

10대 핵심유망기술 소개

2015. 6. 30. 11:00

서울대학교 원자핵공학과
서 동 운

Contents



2차 설문조사 통계



10대 핵심유망기술 소개

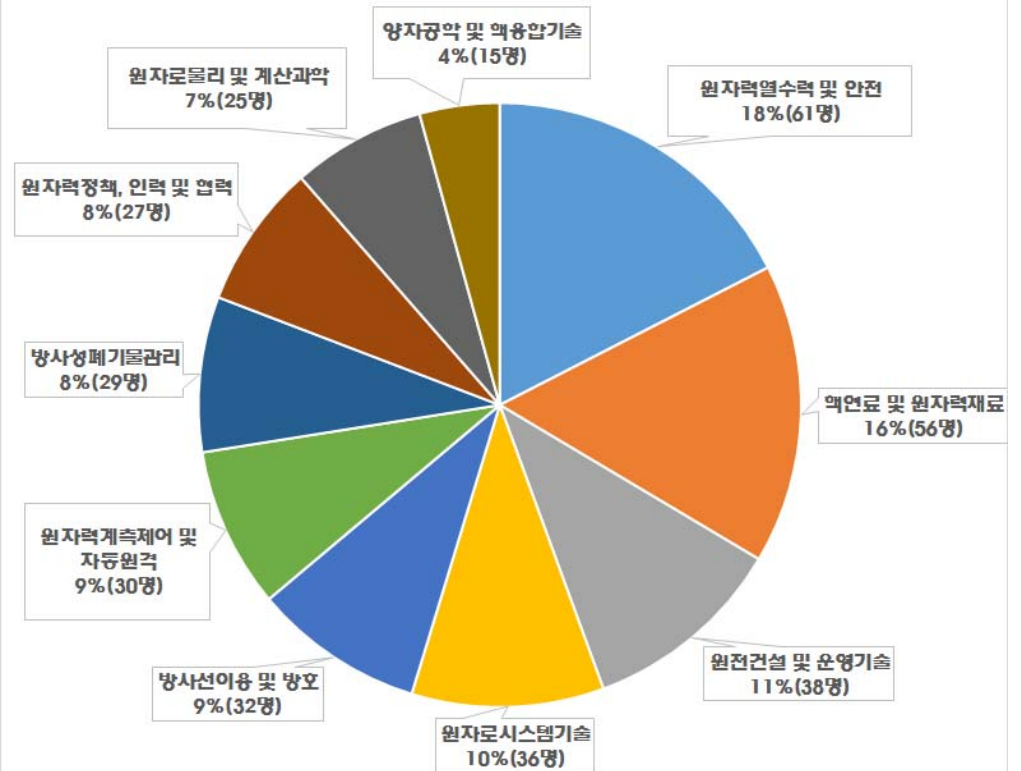
2차 설문조사 통계

2차 설문조사 통계

10대 핵심유망기술

- ❑ 원전해체 제염기술
- ❑ 초소형원자로 설계기술
- ❑ 중대사고 피동형 대응설비 개발 기술
- ❑ 고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술
- ❑ 방사성폐기물 부피감용 기술
- ❑ 중대사고 환경에서 필수기기의 가용성 확보기술
- ❑ 장수명 주요 원전기기 재료 수명예측 및 열화 방지 기술
- ❑ 핵연료 손상 실시간 탐지 기술
- ❑ 고온계측 및 센서 개발요소 기술
- ❑ 로봇활용 원격절단 기술

KNS 연구부별 2차 설문조사 응답 분포도



KNS전회원(약 3천명) 중 349명(약 11%) 답변

원전해체 제염기술

원전해체 제염기술

기술의 정의 및 성격

● 제염(Decontamination)의 정의

- 지역, 시설 혹은 장비의 표면으로부터 오염제거
- 계통, 기기 및 구조물의 표면에 오염된 방사성물질을 기계적 및 화학적 방법으로 제거하는 기술

