

원자력재료연구실 소개

2024. 03. 21.

부산대학교
반치범 교수님

목 차

➤ Chapter 1

원자력재료연구실 소개

➤ Chapter 2

원전 재료 부식 관련 연구수행 현황

주요 연구 분야

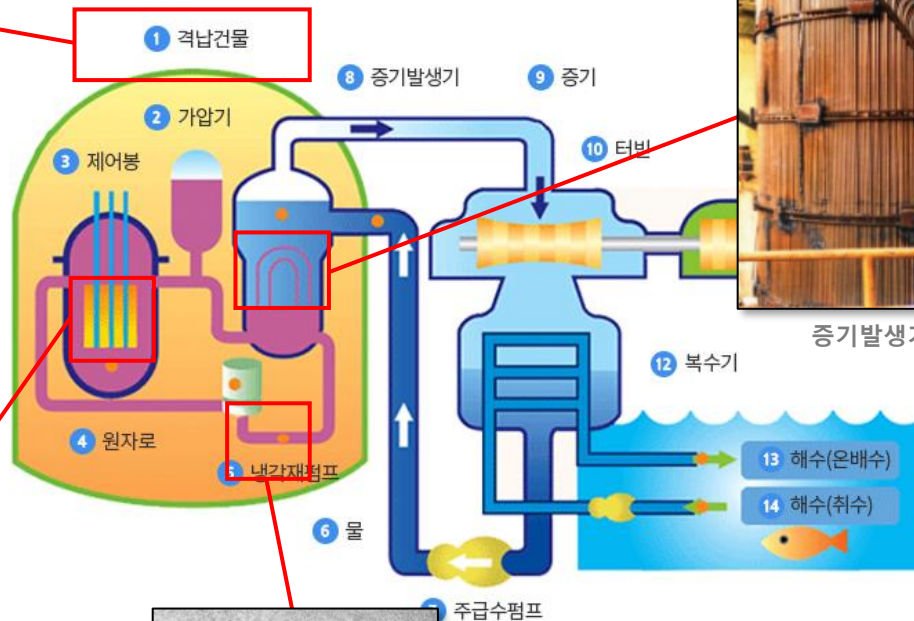


원자력재료연구실

원자력 발전소에 사용되는 금속 재료의 부식, 손상, 원인 규명 및 해결
새로운 재료 개발 연구



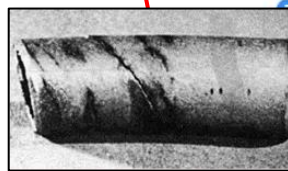
원자로 격납건물 라이너플레이트



증기발생기 전열관



핵연료 피복관



배관의 응력부식균열

연구 목표 및 연구 내용

○ 연구 목표

- 기존 가동 중인 **원자력 발전소**의 안전한 계속 운전을 위해서 **재료 부식, 재료 경년 열화 등 재료의 손상**과 같은 주요한 도전적 과제를 극복할 필요가 있습니다.
- 가동 중 원전 재료의 경년 열화 및 손상은 **중성자 조사 및 고온/고압 환경의 냉각수**에 의해 유발됩니다
- 따라서, 본 연구실에서는 **원전 주요 구조재 및 핵연료 피복관**의 열화 문제를 **실험 및 모델링 관점**에서 원인을 규명하고, 해결방법을 모색하고자 합니다.
- 또한, **차세대 원전 재료**의 건전성 평가를 통해 부식 거동 및 특성에 대한 연구도 수행하고자 합니다.

○ 주요 연구내용

- 재료의 부식 및 균열 생성/성장
- 원자력 발전소 주요 부품의 구조 건전성
- 수화학 환경 내 구조재 부식 평가
- 방사광 가속기를 이용한 재료 손상 기구 연구

주요 연구 실적 및 논문 실적

중앙행정기관	세부사업명	연구개발과제명	연구개발기간
한수원(주)	학술연구용역	스테인리스강 및 니켈합금의 응력부식균열 개시 환경 및 특성 평가	20.05.18~23.01.17
한국원자력안전기술원	위탁연구용역과제	Alloy 690 증기발생기 세관 균열 생성 시간 확률 모델 개발	19.01.01~21.12.31
교육부(한국연구재단)	한·미 원자력국제공동연구(I-NERI)	원전 안전운전을 위한 이종금속용접부 환경피로 수명평가 확률 모델개발	19.01.01~21.12.31
한수원(주)	K-CLOUD	원자력발전소 2차측 급수관 벤추리 파울링 완화 기술 개발	20.04.01~22.03.31
한국에너지기술평가원	가동원전 안전성향상 핵심기술개발사업	(1단계) 가동원전 증기발생기 전열관 마모 및 2차 계통 배관 감육 손상 지능형 예측진단 기술개발	22.04.01~24.12.31
한수원(주)	K-CLOUD	소형 모듈형 원자로(SMR) 구조재료의 내구성 평가	22.10.01~24.09.30

