

과제번호  
2021R2A1A1103806

# 핵융합에너지 개발을 위한 전략지원체계 구축 방안 연구

연구기관 : (주)에이치앤피파트너스  
연구책임자 : 김석필

2022.08.25.

과 학 기 술 정 보 통 신 부



## 안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의  
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식  
견해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 이 종 호

# 제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “ 핵융합에너지 개발을 위한 전략지원체계 구축 방안 연구 ”의  
최종보고서로 제출합니다.

2020. 08. 25.

연구기관명 : (주)에이치앤피파트너스

연구책임자 : 김석필 부사장

연 구 원 : 윤유식 선임연구원

연 구 원 : 이지아 선임연구원

연 구 원 : 구윤희 선임연구원

※ 연구기관 및 연구책임자, 연구원은 실제 연구에 참여한 기관 및 자의 명의임.

## 요 약 문

### 1. 연구개발의 목적 및 필요성

- (목적) 국내·외 핵융합에너지 정책 동향 및 유사사업의 사례조사를 통해 전략지원 싱크탱크 기능 수행을 위한 “핵융합에너지 전략지원센터”의 구축 방안을 도출
- (필요성) KSTAR와 ITER를 통해 기술적·산업적·인적 측면에서 기초단계 역량 보유하여 핵융합에너지의 개발 잠재력 확보하였으나, 상용화·산업화를 위한 실증 연구 및 인프라 구축 등 지원체계는 여전히 미흡하며, 핵융합에너지 기술과 제도·산업을 연계한 정책적 협력 체계의 미흡으로 기술과 제도간의 괴리 발생 등 제도적 지원체계에 대한 보완 전략이 필요

### 2. 연구개발의 내용 및 성과

- (환경분석) 구축방안 도출을 위해 2장에서 환경분석을 통해 정책, 기술, 산업적 측면의 현황을 조사·분석하여 핵융합에너지 전략지원센터의 설립 필요성 분석
- (사례조사) 현재 우리나라에서 운영 중인 과학분야의 정책지원센터의 현황을 비교 분석하여 핵융합에너지 전략지원센터의 설립 규모 및 주요 업무를 구성
- (구축(안) 도출) 환경분석 및 사례조사의 시사점을 통해 “핵융합에너지 전략지원센터”의 구축(안)을 도출·제시 및 운영규정 등 제안

### 3. 연구개발 결과의 활용 계획

- 국내 핵융합에너지 분야의 정책 및 전략 수립 지원을 위한 전문연구기관의 업무 범위를 설정하고, 이를 기반으로 국가 차원의 핵융합에너지 정책 수립 지원 기능을 강화
- 국가 핵융합에너지 정책 및 제도·법 수립 지원, 전략적 국제협력 등 핵융합에너지 정책의 싱크탱크 기능을 강화할 수 있을 것으로 기대



목 차

1장 연구개요 .....	1
1절 연구 배경 및 필요성 .....	3
1. 연구 배경 .....	3
2. 연구 필요성 .....	9
2절 연구목표 및 추천체계 .....	10
2장 핵융합에너지 주요분야 분석 .....	11
1절 에너지 정책 동향 .....	13
1. 탄소중립 정책 .....	13
가. 국외 .....	13
나. 국내 .....	24
2. 핵융합에너지 개발진흥기본계획 .....	31
3. 에너지 정책동향 시사점 .....	34
2절 핵융합에너지 기술동향 .....	37
1. 실증연구 .....	37
2. 실증인프라 .....	62
3. 특허 .....	79
4. 정부 연구개발 투자 .....	88
5. 안전규제 기술개발 .....	104
6. 핵융합에너지 기술동향 시사점 .....	109
3절 핵융합에너지 산업경쟁력 .....	113
1. 국외 .....	113
2. 국내 .....	119
3. 핵융합에너지 산업경쟁력 시사점 .....	129
3장 유사사례 운영현황 분석 .....	131
1절 국가생명공학정책연구센터 .....	133
2절 국가나노기술정책센터 .....	138
3절 뇌연구정책센터 .....	143

4절 융합연구정책센터 .....	147
5절 국가우주정책연구센터 .....	151
6절 유사사례 운영현황 시사점 .....	155
<b>4장 핵융합에너지 전략지원센터 구축·운영방안 .....</b>	<b>157</b>
1절 핵융합에너지 전략지원센터 신설의 필요성 .....	159
1. 법·제도 구축 .....	159
2. 핵융합에너지 실증화 대비 .....	163
3. 핵융합에너지 협업거점 확대 .....	165
4. 핵융합에너지 R&D 전략지원 .....	169
2절 센터의 설립목표 및 방향성 .....	172
3절 센터의 주관기관 선정방안 .....	175
1. 주관기관 선정 .....	175
2. 센터의 운영 전문성 및 독립성 확보 .....	176
3. 센터의 운영 주체에 따른 비교 .....	180
4절 조직 및 인력 구성방안 .....	181
1. 조직의 구성 및 주요업무 .....	181
2. 인력 규모 .....	183
3. 예산 규모 .....	186
<b>5장 기대효과 및 활용방안 .....</b>	<b>189</b>
1절 기대효과 .....	191
1. 정책적 .....	191
2. 과학기술적 .....	192
3. 경제적 .....	193
2절 활용방안 .....	194
참고문헌 .....	195
부록 .....	197



표 목 차

<표 1-1> 주요국 탄소제로 정책 .....	4
<표 1-2> 에너지간 비교 .....	5
<표 1-3> 핵융합 장벽 시나리오 .....	6
<표 1-4> 핵융합 패권 시나리오 .....	6
<표 1-5> 핵융합 스타트업 .....	8
<표 1-6> 전문가 자문위원회 명단 .....	10
<표 2-1> 교토의 정서와 파리협정 비교 .....	13
<표 2-2> 주요국 탄소 제로 정책 .....	14
<표 2-3> 주요국 2030 NDC .....	15
<표 2-4> NDC와 LEDS 차이점 .....	15
<표 2-5> 유럽 그린딜 주요 내용 .....	16
<표 2-6> 탄소 국경조정 메커니즘 주요 내용 .....	17
<표 2-7> 독일의 에너지 전환정책 목표 .....	18
<표 2-8> 프랑스 재개 .....	19
<표 2-9> 녹색산업혁명 10대 중점계획 .....	20
<표 2-10> 비화석 에너지 우선 발전전략의 주요 내용 .....	22
<표 2-11> 탄소 중립법 제23~24, 69조 .....	26
<표 2-12> 배출권거래제 기간별 운영 .....	27
<표 2-13> 핵융합에너지 개발진흥법 제1, 4조 .....	31
<표 2-14> 3차 핵융합진흥 기본계획 한계점 .....	32
<표 2-15> 파리협정 및 탄소 중립법 .....	34
<표 2-16> 1~3차 기본계획 .....	36
<표 2-17> Euratom 우선순위(2021~2025) .....	39
<표 2-18> EU DEMO 로드맵 8대 핵심과제 .....	41
<표 2-19> BA 단계별 내용 .....	49
<표 2-20> 일본 DEMO 요소기술 .....	50
<표 2-21> K-DEMO 로드맵 .....	54
<표 2-22> 핵융합 8대 핵심 실증기술 주요 내용 .....	56
<표 2-23> 핵융합 8대 핵심 실증기술 수준 .....	61
<표 2-24> 실증연구 필요 시설 .....	78
<표 2-25> 특허등록 건수 TOP 10기관 .....	81
<표 2-26> 주요국별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율 .....	82
<표 2-27> 주요국별 특허 해외출원도 .....	83
<표 2-28> 주요국별 특허 영향력 .....	84

<표 2-29> 주요국별 중요 특허비용	85
<표 2-30> 주요국별 IP4 점유율	86
<표 2-31> 주요국별 특허 청구항 수	87
<표 2-32> 국제핵융합실험로 공동개발사업 연구비(2017~2021)	89
<표 2-33> 국제핵융합실험로 수행 주체별 정부연구비 (2017~2021)	89
<표 2-34> 국제핵융합실험로 개발단계별 정부연구비 (2017~2021)	90
<표 2-35> 국제핵융합실험로 과학기술표준분류별 정부연구비 (2017~2021)	90
<표 2-36> 국제핵융합실험로 적용분야별 (2017~2021)	91
<표 2-37> 국제핵융합실험로 사업성과(2015~2019)	91
<표 2-38> 핵융합선도기술개발 지원내용	92
<표 2-39> 핵융합 선도기술개발 수행주체별 정부연구비(2021)	93
<표 2-40> 핵융합 선도기술개발 개발단계별 정부연구비(2021)	93
<표 2-41> 핵융합 선도기술개발 과학기술표준분류별 정부연구비(2021)	94
<표 2-42> 핵융합 선도기술개발 적용 분야별 정부연구비(2021)	94
<표 2-43> 핵융합기초연구 지원 내용	95
<표 2-44> 핵융합기초연구 사업 규모	95
<표 2-45> 핵융합기초연구 수행 주체별 정부연구비(2017~2021)	96
<표 2-46> 핵융합기초연구 개발단계별 정부연구비(2017~2021)	96
<표 2-47> 핵융합기초연구 과학기술표준분류별 정부연구비(2017~2021)	97
<표 2-48> 핵융합기초연구 적용분야별 정부연구비(2017~2021)	97
<표 2-49> 핵융합기초연구 사업성과(2015~2019)	98
<표 2-50> 국가핵융합연구소 지원 내용	99
<표 2-51> 국가핵융합연구소 사업 규모	100
<표 2-52> 국가핵융합연구소 수행 주체별 정부연구비(2017~2021)	101
<표 2-53> 국가핵융합연구소 개발단계별 정부연구비(2017~2021)	101
<표 2-54> 국가핵융합연구소 과학기술표준분류별 정부연구비(2017~2021)	102
<표 2-55> 국가핵융합연구소 적용 분야별 정부연구비(2017~2021)	102
<표 2-56> 국가핵융합연구소 사업성과(2015~2019)	103
<표 2-57> 핵융합 안전·인허가 세부 기술별 성과목표	107
<표 2-58> 핵융합 안전·인허가 세부 기술별 성과목표	108
<표 2-59> 실증연구 현황	110
<표 2-60> 주요국 실증 인프라	111
<표 2-61> 실증연구 필요시설	112
<표 2-62> Moore의 구분에 따른 산업생태계의 단계별 특성	114
<표 2-63> 스타트업 투자규모(2021)	116
<표 2-64> ITER 한국사업 조달업체 현황(2019.5월)	120
<표 2-65> 핵융합 학력별 전문인력 현황(2018)	128
<표 2-66> 핵융합 전공별 전문인력 현황(2018)	128
<표 2-67> 핵융합 스타트업	129

<표 2-68> 기업 수 및 매출액(2018) .....	130
<표 3-1> 생명공학육성법 제24조 .....	133
<표 3-2> 생명공학정책연구센터 인력 .....	135
<표 3-3> 최근 5개년도 국가생명공학정책연구센터 예산 .....	135
<표 3-4> 나노기술개발 촉진법 제14조 제2항 .....	138
<표 3-5> 국가나노기술정책센터 인력 .....	140
<표 3-6> 최근 5개년도 국가나노기술정책센터 예산 .....	140
<표 3-7> 뇌연구정책센터 인력 .....	143
<표 3-8> 최근 5개년도 뇌연구정책센터 예산 .....	144
<표 3-9> 융합연구정책센터 인력 .....	148
<표 3-10> 최근 5개년도 융합연구정책센터 출연금 .....	148
<표 3-11> 국가우주정책연구센터 인력 .....	152
<표 3-12> 센터의 설립근거 법령(우주개발 진흥법 제18조) .....	152
<표 3-13> 과학기술계 전략지원센터 비교 .....	154
<표 3-14> 전략지원센터 운영 방식 .....	155
<표 3-15> 과학기술계 전략지원센터 설립 근거 관련 법률 .....	156
<표 4-1> 기술연관산업 진흥 관계법의 혁신시스템 활동 대응 규정의 빈도 분포 .....	159
<표 4-2> 원자력과 핵융합에너지 개발 관련 주요 법안 비교 .....	160
<표 4-3> 기술·제도 간 공동혁신 사례: 수소충전 인프라 관련 규제 이슈 및 개혁 방향 ·	161
<표 4-4> 핵융합 산업생태계 주요 이슈 및 해결 방안 .....	162
<표 4-5> 주요 국내 대형연구시설장비구축사업 추진현황 .....	164
<표 4-6> 핵융합 상용로 추진단계와 기술시스템발전 단계 .....	167
<표 4-7> 핵융합 분야 특허 현황('08~'17, 출원 기준) .....	168
<표 4-8> 핵융합에너지 전략지원센터의 비전체계도(안) .....	174
<표 4-9> 핵융합에너지 전략지원센터 선정 평가 지표(안) .....	175
<표 4-10> 협약가능 기관(안) .....	177
<표 4-11> 핵융합에너지 전략지원센터의 독립성 확보방안 .....	178
<표 4-12> 핵융합에너지 전략지원센터의 관련 운영 규정(예시) .....	179
<표 4-13> 핵융합에너지 전략지원센터 인력규모 및 세부기능(안) .....	183
<표 4-14> 핵융합에너지 전략지원센터 예산규모(안) .....	186
<표 4-15> 핵융합에너지 전략지원센터 직접비 지출내역(안) .....	187

## 그림 목 차

[그림 1-1] 데이터 센터 및 전기차 세계 전력 소비량 .....	3
[그림 1-2] ITER .....	7
[그림 1-3] ITER 및 주요국 DEMO 로드맵 .....	8
[그림 2-1] 유럽 그린딜 .....	16
[그림 2-2] 2030 전원구성 목표 .....	21
[그림 2-3] 일본 2050년 탄소 중립에 따른 녹색성장 전략 .....	22
[그림 2-4] 탄소중립·녹색성장 기본법안 체계 .....	25
[그림 2-5] 2050 탄소 중립 추진전략 비전체계도 .....	28
[그림 2-6] 탄소 중립 10대 핵심기술 .....	29
[그림 2-7] 탄소 중립 연구개발 투자전략 비전체계도 .....	30
[그림 2-8] 제4차 핵융합에너지 개발진흥 기본계획('22~26) 비전체계도 .....	33
[그림 2-9] 핵심기술 연구개발 주요사업 연계현황 .....	36
[그림 2-10] 핵융합 상용화를 위한 주요 추진단계 .....	37
[그림 2-11] ITER 조달부품 .....	37
[그림 2-12] ITER .....	38
[그림 2-13] ITER의 운영계획 .....	38
[그림 2-14] Euratom 구성 .....	40
[그림 2-15] EU DEMO 로드맵 .....	40
[그림 2-16] EU DEMO 개념설계 로드맵 .....	42
[그림 2-17] EU DEMO 요소기술 로드맵 .....	43
[그림 2-18] EU DEMO 요소기술 개념설계 로드맵 .....	44
[그림 2-19] E-TASC의 기본구조 .....	44
[그림 2-20] 영국 DEMO 로드맵 .....	45
[그림 2-21] Culham 캠퍼스 조감도 .....	46
[그림 2-22] 영국 핵융합 재료 로드맵 .....	46
[그림 2-23] 일본 DEMO 로드맵 .....	47
[그림 2-24] 일본 DEMO 설계 로드맵 .....	48
[그림 2-25] 예비 개념설계 결과 .....	49
[그림 2-26] 일본 V-DEMO 프로그램 .....	50
[그림 2-27] 중국 DEMO 로드맵 .....	51
[그림 2-28] CFETR 공학설계 주요이슈 .....	52
[그림 2-29] CFETR 재료 로드맵 .....	52
[그림 2-30] 중국 삼중수소 연구사업 추진계획 .....	53
[그림 2-31] K-DEMO 상세기술 로드맵 .....	55

[그림 2-32] 연구 분야별 연계도 .....	57
[그림 2-33] 핵융합로 공학연구 로드맵 .....	58
[그림 2-34] V-DEMO 로드맵 .....	60
[그림 2-35] V-DEMO 연구현황 .....	60
[그림 2-36] JET .....	62
[그림 2-37] JET 추진일정 .....	62
[그림 2-38] DONES 레이아웃 .....	63
[그림 2-39] DONES 마일스톤 .....	63
[그림 2-40] DONES 조감도 .....	64
[그림 2-41] IFMIF-DONES 추진현황 .....	64
[그림 2-42] DTT .....	65
[그림 2-43] DTT 추진일정 .....	65
[그림 2-44] DTT 건설부지 .....	66
[그림 2-45] H3AT .....	68
[그림 2-46] 로봇틱스 개발 .....	68
[그림 2-47] JT-60SA 역할 .....	69
[그림 2-48] JT-60SA 추진일정 .....	69
[그림 2-49] IFMIF와 LIPAc 구조 비교 .....	70
[그림 2-50] 리튬 테스트 루프(LIFUS6) 구조 .....	70
[그림 2-51] IFERC 주요 R&D 활동 .....	71
[그림 2-52] REC 네트워크 구조도 .....	72
[그림 2-53] A-FNS 설계(안) .....	72
[그림 2-54] A-FNS 추진일정 .....	73
[그림 2-55] A-FNS 조감도 .....	73
[그림 2-56] CFETR 조감도 .....	74
[그림 2-57] CFETR 통합공학 설계 .....	74
[그림 2-58] CRAFT 시설구성 .....	75
[그림 2-59] CRAFT 조감도 .....	75
[그림 2-60] HINEG 개발단계 .....	76
[그림 2-61] 연도별 출원 동향 .....	79
[그림 2-62] 주요국별 특허 동향 .....	80
[그림 2-63] 주요국별 특허 해외출원도 .....	83
[그림 2-64] 주요국별 특허 영향력 .....	84
[그림 2-65] 주요국별 중요 특허비율 .....	85
[그림 2-66] 주요국별 IP4 점유율 .....	86
[그림 2-67] 주요국별 특허 청구항 수 .....	87
[그림 2-68] 핵융합에너지 R&D 투자 동향(2017~2021) .....	88
[그림 2-69] 평가방법론 .....	104
[그림 2-70] 단계별 인허가 기술요건 .....	105

[그림 2-71] 핵융합 실증로 종합 안정성 평가 및 인허가 요건 개발 로드맵	106
[그림 2-72] ITER 및 주요국 DEMO 로드맵	109
[그림 2-73] 국내 DEMO 로드맵	110
[그림 2-74] 누적 스타트업 기업 수(2018년까지)	115
[그림 2-75] 누적 투자 금액(2002~2018)	115
[그림 2-76] 핵융합 스타트업 기업분류	116
[그림 2-77] General Fusion의 기술개발 로드맵	117
[그림 2-78] TAE의 기술개발 로드맵	117
[그림 2-79] CFS의 기술개발 로드맵	118
[그림 2-80] Lockheed Martin의 기술개발 로드맵	118
[그림 2-81] ITER의 연관산업	119
[그림 2-82] ITER 사업참여 전후 산업체의 기술 수준 변화	121
[그림 2-83] ITER 사업참여로 인한 조달품목 제작 단축 효과	121
[그림 2-84] 핵융합 세부분야별 기업 수	122
[그림 2-85] 핵융합 표준산업분류별 기업 수(2018)	122
[그림 2-86] 핵융합 규모별 기업 수(2018)	123
[그림 2-87] 핵융합 산업활동 금액	123
[그림 2-88] 핵융합 연도별 매출액	124
[그림 2-89] 핵융합 세부분야별 매출액(2018)	124
[그림 2-90] 핵융합 표준산업분류별 매출액(2018)	125
[그림 2-91] 핵융합 세부분야별 수출현황	125
[그림 2-92] 핵융합 국내업체 점유율(2018)	126
[그림 2-93] 핵융합 기관별 전문인력 현황	127
[그림 3-1] 생명공학정책연구센터 조직도	134
[그림 3-2] 생명공학정책연구센터 주요 임무	136
[그림 3-3] 생명공학정책연구센터 협업체계	137
[그림 3-4] 국가나노기술정책센터 조직도	139
[그림 3-5] 국가나노기술정책센터의 주요 임무	141
[그림 3-6] 국가나노기술정책센터 협업체계	142
[그림 3-7] 한국뇌연구원 조직도	144
[그림 3-8] 뇌연구정책센터 주요 임무	145
[그림 3-9] 뇌연구정책센터 협업체계	146
[그림 3-10] 융합연구정책센터 조직도	148
[그림 3-11] 융합연구정책센터의 주요 임무	149
[그림 3-12] 융합연구정책센터 협업체계	150
[그림 3-13] 국가우주정책연구센터 조직도	151
[그림 3-14] 국가우주정책센터 협업체계	153

