

원전 1등급 기기 결함예방용 표면응력개선 시스템 개발 및 KEPIC 표준화

2024. 05. 10.(금)


CHULHEE CHOI

목차



1 개요

2 표면응력개선기술 과제

- 01 참여기관 구성
- 02 연차별 업적 및 결과
- 03 KEPIC의 역할

3 기술기준 적용방안

- 01 협의사항 및 적용내용

4 결론 및 기대효과





1. 개요

01 과제 개요

1. 개요

01 과제 개요

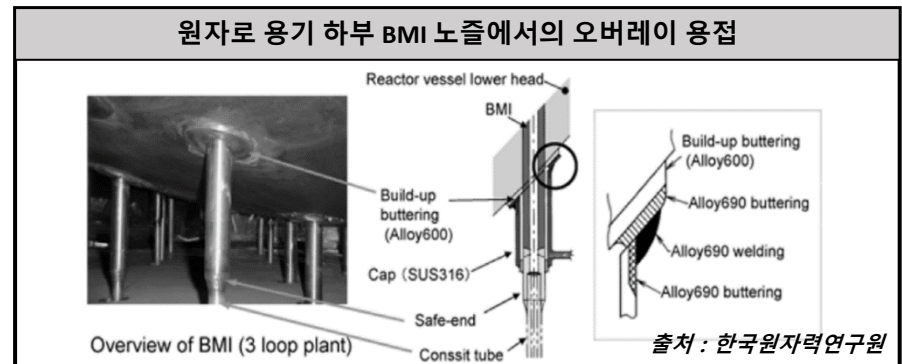
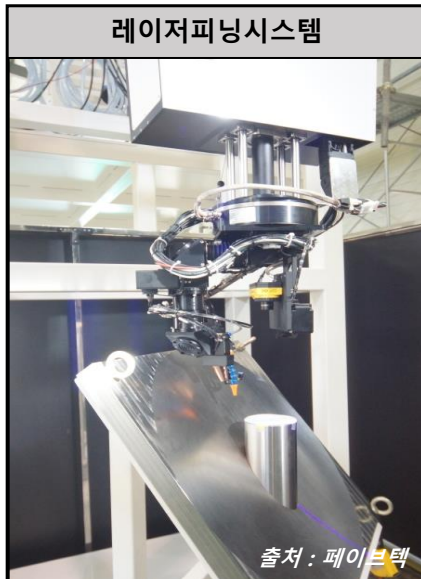


■ 연구개발기술의 정의

- ✓ 레이저피닝시스템 / 초음파나노표면개질시스템을 통한 가동 중 원전 및 신규 제작원전의 표면응력개선 기술 획득
- ✓ 국내 원전에 적용할 수 있는 **KEPIC 기술기준안**을 확보

■ 연구개발과제의 배경

- ✓ 가동 중 원전의 하부 BMI 노즐에서의 PWSCC에 의한 누설
 - [해외] 미국 Texas 1호기 Takahama 1호기
 - [국내] 고리 2호기 원자로 하부헤드 관통관 봉산수 누설
- ✓ 이종용접부 Nozzle 용접부의 PWSCC에 의한 결함 발생
 - [해외] 미국 Braidwood 2호기, Joseph 1호기 등
 - [국내] 고리 1-4호기, 한빛 1-6호기 등