개제 연도	논문명/저서명	게재지	비고
2024	How irradiation promotes intergranular stress corrosion crack initiation	Progress in Materials Science	SCI (37.4)
2023	Effects of yttrium on the oxidation behavior of Fe13Cr6AlY alloys under 1200 °C steam	Journal of Alloys & Compounds	SCI (6.2)
2023	Statistical determination of stress threshold and survival analysis on IASCC initiation data of stainless steels in pressurized water reactor conditions	Journal of Nuclear Materials	SCI (3.1)
2023	Stability of Cr oxide formed on Fe-20Cr-2Si alloy in 1200 °C steam or oxygen	Corrosion Science	SCI (8.3)
2023	Statistical analysis on S-N type environmental fatigue data of Ni-base alloy welds using Weibull distribution	Nuclear Engineering & Technology	SCI (2.7)
2023	High temperature steam oxidation of (Ti,Mo)C forming FeCrAlY alloys	Journal of Nuclear Materials	SCI (3.1)
2022	Bayesian approach for prediction of primary water stress corrosion cracking in Alloy 690 steam generator tubing	Nuclear Engineering and Technology	SCI (2.817)

연구실 인원 및 졸업생 현황

연구실 인원 (2024.03 기준)

구분	박사과정	석박통합과정	석사과정	학부연구생	합계
원자력재료연구실	1	4	1	-	6

졸업생 현황(6 명)

- 박사 1 명: 한국자동차연구원 선임연구원
- 박사 1 명: 한국핵융합에너지연구원 박사후연구원
- 박사 1 명: 한국원자력연구원 박사후연구원
- 석사 1 명: HAESEUNG
- 석사 1 명: 한국남부발전
- 석사 1 명: 포항공대 박사과정

해외 학회 및 연구활동



미국 MIT 연수 (2017, 2018)



미국 시애틀 학회 참석 (2018)



중국 상해 쑤저우 연구회의 (2018)



프랑스 INSTN 계절학기 (2019)



미국 ANL 연수 (2018, 2019)

시편 가공 및 전처리

시편 가공 및 전처리 설비



저속정밀 절단기



고온마운팅기



플리싱기



초음파세척기



진동연마기



저속정밀 절단기

실험 및 분석 설비/소프트웨어



고온 산화장비



고온/고압 순환 오토클레이브



고온/고압 오토클레이브



광학현미경



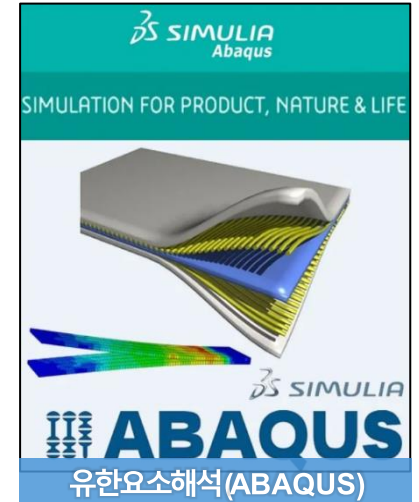
고온/고압 오토클레이브



고온/고압 오토클레이브



포텐시오스텍



Chapter 2

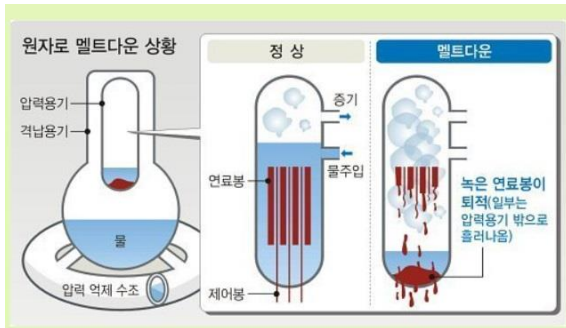
원전 재료 부식 관련 연구수행 현황

경수로 핵연료 피복관 개발

- 기존의 지르코늄 합금 핵연료 피복관은 원전 가동 조건에서는 좋은 특성을 가지나 일본 후쿠시마 원전 사고와 같은 냉각재 누설 사고 시 취약한 단점이 있음.
- 사고저항성 및 성능 향상된 핵연료 피복관 개발 목표
- 원전 사고환경 재료 평가 및 분석



