



# 원자로헤드 내부관통관 Thermal Sleeve 높이측정을 위한 로봇제어 방법



**한전KPS주식회사**  
KEPCO PLANT SERVICE & ENGINEERING CO., LTD

종합기술원/전략기술개발센터  
원자력정비기술센터

선임 김준홍, 수석 박민수  
수석 김남균, 책임 엄수호

2021-10-28



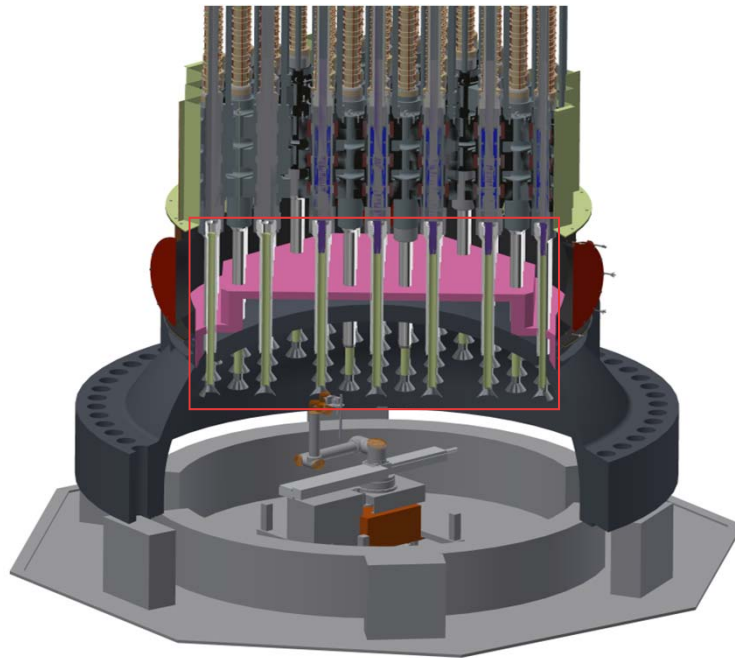
# 목 차

- 1 개발배경
- 2 검사대상범위
- 3 개발시스템
- 4 높이측정 로봇제어
- 5 로봇 캘리브레이션
- 6 결론

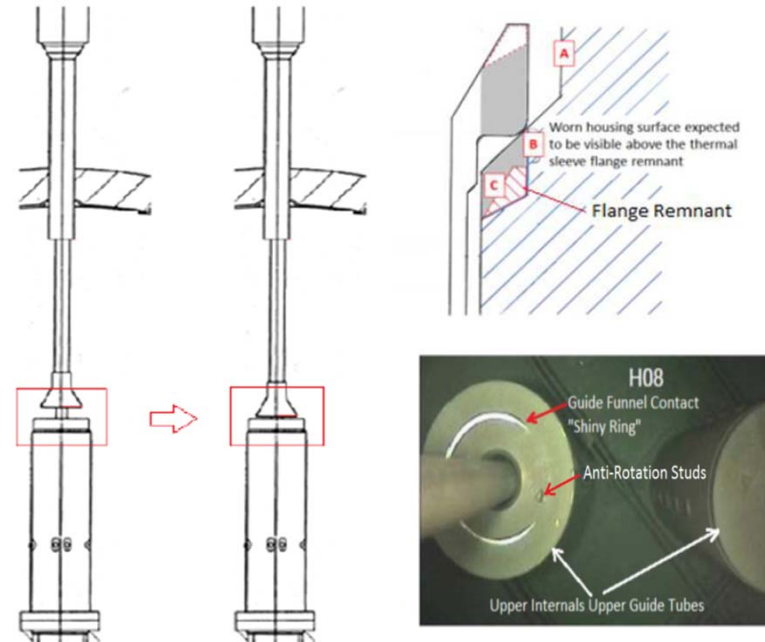
# 1. 개발배경

## 원자로 헤드관통관 Thermal Sleeve 높이측정 시스템 개발 개요

- 프랑스 Belleville 원전 2호기 Thermal Sleeve 마모에 의한 낙하발생 (2014)
- Westinghouse 기술정보(NSAL-18-10)에서 검사제시 (2018.7)