● 제염(Decontamination)의 목적

- 작업자의 방사선 피폭 저감
- 방사성폐기물 발생량 저감

기술개발의 필요성

● ALARA 원칙 (As Low As Reasonably Achievable)

- 원자력시설 해체 작업자의 방사선피폭 최소화

● 방사능 확산을 억제

- 원전 인근 부지 및 주변지역의 방사성 오염방지

● 폐기물의 방사능 농도 저감

- 자체처분 또는 재활용 가능
- 방사성폐기물의 발생량 최소화

기술개발현황

● 국내현황

- ❶ 한수원 – CO2 펠렛 제염, 화학제염, 고압수 분사, 초음파 세정, 스팀분사, 전해 제염 등 다양한 기술 수행 경험
- ❷ 한전 KPS – 희석식 화학제염, 공정수 정화처리 등 40회 이상 현장 적용
- ❸ 두산중공업 – 대형 증기발생기 처리를 위한 절단 및 절연관 표면 제염기술 개발 중
- ❹ 한국원자력연구원 – 연구로 1, 2호기 폐로, 우라늄 변환시설 해체 과정에서 제염기술 개발 수행

● 국외현황

- ❶ 미국 – 건식제염기술, 레이저 · 플라즈마 이용 제염공정 개발 중
- ❷ 독일 – Greisfald 원전 (제염-절단 workshop 통한 금속폐기물 처리공정 개발-1995)
- ❸ 일본 – JPDR 해체 시 NP/NS-1 제염기술 개발(1996), 연속적인 2단계 제염공정으로 효율성 높임

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

- 다양한 제염기술 국내 개발 상태이나 실용화 단계 거친 선진국과 다소 격차
- 절단, 원격 제어 등 연관 기술과의 융합
- 기존 기술 보완하는 신기술 확보
- 안전성 평가기술 및 검증기술의 확보

초소형 원자로 설계 기술

초소형원자로 설계기술

기술의 정의 및 성격

● 초소형 원자로

- 수십 kWe에서 수십 MWe 출력 범위의 원자로
- 동위원소전지 출력 ~ 중소형 원자로
- 초장주기 핵연료 사용 공랭식 완전피동 안전 원자로

● 원자로소형화 필요 기기 및 계통 기술

- 대형 트럭 장착 및 운송 가능한 개념
- 완전 피동안전 냉각시스템기술 필요

기술개발의 필요성

● 소규모 전력 및 열공급

- 섬, 오지, 광산, 극지방, 비상용
- 해저전력원, 우주용 및 달탐사용

● 새로운 시장 창출 가능

- 소형화 기기 및 계통 기술
- 일반 원자로 비해 적은 예산

● 장거리 연료운송 문제 대안

● 높은 안전성으로 사고 시 대처 용이

초소형원자로 설계기술

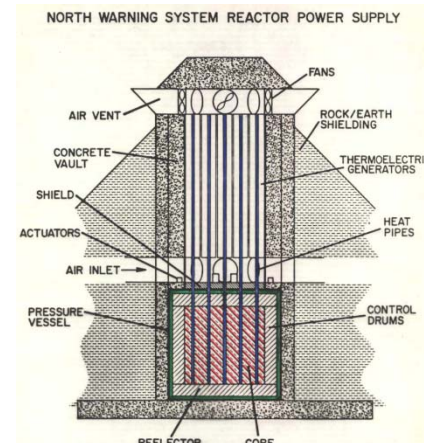
기술개발현황

● 국내현황

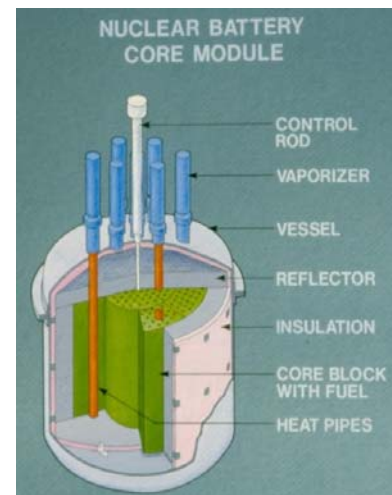
- 한국원자력연구원 - SMART 일체형 경수로

● 국외현황

- 미국 - 캐나다 NWS 원자로 공동 연구 (84'~87') : 우주용 원자로 개념 도입
- 캐나다 - Nuclear Battery 연구(84'~87') : 미국-캐나다 공동 연구 이후 단독 수행
- 러시아 - 군사용과 오지 전기 공급용 개발 중 중단



