

# 상부/외벽냉각계통 개념설계 MARS 모델링

## KNS 2020 추계학술대회

---



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute

2020-12-16

강석훈, 유용환



# 연구목표 및 내용

---

## ▪ 연구목표

- ✓ 상부냉각계통 MARS 코드 해석, 주요 설계인자 민감도 분석
- ✓ 외벽냉각계통 MARS 코드 해석, 주요 설계인자 민감도 분석

## ▪ 연구내용

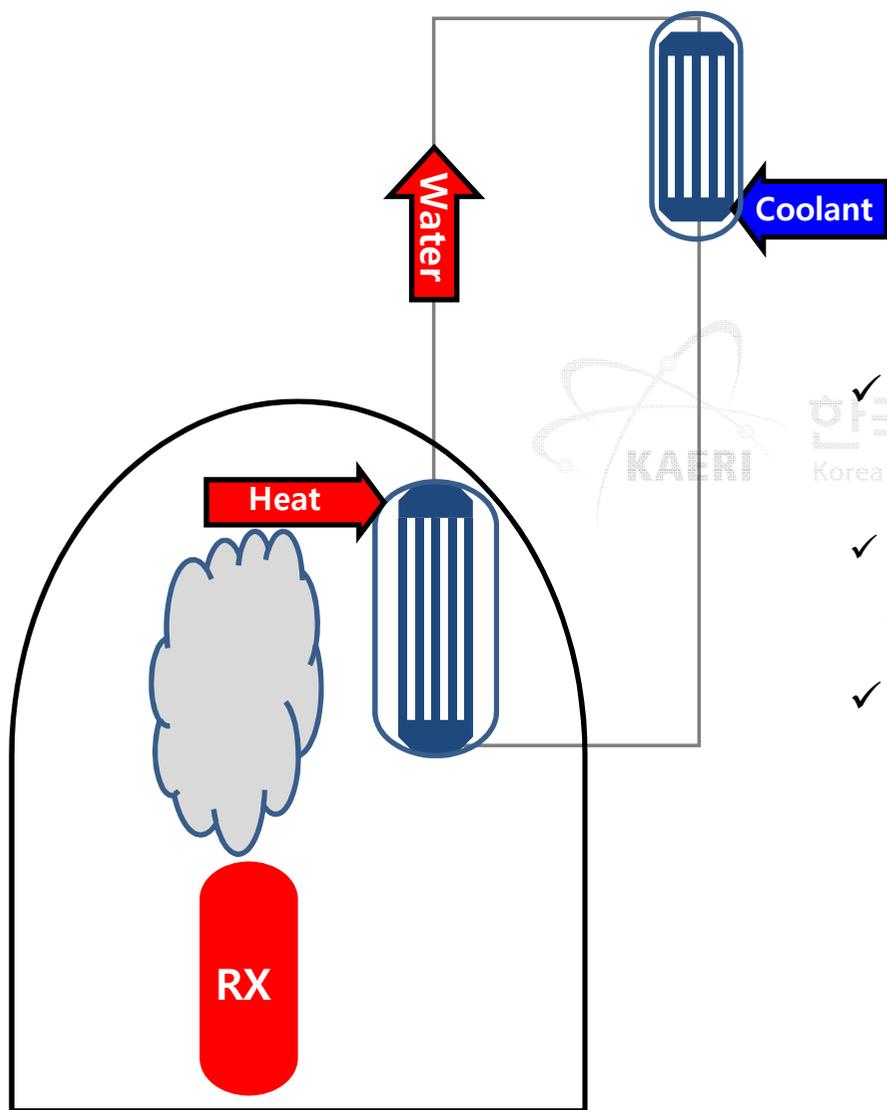
- ✓ 상부, 외벽 자연순환계통 구성 및 개념설계
- ✓ 주요 열교환기 사양 선정, 사이즈 설계
- ✓ MARS 코드 input deck 작성, 해석, 민감도 분석

# 수행내용 요약

---

- ✓ 상부, 외벽 자연순환계통 가능성 검토
- ✓ 계통 레이아웃 설계
  - 열원 조건 가정, 고온 및 저온 열교환기 배치, 컴퍼넌트 연결 배관 구성
- ✓ 계통 개념설계: 열원 온도, 열량 고려 열교환기 형태, 사이즈 설정
- ✓ 주요 열교환기 사양 선정, 사이즈 설계
- ✓ MARS 코드 입력 작성, 해석, 민감도 분석
- ✓ 상세 데이터 부재 고려
  - 학술적 아닌 설계 특성 → 이론, 문헌 조사 대신 계통 개념설계 및 MARS 모델링 우선 수행
  - 열원 크기, 온도, 압력 조건 가정 → 계통 열설계
  - 상세 조건 반영 업데이트 예정 : 외벽 냉각재 풀, 격납용기 크기 및 열유동 조건

# 상부냉각계통 자연순환 계통 구성



✓ 열원

▪ 원자로의 고온 스팀

✓ 메인 루프 (물 자연순환)

▪ 하부 가열 고온, 상부 냉각 저온열교환기 배치

✓ 열교환기 (S&T 타입)

