

# 원자력연구개발 5개년 계획(안)

- 계획 기간 : 2017년 ~ 2021년 -

2017. 1. 16.

미래창조과학부 · 산업통상자원부

# 목 차

I . 개요 .....	1
II . 국내 · 외 환경분석 .....	2
III . 비전 및 목표 .....	6
IV . 분야별 추진내용 .....	7
V . 투자규모 .....	33
VI . 기대성과 .....	34
<붙임1> 제4차 계획기간 중 R&D 추진실적 .....	35
<붙임2> 24개 과제별 기술개발 로드맵 .....	42

# I. 개요

□ 계획명 : 원자력연구개발 5개년계획 (2017~2021)

□ 수립근거

- 원자력진흥법 제9조(원자력진흥종합계획의 수립) 및 제10조(종합계획의 시행)
- 제 5차 원자력진흥종합계획을 체계적으로 이행하기 위한 연구개발 계획 수립

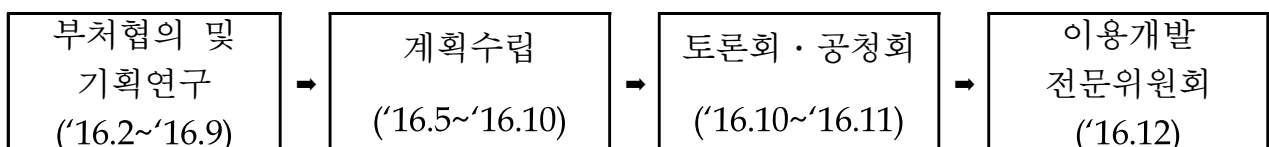
□ 주요내용

- 국내·외 정책 환경 변화와 원자력이용개발 현안에 적극 대응하기 위해 향후 5년간 중점 추진분야 및 과제 도출
- 5개 분야 24개 추진과제

□ 의의 및 성격

- 원자력진흥종합계획, 과학기술기본계획 및 에너지기본계획 등 국가 정책 이행을 위한 원자력분야 최상위 연구개발 계획
- 원자로 개발, 원전 운영, 해체, 사용후핵연료, 방사선 이용·관리 등을 종합적으로 포함하는 원자력분야 전주기 연구개발 계획
- 원자력 관련부처·기관 간 연계 강화를 통한 사업성과 향상을 위해 미래부·산업부가 공동으로 수립하는 연구개발 계획

□ 추진경과

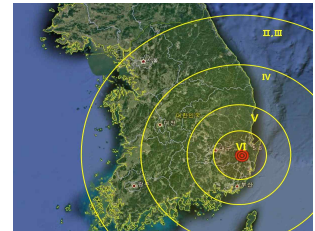


## Ⅱ. 국내 · 외 환경분석

### 1. 국내 R&D 정책환경

- 경주지진(규모 5.8, '16.9) 이후 지진에 대한 원전 안전성 우려 증가, 원전 안전대책 요구

\* 가동원전 내진성능 보강(0.3g수준) 등 안전 종합대책 수립('16.12)



- 지진 대비 원전 안전성 평가 등 관련 R&D 필요성 제기(국회 미방위)

- 신고리 5·6호기 건설 승인('16.6) 이후, 동일부지 다수기 원전의 안전성에 대한 이슈 제기

\* 원전 10기 밀집에 따른 안전성 제기(언론보도 등)

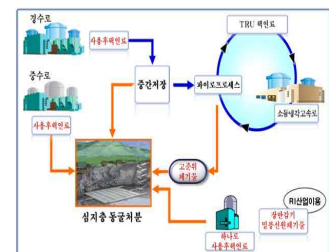


- 원전 다수기 리스크 표준분석방법 개발 및 시범적용(한수원, ~'18.12)

- 사용후핵연료 안전관리를 위한 중장기 R&D 로드맵 마련 및 R&D여건 변화

\* '고준위방사성폐기물 관리 기본계획' 및 '미래원자력 시스템 기술개발 및 실증 추진전략' 확정('16.7)

\* 新한미협정('15.11)에 따라 사용후핵연료 연구여건 개선



- 고준위방사성폐기물 운반 · 저장 · 처분 및 사용후핵연료 부피 · 독성저감 기술개발 지속 추진 등

- 국내 최초 원전인 고리원전 1호기 영구정지 결정('15.6)에 따른 해체기술 자립 필요

\* '안전하고 경제적인 원전해체와 원전해체산업 육성을 위한 정책방향' 확정('15.10)



- 고리원전 1호기 즉시해체에 대비, '21년까지 해체 핵심 기반기술 (미래부) 및 실용화 기술(산업부) 확보

□ 경주 중·저준위방사성폐기물 처분시설 본격 가동에 따른 시설 최적 관리·운영 필요

- \* '15년부터 10만 드럼 규모 동굴처분장 운영, '19년까지 12.5만 드럼 규모 표층처분장 건설



- 원전해체 방사성폐기물 및 원전해체 폐기물의 효과적인 처리·처분 기술을 통해 중·저준위폐기물 처분시설의 이용효율 극대화 필요

□ UAE 원전수출 이후 후속사업 촉진을 위한 기술 경쟁력 강화 필요

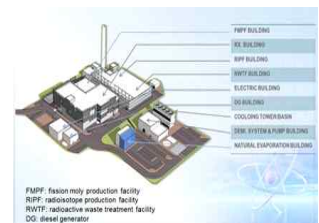
- \* UAE 4기 원전 건설 (1호기 '17년 준공, 요르단연구로 준공('16.12)
- \* '15년 SMART 사우디 건설전설계(PPE) 등



- 글로벌 시장수요에 부합하는 경쟁력 있는 원자로 모델 확보 (APR+, SMART 등)

□ 방사선 이용 대형연구시설 구축에 따른 다양한 R&D 수요·성과 창출 및 사업화 기여 가능

- 양성자가속기('12), 방사선기기팩센터('16), 전자선실증센터('18), RI플랫폼('18), 방사선기기 인증센터('19), 수출용신형연구로('20) 등



- 방사선 기기·방사선의약품 등 고부가가치 방사선기술 실용화

□ 국내·외 원자력산업 신규수요 확대에 따른 원자력 전문인력 확보가 현안으로 부상

- 사용후핵연료 연구개발 및 관리사업, 원전 해체 등 새로운 기술 수요에 대비하는 연구 및 산업인력 확보 중요



- 전문인력 확보를 위한 체계적이고 종합적인 인력 수급방안 필요

- '17년부터 UAE 운영지원으로 산업 전문인력 수출이 전망되며, 원자력 R&D 유관 기관의 경우 향후 5년 이내 연구 전문인력의 30% 이상 은퇴 예상

## 2. 국외 R&D동향

### □ 가동원전 대비 안전성을 높인 3.5세대 원전시장 형성

\* 미국(AP1000), 프랑스(EPR), 러시아(VVER1200), 한국(APR+)

#### ○ 중대사고 방지 및 대처(Zero Release)를 위한 피동안전개념 등 신기술 적용

\* 원전사고 발생 시 방사성핵종 유출 배제 등을 목표로 하는 비엔나 선언서 채택('15.2, IAEA)



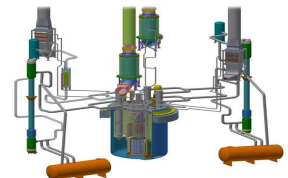
### □ 미래 원자력기술 주도권 확보를 위한 제4세대 원전 기술 실증 추진

\* 프랑스(ASTRID), 러시아(BN1200), 중국(CDFR), 한국(PGSFR)

#### ○ GIF(GEN-IV International Forum)는 제4세대 원자로 기술

실증을 위한 국제공동연구 협력을 10년 연장하여 2025년까지 지속하기로 결정('14)

\* 우리나라는 SFR('05)·VHTR('06) 시스템 약정, LFR('15) 시스템 MOU를 체결하여 참여 중



### □ 사용후핵연료 처리·처분 등 관리기술개발 본격화

#### ○ 지하연구시설 운영 경험을 토대로 사용후핵연료 직접처분시설 건설 착수

\* 핀란드는 세계 최초로 심층처분시설 건설허가 획득('16.12)

#### ○ 기술선진국은 선진 습식재처리, 파이로 등 사용후 핵연료 관리 대안기술 개발 지속 추진

\* 프랑스는 습식 가넥스(GANEX)공정, 러시아는 건식 DDP(Dimitrovgrad Dry Process) 공정 개발 중



### □ 미래시장 대비, 활용성이 다양한 중소형원자로 개발 추진

\* IAEA는 중소형원전 시장수요를 2030년까지 최대 90기로 예측

#### ○ 러시아, 중국, 미국 등은 소형모듈형원자로 및 해양원전 개발 노력 경주

\* 러시아(KLT40S)/미국 mPOWER/NuScale \$452M 투자 결정, 중국(ACP100) 개발 중

### □ 세계 의료용 동위원소의 수급 불균형 우려 확대

\* Mo-99 40%를 공급하고 있는 캐나다 국립연구용원자로(NRU) 영구정지 예정('18)

#### ○ OECD/NEA 중심의 전 세계 동위원소 수요·공급 체계 마련 중

### □ 세계 방사선 산업시장은 확대 추세이나 진입장벽이 높음

#### ○ 방사선 기기 시장은 Siemens, GE, Philips 등의 대기업 중심으로 기술 첨단화 진행 중

\* 세계 방사선 산업시장 규모 : ('11년) 172조 → ('20년) 464조

### 3. R&D 계획 수립 방향

#### 제5차 원자력진흥종합계획

- 국민안심 달성을 위한 최상위 안전기술 추구
- 미래경쟁력 확보를 위한 기술 역량 강화
- 국가성장 견인을 위한 성장 동력 창출
- 국내외 신뢰 확보를 위한 소통 협력 증진



#### 국내 · 외 R&D 정책 환경

- 안전성을 강화한 최신 원전 (3.5세대) 시장 형성
- 사용후핵연료 처리·처분 정책 가시화
- 신기후체제에 따라 원전시장 확대 가능성 증대
- 방사선 산업시장 확대 추세 이나 진입장벽 높음