Westinghouse 3Loop Reactor Head

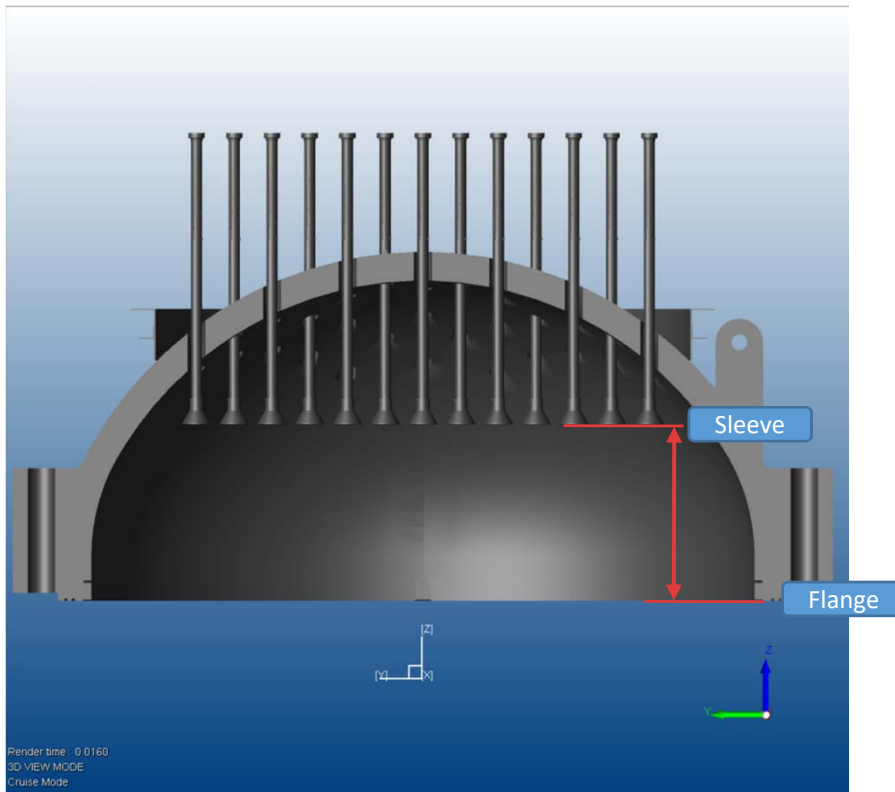


프랑스 원전 Thermal Sleeve 낙하

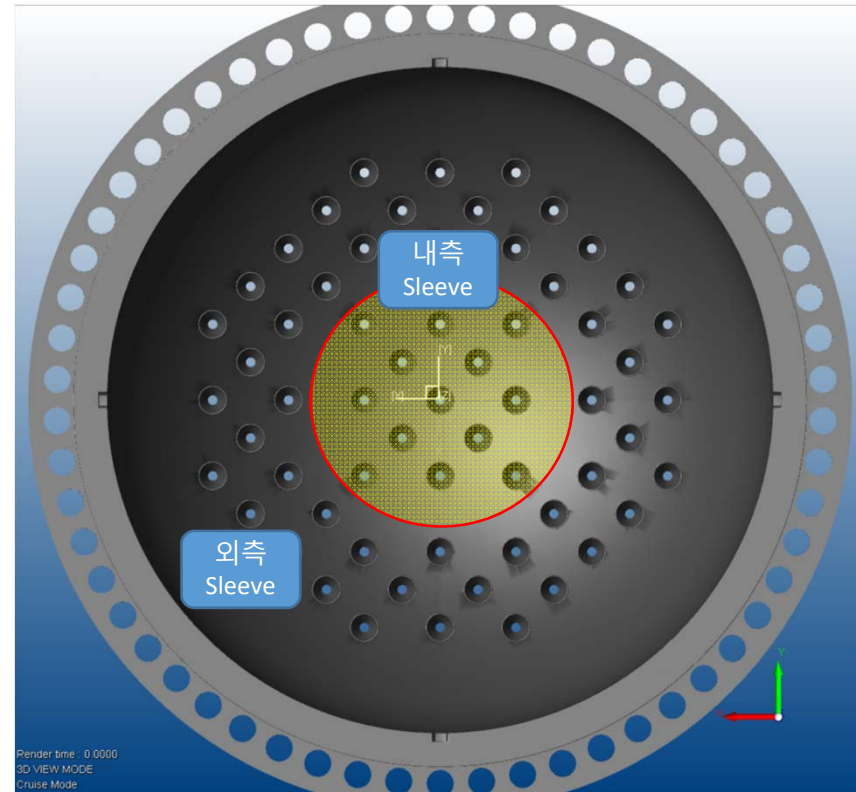
## 2. 검사대상 범위

Thermal Sleeve 상부 마모로 인한 처짐량을 측정하여 보수 여부를 판별

- 기준점 : Flange 면 측정값
- 측정대상 : 기준점인 Flange 측정값과 각 Sleeve 측정값(높이)

