



한국원자력학회 2018 춘계학술발표회  
원전 안전 및 기자재산업 활성화를 위한 원전부품설비 인/검증 기술 워크숍

# 원전 부품·설비 검증체계 개선 기술개발 현황

2018.05.16.(수)

한국기계연구원 원자력안전기기연구실

김영중

# 목차

---

- 사업개요
- 과제목표
- 과제 로드맵
- 진행현황
  - 기기검증 전문센터 구축
  - 지역거점 기기검증 클러스터 및 엔지니어링센터 구축
  - 통합인증센터 건축
  - 주요설비 구축
  - 열노화 DB 구축
  - 비원전기업 원전산업 진출유도 지원방안 모색

# 사업개요

---

## ■ 사업명

- 원전기기·부품 검증 설비 구축 및 체계 개발

## ■ 사업기간

- 2014.12.01~2019.05.30 (54개월)  
» 통합인증센터 건축일정 지연에 따른 기간연장 고려 중 (6개월)

## ■ 사업비

- 정부출연금: 11,715,000천원
- 민간부담금: 85,694천원

## ■ 참여기관

- 부산대학교, 대한전기협회

## ■ 연계 수행 업무

- 통합인증센터 건축 (부산광역시 지원)



# 과제목표

---

- 원전기기·부품 검증 설비 구축 및 체계 개발
  - 신뢰성 있는 검증기술개발 및 통합 설비확보를 통한 원전기기검증 수행체계 구축
- 주요내용
  - 대용량밸브 성능검증 기술개발 (기달성)
    - » KEPIC-MF 2010 (ASME QME-1 2007) 기반 성능검증 시험해석 기술개발
  - 중대사고 동안 부품·설비 생존성 검증체계 방안 수립 (기달성)
    - » 중대사고 검증기술 및 장비 구축 전략 수립
  - 기기검증을 위한 기능시험 및 환경시험 설비 구축 및 체계 개발
    - » 원전 기기검증 조직 전문화를 위한 설비 구축 및 표준 시험절차서 개발
    - » One-stop 검증서비스 구현을 위한 지역거점 기기검증 클러스터 운영 체계 개발
    - » 비원전분야업체의 원전산업 진출 유도 및 지원
  - 비금속 재료 열/노화 데이터베이스 구축
    - » 국내 현실 및 중소기업 현황에 맞는 자체 열노화 데이터 확보 및 활용기반 마련

# 과제 로드맵

구분	3단계																							과제연장 (6개월)							
	4차년도 (10개월)											5차년도 (10개월)																			
년	2017			2018												2019															
월	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
기기검증 조직 전문화	한국원자력안전재단 주관 성능검증기관 인증서 획득 (2016.04.27) 및 유지 - 내환경, LOCA/MSLB, 내진시험/해석, 밸브성능 등 9개분야																		성능검증기관 재인증 및 신규 통합인증센터 중심 운영												
	1차 신규인력 확보 (연구원 3인) 2015~2016								2차 신규인력 확보 (기술원 2인 이상)																						
주요설비 구축	원자력설계기준사고 환경 모사시험설비																														
	상세설계											구매, 제작											설치				시운전				
	6자유도 내진시험기																														
	구매, 제작											설치											시운전								
통합인증센터 건축	건축설계 및 시공사 선정											시공사 선정 및 건축 (약 12개월)														KIMM 기기검증 업무 이관					
												내환경, 내진 시험동 건축																			
기기검증 및 중소기업 기술지원 체계 개발 및 시범 운용	지역거점 기기검증 클러스터 구축 및 운영 - 동남권 7개 유관기관 간 MOU 체결 (~2016)																									One-Stop 기기검증서비스					
	부산대 원전기자재 엔지니어링센터 구축 및 운영(~2016)																														
	DBE 환경모사 시험장치 열해석											중소기업 대상 기기검증 실패사례 분석 / 시험 전 지원 가능 기술검토																			
비금속 재료 열/노화 데이터 베이스 구축	표준원전자료분석/유효성검토 및 열노화 DB구축																									열노화DB 활용방안 도출					
	한빛 및 신월성원전											신고리 원전																			
	열노화 DB 확보를 위한 시료제작 및 실증시험 추진																														
	관련기술기준 검토 및 전기, 기계/계측분야 대상 시험											관련기술기준 검토 및 전기, 기계/계측분야 대상 시험																			
비원전분야업체 원전산업 진출 유도 및 지원	비원전분야업체 조사 납품 희망 기기(종류, 품질등급) 및 희망 기술지원서비스 조사											비원전분야업체 기술지원서비스 수행																			