[그림 4-1] 핵융합에너지 분야의 발전을 위한 기술과 제도 간 공동혁신 구축 .....	161
[그림 4-2] 대형연구시설장비구축사업의 특징 .....	163
[그림 4-3] 핵융합 과급기술과 관련 산업 .....	169
[그림 4-4] 미국 원자력 공학부생 증감 추이와 연방정부 예산지원 관계 .....	170
[그림 4-5] 경희대학교 교육용 원자로 AGN-201K .....	171
[그림 4-6] 핵융합에너지 전략지원센터의 주요임무 .....	173
[그림 4-7] 핵융합에너지 전략지원센터 조직도 및 세부기능 중 위탁협업 가능분야 .....	176
[그림 4-8] 핵융합에너지 전략지원센터 조직도 및 세부기능(안) .....	181
[그림 5-1] 핵융합에너지 전략지원센터 활용방안 .....	194







핵융합에너지 개발을 위한 전략지원체계 구축 방안 연구

# 1 장

## 연구개요

1절 연구 배경 및 필요성

2절 연구의 목적 및 추진체계







## 1절 연구 배경 및 필요성

### 1 연구 배경

**(에너지원 전환) 첨단기술의 확산으로 인한 전력 소비량의 증가와 강화되는 탄소제로 정책은 기존 화석·원자력·재생에너지원의 전환 수요를 촉발**

- (전력 소비 증가) 4차 산업혁명을 통한 첨단기술의 확산 및 사회 전방위적인 초연결·초지능화로 전력 소비량 급증
  - ※ '50년 세계 전력 소비량은 '20년 대비 약 50% 증가가 예상되며 세계 GDP 연평균 성장률, 유가에 따라 약 80%까지 증가될 전망
- (신기술과 전력 소비) 지능정보 기술의 기반인 데이터 센터, 전기차로 대표되는 내연 기관의 전동화 등 4차 산업혁명 기술 확산은 전력 소비량 증가에 직접적 영향
  - ※ (데이터 센터) 세계 데이터 센터 전력 소비량은 IoT 디바이스 증가 등의 요인을 고려했을 때 '16년 286TWh에서 '30년 364TWh까지 27% 증가할 전망
  - ※ (전기차) 전기차는 향후 세계 전기 수요의 9%를 차지할 것으로 전망되며 전력 소비량은 '20년 82TWh에서 '30년 454TWh로 5.5배 증가 예상

(단위: TWh)

데이터 센터	전기차(승용차/상용차/이륜·삼륜/버스)
	

자료: M.Koot 외(2021). Usage Impact on Data Center Electricity Needs: A System Dynamic Forecasting Model; 전자신문(2021). 폭발하는 전기차 전력 수요...“2030년 세계 수송부문 5.4배 증가”

[그림 1-1] 데이터 센터 및 전기차 세계 전력 소비량

- (탄소제로 정책) 기후변화 대응이 중요시됨에 따라 탄소제로 사회로의 전환 노력 및 저탄소화의 제도적 기반이 강화됨
  - 주요국들은 '50년까지 탄소 배출량을 기존보다 80~95% 줄이는 저탄소 정책을 적극적으로 추진

<표 1-3> 주요국 탄소제로 정책

국가	'50년 탄소 감축목표	주요 내용
영국	80% 감축 ('90년 대비)	- 녹색성장을 위한 녹색투자기금 활성화 - 에너지부문 생산성 및 효율성 강화, 자연자원 가치 증대 - 공공부문 및 정부의 주도적 참여
독일	80~95% 감축 ('90년 대비)	- 에너지 효율 및 재생에너지 확대 - R&D 등을 강조한 부문별 이행전략 제시 - 생태세계 개혁, 교육 및 정보 공유 확대
프랑스	75% 감축 ('90년 대비)	- 대체에너지원 활용 - 순환경제로의 전환 - 탄소저감 기술 교육과 R&D 투자 확대
미국	80% 감축 ('05년 대비)	- 에너지 부문 탈탄소화 - 산림 부문에 의한 흡수원 증대 - Non-CO2 배출 저감
일본	80% 감축	- 수소에너지 활용 - 에너지 효율성 향상 - 탄소자원 기술활용

자료: 딜로이트(2021). 2021년과 그 이후를 지배할 메가트렌드

- (기존에너지\*원의 한계) 화석·원자력·재생에너지 등 현재 가용 에너지원은 각각 매장량 고갈, 환경오염·안전사고, 발전량 변동성 등 위험요인을 가짐
  - (매장량 고갈) 석유는 40년, 천연가스 60년, 석탄 230년, 우라늄은 65년만에 매장량이 고갈될 전망
  - (환경오염·안전사고) 화석연료는 이산화탄소 및 유해물질 배출로 환경오염 우려가 크고, 원자력은 방사능 누출 및 폭발 등 안전사고 위험성이 상존
- ※ (환경오염) '20년 에너지원별 CO2 배출량은 석탄 992g/kwh, 석유 782g/kwh, LNG 549g/kwh, 태양광 54g/kwh, 원자력 10g/kwh로 화석에너지가 가장 높음
- ※ (안전사고) '11년 발생한 후쿠시마 원전 사고로 이재민 손해배상, 오염지역 제염, 폐로 작업에 10년간 138조 원이 이미 투입되었고, 최소 85조 원이 추가로 투입될 예정<sup>1)</sup>
- (발전량 변동성) 대표적 재생에너지인 태양광·풍력·수력은 자연력·기후 의존성으로 인한 높은 변동성으로 기저 전력으로서의 활용성에 한계를 가짐
  - ※ 독일은 '21년 1월 9일 햇빛·바람 모두 없는 '둥켈플라우테(Dunkelflaute)'로 풍력은 설치 용량 61GW의 3%인 185만kW, 태양광은 설치용량 51GW의 6%인 323만kW만 운영되어 수요의 8%만 공급되는 사태 발생<sup>2)</sup>

1) 연합뉴스(2021). 日, 후쿠시마 원전 사고 처리에 지금까지 138조 원 투입

- **(핵융합으로의 에너지원 전환)** 에너지 소비 증가, 탄소제로 정책 등 수요변화 대응을 위해서는 청정에너지의 안정적 공급이 가능한 핵융합으로 전환 필수
- **(무한한 에너지)** 핵융합에너지 자원인 중수소와 삼중수소는 각각 바닷물 및 리튬\*으로부터 생산되어 사실상 무한한 연료를 이미 확보
  - ※ 전 세계 리튬의 매장량은 약 4천만 톤이며, 핵융합 발전의 상용화 시점에서는 해수 및 해저에서 추출 가능할 것으로 예측
  - **(청정·안전에너지)** 이산화탄소 및 고준위 방사성 폐기물을 배출하지 않는, 환경오염이 적은 청정에너지이며, 폭발 등 사고로부터 안전
  - **(안정적 공급)** 변동적인 자연력에 의존하지 않기 때문에 안정적인 공급이 가능하며, 태양광·수력·풍력과 달리 기저 전력원으로 활용 가능

&lt;표 1-4&gt; 에너지간 비교

에너지	화석			원자력	신재생	핵융합
자원	석탄	석유	천연가스	우라늄	태양광· 풍력·수력·	중수소· 삼중수소
매장량고 갈가능성	높음 (230년)	높음 (40년)	높음 (60년)	높음 (재처리 없을 경우 65년)	없음	없음 (바닷물로 연료얻음)
환경오염 성	높음 (온실가스)	높음 (온실가스)	높음 (온실가스)	높음 (고준위방사성 폐기물)	낮음 (온실가스 낮 음, 방사성 없음)	낮음 (CO <sub>2</sub> ·고준 위방사성 없음)
사고위험 성	높음 (화재, 폭발)	높음 (화재, 폭발)	높음 (화재, 폭발)	높음 (화재, 폭발, 방사능누출)	낮음	낮음
공급안전 성	안정적	안정적	안정적	안정적	변동적	안정적

2) 중앙선데이(2021). 발전량 들쭉날쭉한 풍력·태양광 에너지...물 분해로 수소 만들어 전기차에 활용

**(핵융합에너지 패권경쟁) 핵융합 발전기술을 먼저 보유한 국가들은 에너지 패권을 차지, 기술에 대한 진입장벽으로 후발주자들은 의존국 탈피 불가**

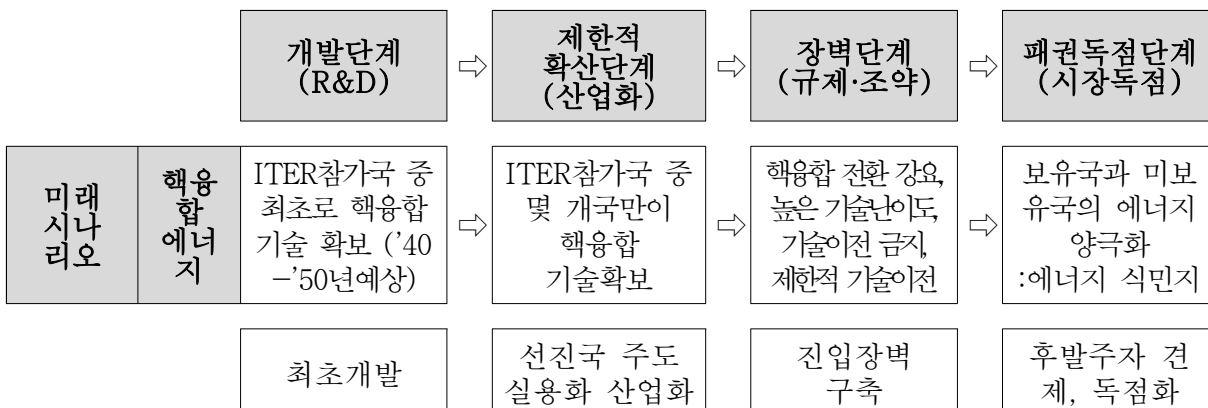
- (핵융합 패권 시나리오) 핵융합 강제전환, 높은 난이도, 기술이전 금지·제한 등 장벽단계를 거쳐 발전기술 보유국이 패권국이 되며, 미보유국은 종속 지속
  - (개발·제한확산) '40~'50년에 ITER 참가국 중에서 핵융합 전력 생산기술을 최초로 확보한 뒤 차례로 몇 개국 정도가 기술을 확보
  - (장벽단계) 핵융합으로의 강제적 에너지원 전환, 높은 시간·비용·기술적 난이도, 타국에게 기술이전 금지, 제한적인 기술이전 등 진입장벽이 발생

<표 1-5> 핵융합 장벽 시나리오

구분		상세내용
청정에너지로의 전환 강요		- (탄소제로 정책) 전세계적으로 청정에너지를 강요하고 있으며, 변동적으로 공급되는 자연력의 기저에너지로 핵융합 외에는 대체에너지원이 없음
↓		
기술적 진입 장벽	높은 시간·비용·기술난이도	- 후발주자들이 독자·협력하기에는 시간·비용·기술 난이도 매우 높음 * 대형연구로(실증로·발전소 전단계)인 ITER 건설·운영·감쇄에 35년이 소요되며, 건설비용에만(조달부품 R&D 외) 15.2조 원을 투입
정책적 진입 장벽	기술이전 금지	- 전력생산 기술을 획득한 국가는 자체적으로 타국에게 기술이전을 금지 * (캐나다·호주 ITER 참가 제한) 셰일가스로 처음에 참가의지가 없었지만, 뒤늦게 의사를 밝히자 ITER 참가국들이 제한 중
	기술이전 제한	- 타국에게 기술을 받음에도 제한적으로만 기술을 이전 * (한미원자력협정) 미국에게 기술을 이전받아 원자력 발전국가가 되었지만, 우라늄 농축 등 기술사용·활용·수출 등에 제한

- (패권단계) 핵융합 패권을 확보한 몇 개국은 타국의 에너지가 본국에게 의존하도록 만들고, 후발주자들은 높은 진입장벽으로 뒤늦은 에너지 자립 불가

<표 1-6> 핵융합 패권 시나리오



**(연구개발 기술경쟁 심화) 주요국은 에너지 패권국이 되기 위해 ITER(대형 연구로) 일정에 따라 DEMO(실증로) 공백기술 개발에 박차**

- (ITER) 세계 7개국이 참가하는 대형 연구로 프로젝트로 '25년 건설을 완료하여 '37년까지 운영할 계획
  - 중국, EU, 인도, 일본, 러시아, 미국, 한국 7개국이 참가하며, '35년부터 '37년까지 자원인 중수소와 삼중수소를 반응시켜 전력을 생산하는 실험을 진행



자료: 한국핵융합에너지연구원 내부자료

[그림 1-4] ITER

- (실증기술 확보경쟁 심화) ITER(대형 연구로) 일정에 따라 주요국은 다음 단계인 DEMO(실증로) 가동을 위해 현재 공백영역인 실증기술 개발에 박차
  - (EU) ITER가 건설되고 있는 국가로 '38년 DEMO 건설에 착수하여 '51년 이후 전력을 상용화하기 위해 11개 실증기술 개발 중
    - ※ ① TBM, ② 증식블랭킷, ③ BoP, ④ 진단 및 제어, ⑤ 디버터, ⑥ H&CD, ⑦ 자석, ⑧ 재료, ⑨ 원격제어, ⑩ 안전성, ⑪ 삼중수소
  - (일본) '35년 실험결과를 반영하여 늦어도 '30년대 말까지 DEMO 건설에 착수, '50년대 전력을 상용화할 계획으로, 14개 실증기술 개발 중
    - ※ ① 초전도 자석, ② 블랭킷, ③ 디버터, ④ 가열 및 전류구동 시스템, ⑤ 안전성, ⑥ 이론 및 시뮬레이션, ⑦ 중심 플라즈마, ⑧ 연료시스템, ⑨ 장시간 운전, ⑩ 핵융합 물질 및 표준·코드, ⑪ 진단 및 제어, ⑫ 사회연계 활동, ⑬ 헬리컬, ⑭ 레이저
  - (중국) '30년대 중국형 DEMO(CFETR) 가동을 시작하여 '40년대 전력을 상용화할 계획으로, 8개 실증기술을 개발 중
    - ※ ① 레이아웃 설계·시스템 통합, ② 초전도자석·극저온, ③ 진공 용기·시스템, ④ 용기내 장치, ⑤ 표준화·설계 관리, ⑥ 가열·전류 구동 시스템, ⑦ 진단·CODAC, ⑧ 원격 유지보수 시스템

- (영국) '40년대 초 세계 최초로 핵융합 발전소(STEP)를 완공하기 위해 핵융합 발전 기반기술 개발과 연구 인프라 구축을 가속화
- ※ '24년까지 STEP 개념설계에 약 3,600억 원을 투자할 예정이며, 약 30만 평 규모의 부지공모도 완료하여 최종적으로 15개 지역이 공모에 참여



[그림 1-6] ITER 및 주요국 DEMO 로드맵

- (민간) 국외 핵융합 스타트업 기업들은 '30년대 전력을 상용화하기 위해 투자가 활발하고, '25년 세계 최초로 소형 실증로를 가동하는 등 공격적으로 개발 중
- ※ 현재 약 30개 핵융합 스타트업에 약 2.4조 원이 투자되었으며, 특히 General Fusion은 영국에 '22년 소형 실증로(상용로의 70% 규모) 건설에 착수하여 '25년 세계 최초로 가동할 계획

<표 1-7> 핵융합 스타트업

기업명	국가	투자규모	내용
General Fusion	캐나다	192백만 달러	- '25년 세계 최초로 소형 실증로(상용로의 70% 규모) 가동을 목표로, 영국 Culham 캠퍼스에 '22년 건설 착수
Commonwealth Fusion Systems	미국	215백만 달러	- 고온초전도체 활용 토카막 장치 SPARC 제작(~'25) - 핵융합에너지 순증(Q>1) 최초 검증 목표
Tokamak Energy	영국	167백만 달러	- 고온초전도체 기술 및 “구형(Spherical) 토카막” 기술 확보를 통한 연구장치 제작·업그레이드 추진



## 2 연구 필요성

- KSTAR와 ITER를 통해 기술적·산업적·인적 측면에서 기초단계 역량 보유하여 핵융합에너지의 개발 잠재력 확보
- (기술적 기반) KSTAR 실험을 통해 초고온·고성능 플라즈마 운전 등 핵심 기술 확보 및 ITER 장치·품목의 성공적 제작·조달
  - ※ KSTAR 1억도 초고온 플라즈마 세계최초 30초 운전 성공('21.11)
  - ※ ITER 진공용기 최초 섹터 제작·조달에 성공('20.8)
- (산업적 기반) ITER 건설 관련 국내 산업체의 해외수주 증가, 핵융합·플라즈마 산업체 협력 및 관련 기술이전 확대
  - ※ ITER 및 타 회원국으로부터 6,744억 원의 연구·서비스용역, 물품 제작 수주(2007~2021.8)
  - ※ 핵융합(연) 기술이전 계약 증가: (2017) 7건, 4.03억원 → (2020) 10건, 9.57억원
- (인적 기반) ITER 기구 한국인 근무자 ITER 회원국 중 4위 규모로 증가, 핵융합 신진인력도 꾸준히 양성 중
  - ※ ITER 한국인 근무자: (2017.1월) 31명 → (2021.8월) 54명
  - ※ 국내 대학 거점센터 6개 지원, 석·박사 인력 148명 배출(2017~2020)
- 그러나, 상용화·산업화를 위한 실증 연구 및 인프라 구축 등 지원체계는 여전히 미흡
- (실증연구 지연) DEMO 공백기술 개발이 시급하나, 실증시설 부족으로 인해 실증연구가 미진하게 진행 중
- (실증기술 확보 필요) 패권 경쟁 대비 및 실증연구 돌입을 위한 실증시설 구축의 정책적 지원 절실
- 핵융합에너지 기술과 제도·산업을 연계한 정책적 협력 체계의 미흡으로 기술과 제도간의 괴리 발생 등 제도적 지원체계에 대한 보완 전략이 필요
- (제도적 공백) 핵융합에너지 개발진흥법은 초기 기술개발 단계 지원에 불과하며, 핵융합 발전의 안전법 등 주요 관계법은 전무
- (산업지원체계 미흡) 국내 핵융합 산업은 부품 제작의 단계에 머물고 있어, 핵융합 발전 시스템기업 육성 체계 구축 필요
- (협업체계 미흡) 국가 단위 연구시설의 설치를 위한 협력 체계의 미흡으로 대단위 실증시설 구축 차질 우려

## 2절 연구목적 및 추진체계

- (목적) 국내·외 핵융합에너지 정책 동향 및 유사사업의 사례조사를 통해 전략지원 싱크탱크 기능 수행을 위한 “핵융합에너지 전략지원센터”의 구축 방안을 도출
  - (환경분석) 구축방안 도출을 위해 2장에서 환경분석을 통해 정책, 기술, 산업적 측면의 현황을 조사·분석
  - (사례조사) 현재 우리나라에서 운영 중인 과학분야의 정책지원센터의 현황을 비교 분석
  - (구축(안) 도출) 환경분석 및 사례조사의 시사점을 통해 “핵융합에너지 전략지원센터의 구축(안)을 도출·제시
  
- (연구의 추진 체계) 동 연구는 3개 파트로 구분하여 연구를 수행하며, 도출된 연구결과를 자문위원단을 통해 의견을 수렴하여 객관성을 확보
  - 회의 개최를 통해 연구 진행상황과 결과에 대한 폭넓은 의견 수렴
  - 또한, 과기정통부 과제담당관과 유기적으로 의견교환 및 과제 진행 상황을 공유하여, 현실성 있는 센터 설치(안)을 도출함

<표 1-8> 전문가 자문위원회 명단

번호	성명	소속	직위	분류
1	정현경	한국핵융합에너지연구원(KFE)	부장	연구계
2	배치혜	한국에너지기술연구원(KIER)	선임연구원	연구계
3	박찬국	에너지경제연구원(KEEI)	팀장	연구계
4	심정민	한국과학기술기획평가원(KISTEP)	센터장	연구계
5	나용수	서울대학교 원자핵공학과	교수	학계
6	김영철	한국과학기술원(KAIST) 원자력 및 양자공학과	부교수	학계