#### 원자력R&D 5개년 계획 수립 방향

- 후쿠시마 원전사고, 경주지진 등 사회적 불안감 해소를 위한 국민이 체감하고 안심할 수 있는 원전 안전성 확보
- 원자력 이용에 따른 중장기 현안(사용후핵연료 및 방사성폐기물 안전관리, 원전 해체 등) 해결을 위한 기술 적기 확보
- 글로벌 시장 진출 등 미래 대비 고유 원자로 핵심기술 확보
- 고부가가치 창출을 위한 방사선 기술(방사성 의약품 및 방사선 기기, 융합 기술 등)의 전략적 확보



### Ⅲ. 비전 및 목표

#### 비전

**국민안심을 위한 원자력기술개발 고도화**

#### 목표

**원자력 안전성 향상과 현안해결을 위한 핵심기술 완성**

- 지진안전, 핵연료·원자로 개발, 원전 해체 및 사후관리 기술 -

#### 기본 방향

##### ☐ 상위 국가계획과의 부합성 강화

◆ 원자력진흥종합계획, 과학기술기본계획 및 에너지기본계획 등

##### ☐ 원자력현안 해결을 위한 기술개발 집중

◆ 지진대응 안전성 증진, 사용후핵연료 안전관리 및 원전해체 등

##### ☐ R&D 선순환시스템 구축 및 기반 고도화

◆ 기초·원천→실용·상용화, 인력양성, 산업·연구인프라 확충 등

#### 추진 과제 (24개)

##### ① 세계 최고수준의 원전 안전성과 신뢰성 확보

◆ 원전운영 신뢰성 증진, 방사성물질 누출 배제, 방사선방호체계 강화, 안전성 향상 공통기술 등

##### ② 국민안심 미래지향적 원자력 환경관리 역량 강화

◆ 사용후핵연료 운반·저장, 파이로프로세싱, 방사성폐기 처분, 원자력시설 해체 및 방사화학기반기술

##### ③ 미래 대비 고유 원자로 핵심기술 확보

◆ 고유안전성 확보 경수로 핵심기술, 독성물질 연소 원자로(SFR), 소형모듈원자로(SMR), 열이용원자로(VHTR) 및 신개념 원자로 등

##### ④ 4차 산업혁명 시대에 대비한 방사선 기술역량 강화

◆ 방사선 산업기술, 방사성의약품·치료기술, 방사선 융합기술 및 원천기술 개발

##### ⑤ 지속가능성 확보를 위한 기반구축 및 선도형 원천기술 개발

◆ 인력양성, 전략적 국제협력, 정책역량·소통강화, 원자력 기초R&D·기반, 원천·전략기술, 산업·연구시설 확충



## IV. 분야별 추진내용

### 1. 세계 최고수준의 원전 안전성과 신뢰성 확보

- ◆ 원전에 대한 국민 안심 증진, 복합 재난·재해 대비 원자력 심층 방호능력 제고 등 원자력 안전역량 강화

#### (1) 가동원전 운영 신뢰성 증진

가동 중 원전의 설비·기기 신뢰성 향상, 압력경계 진단 및 재료열화 평가 등 가동원전의 안전성 확인·검증 능력 강화

##### □ 원전 안전여유도 정밀 평가·향상

- 원전 스트레스테스트 평가기술 고도화
- 원전 안전여유도 정밀평가를 위한 다중스케일 다물리해석 코드 개발
- 중수로 노후압력관 건전성 평가 및 관리기술 개발 등

##### □ 고 신뢰도 원전 안전상태 감시 및 예측

- 압력경계 기기/구조물 안전진단, 이동형 무인검진 및 고장예측 기술
- 가동원전 고방사선구역 실시간 3D 방사선 분포 정보기술
- 원전용 전자부품·장비에 대한 방사선 시험평가, 열화진단 및 예방기술
- 원전 상태감시 Data기반의 계통·설비·부품 상태·진단 및 예측

##### □ 인적오류, 정보관리 및 재료열화 관리 강화

- 표준 인적오류 및 발전소 특화 인적오류 예방시스템 개발
- 배관 검사·관리코드, 유지보수용 원격제어 표준 플랫폼 및 생애주기 형상관리시스템 구축
- 장기 가동원전의 재료 열화평가, 예측모델 개발 등

## [2] 극한환경에서의 방사성물질 누출 배제

중대사고 원천 방지, 리스크 평가기술 개발, 비상대응 능력 강화 등으로  
최적의 원전 안전성 향상

### □ 중대사고 리스크 최적평가 및 저감 기술

- 다수기 및 복합 자연재해(지진, 쓰나미, 슈퍼태풍 등) 리스크 평가 및 저감기술 개발
- 국내환경(지질학적 여건, 생활습관 등)에 적합한 3단계 확률론적 안전성 평가(Level3 PSA) 코드개발
- 비경수로형 원전의 핵심기기 신뢰도 평가 및 사고관리 공통기술 개발

### □ 중대사고 방지 심층방어 능력 강화

- 경수로 비상냉각 성능평가 및 개선(ATLAS 열수력 종합실험 등)
- 경수로용 사고저항성핵연료(ATF, Accident Tolerant Fuel) 소결체 · 피복관 성능개선, 시작품 개발 · 연소시험 및 실용화 평가 등

### □ 중대사고 시 방사성물질 격리

- 원자로 및 격납건물의 건전성에 영향을 미치는 중대사고 현상 해석 및 실증실험
- 중대사고 기인 증기발생기 세관파단 사고 시 열수력 및 제염 성능 평가 등 격납건물 우회사고 거동 평가 기술
- 중대사고 상태를 실시간 감시하기 위한 계측기술, 원격감시제어기술 및 중대사고 완화기술
- 핵연료 손상 거동 등 핵심현상 규명을 위한 사용후핵연료 저장조 사고평가 및 안전성 강화 기술

### □ 인위적 위협 대응능력 강화

- 테러, 사보타주 등 인위적 위협의 리스크정보 활용 물리적방호 기술
- 원전 디지털계통 사이버보안 실시간 감시 · 분석 · 대응기술

### [3] 원자력시설의 방사선 방호체계 강화

원자력시설에서 누출가능한 방사성 물질로부터 인간과 환경 보호

#### □ 원자력시설 방사선 영향 정밀평가

- 원전 예정지역 및 원자력시설의 인체·환경영향 정밀 평가기술
- 방사능테러 대비 핵물질 및 방사성물질 탐지용 중성자·감마선 측정기술
- 수출용신형연구로 핵연료 특성을 반영한 사고 방사선원향 평가기술

#### □ 방사선 사고대응 위해도 평가 및 저감

- 작업자 및 일반인 피폭선량 신속 평가시스템 개발
- 육상·해상·공중 연계 복합 환경감시 원천기술
- 사고 시 방사선 측정·평가 결과를 활용한 위해도 저감기술

#### □ 원자력시설 사고 후 방사능 오염환경 중·장기 대응체계 수립

- 국내 환경특성을 반영한 방사능 오염평가 및 주민보호를 위한 최적 대응 지원
- 국민 방사선 피해 및 사회적 혼란 최소화를 위한 사고 전주기 대응수단 확보

#### [4] 안전성 향상 공통기술개발

가동중 원전, 차세대 원전 적용 안전성 향상 공통 기반기술

##### □ 원전 내진성능 강화 기술개발

- 원전 안전정지·유지 관련설비의 내진성능 평가·강화 기술개발
- 원전 설계초과지진 대응기술(원전 면진장치 개발·검증 등) 개발

##### □ 원자력시설 화재방호 기술

- 성능기반 화재 PSA 기술체계 구축 및 현안해결 기술개발
- 화재확산 거동평가, 케이블 난연성능·연소특성 평가기술 등

##### □ 원전 안전성 향상 신소재 개발

- 중성자 조사저항성 고강도 신소재 개발
- 초고온 저항성 복합체 및 부식 저항성 내열합금 개발
- 원자력 신소재 접합기술 개발 및 성능예측·평가

##### □ 고유 안전해석코드 개량

※ 경수로기반의 국산 안전해석 코드(SPACE) 개량을 통해 고속로 및 연구로 안전해석 코드로 활용

- SPACE 기반 소듐냉각고속로(SFR)용 안전해석 코드개발
- SPACE 기반 수출용신형연구로용 안전해석 코드개발

## II. 국민안심 미래지향적 원자력 환경관리 역량 강화

- ◆ 사용후핵연료와 방사성폐기물의 운반·저장·처리·처분과 원자력시설 해체·환경복원을 포함하는 친환경 관리기술 적기 확보

### [5] 현장 적용을 위한 사용후핵연료 운반·저장기술 상용화

사용후핵연료 운반·저장 용기, 저장시스템 개발 및 안전성 평가

#### □ 사용후핵연료 운반 안전성 평가 기술

- 사용후핵연료 운반 최적 경로 도출, 위험도 평가 및 장비·시설 개발
- 대용량 중수로용 운반용기, 고연소도 경수로용 운반용기 및 결합 핵연료 운반·저장시스템 개발
- 사용후핵연료 인도·인수검사 및 건전성평가 기술개발
- 중성자 흡수재, 차폐재 및 충격흡수재 등 운반용기 소재 상용화 및 국산화

#### □ 사용후핵연료 저장 안전성 평가 기술

- 고연소도 경수로용 사용후핵연료 저장용기 개념 도출, 상세설계 및 시제품 제작
- 사용후핵연료 운반, 저장 및 처분을 연계하는 표준화된 관리절차, DB 및 시스템 개발
- 사용후핵연료 저장용기 바스켓·캐니스터 소재개발, 제작 및 원격 자동용접 시스템 설계·제작

#### □ 사용후핵연료 저장시설의 안전성 평가 기술

- 다양한 사고(화재, 지진, 태풍 등) 및 중대사고(항공기 충돌, 쓰나미 등) 발생 시 사용후핵연료 저장시설·용기의 안전성 평가 기술
- 건식저장 시 사용후핵연료 연료봉 및 집합체의 열화특성 평가, 평가결과를 반영한 운반·취급 건전성 평가