출력	20kWe (20yr)
연료	TRISO 코팅입자
열수송	K(칼륨) 열전도관
발전	열전소자
비상 냉각	공기 자연대류
용도	North America 레이더 전력원



출력	600kWe (15yr)
연료	TRISO 코팅입자
열수송	K(칼륨) 열전도관
발전	증기터빈
용도	북부 분산 전원

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

● 기술 개발 및 상용화 실현

- 소형화 따른 적은 예산(100M\$)으로 개발 및 제조(20~30M\$) 가능
- 기술 개발 및 인허가 완료에 10년 예상
- 제작, 실증, 건설에 5년 예상
- 기존 국내 축적 원자로기술 활용(경수로, SMART, VHTR, SFR 기반)
- 필요 부분 기술은 국외 협력 이용

● 국내 타 산업 분야 기술기반 활용 및 연계

- 열전현상을 이용한 발전(전기 연구원 등)
- IT 기반 기술 접목

중대사고 피동형 대응설비 개발 기술

중대사고 피동형 대응설비 개발 기술

기술의 정의 및 성격

- 원자로 내부 잔류 노심용융물로부터 원자로 보호
- 원자로 용기 파손 시 노심용융물로부터 격납건물 보호
- 외부 전원이나 운전원 조치 무의존
- 장기간 냉각 및 안정화 대처 설비

기술개발의 필요성

- 능동형 안전설비와 비교 시 낮은 고장성, 높은 발전소 동작 신뢰성
- 후쿠시마 사고 이후 안전계통과 마찬가지로 피동화 요구 증대

중대사고 피동형 대응설비 개발 기술

기술개발현황

● 국내현황

● HMS (Hydrogen Mitigation System)

- 26개 Passive Auto-catalytic Recombiner(PARs)와 10개 igniter로 구성
- 수소 농도 조절 가능

● CFVS (Containment Filtered Ventilation System)

- Containment building 압력 상승 시 scrubber 통한 fission product 필터링
- 99% 방사능 물질 감소 후 방출

● 국외현황

● 프랑스 – EPR-Core catcher

- 원자로 하부 철제 용기 노심용융물 수용 후 core catcher로 이동 후 냉각, 열감지 스프링밸브

● 미국-일본 – ESBWR의 중대사고 대처설비

- 원자로 하부 원형 철제 용기, 열감지 가스 추진형 밸브

● 러시아 – VVER-1000 노심용융물 설비

- 원자로 하부 냉각설비 있는 도가니 형태 용기

중대사고 피동형 대응설비 개발 기술

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

● Core catcher – 궁극적인 최종 열침원 불가

- 피동격납건물 냉각계통 개발이 선행
- 노심용융물의 재임계 방지 위한 Core catcher 용기 설계 필요
- 운전원 조치 없는 안정적 운전 가능한 설계
- 노심용융물과 냉각수의 직접적인 접촉 차단, 증기폭발 가능성 배제

● IVR-ERV(In-Vessel Retention-External Reactor Vessel Cooling)

- Core catcher와 함께 다중방어 설계 가능

고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술

고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술

기술의 정의 및 성격

- 발전소 상태 파악 시 사각지대 발생 방지
- 운전과 정비 작업 시 인적 오류 저감하는 정보 제공
- 발전소 불시정지 횟수 저감 또는 노심손상 가능성 저하
- 사업자 측면 예방적 안전관리 및 규제 측면의 모니터링에 필수적인 기술