1. 개요

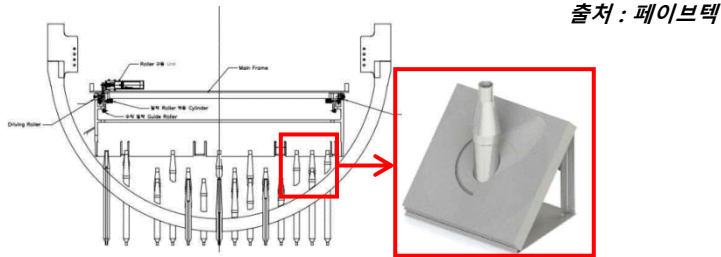
01 과제 개요



레이저피닝(LP) 적용 시 예상효과

- ✓ (유연성) 좁고복잡한 구조물에도 적용 가능
- ✓ (수명 연장) 압축잔류응력 분포가 크고 깊어 PWSCC방지

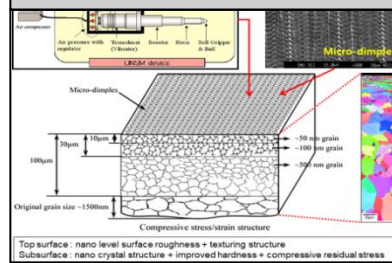
레이저피닝 Delivery Manipulator 시스템 하부



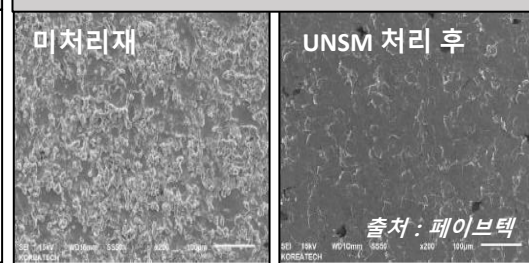
초음파나노표면개질(UNSM) 적용 시 예상효과

- ✓ (구조적 안전성) 초음파나노표면개질 후 표면층은 나노결정조직으로 개질됨과 동시에 압축잔류응력 형성

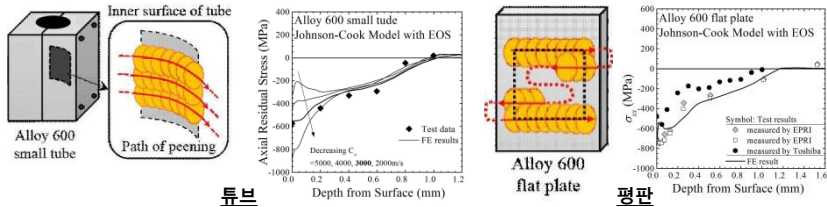
UNSM 적용 시 구조적 영향



표면조직분석 (SEM)



레이저피닝 실험 개략도 및 검증



구배구조(Gradient structure) 측면

- 나노 결정구조
- 깊은 압축잔류 응력 형성
- 마이크로 디ンプル 표면형성
- 표면 거칠기 개선

성능개선(Performance Improvement) 측면

- LCF, HCF, VHCF 강도
- 응력부식균열 저항성
- 부식 저항성

연구과제의 필요성

- ✓ 원전주요기기의 표면응력개선 기술 적용에 따른 원전의 안정적인 운영 및 사회적/경제적 손실을 선제적으로 예방하기 위함
- ✓ KEPIC에 적용하여 국내기술기준을 마련하여 원전의 안정적인 운영을 도모하고 가동원전유지보수의 기술적 자립을 이루기 위함