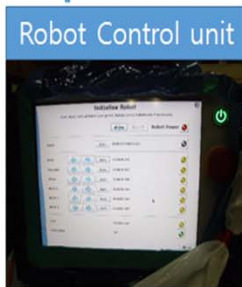
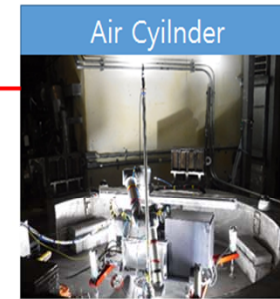
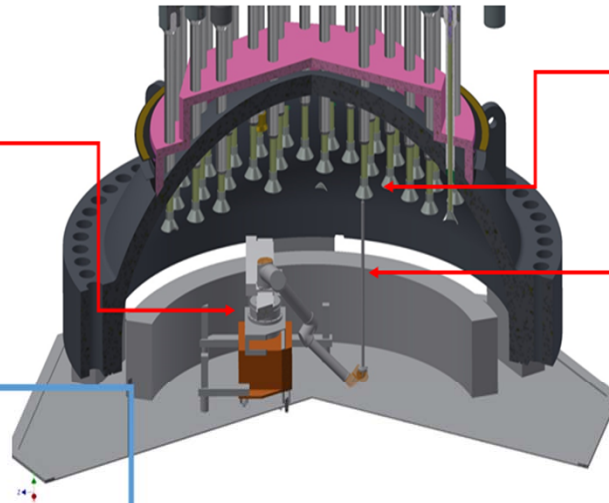
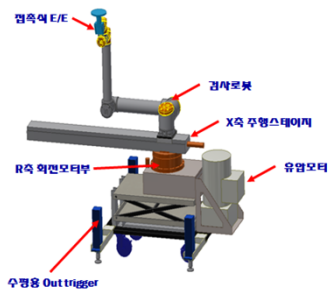


높이측정 대상



높이측정 구역

# 3. 개발시스템



제어

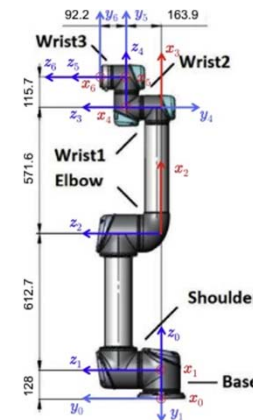
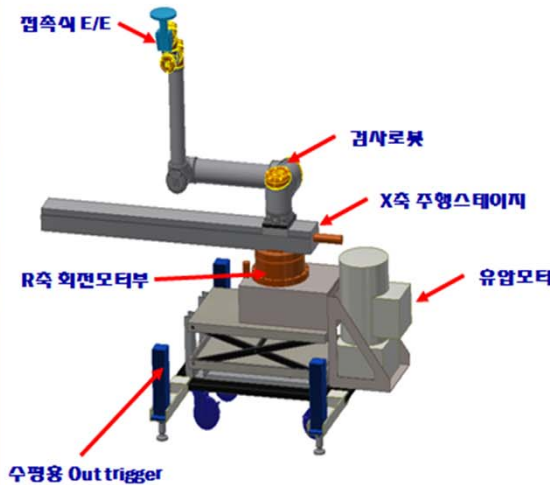
제어