▪ Shell 측: 열원 격납용기 내부 스팀 응축 자연순환

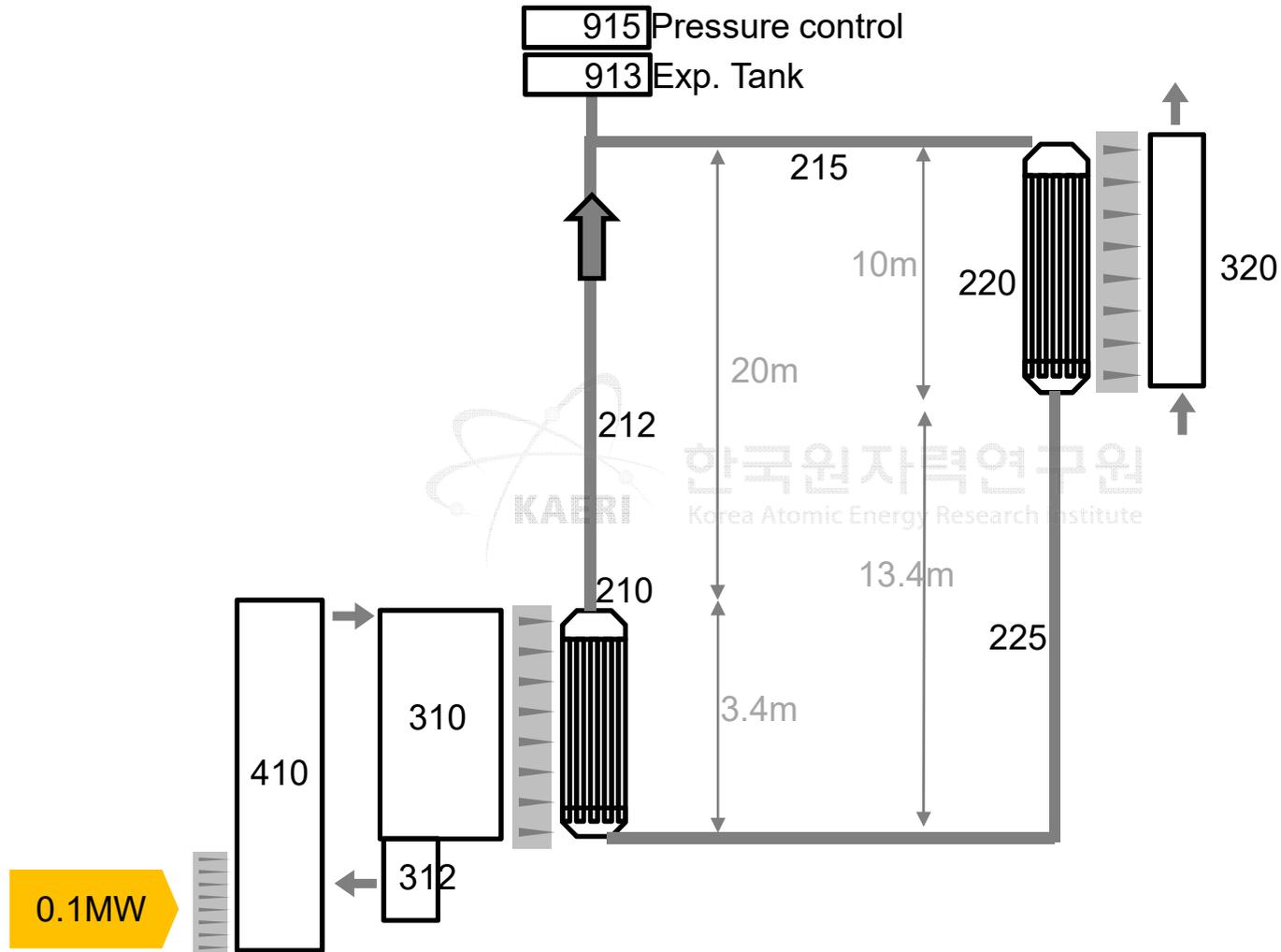
저온 열교환기 냉각수

▪ Tube 측 메인루프 물 자연순환

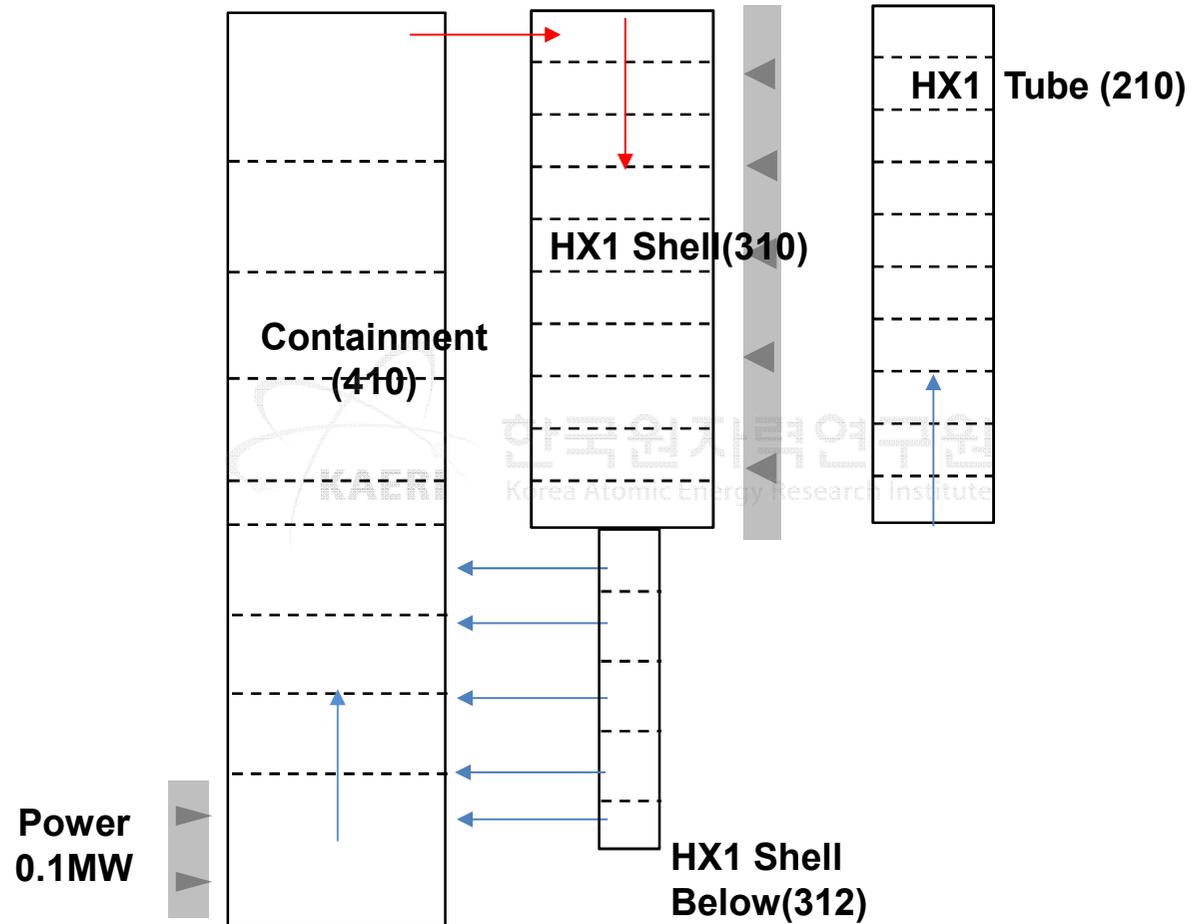
# 상부냉각계통 열교환기 사이즈 설계

	HX1	HX2
Tube Area Tot	0.00173	0.00145
Dh_tube	0.00957	0.00430
R	0.0047867	0.00215
Tube #	24	100
Node #	60	10
L node	0.33	1
L total	19.800	10.000
Slope (Deg)	9.9	90
H node (m)	0.0567366	1.0
H total (m)	3.40420	10.0
P/D	2.50	1.50
Area 1ea	0.00007198	0.00001450
Shell Area Tot	0.010178	0.002148
Dh_shell	0.05640	0.00636
H node	0.05674	1.00

