

3차 핵융합에너지개발 진흥기본계획(안) (2017~2021)

전문가 공청회

연구책임자 : 황용석

2017년 한국원자력학회 춘계학술발표회
경주화백컨벤션센터
2016.10.26(수)

이 시안 내용은 아직 확정되지 않은 것으로, 의견수렴과 보완 중인 자료입니다

목 차

- I ▶ 계획 수립의 배경 및 기본방향
- II ▶ 기획연구 추진 개요
- III ▶ 국내·외 핵융합에너지 개발 현황 분석
- IV ▶ 2차 진흥기본계획 성과 분석 및 전략방향 도출
- V ▶ 3차 핵융합에너지개발 진흥기본계획(안)
- VI ▶ 부록: 실천 계획(안)

I. 계획 수립의 배경 및 기본 방향



1 배경

2 추진근거 및 경위

3 기본 방향

1. 배경

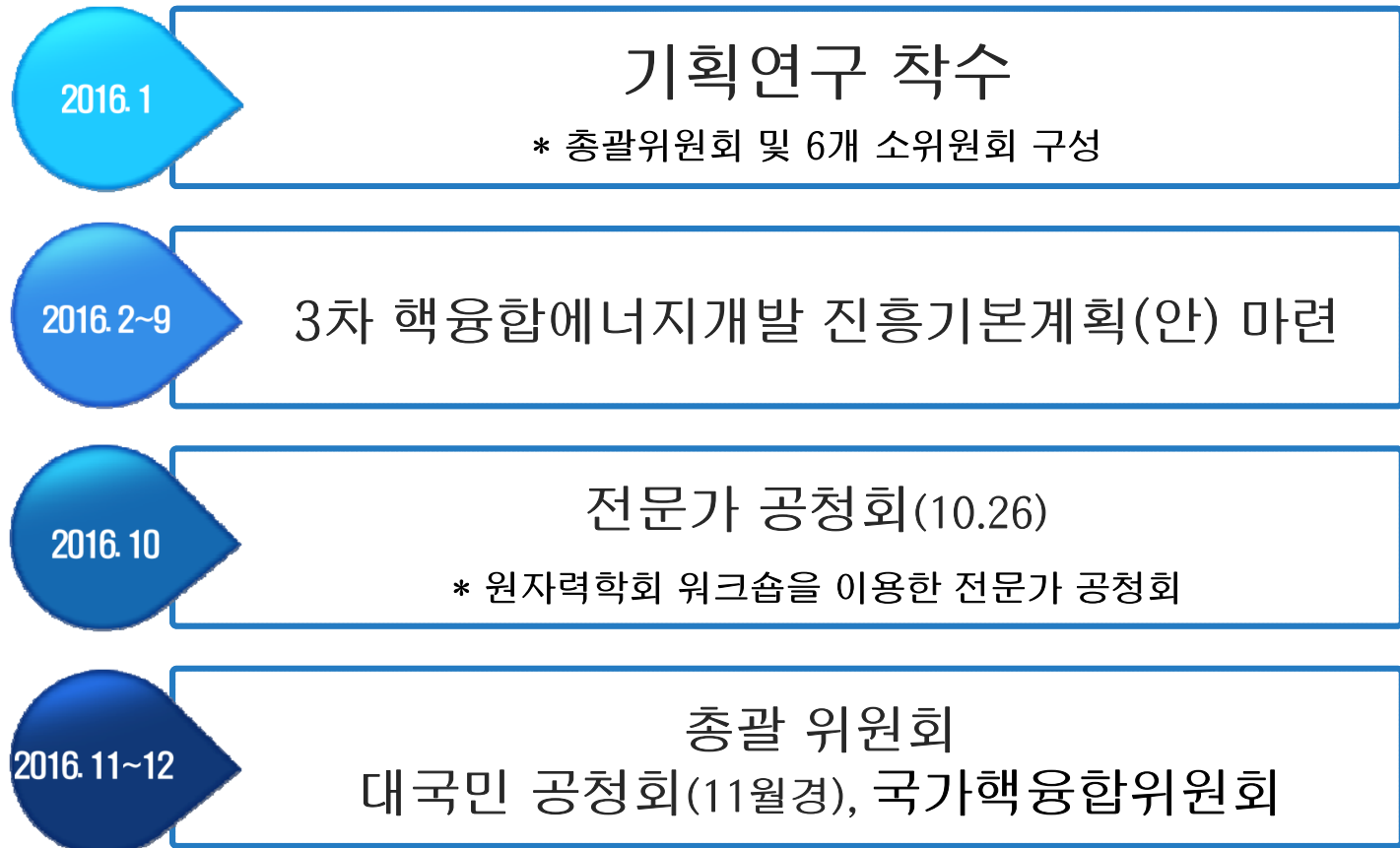
- 에너지 안보 및 기후변화에 대응하고 안전한 에너지에 대한 사회적 요구에 부응하는 새로운 에너지기술 개발 필요
- 2차 기본계획('12 ~ '16)이 16년에 종료됨에 따라 핵융합에너지 개발 환경변화와 추진 성과를 분석하고 이에 따른 시사점을 반영한 3차 기본계획('17 ~ '21) 수립이 필요
- 핵융합 기술의 전 분야에 대한 기술 수준의 진단을 통해 KSTAR, ITER의 성공적 운영이 핵융합에너지 개발로 연결될 수 있도록 철저한 점검과 준비가 필요함

2. 추진근거 및 경위

- 『핵융합에너지의 실용화 기술개발로 지속가능한 국가 신에너지 확보』라는 비전

아래 '07년부터 매 5년 마다 '핵융합에너지개발 진흥기본계획' 수립·추진

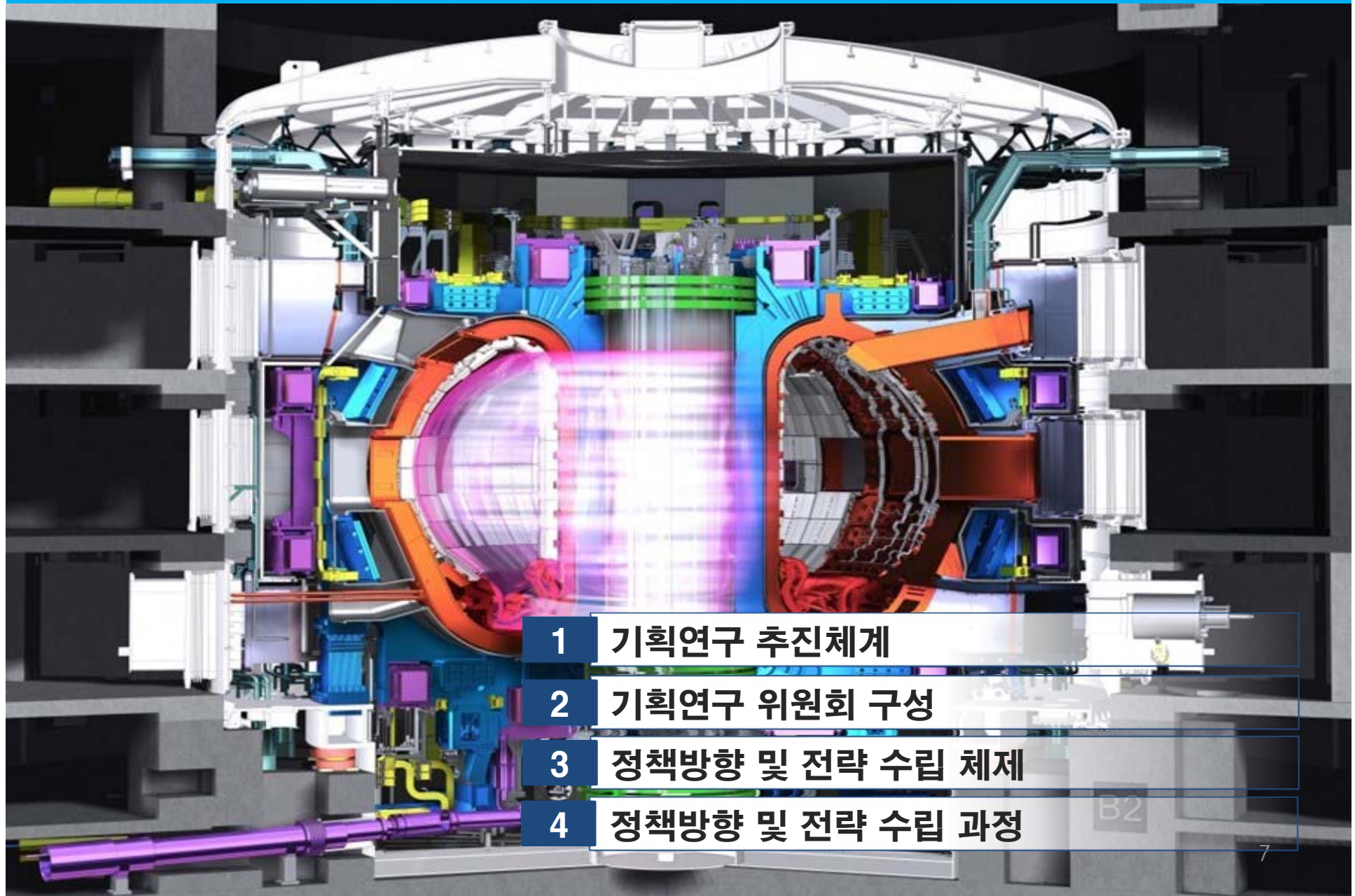
- 핵융합에너지에 관한 정책 목표 및 기본방향, 추진체계와 전략, 기반 확충 등에 관한 사항을 (핵융합에너지개발진흥법 제4조)



3. 기본 방향

- 2단계('12 ~ '21) 정책 목표 “DEMO 플랜트 기반기술개발”의 달성을 위한 기본계획 정책 목표 최적화
- ITER 건설기간 연장 등을 반영하여 2단계에 5년을 추가하고, 3차 및 4차 기본계획 정책목표의 최적화
 - ① 1단계('07 ~ '11 : 5년)
 - ② 2단계('12 ~ '26 : 15년)
 - ③ 3단계('27 ~ '41 : 15년)
- 3단계 진입을 차질 없이 준비하기 위하여,
 - 3차 기간('17 ~ '21)에는 “핵융합로공학 기술개발 추진기반 확립”,
 - 4차 기간('22 ~ '26)에는 “DEMO 개념 설계 및 핵융합로공학 기반기술 개발”로 2단계를 성공적으로 수행하고자 함