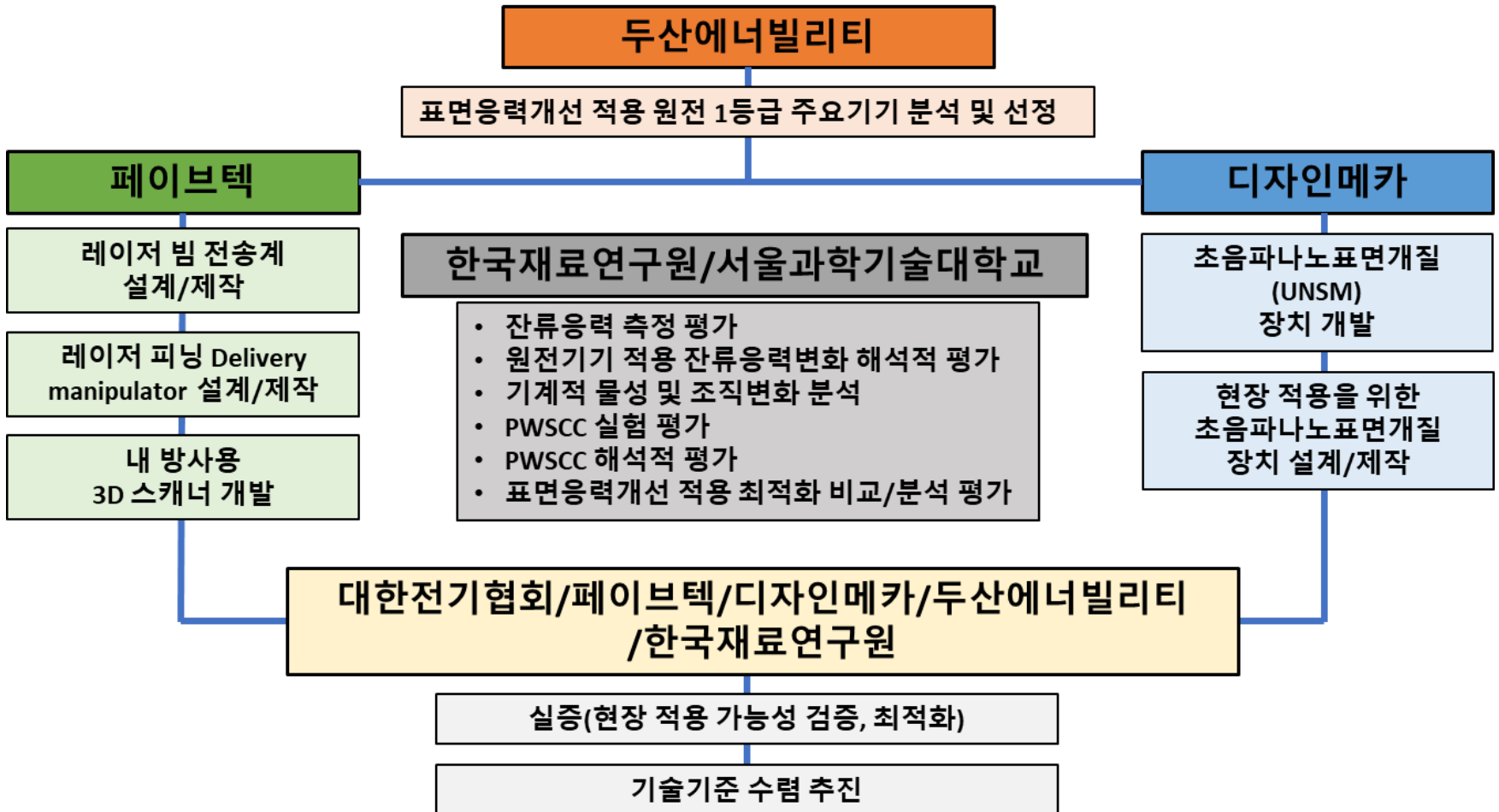


2. 표면응력개선기술 과제

- 01 참여기관 구성
- 02 연차별 업적 및 결과
- 03 KEPIC의 역할

2. 표면응력개선기술 과제

01 참여기관 구성


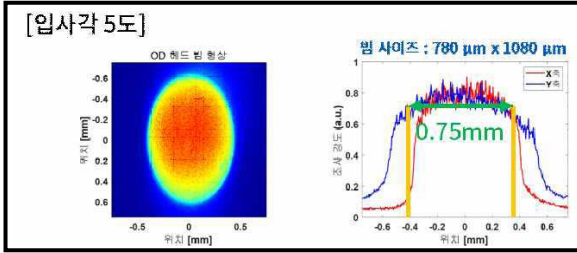


2. 표면응력개선기술 과제

02 주요업적 및 결과



▪ (1단계-1-4차 년도) 레이저피닝

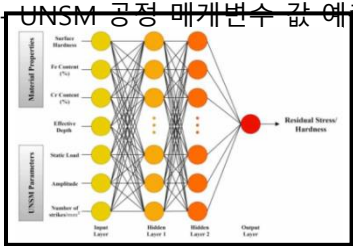
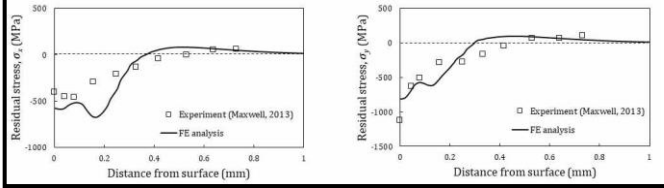
참여기관	페이브텍(주)	두산에너지빌리티	주요결과물
주요업적	1) 실증 시험용 시스템 제작	1) 피닝시스템 성능평가	◆ 정성적 연구성과 <ul style="list-style-type: none"> 실무위원회 운영 산업계 검토 및 공청회 개최 표면응력개선 R&D 중간결과 반영된 KEPIC 기술기준 초안 작성
	2) Mock-up 제작 및 설치	2) 실증시험	
세부사항	실증 시험용 시스템 제작 - Delivery Manipulator 하부 설계, 제작 	피닝시스템 성능평가 - 피닝 대상과의 최적 거리 산출 = 3.4mm - 입사각도와 최적거리에서의 에너지 균일성 범위 확인 = 0.75mm - 제작시편에 대한 시편 경도확보 = ~210HV - 제작시편에 대한 표면 거칠기 만족 = 0.6Ra 	◆ 정량적 연구성과 <ul style="list-style-type: none"> 해당사항 없음
	Mock-up 제작 및 설치 - 실증용 Mock-Up 제작 	실증시험 - 한수원대상 실증시연회 수행 (12월 Mockup 실증시험) - 피닝실증시험조건 사업화시공정의 약 34% 단축 기대	