※ 사용후핵연료 운반·장기저장 건전성 평가를 위한 핫셀시설 구축

## [6] 사용후핵연료 처리기술(파이로프로세싱)

사용후핵연료 내 고독성·장반감기 물질, 고방열 물질 등을 분리하는 핵비확산성 파이로기술 타당성 검증 및 실용규모 공정 개념설계

※ 국내 파이로프로세싱 실험의 안전성 입증이 전제되어야 하며, '20년 한미 파이로공동연구 결과를 반영해서 파이로실증사업 추진여부 결정

### □ 파이로 단위공정기술 실증

○ 국산 사용후핵연료 이용 전처리공정(전해환원 원료물질 제조 등) 실증

※ 국내 파이로프로세싱 실험의 안전성 입증이 전제

○ 산화물핵연료를 금속으로 전환(전해환원) 하는 실험실 규모(600g/회) 실증

### □ 실용규모 파이로 일관공정기술 검증

○ 한미공동 파이로타당성(기술성, 경제성 및 핵비확산 수용성) 입증(~'20)

○ 파이로 모의실험시설(PRIDE) 이용 실용규모 파이로 일관공정기술 검증·개선

### □ 파이로시설 설계, 안전성 평가 및 안전조치 시스템 설계

○ 파이로시설, 원격운전시스템 및 공정장치 자동화 등 파이로시스템 개념설계('20) 및 종합 안전성분석

○ 핵물질 계량관리, 격납감시 및 모니터링, 핵사찰 검증 등 안전조치 시스템 설계 및 평가

### □ 파이로폐기물 분류 및 포장 기술

○ 파이로공정 방사성폐기물 발생량, 특성분석 및 DB 구축

○ 파이로폐기물 관리를 위한 저장·처분 겸용 표준형 포장용기, TRU포장용기 개발 등

## [7] 방사성폐기물의 안전한 처분을 위한 핵심기술 개발

중저준위방사성폐기물의 안전한 처리·처분기술, 고준위방사성폐기물 처분을 위한 부지조사 및 고유 처분시스템 핵심기술 개발

### □ 비원전 방사성폐기물 및 원전 해체폐기물 관리기술

- 잡고체 폐기물, 토양오염 폐기물 및 인수부적합 폐기물의 처리·처분기술
- 폐밀봉선원 폐기물 특성인자 도출 및 밀봉선원 처분용기 설계
- 중준위 해체폐기물 저장·처분 겸용 용기 개발 및 건전성 평가
- 극저준위·대형 저준위 해체폐기물 감용기술, 처분용기 및 인수기준 개발

### □ 중저준위방사성폐기물 복합처분시설 통합관리 기술

- 처분시설 운영기간 중 또는 폐쇄 후 안전성평가와 환경영향평가를 통한 최적 관리·운영기술 개발
- 처분시설 폐쇄에 대비한 동굴처분환경 장기거동 실증실험, 천층 처분시설의 처분덮개 및 폐쇄기술 개발

### □ 고준위방사성폐기물 처분부지 조사·평가, 고유 처분시스템 개발

- 장기 지질 현상에 대한 정성적·정량적 예측 기술, 심층처분환경 조사 등 고준위폐기물 처분부지 조사·평가기술
- 고준위폐기물 특성과 다양한 기술 평가를 통해 처분면적 최적화 처분시스템 설계 및 검증
- 최적화 처분시스템 공학적 방벽 개발, 제작 및 성능검증
- 고준위폐기물 처분 연구를 위한 지하연구시설 구축, 처분기술 실증 실험 및 시연



## □ 파이로공정폐기물 처분시스템 개발

- 파이로공정 방사성폐기물 특성 기반의 처분시스템 설계, 성능평가 및 처분시스템 진화과정(운영 중, 폐쇄 후)을 반영한 안전성평가 기술 개발
- 공학적 방벽 열·수리·역학적 복합거동 검증기술 개발 및 다중 처분공 시험장치(In-DEBS 2호기) 구축
- 고이동성 장수명 핵종(I, Tc 등) 처분대안 개념 개발

## [8] 원자력시설 해체기술 적기 자립

원전 등 수명이 종료된 원자력시설을 안전하고 경제적이며, 친환경적으로 해체하기 위한 기술개발 및 공학규모 검증

### □ 원자력시설 해체 설계·엔지니어링 기술

- 원전해체 공정/시나리오별 위험도·위해도 평가, 해체공정 난이도 평가 및 해체 전주기 방사선학적 특성평가 시스템 개발
- 오염도·선량변화 평가, 해체 대상시설 방사능 현장 측정 및 난 분석 핵종 측정기술

### □ 원자력시설 해체대상 기기·계통 제염 기술

- 경수로 일차계통 공학규모 Mock-up·화학제염 일괄처리 설비 구축 및 기술 검증
- 대형기기 나노복합유체 제염 공학규모 설비 구축 및 기술검증
- 중수로 열전달 및 감속재 계통 화학제염기술

### □ 해체 원자력시설 기기 및 구조물 해체·절단기술

- 원격절단 고도화 가상-현실 상호연동 기술
- 수중 절단 작업용 고하중 매니퓰레이터
- 고방사능 난삭재 고속 절단용 레이저 수중 절단기술

### □ 원자력시설 해체 폐기물 처리기술

- 해체 콘트리트폐기물 고감용 처리기술·폐기물 재활용 안전성 평가기술
- 난처리성 방사성폐기물 고도감용 및 안정화를 위한 열화학적 처리 기술
- 유동입자성 무기폐기물의 안정화·고화 기술

## □ 오염부지 환경복원 기술

- 난처리성 오염토양 처리기술 및 복합오염 토양 처리공정
- 지하수 내 삼중수소를 포함한 방사성핵종(Co, Cs, Sr) 제거 기술
- 원전 중대사고 대비 주변지역(건물표면) 복원기술
- 부지복원 지침, 지하수 감시 및 오염 평가, 오염 지하수 복원, 규제 해제 지침 및 부지 재이용 평가기술 등

## □ 원전해체 산업기술기준 개발

- 해체계획/해체용이성 산업기준 및 최적 설계기술 개발
- 해체 안전성(위험도, 위해도 등 포함) 및 부지재이용 방사선영향 평가 기술개발
- 원전해체 비용평가 및 공정개발(국내 상황을 고려한 해체전략, 클린업 시나리오 등 포함)

## [9] 방사성폐기물 특성 분석을 위한 방사화학 기반기술 개발

가동중 원전, 사용후핵연료 및 방사성폐기물 등 원자력산업 전 분야에 걸쳐 공통으로 요구되나 국내 인력·연구기반이 취약한 방사화학 분석 기술 고도화

### □ 사용후핵연료 화학특성 규명 기술

- 사용후핵연료 내 핵종별 성분분석, 연소도 및 결정구조 등 화학적 거동 규명 및 해석 기술

### □ 파이로공정 화학분석 기술

- 고온용융염 내 악티나이드(우라늄, 플루토늄 등), 란타나이드(핵분열 생성물) 화학적 거동 및 물성 측정기술
- 고방사성 파이로공정 시료 화학분석 기술, 파이로 안전조치 기술 개발 및 검증을 위한 파괴분석 기술

### □ 고준위방사성폐기물 처분관련 화학분석 기술

- 고준위폐기물 처분 안전성 평가를 위한 국내 지하처분조건에서의 핵종별 화학반응 규명 기술
- ※ 지화학환경 핵종이동 등 화학반응 특성연구, 처분인허가 관련 악티나이드 화학반응 열역학자료 측정기술 및 지하수 유·무기 성분분석 기술 등

### □ 방사성폐기물에 적용하기 위한 화학기술

- 파이로공정 폐기물 부피·독성 저감을 위한 용해·추출·침전 기반 화학기술
- 원자력시설 해체폐기물의 선원항 평가, 핵종평가 등 화학기술

### Ⅲ. 미래 대비 고유 원자로 핵심기술 확보

- ◆ 해외 수출시장에서 경쟁우위를 확보하기 위해 완전피동형 경수로 핵심기술, 소형모듈형원전 및 제4세대 원자력시스템 개발

#### (10) 고유안전성을 확보하는 경수로 핵심기술 개발

전원 완전 상실 상태에서도 자연력에 의해 냉각이 진행되는 완전 피동형 경수로 핵심기술 개발

##### □ TM-ICI(Top Mounted - Incore Instrumentation) 적용 원자로 개발

- 핵연료 형상 변경, 원자로상부 노내 계측기 설계 등 핵연료 · 원자로 관련 설계기술

##### □ 피동 안전계통 · 중대사고 대처설비 개발

- 피동보조급수계통, 피동잔열제거계통, 피동비상노심냉각계통, 피동 원자로건물냉각계통 등의 설계 적용기술
- 상부 노내계측기 적용에 따라 중대사고 시 노심용융물을 피동으로 냉각하기 위한 PMCCS(Passive Molten Core Cooling System) 설계기술

##### □ 지능형 MMIS(Man-Machine Interface System) 개발

- 원전사고 시 운전원의 오류를 보완할 수 있는 지능형 MMIS 개발

## [11] 고독성 물질 연소 소듐냉각고속로(SFR) 기술개발

사용후핵연료 내 고독성물질(TRU) 연소를 목적으로 하는 소듐냉각고속로(SFR) 원형로(150MWe급) 설계기술 개발

※ '20년 한미 파이로공동연구 결과를 반영해서 SFR실증사업 추진여부 결정

### □ SFR원형로 특정설계 및 설계인가

- 연구개발단계 원자로에 대한 설계인가제도 신설(원안위 협의)을 통해 특정설계 안전성분석보고서(SSAR) 생산 및 설계인가 신청('17)

※ 신규 설계인가제도 신설 지연 시 표준설계인가 신청('19)

- SFR원형로 한미 공동설계(미국 알곤국립연구소(ANL)와 협력)