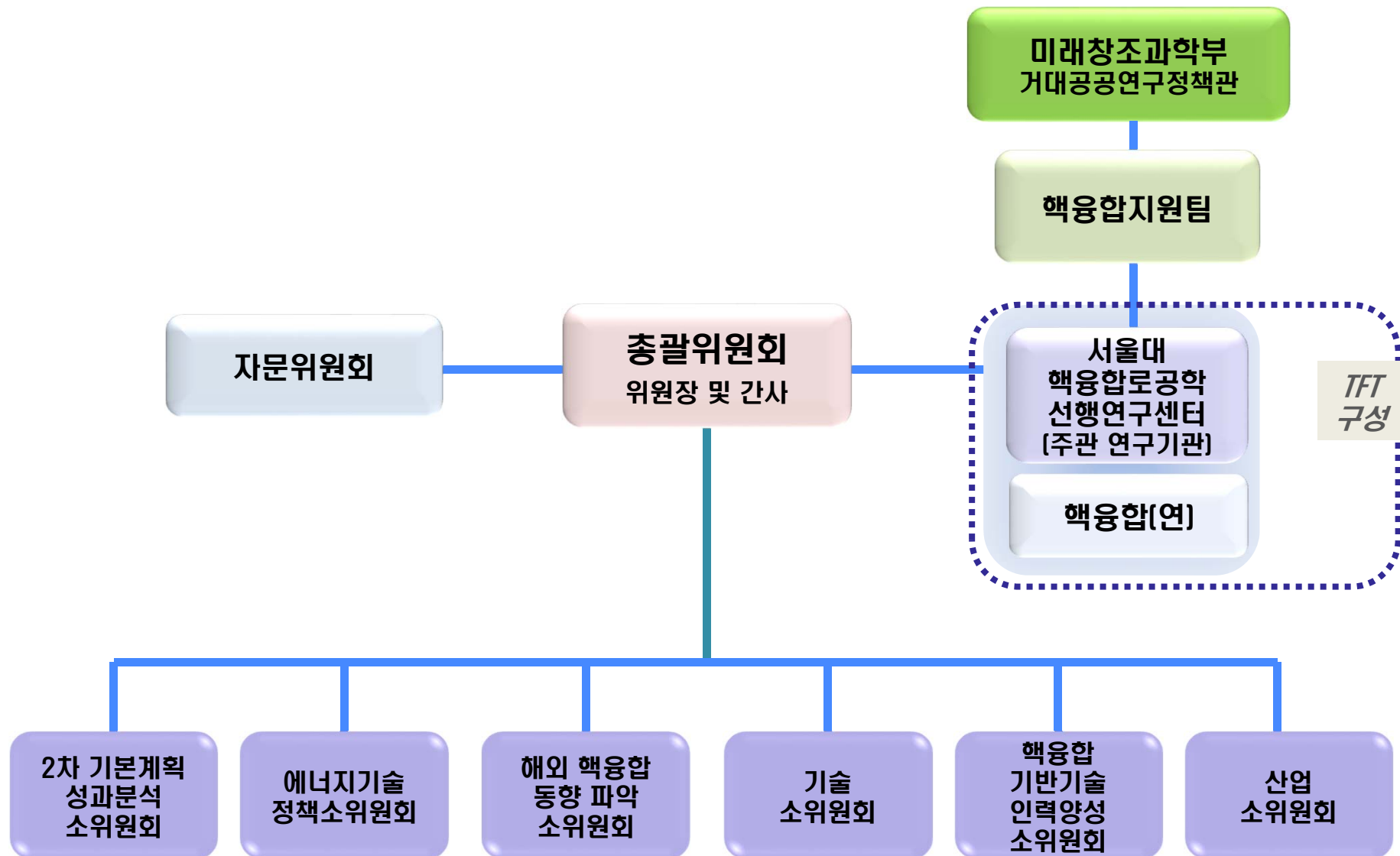
II. 기획연구 추진 개요



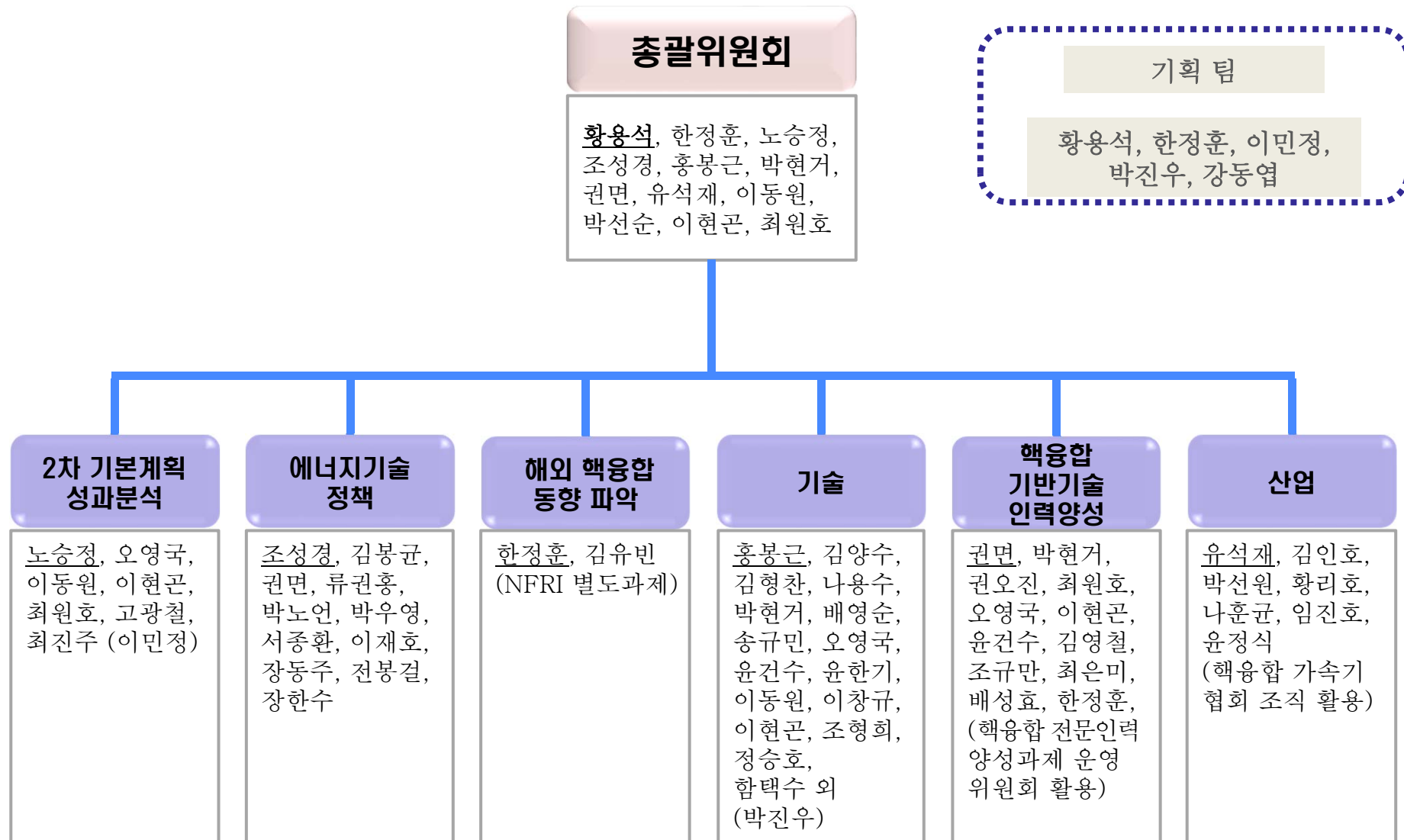
- 1 기획연구 추진체계
- 2 기획연구 위원회 구성
- 3 정책방향 및 전략 수립 체제
- 4 정책방향 및 전략 수립 과정

B2

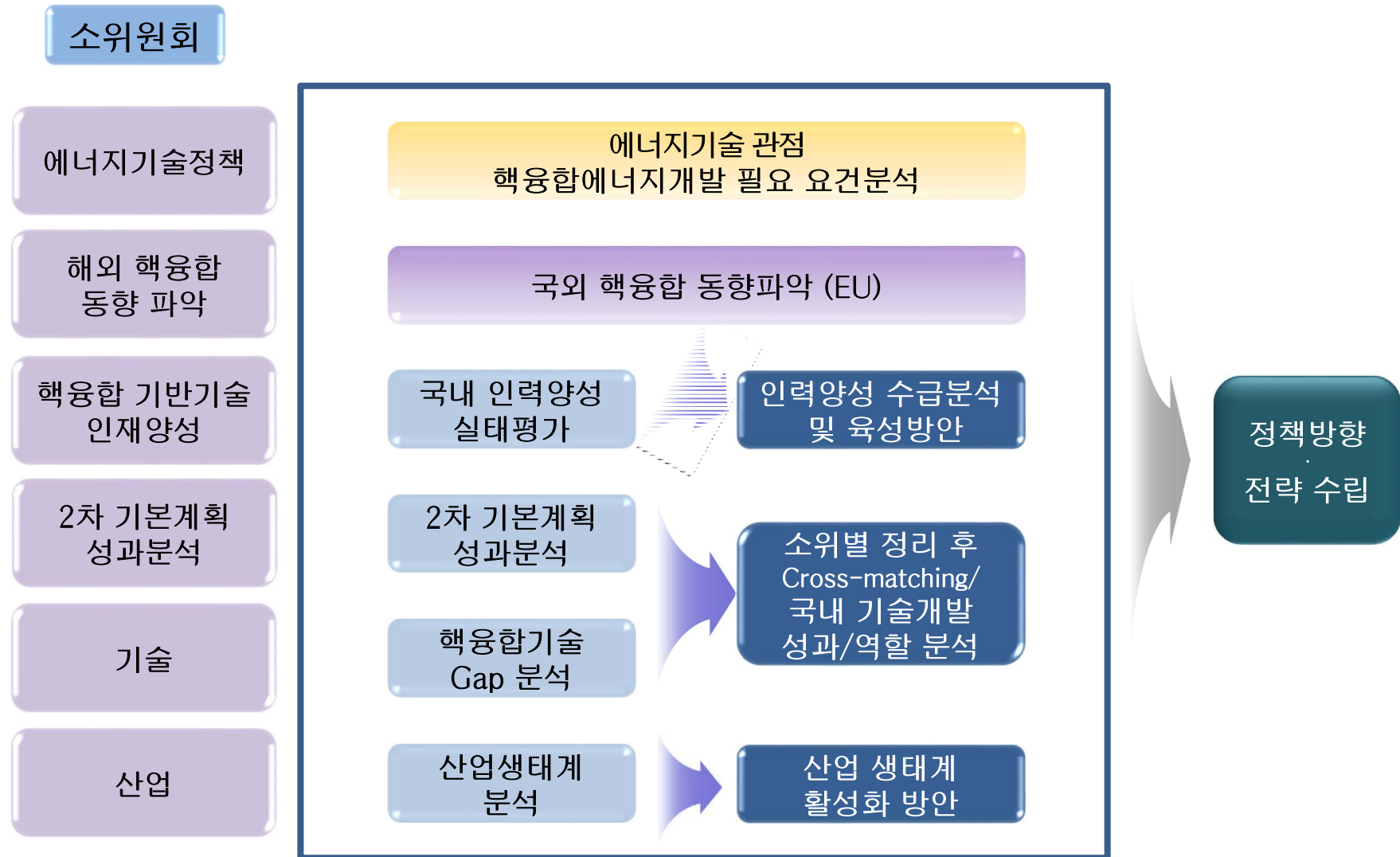
1. 기획연구 추진체계



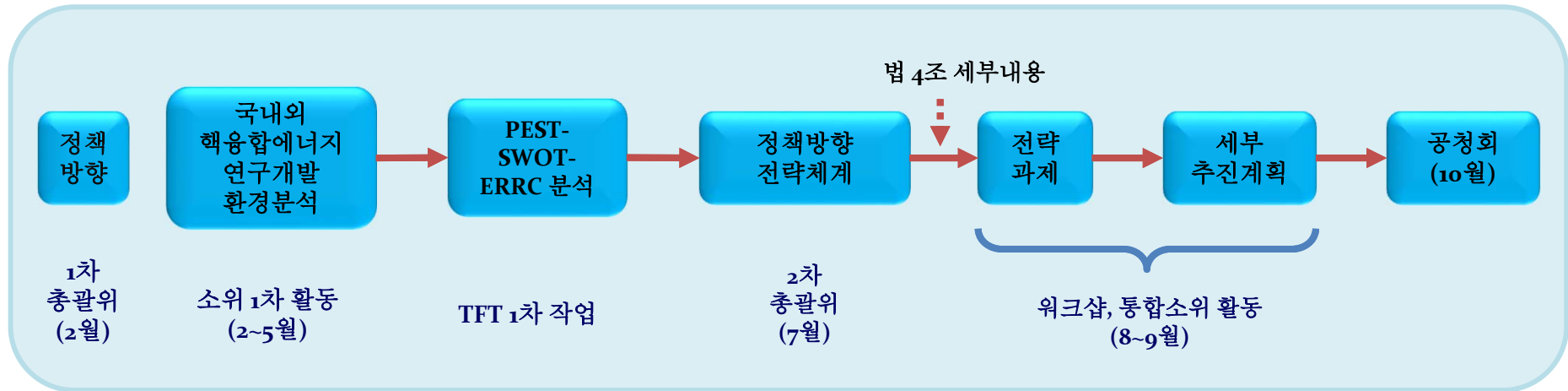
2. 기획연구 위원회 구성



3. 정책방향 및 전략 수립 체계



4. 정책방향 및 전략 수립 과정



<주요 환경분석 및 전략수립 방법론>

- ◆ **PEST:**
거시환경분석 Political(정치), Economic(경제), Social(사회), Technological(기술) 관점에서 요인을 정리하는 방법
- ◆ **ERRC:**
전략수립과정에서 정리된 요소 중에 Eliminate(제거), Raise(증가), Reduce(감소), Create(신규)할 대상을 식별하여 이에 대한 대응책을 수립
- ◆ **SWOT:** Strength(강점), Weakness(약점), Opportunities(기회), Threats(위협) 4가지 요인 별로 분석하여 전략을 수립하는 방법론