# 상부냉각계통 MARS 코드 입력 작성



# 고온열교환기 격자



# 민감도 분석 계산결과

## 높이에 따른 온도 및 유량

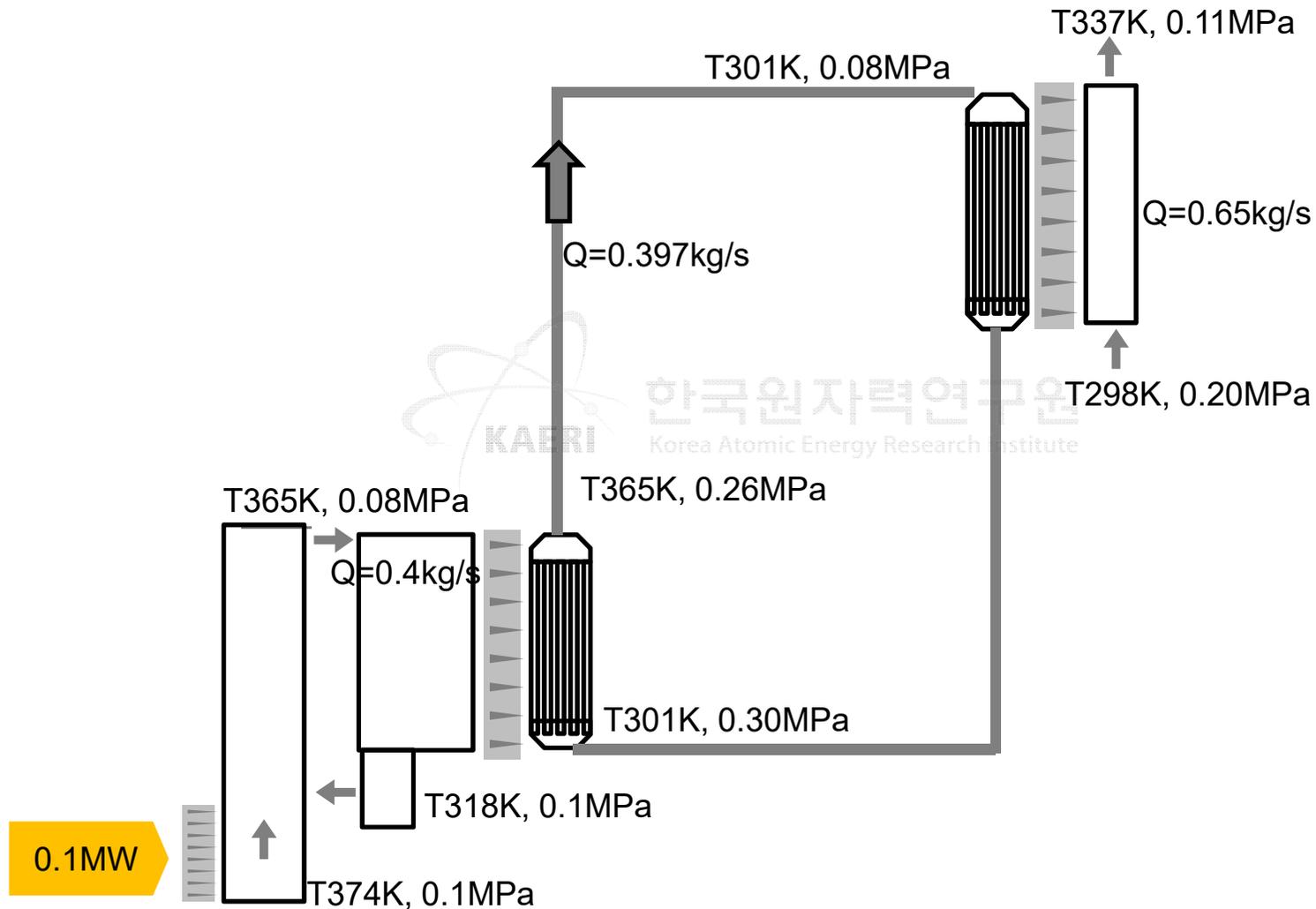


## 높이에 따른 HX1 입출구 온도

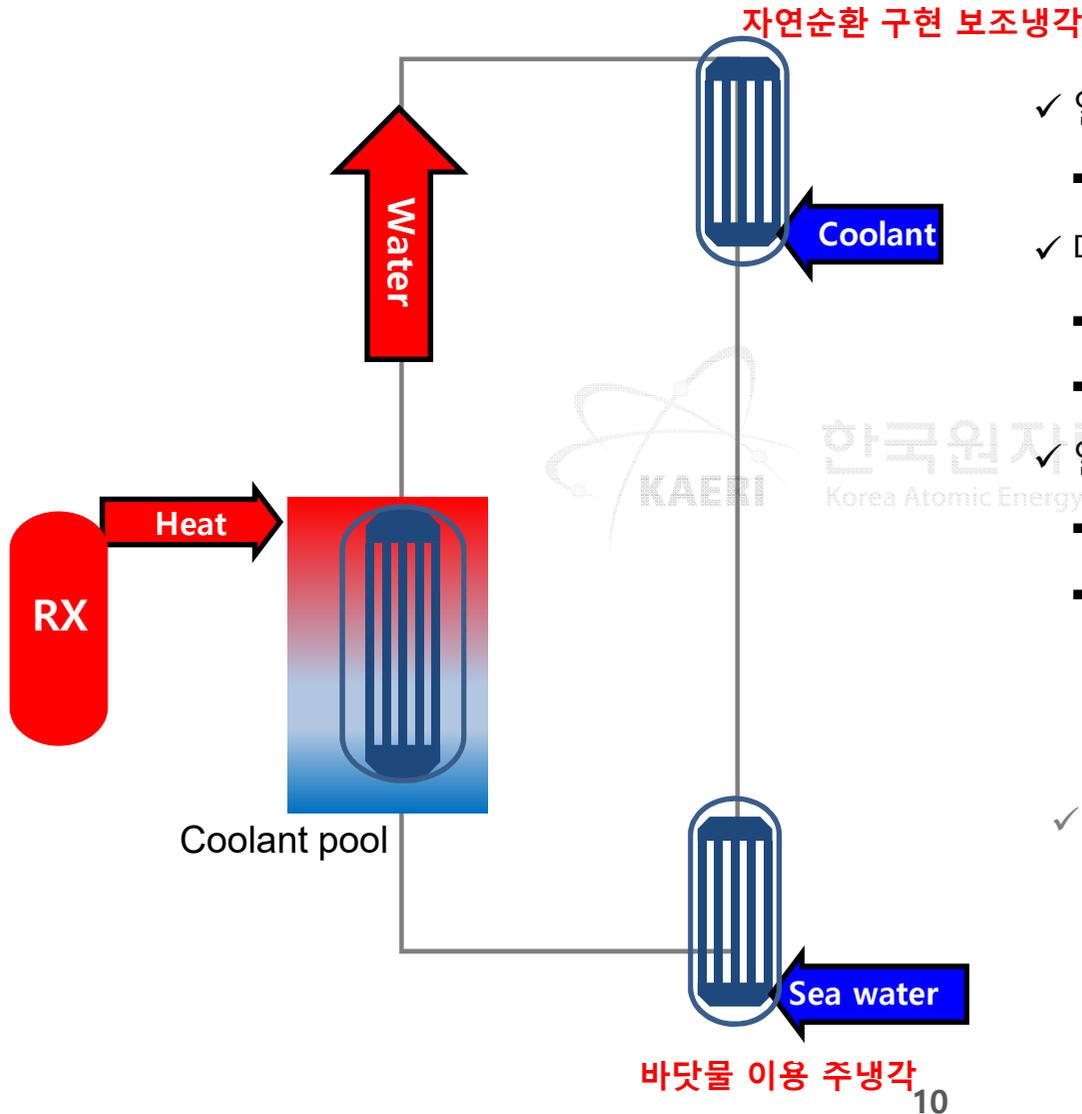


- ✓ 배관 길이에 비례 고온열교환기 입구와 출구 사이의 온도는 감소, 반면 유량은 증가
- ✓ 약 높이가 약 19m 지점에서 두 선이 교차
- ✓ 배관 길이에 비례 고온열교환기 출구 온도는 감소, 반면 저온열교환기 온도 증가