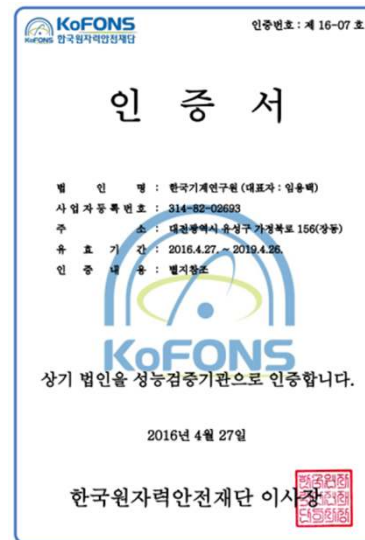
# 기기검증 전문센터 구축

## ■ 기기검증 전문센터 구축을 위한 인력 확보

- 신규 기기검증 전문조직 구축
  - » 부산 원전기기안전성평가센터 설립추진단 구축
  - » 신규인력 3인 총원, 신규인력 2인 추가 총원 중 + 대전조직 인력 추가

## ■ 한국원자력안전재단 주관 성능검증기관 인증 획득

- 2016.04. 획득, 2019.04. 갱신 예정
- 총 16개 인증분야 중 9개 분야 인증
  - » 열적노화 시험
  - » 열적주기 시험
  - » 온습도 시험
  - » 진동노화 시험
  - » 냉각재상실사고 시험
  - » 배관파단사고 시험
  - » 내진 시험
  - » 내진 해석
  - » 밸브 성능시험



인증분야		인증범위
1	열적노화 시험	~10℃ ~ 240℃
2	열적주기 시험	~10℃ ~ 160℃
3	온습도 시험	~10℃ ~ 160℃, 70% ~ 95% R.H.
4	진동노화 시험	시험체 질량 : ~ 500 kg 주파수 범위 : 0.05 ~ 2,000 Hz 진동 가속도(100 Hz) : ~ 100g
5	냉각재상실사고 시험	온도 범위 : 40℃ ~ 200℃ 압력 범위 : Max. 1,000 kPa 최대 질량 유량 범위 : Max. 3,000 L/h
6	배관파단사고 시험	온도 범위 : 40℃ ~ 200℃ 압력 범위 : Max. 1,000 kPa
7	내진 시험	시험체 질량 : ~ 30,000 kg 주파수 범위 : DC ~ 100 Hz 진동대 가속도(60 Hz) : ~ 10g
8	내진 해석	제한 없음
9	밸브 성능시험	액체(물)
		온도 범위 : 10℃ ~ 160℃ 압력 범위 : 101.325 kPa ~ 9,000 kPa 유량 범위 : 0 m³/h ~ 2,300 m³/h
		기체(공기)
		온도 범위 : 25℃ ~ 70℃ 압력 범위 : 101.325 kPa ~ 9,000 kPa 유량 범위 : 0 Nm³/h ~ 506,887 Nm³/h
	기체(증기)	온도 범위 : 25℃ ~ 360℃ 압력 범위 : 101.325 kPa ~ 18,000 kPa 유량 범위 : 0 kg/h ~ 450,000 kg/h

# 지역거점 기기검증 클러스터 구축

## ■ 동남권 7개 유관기관 선정 및 MOU 체결

### • 배경

- » 부산 원전센터의 자체 One-Stop 검증 서비스 구현 불가
- » 동남권 내 고기능 시험설비 보유기관 다수 분포

### • 선정 기준

- » 부산 원전센터 구축 예정 장비와 차별성을 가진 설비 보유기관
- » 성능검증과 관련 엔지니어링 서비스 가능 기관
- » 향후 원전부품 성능검증 시장 진출 희망 기관