III. 국내 · 외 핵융합에너지 개발 현황 분석



1 해외 핵융합에너지 개발 현황

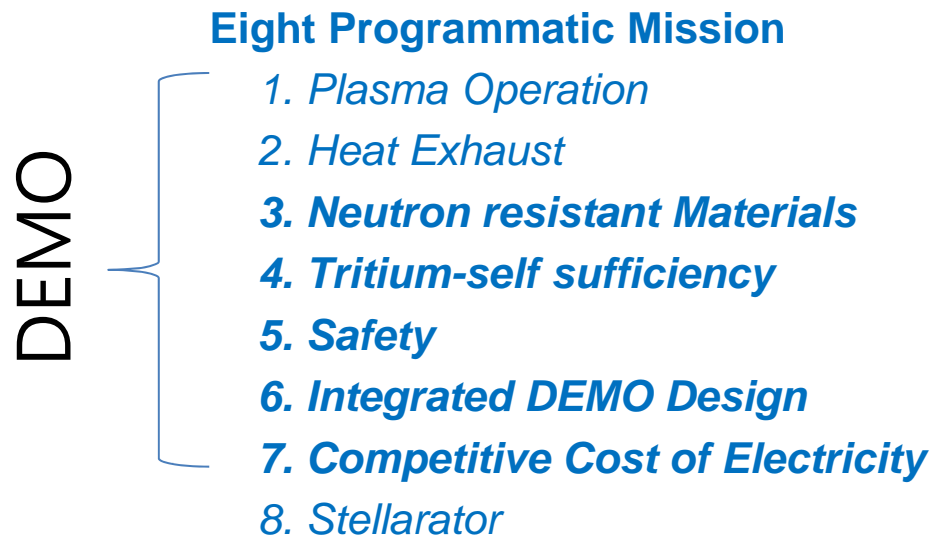
2 국가 핵융합에너지 개발 현황

1. 유럽의 핵융합에너지개발 추진 체계 재구성

- EUROfusion을 중심으로 '12년 말에 수립한 핵융합에너지 전기 생산 로드맵에 따라 **8대 미션 수립 및 추진**

- Horizon 2020을 통해 '14 - '18년 동안 핵융합에 총 30.7억 유로(ITER 23.6억 유로, EUROfusion 7.1억 유로)투자 예정

❖ 8대 미션

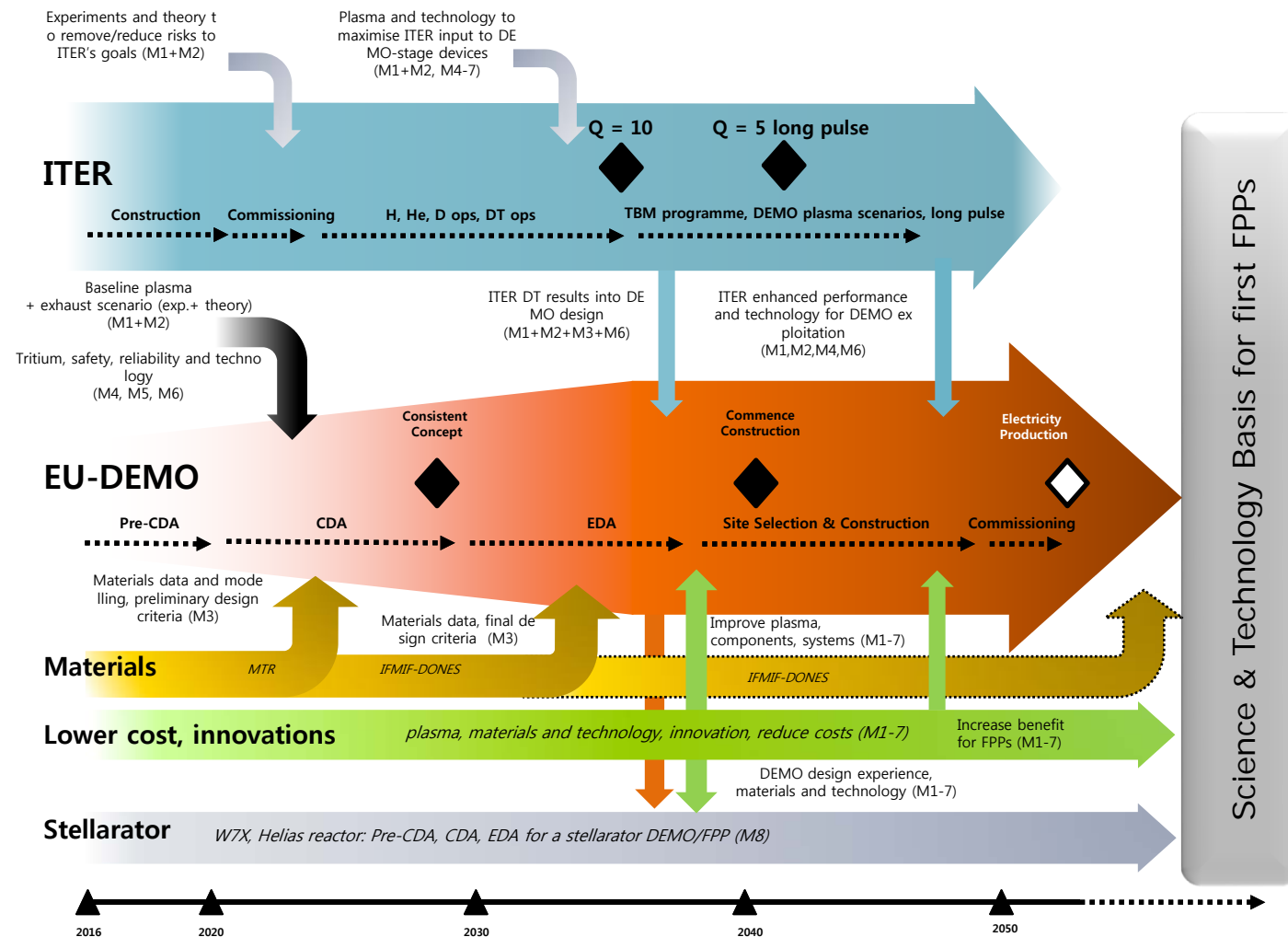


- **2050년까지 DEMO를 통한 전기 생산 실증을 위한 주요 마일스톤 정립 ('16년 말 수정보완 완료) 및 추진**

- '20년 이후 DEMO 공학설계에 주력, 늦어도 '30년대 초 DEMO 건설 및 '40년대 초 운전 계획

1. 유럽 핵융합 전기생산 로드맵

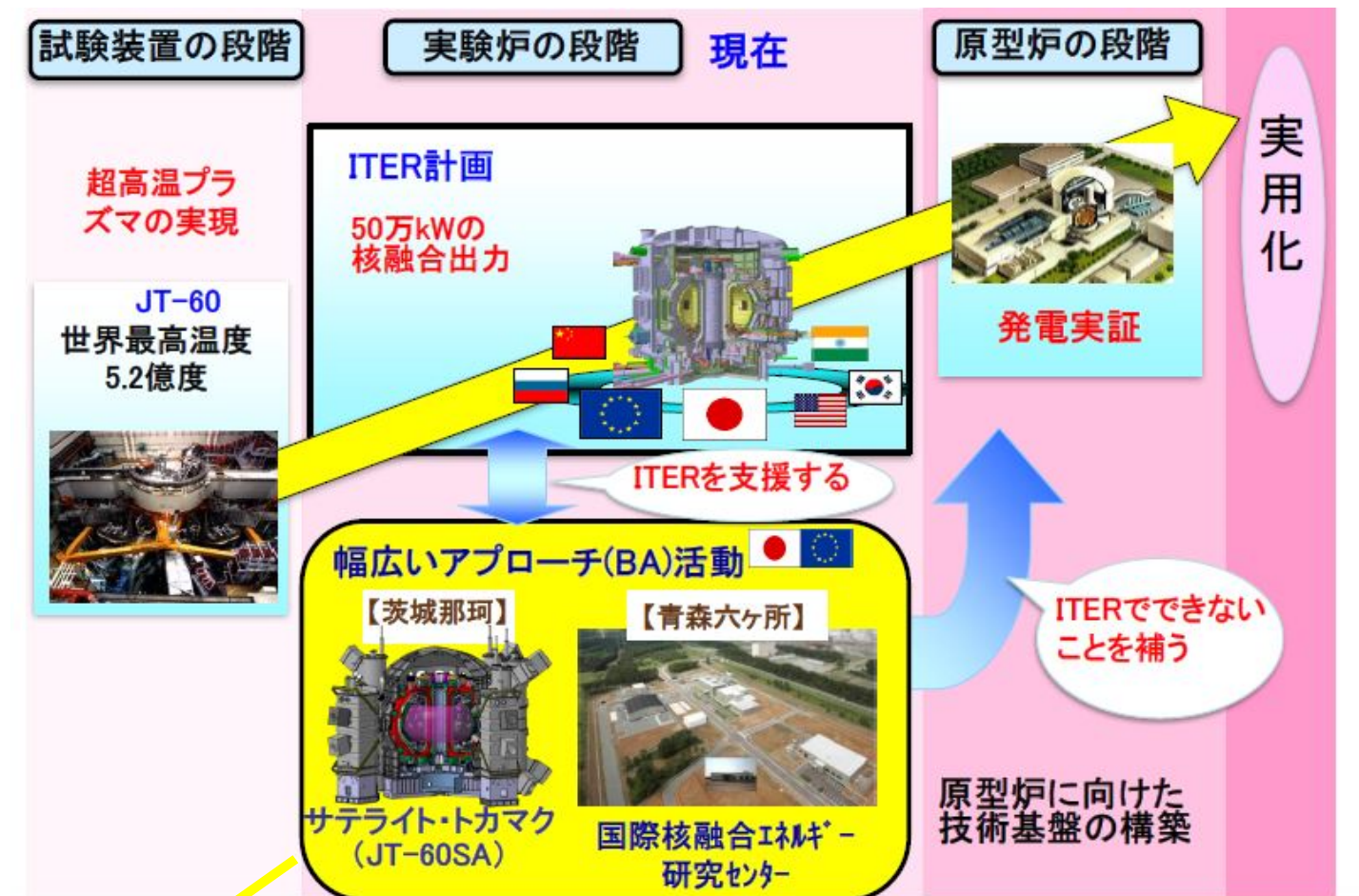
Fusion Electricity by 2050!