핵융합에너지 개발을 위한 전략지원체계 구축 방안 연구

# 2 장

## 핵융합에너지 주요 분야 분석

- 1절 에너지 정책 동향
- 2절 핵융합에너지기술 동향
- 3절 핵융합에너지 산업경쟁력





## 1절 에너지 정책 동향

## 1 탄소중립 정책

## 가. 국외

- (파리협정) 2020년 만료된 교토의 정서를 대체하고 기후위기에 대응하고자 2015년 파리기후협정을 체결하여 신기후체제 출범
- (배경) 1997년 채택된 교토의 정서를 대체·보완하기 위해 2015년 기후협약 내 파리협정을 체결하여 기후위기에 대응한 신기후체제 출범
  - (교토의 정서) 참여국이 주로 선진국(38개국)에 한정되고 주요 온실가스 배출국인 미국이 비준하지 않았으며 일본·캐나다·러시아 등이 제2차 공약 기간에 불참
  - (파리협정) 선진국과 개발도상국을 포괄하는 참여국(195개국)과 각 국가가 자발적인 감축 목표를 설정

&lt;표 2-1&gt; 교토의 정서와 파리협정 비교

구분	교토의 정서	파리협정
목표	온실가스 배출량 감축	산업화 이전 대비 지구 평균 기온 2°C 이하 유지 목표
범위	주로 온실가스 감축에 초점	온실가스 감축만이 아니라 적응, 재원, 기술이전, 역량배양, 투명성 등을 포괄
감축 의무국가	주로 선진국	모든 당사국
목표설정 방식	하향식	상향식
목표 불이행에 따른 징벌 여부	징벌적	비 징벌적
목표설정 기준	특별한 언급 없음	진전원칙
지속가능성	공약 기간에 종료 시점이 있어 지속가능한지 의문	종료 시점을 규정하지 않아 지속 가능한 대응 가능
행위자	국가 중심	다양한 행위자의 참여 독려

자료: 환경부(2016). 파리협정 길라잡이

- **(내용)** 지구 평균 기온 상승을 산업화 이전 대비 2°C보다 낮은 수준으로 유지하기 위해 국가마다 자발적 방법을 제시하고 비당사국 이해관계자의 참여를 독려
  - (방법론) 각 국가 스스로 감축 방안(NDC)을 설정하는 상향식 접근법
  - (감축 방법) 선진국들의 에너지 정책은 공통으로 ① 재생에너지 확대, ② 에너지 효율 향상, ③ 천연가스 비중 확대 추세
  - (참여 독려) 다국적 기업, 민간 부문, 시민단체의 중요성이 커짐에 따라 비당사국 이해관계자 등 다양한 행위자의 참여 독려
  - (원칙) 징벌성 감축을 배제하면서 종료 시점을 규정하지 않아 지속가능성을 담보하며 진전하는 원칙
  
- **(LEDS)** 파리협정에 근거하여 모든 당사국은 2050년 장기저탄소 발전전략(LEDS)을 제시하고 목표달성을 위한 실행전략을 수립
  - (감축 목표) 개발도상국부터 선진국까지 50%~95%의 2050년 감축 목표 제시
  - 에너지 전환 및 저 탄소 사회로의 전환과 같은 대전환 관점에서 접근
  - ※ 에너지 효율성 향상으로 온실가스 배출량을 감축하고, 화석 에너지원에서 청정에너지원으로 전환하여 산업부문의 최종에너지 소비를 화석에너지에서 탈피하도록 하는 방안이 포함
  - (에너지 전환) 각국은 장기적인 관점에서 생산 공정의 자원순환 체계를 구축해 자원의 효율성 향상과 에너지 전환을 뒷받침할 계획

<표 2-2> 주요국 탄소 제로 정책

국가	'50년 탄소 감축 목표	주요 내용
영국	80% 감축 ('90년 대비)	- 녹색성장을 위한 녹색 투자기금 활성화 - 에너지 부문 생산성 및 효율성 강화, 자연자원 가치 증대 - 공공부문 및 정부의 주도적 참여
독일	80~95% 감축 ('90년 대비)	- 에너지 효율 및 재생에너지 확대 - R&D 등을 강조한 부문별 이행전략 제시 - 생태세계 개혁, 교육 및 정보공유 확대
미국	80% 감축 ('05년 대비)	- 에너지 부문 탈 탄소화 - 산림 부문에 의한 흡수원 증대 - Non-CO <sub>2</sub> 배출 저감
일본	80% 감축	- 수소에너지 활용 - 에너지 효율성 향상 - 탄소자원 기술활용

자료: 딜로이트(2021). 2021년과 그 이후를 지배할 메가트렌드

- (NDC) 국가 결정기여 온실가스 감축 목표(NDC)란 탄소 중립 중간목표로서, 회원국이 온실가스 배출에 대한 책임·역량을 고려하여 유엔기후변화협약에 제출하는 온실가스 감축 계획
  - (NDC) 5년 단위의 목표설정으로서, LEADS에 비해 구체적으로 목표를 설정

&lt;표 2-3&gt; 주요국 2030 NDC

국가	2030 NDC
EU	'90년 대비 최소 55% 감축
영국	'90년 대비 68% 감축
미국	'05년 대비 50~52% 감축
캐나다	'05년 대비 40~45% 감축
일본	'13년 대비 46% 감축
우리나라	'18년 대비 40% 감축

자료: 관계부처합동(2021). 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향(안)

&lt;표 2-4&gt; NDC와 LEADS 차이점

구분	NDC	LEADS
목표설정	당사국 의무	수립 권고
제출의무	갱신 의무	권고
내용	목표설정 중요 정부 주도의 접근 기술, 경제 기준으로 접근	국제공표, 책임 있는 이행 상·하향식(사회적 공론화+정부) 장기 국가전략 제시

자료: 에너지경제연구원(2020). 2050 장기저탄소발전전략(LEADS)의 논의과정과 특징

- (유엔기후변화협약 당사국총회) 2021.8 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP 26)에서 글래스고 기후조약 채택
- (기후조약) COP 26 합의문 최초로, 석탄발전의 단계적 감축 및 비효율적인 화석연료 보조금 단계적 중단 노력 가속화 명시
- (주요 내용) 지구 온도상승 폭 1.5도 이내로 제한 목표 유지 및 기후기금 2배 인상 등에 합의

□ (EU) 유럽 그린딜을 바탕으로 유럽 기후법과 탄소 국경조정 등을 통해 2050년까지 기후 중립 달성 노력

○ (유럽 그린딜) UN 2030 지속가능 발전 목표와 파리협정에 근거하여 2050년까지 기후 중립을 달성하기 위한 사회 전방위적 로드맵

※ 기후 중립: 탄소 중립과 유사하나, 이산화탄소를 포함한 모든 온실가스의 순 배출이 0인 상태

- 청정에너지의 공급, 청정·순환경제를 위한 산업재편 등 경제를 친환경적으로 바꾸기 위한 전환 자금을 마련하고, 공정을 전환하는 것이 주요 내용



자료: 매거진환경(2021). '환경 레짐' 주도권 쟁 EU...국제 통상 질서 새 판 짜다

[그림 2-1] 유럽 그린딜

- (온실가스·에너지) 탄소세 등을 통한 온실가스 배출 감소와 재생에너지를 중심으로 한 청정에너지 공급을 추진
- (산업·건물·교통) 기후 중립적·경제 순환적 상품개발, 건물 리모델링, 수송 수단의 다변화를 통해 기후 중립을 실현
- (식품·생태계·오염) 지속가능한 식품 소비, 생물 다양성 회복, 유해물질 없는 환경 조성 간의 연계를 추진

<표 2-5> 유럽 그린딜 주요 내용

분야	내용
온실가스	2050년 기후 중립 달성 및 2030년 온실가스 배출 저감 목표 강화
에너지	청정에너지, 적정 가격에 안정적으로 공급
산업	청정·순환경제로의 산업 전환
건물	에너지 효율적인 건물의 건축 및 리모델링
교통	지속가능하고 스마트한 교통체계 구축
식품	농장에서 식탁까지 공정하고 건강하고 친환경적인 식품체계 구축
생태계	생태계와 생물 다양성 보호
오염	유해물질과 오염 없는 환경 조성

자료: 에너지경제연구원(2020). 유럽 그린딜의 동향과 시사점



- **(유럽 기후법)** 파리협정 목표달성에 기여하고자 유럽 기후법(안) 제정 및 승인
  - (목적) 기후 중립 목표를 법제화하고 달성을 위한 제도확립 방안을 제시
  - (근거) 기후변화에 관한 정부 간 협의체 특별보고서와 생물 다양성 과학기구의 2019 평가보고서에 근거
  - (내용) 2050년 기후 중립 목표를 법제화하고, 2030년 온실가스 배출 저감 목표의 상향조정 방안을 제시
- **(탄소 국경조정)** 엄격한 환경규제를 받는 기업과 그렇지 않은 기업 사이의 공정한 경쟁을 위해 탄소 관세, 배출권거래제를 포함한 탄소 국경조정 메커니즘을 2026년까지 전면도입
  - (탄소 관세) 국산품에 부과된 탄소세를 수입품에도 부과하거나 국산품 수출 시 탄소세를 환급하는 제도를 도입할 예정
  - (배출권거래제) 국산품에 배출권거래제가 적용된 경우 수입품도 같은 배출권을 의무적으로 제출하는 제도를 도입할 예정

&lt;표 2-6&gt; 탄소 국경조정 메커니즘 주요 내용

항목	내용
적용 대상	- 최초 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 전기 등의 수입에 적용 - 적용 대상 수입품과 면제 국가 등은 부속서를 통해 따로 제시
도입 시기	- 2023년부터 일부 조항 도입, 전환 기간 설정
온실가스 측정	- 구체적인 방법론은 부속서에 제시, 직접, 간접 배출량 모두 포함
적용 방법	- 적용 품목 수입업자는 사전에 인증서 구매 - 해당 인증서 가격은 EU ETS 주간 평균 가격에 근거해 책정 - 대상 수입품이 원산지에서 온실가스 배출권 가격을 지불한 경우 감면 요청 가능 - 관련 업무 수행하는 전담 기구 설치

자료: 머니투데이(2021). EU 탄소 국경세 도입 현실화...국내기업 영향도 상당할 듯

## □ (독일) 기후 보호 계획 2050을 수립하고 탈원전 탈석탄, 재생에너지 확대를 주요 내용으로 하는 에너지 전환 정책을 추진 중

- **(에너지 전환 정책)** 원자력 및 화력 발전을 대체하여 재생에너지를 확대하고 새로운 비즈니스 모델을 창출하고자 함

- (탈원전·탈석탄) 2019년에 2022년까지 모든 원전을 폐쇄할 계획임을 발표했으며, 석탄위원회는 2038년까지 석탄화력발전소 완전 폐쇄를 권고

※ 재생에너지/석탄화력발전 비중(%): (2010) 19 / 43 → (2017) 35 / 39

- (재생에너지 확대) '21.12월 출범한 독일 새 정부는 2030년까지 재생에너지 목표를 80%까지 높이고 2030년까지 석탄발전 폐쇄 계획 제시
- (새로운 비즈니스 모델 창출) 전원믹스 전환을 넘어 수송 등을 포함한 통합적 에너지 전환과 디지털화를 통한 새로운 비즈니스 모델 창출도 적극 추진

<표 2-7> 독일의 에너지 전환정책 목표

(단위: %)

구분	온실가스 배출	재생에너지 비중		1차 에너지 소비	원자력
		최종에너지	발전량		
기준년도	1990년	-	-	2008년	2010년
2022	△ 40%	10%	35%	△ 20%	-
2022	-	-	-	-	△ 100%
2030	△ 55%	30%	65%	-	-
2050	△ 80 - △ 95%	60%	80%	△ 50%	-

자료: 산업통상자원부(2019). 제3차 에너지기본계획

- **(기후 보호 계획 2050)** 장기적인 기후 보호 전략 실행에 있어 에너지·교통·산업·농업·토지 분야에서의 기본방침 및 방향성을 제시
  - (에너지) 효율적인 에너지 이용과 신재생에너지를 주 에너지원으로 활용
  - (교통) 자동차, 항공 등 모든 분야에서 바이오 연료 활용 및 탈탄소화 추진
  - (산업) 효율화·스마트화와 함께 CO<sub>2</sub> 중립 연료 대체 및 폐기물의 이용을 확대
  - (농업 및 토지) 농업의 잉여 질소를 감소하고 바이오 경제 정책과 연계
- **(프랑스) 에너지기후법과 프랑스 재개를 바탕으로 원전 발전 비중을 줄이고 재생에너지 확대를 추진하며, 에너지 효율화도 함께 추진**
- **(정책 기조)** 탄소 중립을 위한 추진전략으로 경제 패러다임의 전환, 연구혁신 이니셔티브 강화, 저탄소 문화를 형성하고 함
  - (경제 패러다임 전환) 생태 친화·포용적 경제로의 전환을 위해 2019~2023년 연간 150~180억 유로, 2024~2028년 320~410억 유로의 투자를 계획
  - (연구혁신 이니셔티브 강화) 저탄소 기술을 보급하는 기초·응용연구를 강화하고, 연구전용 공공기금도 마련
  - (저탄소 문화 형성) 시민 참여를 확대, 기업에 장기전략 탄소전환계획 수립을 권장하고 탄소전환에 대한 인식제고

- **(에너지 기후법)** 저 탄소 사회 및 탄소 중립 목표를 법제화한 에너지 기후법 제정
  - 2050 탄소 중립에 따라 온실가스 배출량을 1990년의 1/4로 감축
  - 2035년까지 원자력 비율을 현재 70%에서 50%로 감축
- **(프랑스 재개)** 경기회복을 위해 친환경 분야 공공투자를 확대하는 1,000억 유로 규모 계획인 프랑스 재개(Plan de Relance)를 수립
  - 친환경 분야 공공투자 확대, 법인세 인하 등을 포함
  - 일자리 지원 250억 유로, 교통 부문에 110억 유로, 건물 에너지 혁신 부문에 60억 유로, 수소산업 지원에 20억 유로 등을 투자

&lt;표 2-8&gt; 프랑스 재개

구분	내용
생태	①건물 에너지 혁신 ②산업 탈 탄소화 ③녹색 교통 ④녹색 수소 ⑤생물 다양성 및 인공화
경쟁력	①기업 세금 ②기업 자금 ③기술권
응집력	①건강 보장자 ②청년 ③직업교육 ④고용보장 ⑤극빈층을 위한 예외적 지원 ⑥영토

자료: 녹색기술센터(2021). 주요국 탄소 중립 기술정책 동향

- **(영국) 기후변화법과 청정성장전략을 바탕으로 석탄발전소는 단계적으로 폐쇄, 해상풍력 및 원전 등 저탄소 분야에 투자를 집중**
- **(기후변화법)** G7 국가 중 최초로 2050 탄소 중립 목표를 법제화
  - (감축 목표) 2009년에 2050년까지 1990년 대비 온실가스 배출량을 80% 감축하는 목표에 법적 구속력 부여했고, 2019년에 목표를 상향하여 1990년 대비 100% 감축을 목표로 함
  - (기후변화 위원회) 기후변화위원회를 창설해 기후변화 감축 및 적응을 평가
- **(청정성장전략)** 청정성장전략을 수립(2017)하여 해상풍력 등 저탄소 성장 분야에 투자를 집중하고 석탄발전소는 2025년까지 단계적으로 폐쇄
  - ※ 청정성장전략(Clean Growth Strategy) : 지속적인 경제성장을 추진하는 한편, 온실가스 배출은 감축하는 성장전략(De-Coupling 가속화)
  - (원전 추가건설) 원전은 2035년까지 총 13기 추가 건설계획을 2015년에 발표
  - (석탄발전소 폐쇄) 2021년 4월 국가 온실가스 감축 목표(NDC)가 1990년 대비 68%로 변경됨에 따라, 석탄발전소 폐쇄 기한은 2024.10월로 단축

- **(녹색 산업혁명 10대 중점계획)** 2050 탄소 중립 목표 법제화에 따른 후속 조치로 녹색 산업혁명 달성을 위한 10대 분야를 선정
  - (녹색 산업혁명) 해상풍력이나 저탄소 수소 등 새로운 에너지원 개발부터 건물 에너지 효율 향상이나 대중교통 친환경화 같은 생활 부문까지 다양한 분야를 포괄

<표 2-9> 녹색산업혁명 10대 중점계획

분야	내용
해상풍력 고도화	현재 10GW 수준을 2030년까지 40GW로 확대
저탄소 수소개발	Net-Zero 수소펀드'를 조성하고, 2030년까지 저탄소 수소 생산능력을 5GW까지 확대
원자력 연구개발	원자력 발전을 확대하고 소형·차세대 원자로 연구개발에 투자할 계획
무 탄소 이동수단 가속화	`35년으로 예정된 기존의 내연 기관 자동차 판매금지 연도를 `30년으로 앞당겨 전기차 산업을 장려
대중교통 친환경화	전국적으로 최소 4,000대 이상의 전기 버스를 도입, 자전거도로 건설, 철도 노선을 확대하는 등 친환경 대중교통 투자
항공 및 선박 저 탄소화	수소 등의 지속가능한 연료를 해양 및 항공 운송에 도입하기 위한 연구에 지속적으로 투자할 계획
건물 에너지 효율 향상	2028년까지 매년 60만 대의 히트펌프 설치를 통해 가정 및 공공부문의 난방 에너지 효율을 개선하고 온실가스 배출감축
CCUS 투자	2030년까지 천만 톤의 CO <sub>2</sub> 포집 능력을 갖추기 위해 CCUS 클러스터 구축계획에 투자할 예정
자연보호	자연경관 복구 프로젝트를 추진할 계획이며 2030년까지 토지 회복률 30% 달성
혁신기술 투자	ESS, 바이오에너지, 수소, 가정 부문, CCUS, 산업부문의 연료전환, 에너지 분야 AI 등의 파괴적 기술에 투자

자료: 한국과학기술기획평가원(2021). 영국의 탄소 중립 정책과 한국의 시사점

- **(에너지 백서 2020 발간)** 소비자, 발전, 에너지 시스템, 건물, 산업에너지, 석유 가스 등 6개 분야의 계획을 제시했으며, 특히 발전은 탈 탄소화의 가장 핵심적 부분
  - 2022년까지 바이오매스 전략을 발표하고, 2030년까지 40GW의 해상풍력을 보급, 소형원자로를 개발할 예정

- (일본) 2050년 탄소 중립에 따른 녹색성장 전략을 바탕으로 재생에너지를 주력 전원화하고, 에너지 효율 제고를 위해 노력
- (정책 기초) 후쿠시마 원전 사고(2011) 이후 에너지의 안정적 공급, 에너지 효율 증진, 친환경성 및 안전성 제고를 정책 기초(3E+S)로 설정
  - ※ 3E+S : Energy Security, Economic Efficiency, Environment + Safety
  - (원전) 후쿠시마 사고 이후 현재까지 신규원전 건설은 없으며, 2019년 기준 원전 41기 중 9기는 재가동했고 9기는 조기 폐로
- (제6차 에너지기본계획 초안) 에너지 정책의 기본 방향성(3E+S)을 전제로 2050 탄소 중립 실현을 위한 정책목표 제시
  - (산업) 에너지 효율기술 개발·도입 지원을 강화하고, 중소기업의 에너지 효율 대응을 지원
  - (수송) 자동차를 중심으로 에너지 소비효율 및 연료·에너지 탄소 중립 정책수립
  - (재생에너지) 입지 지역과의 공생 및 안전대책 강화를 추진
  - (원자력) 안전을 최우선으로 새로운 규제 기준에 부합하는 원전을 재가동 예정



자료: 인더스트리뉴스(2021). 일본, 재생에너지 비중 목표 대폭 확대...2030년 최대 38%까지

[그림 2-3] 2030 전원구성 목표

- (2050년 탄소 중립에 따른 녹색성장 전략) 탄소 중립 이행을 위한 국가계획을 수립하였으며, 산업별로 탄소 중립 도입단계·목표를 제시하고 세제 등 기업지원 정책을 제시
  - 2050년까지 주요 산업 분야에 대한 도입단계를 연구 개발단계, 실증단계, 도입 확대단계, 자립상용화단계로 구분
  - 단계별 목표달성을 위해 예산, 세제, 금융, 규제개혁·표준화, 국제제휴 지원 등 기업 수요 맞춤형 정책을 제시
  - CO<sub>2</sub> 배출량은 연간 0.3억 톤 정도의 속도로 감축이 진행 중이며 배출감축을 위해 에너지공급의 저 탄소화, 에너지 소비효율 개선 등을 추진