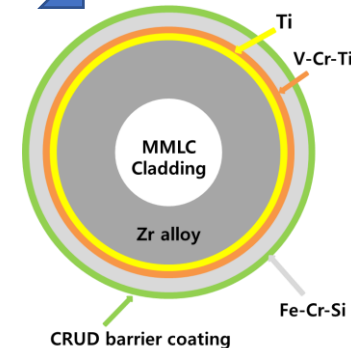
후쿠시마 원전 사고



고온산화환경 모사 장비 (1200°C)



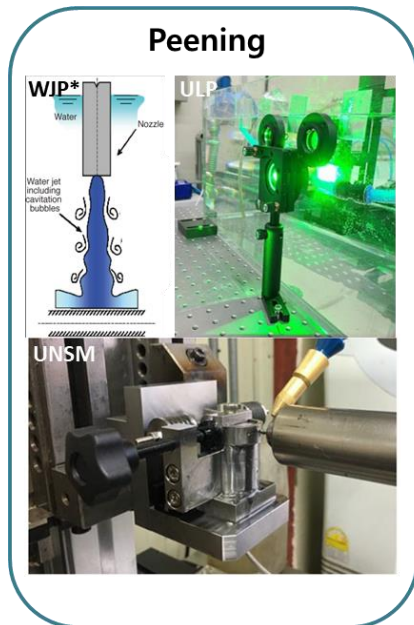
FeCrAl 피복관



다중금속층 피복관

응력부식균열 개시 환경 및 특성 평가

- 원자력발전소 구조 재료의 응력 부식 균열 연구
 - 가압경수로 1차측 환경을 모사하여, 금속재료의 장기 부식 평가
1. 표면 처리 (피닝)을 통한 표면 특성 변화를 이용, 응력부식균열 손상 방지 연구.
 2. 혁신형 소형모듈형 원자로 (i-SMR) 의 무봉산 KOH 수화학 환경에 대한 연구 진행 중.



Peening Surface Properties

- **Surface Morphology** (SEM image, Roughness)
- **Microstructure Analysis** (EBSD, TKD)
- **Residual Stress** (XRD, Hole drilling)

Plate sample

SCC Test

- **Surface Stress State** (XRD)
- **Surface & Fracture Morphology** (Optical image, SEM)

U-bend sample

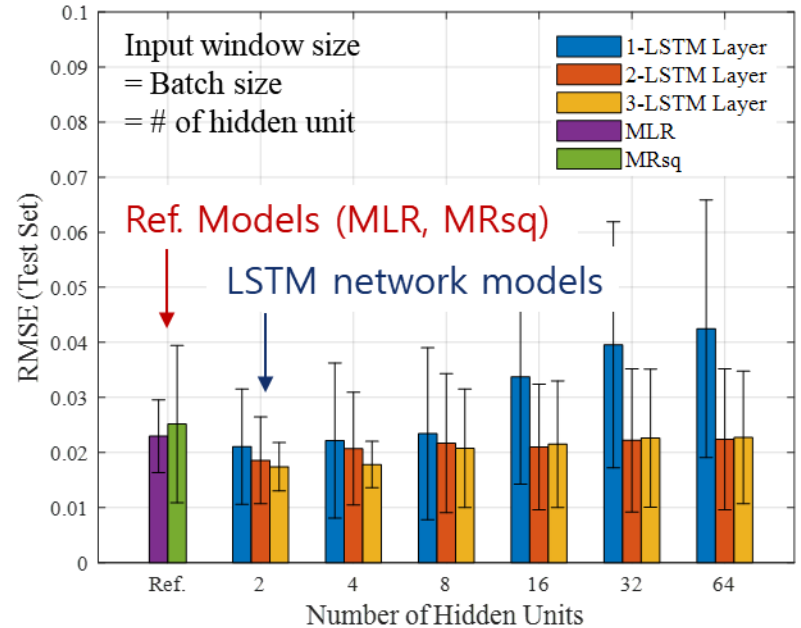
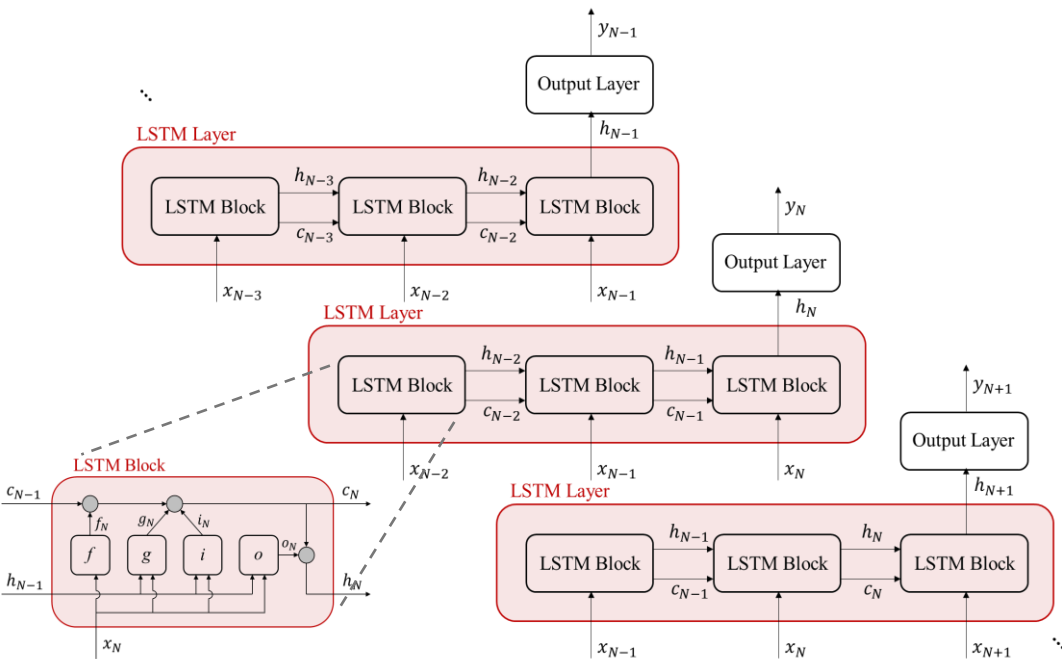
표면 피닝 수행을 통한 잔류응력 제거 및 실험 분석 방법