### • MOU 체결기관

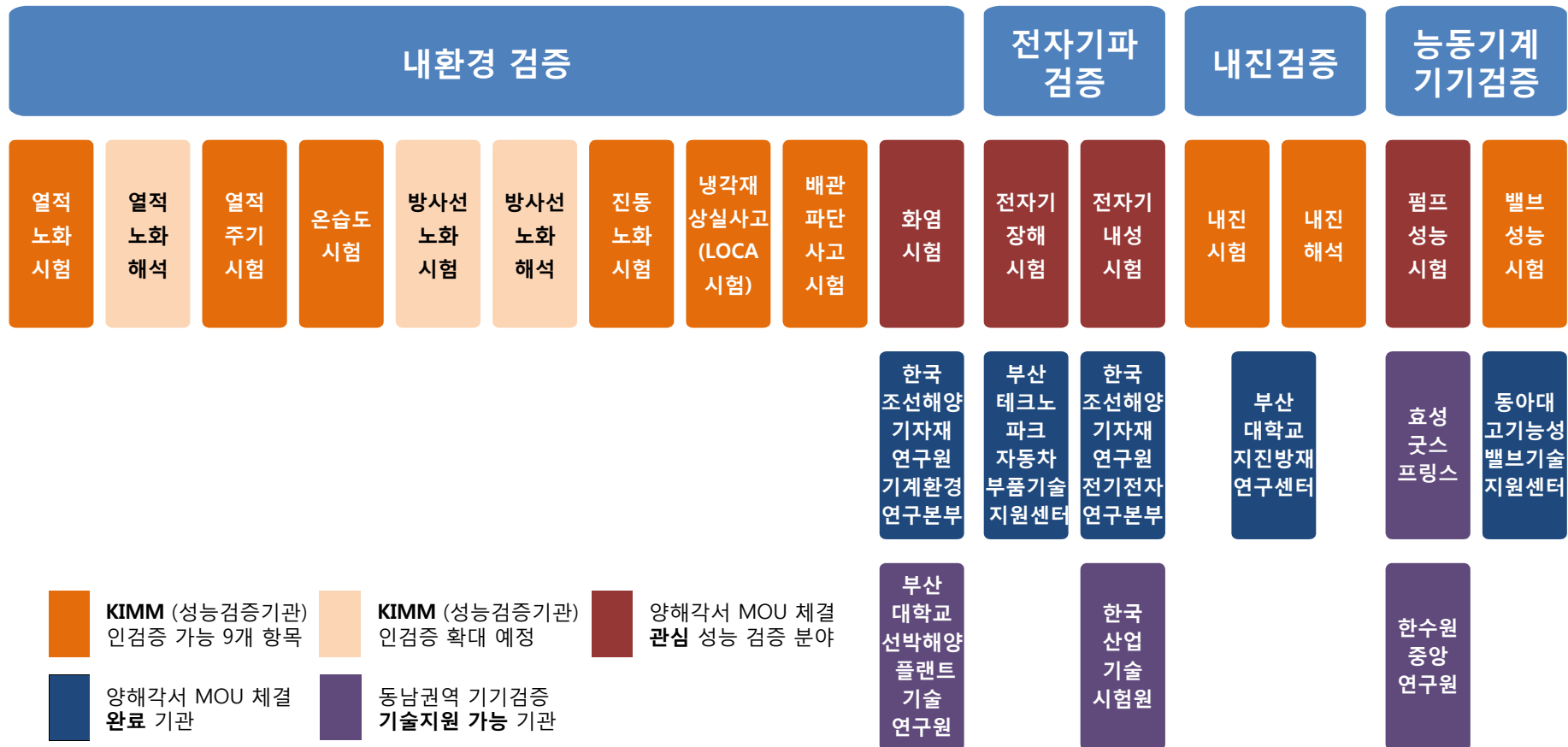
- » 한국조선해양기자재연구원 전기전자연구본부
- » 한국조선해양기자재연구원 기계환경연구본부
- » 부산테크노파크 차세대열교환기센터
- » 부산테크노파크 자동차부품기술지원센터
- » 부산대학교 지진방재연구센터
- » 부산대학교 엔지니어링 연구센터
- » 동아대 고기능성 밸브기술지원센터



동남권 MOU 체결기관

# 기기검증 클러스터 장비활용 전략

- 원전기기 성능검증 16개 분야 구축 계획
  - 동남권 기관 및 한국기계연구원 통합인증센터 중심 운영





# 원전 기자재 엔지니어링센터 구축

## ■ 배경

- 원전기자재 공급업체 및 신규 진출 중소기업의 기술 이해 부족
- 시험 실패 시 검증 비용과 검증 기간이 과다하게 소요됨
- 원전기자재 산업 진입장벽을 낮추기 위한 중소기업 기술자문 필요

## ■ 구성

- 원전기자재 엔지니어링 센터 설립 승인 (2016.06.27, 부산대학교)
- 구성인원
  - » 방사선, 전자기, 진동, 열수력, 원자력 관련 동남권 대학 및 연구소 전문가



# 통합인증센터 건축

## ■ 예산

- 부지매입비용: 64억, 건축비: 65억

## ■ 제공기관

- 부산광역시

## ■ 위치

- 부산 강서구 미음 R&D 허브단지

## ■ 규모

- 건축면적(연면적): 2,338(2,899)m<sup>2</sup>

## ■ 주요일정

- 설계완료: 2018.07.
- 시공사 선정 및 착공: ~2018.08.
- 시험동 구축: ~2019.03.
- 완공: 2019.07.