자료: 녹색기술센터(2021). 주요국 탄소 중립 기술정책 동향

[그림 2-5] 일본 2050년 탄소 중립에 따른 녹색성장 전략

□ (중국) 2060년까지 탄소 배출 중립을 선언하고 이를 달성하기 위해 비화석 에너지 우선 발전전략과 탈 탄소 R&D 전략을 수립

○ (2060 탄소 중립) 시진핑 국가주석은 제75차 UN 기후회의(2020)에서 2030년을 탄소 배출 피크로 보고, 2060년 탄소 중립 달성을 약속

- 미국 트럼프 정부가 파리협약을 탈퇴하면서 중국과 EU의 역할이 부상
- 2020년 중국의 CO<sub>2</sub> 배출량은 전 세계의 32%를 차지할 정도로 감축이 시급

○ (정책 로드맵) 탄소 중립과 관련하여 탄소 배출권거래제도 등 국가적 차원의 정책추진 방향, 기본 추진계획을 수립

- (에너지발전 백서) 2020년 중국 정부는 신시대의 중국에너지 발전 백서를 발표했고, 2021년에는 탄소 배출권 거래시장 수립의 기반이 되는 법안을 도입
- ※ 백서는 ①에너지 소비패턴 개혁 ②다차원 청정에너지 공급체계 구축 ③과기 혁신의 제1 원동력 역할 강화 ④에너지 시스템 개혁의 전면적 심화 ⑤국제에너지 협력의 강화 제시
- 또한, 녹색 저탄소 순환발전 경제체계 구축·완비 지도의견도 발표

○ (비화석 에너지 우선 발전전략) 신시대의 중국 에너지발전 백서에 태양·풍력·수력·원자력 등 비화석 에너지를 최우선시하는 발전전략을 수립

- (태양·풍력·수력) 태양광·태양열 에너지를 확대하고, 풍력발전소를 개발하며, 환경보호와 이주민을 고려한 수력발전 추진
- (원자력) 안전한 원자력 발전을 위해 최신 기술을 사용하고 모니터링 강화
- (기타 재생에너지) 재생 가능 에너지로 도시 난방, 해양에너지 개발 등을 추진

&lt;표 2-10&gt; 비화석 에너지 우선 발전전략의 주요 내용

항목	주요 내용
태양 에너지	집중형 태양광발전 시스템과 분산형 태양광발전 시스템 개발 병행; 태양광 발전원가 절감을 추진시키기 위해 시장경쟁 제도의 도입, 태양광발전과 농업, 양식업 등 다양한 산업과의 결합 발전, 태양광 에너지와 태양열 에너지의 응용 범위 확대
풍력 에너지	대형 풍력발전소의 건설 추진; 중부 지역과 남부 지역을 위주로 분산형 풍력발전소 개발추진; 해상풍력 에너지개발의 추진, 풍력 발전 프로젝트의 시장경쟁 추진; 산업 서비스 시스템의 강화
수력 에너지	생태환경 보호와 이주 가구의 안정 보장; 개발과 환경보호 병행, 서남 지역의 하류 중점 개발, 대형, 소형 수력 발전소의 단계적 개발, 하류 생태 복원의 재정적 지원 조치 강화; 수력발전을 통해 지방 경제 활성화, 이주 가구의 탈빈곤 추진
원자력 에너지	안전한 원자력 사용, 원자력 발전소의 디자인, 사용 지역 선정, 건설, 운영, 폐기 등과 관련된 모니터링 작업의 강화, 최신 기술의 사용, 원자력 에너지 안전법규의 체계화, 원자력 사고 응대 법제도 및 메커니즘의 완비, 핵 확산 금지 조약의 이행
기타 재생 가능 에너지	지역 실정에 맞는 바이오매스, 지열 에너지와 해양에너지발전 추진, 생활 쓰레기 소각 발전소의 건설 추진, 농촌 메탄가스 사용의 산업화 추진, 재생가능 에너지 도시 난방 공급 추진, 해양에너지 기술발전 추진
재생에너지 효율성 제고	각 성과 직할 시 그리고 자치구의 재생가능 에너지 최소 발전량 규정, 재생가능 에너지 발전 추진사업에 진력 기업과 대중의 동참

자료: Bi Liekai(2021). 중국의 에너지산업 투자의 실증분석

- (R&D 전략) 2060년 탄소 중립에 대응하기 위해 신재생에너지 투자확대, 청정에너지 관련 기술개발 로드맵 수립 등을 포함하는 국가 차원의 R&D 전략 수립
  - 국가 에너지 투자그룹이 신재생에너지 투자를 확대하고, 탄소 포집·이용·저장 (CCUS) 기술발전 로드맵 제시
  - 과기부의 석탄 청정 고효율 이용 및 에너지 절약 신기술 전문 프로젝트 발족

## 나. 국내

□ (국가 온실가스 감축 목표) 파리협정에 따라 2030년 국가 온실가스 감축 목표(NDC)를 설정했으며, 2050년 탄소 중립 목표달성을 위해 최근 상향조정

○ (목표 상향) 파리협정에 따라 자체적으로 설정한 2030년 국가 온실가스 감축 목표 (NDC)는 탄소 중립법의 입법 취지, 국내외 탄소 배출 환경변화를 고려하여 2021년 상향

- 기존에는 국내 온실가스 배출 정점인 2018년보다 26.3% 감축을 목표로 하고 있었으나, 40% 감축을 목표로 하고 있음
- 2015년 최초로 2030 NDC를 수립한 이후 국내외 감축 비율 조정, 목표설정 방식 변경 등 부분적인 수정은 이루어졌으나, 대대적인 목표 상향은 처음

○ (감축 방안) 석탄발전 축소, 신재생에너지 확대, 에너지 효율화, 탄소 포집·저장·활용기술 등 신기술의 개발·확산으로 감축하고자 노력

- (전환·산업) 온실가스 배출 비중이 가장 높은 부문으로 석탄발전 축소, 신재생에너지 확대, 기술개발을 통한 에너지 효율화, 연료·원료 전환 등 감축 수단 적용
- (건물·수송) 에너지 효율 향상 및 청정에너지 이용을 확대하고, 무공해차 보급 및 교통 수요관리를 강화
- (농축 수산·폐기물) 저탄소 농수산업 확대, 폐기물 감량·재활용 확대 및 바이오 플라스틱 대체 등의 감축 수단을 적용
- (온실가스 흡수·제거량 확대) 산림의 지속가능성 증진, 도시 숲, 연안 습지 및 갯벌 등 신규 탄소흡수원확보, 탄소 포집·저장·활용기술 확산 등 적용

□ (탄소 중립 기본법) 2050 탄소 중립을 국가 비전으로 명시한 법률로 2022년부터 시행을 시작하며, 기후 영향평가 등 관련 신규시책을 도입

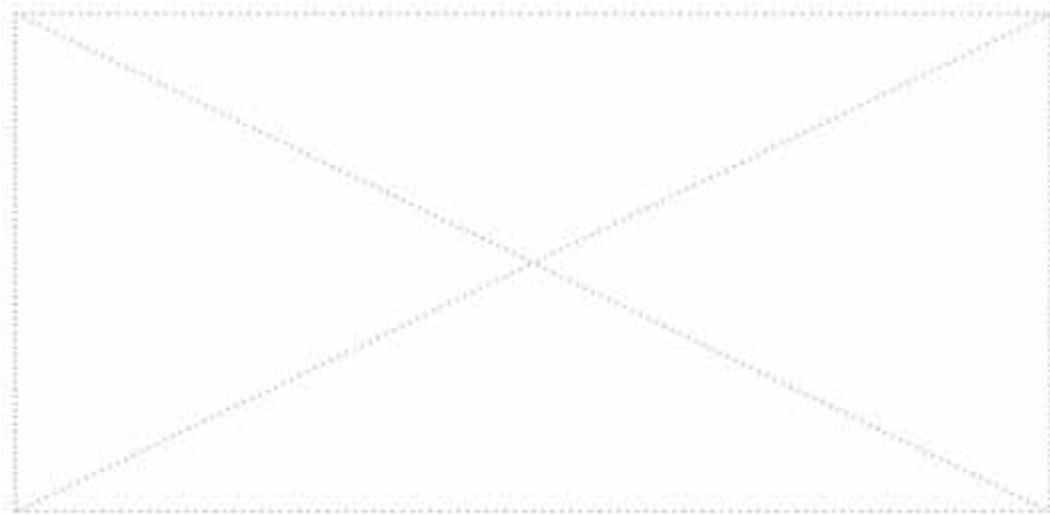
○ (목적) 기후위기의 심각한 영향을 예방하기 위하여 온실가스 감축 및 기후위기 적응대책을 강화하고 탄소 중립 사회로의 이행을 위해 제정

○ (분야별 시책) 2050 탄소 중립과 환경·경제를 조화하기 위한 시책으로 온실가스 감축, 기후위기 적응, 정의로운 전환, 녹색성장 추진

- (온실가스 감축) 기후 영향평가, 온실가스 감축 인지 예산제도 등 온실가스 감축을 위한 시책과 기후대응기금을 2022년부터 신규로 도입



- (기후위기 적응) 기후위기 예측 및 취약성 평가를 강화하고 기후위기 적응대책 수립 및 지역 기후위기 대응사업 지원
  - (정의로운 전환) 급격한 탄소 중립 사회로의 전환에 따른 실업 피해 지원, 정의로운 전환 특별지구 지정, 정의로운 전환 지원센터 설치
  - (녹색성장) 사회·경제 전반 녹색전환을 담은 11개 분야별 정책 방향 규정
- ※ 녹색경제·녹색산업, 녹색경영, 녹색기술, 조세제도, 금융지원, 녹색기술·산업 특례, 표준화 및 인증, 집적지 및 단지 조성, 일자리 창출, 정보통신, 순환경제



자료: 환경부(2021). 2050 탄소 중립을 향한 경제·사회 전환 법제화 탄소 중립기본법 국회 통과

[그림 2-7] 탄소중립·녹색성장 기본법안 체계

- (기후 영향평가) 국가 주요 계획 및 개발사업 사전적 단계에서 기후변화에 대한 영향을 평가하고 이에 대비한 적응정책 수립
  - 2022년 9월 25일 시행을 앞두고 있으며, 온실가스를 다량으로 배출하는 사업에 대해 기후변화에 미치는 영향을 분석하고 평가
- (온실가스 감축 인지 예산제도) 기후변화 대응 노력을 예산에 반영하기 위해 예산·기금이 기후변화에 미치는 영향을 분석, 국가·지방자치단체의 재정 운용에 반영
  - 2022년도 시범적 실시, 2023년도부터 본격 적용될 예정이며 온실가스 감축에 대한 기대효과, 성과목표, 감축 효과 분석 등을 고려하여 예산에 반영

- (기후대응기금) 기후위기에 효과적으로 대응하고 탄소 중립 사회로의 이행과 녹색성장을 촉진하는 데 필요한 재원을 확보하기 위하여 기후대응기금을 신설
  - 2022년부터 온실가스 감축 기반 조성, 일자리 전환·창출 지원, 연구개발 및 인력양성 등에 사용할 예정

<표 2-11> 탄소 중립법 제23~24, 69조

<p><b>제23조(기후변화영향평가)</b> ① 관계 행정기관의 장 또는 「환경영향평가법」에 따른 환경영향평가 대상 사업의 사업계획을 수립하거나 시행하는 사업자는 같은 법 제9조·제22조에 따른 전략 환경영향평가 또는 환경영향평가의 대상이 되는 계획 및 개발사업 중 온실가스를 다량으로 배출하는 사업 등 대통령령으로 정하는 계획 및 개발사업에 대하여는 전략환경영향평가 또는 환경영향평가를 실시할 때, 소관 정책 또는 개발사업이 기후변화에 미치는 영향이나 기후변화로 인하여 받게 되는 영향에 대한 분석·평가를 포함하여 실시하여야 한다.</p> <p><b>제24조(온실가스감축인지 예산제도)</b> 국가와 지방자치단체는 관계 법률에서 정하는 바에 따라 예산과 기금이 기후변화에 미치는 영향을 분석하고 이를 국가와 지방자치단체의 재정 운용에 반영하는 온실가스감축인지 예산제도를 실시하여야 한다.</p> <p><b>제69조(기후대응기금의 설치)</b> ① 정부는 기후위기에 효과적으로 대응하고 탄소중립 사회로의 이행과 녹색성장을 촉진하는 데 필요한 재원을 확보하기 위하여 기후대응기금을 설치한다.</p>
---

자료: 환경부(2021). 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법

**□ (배출권거래법) 온실가스 배출 허용 총량을 설정하고 시장기능을 활용하여 온실가스 배출권을 거래하는 제도운영**

- (개요) 정부가 온실가스 배출 사업장을 대상으로 연 단위 배출권을 할당하여 할당 범위 내에서의 배출을 허용하고, 여분·부족분에 대하여는 사업장 간 거래를 허용
  - 저탄소 녹색성장 기본법에 따라 배출권거래법은 2012년부터 시행되었고, 거래 제도는 2015부터 운영 중
  - 대상업체는 연평균 온실가스 배출량 125,000tCO<sub>2</sub>-eq 이상이거나, 25,000tCO<sub>2</sub>-eq 이상인 사업장을 하나 이상 보유한 업체
- (운영) 배출권거래제는 기간별로 제1기에서 제3기로 운영하여 경험축적 및 거래제 정착에서 현재는 적극적인 온실감축 단계로 진입
  - (제1기) 경험축적 및 거래제 정착을 위한 단계로 제도의 유연성을 제고 및 인프라구축에 중점을 두고 있음
  - (제2기) 상당 수준의 온실가스 감축을 위해 거래제 범위를 확대하고, 목표를 상향 조정했으며, 대상업체에 할당되는 배출권의 유상할당을 시작
  - (제3기) 적극적 온실가스 감축을 위해 자발적 감축을 유도하고 유동성 공급을 확대하며, 유상할당 비율을 10%로 확대

- **(현황)** 제1기에서 3기까지 운영되면서 할당 대상업체는 22%, 할당량은 72% 증가
- 할당 대상업체는 제1기 평균 560개에서 제3기 684개로 증가했으며, 할당량도 제1기 최종 16억 86 백만 톤에서 제3기 사전 할당량 29억 2백만 톤으로 증가

&lt;표 2-12&gt; 배출권거래제 기간별 운영

구분	제1기(2015년~2017년)	제2기(2018년~2020년)	제3기(2021년~2025년)						
주요목표	경험축적 및 거래제 안착	상당 수준의 온실가스 감축	적극적인 온실가스 감축						
제도 운영	- 상쇄인정범위 등 제도의 유연성 제고 - 정확한 MRV 집행을 위한 인프라구축	- 거래제 범위 확대 및 목표 상향조정 - 배출량 보고·검증 등 각종 기준 고도화	- 신기후체제 대비 자발적 감축 유도 - 제 3자 거래제 참여 등 유동성 공급확대						
할당	- 전량 무상할당 - 목표 관리제 경험 활용	- 유상할당 개시 * 무상: 97%, 유상: 3% - 벤치마크 할당 등 할당방식 선진화	- 유상할당 비율 확대 * 무상: 90%, 유상: 10% - 선진적 할당방식 정착						
할당 대상 업체	<table border="1"> <thead> <tr> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>525</td> <td>564</td> <td>592</td> </tr> </tbody> </table>	2015	2016	2017	525	564	592	- 641개 업체(2021년 지정)	- 684개 업체
2015	2016	2017							
525	564	592							
할당량	- (최종 할당) 16억 86 백만 톤	- (사전 할당) 16억 43 백만 톤	- (사전 할당) 29억 2백만 톤						

자료: 한국환경공단, <https://www.keco.or.kr/kr/main/index.do>

□ **(2050 탄소 중립 추진전략) 경제구조의 저 탄소화, 저 탄소업 생태계 조성, 탄소 중립으로의 공정 전환을 통해 적응적 감축에서 능동적 대응으로 전환**

- **(경제구조 모든 영역의 低 탄소화)** 주요 온실가스 배출원인 발전·산업·건물·수송 분야에 대한 기술개발을 지원하고, 제도개선 등을 통해 온실가스 조기 감축 유도
- 화석연료 중심의 에너지 공급체계를 탈피하여 온실가스 감축
  - 철강석유화학 등 多 배출 업종의 저탄소 전환을 촉진
- **(新 유망저탄소 산업생태계 육성)** 탄소 중립 패러다임에 맞게 기존 혁신 생태계를 점검·보완하고 저탄소 산업을 새로운 성장동력으로 인식·육성하는 체계 구축
- 저탄소 사업을 육성하고 세계 시장을 선점하여 이를 신성장동력으로 육성
  - 제품의 지속가능성을 제고 부문별 폐자원 순환망 구축 등으로 경제성장과 자원 사용의 탈동조화를 추진

- **(공정 전환으로 전 국민 참여유도)** 전환 과정에서 소외되는 계층·산업이 없도록 하고, 전 국민적 공감대를 토대로 지역·민간 등이 주도하는 Bottom-up 방식 추진
  - 사업재편에 대한 인센티브 강화 및 취약산업 종사자 재교육 확대로 신산업 체계로의 편입 지원
  - 지역주도의 탄소 중립 실현이 가능하도록 단계별 지원
- **(탄소 중립 인프라 강화)** 재정제도 개선 및 녹색 금융 활성화, 기술개발 확충, 국제협력 등을 통해 탄소 가격 시그널 강화 및 효과적인 탄소 감축 이행 지원
  - 탄소 중립 투자·공정 전환 관련 지출 확대를 통해 인프라 강화
  - 주요 기후변화 선도국과의 협력 체제를 구축하여, 한·중·일 탄소 중립 협력 증진



자료: 관계부처합동(2020). 2050 탄소 중립 추진전략

[그림 2-9] 2050 탄소 중립 추진전략 비전체계도

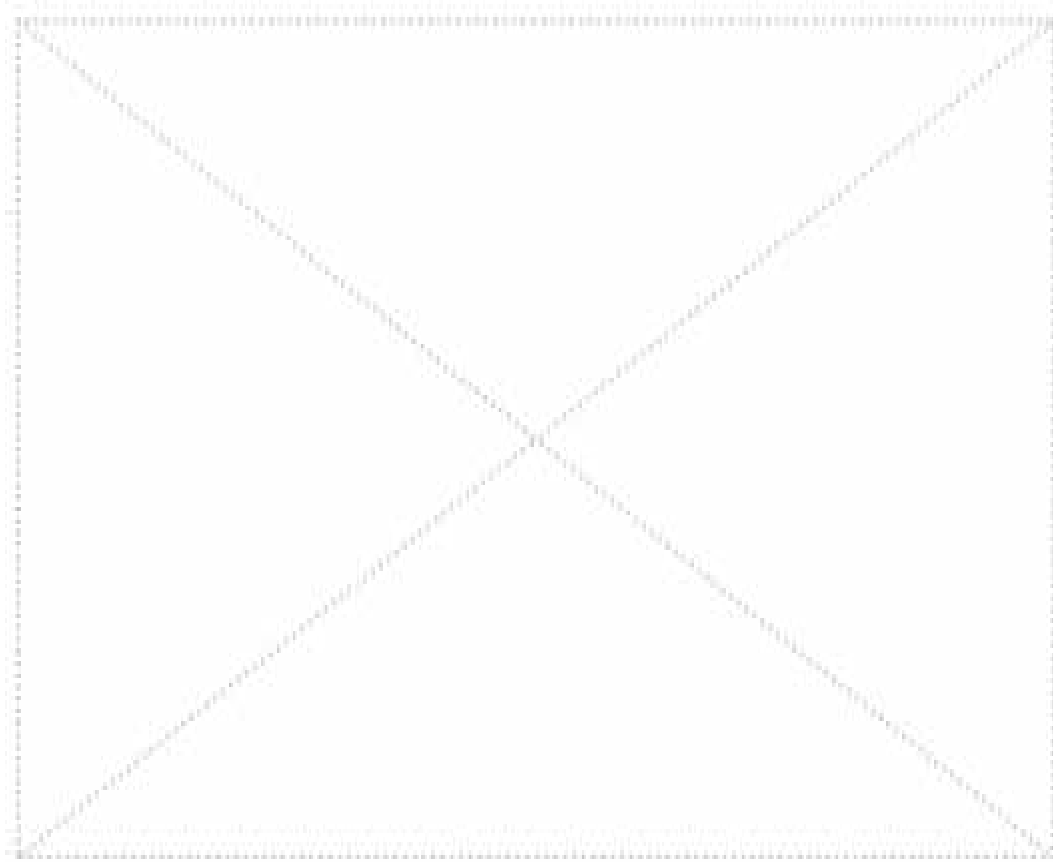
- **(탄소 중립 기술혁신 추진전략)** 탄소 중립 10대 핵심기술 개발과 민간주도의 신산업 중심 혁신 생태계 조성으로 탄소 중립 기술 상용화 노력
- **(10대 핵심기술 개발)** 그린뉴딜, 장기저탄소발전전략(LEDS)을 바탕으로 온실가스 감축 기여도와 주력산업 연관성을 고려한 기술개발
  - (에너지 전환) 태양광·풍력, 바이오에너지의 선도기술을 개발하고, 수소 경제 실현을 위한 기술을 확보
  - (산업 저 탄소화) 철강·시멘트 산업의 저 탄소화 및 저탄소 차세대 석유화학 기술을 개발하고, 산업공정 고도화, CCUS 상용 기술을 확보
  - (수송 및 건물) 탄소 배출 없는 차세대 모빌리티를 확보하고 탄소 중립 건물을 구현하는 기술의 기반기술을 구축



