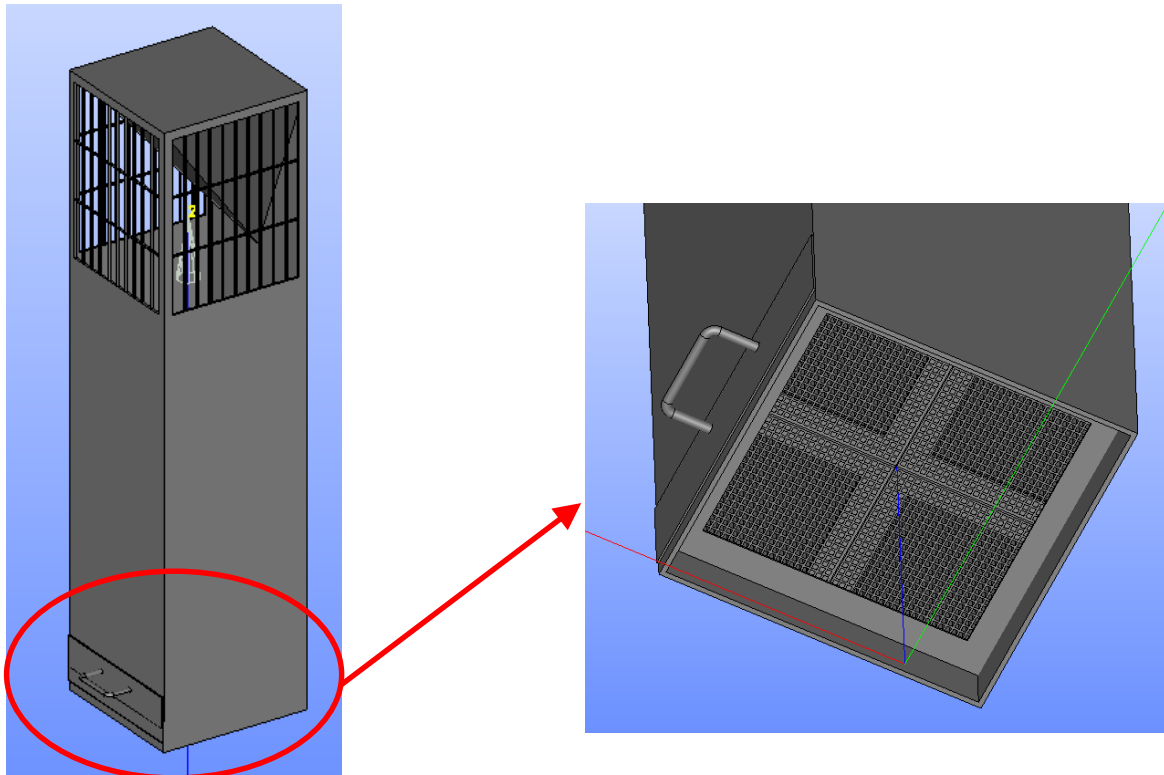
- 4940
- 4960
- 4980
- 5000
- constant
- system
- case.foam
- temp.pvsm
- temp2.pvsm
- temp-H2.pvsm

*Mapped  
foam  
data*

## □ SPARC-PAR (SP) 실험

### ○ PAR (passive autocatalytic recombiner, 촉매수소재결합기):

- ▶ 대표적 수소제거 장치로 백금/팔라듐 촉매판을 이용하여 수소/산소의 화학반응을 유도 수소를 제거하는 장치
- ▶ 구성
  - 촉매체 카트리지, 보호 챔버