부산 원전센터 예정부지



부산 원전센터 조감도

# 주요설비 구축 일정

## ■ 환경시험챔버 및 기능시험설비

- 환경시험챔버 2종 및 기능시험설비 20종 구축
- 1단계 1차년 구축 완료

## ■ 대형설비

- 진동노화설비, 내진시험설비, DBE(LOCA, MSLB)시험설비
- 통합인증센터 건축 일정에 따른 구축 계획 수립

대형 시험설비 구축 현황

구분	2단계												3단계												과제연장 (6개월)													
	2차년도 (12개월)						3차년도 (12개월)						4차년도 (10개월)					5차년도 (10개월)																				
년	2015			2016						2017						2018						2019~2020																
월	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
설비	진동노화	중장위			구매협의 (조달청)						입찰		제작, 운송, 설치, 시운전				대전 본원 운영 (부산 원전센터 완공 후 이전)																이전 후 운영					
	내진시험										통합 심의		구매협의(조달청)				입찰		계약, 엔지니어링				Mast Table 제작, 운송 설치공간 상세설계						설치, 시운전						유 용			
	설계기준사고시험										통합 심의		구매협의(조 달청)				입찰		계약, 상세설계						주요기기 구매, 제작				설치, 시운전						유 용			
건축	한국기계연구원 부산레이저기술지원센터 내 원전기기안전성평가센터 조직 구성																																				센터 이전 후 기기 검 증 수 행	
													설계 공모		상세설계 및 시공업체 선정						시공 (12개월)						시험동 건축											

# 주요설비 (진동노화)

## ■ 사양선택 기준

- 기기검증 대상 물품 중 다수를 차지하는 기기들 (AOV Actuator, Cable Assembly, Control Panel)의 대표중량과 크기를 고려

## ■ 주요사양

- Vibration Shaker
  - » Max. Sine/Random force : 12,000Kgf
  - » Max. Shock Force : 24,000Kgf (@6ms)
  - » Max. Displacement : 76 mm
  - » Max. Acceleration : 100g
  - » Max. Velocity sine : 2.0 m/s
  - » Max. Payload : 1,000kg
  - » Frequency Range : 5 ~ 2,500Hz
- Dual Slip Table
  - » Big Slip Table (1200×1200mm)
  - » Small Slip Table (600×600mm)



진동노화설비 (제작사/국가: DONGLING/중국)



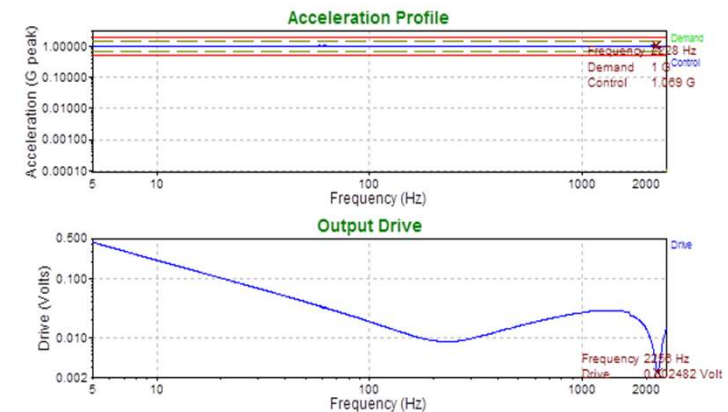
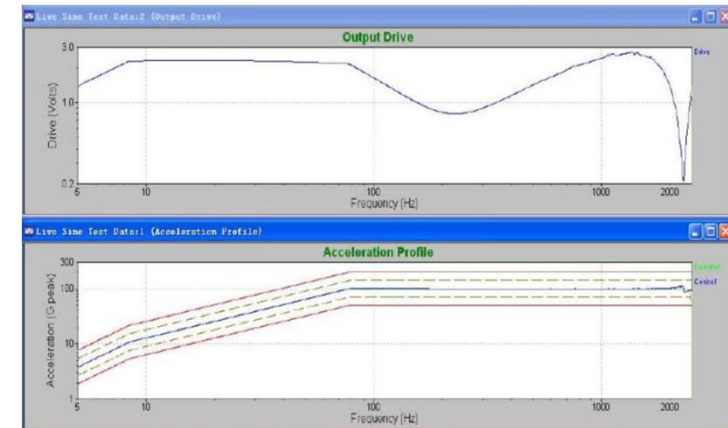
# 주요설비 (진동노화)