### □ SFR원형로 설계 안전성 검증

- 소듐열유체 종합효과 검증시설(STELLA-2) 구축('18)을 통해 원형로 설계 안전성 검증 완료('20)
- SFR원형로 중대사고 시나리오 개발, 중대사고 검증실험·모델링 개발 및 선원항 검증실험·모델링 등
- SFR원형로의 내진설계 안전성 평가 및 향상 기술 개발

### □ SFR원형로용 금속핵연료 개발

- 우라늄핵연료 제조기술 확보, 핵연료·피복관 조사시험(러시아 실험로 BOR-60) 및 우라늄핵연료제조시설(UFMF) 설계

※ 파이로프로세싱을 통해 TRU물질 공급 전까지는 SFR원형로 초기노심은 우라늄 핵연료 장전(우라늄핵연료를 기준으로 SFR원형로 설계 중)

- 한미공동 TRU연료봉 제조('18) 및 조사시험('20), 원격제조기술 검증('20)

## [12] 수출지향 소형 모듈형 경수로(SMR) 핵심기술 개발

미래 중소형 원전시장 선점을 위해 모듈화, 소형화 및 사고저항성을 갖춘 수출지향 소형원자로시스템 및 요소기술 개발

### □ SMART 원전 실증

- 한·사우디 SMART 건설전설계(PPE) 완료('18) 및 사우디아라비아 현지 건설을 통한 실증 추진

### □ 중소형원자로 핵심기술 개발

- 인쇄기관형 열교환기, 판형 열교환기 등 고성능 열교환기 예비설계 · 부품 검증, 열교환기 상세설계 및 성능검증
- 제어봉이탈사고를 근본적으로 배제할 수 있는 원자로 내장형 제어봉 구동장치 개념설계, 상세설계 및 검증
- 원자로계통 단순화, 붕산에 의한 부식 방지 등을 위한 무붕산 노심 및 계통 개념 설계, 기본설계 및 검증
- 피동격납건물 냉각계통(PCCS) 등 피동안전계통 기술개발
- 해양용 소형경수로의 기술적 타당성 평가, 해양 원자력플랜트 핵심 요소기술 개발

### □ 차세대 발전시스템 개발

- 차세대 발전시스템\*인 초임계 CO<sub>2</sub> Brayton cycle 원전 적용을 위한 5MWe급 시스템 설계, 핵심기기 개발, 시험설비 구축

\* 300℃ 설계조건인 계통설계, 압축기·열교환기 등 기기 제작, 성능시험 등



### [13] 열이용 원자로(VHTR) 핵심기술 개발

원자력기술의 비발전분야 이용 확대를 위한 초고온가스로(VHTR) 핵심기술 성능 향상

※ VHTR 핵심기술 개발 후 표준설계 인가, 실증시설 건설 등을 위한 예비타당성 조사 추진('20년 이후부터 예타사업으로 추진)

#### □ 초고온가스로 설계코드 검증 및 고도화

- 핵설계, 노심열유체, 계통 안전해석 및 핵연료성능 등 4종 핵심 설계코드 개선 및 검증
- 원자로 운전성능 분석 및 핵분열생성물 거동분석 코드 개발

#### □ 초고온가스로 요소기술 개발

- 설계코드 검증용 실험장치 설계, 제작 및 실험
- 초고온 중간열교환기(인쇄기관형) 설계 및 제작공정 개발
- 피복입자핵연료 복합코팅 및 연료체 제조공정 개발

#### □ 초고온가스로 열이용 최적화

- 초고온가스로의 고온열 이용 수소생산, 공정열 공급 등 열이용 최적화 방안 분석·평가

## [14] 신개념 원자로 개발

원전의 안전성, 경제성, 핵비확산성 등을 획기적으로 향상시키는 차세대 원자로 개념개발

### □ 제4세대 원자로 개념개발

- 다양한 제4세대 원자력시스템(납냉각고속로, 가스냉각고속로 및 용융염 냉각 원자로 등) 대상 기술적 타당성 분석
- 각 시스템별 기술적 한계를 해결할 수 있는 기술적 방안 평가

### □ 초소형원자로 개념개발

- 지하매립형 자연냉각방식의 초안전·초장주기 원자로 개념 개발
  - 원격 제어가 가능하고 이상상태 발생 시 자동으로 안전상태를 유지하는 자율(autonomous) 운전 원자로기술
- ※ 도서벽지, 극지방 전진기지 및 원유탐사선, 우주탐사선 등에 에너지 공급이 가능한 원자로 개발

### □ 가상 원자로 시스템 개발

- 첨단 계산과학에 기반한 가상공간에서 원자로의 복합현상을 예측 규명하는 가상원자로 개발
- ※ 가상원자로 개발을 통해 하드웨어 투자 없이 가상공간에서 설계·건설·운전 모사가 가능하며, 미국은 '20년까지 CASL(Consortium for the Advanced Simulation of Light Water Reactors)에 약 \$300M 투자 중

## IV. 4차 산업혁명 시대에 대비한 방사선 기술역량 강화

- ◆ 방사선 기술(방사성 의약품, 방사선기기, 융합기술 등)을 통한 신산업, 신시장 창출 및 전략성 강화

### [15] 산업경쟁력 강화를 위한 방사선기술 확보

방사성 동위원소의 안정적 공급체계를 구축하고, 방사선을 활용한 신산업을 창출하는 동시에 세계 시장을 선도하기 위한 전략 수립

#### □ 방사성동위원소(RI) 이용

- 국가 대형연구시설을 활용한 RI 생산 기술, 고효율 분리·정제 기술 및 고부가가치 제품화 등 R&D 전주기 지원으로 RI 신산업 창출
- RI 이용 기술개발의 전략성 강화를 위해 'RI 활용연구센터' 설립

#### □ 방사선 이용 및 비파괴 산업 육성을 위한 원천기술 개발

- 인공지능, 3D 프린팅과 방사선을 결합하여 고부가가치 동물용 백신·항생제·면역증강제 개발, 고기능성 식물자원 및 양성자빔 이용 유전자원 개발, 수출입 농산물 검역공정, 고효율 약물전달 소재 개발 등
- 주요 기반산업 분야 관련 전략 기술 및 우주항공, 국방 분야에 대한 고정밀 비파괴 평가기술 개발
- 저선량으로 정밀진단이 가능한 노이즈 저감형 4차원 CT 영상화 요소기술 개발 및 저선량 방사선의 딥러닝 적용을 통한 고해상도 NDT 시스템 개발

#### □ 방사선 신산업에 대한 수출전략 마련 및 추진체계 정비

- 극한환경(고방사선·초고온)에서 작동하는 방사선계측기 개발 및 해외 수요가 많은 동위원소 생산용 가속기의 수출 중점 지원
- 방사선기기 성능평가 및 표준화 인증 체계 마련

## [16] 국민 건강증진을 위한 방사성의약품 및 치료기술 개발

난치성 종양 및 뇌질환에 대한 고부가가치의 진단·치료용 방사성의약품 및 치료기술 개발

- 뇌질환, 암 등 중증질환 진단·치료용 방사성의약품 개발
  - 질환별 조기 진단·치료를 위한 방사성의약품 후보물질 도출 및 안전성 평가 체계 확립
  - 중증질환 진단·치료용 방사성의약품 제조기술 및 임상시험관리 체계 확립
- 환자 맞춤형 방사선 치료기술 및 예측 시스템 개발
  - 환자 맞춤형 방사성 의약품의 내부흡수선량 평가시스템 및 치료 반응 예측시스템 개발
  - 사물인터넷(IoT) 기술을 적용한 웨어러블 방사선량 검증기술 개발
  - 저피폭 고정밀 방사선치료 요소기술 개발
- 방사선 이용 치료 인프라 확충
  - 난치성 암 치료용 중입자가속기 및 중입자치료센터 구축
  - 안전성·유효성 검증장비, 질환표적 비임상평가 기반 구축, 종양 표적 방사성의약품 개발 등 RI이용 신개념 치료기술개발 플랫폼 구축
- 방사선의료 정도관리 인프라 구축
  - PET-CT, X-ray 등 진단 및 치료방사선 선량보증 등을 위한 방사선 측정표준화 및 정도관리체계 구축
  - ※ PET와 양성자선 측정표준, 진단엑스선 선량보증 연구기반 구축 및 의료피폭 방사선량평가 등

## [17] 방사선 관련 국가적 전략기술 확보

방사선 인프라 활용을 통한 방사선 관련 국가적 전략기술 확보

### □ 수출용 신형연구로 개발 및 실증

- 연구로 건설허가 취득, 연구로 건설공사 수행, 연구로 운영허가 취득, 핵연료 장전 및 성능시험 등
- 연구로와 연계한 RI 연구·분석지원 실험장비(18종) 구축 및 콜드 키트 국산화

### □ 중성자 빔 활용 기술 개발

- 이차전지 전극, ESS에 사용할 신물질 및 측정 분석 기술 개발
  - ※ 중성자 산란을 이용한 연성물질 산업응용 기술, 에너지 저장/변환 물질 연구, 중성자 빔 융합 산업응용 분석기술 개발 등
- 미래 고품질 반도체 수요대비 SiC와 12인치 Si 반도체 균일 도핑 원천기술 확보

### □ 양성자가속기 기반 2차 방사선 발생 원천 기술 개발

- 차세대 산업용 소재의 고정밀 측정이 가능한 Li-8 빔 발생 표적-이온원 기술 개발 및 베타-NMR 장치 구축
- 미래 부품 개발에 필수적인 실시간 이미징(동영상) 펄스 중성자 발생기술 개발

### □ 방사성동위원소 기반 전력생산기술 개발

- 전력생산용 방사성동위원소 생산 및 변환·분리 시스템 기반 구축
- 열전, 압전, 반도체, 선형발전 등 전력회수 기술 개발 등
  - ※ 극한환경에서 신뢰성이 높고 수명이 길어 우주, 해양, 극지탐사 등 국가임무 사업에 응용