# 최적 사이즈 성능해석 결과



# 외벽냉각계통 자연순환 계통 구성

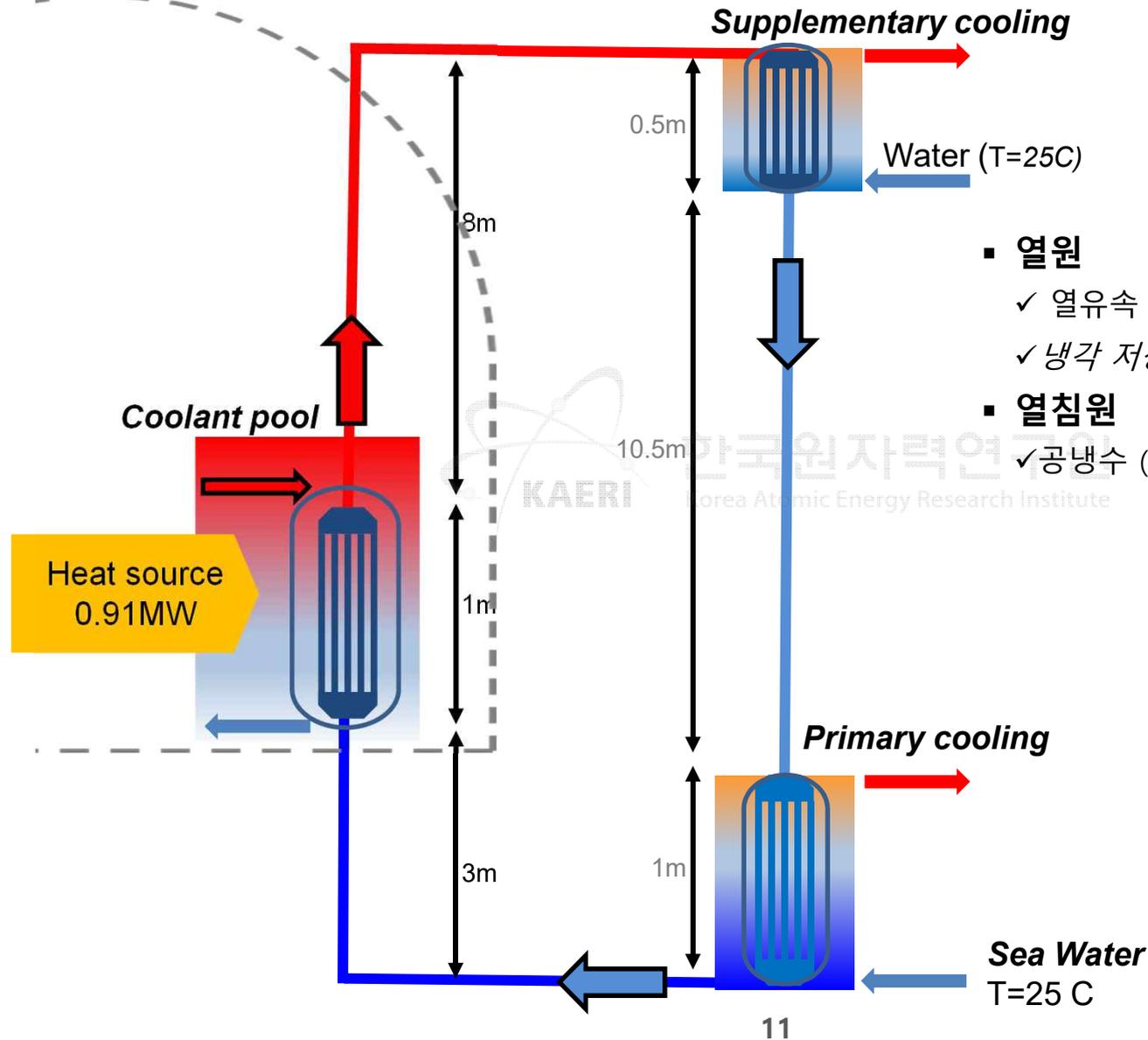


- ✓ 열원
  - 원자로 고온 냉각수 → 외벽 냉각수저장조 주입
- ✓ 메인 루프 (물 자연순환)
  - 하부 가열 고온, 상부 냉각 저온 열교환기 배치
  - 하부 주냉각 저온 열교환기
- ✓ 열교환기 (S&T 타입)
  - Shell 측: 열원, 냉각원 자연순환 구동
  - Tube 측: Main loop 물 자연순환

$$Gr = \frac{\rho g \beta (T_s - T_o) L^3}{\mu^2} > 10^{12} \sim 10^9$$

- |                                  |                                  |
|----------------------------------|----------------------------------|
| ✓ Water at 100 °C                | ✓ Steam at 100 °C                |
| ▪ $\rho=958 \text{ kg/m}^3$      | ▪ $\rho=0.6 \text{ kg/m}^3$      |
| ▪ $\beta=0.000750 \text{ /K}$    | ▪ $\beta=0.000750 \text{ /K}$    |
| ▪ $\mu=0.000279 \text{ N-s/m}^2$ | ▪ $\mu=0.000012 \text{ N-s/m}^2$ |

# 외벽냉각계통 개념설계



- 열원
  - ✓ 열유속 0.91MW 외벽냉각풀 가열
  - ✓ 냉각 저장조 *사이즈 / 2X2X2.5m*
- 열침원
  - ✓ 공냉수 (T=25C), 바닷물 (T=25C)