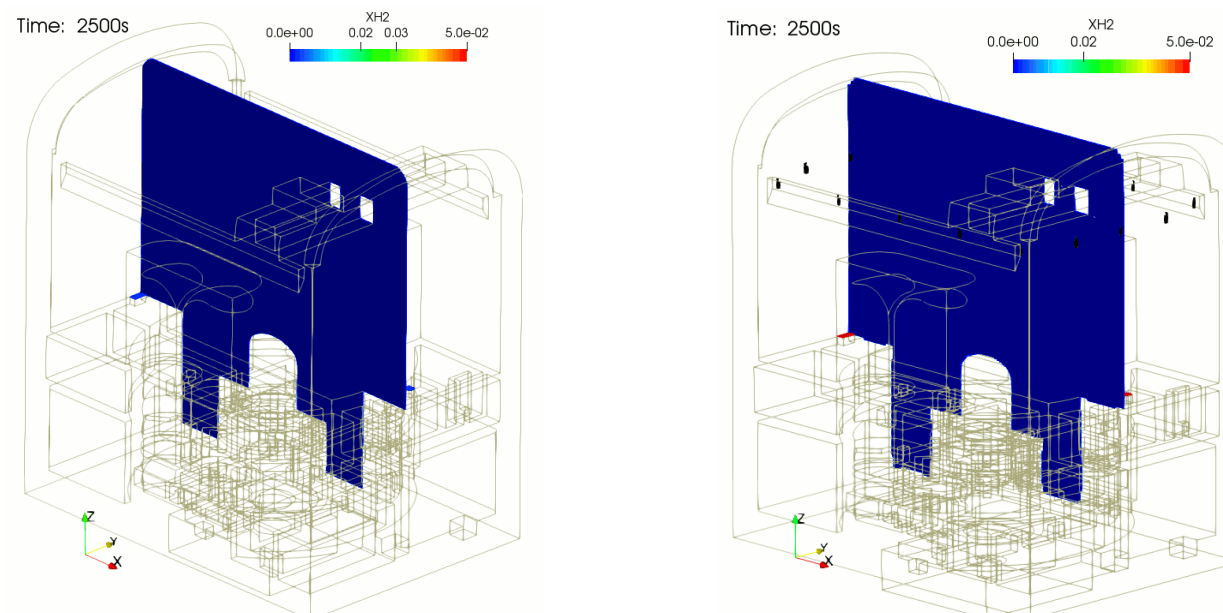
### ○ SPARC-PAR 실험

- ▶ PAR의 작동에 의한 수소의 성층화 현상 실험적 모의

## □ SPARC-PAR (SP) 실험 및 배경

### ○ PAR에 의한 수소 성층화 (PAR-induced hydrogen stratification)

- ▶ 격실에 수소가 방출되면 부력에 의해 격실 상부로 이동
  - PAR의 설치 위치는 주로 격실 상부에 위치
- ▶ PAR는 수소와 산소의 촉매반응에 의해 열이 발생
  - PAR에서 방출되는 고온의 배기가스에 의해 수소 혼합기체가 상부로 올라가지 못하고 격실 하부에 쌓일 수 있음
- ▶ PAR에 의한 수소 성층화 현상에 대한 실험적 모의 (experimental simulation)
  - PAR에 의한 수소 성층화 특성의 정성적 평가
  - 해석 코드의 검증 데이터 생산



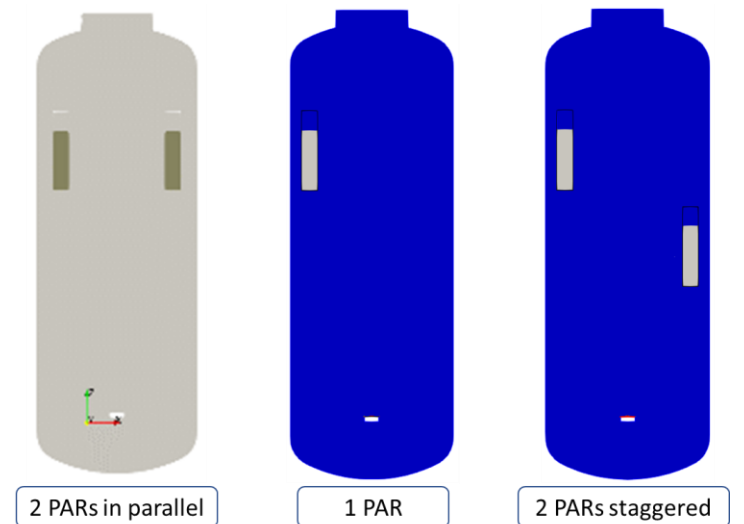
*Simulation of a PAR-induced hydrogen stratification in a containment*