원자로 헤드관통관 Thermal Sleeve 높이측정 시스템 구성

# 3. 개발시스템

## 검사 시스템 사양

- 수평조절용 유압실린더
- 위치조절용 X축 주행스테이지 - DC모터 구동
- 위치조절용 R축 회전스테이지 - DC모터 구동
- 검사용 로봇시스템 - Universal Robot사 UR10(가반하중 10kg)
- 높이 측정용 End-Effector(접촉센서)



$i$	$a_i$	$\alpha_i$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	$-\pi/2$	$d_1 = 128$	$q_1$
2	$a_2 = 612.7$	0	0	$q_2$
3	$a_3 = 571.6$	0	0	$q_3$
4	0	$-\pi/2$	$d_4 = 163.9$	$q_4$
5	0	$\pi/2$	$d_5 = 115.7$	$q_5$
6	0	0	$d_6 = 92.2$	$q_6$

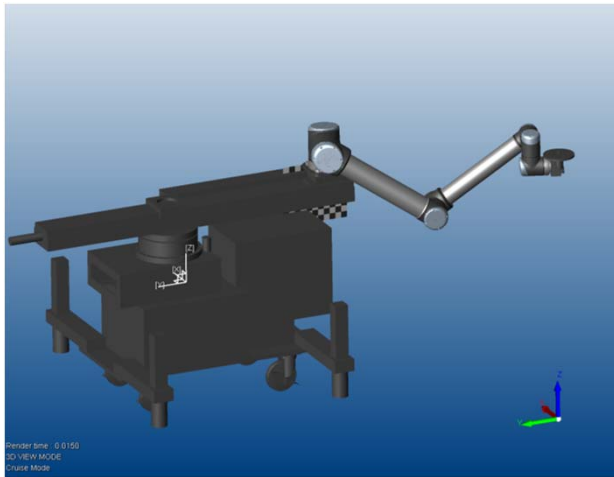
UR10 D-H Parameter

원자로 헤드관통관 Thermal Sleeve 높이측정 장비

# 4. 높이 측정 로봇제어

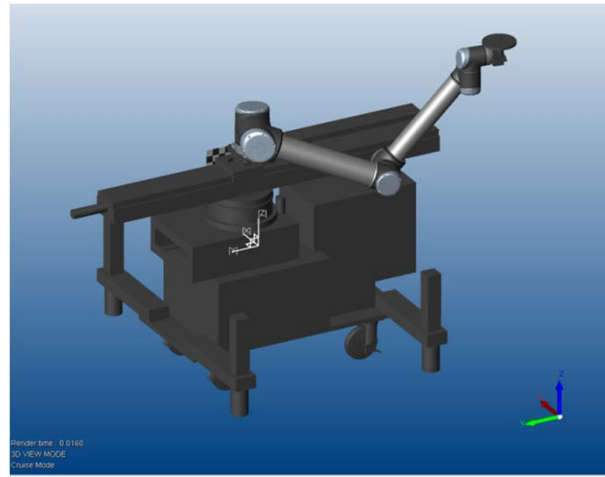
## 로봇 제어 방향

- 로봇 자세 변화를 최소화 하여 자세 변화에 따른 측정위치 오차 발생 소지 최소화
- 최소한의 대차 R, X축 Motion으로 각 Sleeve 위치로 로봇 이동
- 3개의 기본 로봇 자세 설정(Flange측정, 외측 Sleeve측정, 내측 Sleeve측정)  
: 로봇 끝단부 회전량을 수평으로 설정하여 접촉 위치에 따른 오차 발생 최소화