2. 표면응력개선기술 과제

02 주요업적 및 결과



▪ (1단계-1.4차 년도) 초음파나노표면개질

참여기관	(주)디자인메카	서울과학기술대학교 산학협력단	주요결과물
주요업적	◆ 초음파나노표면개질 공정 조건 최적화	◆ 초음파나노표면개질 공정 모사를 위한 Sub-model 기법 적용	◆ 정성적 연구성과
	◆ 27kHz 용 transducer 개발 ◆ 실제품 시험 평가	◆ BMI용접부에 대한 UNSM 공정 모사 해석기법 적용	▪ 실무위원회 운영 ▪ 산업계 검토 및 공청회 개최 ▪ 표면응력개선 R&D 중간결과 반영된 KEPIC 기술기준 초안 작성
세부사항	UNSM 공정조건 최적화 - ANN(Artificial Neural Network, 인공신경망) 모델 구현 UNSM 공정 매개변수 값 예측 가능 	공정 모사를 위한 Sub-model 해석기법 정립 - 특정 영역의 세부 해석결과를 컴퓨터를 사용하여 가상으로 재현 - 방법 1) 정확한 잔류응력 계산을 위한 재료모델 선정 : -> Combined hardening, Rate dependent - 방법 2) 변위계산을 통한 적용 공정 모사 수행 유한요소모델 해석수행 - 구조를 유한 요소로 나누어 수학적 모델링하는 컴퓨터 기반 계산 기법	◆ 정량적 연구성과
	진동자(Transducer) 개발 및 실제품 시험 평가 - Transducer 개발 및 Mock-up 제작	 실험 및 유한요소모해석을 통한 압축 잔류응력 결과 비교	• 해당사항 없음

KEPIC의 주요 업무

- ▶ 실무위원회 및 검토위원회 운영
- ▶ 산업계 검토 및 공청회 개최
- ▶ 표면응력개선 R&D 중간결과 반영된 KEPIC 기술기준 초안 작성

실무위원회 및 검토위원회 운영

- ◆ 1차 표면응력개선 기술표준 실무위원회 (23.08.11.)
- ◆ 2차 표면응력개선 기술표준 검토위원회 (23.11.10.)
- ◆ 3차 표면응력개선 기술표준 실무위원회 (23.11.09.)
- ◆ 4차 표면응력개선 기술표준 실무위원회 (24.02.22.)
- ◆ 5차 표면응력개선 기술표준 실무위원회 (24.03.28.)
- ◆ 6차 표면응력개선 기술표준 실무위원회 (24.04.29.)

회의 결과 : ASME Code Case 2건 개정안

1. ASME Code Case N-729-6
2. ASME Code Case N-770-6

R&D 중간결과물

- 두산에너빌리티
 - 1) 피닝 및 초음파나노표면개질 작업절차서 작성
 - 2) 표면응력개선 적용 최적화
- 재료연구원/서울과학기술대학교
 - 1) 잔류응력 측정 평가
 - 2) PWSCC 실험 평가
 - 3) 기계적 물성 및 조직변화분석
 - 4) PWSCC 해석적 평가

기술기준초안작성

- ❖ 적용사례 2건 개정
 - KEPIC-MI-C-172-5
 - KEPIC-MI-C-178-3



3. 기술기준 적용방안

01 협의사항 및 적용방안

02 예상결과물

3. 기술기준 적용방안

01 협의사항 및 적용방안



KEPIC 적용사례 (ASME Code Case) 2건 개정 : **KEPIC-MI-C-172-6**

➤ 적용사례(Code Case) 란?