### □ ICT 기반 방사선 플랫폼 구축

- 방사선의학 빅데이터 및 국가 방사선 반응지도 모델링 플랫폼 구축

## [18] 사회 · 현안문제 해결을 위한 방사선 융합기술 개발

사회 · 현안 문제 해결 및 국민의 안전한 삶을 위한 기술 집약적 방사선 융합기술 개발 및 실용화

### □ 복합 방사선 보안검색 시스템 개발

- 공항·항만에 적용 가능한 복합방사선 영상 보안검색 시스템 개발

※ 기존 X-선 방식에 중성자를 결합한 복합방사선 발생장치 및 시스템 통합기술, 복합영상기술, 위험물질 판별 인공지능 기술

### □ 에너지 회수형 수질오염 저감 시스템 및 핵심소재 개발

- 철촉매 이용 전자선 수처리 파일럿 시스템 개발, 방사선 이용 환경·에너지 소재 기술 개발, 방사선 응용 생물전기화학 공정(질소, 인 저감) 기술 개발

### □ 화력발전소 미세먼지 저감 시스템 개발

- 전자빔 이용 응축성 미세먼지 처리 요소기술 개발, 성능향상 및 최적화

### □ NEMP 대응 차폐 기술 개발

- NEMP 공격시 발생 펄스 파형, 침투(Peak)출력 예측 등 소스텀 분석, 전자장치, 소자의 파괴여부, 일시 손상 확률 분석 등 내성 및 차폐 분석

### □ 부처간 협력연구 및 산업체 주도 기술 개발 확대

- 방사선과 타산업의 융합을 촉진하고, 부처간 연계 강화를 위해 재난안전분야에 대한 다부처 협력 R&D를 기획하여 시범사업으로 추진

## V. 지속가능성 확보를 위한 기반구축 및 선도형 원천기술 개발

- ◆ 원자력 전문인력 양성, 전략적 국제협력 및 국민과의 소통 강화를 통한 원자력 지속가능성 확보
- ◆ 기초연구, 미래대비 원천·전략기술 개발 및 원전산업 생태계 활성화를 위한 산업·연구시설 확충 등

### [19] 국가 원자력 인력양성체계 구축 및 전문인력 양성

원자력 전문인력 통계분석, 인력수급 전망 등을 반영한 인력양성 종합 계획 수립 및 관리체계 구축

#### □ 원자력 전문인력의 체계적 양성 및 지식관리

- 미래 원자력부문에 요구되는 신규 및 대체인력에 대한 통계 분석을 통한 인력양성·수급 종합계획 수립
- 산·학·연 원자력 전문인력양성 컨트롤타워를 통한 효과성과 효율성 강화
- 원자력 고정력전문가의 지식 활용을 위한 지식관리시스템 구축

#### □ 국가직무능력표준(NCS) 기반의 원자력 전문성 강화

- 국가직무능력표준 및 교육 콘텐츠 개발
- 선순환 교육훈련 체계 구축 및 글로벌 교육훈련 협력 강화

#### □ 국제 교육훈련 프로그램 개발·운영

- 국제수준에 부합하는 국제기구 및 해외 기관과의 교육협력 강화
- 표준화, 다양화 및 선진화된 인력양성 교육과정 개발
- 원전수출 지원을 위한 해외 기술수출국 대상 교육훈련 지원



## [20] 효율적 국제협력 R&D 전략수립 및 확대

원자력 주도국으로서 위상에 걸맞은 국제협력 R&D 전략수립 및 전략적 국제협력 R&D 강화

### □ 국내 R&D와 시너지를 형성하는 국제협력 R&D 전략 수립

- 개별적으로 추진해 온 국제협력 R&D를 확대·통합하여 전략수립
  - ※ 원자력 선진국과 민감기술 협력, 공동연구, 후발국 기술공여 등 국가별 전략수립

### □ 미래 핵심기술 확보를 위한 양자·다자간 국제협력 확대·강화

- 전략적 국제공동연구 지속 추진
  - 한미 핵연료주기 공동연구(JFCS), 한미 국제공동연구사업(I-NERI), 제염해체 분야 한영 공동연구 지속 추진
  - 신 한미 원자력협력협정의 고위급위원회(HLBC)를 통한 사용후핵연료 운반, 저장, 처분분야와 원전 해체 관련 신규 공동연구 추진
- 미래원자력시스템(SFR, VHTR), 방사선 기술, 원자력 안전 등 핵심기술 개발을 위해 GIF, INPRO 등 국제기구와의 전략적 협력 강화

### □ 개도국에 대한 재정·기술지원 확대

- UN지속가능개발목표(SDG) 등 국제사회의 개도국 지원 확대 추세를 반영하여 IAEA, RCA(아태원자력협력협정) 등을 통한 개도국에 대한 원자력기술 지원 확대

※ 중소형원전, 연구로 및 방사선기술 등 수출 잠재국과 협력을 위한 지원확대

## [21] 선제적 정책역량 및 소통 강화

문제해결형 연구기획, 정책 전문성(역량) 강화 및 국민과의 소통 활성화

### □ 현안 적기대응 정책개발 지원

- 미세먼지 저감, 신기후체제에 따른 온실가스 저감 등 사회적 이슈에 대응하는 정책개발 지원
- 급변하는 국·내외 원자력계 동향의 국내 원자력정책반영을 위한 원자력 정책 역량강화
  - ※ 신 한미원자력협력협정 후속조치, 사용후핵연료 관리대안 등 문제해결을 위한 정책개발 지원

### □ 원자력R&D 연구기획·관리체계 개선

- 원자력기술의 실증·상용화 촉진을 위해 산학연 공동기획, 공동평가 및 사후관리 강화
  - ※ 공동기획 과제에 대한 부처간 협력지원 체계 강화
- 유관기관간 연구기획·평가 위원 풀 공유 및 공동 이용
- 유관기관 및 연구관리 전문기관간 협의체 구성 및 운영 정례화

### □ 국민과의 소통 강화

- 원자력이용, 사용후핵연료 등 원자력 현안에 대한 국민의 이해도 제고를 위한 소통 프로그램 운영
  - ※ 특히, 지역에 특화된 원자력 이용현안에 대한 지역주민의 이해도 증진 노력 경주

## [22] 혁신역량 배양을 위한 기초 R&D 및 연구기반 구축

창의적 개인연구 및 다학제 참여 집단연구 지원을 통한 국내 기초 연구역량 배양, 기초연구 인프라 선진화

### □ 창의적 개인연구 지원 확대

- 원자력·방사선분야의 창의적인 개인연구, 도전적인 기초연구 지원 확대를 통한 연구저변 확대

※ 생애주기, 연구심화 단계에 따른 지원체계 강화

### □ 다학제·기관 참여 전략적 집단연구 지원

- 원자력 및 방사선 전략기술 분야의 선진연구센터 지원
- 원자력 정책현안 대응을 위한 원자력 정책연구센터 운영

### □ 기초기반 R&D인프라 이용 선진화

- 기 구축한 고가·대형 연구시설 및 장비를 활용한 성과 창출형 R&D에 대한 선별적 지원
- 특성화된 시설별 원자력 인력양성 프로그램 운영

※ 교육용원자로, 사이클로트론, 방사화학 및 열수력실험장치 등

## [23] 미래를 대비하기 위한 원천기술 및 전략기술

우리 고유의 원자력 원천기술 및 전략기술 개발

### □ 동위원소 생산 및 핵종 분석 기술

○ 원자력 산업용 동위원소 리튬(Li-7) 등 생산기술 개발

※ 동위원소분리 요소기술 개발, 동위원소 생산 파일럿 시스템 실증 등

○ 사용후핵연료 TRU 핵종 분석기술

※ 고선속 고에너지 중성자 선원기술 개발, 핵물질의 선원중성자 에너지별 유도 핵분열 특성을 이용한 핵종별 정량분석 기술 개발 등

### □ 고효율 중성자 조사 기술 개발

○ 차세대 계측장비 기술 개발

○ 신소재 고 DPA(Displacement Per Atom) 조사 시험

### □ 연구로용 핵연료 및 표적기술 개발

○ 기존 연구로용 판형핵연료 및 동위원소 표적 제조기술을 개선하여 원심분무분말 제조기술 접목을 통한 고밀도화 및 고성능화

※ 고성능연구로용 복합구조 U-Mo 핵연료 개발, 해외 연구로용  $U_3Si_2$  판형핵연료개발, 상용 및 고밀도 Fission Mo 표적 제조기술 개발 등

## [24] 원전산업 생태계 활성화를 위한 산업·연구시설 확충

원전산업 생태계의 기초 공급망을 구성하는 중소·중견기업의 기술 혁신 역량 제고를 통해 설비 안전성 및 시장경쟁력 강화

### □ 원전산업 기술실증 인프라 확충을 통한 생태계 활성화

- 원전 기자재 기술실증 테스트 베드 타당성 검토
- 원전 피동냉각계통 열성능 시험시설 개선
- 핫셀시설 개선 및 임계열유속 성능 실증 실험시설 구축

### □ 첨단기술을 활용한 원전 기자재 최적 제작기술 확보

- 3D 프린터 활용 원전 기자재 생산 기술/인프라 구축
- ICT·IoT 등 기반 원전 I&C 기자재 제작 혁신기술 개발

### □ 글로벌 경쟁력 향상을 위한 원전 지식정보 체계 구축

- 지식/정보 검·인증 관리시스템 구축
- 중소·중견기업 형상관리 시스템 활용 플랫폼 개발
- 부품·기자재 공급망 관리시스템 개선

## V. 투자규모

□ 제5차 원자력R&D 5개년 기간('17~'21) 중 총 2조 2,351억원 투자

○ 미래부 15,763억원 및 산업부 6,588억원 투자

### [부처별 재원별 투자 규모]

(단위 : 억원)

재원	미래부		산업부		합 계
	원자력기금	일반회계 등	전력기금	방폐기금	
금액	10,604	5,159	5,714	874	22,351

※ '18~'20은 중기재정계획 요구안 기준, 21년은 각 사업별 '18~20의 연평균 증가율을 각각 적용하여 산출, 실제 투자규모는 예산편성과정에서 조정·변경될 수 있음

### [부처별 연도별 투자 규모]

(단위 : 억원)