기술개발의 필요성

- 원자력 시스템의 디지털 기술 정착 예상되며 타 분야 IT기술 접목 예상
- 디지털 기술 도입으로 대용량 정보 획득 가능
 - 정확하고 광범위한 고장모드 조기 검출 기술 확보 필요
 - 센싱 가용성 또는 고장모드 검출 알고리즘에 대한 기술 확보 필요
 - 통합시스템 구축으로 운전 및 정비 최적화 기여에 필요한 의사결정 절차 구축

고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술

기술개발현황

● 국내현황

- 기술에 대한 낮은 인지도
- 타 분야 전문가와 연계연구 부족
- 상용화 위한 데이터 활용 연구가 필수적이지만 데이터 활용의 어려움 직면

● 국외현황

- 전반적인 기술 저변은 비슷
- 상용화 위한 산업구조 작동
 - 연구로 또는 상용로 등 원자력 시스템에 적용 결과 존재
- 개발된 기술을 원자력 국한하지 않고 일반 산업분야로 넓혀 시장성 확보 경향

고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

- 전문가 그룹 활용한 연계 연구 필수적
- 계측제어 역할 중요성 인식 개선과 광범위한 협업 필요
 - 노심, 재료, 열수력, 안전해석, 데이터 해석, 소프트웨어 개발
- 상용화 위해서는 사업자의 선제적 데이터 공유 통한 연구자와의 협업 필요
 - 개발된 제품 활용해 보는 트랙 레코드 중요
- 기술의 기여도 확인 연구주제 착수와 타 분야로의 기술확산 되도록 R&D 수행
- 규제기관의 인허가에 대한 적극적인 자세와 인허가 관점에서의 구체적인 기술적 난제 해결 위한 R&D 필요

방사성폐기물 부피감용 기술

방사성폐기물 부피감용 기술

기술의 정의 및 성격

- 방사성폐기물의 부피 줄여 처분장 공간의 효율적 사용
- 고체폐기물이 부피감용의 주요 대상
- 액체 및 기체 폐기물 경우 기존 처분해도 작은 부피 차지

기술개발의 필요성

- 고리1호기 폐로 확정으로 가까운 장래에 국내 원전해체 수행
- 해체 과정 및 원자로 가동 과정 시 대량의 방사성 폐기물 발생하지만 폐기물 처분 공간은 한정됨
- 제염, 분쇄 등의 공정으로 방사성폐기물 부피감용 기술 필수

방사성폐기물 부피감용 기술

기술개발현황

● 국내현황

- 금속폐기물 용융 기술(연구 미수행)
- 금속폐기물 표면 오염 제거 기술(연구 수행 중)
- 콘크리트폐기물 가열, 분쇄 기술(기술 실증 과정 중)
- 유리화 기술(기술 실증 과정 중)

● 국외현황

- 네덜란드(KEMA) – 방사성 콘크리트 해체 폐기물 감용 및 재활용 처리
- 일본(NUPEC) – 원자력시설 콘크리트 해체폐기물의 저감 및 재활용
- 벨기에(SCK, CEN) – 미량 오염된 방사성 콘크리트의 골재로의 재활용 가능성 평가
- 미국(DOE) – 원자력시설 콘크리트 폐기물의 재활용방안 평가 및 관련 기술 개발
- 스페인(EL Cabril) – 원자력시설 콘크리트 폐기물의 재활용 경제성 평가

방사성폐기물 부피감용 기술

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

- 기술개발의 어려움보다 개발 위한 적극적인 투자 미흡으로 국산화 어려움
- 기술수요의 폭발적 증가 예상으로 기술 경쟁력 확보 필수적으로 요구
- 국가적 지원 필요
 - 국내외 시장 선점 위한 국가 차원 정책 추진 필요
 - 적극적인 연구지원
- 기관별 협동연구 필요
 - 산업체 필요성 공감하지만 국민 반감 대상으로 지속적 연구 어려움
 - 대학 및 연구소 경우 충분한 인적 인프라, 기술력 소유
 - 기관 협력으로 기술경쟁력 및 상용화 시기 단축 기대

