

요 약 문

사업의 주요 내용 요약

사업명	핵융합실증로 핵심 기반기술개발 사업
추진근거	<ul style="list-style-type: none"> ○ 「과학기술기본법 시행령」 제5조의2제1항 ○ 「기초연구진흥 및 기술개발지원에 관한 법률 시행령」 제4조제1항 ○ 「핵융합에너지 개발진흥법」 제8조, 제11조 등
사업 기간	2015년~2022년 (8개년)
추진단계	1단계('15~'17; 3년), 2단계('18~'20; 3년), 3단계('21~'22; 2년)
투입예산	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 예산: 5,956억원 ○ 단계별 예산: 1단계 1,329억원, 2단계 2,827억원, 3단계 1,801억원 ○ 용도별 예산 비중: R&D 사업비 69.5%, 대형장비 구축비 30.5%
사업의 비전	핵융합에너지 기술개발 선도국 도약으로 미래에너지 주도권 확보
사업의 목표	핵융합실증로 설계·건설을 위한 핵심 기반기술 조기 확보
대표 성과지표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합실증로 설계 기반 확보 ○ 기반기술 분야 세계최고 수준 핵심기술 5개 이상 확보 ○ 세계최고 수준의 연구팀 및 강소형 기업(Hidden Champion) 발굴 및 육성
단계별 전략목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계: 핵융합실증로 핵심기술 기반 구축 ○ 2단계: 핵융합실증로 핵심 기반기술 분야 글로벌 Top 3 달성 ○ 3단계: 핵융합실증로 세계최고 수준 핵심 기반기술 5개 이상 확보
추진 기술체계	<p>3대 중점 추진분야, 7대 핵심기술, 18대 세부 추진기술, 40대 세세 부 추진기술로 구성</p> <p>※ 3대 중점추진분야: 설계 기반기술, 소재 기반기술, 장치 및 계통공학 기반기술</p>
사업 운영관리 거버넌스 체계	정부(미래창조과학부), 관리기구(한국연구재단), 이사회 및 연구단 장, 위원회(운영위원회, 평가위원회), 지원조직(글로벌혁신본부, 공학기술융합본부, 사업지원본부), 실행조직(7개 연구센터) 등으 로 구성

1. 배경 및 필요성

□ 핵융합 에너지 조기 개발의 필요성

- 전 세계 에너지 수요 증가와 기후 변화에 대응할 수 있는 궁극적 해법, 핵융합 에너지의 개발 필요성 증대
 - 후쿠시마 원전 사고 이후 각국은 기존 에너지원들의 한계를 절감
 - 핵융합에너지는 청정에너지, 무한에너지, 안전에너지, 평화에너지, 대용량·고효율에너지로서 기후변화와 에너지안보 문제 해결 가능

□ 주요국 핵융합실증로 선점 경쟁

- 국제 공동연구 ITER 이후를 대비, 주요국은 경쟁적으로 독자적인 핵융합실증로 (DEMO) 개발 계획 발표
 - 핵융합에너지는 ITER의 과학적 실증과 DEMO의 공학적 실증을 거쳐 상용화 가능
 - ※ (中) '15년 CFETR(핵융합공학시험로) 개발 착수 계획, (EU) '12년 로드맵 발표, ITER-BA 프로젝트(日과 공동 프로젝트) 추진, (日) 핵융합 3대 주요 과제 추진
 - 우리나라는 '22년 “DEMO 설계 착수”를 목표로 설정하였으나, 구체적인 “핵심 기반기술” 확보 전략 부재
 - 핵융합 상용화 단계에서 기술·경제적 경쟁력을 확보하기 위해서는 Fast Follower전략에서 벗어나 First Mover로의 도약이 필요

□ First Mover 도약을 위한 新전략체계 구축 필요

- “핵융합실증로 핵심 기반기술” 확보를 위해서는 글로벌 산학연 첨단 기술 클러스터 형성 필요
 - 국내 이공학 분야 역량 결집 및 선진국과의 전략적 협력으로 기술분야별 난제 해결 및 First Mover로 도약 필요
 - 세계 최고수준의 국내 원자력, 제조업, 중공업 등의 산업역량 활용 및 다학제간 산학연 융합·혁신 체계 구축 필요
 - 반도체, 의료기기, 소재산업, 나노기술, 정보기술 등의 산업분야에서 강소형 전문기업 육성 및 일자리 창출 기여가 가능

2. 사업의 개념 및 목표

2.1 사업의 개념 및 철학

□ 사업의 개념

- ① 핵융합실증로(DEMO)에 필수적인 핵심 기반기술을 선제적으로 개발하는 사업
 - 제2차 핵융합에너지개발진흥기본계획(2011.12)에 따른 핵융합에너지 개발 계획에 차질이 없도록 핵융합실증로에 필수적인 공학기술 위주 핵심 기반기술을 선제적으로 개발하여 DEMO 설계 준비수준(DEMO Design Readiness Level, DDRL)을 제고하기 위한 사업임
- ② 핵융합에너지 분야 **First Mover** 도약을 위한 국가전략적·목표지향적 사업
 - 지속적인 기술·산업·정책동향 분석을 통한 중간진입 전략 및 Fast-Follower 전략을 넘어 Moving Target을 지향하고, 세계 최초·최고 수준의 핵융합실증로 핵심 기반기술을 확보하여 핵융합에너지 분야 Global First Mover로 도약하기 위한 사업임
- ③ '22년 핵융합실증로 설계 착수를 위한 국내외·다학제·산학연 융합·혁신 사업
 - 국내외·다학제·산학연 융합·혁신을 통하여 핵융합실증로 핵심 기반기술을 개발함으로써 설계 기반을 확보하고 지역간 연계 및 글로벌 연계를 통해 그 성과를 확산하기 위한 사업임
 - 다양한 분야의 국내 산학연 Hidden Champion을 발굴·육성

□ 사업의 철학

FIRST MOVER (글로벌 선도 전략)

- ▶ 세계 최초·최고의 핵융합실증로 설계능력 확보를 통한 Global First Mover로 도약

UNIFIED TECHNOLOGY MANAGEMENT (통합 DEMO 핵심 기반기술 관리 전략)

- ▶ 국내외 타 사업의 기술적 성과를 모니터링하여 국산실증로 설계 시의 활용가능성을 정량적(DEMO Design Readiness Level)으로 통합 관리

SPIN-IN & SPIN-OUT (국가차원의 과학·기술·산업 융합적 확산 전략)

- ▶ 타 산업분야로의 연구성과 확산과 타 산업분야의 연구성과 수용을 동시에 고려하여 국가 전반의 산업기술 고도화를 견인

INTERDISCIPLINARY RESEARCH (학제간 연구를 통한 융합혁신 전략)

- ▶ 공학기반 기술을 바탕으로 학제간 융합을 통해 새로운 기술 솔루션을 창출하고 최우수 기술집단(Hidden Champion)을 육성

OPEN INNOVATION (글로벌 기술·시장 개방형 혁신 전략)

- ▶ 사업을 전 세계에 개방하여 연구자원의 국경을 제거하는 한편 선택적 기술정보 공개를 통해 기술보안을 보장하고 글로벌 시장을 지향

NATION-WIDE APPROACH (국가적 혁신역량 결집 전략)

- ▶ 전국에 '거점 핵융합기술개발센터'를 설립하여 기술저변을 확대하고, 국내 대형연구장비의 활용을 통한 효율적 연구 추진

2.2 사업 추진의 타당성

□ 사업 추진의 시의성

① 법정계획의 차질 없는 추진 필요

- 핵융합에너지개발진흥 기본계획과 연차별 시행계획은 핵융합에너지개발진흥법 제4조 및 제5조와 동법 시행령 제2조 및 제3조에 따라 수립·추진되는 법정 계획임
- 우리나라의 핵융합에너지개발은 총 3단계에 걸친 30년 기간의 초장기 사업이며, 2단계('12~'21) 목표인 'DEMO 플랜트 기반기술 개발'을 뒷받침하기 위해 'KSTAR와 ITER를 활용한 핵융합 기반기술 연구·개발'을 목표로 추진해야 함

② 국가 간 경쟁심화에 대응한 핵융합상용화 트랙 착수 필요

- ITER사업 참여국들은 핵융합에너지의 상용화를 고려한 ITER 이후의 DEMO 건설 계획을 수립하였으며, 이미 DEMO를 위한 기술개발에 착수함에 따라 핵융합에너지의 상용화 경쟁이 심화되고 있음
- DEMO 건설을 위한 R&D는 핵융합 상용화 트랙에 진입했음을 의미
- 우리나라도 미래 핵융합에너지 시장을 선점함으로써 에너지 강국으로 도약하기 위해서는 경쟁국의 상용화 트랙 진입 대응 전략이 필요함
- 핵융합에너지 상용화 트랙의 초기단계로서 핵융합실증로(DEMO)에 대한 핵심 기술을 확보하기 위한 전담 사업의 추진이 필요함