부처	회계	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	합계
미래부	원자력기금	1,536	2,186	2,229	2,297	2,356	10,604
	일반회계 등	804	1,636	871	906	942	5,159
	소계	2,340	3,822	3,100	3,203	3,298	15,763
산업부	전력산업기반기금	686	1,007	1,158	1,332	1,531	5,714
	방사성폐기물관리기금	102	164	182	202	224	874
	소계	788	1,171	1,340	1,534	1,755	6,588
합계		3,128	4,993	4,440	4,737	5,053	22,351

## VI. 기대성과

- (원자력) 국민과 소통하고 국민이 신뢰하는 원자력 안전성 확보
  - 지진대응, 다수기 안전성 평가 등 국민 불안을 해소하는 안전 기술 확보
  - 사용후핵연료 문제 해결을 위한 안전관리 및 대안기술 실증
  - 원자력핵심기술 확보를 통한 해외 시장진출 확대
  - 원자력 소통강화프로그램을 통한 국민 이해도 증진
  
- (방사선) 방사선기술을 이용한 국민건강 증진 및 고부가가치 신산업 창출
  - 의료·산업용 방사성동위원소의 안정적인 공급 기반 마련
  - 중증질환 진단·치료를 위한 고정밀·저피폭 방사선 의학 기술 확보
  - 방사선기술의 전략적 활용을 통한 산업 응용 기술 확보
  
- (기반조성) 원자력 연구·산업 분야의 전주기적 인프라 확충
  - 국가 원자력 인력 양성·기초연구 지원 등을 통한 연구역량 제고
  - 전략적 국제협력을 통한 원자력 기술 강국 위상 강화
  - 원전 설비 안전성 강화 및 생태계 활성화를 위한 원전 산업·연구시설 확보



## 붙임 1 제 4차 계획 기간 중 R&D 추진실적

### 1 투자실적

- 미래창조과학부는 지난 4차 연구개발5개년('12~'16) 동안 원자력연구개발 사업으로 총 1조 3,797억원을 투자 (원자력기금 : 8,201억원, 일반회계 등 5,596억원)  
- 2012년 2,349억원에서 2016년 2,764억원으로 415억원 증가(4.2%)
- 산업통상자원부는 '12~'16까지 원자력핵심기술개발사업 및 방폐물관리기술개발 사업 등 관련 사업으로 총 5,006억의 연구비를 투자

#### [미래부 및 산업부 원자력 분야 R&D 투자현황 (2012~2016)]

(단위 : 억원)

구분		2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	합계
미래부	원자력기금	1,582	1,617	1,652	1,675	1,675	8,201
	일반회계 등	767	1,041	1,268	1,431	1,089	5,596
	합계	2,349	2,658	2,920	3,106	2,764	13,797
산업부	원자력핵심기술개발	924	963	923	858	736	4,404
	방폐물관리기술개발	124	126	126	113	113	602
	합계	1,048	1,089	1,049	971	849	5,006

### 2 주요 R&D 성과

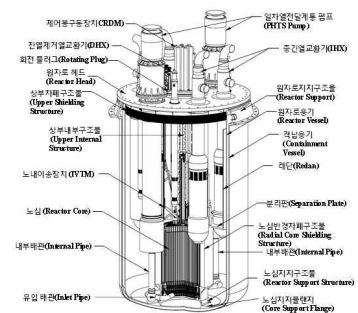
- ① 국내 기술로 1,500MWe급 3.5세대 신형원자로 APR+개발(표준설계인증 획득 '14.8)

- 외부의 전원이 전혀 없어도 원자로를 안전하게 냉각시킬 수 있는 피동보조급수계통(PAFS; Passive Auxiliary Feedwater System)이 장착
- 후쿠시마 사고와 같이 모든 전원이 상실되는 사고가 발생해도 최소 3일까지 원전의 안전성을 보장
- 가압경수로 기준, 세계 최초 개발



## ② 소듐냉각고속로(SFR) 원형로 예비특정설계 완료

- SFR원형로 개념설계 완료('13.2), SFR원형로 예비특정설계 완료('15.12), SFR원형로 특정설계 착수('16.3) 등
- SFR원형로 사전안전성분석보고서 완료('15.12), SFR원형로 개별효과 검증시설(STELLA-1) 구축·시험완료('14.12), 신 피복관('14.7) 및 연료봉('15.10) 실험로 조사시험 착수



원형로 사전안전성분석보고서



원형로 개별효과 검증시설(STELLA-1)

TRU핵연료 연료심 원격제조 설계

## ③ 초고온가스로 핵심 원천기술 개발 및 피복입자핵연료(TRISO) 기술개발

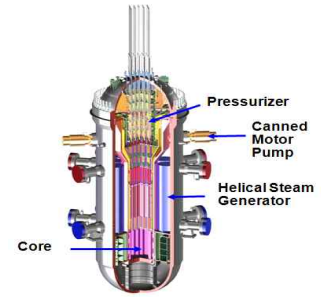
- 헬륨루프 이용 Alloy617 중간열교환기 부분품 초고온성능시험('15), 독자개발된 피복입자핵연료의 하나로 고온 조사시험('15) 및 조사후 시험(PIE) 완료
- Lab(0.05m<sup>3</sup>/hr)규모 SI 열화학 수소생산 공정 장치 건조 및 실증운전 완료('14)



## ④ 일체형 중소형원자로(SMART) 기술개발

○ SMART 표준설계 인가 획득('12.07) 및 SMART 건설 관련 안전성 향상연구 완료

- 원전 사고시 피동으로 작동하여 외부 자원이나 운전원의 조치 없이 플랜트를 안전한 상태로 유도할 수 있는 완전피동안전 계통의 적용으로 SMART 수출경쟁력 확보



○ SMART 건설전 설계(PPE) 사업 착수('15.12)

- SMART 건설전 설계(PPE) 사업 착수로 1억달러 수준의 SMART 기술 수출을 달성
- '16년 국가연구개발 에너지환경분야 최우수 성과 및 '15년 출연(연) 10대 우수성과 선정

⑤ 요르단연구로(JRTR) 설계 및 건설 사업 완공

- 우리나라 최초의 연구로 기술수출로서, 순수 국내 기술력으로 설계, 제작, 건설 시운전 및 최초 임계를 달성함으로써 '16년 하반기 성공적으로 완료



⑥ 선진 핵연료주기기술 핵심 기반 확보

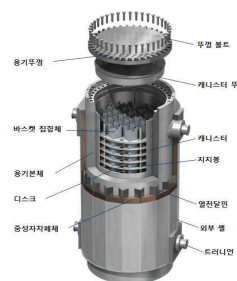
- 사용후핵연료 운반저장용기 설계 및 안전성평가기술 개발, 사용후핵연료 재활용기술개발

- 경수로 사용후핵연료(21다발) 운반용기 및 저장용기 상용화 기술개발
- 금속겸용용기 운반조건 설계승인 신청('16) 및 완료예정('18), 공학규모 파이로모의시험 실험(50kg/회) PRIDE 건설('12), DFDF/ACPF 전처리와 전해환원장치 우라늄성능검증('16) 등

금속겸용용기(운반조건)



금속겸용용기(저장조건)



콘크리트저장용기



## ⑦ 방사성폐기물처분/제염해체 기술개발

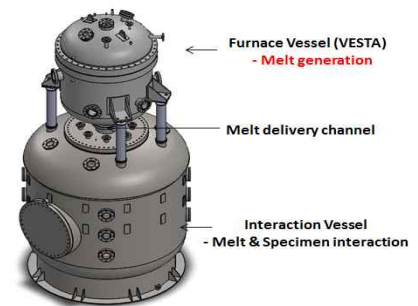
- 지하처분연구시설(KURT)의 경험과 축적된 지식을 바탕으로 한국형기준처분시스템(KRS) 개발
- 원자력시설 제염해체 분야의 핵심 기반기술 38개중 현재(2016년 말 기준) 27개 기술확보



- 독자적인 신개념 화학제염제/제염공정 및 벤치규모 제염성능 평가 장치 개발 완료
- 고하중 해체 매니퓰레이터 시제품 제작 및 공기중 SS 10cm 절단용 광섬유 레이저 절단 기술 개발 완료

## ⑧ 원자력 안전성 선도기술 개발

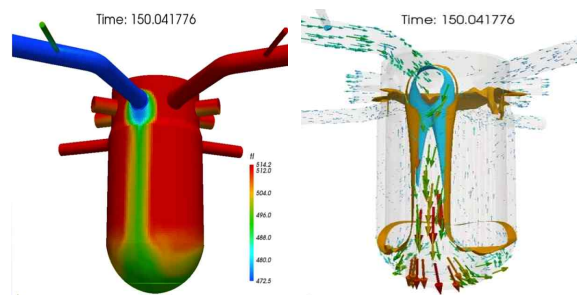
- 열수력 안전 및 중대사고 분야의 대형 실증 실험장치 인프라 구축(ATLAS, VESTA, SMART-ITL, SPARC 등)
- OECD/NEA ATLAS Project('14 ~ '17년)를 주관하여 후쿠시마 사고 후 관심이 높아진 설계확장조건 및 중형 냉각재상실 사고에 대한 실험 성공적 수행



VESTA 실험 장치

- VESTA 실험 장치 이용 APR-1400, 후쿠시마 원전 관통부 파손 실험 수행 등의 국제적인 연구 성과 창출로 2014년, 2015년 연이어 NHK 방영
- 원전 사고시 수소 발생량과 핵분열물질 방출량을 줄여 안전성을 크게 향상시키는 사고저항성 핵연료 원천기술을 확보하고, 국제공동연구를 통해 우수성 입증 추진

- 고정밀 열수력해석코드(CUPID) 및 원전 설계코드(SPACE, CAP) 국산화



- 원전고정밀 다차원 열수력 해석코드 CUPID 개발 및 원전 안전해석 적용
- 우리 원전의 설계특성에 적합한 설계코드 SPACE, CAP를 개발