자료: 관계부처합동(2021). 탄소 중립 기술혁신 추진전략

[그림 2-11] 탄소 중립 10대 핵심기술

- (민간 주체 기술혁신) 인센티브 제공과 제도정비를 통해 민간주도 저탄소화 기술혁신 발판 제공
  - (제도정비) 인증 체계 확립, 기술규제 정비를 통해 탄소 중립 기술혁신 여건 조성
  - (인센티브) 세액 공제와 기업의 정부 R&D 참여 조건 완화 등의 인센티브 제공
- (신산업 집중지원 체계) 탄소 중립 신기술의 창업, 실증, 사업화를 체계적으로 지원
  - 탄소 중립 유망 신기술의 조기 상용화 및 산업 창출 지원하여 혁신 생태계 조성
  - 선진국과의 교류로 혁신 인재양성 및 국제협력 강화로 탄소 중립 기반 조성
- (탄소 중립 연구개발 투자전략) 2050 탄소 중립을 위한 전략적 R&D 투자확대와 민간이 주도하기 위한 여건을 조성하는 추진체계 형성
  - (전략적 투자) 정부의 선제적 단기 및 중장기 투자를 바탕으로 민간이 견인하여 민관이 협력하는 전략적 투자와 연구개발 규모 확대 추진
    - 원천 연구와 산업의 지원, 탄소 중립 도시 조성 등 전주기 경쟁력 확보를 위해, 부처 간 협업을 강화
    - 단기는 실증, 중기는 시장 선점, 장기는 미래 핵심기술 확보 등 단기 및 중장기 2-track 전략으로 투자
  - (민간주도 여건 조성) 투자기반을 조성하고 인센티브를 제공하여 민간이 주도할 수 있도록 환경을 조성
    - 민간기업 상설 협의체, 싱크탱크 설치 등 민간 주도형으로 연구개발 추진체계를 정비하고, 세제 혜택과 공기업의 투자유도로 기업의 적극적 참여 유인책을 제공
    - 실증 관련 규제 개선과 공공조달, 소·부·장 방식의 지원을 통해 R&D, 실증, 시장 진출까지 전 단계 지원



자료: 관계부처합동(2021). 탄소중립 연구개발 투자전략

[그림 2-13] 탄소 중립 연구개발 투자전략 비전체계도

## 2 핵융합에너지 개발진흥기본계획

### □ 핵융합에너지개발 추진기반 확립에서 핵융합발전소 건설능력 확보를 위해 5년마다 기본계획을 수립

- 지속가능하고 안전한 미래 에너지원 확보를 위해 2006년 핵융합에너지개발진흥법을 제정했으며, 법에 근거하여 매 5년 주기의 기본계획을 수립하여 추진 중

<표 2-13> 핵융합에너지 개발진흥법 제1, 4조

**제1조(목적)** 이 법은 핵융합에너지 연구개발을 촉진하여 핵융합에너지의 생산 및 평화적 이용에 필요한 기반을 조성하고, 핵융합에너지 관련 과학기술과 산업을 진흥함으로써 국가경제의 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 한다.

**제4조(핵융합에너지개발진흥기본계획의 수립)** ① 정부는 핵융합에너지 연구개발을 촉진하기 위하여 다음 각 호에 관한 사항이 포함된 핵융합에너지개발진흥기본계획을 수립하여야 한다.

1. 핵융합에너지에 관한 정책의 목표와 기본방향
  2. 핵융합에너지 연구개발의 추진체계와 전략
  3. 핵융합에너지 연구개발의 추진계획
  4. 핵융합에너지 연구개발의 기반 확충
  5. 핵융합에너지 연구개발에 필요한 투자계획과 소요재원의 조달
  6. 핵융합에너지 연구개발에 필요한 전문인력의 양성과 활용
  7. 핵융합에너지 연구개발을 위한 국제협력
  8. 핵융합에너지의 생산 및 이용을 위한 기반 조성
  9. 핵융합에너지와 관련된 안전 관리 및 안전 연구
  10. 핵융합에너지 관련 산업의 육성
  11. 그 밖에 핵융합에너지 연구개발을 촉진하기 위하여 필요한 사항
- ② 과학기술정보통신부장관은 5년마다 관계중앙행정기관의 장과 협의하여 기본계획을 수립하고, 제6조제1항에 따른 국가핵융합위원회의 심의를 거쳐 이를 확정한다. 기본계획을 변경하고자 하는 때에도 또한 같다. 다만, 대통령령이 정하는 경미한 사항을 변경하는 때에는 그러하지 아니하다.

자료: 과학기술정보통신부(2019). 핵융합에너지 개발진흥법

### □ 1차 기본계획에서 추진기반 확립, 2차 기본계획에서 KSTAR·ITER를 활용한 기반기술 연구개발, 3차서 플라즈마 제어기술, ITER 핵심부품 제작 및 조달 성공

- (1차 기본계획 주요 성과) '08년 KSTAR를 성공적으로 완공, 첫 초고온 플라즈마 실험(2초)을 수행했으며, 첫 부품조달 협약을 체결하는 등 ITER에 본격적으로 참여하여 핵융합에너지 연구개발 추진기반을 확립
- (2차 기본계획 주요 성과) ITER로 '07년부터 '16년까지 해외 수주액이 5,378억 원을 돌파했으며, '14년 ITER 첫 한국 부품인 TF 초전도 도체의 조달 완료

- **(3차 기본계획 주요 성과)** 이온온도 1억 도의 초고온 플라즈마 달성('18) 및 유지 시간 지속연장('21년 30초) 등 세계적 수준의 연구성과 창출 및 ITER 핵심품목 조달 성공 등
- **(3차 기본계획 한계)** 본래 3차 계획은 전력생산 실증을 위한 핵융합로공학 기술개발 기반 확립이 목표였지만 실제로 미진했으며, 8대 핵심기술 도출하는 것에 그침
  - (실증기반 미흡) 8대 핵심기술 분야를 도출했으나, DEMO급 환경 구현을 위해 필요한 중성자원, 삼중수소 측정시설 등 실증시설 부족으로 실증연구 지연

<표 2-14> 3차 핵융합진흥 기본계획 한계점

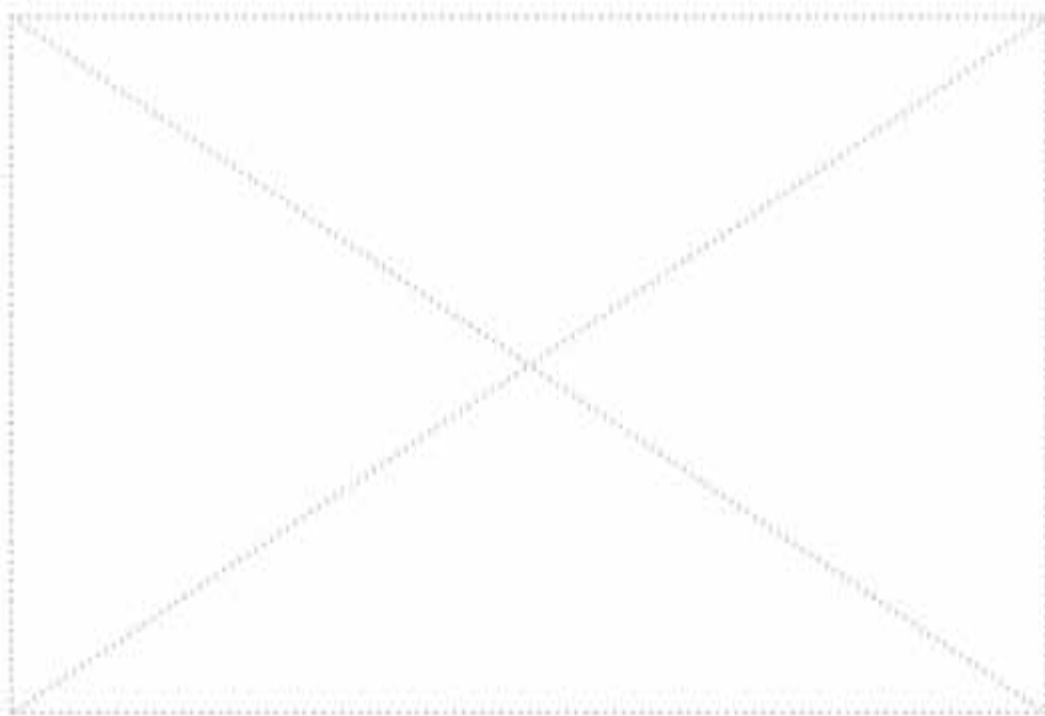
한계점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 종합적인 핵융합 기술 수준은 선진국 대비 격차*가 지속 존재                             <ul style="list-style-type: none"> <li>※ 세계 최고 기술보유국 대비 국내 기술 수준은 75.0%, 기술격차는 6년</li> </ul> </li> <li>• 기술적 난제와 외부적 요인으로 각국의 장치 제작 일정에 지연 발생, ITER에 근무 가능한 국내 전문가 풀 부족 문제 지속</li> <li>• 체계적인 연구개발 추진을 위해서는 ‘핵융합 전력생산 실증로’의 명확한 개념을 바탕으로 한 장기 로드맵이 필요</li> <li>• ITER 운영·실험 참여 효과를 극대화하고 미래 실증연구를 선도하기 위해서는 국내 인력양성 강화가 시급</li> <li>• ITER 관련 수주 이외에는 민간 부문에서 핵융합 기술에 대한 인식 및 활동이 저조한 편</li> <li>• 실질적인 공동연구 등으로 협력을 지속 고도화하여 첨단기술의 전략적 확보 및 리스크 감소 필요</li> <li>• 기술개발 이외에 규제, 제도, 산업 경쟁력 등의 다양한 측면에서 종합적인 기반 조성·강화가 필요</li> </ul>

자료: 과학기술정보통신부(2021), 4차 핵융합진흥 기본계획(2022~2026)

- **4차 핵융합진흥 기본계획은 지속가능한 국가 신에너지 확보를 위해 핵심기술 개발 가속화·전략적 기반 조성으로 핵융합에너지 실현을 위한 국내외 노력 선도를 목표로 설정**
- **(핵융합 특화 전략 제도 확충)** 장기 연구개발 로드맵 구체화 및 체계적으로 이행하고, 핵융합 특화 제도·체계 등 종합 기반 확충
  - (장기 연구개발 로드맵) 장기·도전적 연구개발 및 대규모 투자에 따른 리스크 관리를 위해 신뢰성 있는 장기 연구개발 로드맵을 확립하고 철저한 이행체계를 마련
  - (종합 기반 확충) 핵융합의 특수성을 고려하고 혁신을 촉진할 수 있도록 관련 법제, 규제체계, 특허전략 등 종합적인 경쟁력 강화를 위한 기반 준비에 박차
- **(핵융합 핵심기술 개발 촉진 및 기반 강화)** KSTAR 활용 고성능 플라즈마 기술연구와 전력생산 실증 핵심기술 개발 강화, 핵융합 인재양성 및 산업생태계 활성화 지원
  - (KSTAR 활용 고성능 플라즈마 기술연구) 고성능·장시간 플라즈마 실험 목표달성 및 ITER 선행연구 등 중요 주제의 연구를 수행하고, KSTAR 향후 연구 방향을 마련



- (전력생산 실증 핵심기술 개발 강화) 8대 핵심기술을 중심으로 전력생산 실증 핵심기술 개발 노력을 강화하고 산·학·연 전문가가 참여하여 ‘핵융합 전력생산 실증로’ 예비개념설계 추진
  - (핵융합 인재양성 및 산업생태계 활성화 지원) ITER 운영 및 실증로 연구를 선도할 핵융합 인재양성을 적극적으로 지원하고, 핵융합 산업생태계의 경쟁력 강화와 혁신을 위한 기반을 조성
- (국제협력을 통한 첨단 기술확보 가속화) ITER 사업을 통한 핵심기술 확보 극대화 및 주요 핵융합에너지 개발국과의 전략적 기술협력 강화
- (ITER 사업을 통한 핵심기술 확보 극대화) 한국 담당 장치의 제작·조달 등 ITER의 성공적 건설에 노력하고 한국인 ITER 근무자 지속 확대 등 사업참여 효과 극대화
  - (주요 핵융합에너지 개발국과의 전략적 기술협력 강화) 핵융합에너지 개발은 모든 국가가 최초로 도전하는 기술인만큼 주요기술 선도국과 적극적인 협력을 통해 핵심기술을 효과적으로 확보



자료 : 과학기술정보통신부(2021), 제4차 핵융합에너지 개발진흥 기본계획(‘22~26)

[그림 2-15] 제4차 핵융합에너지 개발진흥 기본계획(‘22~26) 비전체계도

### 3 에너지 정책 동향 시사점

**(탄소 제로 정책) 신기후체제 하에서 탄소 제로 정책은 불가피하며, 청정에너지로의 전환 강요와 그에 대한 장기적인 관점에서 핵융합에너지 개발 필요**

- (청정에너지 전환 요구) 파리기후협정 체결에 따른 신기후체제 하에서 탄소 제로 정책은 불가역적인 세계적 흐름이며 청정에너지로의 전환은 필수적
  - (신기후체제) 파리기후협정은 교토의 정서를 대체하여 195개국 모두에게 자발적인 탄소 배출감축 목표를 설정하도록 하며, 이행 수준을 점검
  - (장기저탄소 발전전략) 주요국은 파리기후협정에 따라 2050년 저탄소 전략을 제시하여 최대 95%에 이르는 탄소 배출감축 정책을 시행
  - (탄소중립기본법) 우리나라도 2050년 탄소중립을 국가 비전으로 제시하는 탄소중립기본법 제정으로 화석에너지 감축 노력 법제화

<표 2-15> 파리협정 및 탄소 중립법

구분	법명	내용
국제 조약	파리기후협정	지구 평균 기온 상승을 산업화 이전 대비 2℃보다 낮은 수준으로 유지하기 위해 195개국을 대상으로 자발적 감축 방안을 마련
	장기저탄소 발전전략	모든 당사국은 대전환 관점에서 2050년 탄소 감축 목표달성을 위한 실행전략 수립 * 감축 목표: (영국) 80%, (독일) 80~95%, (미국) 80%, (일본) 80%
국내 법률	탄소 중립기본법	2050 탄소 중립을 국가 비전으로 명시한 법률로 2022년부터 시행예정이며, 기후 영향평가, 온실가스 감축 인지 예산제도, 기후대응기금 등 실시

- (청정에너지 투자) 화석연료 제약에 따른 화석에너지 공급 감소와 청정에너지로의 강제에 대응하기 위해서는 청정에너지에 대한 선제적 투자 필요
  - (주요국 투자) 프랑스는 친환경 분야 공공투자로 1,000억 유로 규모의 프랑스 재개를 수립했고, 중국 역시 신재생에너지 투자확대 등 2060 탄소 중립 R&D 전략 수립
  - ※ (프랑스 재개) 경기회복을 위해 친환경 분야 공공투자를 확대하는 정책으로, 산업 탈 탄소화, 녹색 교통, 녹색 수소 등에 투자
  - ※ (중국 2060 탄소 중립 R&D 전략) 국가 에너지 투자그룹이 신재생에너지 투자를 확대하고, 탄소 포집·이용·저장기술 발전 로드맵을 제시했으며, 10대 에너지 절약 신기술 투자 시작
  - (장기적 투자 필요) 국내도 2021년 발표한 탄소 중립 기술혁신 추진전략에서 장기저탄소 발전전략 실행 및 이를 위한 투자가 필요한 시점
  - (핵융합에너지 투자) 대량의 전력 수요에 안정적으로 대비하며, 탄소중립 정책에도 대응 가능한 핵융합에너지에 대한 장기적 투자 필요

**(핵융합 실증기반 미흡) 핵융합에 대한 정부의 의지에 따라 기본계획을 통해 기초단계 역량을 확보했으나, 실증기반은 아직 미흡하기에 마련할 필요**

- **(높은 정책 타당성)** 핵융합에너지의 잠재력을 인식한 정부는 이미 2006년에 연구개발의 기반 확충 등을 명시한 핵융합에너지법을 제정하는 등 의지를 보임
  - (비전) 핵융합에너지 실용화 기술개발로 지속가능한 국가 신에너지 확보라는 비전을 제시하여 3차에 걸친 기본계획을 수립했고, 2041년까지 7차 계획 수립 예정
  - (목표) 1단계(1차)에서 에너지개발 추진기반 확립, 2단계(2~4차) DEMO 플랜트 기반기술 개발, 3단계(5~7차) 핵융합발전소 건설능력 확보라는 목표를 제시
- **(기초단계 역량 제고)** 핵융합에너지 개발진흥 기본계획을 바탕으로, KSTAR와 ITER를 통해 기술적·산업적·인적 측면에서 기초단계 역량 제고
  - (기술적 기반) KSTAR 1억도 초고온 플라즈마를 세계 최초 30초 운전에 성공, 2개 ITER 부품조달을 성공적으로 진행 중인 바 기술적인 기초단계 역량 확보
  - (산업적 기반) ITER 건설 관련한 국내 산업체의 해외수주가 증가했고 핵융합·플라즈마 산업체 협력 및 관련 기술이전 확대로 산업적 기반마련
    - ※ ITER 및 타 회원국으로부터 6,744억 원의 연구·서비스용역, 물품 제작 수주(2007~2021.8)
    - ※ 핵융합(연) 기술이전 계약 증가: (2017) 7건, 4.03억 원 → (2020) 10건, 9.57억 원)
  - (인적 기반) ITER 기구 한국인 근무자가 ITER 회원국 중 4위 규모로 증가했으며, 핵융합 신진인력도 꾸준히 양성하여 인적 기초단계 역량 확보
    - ※ ITER 한국인 근무자: (2017.1월) 31명 → (2021.8월) 54명
    - ※ 국내 대학 거점센터 6개 지원, 석·박사 인력 148명 배출(2017~2020)
- **(실증기반 마련 필요)** 3차 계획은 전력생산 실증을 위한 핵융합로공학 기술개발 기반 확립이 목표였지만 실제로 미진했으며, 시설구축을 통한 목표달성 필요
  - (3차 성과와 보완점) 3차 기본계획은 기초단계에는 성과를 보이면서도, 핵융합 전력생산 실증을 위한 DEMO 요소기술 개발, 실증시설 구축이 미흡
  - (8대 핵심기술 도출) 전문가 논의를 통해 2050년대 전력생산 실증을 위해 확보 필요한 8대 핵심기술 분야를 2020년까지 도출
    - ※ ① 노심 플라즈마, ② 증식블랑켓, ③ 핵융합 소재, ④ 연료주기, ⑤ 디버터, ⑥ 가열 및 전류구동, ⑦ 초전도 자석, ⑧ 안전·인허가
  - (실증기반 미흡) 8대 핵심기술 분야를 도출했지만 DEMO급 환경을 구현하기 위해 필요한 중성자원, 삼중수소 측정시설 등 실증시설 부족으로 실증연구 지연