③ 징검다리로서 DEMO 핵심기술 확보 사업이 필요

- 연구로(KSTAR)와 실험로(ITER)만으로는 실증로를 설계·건설하고 상용로까지 진행하는 데는 충분치 않으며, KSTAR, ITER 등 기존 사업의 성과를 계승하여 DEMO 설계 시 충분한 기술적 역량을 제공하는 징검다리 사업이 필요함

□ 정부지원의 필요성

① 국가 핵융합에너지 연구개발에서의 정부의 의무

- 핵융합에너지개발진흥법은 핵융합에너지 연구개발에서의 정부의 의무와 주관 연구기관, 소요비용의 출연 및 기업의 투자 촉진 등을 명시
 - 핵융합에너지개발진흥 기본계획에서는 핵융합에너지 관련 중요사안 및 추진 방향은 국가핵융합위원회에서 심의·의결하고, 각 부처별 역할을 설정하여 범부처적으로 핵융합에너지 연구개발을 추진하기로 함
 - ※ 주관부처는 미래창조과학부이며, 산업통상자원부, 기획재정부, 국가과학기술심의회, 교육부, 외교부, 원자력안전위원회 등이 참여
- 핵융합과 같은 에너지 분야는 국가 안보와 직접적으로 연계되어 있어서 전 세계적으로 정부 주도의 연구개발 지원이 이루어지고 있음

② 핵융합에너지 시장의 부재로 인한 기업주도의 R&D 불가

- 핵융합에너지는 타 에너지원에 비해 기술적 완성도가 낮고 투자비가 높으며 시장형성 자체에 대한 불확실성이 매우 높을 뿐만 아니라 관련 공공기업이 존재하지 않아 민간주도의 연구개발은 불가능한 상황임
- 그간 KSTAR, ITER 등 우리나라의 핵융합 관련 연구개발은 모두 정부 주도로 진행되고 있으며, 향후 최소한 DEMO 핵심기술 개발 단계까지는 정부의 지원이 절대적임
 - ※ DEMO 설계 및 건설 단계에서는 정부주도와 기업의 부분적 참여(투자)가 필수적이며, 상용 단계에서는 기업주도로 진행되어야 함
- 상용 핵융합 시장이 아직 형성되지 않아 참여기업의 역할이 1회성 부품제작에 국한되어 있고 연속적·반복적으로 제품을 생산할 수 없음

□ 국가 중장기 R&D 계획과의 부합성

① 과학기술기본계획과의 부합성

- 과학기술기본계획에서 핵융합기술은 120개 국가전략기술 중 하나로 5대 전략 중 ‘국가 전략기술 개발’, 19개 분야 중 ‘미래성장 동력 확충’, 78개 추진과제 중 ‘우주·항공·국방의 성장동력화’에 포함됨
 - 78개 추진과제 중 우주·항공·국방의 성장동력화는 40개 중점과제로 선정되었으며, 핵융합기술은 미래형 유인 항공기기술, 차세대 가속기기술 등과 함께 우주·항공·국방의 성장동력화 추진과제를 구성함

② 핵융합에너지개발진흥 기본계획과의 부합성

- 본 사업은 제2차 핵융합에너지개발진흥 기본계획의 틀 안에서 기획되었으며, 아래와 같이 목표와 주요 내용이 부합됨
 - **(목표의 일치성)** 핵융합에너지개발진흥 기본계획 중 2단계('12~'21)의 목표는 ‘DEMO 플랜트 기반기술 개발’이며, 본 사업의 목표는 ‘핵융합실증로 설계·건설을 위한 핵심 기반기술 조기 확보’로 일치
 - 제2차 기본계획 기간('12~'16)의 4대 중점추진전략 중 ‘DEMO 기초기술 개발’은 본 사업의 1단계('15~'17) 목표인 ‘핵융합실증로 핵심기술 기반 구축’과 일치
 - **(내용의 일치성)** 제2차 기본계획 기간('12~'16)의 실천과제의 세부내용 중에서 다음과 같은 내용이 본 사업의 내용과 일치함
 - ITER 비조달 핵심기술 확보체계 구축 및 연구 착수
 - DEMO 설계 및 핵심기술 개발을 위한 기반 구축
 - TBM 설계 등 핵심기술 개발 및 확보
 - 핵융합 재료 기술개발 체계 수립 및 추진
 - 거점·특화연구센터 확대를 통한 핵융합 기초 연구 확대
 - 핵융합 글로벌 R&D 전략 체계 수립·추진
 - DEMO/상용로 대비 안전 관련 기준 설정 및 규제기술 개발

□ 사업간 연계성

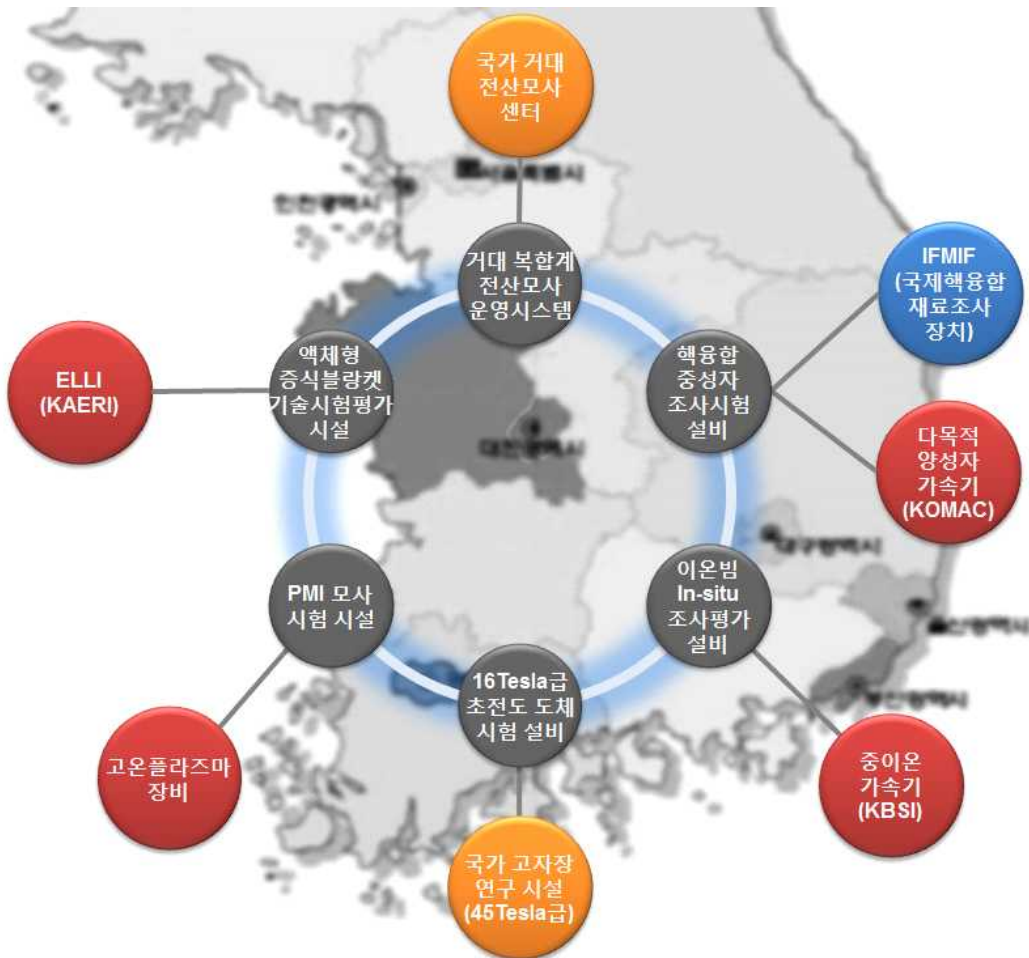
① 핵융합 관련 사업간 연계성

- 본 사업은 국가 핵융합에너지개발 계획에 따라 진행되는 사업이며, KSTAR 및 ITER 사업과 연계하여 DEMO 건설에 필수적인 핵심 기반기술을 선제적으로 개발하여, DEMO를 성공적으로 설계·건설하고 궁극적으로는 한국형 핵융합 발전소 건설 조기실현을 위한 공학기술적 기반을 구축하는 사업임
 - KSTAR와 ITER 사업은 핵융합 기술개발 역량과 전문인력 공급
 - 국가핵융합연구소의 기관수행사업 중 DEMO개발 기반구축사업은 DEMO의 개념, 주요 변수 및 일부 부품에 대한 설계기술 등 공급
 - 핵융합기초연구 및 인력양성사업은 대학의 핵융합분야 전문인력과 기초기술 공급