- 후속연구(중대사고 해석코드)를 통해 세계 최고 수준의 사고해석코드 개발로 연결

- 극한 자연재해 및 다수기 리스크 평가 기반기술 구축

- 극한재해(쓰나미, 슈퍼태풍 재해도 및 항공기 충돌 등) 리스크 평가 기반기술 개발
- 다수기 원전 리스크 평가체제 구축

## ⑨ 방사선 이용확대 국민보건 증진 삶의 질 향상

### ○ 방사선 바이오마커를 활용한 방사선 치료 예후예측 가능성과 효율성 임상 적용

- 폐암 및 유방암 방사선치료 저항성 바이오마커 대량 발굴('12~'15)을 통한 임상 적용을 근거로 암치료 예후예측 진단시스템의 개발이 구축됨

### ○ 방사성동위원소·방사성의약품 개발 및 임상 적용

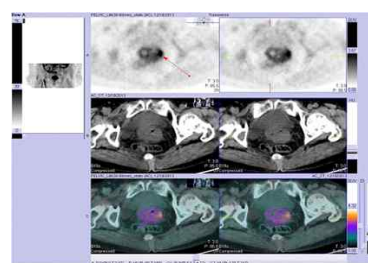
- 연구용 수준의 생산기술이 확보된 RI (Cu-64, I-124, Zr-89 등)에 대한 대용량/주기적 생산 기술 확립, 국내 최초 사이클로트론 기반 RI (Cu-64) 생산 허가 취득('13.11.), 국내 최초 [Cu-64]ATSM 임상 연구 식약처승인('13.12.05) 및 임상연구 수행('13.12.17)



Cu-64 생산 허가 취득



[Cu-64]ATSM 임상시험 승인



[Cu-64]ATSM 임상연구 수행결과

### ○ 방사선융합기술·제품 개발

- 국내 1호 연구소기업(콜마 BNH) 코스닥 상장 및 연구소기업 성공모델 제시, 연구소기업 최초 코스닥 상장('15.2) 및 설립당시 대비 기업가치 480배 상승(23.5억원→10,828억원, '16.5 기준)

### ○ 산업활성화를 위한 기반 구축 본격추진

- 수출용신형연구로 구축중 ('20) : 동위원소 안정공급 및 세계시장 장악을 위한 기반시설 확보
- 방사선 기기팩 센터('16) 등 중소기업의 공통적인 애로사항을 해결하고, 관련 산업의 육성을 도모
- 양성자가속기연구센터('12), 방사선육종연구센터('14) 등 방사선 기초과학 육성을 위한 공동 활용 활성화를 위한 시스템 구축

- 한미 원자력협력협정 개정을 통해 사용후핵연료 재활용기술(파이로프로세싱) 연구개발 추진 여건 확보
  - 한미 고위급 위원회 및 하부 4개 워킹그룹(사용후핵연료관리, 원전수출증진, 원전연료 공급, 핵안보 실무그룹) 발족 및 운영 착수



## ⑪ 산·학·연 원자력 인력양성 체계 구축

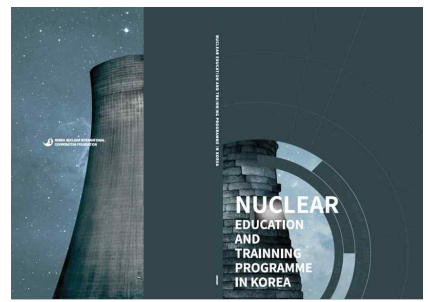
- 국내 원자력 인력양성 유관기관 네트워크를 통한 국가 차원의 원자력 인력양성 문제 대응 기반 마련
  - 원자력 인력양성 관련 대학, 산업계, 연구 및 기타공공 협력단체 25개 참여하는 ‘원자력 교육협력협의회’ 출범



국가원자력인력양성컨퍼런스



IAEA 국제컨퍼런스 인력양성 전시



국가 원자력 인력양성 영문책자 발간

## ⑫ 원자력 전문인력 대상 연구생에 주기별 맞춤형 글로벌 역량개발 지원

- 대학(원)생, 신진종사자, 전문연구자, 퇴직자 대상 글로벌 역량개발 사업 추진
  - 국내대학 원자력공학과 대학(원)생, 연구직 종사자 등 연구인력 총 100명 대상
  - IAEA, OECD/NEA, 맨체스터大, 미국아르곤국립연구소, 호주원자력과학기술청 등 국제기구 및 해외선진연구기관과 협력을 통해 맞춤형 글로벌 역량개발 사업 추진



국내 대학(원)생 대상, 해외인턴십 지원



제염해체 연구인력 단기연수



성과사례집 발간

## ① 국내외 학술지 논문게재 활동 활성화

○ 기초/원천 연구의 역량 강화를 통한 국내외 학술지 논문게재 활동 활성화

- 3차('07~'11) 원자력연구개발 5개년 계획 기간 중 총 7,346건(SCI 5,074건, 비SCI 2,272건)의 국내외 학술지 논문게재 실적 창출, 4차('12~'15) 기간 중 총 5,073건(SCI 3,777건, 비SCI 1,296건)의 국내외 학술지 논문게재 실적을 도출

[단위: 건]

구분		3차 (07년~11년)	4차 (12년~15년)	계
국내	SCI	795	499	1,294
	비SCI	1,882	923	2,805
	소계	<b>2,677</b>	<b>1,422</b>	<b>4,099</b>
국외	SCI	4,279	3,278	7,557
	비SCI	390	373	763
	소계	<b>4,669</b>	<b>3,651</b>	<b>8,320</b>
계	SCI	5,074	3,777	8,851
	비SCI	2,272	1,296	3,568
	소계	<b>7,346</b>	<b>5,073</b>	<b>12,419</b>

※ 추후 '16년도 실적을 포함하면 지난 3차 원자력연구개발5개년 계획 실적을 상회할 것으로 예상

## ② 특허출원 및 등록 실적

○ 원자력연구개발사업의 경우 특허등록 건수는 4차('12~'15) 기간 중 970건으로 3차년도 대비 약 8% 증가

- 3차년도 기간 총 2,799건(5년간), 4차년도 '12~'15 기간 중 총 2,605건(4년간)으로 집계

[단위: 건]

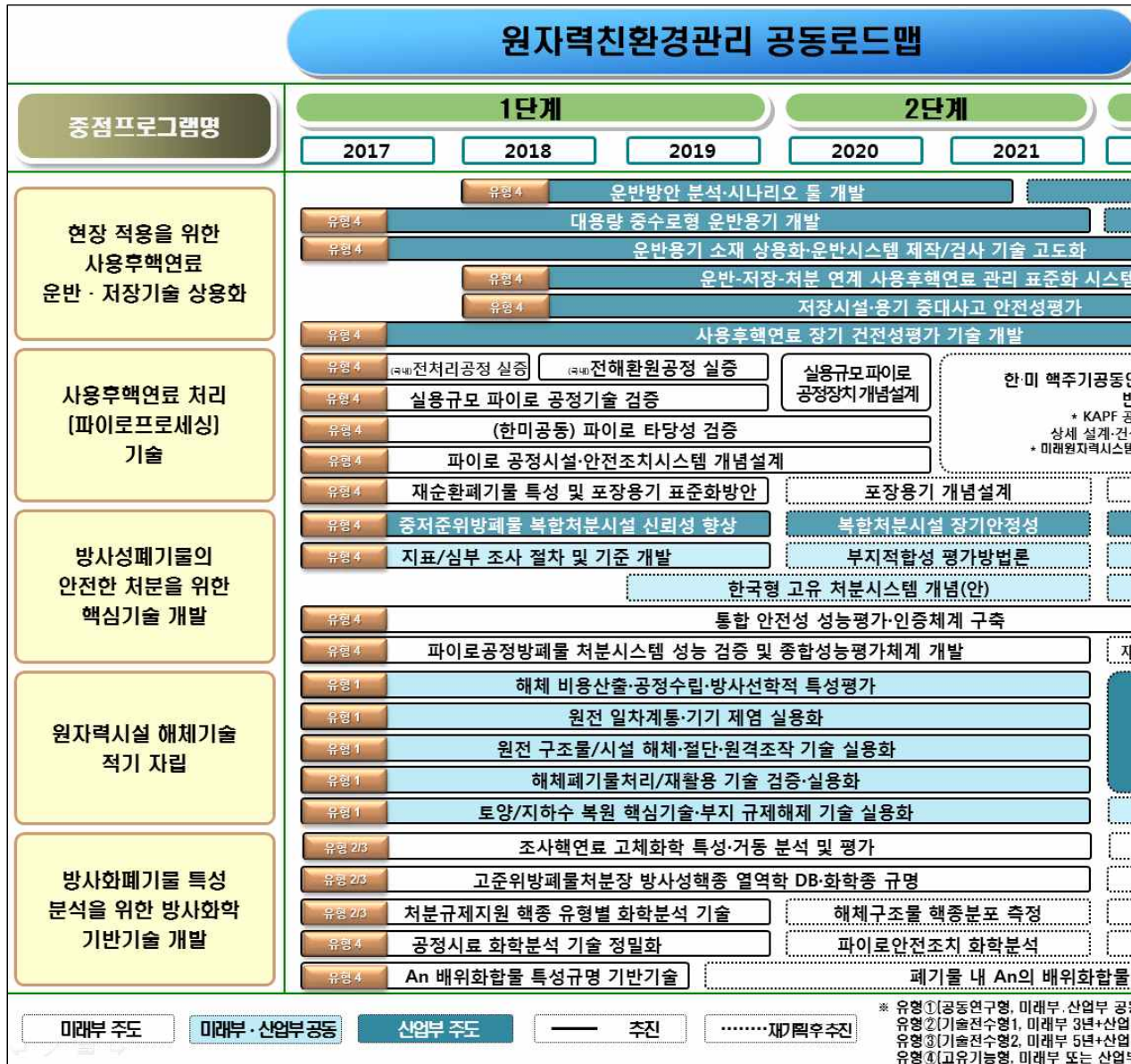
구분		3차 (07년~11년)	4차 (12년~15년)	계
출원	국내	1,550	1,343	2,893
	국외	352	292	644
	소계	<b>1,902</b>	<b>1,635</b>	<b>3,537</b>
등록	국내	772	871	1,643
	국외	125	99	224
	소계	<b>897</b>	<b>970</b>	<b>1,867</b>
계	국내	2,322	2,214	4,536
	국외	477	391	868
	소계	<b>2,799</b>	<b>2,605</b>	<b>5,404</b>