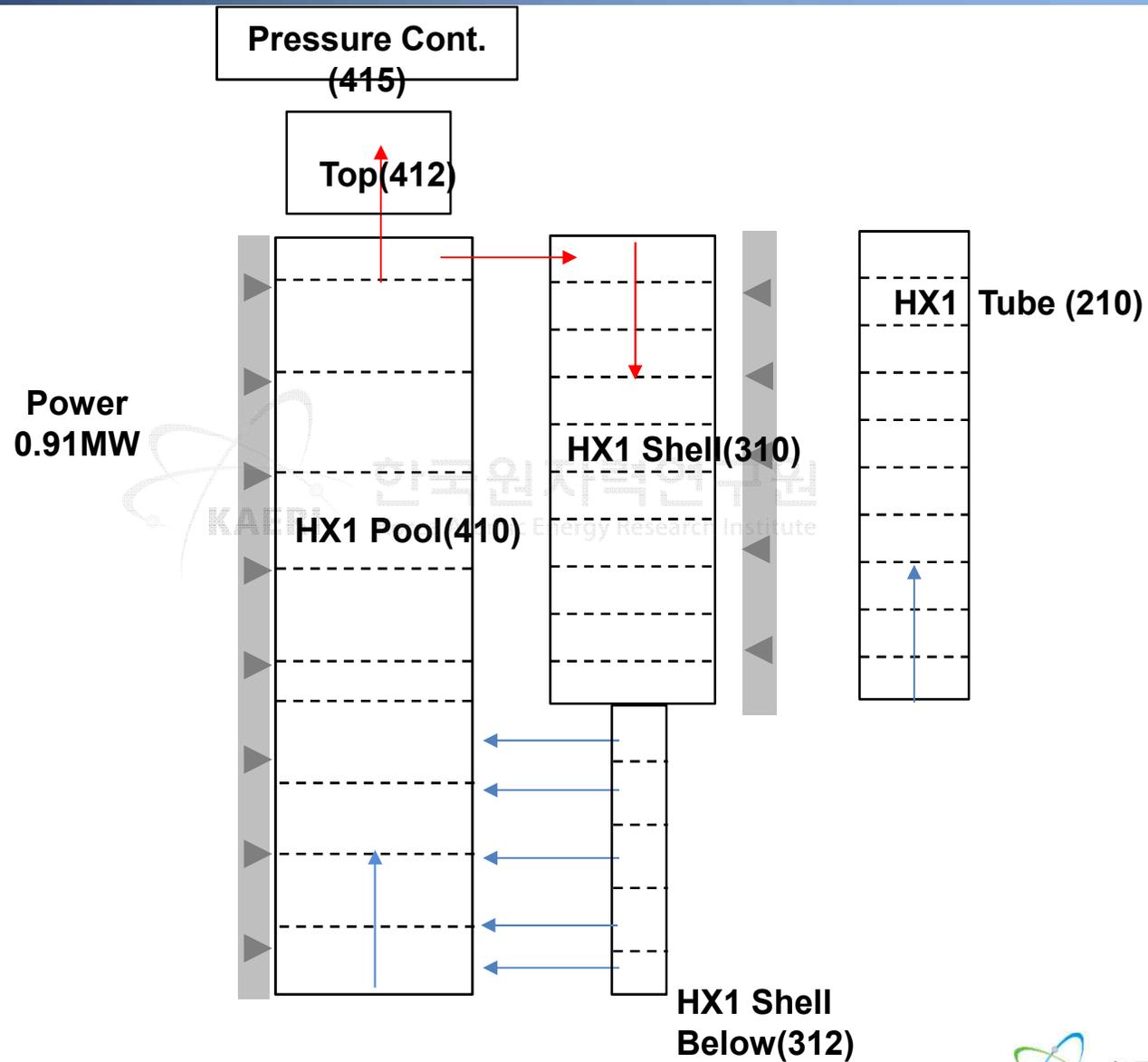
KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

# 외벽냉각계통 열교환기 사이즈 설계

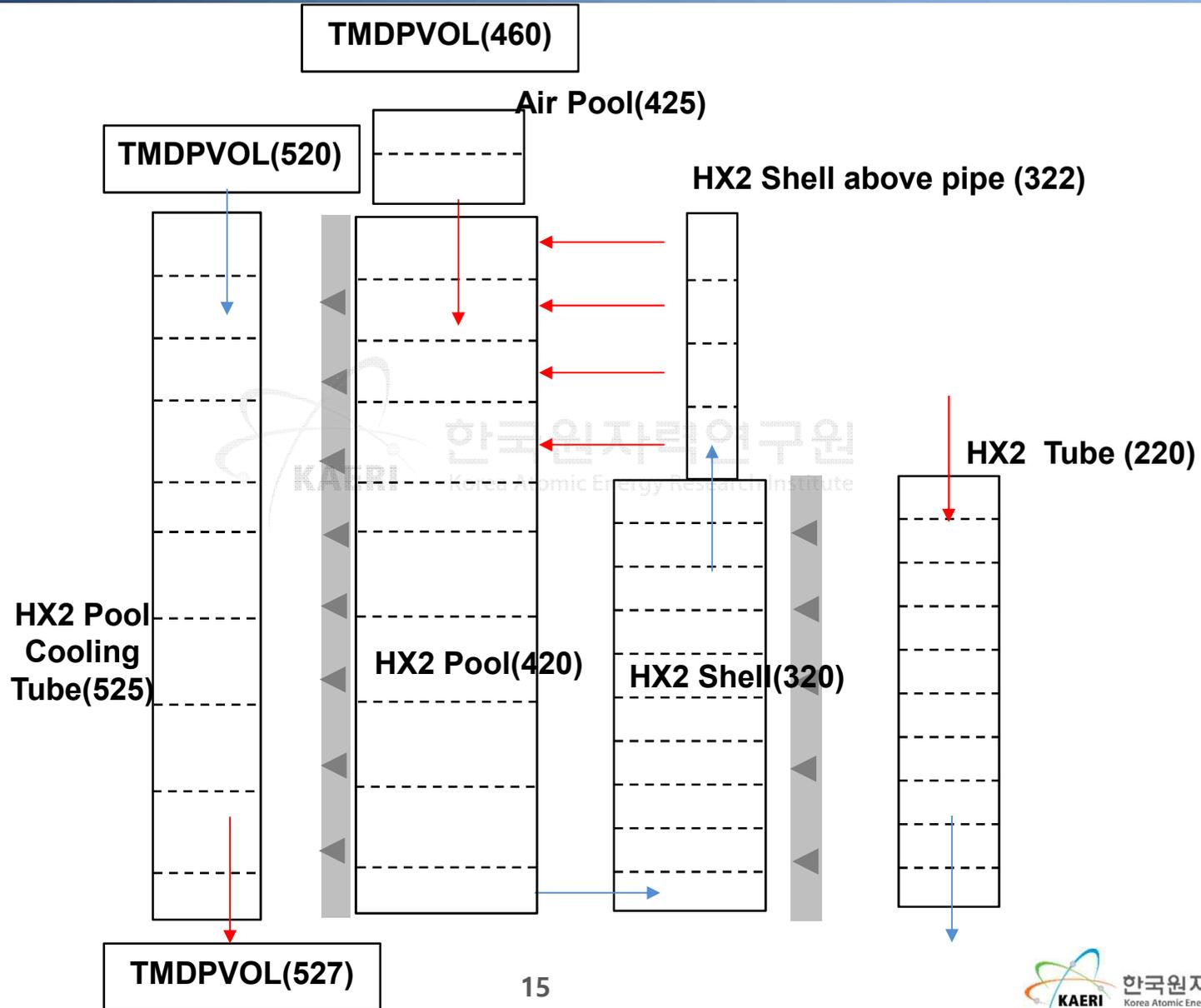
	HX1	HX2	HX3
Tube Area Tot	0.31416	0.00707	0.78540
Dh_tube	0.020	0.030	0.010
R	0.01	0.015	0.005
Tube #	1000	10	10000
Node #	10	10	10
L node	0.1	0.1	0.1
L total	1.0	1.0	1.0
Slope (Deg)	90	90	90
H node (m)	0.10	0.10	0.10
H total (m)	1.0	1.0	1.0
P/D	1.50	1.50	2.50
Area 1ea	0.000314	0.000707	0.000079
Shell Area Tot	0.4653	0.0105	4.6273
Dh_shell	0.030	0.044	0.059
H node	0.10	0.10	0.10