② 국내외 대형연구시설과의 연계성

- 본 사업은 대형장비를 구축 시 국내외 대형연구시설과 연계함으로써 소요비용 절감, 대형연구시설의 효율적 활용, 국가과학기술 혁신역량 제고 및 파급효과 극대화, 국가 인적자원의 활용, 지역과학기술 발전, 우리나라 핵융합 기술의 글로벌 경쟁력 확보 등의 시너지를 창출하고자 함
- 현재 본 사업에서 계획하고 있는 대형장비와 연계 가능한 국내 대형연구시설 또는 연구기관은 다음과 같음
 - 이온빔 In-Situ 조사평가 설비: 한국기초과학연구원 부산센터에서 구축하고 있는 중이온 가속기
 - 핵융합 중성자 조사시험 설비: 경주에 구축하고 있는 다목적 양성자 가속기(KOMAC)
 - PMI 모사시험 시설: 전북대학교 내에 설치된 고온플라즈마 장비
 - 액체형 증식블랑켓 기술 시험평가 시설: 한국원자력연구원 내에 구축된 국내 유일의 액체증식 시험장비(ELLI)
- 한편, 현재 논의되고 있는 국내외 대형연구시설과의 연계 가능성은 다음과 같음

- 거대 복합계 전산모사 운영시스템: (가칭)‘국가 거대 전산모사 센터’와 연계함으로써 Extreme Scale의 시뮬레이션 수행 역량 강화
- 16Tesla급 초전도 도체 시험 설비(SUCCEX): 45Tesla급이 될 것으로 추정되는 (가칭)‘국가 고자장 연구시설’(생명공학·의공학 등의 기술개발)과 연계함으로써 핵융합뿐만 아니라 차세대 가속기용 거대 초전도 자석기술 개발
- 핵융합 중성자 조사시험 설비: 최근 논의되고 있는 IFMIF¹⁾ 시설을 국내에 유치할 경우, 본 사업에서 계획하고 있는 핵융합 중성자 조사시험 설비와 연계하여 국내 예산만으로는 추진하기 매우 어려운 핵융합 재료에 대한 중성자 대량 조사 시험이 가능



주) 청색원은 국제공동시설, 적색원은 현재 구축되고 있거나 구축된 시설, 주황색원은 현재 논의되고 있는 시설

1) International Fusion Materials Irradiation Facility(국제핵융합재료조사장치)

□ 사업간 차별성

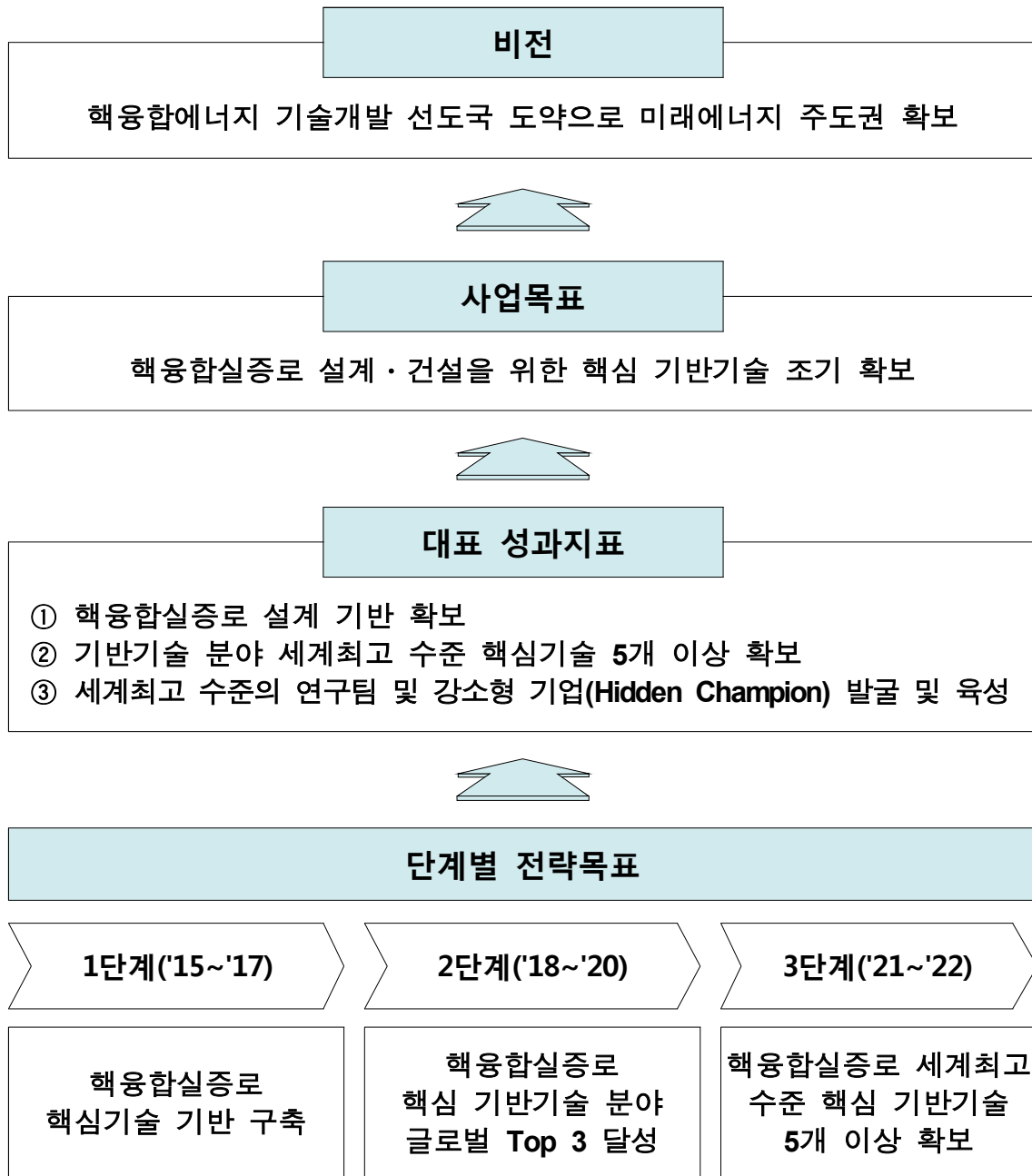
- 본 사업은 KSTAR 장치와 ITER 장치의 기술적 기반을 보유하고 있는 우리나라가 DEMO 설계·건설의 기술적 성숙도를 충족하기 위해 전략적으로 매우 중요한 위치에 있음
- **(KSTAR)** 연구로인 KSTAR 사업의 성과물은 상용 발전소의 관점에서 규모와 기술적 성숙도가 매우 낮음
- **(ITER)** 우리나라가 참여하고 있는 ITER사업은 국제공동개발사업이므로 우리나라는 ITER의 부품 중 일부만 조달함
- **(NFRl)** 국가핵융합연구소에서 수행하고 있는 DEMO개발기반구축사업은 사업의 규모 또한 매우 작아 DEMO의 핵심기술을 개발하기에는 적절치 못함
- **(핵융합 기초연구 및 인력양성 지원사업)** 대학 중심의 원천기술 확보와 이를 위한 기초연구의 기반을 구축하고 전문인력을 양성하기 위한 사업임

※ KSTAR, ITER, DEMO 개발 기반 구축사업(국가핵융합연구소 기관수행사업)의 목적에는 모두 핵융합발전로, 핵융합에너지 상용화 등의 용어가 명기되어 있는데, 이는 우리나라의 핵융합에너지 사업 전체가 「국가핵융합에너지개발 기본계획」에 따라 상용핵융합발전소 건설을 궁극적인 목표로 진행되고 있는 포트폴리오형 사업이기 때문임

사업명	사업내용의 차별성
KSTAR 사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고성능 장시간 운전기술 개발 및 실용화 연구를 통한 핵융합 원천기술 개발 ○ KSTAR 주장치, 부대장치 및 부대설비의 성능고도화 연구 및 운영 ○ 초전도 토카막 장치의 핵심 운영기술 개발과 핵융합발전로 개발 및 운영을 위한 인력 양성
ITER 사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라에 할당된 10개 품목의 적기 제작 및 조달 ○ ITER 국제기구 운영 참여를 통한 전문인력 양성 ○ 핵융합 상용화를 위한 핵심기술 연구 및 개발 ○ 조달품목의 효율적 조달을 위한 종합 사업 관리 등
DEMO 개발 기반 구축사업 ^{주)}	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합 실증플랜트 개발 기반구축 - ('13년) 실증로 토카막 설계개념 연구, 핵융합 실증플랜트 설계개념 연구, 핵융합 실증로 기반기술 연구
핵융합 기초연구 및 인력양성 지원사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 거점센터, 학연공동우수그룹 및 핵융합 기초연구 과제 지원
본 사업	<ul style="list-style-type: none"> ○ 설계 기반기술(핵융합로 노심 기술, 핵융합로 시스템 통합 기술, 안전 및 인허가 기술) 개발 ○ 소재 기반기술(핵융합 재료 기술, 초전도 자석 기술) 개발 ○ 장치 및 계통공학 기반기술(가열 및 진단 장치 기술, 동력계통 공학기술) 개발