<표 2-16> 1~3차 기본계획

구분	목표	주요 성과 및 한계
1차(2007~2011)	핵융합에너지개발 추진기반 확립	- (성과) KSTAR 성공적으로 완공 및 1억 도 2초 유지실험 진행, ITER 부품조달 협약 체결(2008)
2차(2012~2016)	KSTAR·ITER를 활용한 기반기술 연구개발	- (성과) ITER 해외 수주액 5,378억 원 돌파(2007~2016), ITER 한국부품 TF 초전도 도체 조달 완료(2014)
3차(2017~2021)	전력생산 실증을 위한 핵융합로공학 기술개발 추진기반 확립	- (성과) KSTAR 1억 도 30초 세계 최초기록 재달성(2021), ITER 조립장비류 부품 성공적 제작·조달(2020) - (한계) 기초단계 First-Mover임에도 핵융합로공학 기술개발을 위한 실증시설 부족으로 실증연구가 사실상 지연

- (4차 기본계획) 3차 계획에서 도출된 8대 핵심기술을 중심으로 전력생산 실증 핵심기술 개발을 위한 사전개념설계 단계에 돌입 및 장기 연구개발 로드맵 확립
- (8대 핵심기술개발) 8대 핵심기술 분야를 중심으로 연구개발 추진을 강화하고, 장기 연구개발 로드맵에 따라 공백기술 확보를 위한 신규 R&D 사업 기획
- ※ ‘선도기술센터\*’ 지원 확대 및 초전도자석 분야 기술개발 착수(’22) 등 도전적 분야의 핵심기술 확보 추진



자료: 과학기술정보통신부(2022), 4차 핵융합에너지 개발 진흥 기본계획(’22~’26)

[그림 2-17] 핵심기술 연구개발 주요사업 연계현황

- (장기 연구개발 로드맵 확립) 미래 ‘핵융합 전력생산 실증로’에 대한 기본개념 확립을 바탕으로 장기 연구개발 로드맵 구체화
- ※ (~’22.上) ‘핵융합 전력생산 실증로’의 목표, 기능, 실증 및 연구 범위, 상용화 근접도 등에 핵융합 전문가 컨센서스 도출 → (~’22.下) 에너지 분야 등 폭넓은 전문가검토를 거쳐 기본개념 확립

## 2절 핵융합에너지기술 동향

### 1 실증연구

#### 가. ITER

- (ITER 사업) 실증로(DEMO) 전 단계인 대형연구로를 건설하는 세계 최대 규모의 국제 공동연구사업으로, 한국포함 7개국이 참여 중
- (ITER) 핵융합의 연료인 중수소와 삼중수소가 외부적 가열 없이 지속적으로 핵융합반응을 일으키는 것을 목표로 하는 대규모 연구로
  - 2050년대까지 상용로를 운영하기 위해 2020~2030년대에 대형연구로를 운영하는 로드맵을 수립



자료: 한국과학기술기획평가원(2020). 핵융합에너지

[그림 2-19] 핵융합 상용로를 위한 주요 추진단계

- (사업내용) 핵융합에너지개발을 위해 한국, EU(영국 포함), 미국, 중국, 인도, 러시아, 일본 7개국이 참여하고 있으며, 건설에만 15.2조 원을 투입



자료: 한국핵융합에너지연구원 내부자료

[그림 2-21] ITER 조달부품

- (로드맵) 대형연구로인 ITER는 2025년 완공예정으로, 2035~2038년에 연료 직접반응 실험인 DT실험 착수 예정
- (건설) 2025년 완공예정으로, 현재 프랑스 남부 카다라쉬에 건설 중이며, 2021년 6월 74.1%의 공정률을 보이고 있음



자료: 한국핵융합에너지연구원 내부자료

[그림 2-23] ITER

- (운영) 2025년에 첫 플라즈마 실험을 시행하며, 2035~2038년까지 핵융합 연료인 중수소와 삼중수소의 반응실험을 시작
  - (목표) 현재 최고 수준인 에너지 증폭률 1.25를 10까지 높여서 핵융합에너지 실현 가능성을 입증하는 것이 목표
  - ※ 에너지 증폭률(Q)이란 에너지 1 투입 시 나오는 열로, 1998년 일본의 JT-60U에서 달성한 1.25가 현재까지 최고 성과



자료: 한국과학기술기획평가원 기술 동향 브리프(2020), 핵융합에너지

[그림 2-25] ITER의 운영계획

## 나. EU

□ (DEMO 로드맵) 2050년대 전력을 상용화할 계획으로, 현재 개념설계로 단계를 전환

○ (Euratom) 유럽 핵융합 통합 프로그램으로 EU 핵융합 프로그램 및 전략, 핵융합 연구 및 교육, 훈련 프로그램을 운영 및 지원

- (규모) 2014~2018년 Horizon 2020은 5년간 총 728 백만 유로를 투자

- (우선순위) Horizon 2020 추진에 맞춰서 EURATOM의 핵융합 연구의 효율성과 효과성 제고를 위한 연구프로그램의 우선순위를 제시

<표 2-17> Euratom 우선순위(2021~2025)

우선순위	분야	내용
1	DEMO 개념설계	- EU 산업체의 참여 및 역량을 활용한 DEMO 개념설계 - 타 국가 DEMO 프로그램(예: CFETR)과의 긴밀한 협력을 통해 EU 핵융합 로드맵의 중요이슈 해결
2	재료연구	- 활용 가능한 시설을 활용해 재료 테스트 프로그램에 집중 - 설계, 인허가, 부지마련 등을 비롯해 핵융합 재료 테스트 시설(IFMIF-DONES) 건설 준비 지원
3	열 배출	- EU 관련 연구인프라를 기반으로 핵융합발전소의 열배출 관련 기술(디버터 등) 연구 수행
4	ITER 실험 대비	- EU 및 국제 연구시설을 활용하여 포괄적인 실험 프로그램 수행 - ITER에 필요한 실험 물리학 및 기술 프로그램의 지속적 수행
5	스텔러레이터 연구	- 미래 핵융합발전소로서 토카막과 함께 스텔러레이터의 활용 가능성 검증을 위한 연구지원
6	교육 및 훈련	- 2021~2030년 인력 수요에 초점을 맞춘 교육 및 훈련 수행 * 석·박사 및 박사후연구원 프로그램 지원, 엔지니어링 기술개발 및 역량 강화를 위한 MSCA(Marie Skłodowska-Curie Actions) 프로그램 활용

자료: 국가핵융합연구소(2020). 주요국의 핵융합 연구동향 분석 및 시사점 도출

- (프로그램 구성) EU 핵융합 연구지원을 총괄하는 EUROfusion과 EU ITER 지원사업을 총괄하는 F4E 프로그램으로 구성



자료: 국가핵융합연구소(2020). 주요국의 핵융합 연구동향 분석 및 시사점 도출

[그림 2-27] Euratom 구성

○ (Eurofusion) 핵융합 상용화 R&D 로드맵 발표 및 이를 위한 8대 과제를 선정했고, 2021년 개념설계 단계로, 최근 5년간 850 백만 유로를 투자

- (투자 규모) 2014년~2018년 5년간 Horizon 2020 및 유럽 각국에서 총 850 백만 유로를 투자

- (DEMO 로드맵) ITER 연구계획 일정을 반영하여 EU DEMO 로드맵을 2018년 개정하고, 2050년대 DEMO 가동을 위해 2040년대 DEMO 건설에 착수

※ (사전개념설계 및 리뷰) 2014~2020년에 요소기술(아키텍처, 디버터, 증식블랭킷) 설계옵션을 개발 및 선택하며, 기술적 타당성 및 위험, 비용, 일정, 안전성 등 DEMO 건설의 모든 측면을 검증

※ (개념설계 및 리뷰) DEMO 기본 및 백업설계, H&CD 옵션을 선정 및 비교·분석하며, 기술적 타당성 및 위험, 비용, 일정, 안전성 등 DEMO 건설의 모든 측면을 검증

※ (공학 설계) 중요 장치 및 시스템 활용을 확정하여 최적화를 위한 관련 프로토타입을 테스트하며, 건설부지는 2035년 이후에 결정하며, 2038년에 DEMO 건설 여부 결정



자료: EUROfusion(2018). European Research Roadmap to the Realisation of Fusion

[그림 2-29] EU DEMO 로드맵



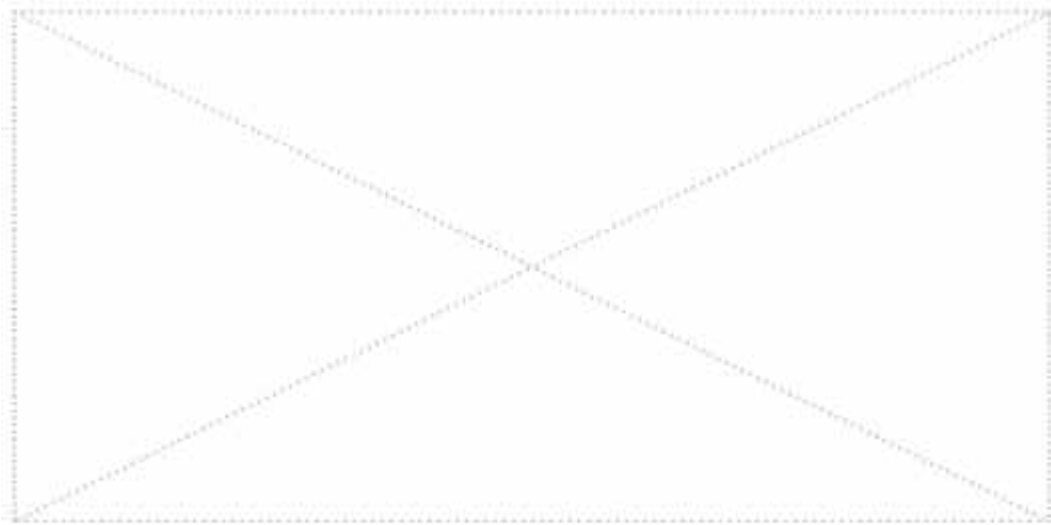
- (8대 과제) 2018년 DEMO 로드맵은 핵융합에너지 실현을 위한 8대 연구개발 핵심과제를 제시하고, 관련 R&D를 수행 중

<표 2-18> EU DEMO 로드맵 8대 핵심과제

8대 과제	세부내용
플라즈마 운전 시나리오	- ITER 성공 및 DEMO 건설을 위한 토카막 기반의 플라즈마 시나리오 실증
열배출 시스템	- 대규모 전력을 제어할 수 있는 통합 열 배출 시스템 실증
핵융합 재료	- 핵융합 장치 내부의 높은 열부하를 견디며 방사화가 적은 핵융합 재료 개발
삼중수소 자가증식	- 삼중수소 재고 최소화를 위한 효율적인 증식 및 배출 시스템에 기반을 두는 삼중수소 자가증식 - DEMO, 상용로 운전의 불확실성과 타당성 이슈 규명에 필요한 추가 R&D 수행 지원을 위해 TBM 프로그램의 성공적 완수
안전성	- 사고 시 피해 최소화를 위한 핵융합 시설 설계 등 폐기물에서 삼중수소 잔류를 최소화하는 방법 및 적절한 후처리 방법 규명
DEMO 통합설계 및 시스템 개발	- 모든 핵융합 기술, 재료, 플라즈마 운전기술이 통합적으로 반영된 DEMO 설계 - 자가증식이 탁월한 블랑켓과 효과적인 원격관리 기술, 높은 신뢰성을 갖춘 요소기술 개발
전력생산 비용 경쟁력	- ITER 경험을 활용한 DEMO 설계를 통해 DEMO 건설 및 운영비용 최소화 - 중장기적으로 핵융합 건설의 최적화 전략 수립을 위해 글로벌에너지 수요 및 비용 측면에서의 사회경제적 연구 수행
스텔러레이터	- 토카막 장치의 중장기적 대안으로 스텔러레이터 개발 기술 고도화

자료: 국가핵융합연구소(2020). 주요국의 핵융합 연구동향 분석 및 시사점 도출

- (DEMO 개념설계 전환) 전문가 패널의 예비 개념설계 단계 리뷰를 통해 개념설계 단계로의 전환이 2021년 승인되었으며, 2027년까지 진행할 예정
- ※ (예비 개념설계 리뷰) 전문가 패널은 예비 개념설계 단계의 R&D 및 설계 활동, DEMO 프로젝트 구조 및 거버넌스, 향후 개념설계 단계의 계획 및 위험요인을 주요 리뷰
- ※ (개념설계) 2021~2027년까지 수행할 예정으로, R&D 결과를 토대로 DEMO 주요 시스템 (중식블라켓, 디버터 구축, 원격관리 일정, H&CD mix) 등 설계 방안을 선택하고, 주요 파라미터 및 레퍼런스 플라즈마 시나리오 결정



자료: EUROfusion(2018). European Research Roadmap to the Realisation of Fusion

[그림 2-31] EU DEMO 개념설계 로드맵

- (F4E) Fusion for Energy는 EU에서 ITER 프로그램과 일본과 협력하여 핵융합에너지를 개발하는 BA 프로그램을 총괄
  - ITER 관련 연구 프로젝트를 수행하고 ITER 결과에 대해 유럽 내에 공유하며, 일본과의 국제핵융합 R&D 프로그램인 BA 활동도 지원
  - 이탈리아 중성자 빔 테스트 시설인 NBTF(Neutral Beam Test Facility) 등의 실험시설을 지원하며 IFMIF 등 DEMO 관련 시설 건설을 위한 지원 활동 수행
  - (규모) 2014~2020년에 Horizon2020과 별도로 ITER 사업을 위해 2,915 백만 유로를 투자

- (DEMO 요소기술 개발) 11개 DEMO 요소기술을 선정, 기술별 개념설계 로드맵을 수립하여 연구개발 중이며, V-DEMO 연구도 함께 수행
- (DEMO 요소기술 로드맵) 또한 DEMO 건설 및 운영을 위한 11대 요소기술 로드맵을 수립하고, 세부일정을 조정
  - ※ 11대 요소기술: TBM, 증식블랑켓, 동력계통(BoP), 진단 및 제어, 디버터, 가열 및 전류구동, 초전도자석, 핵융합재료, 원격유지보수, 안전성, 삼중수소(연료주기)



자료: G.Federici 외(2018). EU DEMO Design and R&D Activities: Progress and Updates

[그림 2-33] EU DEMO 요소기술 로드맵

- (DEMO 요소기술 개념설계 로드맵) 개념설계 단계로 전환되면서 11개 요소기술에 대해서도 개념설계 로드맵을 수립하여 연구개발 중



자료: G.Federici 외(2019). DEMO Programme in Europe: Lessons Learned and Future Plans

[그림 2-35] EU DEMO 요소기술 개념설계 로드맵

- (V-DEMO) 고성능 슈퍼컴퓨팅 기술을 통해 예측 불확실성을 해소하기 위해 DEMO 건설을 위한 핵융합 이론을 시뮬레이션하여, ITER와 DEMO 건설간 간극 해소에 기여하기 위해 E-TASC 프로그램을 추진
  - ※ E-TASC: EUROfusion Theory and Advanced Simulation Coordination

- 2021년부터 2025년까지 19개 프로젝트에 약 825억 원을 투자



자료: EUROfusion Ad-Hoc Group(2018). Theory and Advanced Simulation Coordination(E-TASC)

[그림 2-37] E-TASC의 기본구조

## 다. 영국

□ (DEMO 로드맵) 세계 최초 2040년 핵융합 발전소(STEP) 완공을 목표로 하고 있으며, 2024년까지 개념설계에만 3,600억 원을 투자할 계획

※ STEP: Spherical Tokamak for Energy Production(에너지 생산을 위한 둥근 토카막)

○ (ITER 잔류) 영국은 2020년 EU와 협정한 핵융합 협력협정(NCA, Nuclear Cooperation Agreement)에 따라 BREXIT에도 ITER에 잔류하기로 결정<sup>3)</sup>

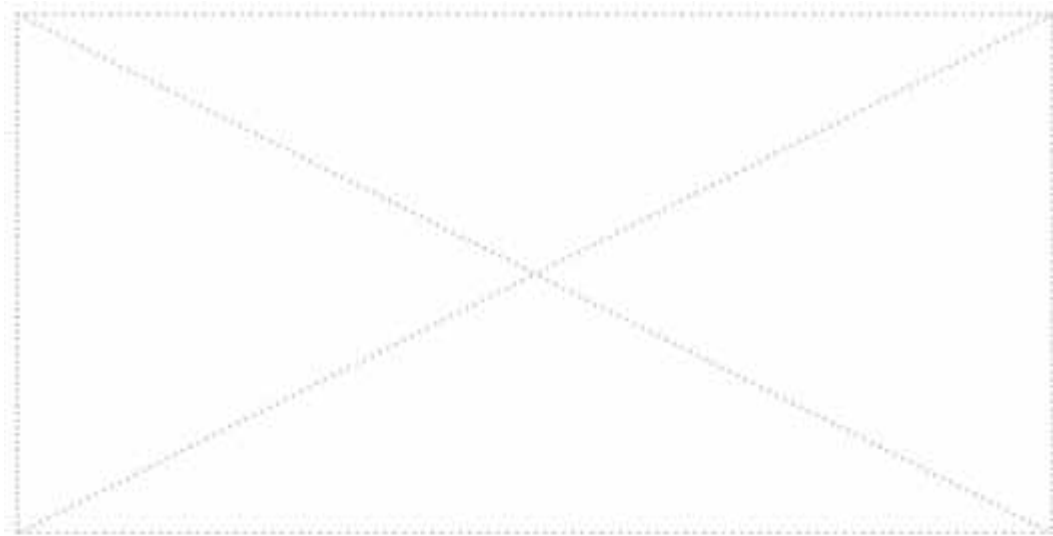
○ (STEP) 세계 최초 상용화 가능성 제시를 위해 전기생산이 가능한 소형의 구형 토카막 장치건설을 2040년까지 완료할 계획으로, 현재 개념설계 중

- (투자) 현재 개념설계 추진 중으로 220 백만 파운드(3,600억 원)를 투자하여 2024년 완료할 계획이며, 2040년까지 20억 파운드를 투자

- (목표) 100MW 전력을 생산하고, 삼중수소 자가증식 기술 및 핵융합 조건 적합 재료·장치를 개발하여 핵융합발전소 경제성 확보방안을 모색하는 것이 목표

- (단계) 1단계(~2024년) 부지 발표 및 개념설계, 2단계(~2031년) 세부 공학 설계 및 건설합의 완료·승인, 3단계(~2040년경) STEP 완공할 예정

※ (추진현황) 30만 평 규모의 STEP 부지공모를 완료했으며, 15개 지역이 공모에 참여



자료: I.Chapman 외(2019). UKAEA Capabilities to Address the Challenges on the Path to Delivering Fusion Power

[그림 2-39] 영국 DEMO 로드맵

3) ITER Newslines(2021). The UK will Remain Part of ITER

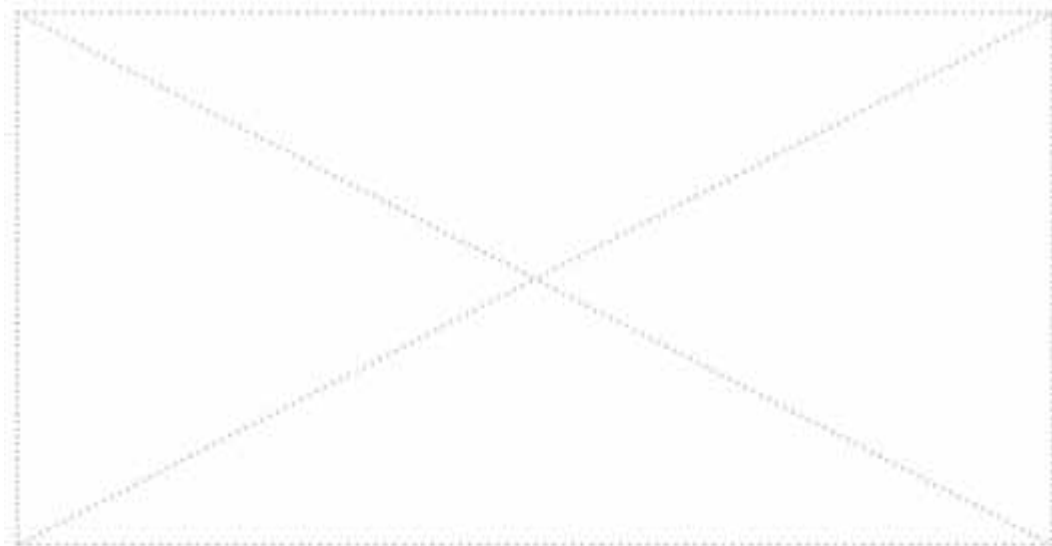
- (DEMO 요소기술 개발) Culham 캠퍼스에 DEMO 요소기술에 대한 연구시설을 증축하고 재료 로드맵도 수립하는 등 STEP 기반기술 개발 가속화
- (연구개발) 국가 핵융합 기술 플랫폼(NFTP)를 통해 영국 Culham에 핵융합 캠퍼스를 구축하여 핵융합 재료, 삼중수소, 원격제어 등 DEMO 요소기술을 개발 중
  - 특히 최근에는 Fusion Foundations 프로그램에 2020년 착수하여 2,975억 원을 투자, 실증연구를 가속화