# 고온열교환기 격자

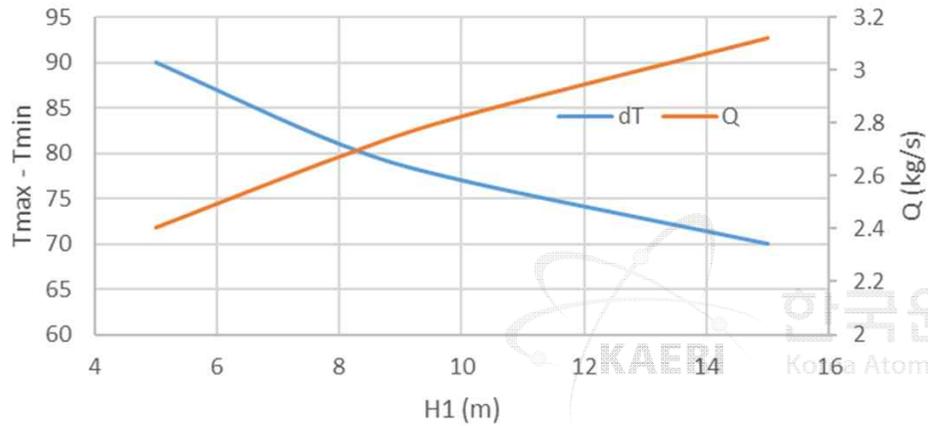


# 상부 저온열교환기 격자

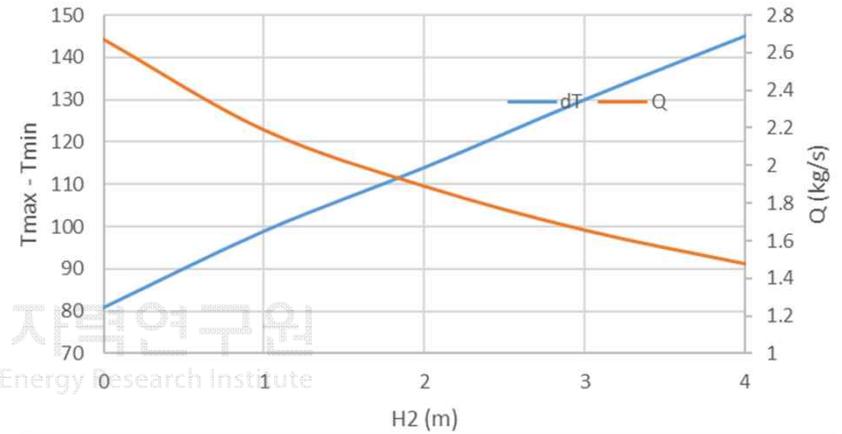


# 민감도 분석 계산결과

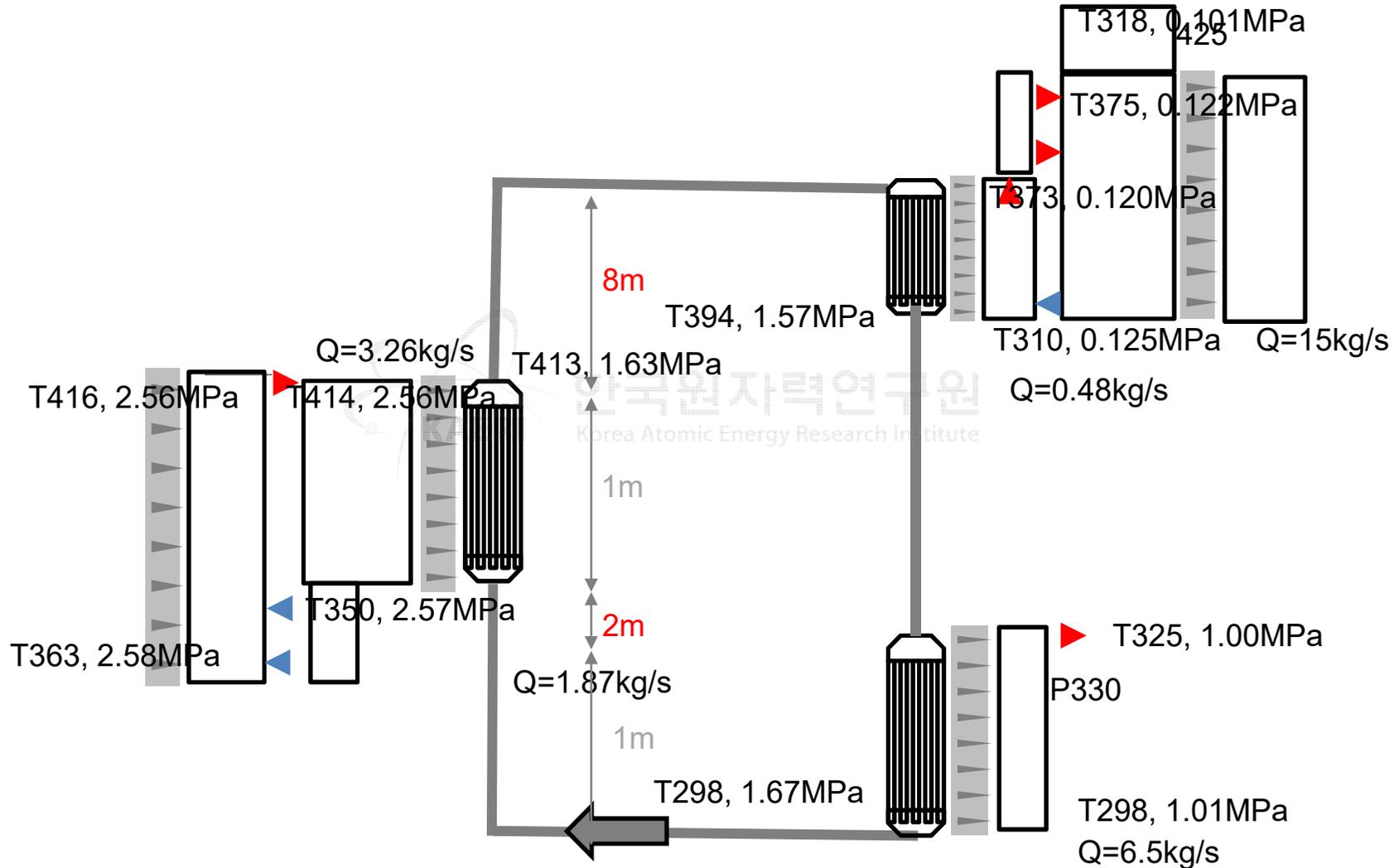
## H1 변화에 따른 온도 및 유량



## H2 변화에 따른 온도 및 유량

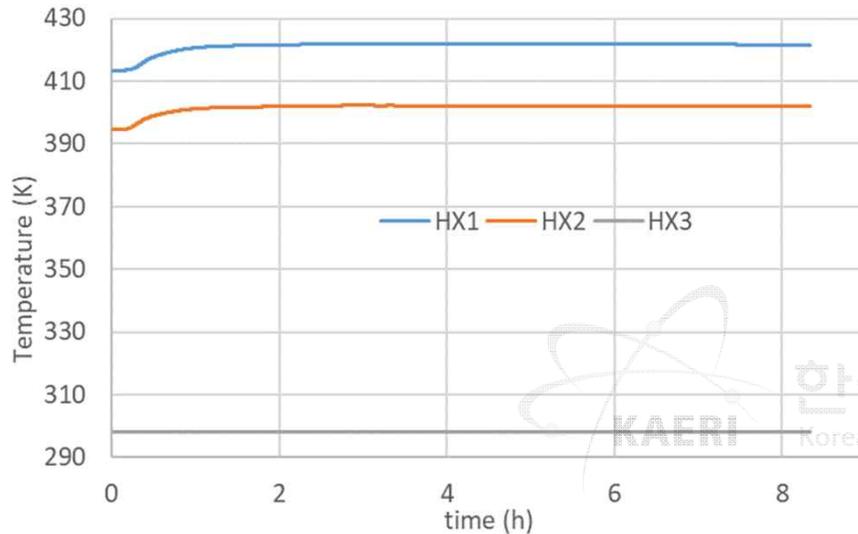


# 최적 사이즈 정상상태 성능해석 결과

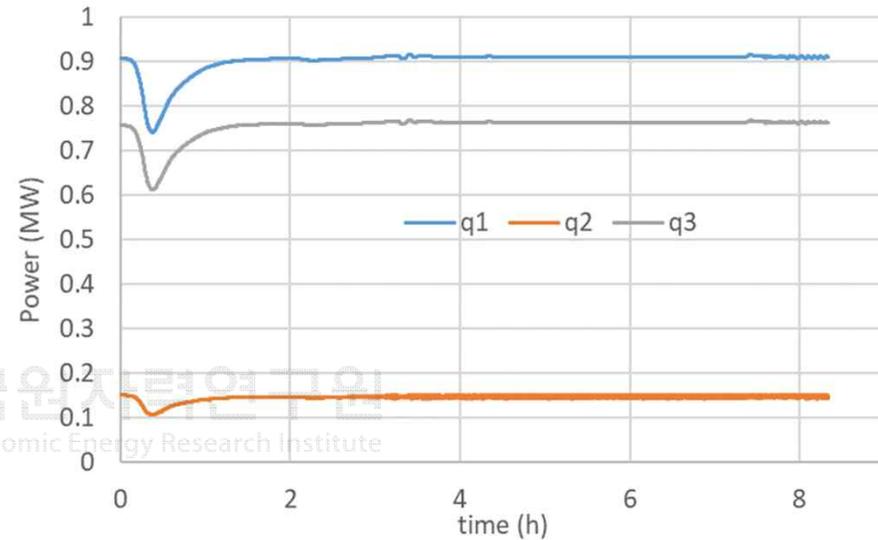