1. 일본의 핵융합에너지 개발 추진 현황

- ITER JA-DA를 통한 ITER 조달 업무 수행
- EU와 BA(Broader Approach) 공동협력 협정 체결, JT-60SA 건설, IFMIF/EVEDA 수행, DEMO 개념설계 및 기반 R&D 추진
 - ITER 운영 및 DEMO 실험연구를 위한 선행연구장치로 초전도 토카막 JT-60SA 공동 건설 중('19 완공 후 공동 운영)
 - ITER 원격실험 준비 및 핵융합에너지 조기 상용화 DEMO R&D를 위한 국제핵융합 에너지연구센터(IFERC) 운영
 - IFMIF* 프로토타입 가속기 공학설계 완료('13) 및 리튬타겟에 대한 타당성 검증 완료('14)
 - * International Fusion Materials Irradiation Facility: 국제핵융합재료조사시설
- 국가 차원의 공식적인 DEMO 계획 수립('15.1) 및 세부실천과제(Action Plan) 도출('16.2)
 - 문부과학성 산하 핵융합과학기술위원회('15.4) 및 DEMO개발 종합전략TF('15.6) 설치
 - DEMO 설계를 위해 '16년 새롭게 JAEA에서 분리 독립된 QST(35%), 대학(35%), 산업체(30%)에서 78명으로 구성된 공동특별설계팀 구성 및 운영
- ★ 2016년, ITER 및 BA 프로젝트, LHD 장치 등에 276억엔(직접비 기준) 투자

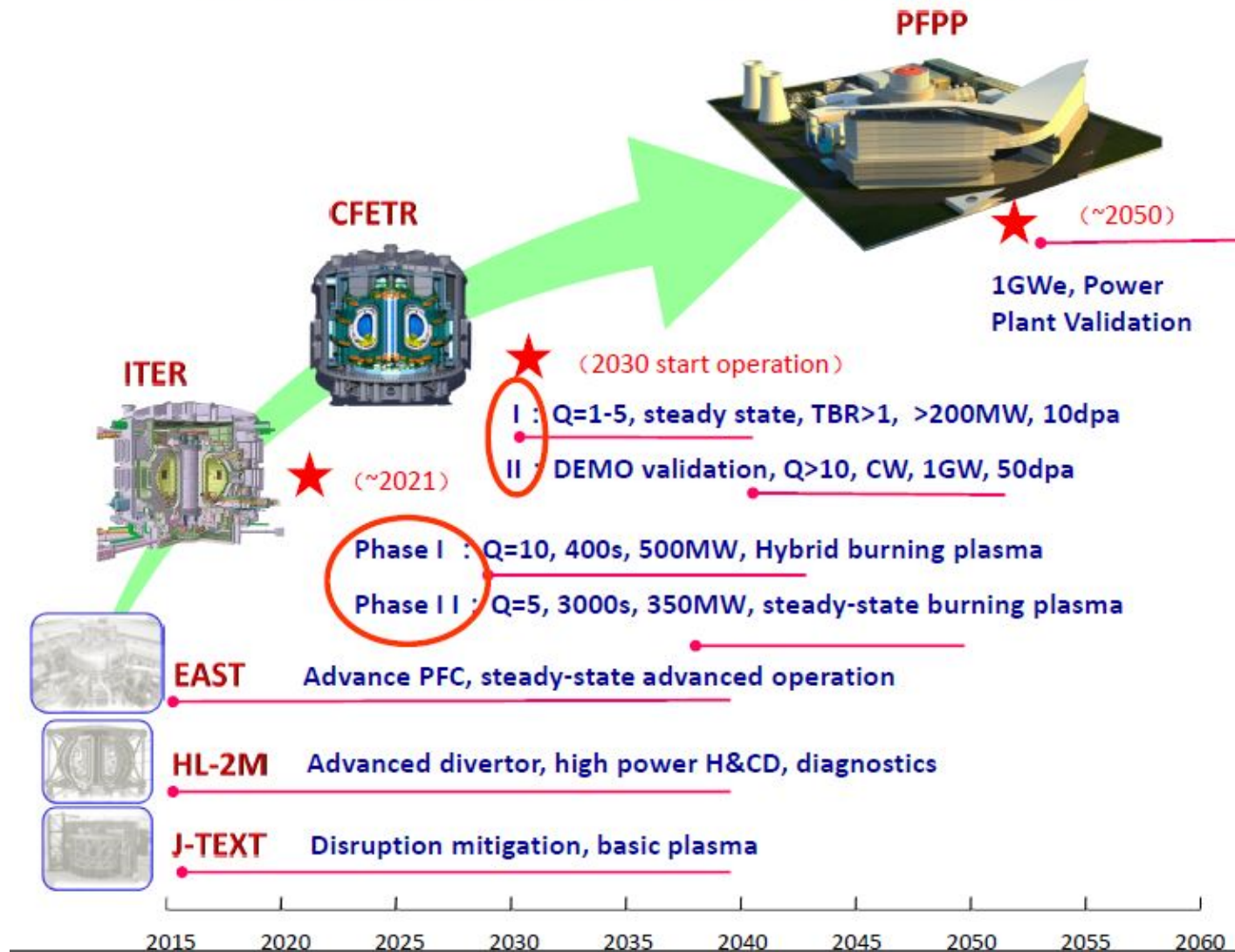
1. 일본의 핵융합 전기 생산 실현 로드맵



ITER 건설 참여 및 BA를 통한
DEMO 기반 기술 연구 병행 추진

1. 중국 핵융합에너지 개발 로드맵

Roadmap for Chinese MFE Development



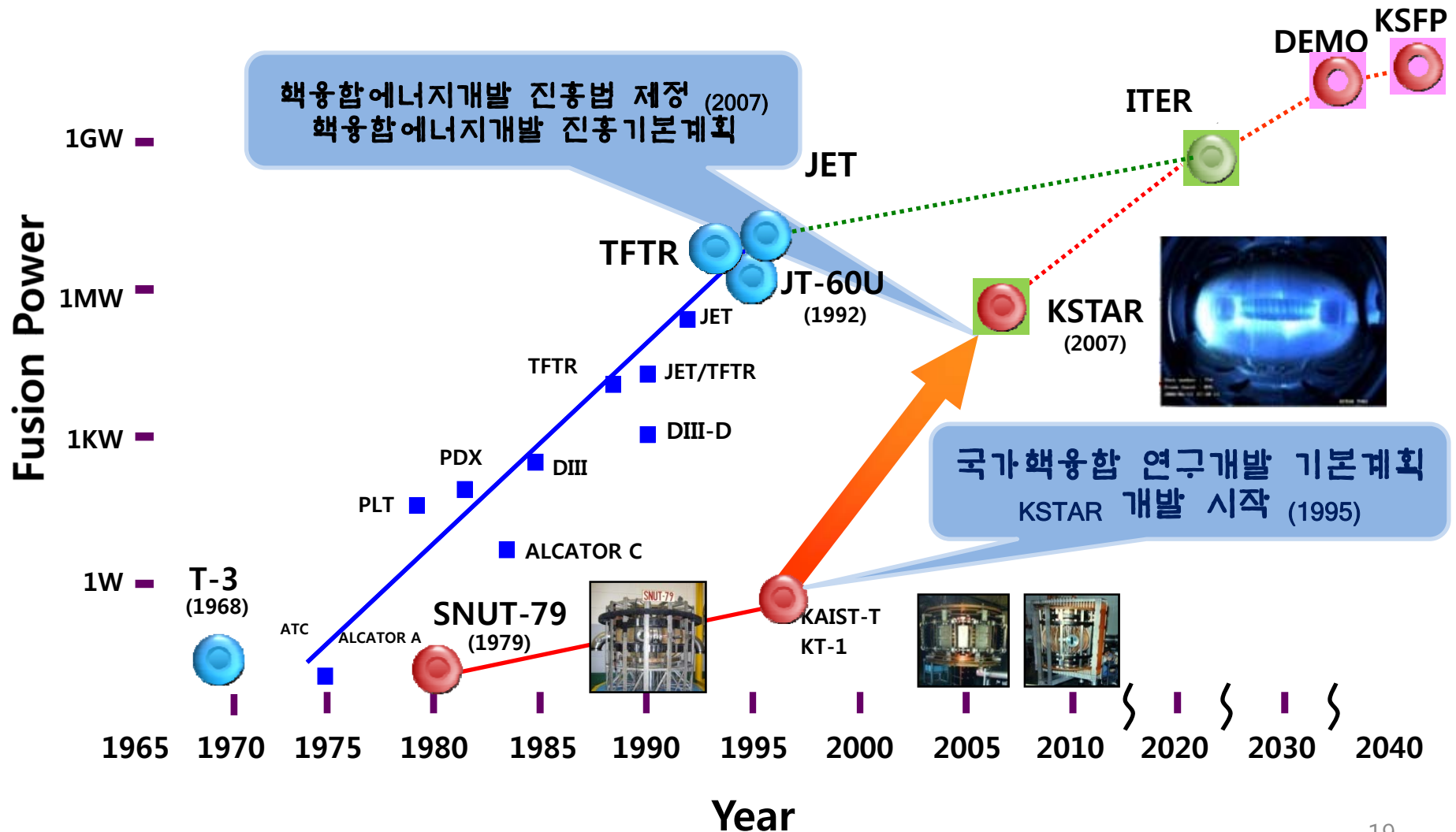
1. 국외 환경 분석의 주요 시사점

- ITER 추진 계획을 반영한 핵융합 에너지개발 로드맵 재편 중
 - 2050년 핵융합 전기 생산을 목표로 설정 (EU, 일본, 중국)
- 국가차원의 DEMO 계획 수립 및 세부실천과제(Action Plan) 도출
 - 유럽: Horizon 2020을 통한 8대 미션 수립 추진
 - 일본: DEMO개발 종합전략 TF 설치, BA를 통한 DEMO 기반 기술 연구 병행
- 통합적 DEMO 추진 체계 수립
 - 유럽: Fusion for Energy (F4E) → EUROfusion에 위탁 (유럽 연구소 참여)
 - 일본: 핵융합개발 체계 재편(QST) 및 NIFS+ 일본대학 등과 함께 DEMO 개발 추진



2. 중간진입전략에 의한 국가핵융합에너지 개발 계획

KSTAR 건설과 함께 ITER 프로젝트에 참여(2007년) 등으로
1차, 2차 기본계획의 성공적 달성과 함께 3차 DEMO 개발 계획 착수



2. 2차 진흥기본계획의 핵심 성과 분석

➤ KSTAR의 성공적인 건설로 ITER 건설에서 중추적 역할

- KSTAR 건설에서 경험을 쌓은 우리 핵융합전문인력들이 ITER에 참여하여 ITER 건설의 중심 역할 수행
 - 기술총괄 사무차장(COO), 토카막 건설 총괄부장, 진공용기 PT 팀장 등 Section leader 이상 고위직 6명 진출
- KSTAR 건설에 참여했던 국내 기업들은 KSTAR 제작을 통해 쌓은 경험 및 전문성으로 ITER 건설에서 핵심 역할 수행
 - ITER 기구 및 타 회원국으로부터 TA 과제, 서비스 용역, 조달품목 수주 등 89건, 약3,297억원 규모의 사업 수주(2015년 12월)

➤ 2016 FEC에 참여한 미국, 일본, 유럽 등의 전문가들과 어깨를 나란히

- 핵융합 기초, KSTAR 실험 등을 통해 핵융합 플라즈마 이론 및 실험 주요 분야에서 국제적인 성과를 이루어냄

2차 진흥 기본계획의 성공적 달성 !