# Visualization of SP test Data

## □ SPARC-PAR (SP) experiment

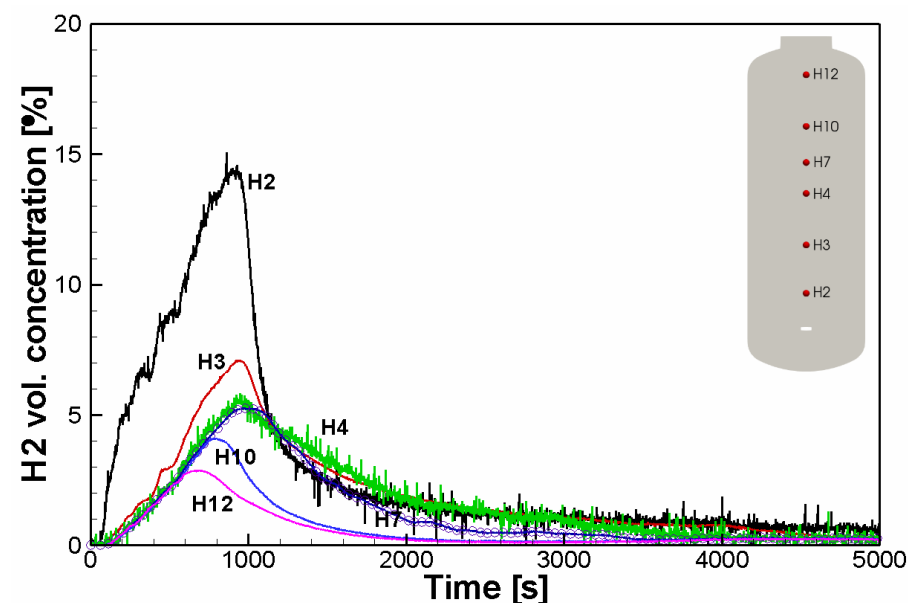
### ○ PAR-induced hydrogen stratification:

SPARC-PAR	PAR installation	Condition
SP1	2 PARs in parallel	$\dot{m}_{h2} = 0.6g/s, 600\text{ s}$
SP2	2 PARs in parallel	$\dot{m}_{h2} = 0.35g/s, 850\text{ s}$
SP3	1 PAR	$\dot{m}_{h2} = 0.4g/s, 1000\text{ s}$
SP4	2 PARs staggered	$\dot{m}_{h2} = 0.42g/s, 1100\text{ s}$
SP5	2 PARs staggered	$\dot{m}_{h2} = 0.4g/s, 1100\text{ s}$
SP6	2 PARs staggered	$\dot{m}_{h2} = 0.37g/s, 1000\text{ s}$
SP7	2 PARs staggered	$\dot{m}_{h2} = 0.4g/s, 1000\text{ s}$

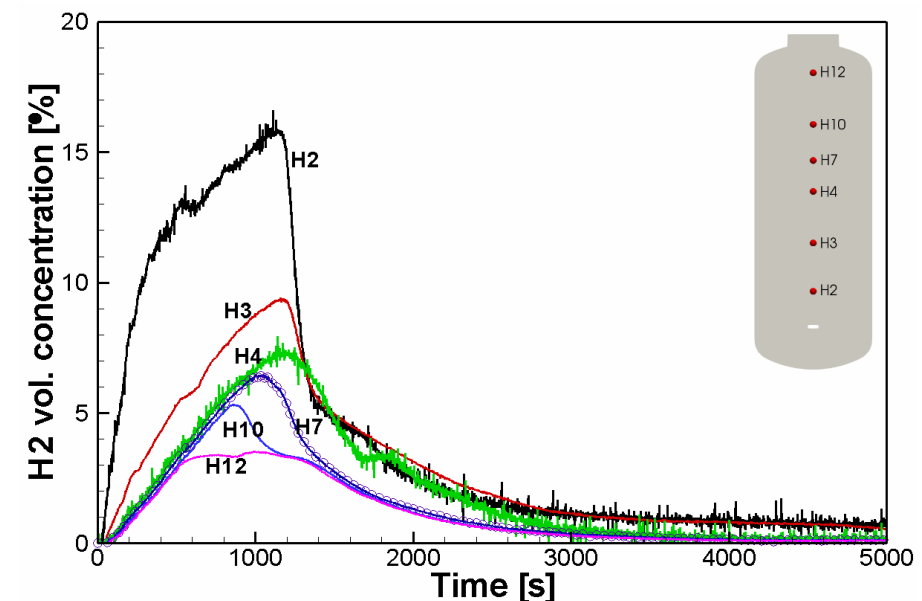


### ○ plot of time-histories to show distribution of hydrogen concentration at measuring points along a vertical center line