# 최적 사이즈 적용 과도상태 계산결과

## HX1, HX2, HX3 튜부 출측 온도



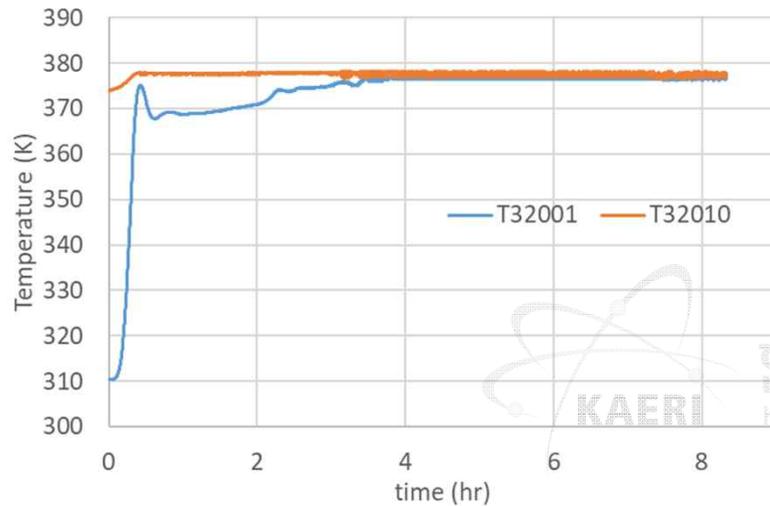
## HX1, HX2, HX3의 열출력



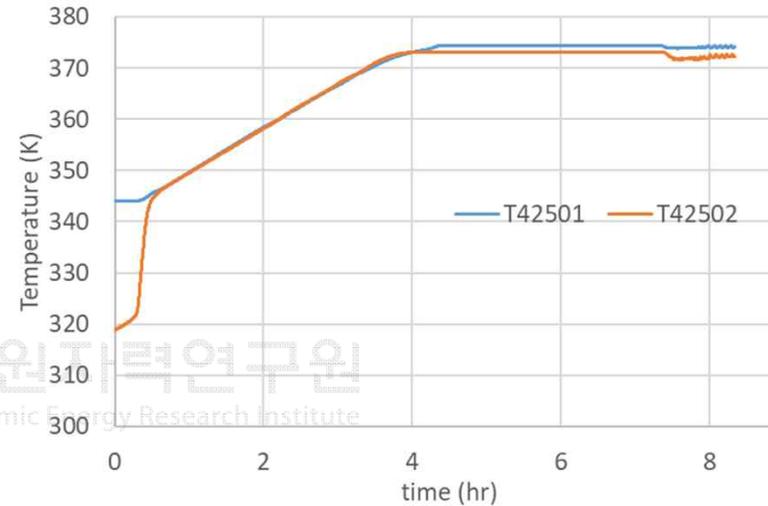
- ✓ 상부냉각탱크 냉각능력 감소로 인해 과도 시작 후 HX1, HX2 열교환기 후단 온도 상승
- ✓ 열출력 급격히 하락 후 정상 값 회복
- ✓ 열출력 회복은 하부 저온열교환기 열출력 증가 및 상부열교환기 열출력 회복에 기인
- ✓ HX2 열출력 회복값은 정상 값 대비 작고, 이를 HX3 열출력 증가가 만회