2. 핵융합에너지개발 진흥기본계획 업그레이드 필요

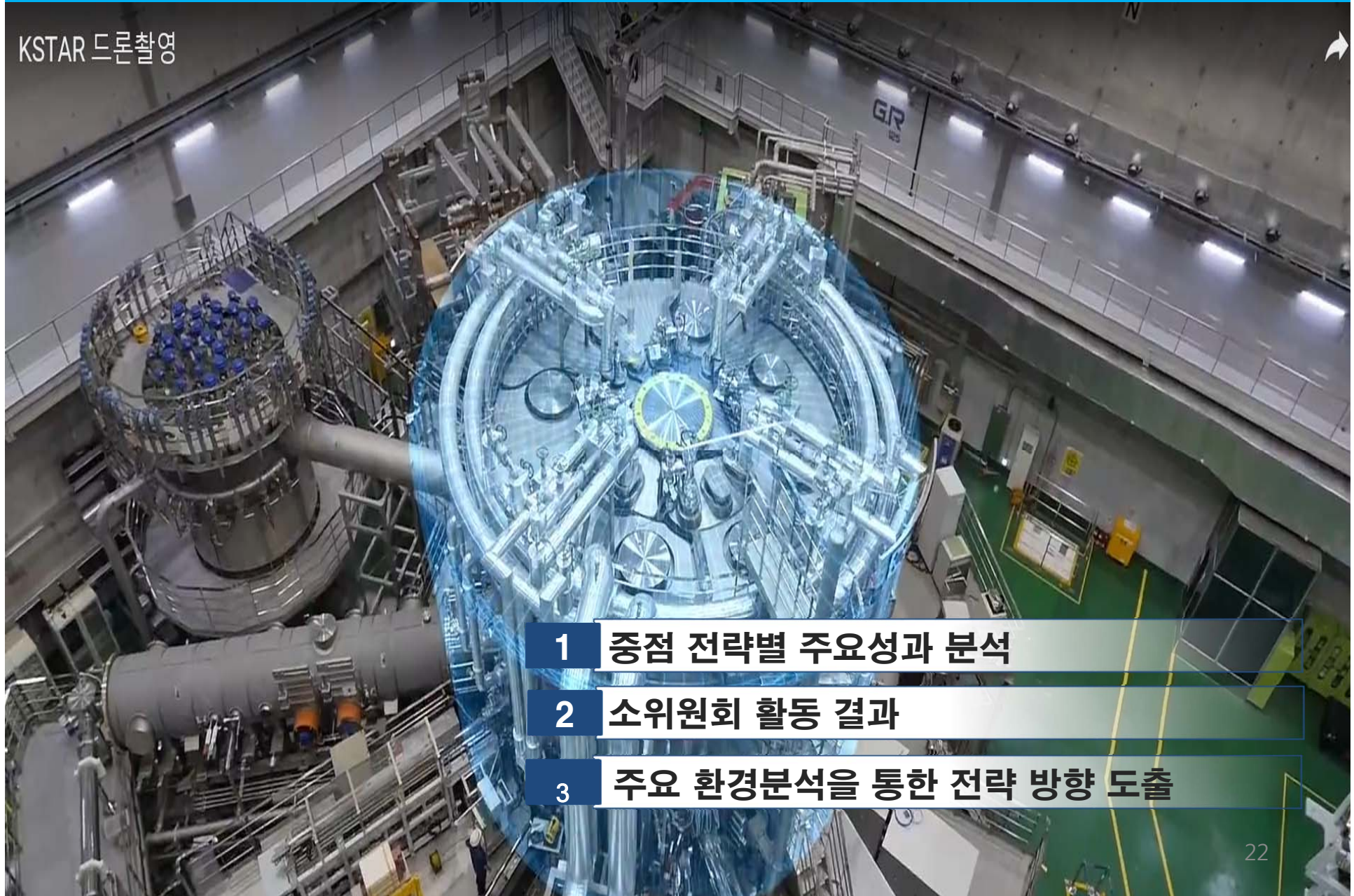
2차 진흥 기본계획의 성공적 달성은 3단계 핵융합발전소 건설 능력 확보로 진행 가능한가?



국내 핵융합 R&D 프로그램 추진현황과 변화된 ITER 건설 일정 등을 반영하여, 기본계획 framework의 목표기간 및 단계별 기본방향의 조정이 요구됨

IV. 2차 진흥기본계획 성과 분석 및 전략 방향 도출

KSTAR 드론촬영



1 중점 전략별 주요성과 분석

2 소위원회 활동 결과

3 주요 환경분석을 통한 전략 방향 도출

1. 중점 전략별 주요성과(1)

전략1. KSTAR 고성능 플라즈마 달성 및 DEMO 기초기술 개발

➤ 주요 성과

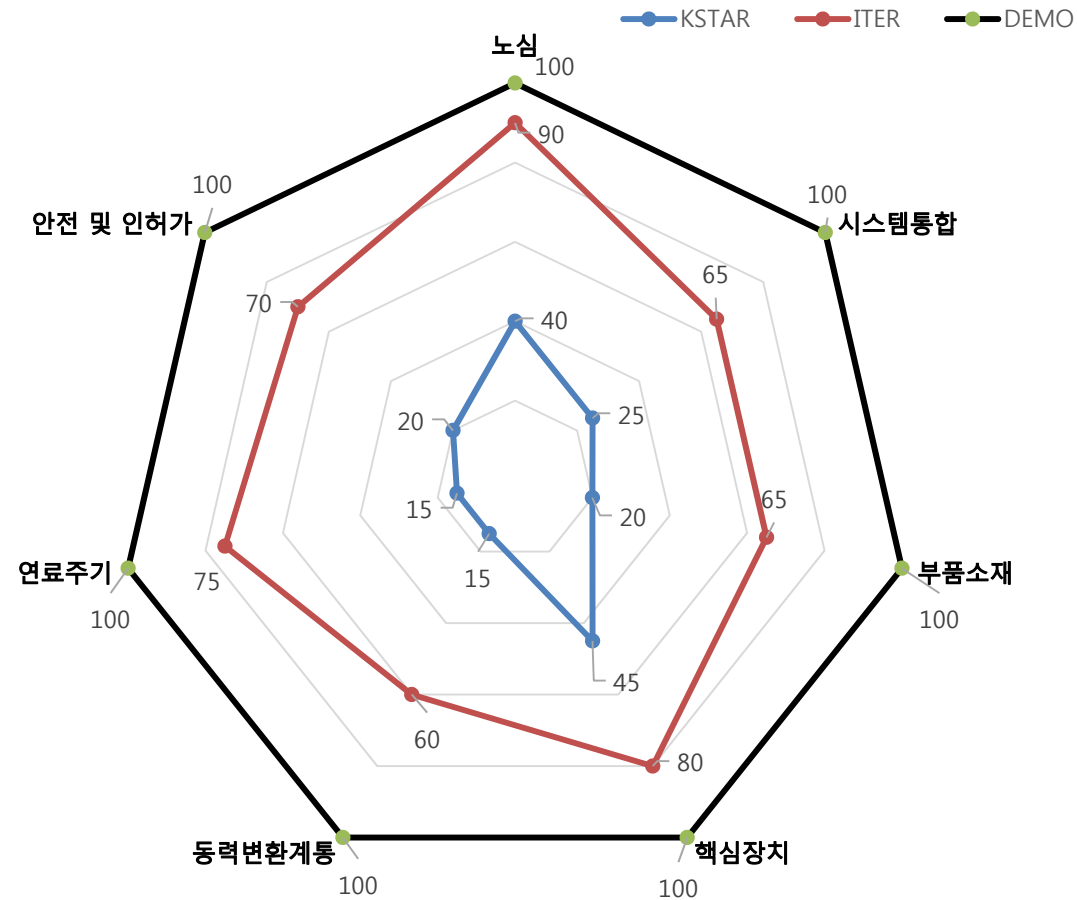
- ITER 운영단계에 필요한 핵융합 플라즈마 기술의 선진화 달성
 - 실시간 플라즈마 형상제어 개선으로 H-모드 플라즈마 세계 최장운전 달성(70초, 0.4MA)
 - 빠른 전류상승(di/dt 0.5MA/s)에서 안정적으로 MA급 플라즈마 운전기술 개발
 - ELM 제어를 위한 3D 자장 모델 개발 및 ELM 에너지 방출 원리 규명
- ITER 조달 이행 및 비조달 핵심기술 확보 추진
 - 10개 조달품목 중 8개 조달약정 체결 및 6개 품목에 대한 산업체 계약 완료
 - 초전도 도체의 조달 완료('14.12, ITER 회원국 조달품목 중 최초 달성)
 - ITER 비조달 핵심기술 확보를 위하여 6개 분야 선전 94개 과제 수행
- DEMO 핵심기술 개발 체계 및 기반 구축 추진
 - DEMO 기술개발 실행계획 및 추진체계 기획연구 수행
 - TBM 개념설계 승인 및 예비설계 자격 획득, 예비설계 착수('15.03)
 - 한국형 RAFM 강인 ARAA(Advanced Reduced Activation Alloy) 개발

➤ 시사점

- 핵융합로에 적용 가능한 고성능 장시간 플라즈마 운전 기술로의 발전 필요
- 2단계 DEMO 플랜트 기반 기술 확보에 부합하는 국가 핵융합 프로그램의 개편 필요

2. 기술 소위: 핵융합에너지 기술 격차 분석

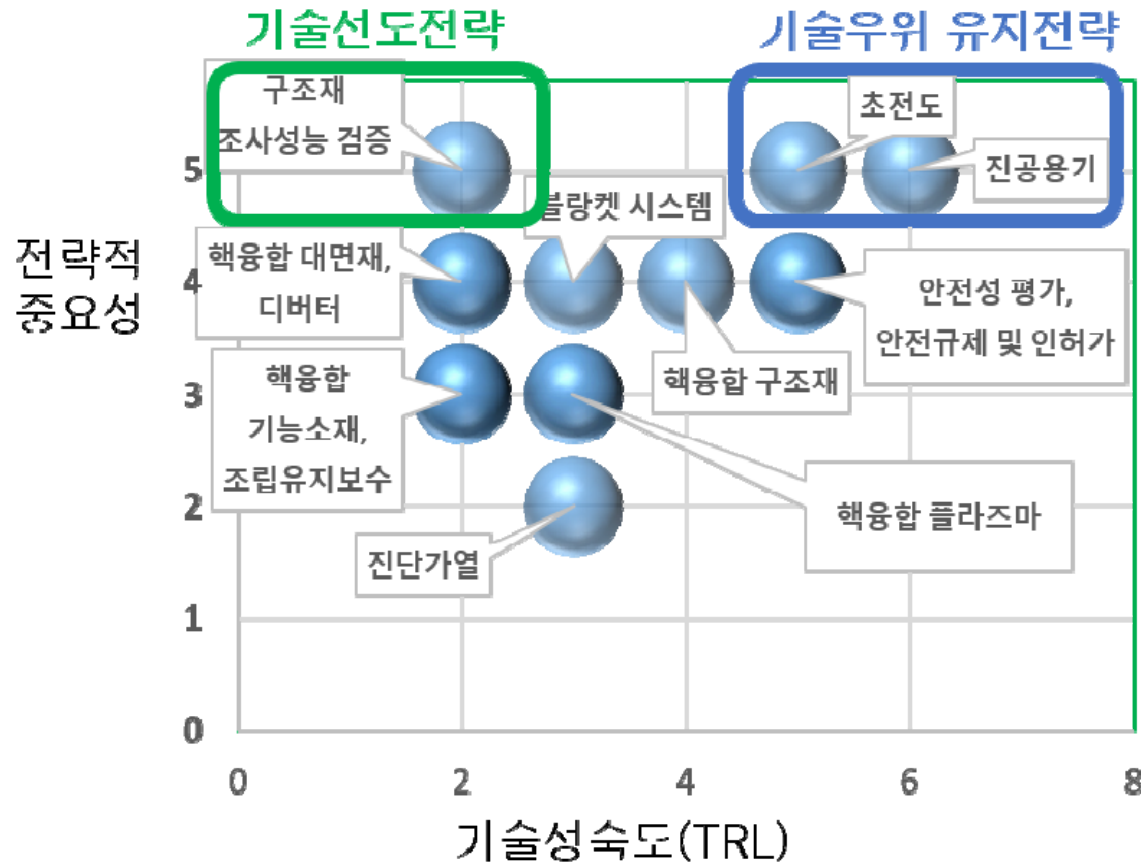
- 7대 핵융합기술에서 KSTAR에서 ITER, ITER에서 DEMO로 진입하는 과정에서 추가로 요구되는 기술의 격차를 분석함