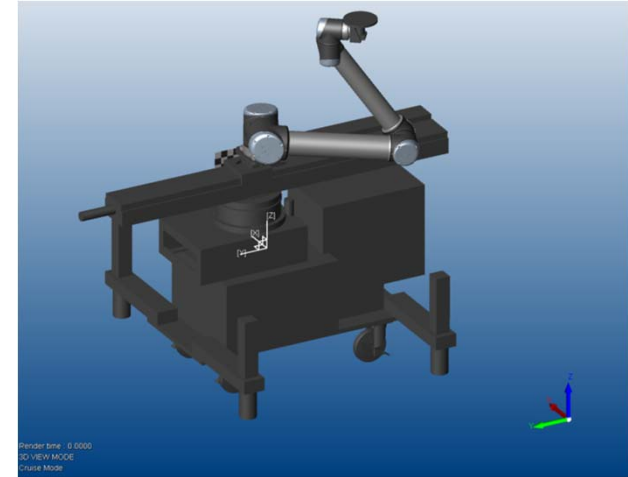
Flange 높이 측정 자세

축	회전량 (°)	축	회전량 (°)
1	-20	4	143.29
2	147.19	5	-90
3	69.52	6	0



외측 Sleeve 높이 측정 자세

축	회전량 (°)	축	회전량 (°)
1	-22	4	308.82
2	159.18	5	-103.48
3	72.02	6	-180

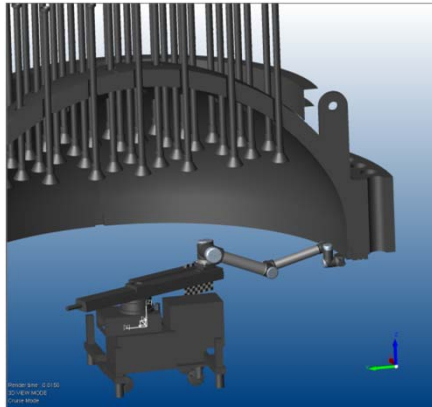


내측 Sleeve 높이 측정 자세

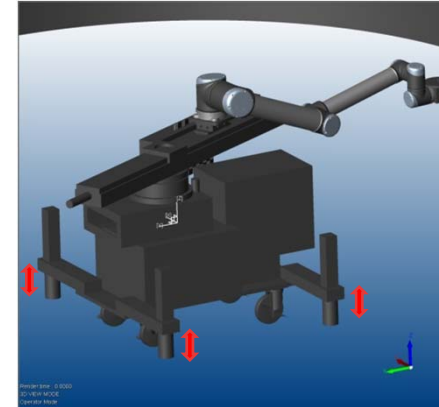
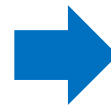
축	회전량 (°)	축	회전량 (°)
1	-10.28	4	235.06
2	174.14	5	75.37
3	130.75	6	-180

# 4. 높이 측정 로봇제어

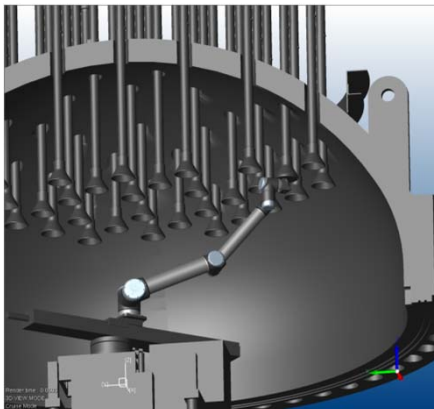
원자로 헤드관통관 Funnel 높이측정 절차



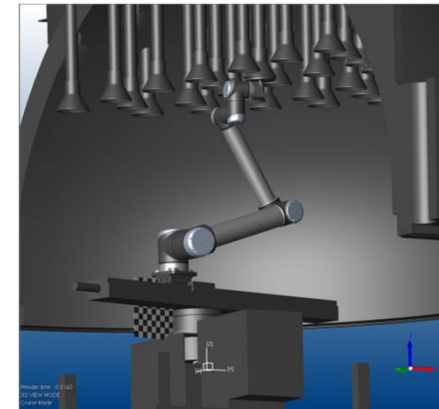
Flange 높이 측정(4점 측정)