# 최적 사이즈 적용 과도상태 결과

## 상부열교환기 쉘측 온도



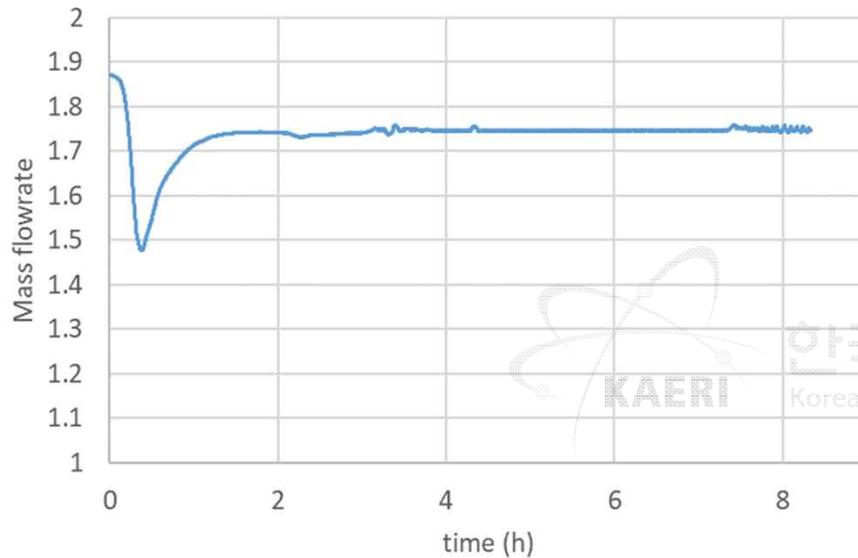
## 상부냉각탱크 최 상단 온도



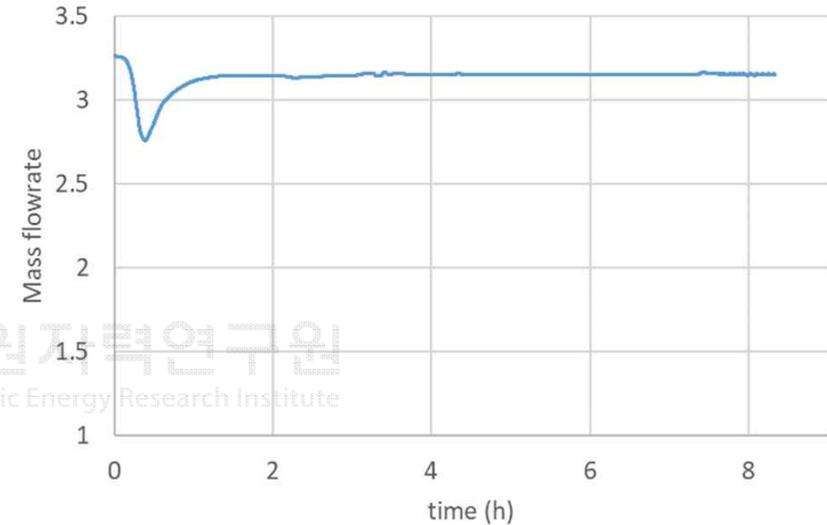
- ✓ 상부냉각탱크 냉각 불과로 인해 과도 시작과 동시에 온도 상승, 약 4시간 후 비등
- ✓ 열교환기 쉘 입구 온도 급격히 상승하여 약 30분 후 비등

# 최적 사이즈 적용 과도상태 계산결과

## 메인 루프 유량



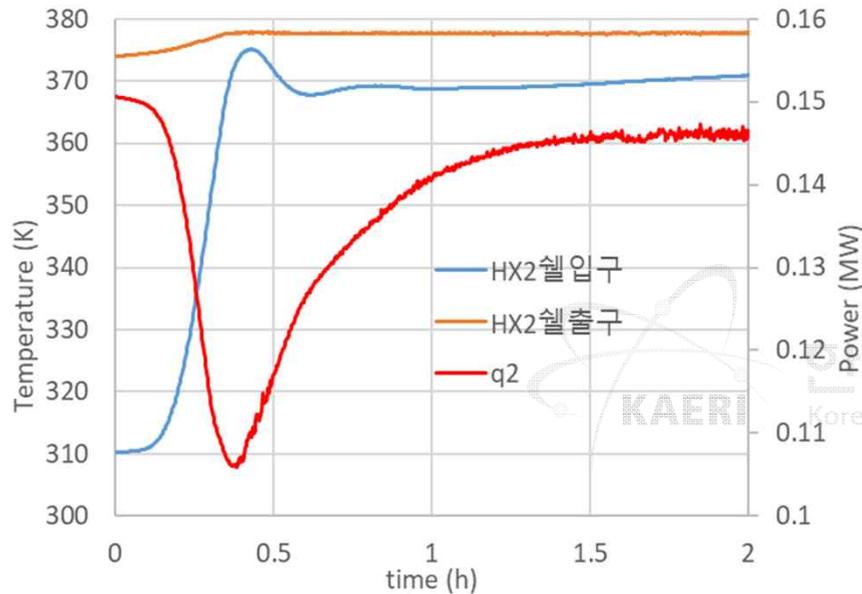
## 고온열교환기 쉘측 유량



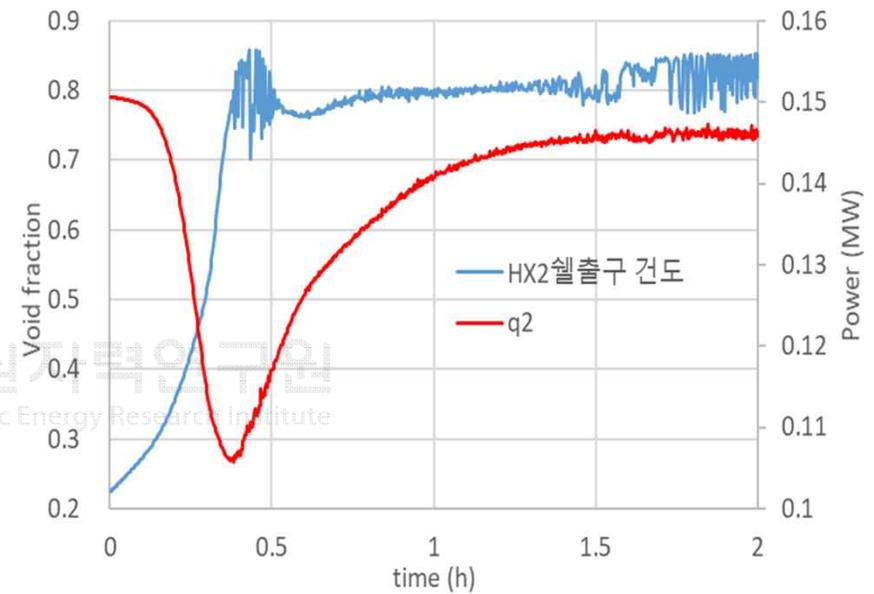
- ✓ 과도 시작 후 메인루프, 고온열교환기 쉘측 유량 급격히 감소 후 회복

# 최적 사이즈 적용 과도상태 계산결과

## 상부열교환기 쉘 온도 및 열출력



## 상부열교환기 쉘 건도 및 열출력



- ✓ 상부열교환기 쉘 입구온도 증가, 약 30분 후 비등점 도달
- ✓ 쉘측 출구온도는 초기 값이 비등점에 근접해있어 증가 폭 작아, 입구와 출구 온도차는 입구 온도 상승에 따라 감소
- ✓ 입구, 출구 온도 차이 감소에도 불구하고 쉘 내부 비등 발생에 의한 열전달 증가로 약 0.5시간 시점부터 열출력 증가