## ■ 진동노화설비 시운전

- Bare Table 조건에서 최대 성능 확인
  - » Shaker
    - 5 to 2,500Hz, 76mm-2m/s-100g 만족
  - » Big slip table
    - 5 to 2,000Hz, 76mm-2m/s-43g 만족
  - » Small slip table
    - 5 to 2,000Hz, 76mm-2m/s-74g 만족



진동노화 설비 설치 사진



Shaker 성능 및 아마추어 공진점 확인 테스트



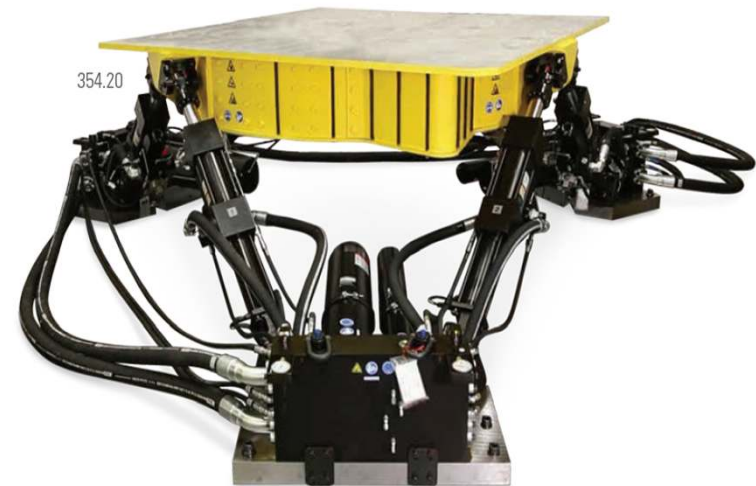
# 주요설비 (내진)

## ■ 사양선정 기준

- 내진시험 기준 향상에 따른 고가속, 고변위, 고주파수 내진시험이 요구되는 기기의 검증 필요
- 신규 검증 가능 기기 조사결과 반영
- 2ton(시험체 질량) 이하 용량 기준 국내 최고 spec. 선정
- 대형시험편 (2ton 이상)대상 내진시험 업무는 부산대 지진방재센터 활용

## ■ 주요사양

- Maximum payload: 2000kg
- Simulation Frequency: 0.8~100Hz
- Displacement:  $\pm 140\text{mm(V)}$ ,  $\pm 110\text{mm(H)}$
- Velocity:  $1.7\text{m/s(V)}$ ,  $1.3\text{m/s(H)}$
- Acceleration:  $\sim 21.4\text{g(V)}$ ,  $\sim 17.2\text{g(H)}$
- Air spring 및 Reaction mass 설치

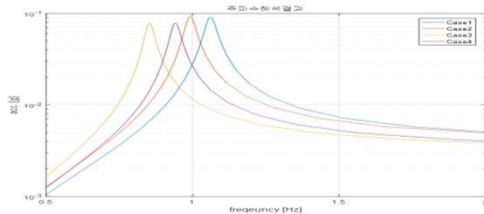
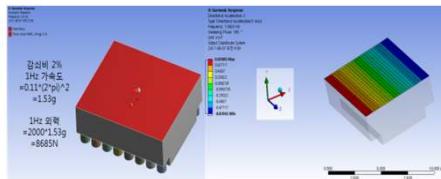
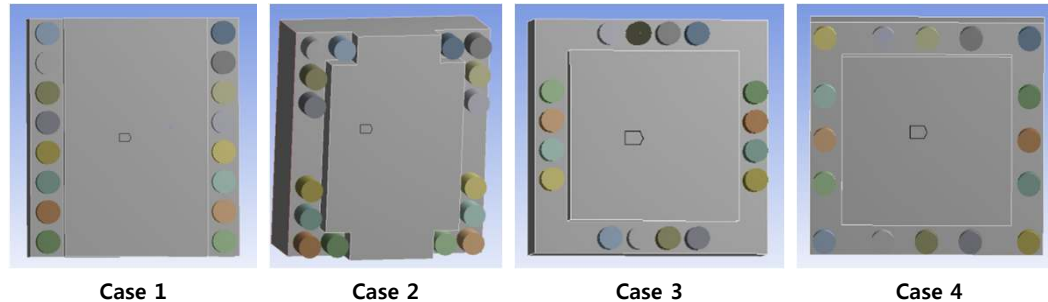


내진시험장비 (제작사/국가: MTS/미국)