*SP2 test*

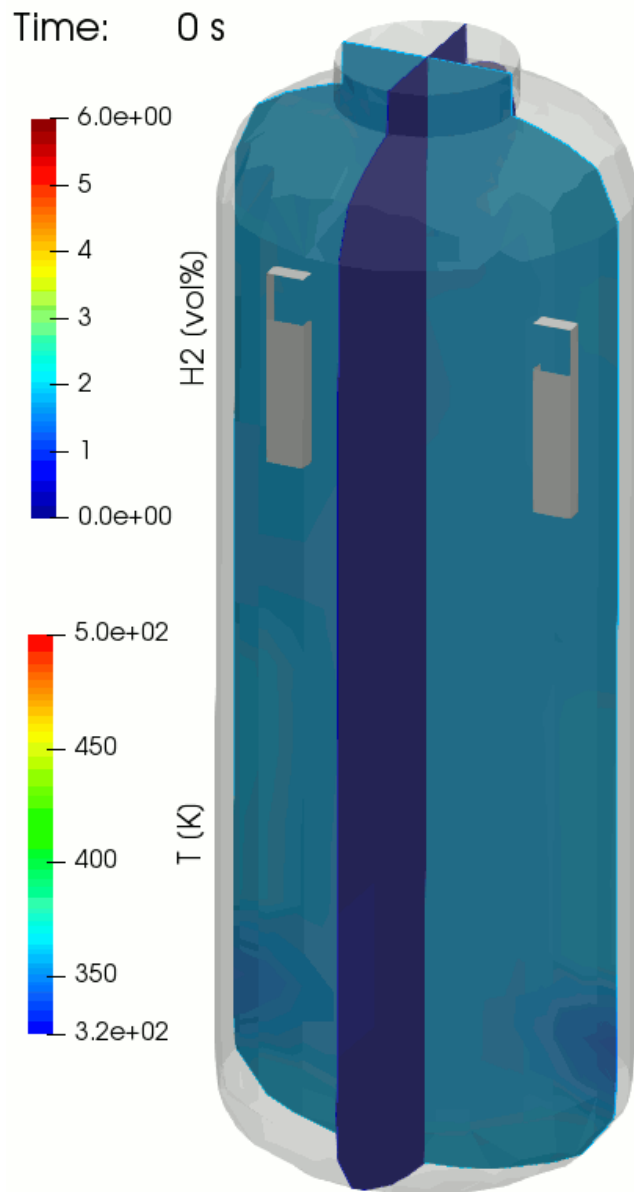


*SP4 test*

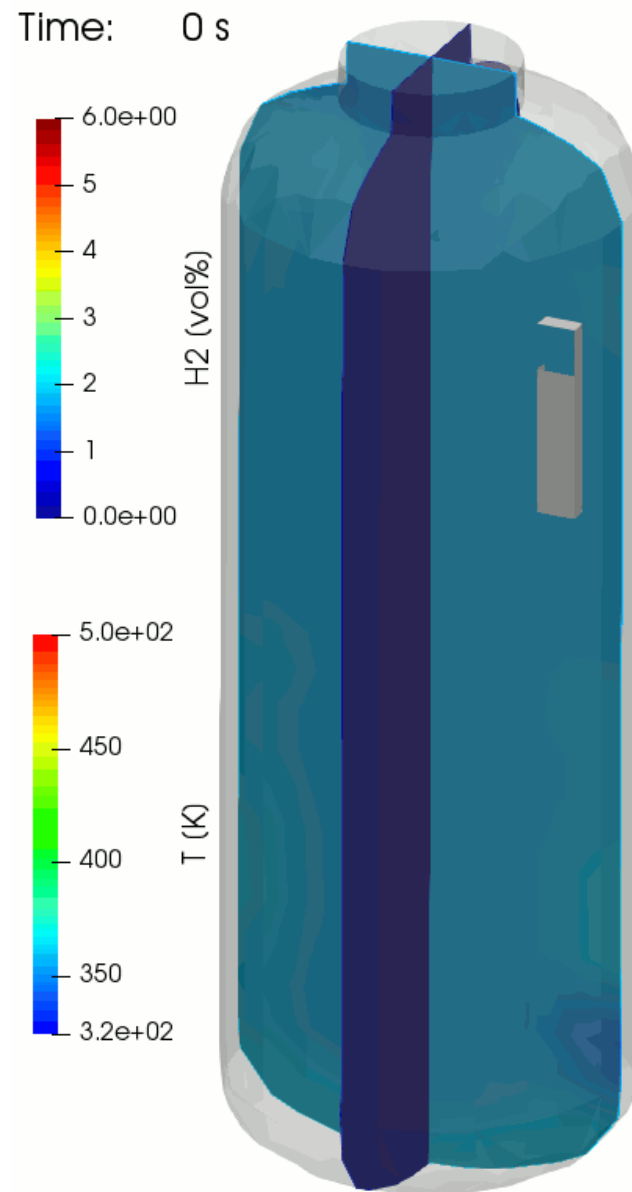


# SPARC-PAR 실험 데이터 3차원 가시화

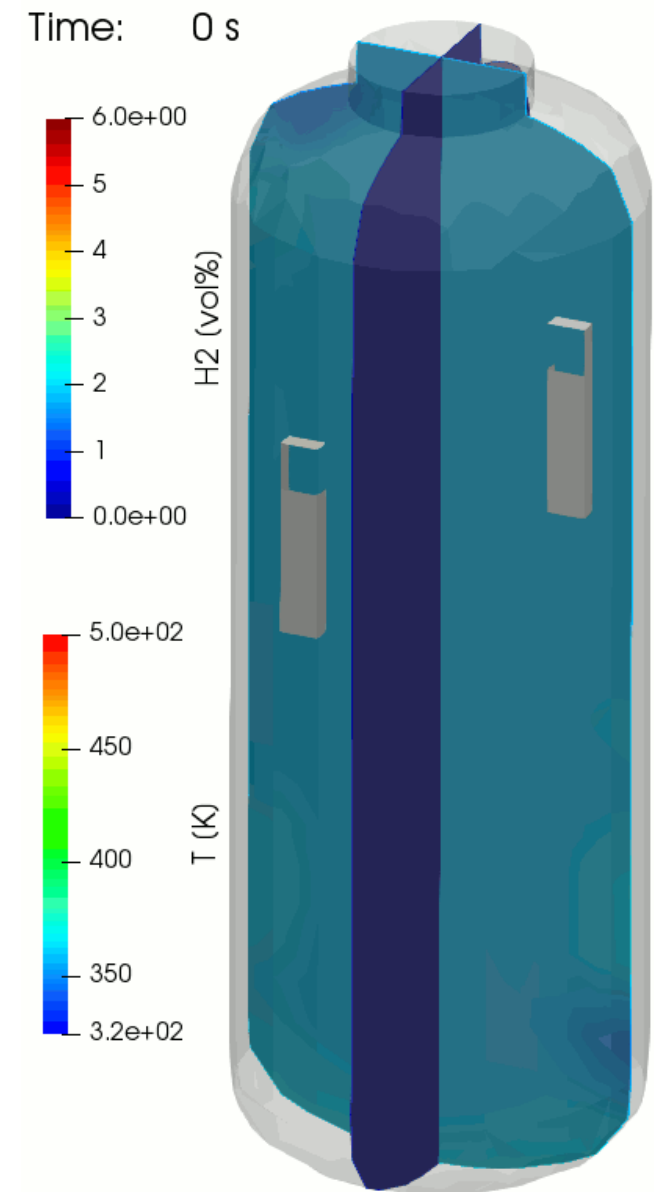
SP1 test



SP3 test



SP5 test



## □ 요약

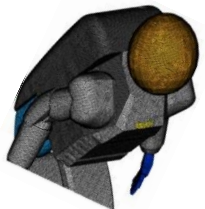
### ○ 실험 데이터 3차원 가시화 기술

- ▶ 실험 데이터로부터 시스템 전반적인 열수력 특성을 분석하고 이해하는데 도움이 될 수 있도록 데이터의 3차원 가시화 도구를 개발함
- ▶ SPARC-PAR 실험의 결과를 분석하기 위하여 개발된 도구를 적용
  - PAR에 의한 수소 성층화 현상의 특성을 이해하는데 도움

## □ 향후 연구

### ○ 오픈폼 기반의 실험 데이터 3차원 격자 맵핑 기술의 적용성 확대

- ▶ 시스템 해석 혹은 lumped-parameter 해석과 같은 다수의 체적 기반 해석 결과의 가시화에 활용
- ▶ 오픈폼에 포함된 다양한 후처리(post-processing) 도구를 이용한 데이터 분석



Thank you for your attention