주) 국가핵융합연구소 기관수행사업

2.3 사업의 비전·목표 및 전략체계도



3. 사업 추진전략

3.1 중점추진분야 및 핵심기술

- 3대 중점추진분야 및 7개 핵심기술 개발 추진

1] 7대 핵심기술의 정의

중점추진 분야	핵심기술	정의
설계 기반기술	핵융합로 노심 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실증로 노심(Q=출력/입력~30)의 안정적 운전을 위한 연소 플라즈마 핵심 기술 확보를 위한 실험 및 모델링 기술과 실험적 검증을 통한 예측 가능한 노심 시뮬레이터 기술 ○ 개념적·공학적 설계에 필요한 핵심 코드의 확보 및 대규모 전산모사에 필요한 state of art의 전산자원 운영 기술 확보
	핵융합로 시스템 통합 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합실증로 설계에 요구되는 설계통합, 정보 통합, 설계 통합 표준안 구축 등의 시스템 통합 기술과 핵융합실증로 조립 및 무인 원격 유지보수 기술 등을 포함함
	안전 및 인허가 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합로 중성자해석 전산모사 기술과 이를 활용한 차폐 및 방사화 계산 기술, 인허가 대비 안전목표 설정, 위험요인 분석, 환경영향 평가 등을 포괄하는 핵융합로 안전해석 기술, 삼중수소의 저장 및 배송 기술, 안전성 확보 기술 및 설계, 건설, 운영과 관련된 기술 표준 연구 등을 포함함
소재 기반기술	핵융합 재료 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합로에서 핵융합에너지에 직접 대응하는 핵심장치인 증식블랑켓과 디버터의 소요 재료기술을 중심으로 함
	초전도 자석 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실증로용 초전도 자석 계통 개발에 필요한 초전도 도체 및 자석과 이의 실질적 적용을 위한 핵심 기반 기술 개발
장치 및 계통공학 기반기술	가열 및 진단 장치 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합실증로 플라즈마 가열에 필요한 중성입자빔, RF 발생원 및 입사장치를 개발하고 핵융합로 안전운전을 위한 진단장치 개발
	동력계통 공학 기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 핵융합실증로 주장치인 블랑켓과 디버터 기술과 동력변환계통의 공학설계 기술개발 및 성능평가, 안전성 확보기술을 포함

② 7대 핵심기술의 연구목표

중점 추진 분야	핵심기술 (대분류)	연구 목표			
		1단계 (2015 ~ 2017)	2단계 (2018 ~ 2020)	3단계 (2021 ~ 2022)	최종목표
설계 기반 기술	핵융합로 노심 기술	노심 연소 플라즈마 기반 기술 확보 및 대규모 전산모사 운영기반 구축	실증 실험을 통한 신개념 모델 및 핵융합로 시뮬레이터 개발	핵융합로 시뮬레이터 적용·검증	핵융합로 시뮬레이터 개발·검증
	핵융합로 시스템 통합 기술	통합설계, 표준화, 조립 및 원격 유지보수 핵심기술 개발 기반 구축	통합설계, 표준화, 조립 핵심기술 개발 및 원격 유지보수용 고하중 초정밀 무인원격 조작기 설계·제작	통합설계, 표준화, 조립 핵심기술 검증·최적화 및 원격 유지보수 메카니즘 실증	핵융합실증로 통합설계, 표준화, 조립 및 원격 유지보수 핵심기술 확보
	안전 및 인허가 기술	핵융합실증로 안전 및 인허가 관련 국내외 자료 분석	핵심 안전해석 기술 확보	세계최고 수준의 핵융합 안전·인허가 핵심기술 확보	예비 안전성 분석 보고서 작성
소재 기반 기술	핵융합 재료 기술	재료개발 핵심 기술기반 구축	재료, 제작기술 개발 및 특성평가	제작기술 최적화 및 조사특성 DB 구축	핵융합 재료개발 및 성능향상 핵심 기술기반 확보
	초전도 자석 기술	- 초전도 도체 및 자석 개념설계 - 도체 시험시설 구축 착수 - 차세대 초전도 물질 특성 최적화	- 16 Tesla급 초전도 도체 시험시설 구축 - 80 kA급 전류 공급시스템 기술 제작기술 확보	- 실증로용 초전도 자석 제작 기술 확보 - 차세대 핵융합용 초전도 선재 개발	실증로용 16 Tesla급 초전도 자석 제작 기술 확보
장치 및 계통 공학 기반 기술	가열 및 진단 장치 기술	DEMO용 가열 및 진단 장치 핵심 요소기술 개발	DEMO용 가열 및 진단 핵심장치 시제품 개발	DEMO용 가열 및 진단 핵심장치 기술 확보	DEMO용 가열 및 진단 핵심장치 기술 확보
	동력계통 공학 기술	동력계통 핵심기술 기반구축	동력계통 핵심기술 성능평가	동력계통 핵심기술 최적화 및 기반 확보	핵융합로 동력계통 공학기술 기반 확보

3.2 세부 추진전략

1] 기술체계도

- 3대 중점 추진분야, 7대 핵심기술, 18대 세부 추진기술, 40대 세세부 추진기술로 구성

중점 추진분야	핵심기술	세부 추진기술	세세부 추진기술
설계 기반기술	핵융합로 노심 기술	실증로용 연소 플라즈마 기술	연소 플라즈마 실험 모델링 기술
			실증로 노심 플라즈마 운전 시뮬레이터 기술
		핵융합로 시뮬레이터 기술	핵융합 공학 전산모사 기술
			핵융합 전산모사 시스템 구축 및 운영 기술
	핵융합로 시스템 통합 기술	핵융합로 통합설계 기반 기술	시스템 설계 통합기술
			설계 표준화 기술
		핵융합로 조립/유지/보수 기술	핵융합실증로 조립 설치기술
			핵융합실증로 무인원격 유지보수 기술
	안전 및 인허가 기술	핵융합 안전 기술	핵융합 안전 해석 기술
			핵융합실증로급 삼중수소 안전 저장 기술
			핵융합실증로급 삼중수소 연료주기 안전 강화기술
		핵융합 인허가 기반 기술	핵융합 안전 규제 및 인허가 기술
핵융합 Code & Standards 개발 기술			
소재 기반기술	핵융합로 구조재 기술	저방사화 첨단 철강소재 개발 및 특성평가	
		탄화규소 복합재료 기술개발 및 특성평가	
		구조재 용접/접합기술개발 및 특성평가	
	핵융합로 대면재료 기술	대면재 합금/복합 재료 기술개발	
		대면재 접합 및 특성평가 기술	
	핵융합로 기능소재 기술	블랑켓 기능소재 기술개발	
In-Vessel 기능소재 기술			

중점 추진분야	핵심기술	세부 추진기술	세세부 추진기술	
		핵융합 재료 조사평가 기술	구조재 중성자 조사특성평가 및 데이터베이스구축	
			In-Situ 조사시험 및 특성평가 기술개발	
	초전도 자석 기술	거대 고자기장 초전도 자석 설계 및 제작기술	16Tesla급 핵융합실증로용 초전도 도체 개발	
			핵융합실증로용 초전도 자석 설계 및 제작 기술	
		초전도 기반 기술	16Telsa급 차세대 초전도 재료 개발 기술	
			80kA급 고온 초전도 전류공급시스템 기술	
	장치 및 계통공학 기반기술	가열 및 진단 장치 기술	중성입자빔 장치 기술	장수명 고전류밀도 음 이온원 기술
				고전류 빔 병합 및 중성자 차폐 기술
				고효율 중성화 기술
			고주파 가열 장치 기술	고출력 RF 발생장치 기술
고출력 RF 입사장치 기술				
		연소 플라즈마 진단 장치 기술	핵융합실증로 안전운전 및 출력제어 진단 기술	
			핵융합실증로 중성자/방사선 환경 진단부품 기술	
			핵융합실증로 고열/고중성자차폐 진단포트플러그 공학설계 기술	
동력계통 공학 기술		증식 블랑켓 기술	블랑켓 설계 및 성능 평가 기술	
			블랑켓 삼중수소 증식 및 열회수 기술	
	연속운전용 디버터 기술	고열유속 냉각 기술		
		디버터 성능 최적화 기술		
핵융합로 동력변환 계통 기술		열전달 매체에 따른 핵융합로 에너지 평가 기술		
		실증로 동력변환계통 핵심 기술		