자료: 한국핵융합에너지연구원(2021). 글로벌 핵융합에너지 개발 동향

[그림 2-41] Culham 캠퍼스 조감도

- (핵융합 재료 로드맵) 2040년대 초 완공을 목표로 STEP 건설기반 구축을 가속화하기 위해 추진일정에 따른 재료·이슈별 로드맵을 제안
  - 학계, 원자력연구기관, UKAEA 뿐만 아니라 산업체도 참여하여 로드맵을 제안

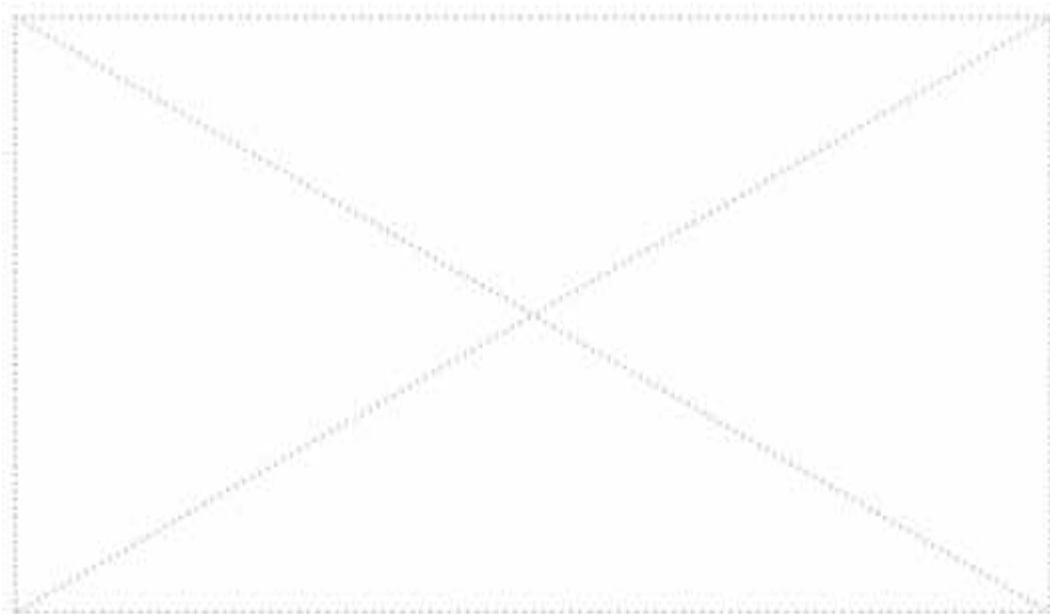


자료: UKAEA(2021). UK Fusion Roadmap 2021-2040

[그림 2-43] 영국 핵융합 재료 로드맵

## 라. 일본

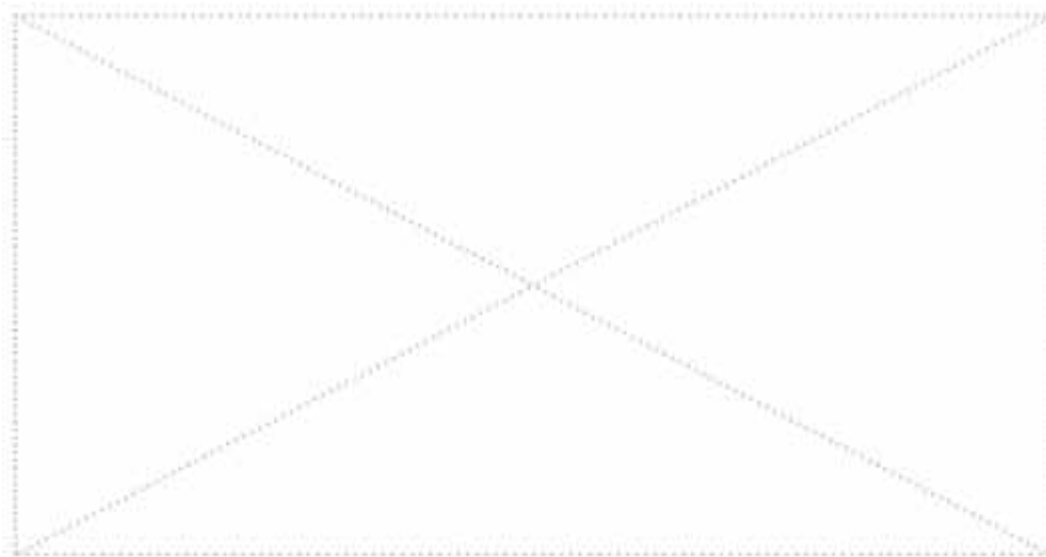
- (DEMO 로드맵) 2040년대 DEMO 가동, 2050년대 핵융합 상용화가 목표로, 현재 개념설계로의 전환을 심사 중
- (DEMO 로드맵) 2030년대 DEMO 건설에 착수하여 2040년대 DEMO 가동 계획을 수립했으며, 2050년대 핵융합 상용화가 목표
  - (1단계) QST의 JT-60을 기반으로 핵융합의 과학적 가능성을 검증
  - (2단계) ITER 사업과 BA 활동에 기반한 JT-60SA 개발·운전으로 핵융합에너지의 과학적·기술적 가능성을 검증
  - (3단계) DEMO를 건설하기 위해 핵융합에너지를 기술적으로 검증하고 경제성 검토
  - (4단계) DEMO 건설 및 운영을 통해 핵융합 상용화를 준비



자료: Science and Technology Committee on Fusion Energy(2018). A Roadmap toward Fusion DEMO Reactor

[그림 2-45] 일본 DEMO 로드맵

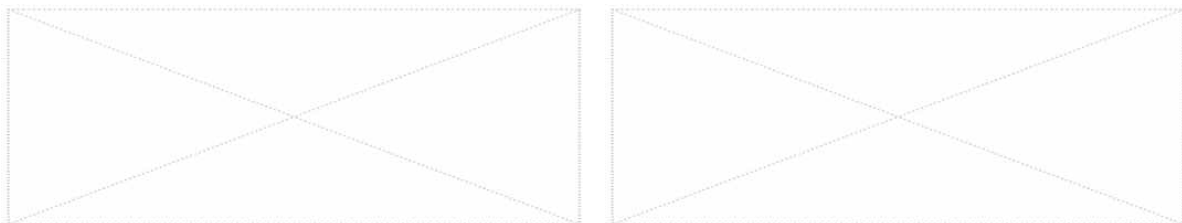
- (DEMO 설계 로드맵) 3단계로 구분하고, 중요단계 전환마다 이전 단계 결과를 분석·검토(C&R)하고 DEMO 관련 중요이슈 점검 및 해결
  - 1차 C&R(~2020년)은 사전개념 설계를, 2차 C&R(~2025년)은 개념설계 및 요소기술 개발을, 3차 C&R(~2035년)은 공학 설계 및 Full-Scale 기술개발을 검토
- ※ C&R 핵심이슈: ① ITER 자체 가열에서의 연소제어 검증, ② DEMO 운전을 위한 high- $\beta$  플라즈마 유지운전 기술 수립, ③ ITER를 통한 통합기술 구축, ④ DEMO를 위한 재료 개발, ⑤ DEMO 로공학 개발, ⑥ DEMO 설계, ⑦ 사회적 수용성 확보



자료: K.Okano 외(2018). An Action Plan of Japan toward Development of DEMO Reactor

[그림 2-47] 일본 DEMO 설계 로드맵

- (1차 C&R) 현재 예비개념 설계를 2021년 6월 완료하여, 현재 1차 C&R를 진행 중으로, 개념설계로의 전환 여부를 최종결정할 예정
  - 2021년 6월 MEXT 핵융합 과학 기술위원회 회의를 통해 예비개념설계 완료를 공식화했으며, 그간 성과를 점검하고 향후 5년간의 추진과제 및 달성목표 등을 점검 중



자료: MEXT핵융합과학기술위원회(2021). 제25회 회의자료

[그림 2-49] 예비 개념설계 결과



□ (DEMO 요소기술 개발) EU와의 공동연구를 통해 실증연구 시설을 운영하여 14개 DEMO 요소기술에 대한 R&D를 수행 중

○ (BA 프로그램) ITER 지원 및 DEMO 건설지원을 위해 일본과 EU가 공동 추진하는 핵융합 R&D로, 1단계(2007~2020)를 완료하고, 2단계(2020~2025) 착수

※ BA: Broader Approach

- 연구시설인 JT-60SA, IFMIF/EVEDA, IFERC를 중심으로 활동하고 있으며, DEMO 14대 요소기술도 함께 연구개발 중

<표 2-19> BA 단계별 내용

연구시설	BA 1단계 주요 성과	BA 2단계 주요목표
종합	- BA 연구환경 정비 완료	- 1단계에서 정비된 연구환경 활용 및 장치 성능향상 등을 통해 ITER 계획을 보완, 지원
JT-60S A	- 세계 최고 수준의 첨단 초전도 토카막 장치 JT-60SA 완성	- ITER 지원으로 ITER 최초 플라즈마 운전 및 플라즈마 제어 향상에 기여 - DEMO 연구개발 로드맵의 수행 및 DEMO로의 전환 결정을 위한 검증에 기여
IFMIF/ EVEDA	- IFMIF 개발에 필수적인 프로토타입 가속기 등의 기기 조립 완료	- 프로토타입 가속기 완성하고 연속 운전을 위한 신뢰성 검증시험 등을 위해 장치를 고도화하며, 리튬 루프의 불순물 제거 시스템 개발 - 미래 중성자 소스에 필요한 개념설계 및 공학 설계
IFERC	- IFERC이 핵융합에너지개발의 거점으로서 지속적으로 성과 창출	- DEMO 사전 설계 및 연구개발 활동 완료 - ITER 실험 및 DEMO 설계를 위한 시뮬레이션 코드를 지속적으로 개발 - ITER 원격실험을 위한 환경정비

자료: 국가핵융합연구소(2020). 주요국의 핵융합 연구동향 분석 및 시사점 도출

○ (DEMO 요소기술 로드맵) ITER 연구계획 일정에 따라 개정된 JP 실증로 로드맵에 따라 EU와의 공동연구 프로그램을 중심으로 14대 요소기술 연구 추진 중

<표 2-20> 일본 DEMO 요소기술

요소기술	추진 목표 및 주요 활동
초전도자석(SC)	1차 C&R 전에 SC의 주요 옵션 결정, SC 코일 설계개념 및 SC 관련 재료연구와 병행하여 SC 운전 관련 BOPs 개발
블랑켓	ITER TBM 개발과 병행한 DEMO 블랑켓 설계
디버터	JT-60SA, ITER 시뮬레이션 코드에 기반한 디버터 개발
가열 및 전류구동 시스템 이론 및 시뮬레이션	JT-60SA, ITER를 통해 관련 중요기술 개발 및 기술 신뢰성 확보
중심 플라즈마	JT-60SA 및 ITER DT 플라즈마 실험을 통한 검증
연료시스템	리튬 및 삼중수소 조기확보
핵융합 물질 및 표준, 코드	2030년 이전까지 A-FNS 활용이 가능하도록 추진
안전성	2020년까지 DEMO 안전성 정책수립, 안전성 규제 및 삼중수소 유출 평가 관련 연구 수행
장시간 운전	안정적인 플라즈마 장시간 운전 및 시나리오 연구 조기 완료
진단 및 제어	JT-60SA, ITER의 플라즈마 제어 DB 구축
사회연계 활동	일본 전역의 핵융합 사회연계 활동을 총괄하는 HQ 신설과 함께 핵융합 관련 연구기관의 공동 프레임워크 구축
헬리컬	토카막 DEMO 건설에 대한 과학적·기술적 기여
레이저	토카막 DEMO 건설에 대한 과학적·기술적 기여

자료: 국가핵융합연구소(2020). 주요국의 핵융합 연구 동향 분석 및 시사점 도출

○ (V-DEMO) NEXT 프로그램(QST 주관), NSRP 프로그램(NIFS 주관) 모두 최근 국내보다 업그레이드된 슈퍼컴퓨터 구축을 추진

※ 핵융합(연)은 1.5PF급 슈퍼컴퓨터를 2020년 구축 완료

- (QST주관) NEXT 프로그램으로 난류수송 및 자기 유체 역학, 디버터, 이에 대한 통합 모델링 등을 추진하며, 2018년 4.6PF급 슈퍼컴퓨터 구축 완료
- (NIFS주관) NSRP 프로그램으로 헬리컬 장치의 플라즈마 예측 등을 추진하며, 2019년부터 새로운 슈퍼컴퓨터 SX-Aurora TSUBASA(10.5PF)가 도입 진행



자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-52] 일본 V-DEMO 프로그램

## 마. 중국

□ (DEMO 로드맵) 2030~40년대 CFETR(중국 DEMO) 가동, 2050년대 프로토타입 발전소(PFPP) 완공이 목표로, EU·일본 대비 약 10년 빠른 로드맵을 수립

※ CFETR: Chinese Fusion Engineering Test Reactor, PFPP: Prototype of Fusion Power Plant

○ 2020년대 CFETR(중국형 DEMO) 건설 착수, 2030년대 1단계 운전착수, 2040년대 2단계 전력생산 실증, 2050년대 프로토타입 발전소(PFPP) 완공이 목표

- (1단계, 2015~) EAST 등 자국 토카막 장치 활용 핵융합연구
- (2단계, 2025~) ITER 사업참여 및 실험결과 반영
- (3단계, 2030~2040년대) CFETR 완공 및 핵심요소기술 실험
- (4단계, 2050~) 핵융합 프로토타입 발전소(PFPP) 건설 추진



자료: G.Zhuang 외(2018). Progress of CFETR Design

[그림 2-54] 중국 DEMO 로드맵

□ (DEMO 요소기술 개발) CFETR 5개년 계획을 수립(2018~2022), DEMO 8개 요소기술의 통합공학 설계 및 R&D에 6억 달러를 투자

○ (CFETR 5개년 계획) 2018년부터 2022년까지 추진 중으로, 5개년 계획에 따라 통합공학 설계(118개 과제) 및 DEMO 건설 R&D에 총 600 백만 달러를 투자 중

※ 물리 설계(14개 과제), Nuclear 설계(16개 과제), 토카막 상세 공학 설계(64개 과제), 추가 세부기능 설계(18개 과제), 데이터베이터 IDM(6개 과제)

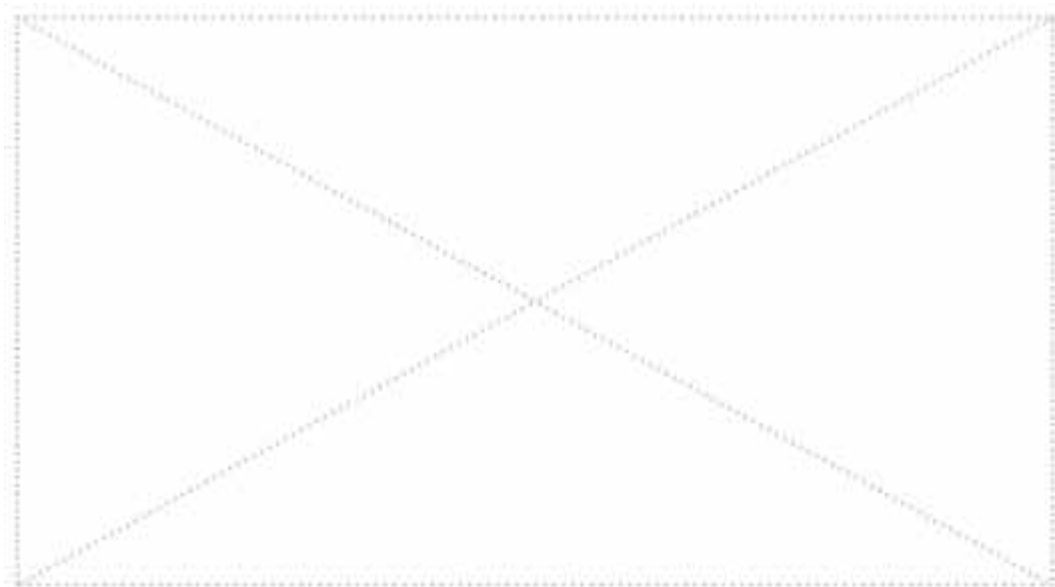
○ (DEMO 요소기술) 통합공학 설계, 자석, 진공 용기, 내부 장치, 원격 조정, 설계 표준, 가열 및 전류, 진단, 8개 CFETR 공학 설계 주요이슈를 선정



자료: G.Zhuang 외(2018). Progress of CFETR Design

[그림 2-56] CFETR 공학설계 주요이슈

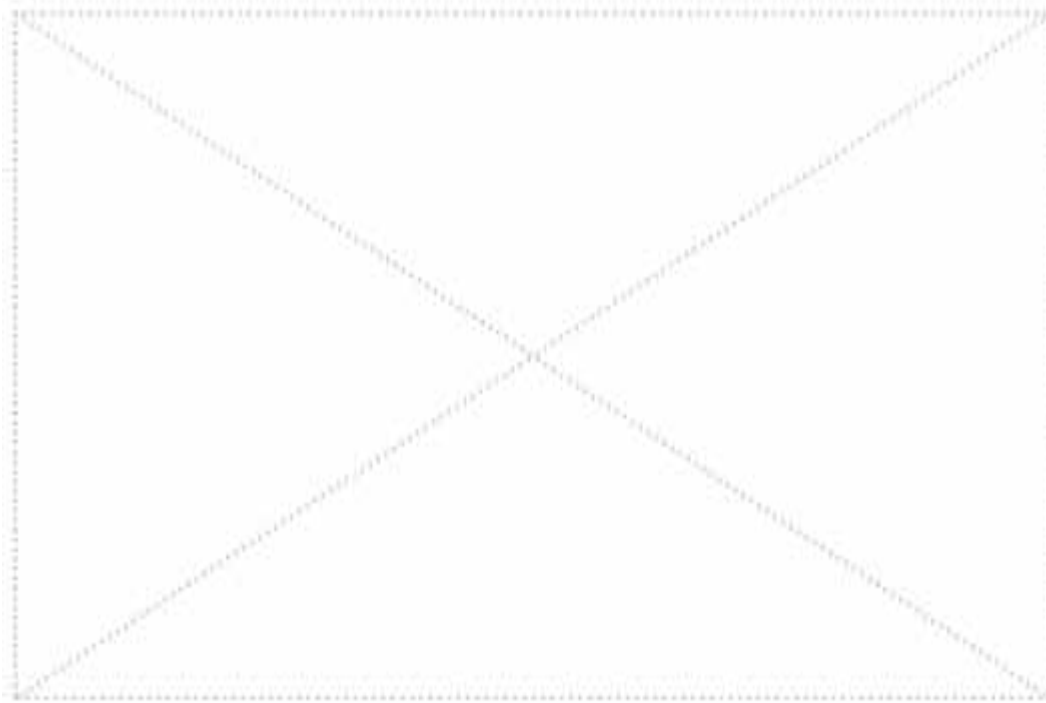
- (재료 로드맵) 3년에 걸쳐 수립했으며, 시뮬레이션, 모델링, 재료, 제작, 재료 검증, 재료 테스트 시설 등에 관한 재료 로드맵을 제안



자료: J.Li(2018). Chinese Fusion Energy Strategy

[그림 2-58] CFETR 재료 로드맵

- (삼중수소) 블랑켓, 삼중수소 플랜트, 재료, 삼중수소 연소(burn-up) 비율 등에 관한 연구를 수행 중으로, 삼중수소 관련 R&D에 총 253.5백만 위안 투자
  - ※ TBR이 높은 블랑켓 설계, CFETR 고체 블랑켓 제작 및 핵심기술 연구 등, CFETR 삼중수소 플랜트 시스템 설계, CFETR 플라즈마 배가스에서의 삼중수소 회수 및 재순환 기술, CFETR 증식블랑켓 관련 삼중수소 추출 및 측정 공학기술 연구 등