중대사고 환경에서 필수기기의 가용성 확보 기술

중대사고 환경에서 필수 기기의 가용성 확보 기술

기술의 정의 및 성격

- 중대사고 방지 및 완화 위해 극한상황 시 필수 계측기 및 기기의 가용성 평가와 동작성 확보 위한 기술
 - 중대사고 환경에서의 기기 성능 실험 및 방법론 필요

기술개발의 필요성

- 후쿠시마 사고 이후 필수 계측기 생존 지속성 및 가용성 문제 제기
- 극한환경 하에서 필수 계기 및 기기 성능 보장 위한 필요 기술
- 중대사고 시 극한환경에 대한 올바른 평가 필요
 - 실험 통한 필수 기기 가용성 평가 필요

중대사고 환경에서 필수 기기의 가용성 확보 기술

기술개발현황

● 국내현황

- 중대사고 환경하에서 기존 사고감시 계측기 생존성 평가 연구 진행
- 기술에 대한 방법론 존재하여 중대사고 환경하에서의 해석 진행 가능
- 중대사고 환경하에서 기기 작동성 실험 시설 거의 전무
- 중대사고 환경하에서 생존 가능 필수 계측기 개발 및 고장·탐지 진단 기술 개발 없음
- 사고 극복 위한 필수기기 가용성 증진 기술 개발 없음

● 국외현황

- 일본 – 사고감시기술 개발 필요성 제기(R&D program for SA-Keisou)
- 유럽 – 데이터 수집 및 처리장치, 무선통신, 이동형 원격 안전감시평가설비 구축
- 미국 – 극한환경 하 임베디드 I&C연구, DBA대비 운전원 지원시스템 자동화 연구, 첨단 인간-기계 연계연구

중대사고 환경에서 필수 기기의 가용성 확보 기술

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

- 중대사고 현상에 대한 이해 증진 필요
- 구체적인 규제 요건의 정립 필요
- 계통/기기에 대한 설계/제작 기술 개발 필요
- 단계별 기술개발
 - 1단계 (5년) – 필수 기기 및 계측기 고장 탐지 및 진단기술 개발
 - 2단계 (5년) – 작동 불가 상황의 극복 필수 기기 및 계측기 다양성 확보 기술 개발
 - 신규 계측 방법론의 개발
 - 필수 기기 및 계측기 극한 환경 극복 기술 개발

장수명 주요원전기기 재료 수명예측 및 열화방지 기술

장수명 주요원전기기 재료 수명예측 및 열화방지 기술

기술의 정의 및 성격

- 재료 열화 메커니즘과 DB 지식에 근거하여 열화 기구별 운전조건 따른 수명예측
- 사전 열화 방지 또는 완화하여 재료 건전성 향상

기술개발의 필요성

- 신뢰성 제고
 - 원전 노후화 인한 재료 손상 대처
 - 원전 계속 운전
- 재료의 수명 연장인한 경제적 이득
 - 원자로의 수명연장, 부품 교체 주기 증가, 가동 원전의 효율 증가
- 국민 원전 수용성 증대

장수명 주요원전기기 재료 수명예측 및 열화방지 기술

기술개발현황

● 국내현황

- In-situ Raman Spectroscopy 통한 응력부식 균열 메커니즘 규명
- 발전소 배관균열 감시시스템
 - 등전위교번식 직류전위차법 – 전압변동 통한 균열부위 실시간 감시
- 2차측 배관감육 모니터링 및 매커니즘 규명
 - 유동가속부식(Flow Acceleration Corrosion)
 - 액적충돌침식(Liquid Droplet Impingement Erosion)

● 국외현황

- OECD/NEA
 - 케이블 손상 원인 데이터 베이스 구축
 - 배관 손상 사고 데이터 수집 및 해석
- DOE
 - 원자로 계속 운전 위한 원자로의 장기간 신뢰성 향상위한 기술 개발