유압 Cylinder를 이용하여 베이스 정렬



외곽 Sleeve 높이 측정



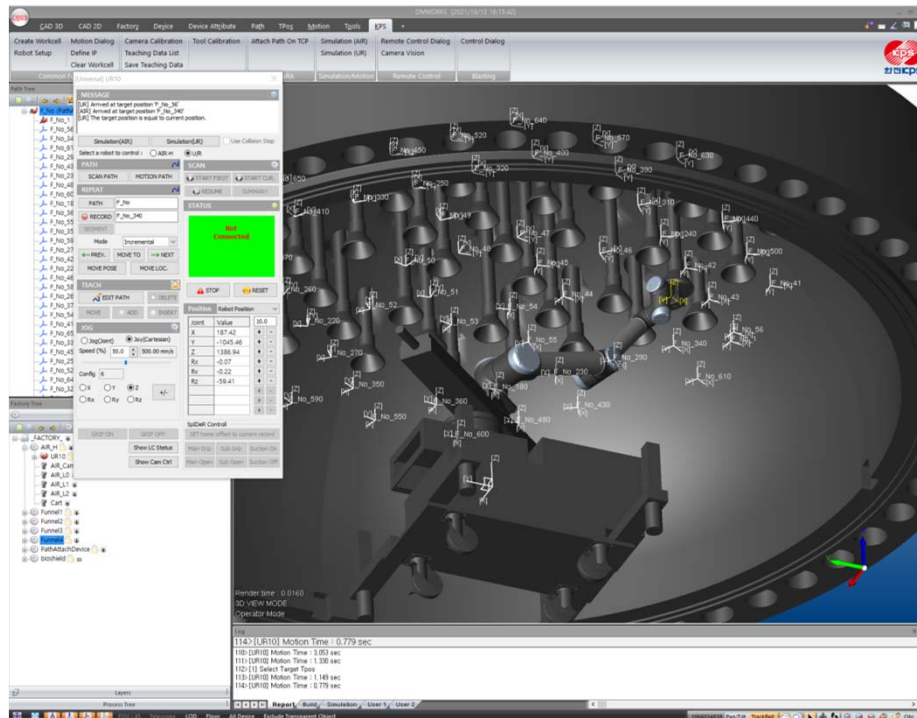
내측 Sleeve 높이 측정



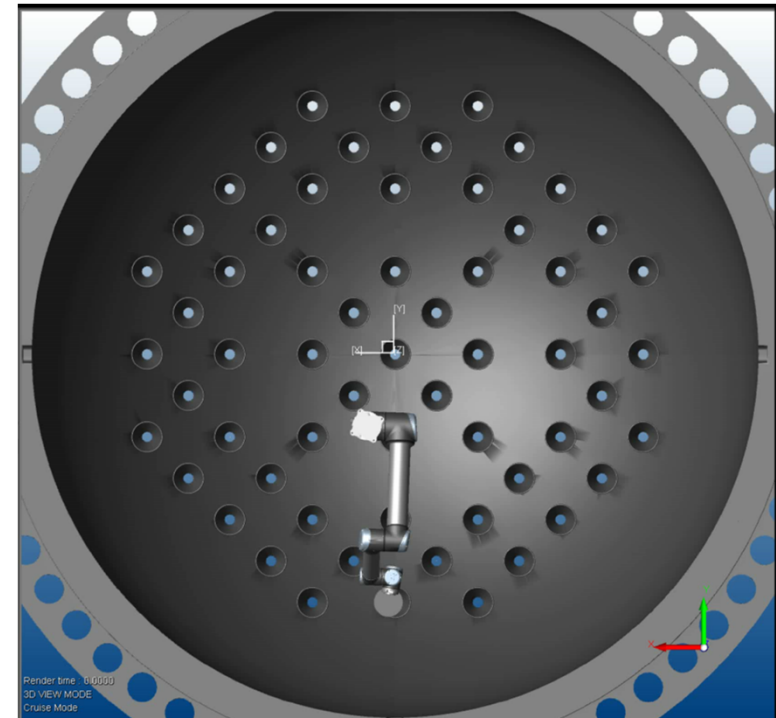
# 4. 높이 측정 로봇제어

## 외측/내측 Sleeve 높이 측정 Simulation

- 로봇의 움직임 최소화(로봇 Configuration 변화 최소화)
- 최소한의 대차 R, X축 Motion으로 각 Sleeve 위치로 로봇 이동
- Simulation 결과 한번의 자세 변환(외측/내측)으로 전 Sleeve 검사가 가능함.



높이 측정 Simulation 작업 환경



원자로 헤드관통관 Thermal Sleeve 높이 측정 Simulation

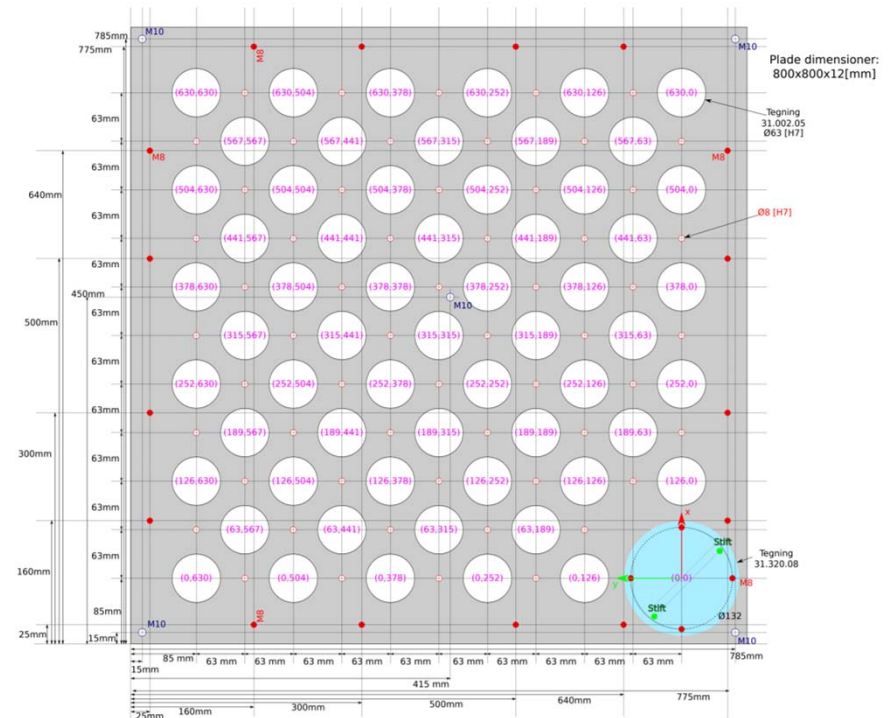
# 5. 로봇 캘리브레이션

## 로봇 캘리브레이션 필요성 및 결과

- 주기적인 로봇 캘리브레이션을 통해 로봇 건전성 확인
- Universal Robot사에서 제시한 캘리브레이션 Plate를 통해 로봇 TCP의 정확도 확인
- Plate내 모든 Hole에 Pick&Place 방식으로 로봇을 위치시키고 TCP 값과 Real값을 비교
- 비교 결과 일치 하지 않는다면 UR에서 제시한 절차에 의해 캘리브레이션 수행 후 다시 측정하여야 한다.



로봇 캘리브레이션 수행



UR Calibration Plate

## 6. 결론

- Thermal Sleeve 높이 측정 자료를 토대로 Thermal Sleeve 교체 여부를 판단하고 있음
- 정확한 Data산출을 위해 3D Scan 등 추가 측정을 도입하여 Data비교 수행중
- 현재 WH형 원자로 헤드관통관 Thermal Sleeve 높이측정 용역 수행 중

2021 KEPIC-WEEK MI

감사합니다.



종합기술원/전략기술개발센터