동력변환, 부품소재, 연료주기 등 핵융합로공학 분야 실천 계획 요구됨

2. 기술 소위: 핵융합 중점기술 개발 방향

- 핵융합 기술개발국 모두 독자적인 핵융합실증로 건설이 어려운 가운데, 주요 핵심기술의 기술적 우위를 바탕으로 국제협력을 통해 목표를 달성하는 전략이 요구됨



국가차원의 전문가그룹 운영을 통한 개발전략 및 방향 최종안 도출 필요

1. 중점 전략별 주요성과(2)

전략2. 핵융합 기초연구 및 인력양성 확대

➤ 주요 성과

● 핵융합 기초이론 연구 활성화 및 다양화

- 핵융합 기초·연구사업이 'KSTAR 활용고도화'에서 '핵융합난제 해결'로 목표 전환
- 학연공동연구 2.7개 → 5.4개로, 단위과제는 13.3개 → 17.4개로 증가
- 세계 최고수준의 이차원 플라즈마 영상 및 요동 진단 시스템 개발, 불순물 거동 연구, 고성
간 운전모드 구현 연구, 등 수행

● 핵융합 전문인력양성 및 연구개발 기반 구축

- 핵융합분야 대학·연구소간 연계학과 개설을 통한 전문인력 양성(UST)
- '14년부터 핵융합전문인력양성 프로그램 별도 운영

➤ 시사점

- 핵융합 기초연구사업 확대 및 분야별 연계성 강화 필요
- 핵융합 공학기술 분야 등 거점연구센터 확대
- 핵융합 전문인력 수급 선순환체계 구축 및 기술자료 통합 관리·운영 필요

2. 인력 소위: 핵융합 인력양성 및 진출 현황 분석

➤ 전체 평가

- 제2차 핵융합에너지개발 진흥 기본계획을 통해 핵융합 전문 인력 양성 프로그램의 도입과 핵융합가속기진흥협회를 통한 산업체 전문인력 양성인프라는 구축 완료 되었으나, 중단기 수급 매칭을 고려한 체계적인 인력 양성 시스템은 미비한 것으로 평가

➤ 현 핵융합 인력 수급구조상의 문제점

- 박사급 핵융합 인력의 대표적 진출분야는 국가핵융합연구소인 반면, 출연연의 증원 제한에 따라 기존 연구인력의 퇴직으로 발생하는 소수의 자연 충원*을 제외하고는 현재 양성중인 핵융합 기초인력의 연구소 진출은 매우 어려운 상황임
- ☞ 단기적으로 ITER 일정 연장 및 ITER 참여인력 증원을 포함한 ITER 사업 계획 변동에 따라, ITER 건설 가속화에 필요한 건설 참여 인력 증원요구에 대한 즉각적인 대응이 필요하고,
- ☞ 장기적으로는 ITER 건설/운영 사업, 핵융합로공학기술개발연구의 본격화 등으로 그 수요가 대폭 증가될 것으로 예상
- ☞ 현재 ITER 건설 단계 및 핵융합로공학기술 분야에서 요구되는 인력은 공학기술 분야가 대부분을 차지하고 있으나, 우리나라 대학의 핵융합인력 양성 프로그램은 핵융합 관련 물리분야에 집중되어 있어, 분야별 인력수급의 불균형을 해소할 추가적인 대책 마련 필요

핵융합기반기술 연구를 포함한 핵융합에너지 상용화에 필요한 핵심 전문인력을 체계적으로 양성 활용할 수 있는 인력양성 수요-공급 시스템의 선순환 구조 확보 필요

1. 중점 전략별 주요성과(3)

전략 3. 국제협력 활성화 및 ITER 건설사업 주도

➤ 주요 성과

- 양자 및 다자간 국제협력 체계 구축 및 신규 프로그램 발굴
 - 미국 UCLA와의 TBM 연구협력('13년~현재)
 - 미국 PPPL과의 K-DEMO 개념 연구 공동 협력('12년~현재)
 - GA사와의 KSTAR 플라즈마 제어시스템 개발 연구협약 체결
- ITER 사업 운영에서 핵심적 역할 강화
 - ITER 국제기구에 총 33명 파견 및 고위직 진출
 - * 기술총괄 사무차장, 토카막 건설 총괄부서장, 진공용기 PT 팀장 등, section leader 이상 고위직(6명)
 - ITER 이사회 의장 및 TBM 의장 수행 등으로 ITER 사업에 있어서 참여국간 협력 등에 전략적 대응 ~'17년)
 - ITER 국제기구 및 타 회원국에서 93건(약 5,312억원) 사업 수주('16년 8월 현재)

➤ 시사점

- KSTAR 활용 국제협력 프로그램 강화 및 내실화 필요
- 핵융합 핵심기술 확보 및 인력양성을 위한 체계적인 국제협력 필요
- ITER 파견 적정 수준의 전문인력 확보를 위한 전략적 대응방안 마련 필요

2. 국제협력 소위

➤ 주요 현황

- ITER 추진 계획을 반영하여 2050년 핵융합 전기 생산을 목표로 하는 핵융합 에너지개발 로드맵 재편 중 (EU, 일본, 중국)
- 국가차원의 DEMO 계획 수립 및 세부실천과제(Action Plan) 도출
- 통합적 DEMO 추진 체계를 수립하여 연구 개발 수행

➤ 주요 시사점

- ITER 운영단계를 대비한 KSTAR 공동연구를 위한 협력
 - EUROfusion에서는 ITER 건설일정 연장관련, EU 역내 핵융합 장치들에 대한 운영 계획 조정
 - 특히 JET를 ITER의 대표 시험 장치로 활용하기 위한 ITER 회원국 중심의 협력 제안
- ITER 비조달 분야 핵심기술 습득을 위한 협력
 - 비조달 분야는 기술 추적을 진행하기에는 국내 관련 전문가가 부족하고, 전문가 양성과 기술 확보를 위해서는 고가의 장비나 장치와 함께 기술적 인프라 등 필요
- 국내 연구개발이 미진한 분야의 인력양성을 위한 협력
 - 상기 협력 프로그램은 유럽, 일본, 등의 우수 연구기관에서 연구 인력에 대한 수요처 확인 양국 간 서로 필요한 부분을 공유하여 협력을 활성화

KSTAR, ITER, DEMO 프로그램과 기반기술 확보 및 인력양성을 효과적으로 연계하는 체계적인 국제협력 프로그램 개발 및 통합 운영

1. 중점 전략별 주요성과(4)

전략 4. 핵융합플라즈마 기술 사업화 촉진 및 사회적 수용성 제고

➤ 주요 성과

● 핵융합플라즈마 기술의 사업화 및 신산업 창출

- '융복합플라즈마연구센터' 이전 개소('12.11월, 군산)
* 연구원 창업 2건, 논문 31편, 특허 74건, 기술이전 11건
- 플라즈마를 활용한 기초·응용 기술 15건 산업체 이전

구분	2012	2013	2014	2015
기술이전	2	1	8	4
기술료(백만원)	120	56	429	301.2



<기술료 수입현황 | 백만원>

● 핵융합 안전연구 및 사회적 수용성 제고

- 핵융합 발전 안전규제 개념 연구 및 사고해석 수행
- 핵융합 상설 홍보관 구축 및 체험형 전시 행사 운영
- 초중고 학생 대상 'Fusion School' 운영
- 영화, 방송 등 친근한 미디어 활용 핵융합 정보 노출 기회 확대

➤ 시사점

- 장기적인 핵융합 산업 생태계 구축 및 기술개발 역량강화 방안 마련 필요
- 대국민 소통을 통한 핵융합 이해 확산 및 경제사회적 분석 등을 통한 당위성 확보 노력 지속 필요

2. 산업 소위: 핵융합 산업생태계 활성화

➤ 핵융합 산업생태계 현황

- 지난 20여 년간 KSTAR 및 ITER 제작에 약 250여개 기업이 참여하며 기술 경쟁력이 꾸준히 성장해왔고, 관련 기업이 가속기, 항공우주 등 타 산업분야로 진출 중
- 글로벌 기업으로 성장하기 위한 해외 진출 및 국내 신산업 창출 유도 · 가속화를 위한 정부의 법적 · 제도적 기반은 미비

➤ 핵융합 산업생태계 거점 기능 강화 및 산업 생태계 활성화의 필요성

- 핵융합 사업을 통해 형성된 산업생태계의 거점 역할을 수행하기 위한 협회 및 조합*은 '95년 생태계가 형성이 시작되고 약 20년이 지난 후에 설립
 - * 한국핵융합 · 가속기기술진흥협회(KAFAT) 설립 : 2014.6월
 - * 한국핵융합 · 가속기 연구조합 설립 : 2015.11월
- 핵융합연구에 대한 정부의 R&D 투자가 지속되고 있으나, 상용화의 장기화 추세에 따른 관련 기술을 보유한 산업체 유지에는 한계로 정체된 산업생태계에 대한 다양한 연구지원 확대 · 강화 없이는 산업체의 관련 기술 및 인력에 대한 지속적 유지는 어려움

핵융합분야 산업체 기술개발 역량 강화와 핵융합 기술을 활용한 기술사업화 확대

2. 정책 소위: 핵융합연구개발 사회적수용성 제고

- 핵융합에너지가 대한민국 차원에서 국민에게 필요하고 가치 있는 에너지인가?
 - 핵융합에너지에 대한 정교한 분석과 이에 근거한 공감대 확산이 절실
 - 핵융합에너지가 현재 계획대로 기술개발이 진행될 경우 에너지원으로서 역할과 가치를 발휘할 수 있는지에 대한 냉철한 평가 포함
 - 이를 위해서는 핵융합에너지를 독립적으로 놓고 분석하기보다는 대한민국의 에너지 환경과 전체 에너지원과의 비교와 함께 통합적으로 평가하는 것이 중요
- 우리나라의 정부와 국민의 핵융합에너지에 대한 인식
 - 우주 연구개발과 같은 첨단기술 개발 차원에서 형성되고 있으며, 실질적 역할에 대한 기대감은 아직 미미한 수준임
- 제안
 - (가칭)핵융합에너지가치진단위원회를 구성하여 핵융합에너지 기술개발 수준, 인력, 예산, 조직 등을 면밀히 분석하여 현행 기본계획 이행 가능성 점검
 - 정부, 전문가, 오피니언리더, 대국민 인식조사 실시하여 핵융합에너지가 갖추어야 할 조건을 도출하여 기술개발에 적용

**대국민 소통을 통한 핵융합 이해 확산에 노력하고,
핵융합 기술의 경제·사회적 효과 분석 수행하여 수용성 제고**

3. 내 · 외부 환경변화 분석(PEST-SWOT-ERRC 분석)



3. 내외 환경 분석을 통한 3차 기본계획 추진 전략

구분	2차(2012~2016)	3차(2017~2021)	추진 전략
전략 ₁	KSTAR 고성능 플라즈마 달성 및 DEMO 기초 기술 개발	DEMO 핵심기술 기반 확보	DEMO 대비 고성능 운전 시나리오 개발, ITER 비조달, 블랑켓 등 과제의 확대개편을 통한 DEMO 핵심기술 확 DEMO 핵심기술 개발 체계 및 기반 구축
전략 ₂	핵융합 기초연구 및 인력양성 확대	핵융합 연구기반 및 인재양성 체계 강화	통합적인 핵융합에너지 연구개발 추진 체계 구축을 통 기초 및 중점 기술 연구역량 강화, 장기적으로 핵융 너지개발 생애주기와 연계한 핵융합인력 선순환 시스템 구
전략 ₃	국제협력 활성화 및 ITER 건설 사업 주도	통합적인 국제협력 추진	핵융합 핵심기술 개발을 위해 KSTAR, ITER, DEMO 간 체계 적인 국제협력 통합 프로그램 개발 및 운영
전략 ₄	핵융합·플라즈마 기술 사업화 촉진 및 사회적 수용성 제고	핵융합에너지 개발 추진기반 확보	핵융합 산업체 기술개발 역량 강화 및 핵융합 기술을 한 기술사업화 확대, 대국민 이해도 제고 및 핵융합의 당위성 확보