② 세부 추진기술의 연구목표

핵심 기술	세부 추진기술	연구 목표			
		1단계 (2015 ~ 2017)	2단계 (2018 ~ 2020)	3단계 (2021 ~ 2022)	최종목표
핵융합 노심기술	실증로용 연소 플라즈마 기술	노심 연소 플라즈마 핵심기술 DB 구축, 신개념 모델 도출 및 실증 실험 계획 수립	실증 실험을 통한 신개념 모델 개발 및 시뮬레이터 적용	실증을 통한 노심 시뮬레이터 개선, 설계 및 통합 제어 적용	노심 연소 플라즈마 제어 핵심 기반기술 개발
	핵융합로 시뮬레이터 기술	핵융합로 전산모사 운영 기반 구축	물리적·공학적 핵융합로 시뮬레이터 개발	핵융합로 시뮬레이터 통합·검증	물리적 공학적 핵융합로 시뮬레이터 개발 및 검증
핵융합로 시스템 통합 기술	핵융합로 통합설계 기술	-핵융합실증로 설계 표준화 연구 및 통합 설계 기술 기반 마련	-핵융합실증로 설계 표준화 및 통합설계 기술 본격 개발	-핵융합실증로 통합 설계 기술 검증 및 최적화	-핵융합실증로 통합설계 기술 개발 및 설계 표준화 안 도출
	핵융합로 조립/유지/보수 기술	-조립, 블랭킷·디버터 원격유지 보수, 핫셀 기술 심층 분석 및 개념 설정	-조립, 핫셀, 원격 유지보수 전산 모사 및 원격 유지 보수용 고하중 초정밀 무인원격 조작기 설계·제작 기술 개발	-조립, 핫셀, 원격 유지보수 개념 및 원격 유지보수용 고하중 초정밀 무인원격 조작기 운용 실증	-핵융합실증로 조립, 원격 유지 보수, 핫셀 기술 개발
안전 및 인허가 기술	핵융합 안전 기술	-중성자 해석용 전산모사 기술 개발 -삼중수소 저장 및 배송 시스템 개념 설계 -연료계통 위험 요인 분석	-중성자 차폐 및 방사화 계산 -삼중수소 저장 및 배송 시스템 상세 설계 및 제작 -연료계통 안전 강화기술 실험 장치 구축	-통합 중성자 전산모사 시스템 구축 -삼중수소 저장 및 배송 시스템 운영 및 검증 -연료계통 안전성 강화기술 확보	-중성자 해석시스템 개발완료 -전체 연료주기 계통 개념설계 완료
	핵융합 인허가 기반 기술	-국내외 인허가 현황 및 관련 기술 분석 -안전 목표·원칙 수립, 위험요인별 설계 기준 사고 (DBA) 도출	-사고경위분석 및 안전계통 개념설계 -정성적 환경영향 평가 -Codes & Standards 확보	-정량적 환경영향 평가 -Codes & Standards 체계 완성	-예비안전성분석 보고서 작성 -최신 인허가 기술 확보완료
핵융합 재료 기술	핵융합로 구조재 기술	-저방사화 고유 구조재 합금 설계 및 개발 -탄화규소 복합 재료 제조기술 개발	-구조재 특성 최적화 및 제조공정 개발 -복합재료 구조 부품 제조기술 및 성능향상 기술 개발	-구조부품 제조 기술개발 및 조사 특성평가 -복합재료 내환경 특성평가 및 종합 물성DB 확보	핵융합로 구조재 제작기술 및 내조사/내환경 성능향상 기술기반 확보

핵심 기술	세부 추진기술	연구 목표			
		1단계 (2015 ~ 2017)	2단계 (2018 ~ 2020)	3단계 (2021 ~ 2022)	최종목표
		-구조재 동종/이종 용접/접합 특성 평가	-구조재 동종/이종 접합공정 최적화 및 기술기반구축	-구조재 접합부 신뢰성 검증	
	핵융합로 대면재료 기술	-대면재 합금/복합 재료 제조기술 개발 -확산이종 접합 공정 대면재 접합 기술 개발	-대면재료 조사 특성 및 기계적 특성평가 -대면재 접합기술 최적화 및 내환경 특성 평가 기술 개발	-대면재료 침식 특성 및 신뢰성 평가 -대면재 제작 및 조사환경 특성 평가	핵융합로 대면재료 제조 및 접합 기술 기반 확보
	핵융합로 기능소재 기술	-블랑켓 기능소재 펄브 제조기술 개발 -In-Vessel 환경 소모 기능소재 개발	-블랑켓 기능소재 특성평가 -In-Vessel 기능 소재 특성평가 및 물성DB 구축	-블랑켓 기능소재 성능향상 및 제조 공정 확보 -In-Vessel 기능 소재 중성자 환경 특성평가	핵융합로 기능소재 효율 및 신뢰성 평가기반 확보
	핵융합 재료 조사평가 기술	-구조재 중성자 조사시험 기반 기술 개발 -핵융합 중성자 및 이온빔 조사 시험 기반기술	-구조재 연구용 원자로 중성자 조사시험 -핵융합 중성자 및 이온빔 조사 시험	-조사 후 평가 및 조사성능 DB 구축 -중성자 및 이온빔 In-Situ 조사 특성평가	핵융합 재료 조사 평가기술 개발 및 조사특성 데이터 베이스 구축
초전도 자석 기술	거대 고자기장 초전도 자석 설계 및 제작기술	-도체 시험 시설 상세 설계 및 구축 착수 -초전도 도체 및 자석 개념설계	-초전도 도체 및 자석 상세설계 -초전도 도체 평가 및 자석 제작 설비 구축	-실증로용 초전도 도체 개발 -평가결과 반영 도체 성능 개선 -실증로용 초전도 자석 제작 기술 확보	실증로용 거대 고자기장 초전도 자석 설계 및 제작 기술 확보
	초전도 기반 기술	-차세대 기능성 초전도 물질의 특성 최적화 -25 kA급 고온 초전도 전류리드 제작	-자장 특성 향상 고성능 초전도 선재 제조 기술 확립 -80 kA급 복합 전류리드 및 초전도 버스라인 제작 기술 개발	-임계전류 ≥ 400 A/4mm-w, 임계 전류 균일도 5% 이하, 1 km 이상의 초전도 선재 개발 -80 kA급 초전도 전류공급시스템 제작 및 평가	-차세대 기능성 고온초전도 재료 개발 -핵융합 실증로용 80 kA급 전류 공급시스템 개발
가열 및 진단 장치 기술	중성입자빔 장치 기술	-고전류 빔 병합 기술 연구 및 빔 병합을 위한 이온원 가속부 설계 -중성 입자빔 장치 빔라인 부품 중성자	-고전류 빔 병합을 위한 이온원 가속부 개발 -중성입자빔 장치 빔라인 부품 중성자 차폐기술 연구	-중성빔 입사장치 시험 시설에서 고전류 빔 병합 기술 실증 -고효율 중성화 장치 기술성능	실증로 중성입자 장치 빔포드 축소를 위한 빔 병합 기술 및 중성입자빔 장치 중성자 차폐 기술 연구

핵심 기술	세부 추진기술	연구 목표			
		1단계 (2015 ~ 2017)	2단계 (2018 ~ 2020)	3단계 (2021 ~ 2022)	최종목표
		<ul style="list-style-type: none"> 피폭 해석 -고효율 중성화 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> -고효율 중성화 장치 설계 제작 	<ul style="list-style-type: none"> 실증 및 실증로용 중성화 장치 개념설계 	
	고주파 가열 장치 기술	<ul style="list-style-type: none"> -230~270GHz 대역 고출력 발생 핵심 요소 기술 개발 연구 -핵융합로 및 블랭킷 호환 마이크로웨이브 (1~5GHz) 안테나 개념 연구 -안테나 핵심 요소 기술 추적 및 설계 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -230~270GHz 대역 고출력 발생 요소 기술 검증 및 핵심부품개발, 1MW급 자이로트론 시작품 개발 -핵융합로 및 블랭킷 호환 마이크로웨이브 안테나 시스템 상세 설계 연구 및 DEMO 축소형 시작품 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -230~270GHz 자이로트론 시작품 성능달성 (최대 0.1MW/10s, 1MW/0.1s 출력) -마이크로웨이브 안테나 시작품 개발, 성능 평가 및 활용 	<ul style="list-style-type: none"> -ECH 가열장치용 230~270GHz 대역 고출력 발생장치 핵심요소 기술 개발 -1~5GHz 대역의 마이크로웨이브 고출력/고전력 안테나 핵심 요소 기술 개발 및 시작품 개발
	연소 플라즈마 진단 장치 기술	<ul style="list-style-type: none"> DEMO 진단장치 요소기술 개발 및 중성자원 장치 개발 	<ul style="list-style-type: none"> DEMO 진단장치 설계 및 중성자원 활용 부품 시험 및 Gap 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> DEMO 진단장치 개념설계 및 시스템 최적화 연구 	<ul style="list-style-type: none"> DEMO 용 진단장치 핵심요소 기술 및 시스템 개발
동력공학기술	증식 블랭킷 기술	<ul style="list-style-type: none"> -설계툴/체계/안전 해석기술개발 -삼중수소 증식/열회수 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -설계툴/제작기술/시험기술 검증 -삼중수소 증식/열회수 요소기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> -최적설계/성능 평가기술 확보 -삼중수소 증식/열회수 효율 향상 및 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> -설계/안전해석/제작/시험기술 기반 구축 -삼중수소 증식 및 고효율 열회수 기술 확보
	연속운전용 디버터 기술	<ul style="list-style-type: none"> -디버터 냉각기술 개발 -디버터 설계 및 고열부하, 고입자속 성능 평가 기반 구축 	<ul style="list-style-type: none"> -디버터 냉각기술 검증 -고열부하, 고입자속 성능평가 	<ul style="list-style-type: none"> -고성능 디버터 냉각기술 확보 -설계 및 성능 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> -디버터 냉각성능 평가 및 냉각기술 검증 -고열부하, 고입자속 환경하의 신뢰성을 보장하는 디버터 성능 최적화
	핵융합로 동력변환계통 기술	<ul style="list-style-type: none"> -동력변환계통 열설계기반기술구축 -핵융합로 냉각재 계통 기반기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -동력변환계통 최적열설계 및 성능평가 -핵융합로 동력변환 최적설계 및 해석기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> -동력변환계통 에너지 효율 극대화 및 신뢰성 평가 -실증로 동력변환계통 핵심기술 기반 확보 	<ul style="list-style-type: none"> -동력변환계통 에너지효율 극대화 및 신뢰성 향상 -핵융합 발전로에 적합한 동력변환계통 핵심기술 개발