# 주요설비 (내진)

## ■ 내진시험장비 엔지니어링

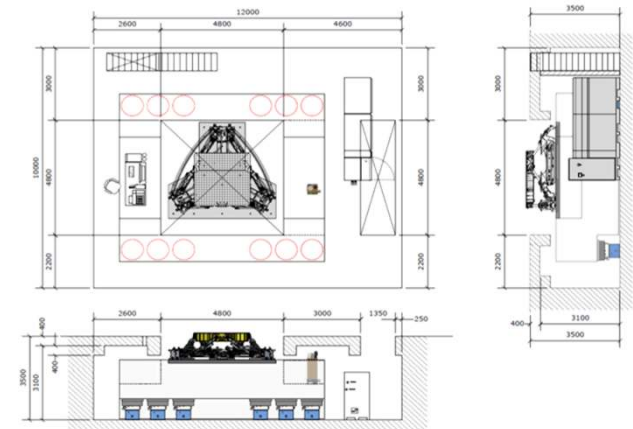
- Reaction mass, air spring 해석
  - » Reaction mass의 형상 및 air spring 위치에 따른 공진주파수 탐색
- 내진시험기 전용 pit 및 내진시험동 설계



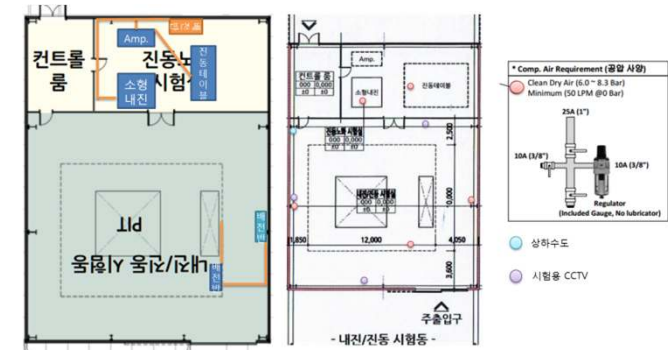
Air spring 위치에 따른 고유진동수 변화

Seismic mass size		Mode		
		1	2	3
Case 1	7m×8m	0.7143	0.8028	1.0607
Case 2	7m×8m	0.8106	0.9114	0.9914
Case 3	8m×8m	0.8023	0.8531	0.8531
Case 4	8m×8m	0.8023	0.9410	0.9410

Air spring 위치에 따른 공진주파수 변화



내진시험기 전용 pit 및 reaction mass 설계도



내진시험동 설계안

# 주요설비 (LOCA, MSLB)

## ■ 사양선정 기준

- 대형 시편에 대한 LOCA시험 수행 현황 조사
- 폭 2m 이하, 높이 3.5m 이하의 모든 시편에 대한 시험 수행 고려
- (현 시험설비: 폭 2.5m, 높이 1.2m)
- 국내 주요 원전의 설계기준사고 프로파일 조사  
→ 모든 조건을 만족시킬 수 있는 성능 기준 설정