고온고압 부식 실험 장비 (360°C, 200bar, 수천시간)

시계열 피로데이터를 활용한 잔여수명 예측

- 원자력발전소 주요 구조재의 피로 데이터를 가공 후, 잔여수명 예측 연구 수행
- 재료 부식 실험 수행뿐만 아니라, 결과를 통한 연구
- 딥러닝을 활용하여 부식 모델을 개발하여, 원자력발전소 주요 구조재료 수명을 확인함







무봉산 KOH 수화학 모사환경에서의 i-SMR 구조재료 내구성 평가

- 과제명 : 혁신형 소형모듈원자로 (i-SMR) 구조재료 내구성 평가
 - 연구기간 : 2022. 10. 01 ~ 2024. 09. 30. (총 24개월)
 - 연구배경
 - SMR은 간소화, 재료의 안전성 및 경제성 확보를 위해 무봉산 운전 채택
 - SMR 수화학 제어는 구조 재료의 부식 손상을 최소화하는 것이 목적
 - 단순화가 요구되는 잠수함 및 선박용 원자로는 무봉산 pH 제어제로 LiOH에서 KOH를 사용하는 추세
- SMR의 수화학 관리 전략을 위한 무봉산 KOH 환경에서 구조재료의 부식 거동에 대한 자료 확보 필요