V. 3차 핵융합에너지개발 진흥 기본계획(안)

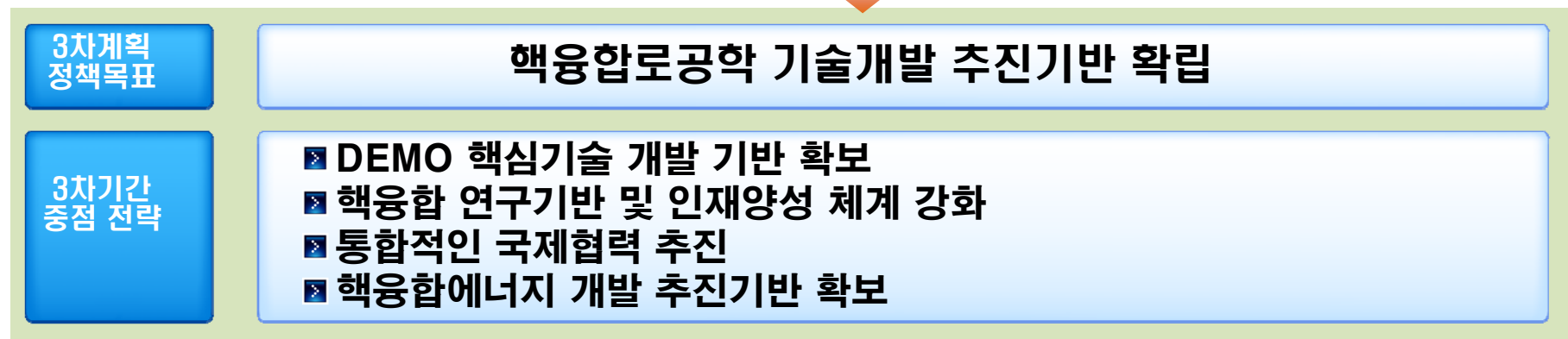
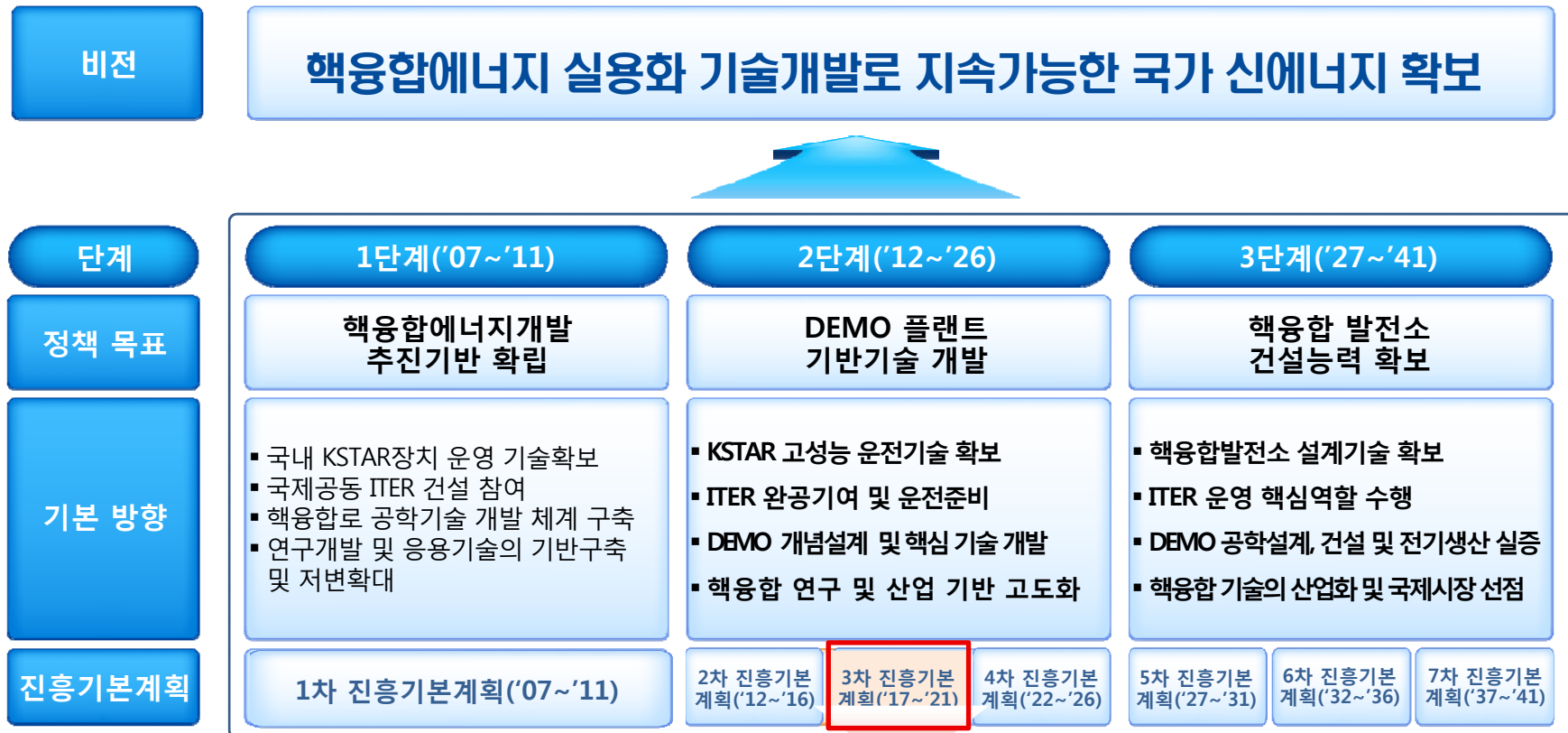


1 3차 기본계획(안)

2 중점 추진 전략별 실천과제

3 국가 핵융합 에너지 개발 로드맵

1. 3차 기본계획(안)



2.중점 추진 전략 별 실천과제 도출

➤ 정책목표 : 핵융합로공학 기술개발 추진기반 확립

전략 1. DEMO 핵심기술 개발 기반 확보

- 1-1 KSTAR 를 이용한 ITER 및 DEMO 고성능 플라즈마 운전 시나리오(AT 모드) 개발
- 1-2 ITER 사업을 통한 DEMO 요소기술 확보
- 1-3 DEMO 핵심기술 개발 체계 및 기반 구축

전략 2. 핵융합 연구기반 및 인재양성 체계 강화

- 2-1 국가 핵융합 연구기반 강화
- 2-2 핵융합 인력 선순환 시스템 구축

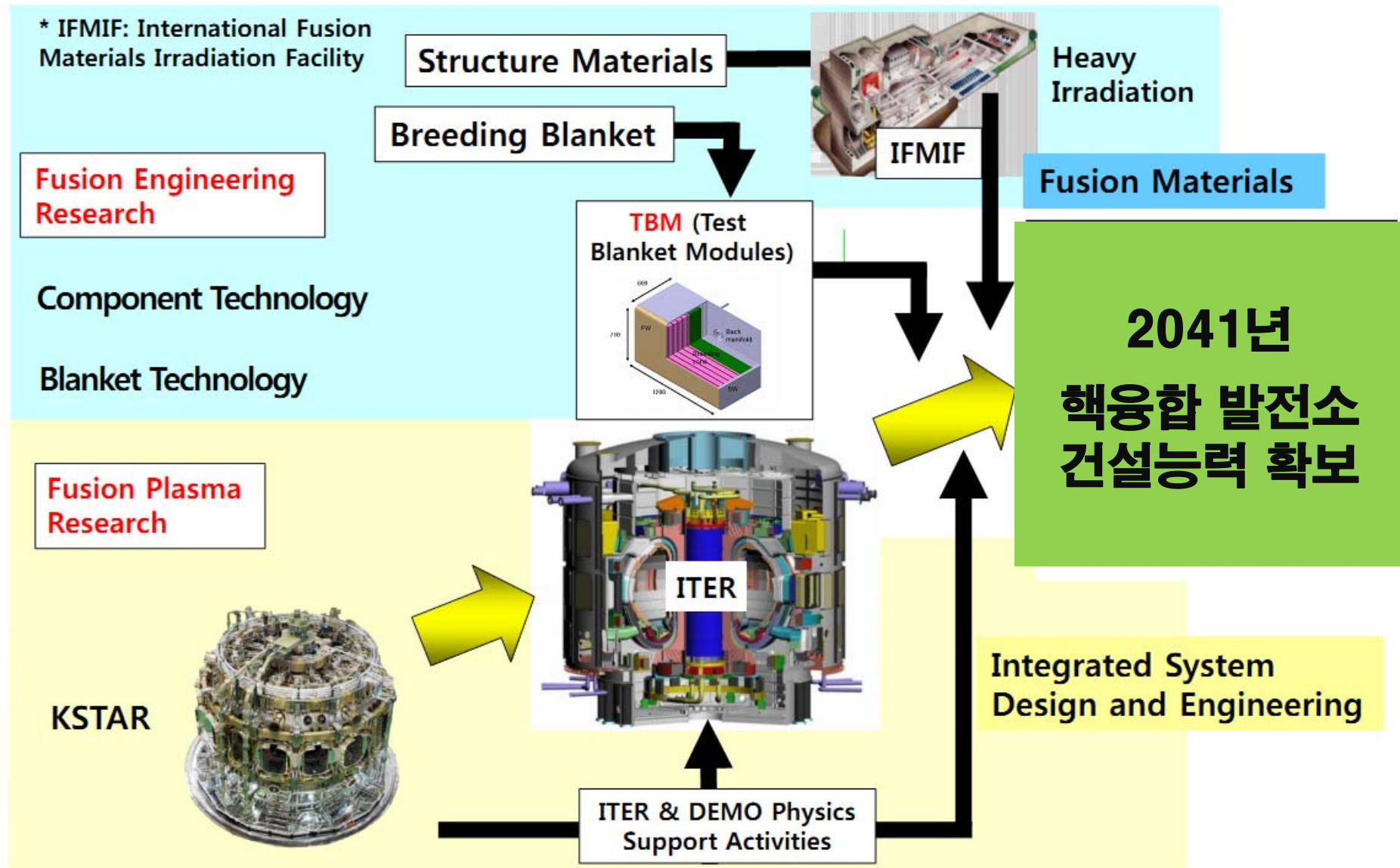
전략 3. 통합적인 국제협력 추진

- 3-1 전략적 국제협력체계 구축
- 3-2 KSTAR 운영의 국제화
- 3-3 ITER 사업을 통한 인력양성 및 기술협력 강화

전략 4. 핵융합에너지 개발 추진기반 확보

- 4-1 핵융합 산업생태계 활성화
- 4-2 핵융합에너지 연구개발 사회적 수용성 제고

3. 국가 핵융합 에너지 개발 로드맵



VI. 부록



1 중점 추진 전략별 실천과제

전략 1 DEMO 핵심기술 개발 기반 확보

과제 1-1. KSTAR를 이용한 ITER 및 DEMO 고성능 플라즈마 운전 시나리오(AT 모드) 개발

- ITER 운전 및 한국형 핵융합로 기반 연구로서 고성능 및 정상상태 시나리오 개발 및 운전
 - 장시간(100초 이상) 정상상태 운전시나리오 개발
 - 1MA 이상의 대전류 H-모드 플라즈마의 안정적 운전 기술 확보
 - 15MA급 가열장치를 활용한 고성능(β_{N3} 이상) 시나리오 개발
- 고성능 및 정상상태 시나리오 운전 하에서의 핵심 물리연구
 - KSTAR 특징점을 활용한 ITER 및 핵융합로 운전에서 현안인 ELM, (disruption) 불안정성 메커니즘 연구 및 제어기술 개발
 - 대전류, 고성능 운전을 위한 NTM 불안정성 연구 및 제어 기법 개발
 - KSTAR 특징점을 활용한 AT 운전 시나리오 개발 및 물리 해석 연구
- 국내외 핵융합 공동실험장치로서의 기반 강화
 - 고출력 장시간 운전을 위한 NBI-2를 비롯한 15MA급 가열장치 설치 및 운
술 확보
 - 고성능 플라즈마 물리연구를 위한 진단 및 제어장치의 정밀도 개선 및
역량 강화
 - 플라즈마 대면장치의 냉각 계통 운영 및 고열부하 운전을 위한 업그레
설계
 - 100G급 초고속 연구 전산망 구축 및 실험해석 코드 확보 및 운영