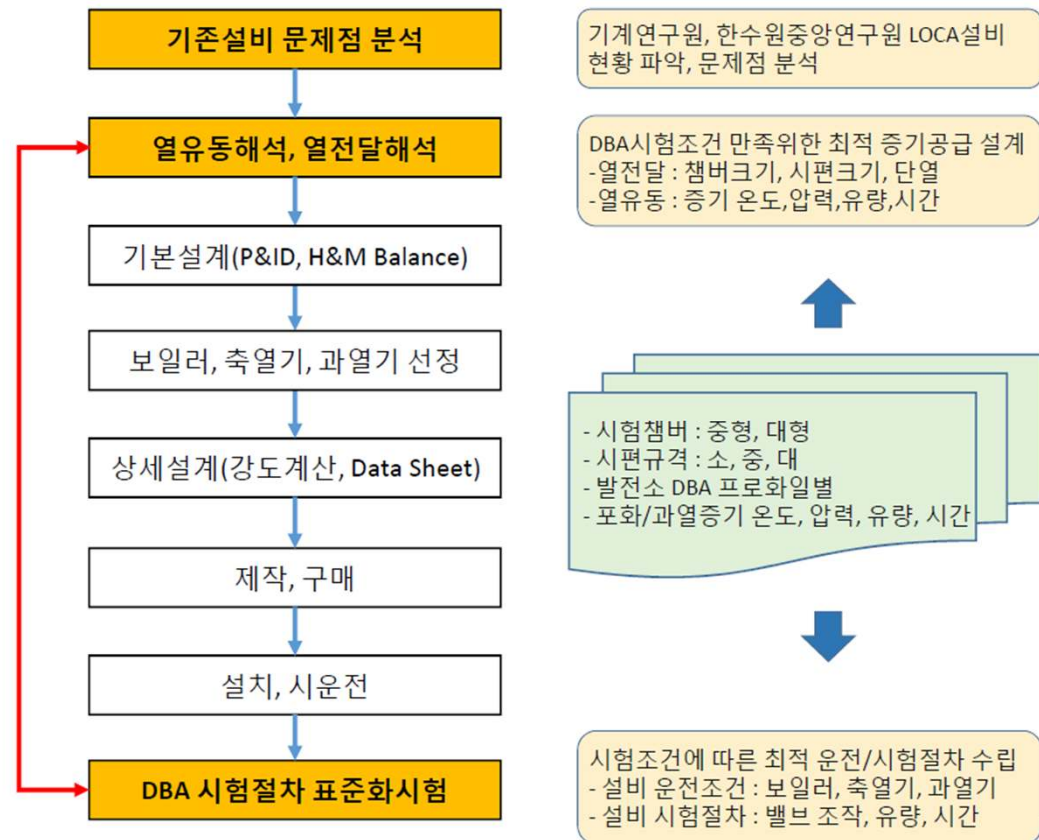
## ■ 주요사양

구분	내용
LOCA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 초기 급변구간 : 190°C 이상 (30초 내), 6bar 이상 (10초 내), 상대습도 100% 도달</li> <li>- 고온 안정구간 : 2,000초 동안 190°C 및 6bar 이상, 상대습도 100% 유지</li> <li>- 살수 냉각구간 : 시험 프로파일 예시 참조</li> </ul>
MLSB, HELB	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 초기 급변구간: 10초 내 220°C 이상 도달 (최고 압력 6bar 이하)</li> <li>- 고온 안정구간: 7,000초 동안 220°C 이상 유지</li> </ul>
화학살수	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 제곱 미터 당 25.3LPM(0.62 GPM/ft<sup>2</sup>) 이상의 살수 가능</li> <li>- 화학살수용액의 온도 유지 / 화학살수 처리를 위한 폐수 저장조 포함</li> </ul>
제어오차	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 온도 : 초기 급변구간 +10°C 이내, 고온 안정구간 및 살수 냉각구간 ±3°C 이내 / 압력 : +10kPa 이내 (초기급변 구간), ±5kPa 이내 (안정화 구간) / 화학살수유량 : ±2% 이내</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 초기 급변구간 모사시험의 경우, 1일(8시간 기준) 4회 이상 시험 가능한 증기공급계통의 용량을 확보하여야 함</li> <li>- 대형 및 중형 시험챔버에서 이루어지는 모든 시험은 1시간 이내에 독립적으로 시작할 수 있어야 함</li> <li>- 운전 및 유지관리 비용은 현재 대전 기계연구원 LOCA설비 대비 동등 혹은 이하로 유지하여야 함</li> </ul>

# 주요설비 (LOCA, MSLB)

## 설비 구축 수행전략 (한국기계연구원, 위탁업체 공동 수행)

- 한국기계연구원 담당업무
  - » 기본설계
  - » 위탁업체 관리
  - » 위탁업체 제공 결과물 검토
  - » 주요설비 성능 하한선 결정
  - » 설비 최적화 및 인수 교육
- 위탁업체 담당업무
  - » 자료조사
  - » 시스템 해석/열유동 해석
  - » 상세설계
  - » 주요설비 결정 및 구매
  - » 설치, 시운전
  - » 설비 최적화 및 인계 교육
  - » 관련 법령 검토 및 대응