전력기준의 불충분한 요건의 보완이 필요하거나, 긴급히 필요한 신규 요건을 규정하고자 할 때 또는 전력기준 요건의 의미를 명확히 할 필요가 있는 경우 발행

ASME Code Case N-729-6	
개요	<ul style="list-style-type: none"> inspection of pressurized water reactor (PWR) reactor vessel upper heads with J groove welded nozzle penetrations made with specific nickel-base alloy materials
목적 구성	<p>- Subject</p> <ul style="list-style-type: none"> Alternative Examination Requirements for PWR Reactor Vessel Upper Heads With Nozzles Having Pressure-Retaining Partial-Penetration Welds <p>- Inquiry -> Reply</p> <p>1.0 SCOPE AND RESPONSIBILITY</p> <p>2.0 EXAMINATION AND INSPECTION</p> <p>3.0 ACCEPTANCE STANDARDS</p> <p>4.0 APPENDIX I MANDATORY</p> <p>5.0 APPENDIX II MANDATORY</p>



(개정) KEPIC-MI-C-172-5	
제한사항	<ul style="list-style-type: none"> 국내 기술기준에는 BMI에 대한 적용 사례가 없음
개정	<ul style="list-style-type: none"> BMI 적용 그림 추가(예시) <div style="text-align: center;"> </div> <p>가압경수형 원자로용기 상부 헤드의 육안검사 범위 적용</p>

3. 기술기준 적용방안

01 협의사항 및 적용방안



▪ KEPIC 적용사례 (ASME Code Case) 2건 개정 : **KEPIC-MI-C-178-2**

ASME Code Case N-770-6	
개요	<ul style="list-style-type: none"> inspection of PWR dissimilar metal piping butt welds made with specific nickel-base alloy materials
목차 구성	<p>- Subject</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ Alternative Examination Requirements and Acceptance Standards for Class 1 PWR Piping and Vessel Nozzle Butt Welds Fabricated With UNS N06082 or UNS W86182 Weld Filler Material With or Without Application of Listed Mitigation Activities KEPIC MI, Division 1 <p>- Inquiry -> Reply</p> <p>1.0 SCOPE AND RESPONSIBILITY</p> <p>2.0 EXAMINATION</p> <p>3.0 ACCEPTANCE STANDARDS</p> <p>- APPENDIX I</p>

1-1000 PERFORMANCE CRITERIA
<p>I-1110 For peening, demonstration testing shall confirm the nominal depth of the compressive residual stress, exclusive of normal operating stresses, produced by the peening technique is at least 0.04 in. (1.0 mm), unless the alternative of I-1120 is used.</p>



(개정) KEPIC-MI-C-178-3	
개선사항	<ul style="list-style-type: none"> • 연구과제 중간결과 도출 ➢ 현재 과제에서 도출된 UNSM 및 레이저 피닝을 적용할 시, 적용부의 압축 잔류 응력의 공칭 깊이는 최소0.04인치(1.0mm)를 만족
개정	<ul style="list-style-type: none"> • 해당문구 추가 ➢ “단, [연구 개발]된 피닝 방법 및 절차 사용 시 입증시험을 제외한다



4. 결론 및 기대효과

4. 결론 및 기대효과

01 결론 및 기대효과



■ 결론

• 표면응력개선기술 연구과제 수행

- 적용사례 2건 개정도출
 - KEPIC-MI-C-178-3
 - KEPIC-MI-C-172-5



- 국내 가동중검사 적용사례 적용
 - > (BMI 내용 적용) 국내 적용사례 도출
 - > (LP 및 UNSM 기술 포함) 적용사례 도출

■ 기대효과

- 가동 중 원전의 주요 기기 중 BMI 노즐에 대한 레이저피닝 기술을 적용을 통한 PWSCC의 발생 요인을 저감
- 초음파나노개질 시스템의 개발을 통한 신규 원전의 입출구 노즐에 대한 표면응력 개선 효과
- 레이저피닝 및 초음파나노개질 시스템 개발 및 제작을 통한 신규 고용 창출효과
- 가동 및 신규 원전의 수명 연장 및 노후화에 따른 가동 정지 등에 의한 사회적 불안감 및 경제적 손실을 절감

감사합니다.