전략 1 DEMO 핵심기술 개발 기반 확보

과제 1-2. ITER 사업을 통한 DEMO 요소기술 확보

➤ ITER 조달 이행 및 설계 제작 관련 핵심기술 확보

- 우리나라 조달품목 산업체 제작 및 선행 조달품 납품 완료
 - 품질 및 공정 등 사업관리 강화 및 진공용기, 열차폐체 등 선행품목 제작 및 납품 완료
- ITER 조달품목 공학 설계 및 제작 핵심 기술 확보
 - 대형 스텐레스강 구조물 정밀 제작, 용접 변형 제어 및 비파괴 기술 확보

➤ ITER 비조달 및 운영준비 과제의 확대 개편을 통한 핵심기술 확보

- ITER 비조달 기술 중 DEMO 개발에 핵심적인 요소기술 확보 및 개발
 - 핵융합로 주장치 설계, 디버터 재료 및 설계, 플라즈마 진단/가열, 삼중수소 연료주기 기원력조작 기술, Hot Cell 건설 및 운영 등
- ITER 운영단계를 대비한 실험연구 준비 확대 및 전문 인력 확보
 - KSTAR 연구와 연계한 ITER 장치 운영 준비

➤ ITER TBM 설계 등 블랭킷 핵심기술 개발 및 확보

- TBM* 설계코드 개발 및 검증 등 예비/최종 설계기술 개발 및 확보
 - * TEST Blanket Module: 증식블랭킷 주요기능(에너지 추출, 삼중수소 증식) 실험 장치
- TBM 제작 및 검증기술 개발 등 증식블랭킷시스템 핵심기술 확보
 - 구조 및 기능소재, 제작, 냉각재, 증식재, 블랭킷 삼중수소 취급기술 등

전략 1 DEMO 핵심기술 개발 기반 확보

과제 1-3. DEMO 핵심기술 개발 체계 및 기반 구축

➤ DEMO 로드맵 개발 및 국가적 연구개발 전략 체계 수립

- DEMO 기술개발 실행계획 및 전략적 로드맵 개발을 통한 국가적 연구개발 체계 수립
- 상세 개념설계 단계로의 진입을 위한 핵심 기반기술 도출 및 추진전략 수립

➤ DEMO 기본개념 개발 및 개념설계 기반 축적

- 시스템 분석코드 등을 활용한 DEMO 기본 개념 개발 및 플라즈마 통합 운전 시나리오 개발을 위한 시뮬레이터 개발
- 주요 핵심 장치별 공학해석 코드 개발 및 구체적 설계요건 도출
- DEMO 상세설계 기반 축적을 위한 설계의 통합화·표준화 체계 수립 및 Code & Standard 체계 정립 연구

➤ DEMO 핵심기술 연구기반 구축

- 초전도 자석 및 소재, 고성능 디버터, 증식블랑켓 등 핵심기술 분야의 기초 선행연구
- 핵융합재료조사시험, 고성능 전산모사 시설 등의 연구기반 구축

전략 2 핵융합 연구기반 및 인재양성 체계 강화

과제 2-1. 국가 핵융합 연구기반 강화

➤ 핵융합연구개발 통합적 실행추진 체계 구축

- 핵융합에너지기술개발의 통합적 관리 체계 확립

- 국내 핵융합에너지개발 추진 주체간의 원활한 소통 체계 수립
- 핵융합에너지 기술개발 추진에 대한 기획·조정 역할 강화

- 국가차원의 전문가그룹 운영을 통한 단계별 개발전략 및 실행(안) 도출

➤ 핵융합 기초 및 중점 기술 연구역량 강화

- 핵융합 기초연구 활성화

- 핵융합 기초연구 확대 및 분야별 연계성 강화
- 경제성 및 안전성 제고를 위한 부품·소재 연구 강화

- 기술격차 분석을 통해 확인된 핵융합 중점기술 연구 활성화

- 핵융합 기초연구 확대 및 분야별 연계성 강화
- 경제성 및 안전성 제고를 위한 부품·소재 연구 강화

전략 2 핵융합 연구기반 및 인재양성 체계 강화

과제 2-2 핵융합 인력 선순환 시스템 구축

➤ 핵융합 전문인력 장기 수급 시스템 구축

- 핵융합에너지개발 생애주기와 연계한 분야별 장기 인력 수급 시스템 구축
 - KSTAR, ITER, DEMO를 중심으로 진행되는 핵융합에너지 연구개발 로드맵의 추진에 있어 핵융합 전문인력의 양성과 함께 양성된 인력의 유출 없이 필요인력을 적재적소에 활용할 수 있는 인력 순환체계 수립 필요
- 대학 거점센터, 유관 연구소 등을 이용한 인력 순환 시스템 운영
 - KSTAR, ITER를 중심으로 하는 국가핵융합연구소(이하 핵융합연)의 인력순환 시스템에 더하여, 핵융합연에서 보유하지 못한 ITER 비조달 및 운영관련 분야 인력의 경우 대학 거점센터, 유관 연구소 등을 이용하여 인력의 양성과 활용을 꾀하는 순환 시스템을 구축하여, 향후 ITER 파견 및 DEMO 사업 추진에 필요한 핵융합 전문인력을 준비하여 핵융합에너지 상용화에 기여

➤ 핵융합 전문인력 양성 프로그램 강화

- 핵융합 기술 분야별 전문인력 DB 구축 및 학연산 네트워크 형성
 - 학연산 핵융합 전문인력 수급 DB 구축 등
- 국내외 연구장치 및 시설을 활용한 전문인력 양성 프로그램의 활성화
- DEMO 중점기술 분야에 대한 ITER 및 조달국 연구기관에 대한 교육 및 연수 인력파견으로 전문 인력양성의 효과 증대

전략 3 통합적인 국제협력 추진

과제 3-1. 전략적 국제협력 체계 구축

➤ 전략적 신규 국제협력 프로그램 발굴

- KSTAR, ITER, DEMO 분야를 효과적으로 연계하는 체계적인 국제협력 프로그램 개발 및 통합 운영
- 기술역량 선진화를 위한 국제공동연구 프로그램 참여 확대
- 핵심기술 확보를 위한 해외 선진 연구기관으로의 교육 및 연수 확대

➤ 핵융합 핵심기반기술 개발 및 축적을 위한 국제적인 연구협력 인프라 확충

- 국제협력 및 공동연구 추진을 위한 운영 인프라 개선, 국내외 협력 채널 다양화 및 공고화
- DEMO 건설에 필요한 예상 핵심 국제기반시설 건설(fusion neutron source, divertor tokamak 등)과 운영에 대한 주도 전략 수립

전략 3 통합적인 국제협력 추진

과제 3-2 KSTAR 운영의 국제화

➤ KSTAR 경쟁력 확보를 위한 국제협력 강화

- 국제에너지기구(IEA) Implementing Agreement(IA)를 통한 다자간 KSTAR 국제협력 협력 추진
 - KSTAR, EAST, JT-60SA 초전도 핵융합 프로그램 수립
 - 양자간/다자간 ANNEX 구축으로 기술협력, 인력교류 추진 및 자원(예산) 부담 해소
- 해외 핵융합 연구 선도그룹과 공동연구 활성화
 - Post BA 참여를 통한 한-일-유럽 간 JT-60SA - KSTAR 협력으로 실제 상호 운영에 필요한 협력 추진(특히 한일 간 긴밀한 협력 필요)

➤ 선진 연구 장치로의 도약을 위한 신규협력 발굴

- ITER 협력 체계를 활용한 핵융합로급 고열부하 조건에서의 안정적 운전을 위한 In-vessel Components(디버터, 플라즈마 대면재 등) 업그레이드 기반 연구 강화
- 고성능 플라즈마 조건 달성을 위한 선진 가열장치 관련 국제협력 강화

➤ KSTAR 개방성 제고를 통한 국제 수준 연구 선도

- KSTAR 실험 참여기회 확대 및 신뢰성 있는 실험 데이터 제공을 통한 국제공동 연구 장치로서의 활용성 강화(활용도 증대?)
- 국내외 핵융합 석학 및 신진연구자 유치를 통한 이론, 모델 등의 연구분야

전략 3 통합적인 국제협력 추진

과제 3-3. ITER 사업을 통한 인력양성 및 기술협력 강화

➤ ITER 협력체계를 활용한 DEMO 핵심기술 확보

- DEMO 설계에 필요한 ITER 설계, code & standard 등 관련 기술 확보
- DEMO 블랭킷 기술확보를 위한 ITER TBM 연구그룹과의 공동연구

➤ ITER 기구 발주 및 타 회원국의 조달사업 참여 확대

- ITER 기구 발주 및 타 회원국 조달사업 현황 정보 모니터링 및 관련 정리나라 산업체, 연구기관 등에 제공
- ITER 핵융합 참여 경험을 통한 학연산 네트워크 형성 및 정보 교류
 - 핵융합 관련 산업체 ITER 참여 확대로 관련 산업체 기술력 제고

➤ 핵융합 “중점기술” 및 전문인력 확보를 위한 ITER 파견 확대

- ITER 참여율을 고려한 전문인력 파견
- “중점기술” 분야: 전략적인 인력파견을 통한 전문인력 확보

전략 4 핵융합에너지 개발 추진기반 확보

과제 41. 핵융합 산업생태계 활성화

➤ 핵융합분야 산업체 기술개발 역량 강화

- KSTAR 장치 성능 개선, 핵융합로공학 핵심기술 개발 기반시설 구축 및 개발 국산화 등을 통한 핵융합 산업 생태계 활성화
- 학연산의 ITER 등 국제협력사업 공동 참여를 통한 국내 기업 기술력 제
- 핵융합 장치·부품의 품질·성능 인증제도 도입, ITER 국제 비즈니스 포럼 적극 참여 등을 통한 글로벌 시장 진출 기회 확대

➤ 핵융합 기술을 활용한 기술사업화 확대

- 플라즈마·핵융합 특허 보유자 등을 대상으로 핵융합(연) 창업지원 및 연 기업 설립 등 프로그램 활성화
- 기술이전·사업화 선순환 구조 정착을 통한 핵융합 산업 생태계 활성화

전략 4 핵융합에너지 개발 추진기반 확보

과제 42 핵융합에너지 연구개발 사회적 수용성 제고

- 대국민 소통을 통한 핵융합 이해 확산 및 사회적 수용성 제고
 - 핵융합 정보 확산 및 소통이 가능한 온·오프라인 홍보의 지속적 추진
 - 핵융합에너지개발 이해 증진을 위한 미래세대 교육프로그램의 다각도 및 활성화
- 핵융합 기술의 경제·사회적 효과 분석 수행 및 국내외 이해관계자 수용성 제고
 - 비용·편익 분석 등 경제·사회적 효과 분석을 통한 미래에너지로서의 합 연구추진 당위성 확보
 - 석탄·가스, 원자력, 신재생 에너지와의 기술 및 경제성 분석 등을 통한 합에너지 개발을 위한 투자 전략 수립
 - 핵융합에너지 연구개발 정책 수립을 위한 기초 자료로 활용하기 위해 안자에 관련 정보 지속 제공
 - 국내외 에너지 및 기술 환경에서의 핵융합에너지 리더십 확보를 위한 구 및 도출된 실행(안) 추진