장수명 주요원전기기 재료 수명예측 및 열화방지 기술

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

- 인력 양성에 대한 투자
- 정부 주도의 중장기적인 투자
- 기술 현안의 시급성과 중요성에 따라 단기 목표 설정하여 집중 해결하는 이원적 추진

핵연료 손상 실시간 탐지 기술

핵연료 손상 실시간 탐지 기술

기술의 정의 및 성격

- 원자로 운전 중 실시간으로 핵연료봉의 건전성 여부 감시/판단 기술
- 기술의 한계
 - 1차 냉각수의 방사능 이상 현상 감지
 - 핵연료 피복관 결함 발생하고 성장하여 누설 발생 이후 감지
 - 파괴 및 비파괴검사 통한 핵연료 손상여부 판단
 - 불필요한 핵연료 다발 인출 가능성

기술개발의 필요성

- 운전 중 핵연료 건전성 실시간 파악
 - 재료적 특성 변화 추이 감시로 연료봉 파손 방지 가능
 - 연료봉 파손 시 파손 정도의 실시간 파악으로 신속 조치 가능
 - 손상 핵연료의 정확한 파악으로 핵연료 추가 검사 불필요

핵연료 손상 실시간 탐지 기술

기술개발현황

● 국내현황

- GFP(Gaseous Fission Product monitoring) System – 감마방출 핵종 측정
- DN(Delayed Neutron monitoring) system – 지발중성자 측정
- 비파괴 검사(초음파 검사(UT), 와전류검사(ECT), 방사선투과 검사(RT, CT))
 - 핵연료 제조 또는 교체 시

● 국외현황

- Westinghouse
 - Thermo-acoustic monitoring technology – Heat fluctuation 계측 통한 감시
- INL
 - Sound monitoring – Heat fluctuation 계측 통한 감시
- GE
 - 3Dmonicore – 중성자 계측 데이터 통한 감시
- Mitsubishi
 - VISION – 중성자 계측 데이터 통한 감시
- NEL
 - On-line core monitoring system – 중성자 계측 데이터 통한 감시



핵연료 손상 실시간 탐지 기술

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

● 협동연구

- 원자로 환경하에서 핵연료 피복관 손상 메커니즘 규명
- 재료 실험 데이터베이스 확보 및 안전계통과의 연계 분석
- 신형 원자로 재료에 부합한 감시 방법 연구

● 기술세분화

- 핵연료 조사특성 계측 기술 개발
- 계측 신호선 취급 및 신호 처리기술 개발
- 중간검사용 핵연료봉 취급 및 장탈착 기술 개발

고온계측 및 센서 개발요소 기술

고온 계측 및 센서 개발요소 기술

기술의 정의 및 성격

● 고온 환경에서 물리적인 값을 측정하는 기술

- APR, GEN IV Reactor, Fusion Reactor 등의 고온, 고압, 고방사능 환경
- 소형화를 통해 측정 결과 센서 영향 최소화
- 측정값의 높은 정확도, 신뢰성
- 넓은 계측 범위, 실시간 측정

기술개발의 필요성

- 차세대 원자로 고온, 고압, 고방사능 환경에 대한 연구 필요
- 중대사고 시 실시간 계측 가능 센서 개발 요구
- 원자로 기기 및 재료의 건전성 확인 필요