3 R&D 로드맵

핵심 기술	세부 추진기술	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	8차년도
		핵융합로 노심기술		실증로 연소 플라즈마 데이터베이스 및 핵심기술 기반 구축			연소플라즈마 신개념 모델 개발 및 코드화		
핵융합로 시뮬레이터		핵융합로 시뮬레이터 구축 기반 기술 확보			물리적 공학적 핵융합로 시뮬레이터 개발			핵융합로 시뮬레이터 통합 및 검증	
핵융합로 통합설계 기반기술		통합설계 및 설계 표준화 기술 연구 기반 마련			통합설계 및 설계 표준화 기술 본격 개발			통합설계 및 설계 표준화 기술 검증 및 최적화	
핵융합로 시스템 통합기술		조립기술 개발 기반 마련			조립 개념 본격 개발			조립 개념 검증 및 최적화	
핵융합로 조립/유지/보수기술		블랑켓·디버터 원격 유지보수 메카니즘 개발 및 최적화			원격 유지보수용 고하중 초정밀 무인원격조작기 설계·제작			원격 유지보수용 무인원격조작기 운용유지보수 실증	
		핫셀 및 원격취급설비 기술 기반 구축			핫셀 및 원격취급설비 메카니즘 전산 모사			핫셀 및 원격취급설비 설계 요건 확립	
안전 및 인허가 기술		중성자 및 삼중수소 거동 해석 기술 기반 구축			중성자 해석 기술 고도화 및 연료주기계통 안전기술 개발			통합 중성자 해석 기술 확보 및 연료주기계통 설계기반 확보	
핵융합 인허가 기반기술		안전해석 및 인허가 기반 기술 연구 기반 마련			핵심 안전해석 및 인허가 기술 확보			예비안전성분석	
핵융합로 구조재 기술		핵융합로 고유 구조재 설계 및 개발			구조재 특성평가 및 제조공정 개발			구조재 내조사 성능향상 기술기반 확보	
핵융합로 대면재료 기술		핵융합로 대면재료 제조/접합기술 개발			핵융합로 대면재료 특성평가 및 성능향상			대면재료 기술기반 확보	
핵융합로 기능소재 기술		핵융합로 기능소재 제조기술 개발 및 물성평가			핵융합로 기능소재 성능평가 및 제조공정 확보			기능소재 효율 및 신뢰성 평가기반 확보	

핵심 기술	세부 추진기술	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	6차년도	7차년도	8차년도
		핵융합 재료 조사평가 기술	핵융합 재료 조사특성평가 설비 구축 및 기반기술 개발			핵융합 재료 조사특성평가			조사특성 데이터베이스 구축
초전도 자석기술	거대 고자기장 초전도 자석 설계 및 제작 기술	실증로용 초전도 도체/자석 개념설계 기술 개발			실증로용 초전도 도체/자석 상세설계 기술 개발			실증로용 초전도 도체/자석 제작 및 검증 기술 개발	
	초전도 기반기술	차세대 초전도 물질의 특성 최적화			자장 특성이 향상된 고성능 초전도 선재 제조 기술 확립			1 km 이상의 고균일도 고온초전도선 개발	
		25 kA 고온초전도 전류리드 개발			80 kA 전류공급 장치 제작 기술 개발			80 kA 전류공급시스템 개발	
	가열 및 진단장치 기술	중성입자빔 장치 기술	DEMO용 가열 및 진단장치 요소 기술 개발			DEMO용 가열 및 진단 핵심장치 시작품 개발			DEMO용 가열 및 진단 핵심장치 시스템 개발
고주파 가열장치 기술									
연소 플라즈마 진단장치 기술									
동력계통 공학기술	증식 블랑켓 기술	블랑켓 핵심 기반기술 기반 구축			블랑켓 핵심기술 검증			블랑켓 성능향상	
	연속운전용 디버터 기술	디버터 기술기반 구축			디버터 성능평가			디버터 성능 최적화	
	핵융합로 동력변환 계통 기술	에너지변환 계통 열설계 기반기술 개발			에너지변환 계통 최적설계 및 성능평가 기술 개발			동력변환계통 효율 및 신뢰성 평가기반 확보	

4] 대형장비 구축 계획

- 1,819억원을 투입하여 사업 추진에 필요한 6개 대형장비를 구축함

(단위: 백만원)

핵심기술	대형장비명	장비 구축의 목적	구축비용
핵융합로 노심 기술	거대 복합계 전산모사 운영시스템	○ 노심 플라즈마 시뮬레이터와 핵융합로 시뮬레이터를 연 계하여 대규모 통합 전산모사가 가능한 시스템 구축	20,004
핵융합 재료 기술	핵융합 중성자 조사시험 설비	○ 핵융합 노내 환경과 유사한 고속중성자 발생·조사시설 을 구축하여 핵융합로 재료특성 평가 및 DB 구축	36,900
	이온빔 In-Situ 조사평가 설비	○ 이온빔 조사조건에서 In-Situ 기술로 핵융합로 재료의 거동을 실시간으로 확인	18,360
초전도 자석 기술	16Tesla급 초전도 도체 시험 설비(SUCCEX)	○ 핵융합실증로 환경에서 자장 및 전류 공급 하에 전원, 헬륨 열유체 특성 분석 등 설계 변수 시험 및 평가	59,640
동력계통 공학 기술	PMI 모사시험 시설	○ 핵융합실증로 정상/비정상상태의 고열·고입자속을 구 현하여 플라즈마-표면 상호작용을 모사	22,080
	액체형 증식블랑켓 기술 시험평가 시설	○ 액체증식재 현안인 부식, 부식저감, MHD, 펌프 등의 핵 심부품 개발, 삼중수소추출 개념 검증	24,960
합 계			181,944

3.3 투자계획

- 총 예산: 5,956억원 (8개년 / 3단계)
 - 1단계('15~'17): 1,329억원
 - 2단계('18~'20): 2,827억원
 - 3단계('21~'22): 1,801억원

- 중점 추진분야별 예산 비중
 - 설계 기반기술: 23.0% (1,370억원)
 - 소재 기반기술: 42.9% (2,555억원)
 - 장치 및 계통공학 기반기술: 29.3% (1,748억원)
 - 연구단 운영비: 4.8% (284억원)

- 핵심기술별 예산 비중
 - 핵융합로 노심 기술: 8.4% (503억원)
 - 핵융합로 시스템통합 기술: 8.6% (513억원)
 - 안전 및 인허가 기술: 5.9% (354억원)
 - 핵융합 재료 기술: 24.9% (1,484억원)
 - 초전도 자석 기술: 18.0% (1,071억원)
 - 가열 및 진단장치 기술: 9.0% (538억원)
 - 동력계통 공학 기술: 20.3% (1,210억원)
 - 연구단 운영비: 4.8% (284억원)

(단위: 억원)