※ 추후 '16년도 실적을 포함하면 지난 3차 원자력연구개발5개년 계획 실적을 상회할 것으로 예상



## 붙임 2 24개 과제별 기술개발 로드맵

원자력 안전강화 공동로드맵					
중점프로그램	1단계			2단계	
	2017	2018	2019	2020	2021
가동원전 운영신뢰성 증진	유형 1	안전여유도 정밀평가·향상			
	유형 4	고신뢰도 안전 상태감시·예측			
	유형 4	인적오류·정보관리 능력 강화			
	유형 4	경수로·중수로 경년열화 관리 강화			
극한환경하에서의 방사성 물질 누출 배제 구현	유형 1	다수기 리스크 최적 평가·저감		실증·검증	
	유형 1	경수로·중수로 설계기준초과사고 대응 심층방어 능력 강화			
	유형 4	중대사고 방사성 물질 격리 강화			
	유형 1	인위적 위험 대응능력 강화		실증·검증	
원자력 시설의 방사선 방호체계 강화	유형 4	원자력시설 환경영향 정밀평가			
	유형 4	사고시 환경오염 위해도 평가·저감			
공통 안전성 향상 기술	유형 1	원자력 안전 설비 면진·내진·제진		실증·검증	
	유형 1	원자력시설 화재방호		실증·검증	
	유형 4	원자력 안전성향상 신소재 개발			
	유형 4	고유 안전해석 코드개발·교차기술		고유 안전해석 코드개발	
<div><div>미래부 주도</div><div>미래부·산업부 공동</div><div>산업부 주도</div><div>— 추진</div><div>……재검토후추진</div></div> <div>* 유형①(공동연구형, 미래부, 산업부 공동) 유형②(기술연계형1, 미래부 3년+산업부 3년) 유형③(기술연계형2, 미래부 5년+산업부 5년) 유형④(고유기능형, 미래부 또는 산업부 단독)</div>					



## 원자로개발 공동로드맵

### 중점프로그램명

### 1단계

### 2단계

2017

2018

2019

2020

2021

고유안전성이 확보된  
경수로 기술의 실현

유형 4

PECCS 기술개발

피동안전계통 적용 설계

유형 4

PCCS 기술개발

PMCCS 기술개발

유형 4

TM-ICI/대형 무봉산

혁신형 안전 경수로 기본설계

유형 4

RV지지대, 지능형 MMIS

고독성 물질 연소  
소동냉각고속로(SFR)  
기술 개발

유형 4

SFR원형로 특정설계-인가신청 획득

유형 4

SFR원형로 기본설계-건설허가 신청

유형 4

SFR원형로 고유안전성 검증

유형 4

우라늄핵연료제조시설(UFME) 예비설계-건설허가 획득

유형 4

재순환핵연료(TRU) 기술개발

유형 4

SMART PPE

사우디 현지 SMART 건설 추진

유형 4

고효율 SG 예비 설계 및 부품 검증

유형 4

모듈화 및 플랫폼 기술 타당성 평가

유형 4

IV-CEDM 기술개발

유형 4

PCCS 개발 [피동적냉각을 냉각계통]

유형 4

Brayton cycle 발전 실증 기술

수출 지향 소형모듈형  
경수로 개발

열이용 원자로  
핵심기술개발

유형 4

독자개발 고유 설계/해석 코드 검증 및 고도화

유형 4

설계 개념/코드 및 피동안전성 실험적 검증/재료 열화 평가

유형 4

복합코팅 고온/고연소도 핵연료 기술

유형 4

고온열 이용 신기술 분석/SI 공정 열순환 연구

유형 4

신개념원자로 경제성, 기술성, 안전성, 인허가성 등 타당성 평가

신개념 원자로 개발

한-미 핵주기관동연  
반

\* SFR 원형로 건설허가  
\* 미래원자력시스템

혁신형 소형모듈형

검증된 기기

표준설계를 위한 예타

신개념원자로 발굴 및

미래부 주도

미래부·산업부 공동

산업부 주도

추진

재미추진

※ 유형①(공동연구형, 미래부·산업부 공동)  
유형②(기술연계형1, 미래부 3년+산업부 3년)  
유형③(기술연계형2, 미래부 5년+산업부 5년)  
유형④(고유기능형, 미래부 또는 산업부)



방사선 공동로드맵					
중점프로그램명	1단계			2단계	
	2017	2018	2019	2020	2021
산업경쟁력 강화를 위한 방사선 기술 체계 확보	유형 4 국가 동위원소 프로그램 구축, 융합연구센터 구축	국가 동위원소(C-14, Co-60 등) 프로그램 운영, 융합연구센터 구축			
	유형 1/2 의료기기/산업용 방사선 측정기기 기술 체계화	의료/산업용 방사선 측정기기 기술 체계화			
	유형 3/4 방사선 응용(PTT), 반응지도(PRE), 방사선 대동물 센터, 방사선기기 성능평가 표준화시설(2020년) 등 방사선 이용 전략 R&D 및 인프라 구축 추진	현장적용 시범실험 및 기술이전, 시제품 제작 및 인증 등			
국민 건강 증진을 위한 방사성의약품 및 치료기술 개발	유형 4/4 주요 산업분야 첨단 비파괴 원전기술 및 우주/항공/국방 분야 비파괴 평가기술 개발	현장적용 시범실험 및 기술이전, 시제품 제작 및 인증 등			
	유형 4 뇌질환 진단용 방사성의약품 후보물질 발굴	뇌질환 진단용 방사성의약품 개발 : 안전성 및 유효성 평가			
	유형 3/4 개인 맞춤형 방사선치료기술 및 신약	개인 맞춤형 방사선치료기술 및 신약			
	유형 4 난치성 암 치료용 중입자가속기 구축	암환자 생존율 향상을 위한 중입자가속기 구축			
	유형 4 신약/방사성의약품 개발을 위한 R&D 플랫폼 구축	신약/방사성의약품 개발을 위한 R&D 플랫폼 구축			
	유형 4 방사선의료 측정표준 및 정도관리 센터 구축	PET-CT 방사선 및 양성자선 측정표준 및 정도관리 센터 구축			
국가 전략적 방사선 원천기술 확보	유형 4 수출용신형연구로 개발 및 실증	수출용신형연구로 개발 및 실증			
	유형 3 이차전지 전극 신물질 및 측정/분석기술 개발	에너지저장/소재 신물질 측정/분석기술 개발			
	유형 3 12인치 반도체 균일 도핑 기술 개발	SiC 차세대 반도체 NTD 기술 개발			
	유형 4 양성자기반 RI 빔 발생 시스템 개발 : 표적시스템	양성자기반 $\beta$ -NMR 장치 구축			
	유형 4 방사선 기초/집단 연구추진	방사선 기초/집단 연구추진			
사회 현안문제 해결을 위한 방사선융합기술 개발	유형 3 복합 방사선 영상 보안검색 시스템 개발	보안검색 시스템 성능 인증			
	유형 3 에너지 회수형 수처리 파울러시스템 개발	에너지 회수형 수처리 시스템 실증			
	유형 2 방사선기반 화력발전소 미세먼지 저감 시스템 기술타당성 입증	방사선 기반 미세먼지 저감 시스템 개발			
	유형 1 NEMP 대응 등 현안기술개발	NEMP 대응 등 현안기술개발			
미래부 주도	미래부·산업부 공동	산업부 주도	법무부공동	추진	재도입추진

유형①(공)

유형②(기)

유형③(기)

유형④(기)

## 원천기반/정책 공동로드맵

중점프로그램명	1단계			2단계	
	2017	2018	2019	2020	2021
국가원자력 인력양성체계 구축 및 전문인력양성	유형 4 전문인력 역량표준정립	전문인력 교육훈련 지원사업 개발		전문인력 교육훈련 지원사업 고도화	
	유형 4 해외 인력 대상 교육훈련 프로그램 구축 및 국제화		국제 원자력 인력양성 통합 패키지 개발		
효율적인 국제협력 R&D 전략수립 및 확대	유형 4 원자력 국제협력 R&D 전략수립		국가전략과제 대응을 위한 공동연구 및 협력사업 발굴 추진		
	유형 4	국제 협력 및 공동연구 추진(원전수출, GEN-IV, I-NERI, JFCS 등)			
선제적 정책 역량 및 소통 강화	유형 4 적기 현안 대응 정책 개발(한미협정 후속조치, COP21 후속조치, NI2050 등 문제해결형 정책개발 사업)			자기 국가계획 수립 대비 정책기반확보	
	유형 4 원자력정책역량 강화(원자력관련 실태조사, 원자력백서 발간 및 역량강화 등)				
	유형 4	국민소통활성화 사업 및 지식축적 활용 사업 추진			
혁신 역량 배양을 위한 기초기반/R&D	유형 4 도전적, 혁신적, 창의적 기초연구 확대개편			환경변화를 고려한 발전	
	유형 4 유기적 산학연 공동연구(선진센터) 확대개편				
미래를 대비하기 위한 원전기술의 입성	유형 4 레이저이용 동위원소 신소재 개발 및 해외시장 겨냥 맞춤형 연구로 핵연료 개발 등				
	유형 1 빅데이터, AI, 3D 프린팅, LEU R&D 등 최신 ICT 기술 융합 또는 정책현안 R&D 사업 추진(상향식)				
	유형 4	고효율 중성자 조사 기술개발			
원전산업 생태계확성을 위한 산업·연구시설 확충	유형 4 원전산업 인프라 예비타당성 검토	원전산업 실증시험 인프라 구축			
	유형 4	원전산업 동반성장 생태계 활성화			
미래부 주도	미래부·산업부공동	산업부 주도	—	추진	..... 재기획추진
* 유형①[공동연구형, 미래] 유형②[기술연계형1, 미래] 유형③[기술연계형2, 미래] 유형④[고유기능형, 미래]					