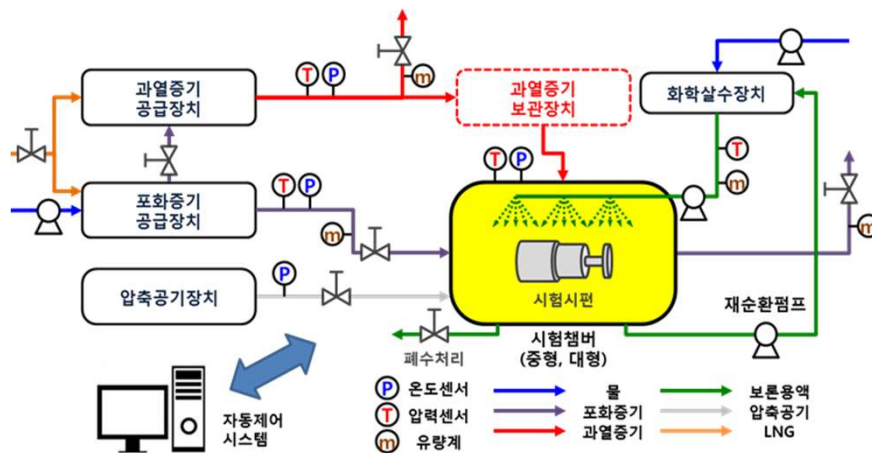
설비구축 방안

# 주요설비 (LOCA, MSLB)

## 설계 엔지니어링

### 증기공급시스템 사양 선정

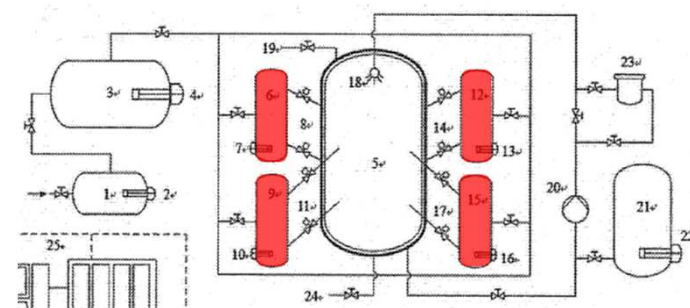
- » 이론 및 실제 실험결과를 바탕으로 보일러, 응축기 및 과열기 사양 선정
- » 현 기계연구원 보유 설비 및 해외 기기검증 기관 보유설비 및 관련 특허 조사 (과열증기저장조 설치 방안 검토)



한국기계연구원 보유 LOCA설비 개념도



Shanghai power equipment research institute(SPERI) LOCA설비



SPERI LOCA 설비 특허 (과열증기저장조 활용)



# 열노화 DB구축

---

## ■ DB대상 선정

- 중소기업 설문조사/1세부연계 한수원 협의/DB 대상선정 – 50종
- 1세부과제 연계 → 한수원(End User) 협의/협의체 의견개진

## ■ 자문위원회 구성/DB대상 선정 – 50종

- 위원회 구성 : 산학연 각분야 전문가로 구성(학계, 연구소, 한기, KTL 등)
- DB대상선정 및 자료심의 유효성 검토/자료의 신뢰성 확보

## ■ 참고사항

- 원전 전 사이트의 자료를 조사하여 수록함
  - » 4개 원전 전 사이트 한빛, 월성, 한울, 고리원전 자료 검토 및 수록하여 보편적인 데이터로 민간업체 활용 가능
- 원전 사용 주요 비금속 자재 : 약 500종
  - » 안전성 사용 주요자재 : 약 200종 (확보 대상)

# 열노화 DB구축

---

## ■ 열노화 DB구축

- 표준원전자료분석/유효성검토
- 원전자료분석/유효성검토
  - » DB자료 분석검토
  - » KEPIC 자문위원회 검토 및 의견수렴 : DB신뢰성 확보
- 열노화 DB구축 (50종)

## ■ 시료제작 및 실증시험 추진

- 시료제작/실증시험 추진 : 10종
  - » 중소기업 설문조사 및 1세부과제 연계/협업체 의견개진
- 시편확보 가용성 고려 (국내 제작 가능성 고려)
  - » 전기분야
    - 케이블 자켓/절연재 - CR/EPR/XLPE/HF XLPO 등
  - » 기계/계측분야
    - 펌프/밸브 등 관련부품(패킹/가스켓 등) 대상검토
    - EPDM/플로로 카본/NBR/Teflon 등 (차기 단계 수행검토)

# 비원전분야업체의 원전산업 진출 유도 및 지원 방안

---

## ■ 3단계 1차년도

- 동남권 비원전분야 업체 실태조사
  - » On-line 실태조사 수행
  - » 한수원 동반성장팀과 연계방안 추진
- 지원대상 구분 및 선정
  - » A등급시장 진출 희망 비원전기업
  - » Q등급시장 진출을 원하는 non-Q등급 납품기업

## ■ 3단계 2차년도

- 지원대상 업체 선정
  - » 원전산업 진출 가능 업체의 보유 기술 및 생산품 분석
- 제품 설계/제작 개선 기술 지원
  - » 해석 및 시험 서비스 지원
- 기기검증 시범 서비스 지원
  - » 신규구축 통합인증센터 시범운영과 병행
  - » 구축 설비를 활용한 기기검증 전 과정 시범 서비스 지원

**감사합니다**

한국기계연구원