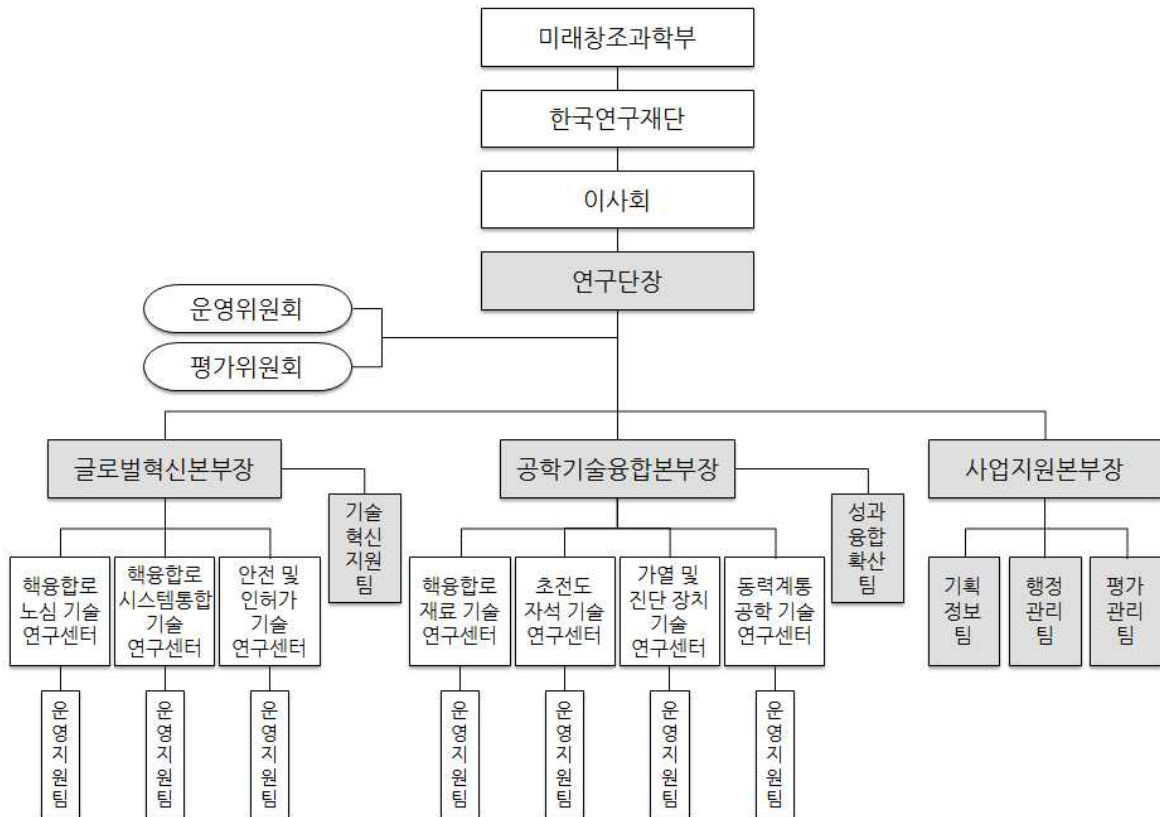
중점 추진 분야	핵심기술	1단계				2단계				3단계			합계
		'15	'16	'17	소계	'18	'19	'20	소계	'21	'22	소계	
설계 기반 기술	핵융합로 노심 기술	36	60	68	164	62	67	75	204	71	64	135	503
	핵융합로 시스템통합 기술	7	12	56	75	95	94	100	289	74	74	148	513
	안전 및 인허가 기술	10	12	30	52	51	60	70	181	62	59	121	354
	소계	53	84	153	290	207	222	245	674	207	198	405	1,370
소재 기반 기술	핵융합 재료 기술	47	73	147	267	197	213	250	660	277	280	557	1,484
	초전도 자석 기술	35	72	210	317	228	165	163	556	99	99	198	1,071
	소계	82	145	358	585	425	378	413	1,216	376	379	755	2,555
장치 및 계통 공학 기반 기술	가열 및 진단 장치 기술	40	50	65	155	77	83	81	241	71	71	142	538
	동력계통 공학 기술	27	74	135	236	168	188	205	561	220	192	412	1,210
	소계	67	124	200	391	245	271	286	802	292	263	555	1,748
R&D사업비 합계		202	353	710	1,265	877	871	943	2,691	875	840	1,715	5,673
연구단 운영비		10	18	36	64	44	44	47	135	44	42	86	284
합 계		212	371	746	1,329	921	915	991	2,827	919	882	1,801	5,956

주: 연구단운영비는 R&D사업비의 5%로 계상함

4. 사업 운영 방안

4.1 사업 운영관리 거버넌스 체계

- 본 사업은 목표지향적 사업이므로 사업의 목표를 효과적으로 달성하기 위하여 독립적인 연구단 방식의 운영체계를 구성하여 추진함
 - 사업의 철학인 "FUSION" 전략을 효율적으로 추진하기 위해서는 연구단 형태의 사업 추진체제가 필요함
- 사업 운영관리 거버넌스는 정부(미래창조과학부), 관리기구(한국연구재단), 이사회 및 연구단장, 위원회(운영위원회, 평가위원회), 지원조직(글로벌혁신본부, 공학기술융합본부, 사업지원본부), 실행조직(7개 연구센터) 등으로 구성됨



주: 음영부분은 연구단 본부 조직임

4.2 사업 추진 절차

- 사업의 추진 절차는 다음과 같이 연구단 구성 → 사업 착수 → 사업 관리의 순으로 진행됨

단계	추진 절차	담당
연구단 구성	사업 상세기획	- 미래창조과학부 - 한국연구재단 - 사업추진위원회 - 민간컨설팅기관
	연구단장 공고·선정 및 한국연구재단과 사업협약	- 미래창조과학부 - 사업추진위원회 - 선정평가위원회 - 한국연구재단
	연구단 조직 구성 및 업무 개시	- 미래창조과학부 - 연구단장
사업 착수	연구센터 구성 및 사업 시행계획 보고·심의·의결	- 연구단장 - 평가위원회 - 운영위원회 - 이사회
	세부과제 수행자 선정	- 연구센터장 - 평가위원회 - 연구단장
	과제 수행	- 연구자
사업 관리	연구단 자체의 연차, 단계 및 종료평가 실시	- 연구센터장 - 평가위원회 - 연구단장 - 이사회
	한국연구재단 주도의 연구단에 대한 단계 및 종료평가 실시	- 미래창조과학부 - 한국연구재단 - 연구단평가위원회
	성과정보 수집·확산 및 성과종합분석	- 연구단장 - 민간컨설팅기관

4.3 R&D 기획·평가 시스템

- R&D 기획·평가시스템은 연구기획, 연차평가, 단계평가, 종료평가 및 추적평가로 구성됨

구분	대상	주요 내용
연구 기획	사업 총괄 기획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최초의 사업총괄기획은 예비타당성 조사 이후 한국연구재단이 외부 전문기관에 의뢰하여 수립 ○ 이후 사업총괄기획은 연구단장이 외부 전문기관을 활용하여 2단계 시작 전과 3단계 시작 직전인 3, 6차년도 하반기에 실시하며, 운영위원회와 이사회의 심의·의결을 거쳐 한국연구재단에 보고
	연구 센터별 기획	<ul style="list-style-type: none"> ○ 각 연구센터장은 매년 소관 센터의 연차별 연구목표와 추진 세부과제를 기획하여 연구단장에게 보고 ○ 4차년도와 7차년도에 대한 기획은 2단계와 3단계의 단계별 사업총괄기획 시 동시 진행 ○ 연구단장은 기획 결과를 운영위원회와 이사회의 심의·의결을 거쳐 시행
연차 평가	세부과제 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구센터장은 매년 소관 센터에서 수행한 세부과제에 대해 자체 연차평가를 실시하여, 결과를 연구단장에게 보고 (3, 6차년도는 세부과제 자체 단계평가로 대체)
	연구센터 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구단장은 평가위원회를 구성하여 연구센터별 세부과제의 자체 연차평가 결과를 토대로 각 연구센터에 대한 연차평가를 실시하고 운영위원회와 이사회에 보고 ○ 연구단장은 이 결과를 토대로 성과불량 과제에 대한 중단 결정 및 연구센터별 차년도 예산의 차등지급 가능
단계 평가	세부과제 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구센터장은 1단계와 2단계 종료 시점에서 소관 센터에서 수행한 세부과제에 대해 자체 단계평가를 실시하며, 결과를 연구단장에게 보고
	연구센터 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구단장은 평가위원회를 구성하여 연구센터별 세부과제의 자체 단계평가 결과를 토대로 각 연구센터에 대한 자체 단계평가를 실시 ○ 연구단장은 이 결과를 토대로 성과불량 과제에 대한 중단 결정 및 연구센터별 차기단계 예산의 차등지급 가능
	연구단 자체 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구단장은 평가위원회를 통해 연구센터 자체 단계평가 결과를 토대로 연구단 전체에 대한 자체 단계평가를 실시 ○ 연구단장은 연구단 자체 단계평가 결과를 운영위원회와 이사회 보고를 거쳐 한국연구재단에 제출
종료 평가	세부과제 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구센터장은 사업의 종료 시점에서 그동안 추진한 모든 세부과제에 대한 자체 종료평가를 실시하며, 그 결과를 연구단장에게 보고
	연구센터 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구단장은 평가위원회를 구성하여 연구센터별 세부과제의 자체 종료평가 결과를 토대로 각 연구센터에 대한 자체 종료평가를 실시
	연구단 자체 평가	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구단장은 평가위원회를 통해 연구센터 자체 종료평가 결과를 토대로 연구단 전체에 대한 자체 종료평가를 실시 ○ 연구단장은 연구단 자체 종료평가 결과를 운영위원회와 이사회 보고를 거쳐 한국연구재단에 제출
추적 평가	세부과제 성과분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공학기술융합본부장은 사업 기간 중에 완전 종료된 세부과제에 대해 5년간 추적평가를 실시하여 관리하고, 그 결과를 연구단장에게 보고 ※ 추적평가는 성과분석을 위주로 실시