무봉산 노심 설계의 장점

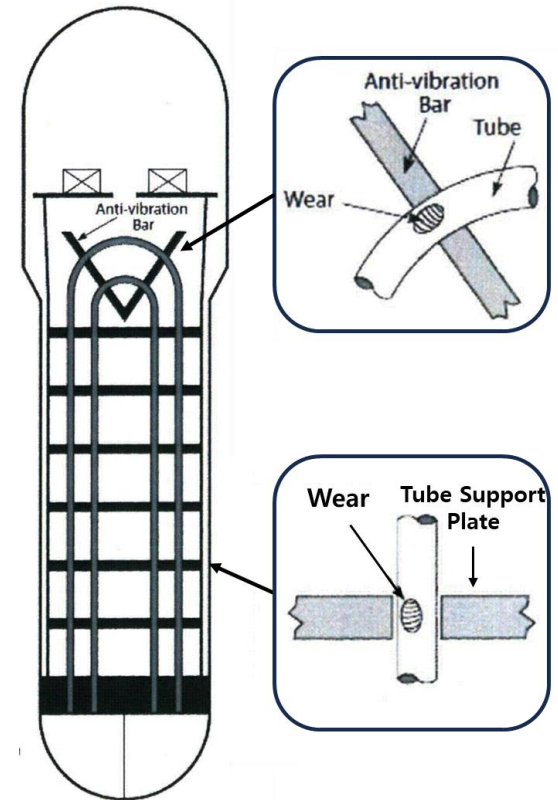
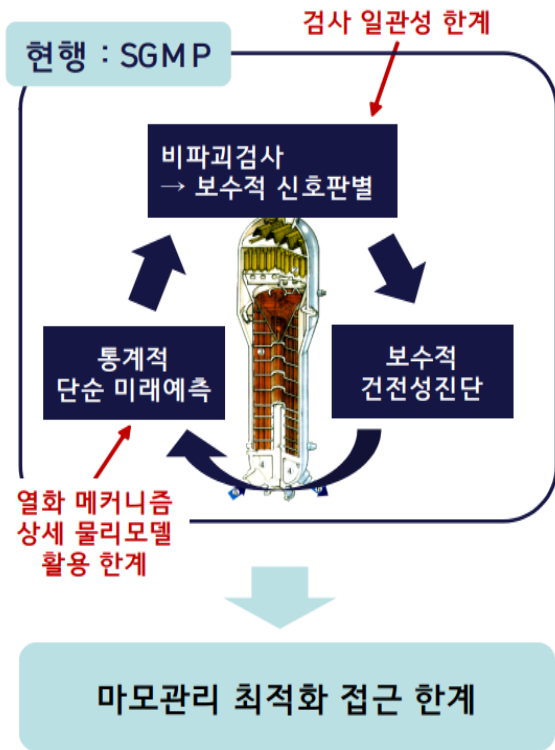
-  피복관 축방향 출력 불균형 완화 → 안전성
-  화학적 체적 계통(CVCS) 간소화 → 간소화
-  액체 폐기물의 발생량 감소 → 경제성
-  원자로 고유안전성 향상 (음의 감속재온도계수)

pH 조절제 KOH의 적용

-  LiOH(Li-7) 수급 문제 해결 → 경제성 향상
-  Zr 합금 부식속도 완화 → 피복관 건전성 향상
-  구조 재료의 일반 부식 및 SCC에 관한 자료
-  틸새 수화학 및 부식 거동에 관한 자료

가동원전 증기발생기 전열관 최적 마모관리 알고리즘 개발

- 증기발생기 전열관과 지지 구조물 접촉으로 인한 마모 발생
- 비파괴검사 데이터를 기반으로 하는 전열관 마모 예측
- 마모 예측을 통해 증기발생기 전열관 건전성 확보 및 안전성 향상



증기발생기 전열관 마모

기타 수행 연구

공군 대기부식 실험 연구

<공군 대기부식환경 측정 시편/센서>

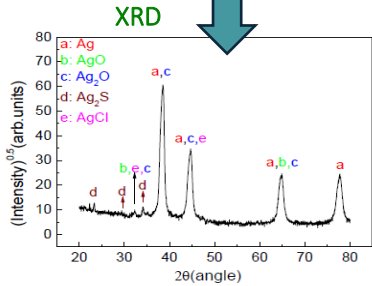
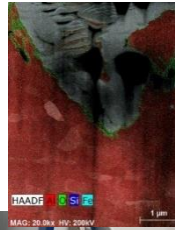


거치대 및 센서 형상



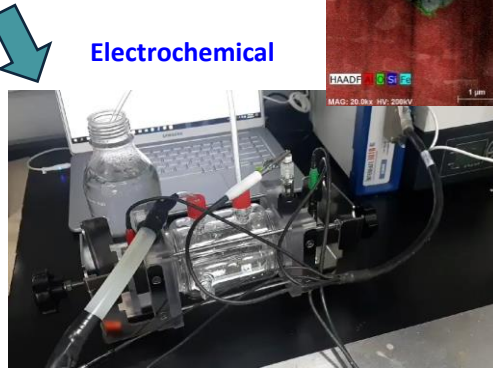
시편카드 형상

TEM

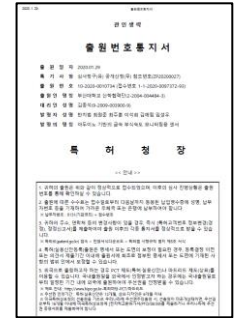
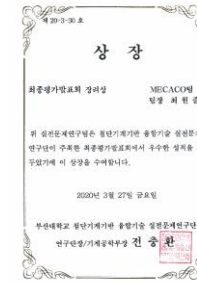
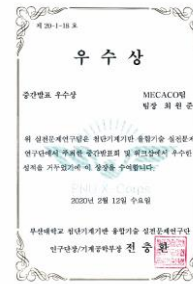


외부 노출된 은(Ag)시편의 XRD

Electrochemical



실전문제연구단



감사합니다

<https://corrosion.pusan.ac.kr/>

E-mail: bahn@pusan.ac.kr

TEL: 051-510-1033