고온 계측 및 센서 개발요소 기술

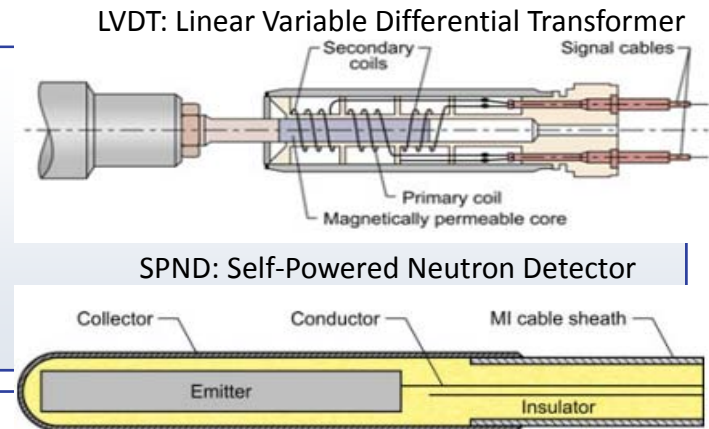
기술개발현황

● 국내현황

- ❖ LVDTs(Linear Variable Differential Transformer)
- ❖ SPNDs(Self-Powered Neutron Detector)
- ❖ Flux wires, Thermocouples and melt wires

● 국외현황

- ❖ SCK·CEN(Belgium) – SPNDs, LVDTs, Flux wires/foils and melt wires
- ❖ CEA(France) – SPNDs, Fission chambers, SPGDs, Activating foils, Gamma calorimeter, Noise thermometry etc.
- ❖ JAEA(Japan) – SPNDs, LVDTs, Flux wires, Fission chambers etc.
- ❖ IFE/HRP(Norway) – LVDTs, Gamma thermometer, Eddy-current probe etc.
- ❖ INL(US) – Melt wires, Hot-wire probe, Ultrasonic transducers etc.
- ❖ NRG(Netherlands) – SPNDs, Flux wires, Silicon chip transducer etc.



고온 계측 및 센서 개발요소 기술

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

● 고온 계측 센서 - 재료 · 교정 · 실시간 계측

- 장기적인 관점에서 재료 개발 필요
- 소형화 통한 교정 향상 필요
- 수많은 feasibility study 수행 중

● 대상의 구체화 및 연구 분야의 세분화

- 구체적인 계측 목적과 범위 설정 필요
- 타 분야와의 협업 통한 연구 수행

로봇활용 원격절단 기술

로봇활용 원격절단 기술

기술의 정의 및 성격

- 다자유도 매니퓰레이터를 갠트리, 크레인, 모바일 플랫폼에 장착하여 원격절단에 투입하는 기술
 - ▣ 로봇 활용한 고온, 고압, 방사성 환경하에서 핵연료 교체, 결함 검사, 보수 등 수행
 - ▣ 로봇 활용 원전 대형기기 원격절단 필수적

기술개발의 필요성

- 후쿠시마 사고 이후 극한 상황에서 큰 유용성 기대
- 원전해체 수요 증가로 인한 시장성장의 기대
- 원전해체 시 방사성폐기물 부피감용 용이성

기술개발현황

● 국내현황

- 실감형 원격절단 시뮬레이터(완료) – 시뮬레이션 통한 시나리오 분석
- 고자유도 원격절단 통합평가 기술(2016) – 공정의 경제성, 안전성 정량화 기술
- 기계적 절단 기술(2018) – 산업현장 검증 필요
- 원격 해체 장비 내방사화 기술(2019) – 10kGy, 1000tlrks 건전성 확보 목표
- 3D Human machine interface 기술(2019) – 3차원 형상인식 기술
- 고하중 취급 원격정밀 제어기술(2021) – 유압식 매니퓰레이터 상세설계 완료
- 열적 절단 기술(2021) – 레이저를 이용한 수중절단

● 국외현황

- 프랑스(CEA), 미국(ANL) – 유압 이용 매니퓰레이터 개발
- 일본 – 전기모터 이용 매니퓰레이터 개발
- 수중절단 기술 개발중 – 수중 3차원 정밀인식 기술 개발 미비

10년 이내 개발 위한 대책 및 방법

- 요소기술 개발과 실증센터 건설을 동시 수행
 - 2021년 기술 완성 목표
 - 2023년부터 10년간 시범해체사업 수행 예정
- 실증센터 위한 산학연 협력
- 시범사업 위한 인허가 절차의 효율적 수행 중요