4.4 사업 추진 상의 위험요인 대응방안

① 기술혁신 달성을 위한 인적자원 확보 방안

위험요인	대응방안
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국가핵융합연구소 인력만으로 사업수행이 어려운 연구자원의 양적·질적 보완이 필요 - 고유미션을 수행해야 하는 국가핵융합연구소 전문인력의 대량 투입이 어려움 - 국가핵융합연구소 중심의 R&D 추진으로는 학제의 외연을 넓히는데 한계가 예상됨 - DEMO의 규모 및 본 사업의 R&D 대상기술의 범위를 고려할 때 국가핵융합연구소 인력의 전공분야로는 수행에 어려움 전망 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국가 전반에 분포한 학·연·산 과학기술인력 및 전 세계의 인적자원 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 지역에 ‘거점 핵융합기술개발 센터’를 설립하여 전국에 분포한 학·연·산 과학기술인력의 참여 유도 ○ R&D 참여인력의 전공분야를 원자력, 열수력, 재료, 화학공학, 기계, 설계 등의 학제로 확장하여 인적자원 확보 ○ KSTAR, ITER 사업 참여경험이 있는 국내 산업계를 적극 활용하여 엔지니어링 역량 보완 <p>※ 본 사업은 기획단계에서부터 132명의 다양한 전공, 다양한 소속의 전문가가 참여함</p>

② 대형장비 구축 시의 국가적 물적자원 활용 방안

위험요인	대응방안
<ul style="list-style-type: none"> ○ 대형장비 구축비용에는 장비설치를 위한 건축비용과 부지구입비용은 미포함 - 사업비의 과도한 증가를 억제하기 위해 건축·부지구입 비용은 사업비에 미포함 - 규모가 크고 고정밀 기술이며, 일부는 방사능 방호장치도 필요 ○ 대형장비들은 대부분 핵융합 실증로 규모로 세계 최고 사양 또는 유일의 장비이므로 기술적 난제가 예상 - 일부 대형장비는 필수 기반 장비가 필요하지만 이는 또 다른 장비 구축의 이슈를 제기함 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대형연구장비를 특정지역에 집중 배치하지 않고 지역 기반의 ‘거점 핵융합기술개발 센터’에 분산 배치 - 지자체와의 협력을 통해 대형장비를 설치하기 위한 건물·부지를 확보하고, 타 대형연구시설과 토지·건물 공유 ○ 대형장비 구축 시의 기술적 난제는 기술적으로 관련이 있는 타 대형장비와의 연계를 통해 극복 - 중이온 가속기, 양성자 가속기, 고온 플라즈마장비, 액체증식시험장비, (가칭)국가 거대 전산모사 센터, (가칭)국가 고자장 연구시설, IFMIF 등과 연계

5. 기대효과

5.1 과학기술적 파급효과

① 핵융합기술은 전·후방효과가 커서 타 산업의 고부가가치화에 기여

- DEMO에 소요되는 건설기술들은 거의 모든 산업분야에 사용되고 있어 본 사업으로 향상된 기술력으로 광범위한 산업분야에 파급효과가 기대됨
- 특히 본 사업을 통해 습득한 기술력을 바탕으로 국내 기반이 취약한 의료기기, 정밀 기계 제작·제어, 재료, 항공우주, 광학 등 차세대 유망산업 분야에서 국제경쟁력 확보가 가능함
- 본 사업의 거대·극한 과학 실험장비 건설·운영 과정에서 이룩한 공학기술의 발전은 다시 국내 과학·기술력의 전반적 향상을 가져올 것으로 기대됨

② 국내 핵융합 연구 역량 제고 효과

- 본 사업은 국내에 7개 핵심기술분야별 거점연구센터를 지역별로 분산하여 설치·운영하고 국제협력, 다학제·산학연 융합연구를 수행할 계획
- 지역 기반의 국내 산·학·연의 Hidden Champion을 발굴·육성하고 지역간 연계 및 글로벌 연계를 통해 국내 핵융합 연구 역량의 제고가 기대됨

③ 수소경제시대의 궁극적 실현

- 핵융합로는 전기생산과 함께 수소도 생산 가능하여 수소경제 실현을 위한 새로운 기술적 기반을 확보하게 됨
 - 수소생산에 필요한 1000℃ 내외의 고온 기체는 고온가스로 뿐 아니라 핵융합 발전소에서도 얻을 수 있음
 - ※ 핵융합로를 이용한 수소생산 공정개발 논의 진행 중
- 수소생산 관련 요소기술들의 응용 능력을 높임으로써 미래원자력 기술 전반의 경쟁력 강화에 기여도 가능

5.2 경제·산업적 파급효과

① 세계 핵융합 발전소 건설 시장에 주도적 참여

- 핵융합에너지 상용화 기술을 체계적으로 습득하여 핵융합발전소 건설을 위한 원천기술 보유국 위치를 확보함으로써 향후 세계 핵융합발전소 건설 시장에 주도적 참여 기대
 - ※ '50년 세계 핵융합발전 수요는 1.5GWe로 전망(원전수요는 500GWe)
- 핵융합발전소 시장규모는 8,000억불(중국, 일본, 한국, 인도, 극동 러시아 지역), 설계 및 엔지니어링, 운전 보수, 부품 산업까지 고려 시 극동지역 시장규모 만으로도 20,000억불 이상으로 추정
 - ※ 우리나라의 세계 핵융합에너지 시장 점유액은 3,000억불 이상으로 추정
- 핵융합발전 비용 중 건설비용은 기존 원전보다 50% 더 소요될 것으로 예상되나 환경비용과 연료비 등을 고려하면 원전의 발전단가보다 낮아 경제성 확보가 기대됨
 - 저방사화 재료와 고온초전도 전자석을 적용할 경우 발전단가는 5¢(46원)/kwh로 원전 대비 경쟁 가능함

② 온실가스 배출량 감소 등 환경 유지비용 절감

- 핵융합에너지 상용화로 인한 온실가스 배출량의 급격한 감소로 환경 유지비용의 절감
 - 이산화탄소 배출이 없고 대기 오염 물질을 생산하지 않으며, 연료의 채굴 및 가공 과정에서 환경훼손이 거의 없음
- 방사선 누출 위험 억제, 짧은 반감기, 고준위 폐기물 배출 억제 등 원전 대비 높은 안전성 및 환경친화성으로 안정적 전력생산에 기여
 - 핵연료 손상에 의한 대규모 방사선 누출위험은 무시할 수 있으며, 기존 원전에 비해 저준위 폐기물의 양은 비슷하나 반감기는 50년 이내로 훨씬 짧고, 고준위 폐기물도 저방사화 재료를 사용하는 경우 거의 발생되지 않아 폐기물 처리 및 폐로 과정 또한 훨씬 용이하고 신속하여 경제적임

5.3 사회·문화적 파급효과

① 21세기 국가의 에너지안보 확보

- 원천적인 안전성에 근거한 대중수용성과 신뢰성의 확보로 국민 신임도를 제고하여 21세기 국가의 에너지안보 확보
 - 핵융합발전소 핵심요소기술을 자력 개발하게 되면 우리 사회의 생존에 필요한 기본적인 에너지 공급능력을 자체 확보할 수 있음

② 자원의 지역적 편재성 문제 해결

- 핵융합발전의 가장 큰 특징은 연료물질이 사실상 무한하며 지역적 편중성이 없다는 것임
 - 중수소와 리튬은 바닷물에 풍부하게 함유되어 있어 자원의 지리적 편재 문제가 원천적으로 제거되고, 연료자원의 절대소모량이 매우 적어 자체 공급이 가능함
 - ※ 발전로 1기의 전 수명 기간 중 소모되는 자원의 총량은 중수소와 리튬을 합하여 10여톤 수준에 불과
 - 향후 세계 전력소비 증가 전망을 고려하더라도 리튬은 현재 알려진 매장량만을 가지고도 사실상 무한 공급이 가능함
 - 에너지자원 확보 과정에서의 국제적 갈등이나 분쟁이 없어 국제 경제·사회적으로 미치는 파급효과가 매우 큰 전망