자료: 국가핵융합연구소(2020). 주요국의 핵융합 연구동향 분석 및 시사점 도출

[그림 2-60] 중국 삼중수소 연구사업 추진계획

바. 국내

- (K-DEMO) ITER 일정에 맞추어 2038년 건설 착수, 2050년 전력 상용화 계획을 수립했으며, 2025년까지 사전 개념설계 중
- (로드맵) ITER의 2035년 DT실험 일정을 고려하여 2038년 K-DEMO 건설에 착수하기 위해 2030년까지 개념설계, 2035년까지 공학 설계계획
  - (단계별) 2035년까지 K-DEMO 설계 사업 가속화 조기 추진하고, 2036년부터 핵융합 장치 설계·제작 역량을 활용한 K-DEMO 설계(인허가) 가속화

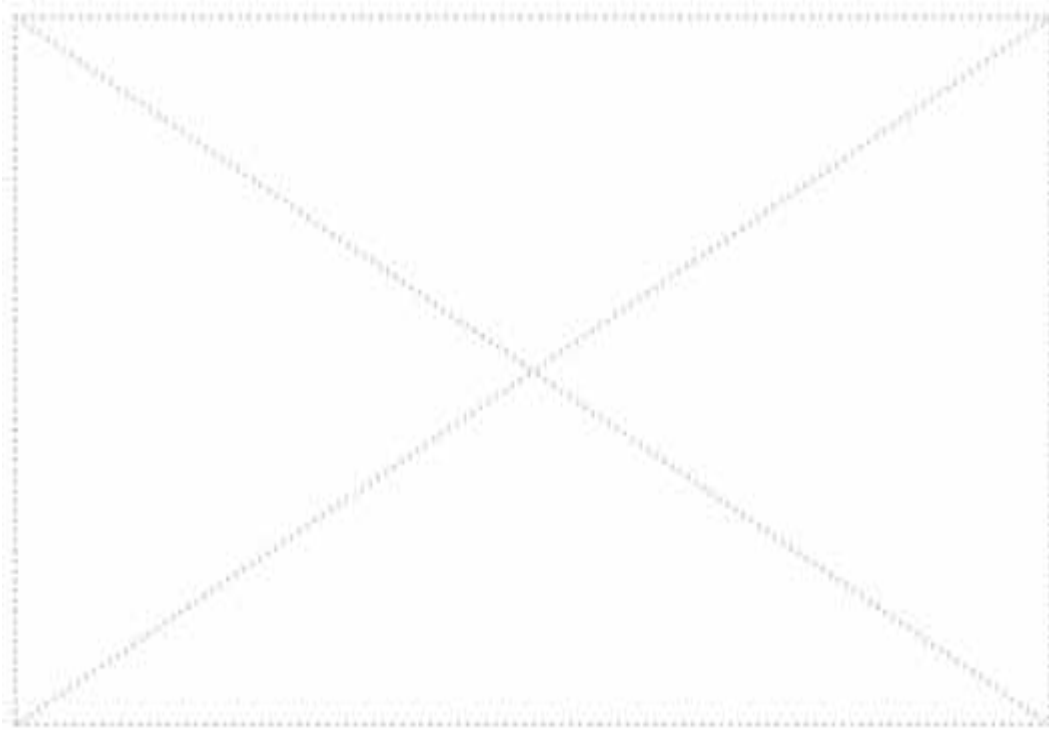
<표 2-21> K-DEMO 로드맵

구분	세부내용	
1단계(현재-2025)	pre-CDA	핵융합 실증로 설계개념 및 인허가 기초연구
2단계(2026-2030)	CDA	핵융합 실증로 개념설계 및 인허가준비
3단계(2031-2035)	공학설계	핵융합 실증로 공학설계 및 인허가 신청 (예비안전성분석보고서(PSAR))
4단계(2036-2038)	인허가 및 최종설계	핵융합 실증로 최종설계 및 건설 인허가 획득
5단계(2038-2048)	건설	핵융합 실증로 건설 및 시운전, 운전 인허가 획득



자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

- (K-DEMO 설계) 2035년 공학 설계 완료를 목표로 K-DEMO 개념을 정립하고 주장치·부대 장치·BoP 설계
- (인허가) 핵융합 안전 해석기술, 핵융합 안전규제 및 인허가 기술, 핵융합 기술규제 Codes & Standards를 개발
- (핵심기술 검증) 핵융합 실증로 무인 원격 유지보수 기술, 핵융합 실증로급의 가열장치를 개발하고, 20테슬라급 초전도 도체 시험시설을 건설











자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-63] K-DEMO 상세기술 로드맵

- (8대 핵심기술) 제3차 핵융합에너지기본계획에 따라 2050년대 전력생산 실증을 위해 확보가 필요한 8대 핵심기술 분야를 2020년 도출
  - 현재 진행 중인 연구개발 활동의 심화 또는 추가적·도전적 연구 수행을 통해 과학 기술적·공학적 난제를 극복함으로써 확보 가능한 7개 기술을 선정
    - ※ ① 노심 플라즈마, ② 증식블랑켓, ③ 핵융합 소재, ④ 연료주기, ⑤ 디버터, ⑥ 가열 및 전류 구동, ⑦ 초전도 자석 기술
  - 실증로 등 미래 핵융합 장치 등에 적용할 안전·인허가 체계를 확립하는 데 필요한 기술로 ⑧ 안전·인허가를 선정

<표 2-22> 핵융합 8대 핵심 실증기술 주요 내용

	<p style="text-align: center;"><b>초고온·장시간·고밀도 노심 플라즈마 기술</b></p> <p>- 핵융합반응을 위해 높은 온도(1억도 이상)와 밀도를 갖는 노심 플라즈마를 만들고, 제어·유지하는 운전시나리오 개발 * ① 제어기술, ② 진단기술, ③ 시뮬레이션</p>
	<p style="text-align: center;"><b>삼중수소 증식 및 전력생산을 위한 증식블랑켓 기술</b></p> <p>- 열에너지 변환 및 삼중수소 증식을 위한 내벽 부품인 ‘증식블랑켓’ 기술개발 및 실증로 환경 검증 * ① 설계/안전 해석 체계 구축, ② 제작/검증 기술, ③ 계통 기술</p>
	<p style="text-align: center;"><b>극한 열부하와 고 중성자 속을 견디는 고유소재 기술</b></p> <p>- 핵융합로의 구조적 안정성과 에너지 생산의 효율성을 확보할 수 있는 소재 개발 및 물성평가 데이터베이스 구축 * ① 구조재, ② 대면재, ③ 기능소재</p>
	<p style="text-align: center;"><b>핵융합 연속 반응 유지를 위한 연료주기 기술</b></p> <p>- 삼중수소의 안전한 취급과 핵융합 연속 반응 유지를 위해 연료를 공급·순환시키는 기술 * ① 삼중수소 안전, ② 삼중수소 정제·분리·저장 기술, ③ 연료공급 기술, ④ 진공 배기 기술</p>
	<p style="text-align: center;"><b>플라즈마 고성능 유지를 위한 디버터 기술</b></p> <p>- 핵융합 환경에 직접 노출되어 불순물과 헬륨을 제어하는 장치인 ‘디버터’의 정밀한 설계·제어 * ① 디버터 설계 기술, ② 디버터 제작 및 검증 기술</p>
	<p style="text-align: center;"><b>플라즈마 가열 및 전류 구동 장치 기술</b></p> <p>- 플라즈마 성능향상 및 안정적 유지를 위한 가열 및 전류 구동 장치 기술개발 * ① 가열 및 전류 구동 장치 기술, ② 가열 및 전류 구동 플라즈마 통합 기술</p>
	<p style="text-align: center;"><b>플라즈마 안정적 가둠을 위한 고자장 초전도 자석 기술</b></p> <p>- 초고온 핵융합 플라즈마의 가둠·제어, 핵융합로 운전 및 경제성 향상을 위해 높은 자기장의 초전도 자석 개발 * ① 초전도 선재, ② 초전도 도체, ③ 초전도 자석, ④ 기반 시스템</p>
	<p style="text-align: center;"><b>기술혁신 및 수용성 확보를 위한 안전·인허가 관련 기술</b></p> <p>- 핵융합로 운전방식, 고유 안전성을 고려한 특수한 안전·인허가 체계 확립과 이를 위한 평가·검증 기술 * ① 안전성 평가 기술, ② 인허가 기술(요건도출)</p>



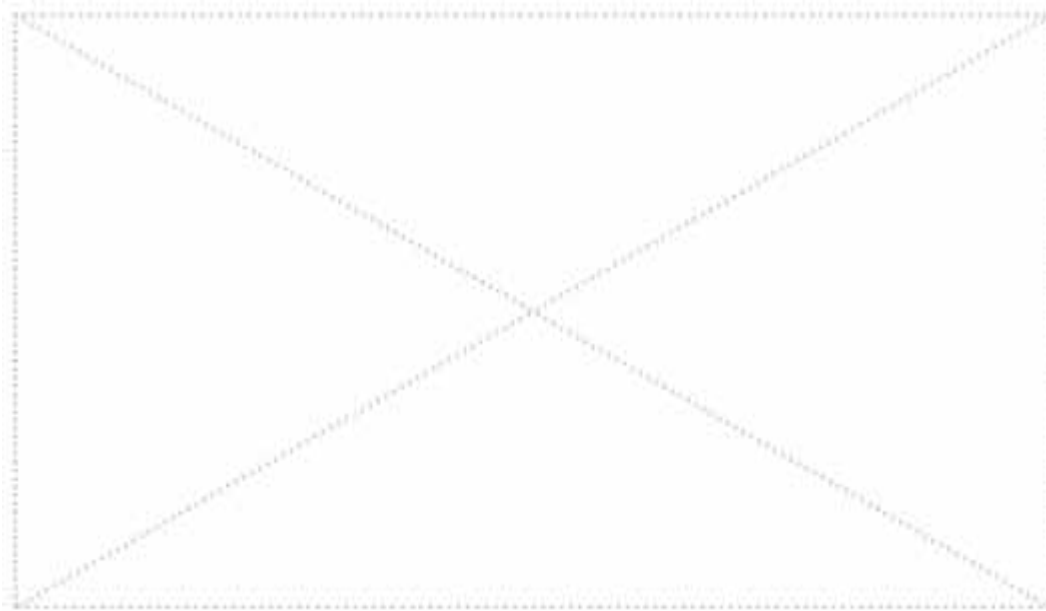
- (타 기술과의 연계) 핵융합(연)의 주요연구인 KSTAR, ITER, V-DEMO, 핵융합로 공학연구 모두 K-DEMO와 연계



자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-73] 연구 분야별 연계도

- (사전 개념설계) 2025년까지 K-DEMO 사전 개념설계 단계로, K-DEMO의 개념을 정의하고 설계기반을 구축 중
  - 핵융합로 설계 및 건설을 위한 핵심 요소기술 파악 및 중장기 개발전략 수립
  - 핵융합로 주요 시스템개념 정의 및 기본 설계를 위한 분석 코드개발 및 확보
  - 주요 핵심기술 개발 수준 및 전망을 고려한 최적의 K-DEMO 개념 정의 도출
- (핵융합로 공학연구) DEMO 요소기술 개발에 관한 연구를 시작하고 있으나, DEMO급 성능 검증·평가 장비 등 실증인프라 부족으로 실증연구 지연 중
- (기술개발 로드맵) 핵융합재료, 연료주기, 디버터, 증식블랑켓 등 DEMO 요소기술을 늦어도 2035년까지 개발하는 로드맵을 수립
  - 고열속의 K-DEMO 운전조건에 적합한 선진형 디버터 개념 도출 및 성능 해석
  - 삼중수소 증식 및 열 추출을 위한 블랑켓 설계·안전 해석기술 및 계통 기술개발
  - 대규모 (준)연속 운전을 위한 삼중수소 연료주기 기술개발
  - K-DEMO 조건에 활용할 수 있는 구조재, 기능 소재, 대면재 개발 및 연구



자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-75] 핵융합로 공학연구 로드맵

- **(핵융합 재료)** 한국 고유 핵융합 재료 개발을 위한 연구개발 추진 중이나, 실증로급 기술확보를 위한 인프라 부족
  - (구조재) 핵융합(연)과 원자력(연)이 공동으로 한국 고유의 핵융합로용 저 방사화 철강 소재(ARRA) 개발 및 대용량 제조(6톤 규모), 부품 제작기술 확보(2017)
    - ※ ARRA : Advanced Reduced Activation Alloy (기존 소재 대비 충격/크립 특성 향상)
  - (대면재) 고밀도 텅스텐 제조기술 개발(서울대), 텅스텐 기계적 특성평가 방법론 개발(KAIST) 등 대학 중심의 기초연구 수행
  - (기능소재) 핵융합(연) 중심으로 삼중수소 증식재 원료인 리튬세라믹 분말 합성 기술, 페블 제조 원천기술 및 대량생산 기술개발(2016)
    - ※ 삼중수소 증식재의 경우 EU, 일본, 중국, 인도 등과 함께 교차실험을 수행해 한국에서 개발한 증식재 페블이 가장 균일한 특성을 지니는 것으로 확인되었음(2015)
  - (인프라 부족) 핵융합 재료의 취급시설 및 특성평가 시설과 같은 인프라 부족으로 인해 물성 DB 구축 한계 및 인허가 획득 지연 가능성 보유
- **(연료주기)** KSTAR, ITER 프로그램을 통해 삼중수소 저장·공급 시스템 개발을 수행 중이나, 실증로에 활용되는 대량의 삼중수소를 취급하는 연료주기 개발 필요
  - ※ KSTAR에 Pellet Injector 설치를 통한 소량 중수소 주입을 실험하고 있으며 Scattered Pellet Injector의 ITER 적용 가능성 검증 예정
  - ※ ITER 조달을 위해 핵융합(연)에서 삼중수소 저장 용기 개발 및 시스템 설계·검증, 대학 및

- 산업체에서 고농도 삼중수소 취급 시스템 기술추적, 삼중수소 재고량 공정분석 부분 수행 중
- 삼중수소 제거설비 제작 및 운전을 통한 수 그램의 삼중수소 처리 경험을 축적하고 있으나, 핵융합 연료주기에 적용될 대량 삼중수소 취급 경험 미비
  - ITER 조달을 통해 연료주기 시스템 전체 중 일부분인 삼중수소 저장·공급 시스템에 국한하여 기술개발 진행 중이며, 실증로 적용을 위해서는 핵융합 연료주기에 적합한 다양한 요소기술의 개발 필요
- (디버터) 핵융합(연)을 중심으로 ITER급 텅스텐 디버터를 개발 중이며, 실증로급 디버터 시험평가 설비의 확보를 통한 연구수행이 필요
- 디버터 성능 검증을 위한 국내 고 열부하 시험설비는 냉각 설비 용량 부족으로 ITER급 및 실증로급 디버터의 성능 검증에 활용이 부족하며, 핵융합중성자 조사설비의 부재로 실증로급 디버터 검증에 한계 존재
  - 디버터 설계를 위한 여러 코드의 국내 활용 능력을 향상 및 인력 확충으로 플라즈마 열속 시뮬레이션 응용기술의 확보 필요
  - 핵융합(연)을 중심으로 ITER급 텅스텐 디버터의 제작기술 국산화를 위한 제작 및 검증 기술개발을 진행 중
- ※ ITER 비조달 핵심기술개발사업으로 텅스텐과 구리합금 접합기술을 개발하고 ITER 디버터 1단계 열부하 조건(10MW/m<sup>2</sup>, 5,000회) 달성 및 2단계 조건(20MW/m<sup>2</sup>, 300회) 실험 진행 중
- (증식블랑켓) ITER TBM 프로그램을 토대로 기술개발 추진 중이나, 예산 및 시설의 한계로 실증로급 기술확보 미흡
- 한-EU TBM 공동개발을 위해 주요사항에 대한 가이드라인 마련 및 세부사항 구체화를 위한 기술팀 검토 진행(2020.4월~)
- ※ ITER TBM 설치공간 축소(6개→4개, 2018)에 따라, 우리나라는 핵심기술 확보를 위해 EU와 공동개발(한국이 주도국)을 추진하고 주요사항에 대한 협상 착수(2019.9월~)
- 핵융합(연)과 원자력(연)을 중심으로 ITER TBM\* 프로그램 참여로, 한국형 TBM 및 보조시스템의 예비안전분석보고서(2014) 및 개념설계안 승인(2016)
- ※ ITER 담당 부서 및 전문가 패널의 3차 검증을 통해 한국 TBM 설계의 타당성 및 안전성을 인정받음
- ※ TBM은 핵융합 연료인 삼중수소의 증식 및 열에너지 추출을 실증하기 위해 ITER에 설치 (2029년 이후)하는 증식블랑켓 시험 모듈
- 증식블랑켓은 핵융합 실증로 환경에서 검증된 기술개발이 필요하나, 시설 및 예산 부족으로, 실증로급 증식블랑켓은 전산모사를 중심으로 개념연구 수준

- (V-DEMO) 최고 성능을 위한 최적화 설계를 목적으로 한 시뮬레이터로, 2025년까지 V-KSTAR를 구축할 계획이며 2020년 슈퍼컴퓨터를 도입
- (로드맵) ITER 성능예측, K-DEMO 설계분석을 위한 기본 도구로 활용하기 위해 가상세계에 KSTAR, ITER, DEMO를 구축하는 것으로 2025년까지 V-KSTAR 구현 계획
  - ※ V-KSTAR 구현(~2025), V-ITER 구현(~2030), V-DEMO 구현(~2035), V-DEMO 검증(~2040)
    - 플라즈마 난류수송, MHD 불안정성 등 세부 요소 분야별 시뮬레이션 코드개발
    - 요소 시뮬레이션 코드들을 결합한 전 공간 통합시뮬레이터 개발
    - KSTAR 실험데이터와 비교 분석을 통한 코드 검증 및 개선



자료: 국가핵융합연구소(2019). 국가핵융합연구소 독립기관 기획 연구용역

[그림 2-77] V-DEMO 로드맵

- (연구현황) 2010년부터 대규모 핵융합 시뮬레이션 연구를 수행 중이며, 2020년 페타플롭스급 슈퍼컴퓨터를 도입하여 KSTAR와의 정량적 비교연구 추진 중

NBI 시뮬레이션 코드개발 KSTAR 가열에 따른 고속 이온 손실 분포 분석	60 테라플롭스급 핵융합 슈퍼컴 1호기 운영

자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-79] V-DEMO 연구현황

□ (기술 수준) 전력생산 실증을 위해 확보 필요한 8대 핵심기술 분야에 대한 기술 수준은 아직 TRL 2~4로 국외에 비해 떨어짐

○ 고자장 초전도 자석 분야를 제외하고 대부분의 핵심기술 분야에서 해외 주요 국가들보다 TRL 수준이 낮음

- 고자장 초전도 자석은 TRL 5~6 수준으로, 국외와 비슷한 수준이며, 타 기술들은 TRL 2~4수준으로 국외 TRL4~5보다 다소 낮음

※ 핵융합(연)에서 내외부 전문가를 활용하여 TRL 수준을 평가하였음

<표 2-23> 핵융합 8대 핵심 실증기술 수준

8대 핵심 실증기술	세부 추진기술	현재 TRL	국외 TRL
노심 플라즈마 기술	노심 플라즈마 제어기술	4	5~6
	노심 플라즈마 진단기술	3	4
	노심 플라즈마 시뮬레이션 기술	2	3
증식블랑켓 기술	설계/안전 해석 기술	4	4
	제작/검증 기술	4	4
	계통 기술	4	5
핵융합 고유소재	구조재 기술	5	6
	대면재 기술	3	4
	기능소재 기술	2	3
연료주기 기술	안전 기술	4	5
	정제·분리·저장 기술	3	4
	연료공급 기술	3	4
	진공배기 기술	2	3
디버터 기술	설계 기술	4	4
	제작 및 검증 기술	4	4
가열 및 전류구동 장치	가열 및 전류구동 장치 기술	3	5
	가열 및 전류구동 통합 기술	2	4
고자장 초전도 자석	초전도 선재 기술	6	6
	초전도 도체 기술	6	6
	초전도 자석 기술	5	6
	초전도 자석기반 시스템 기술	6	6
핵융합 안전·인허가	안전성 평가 기술	3	4
	인허가 기술	4	5

자료: 한국핵융합에너지연구원 내부자료

## 2 실증인프라

### 가. EU

- (DT연구 시설 JET) 중수소 및 삼중수소를 반응시키는 D-T 실험이 가능한 유일한 장치로, ITER 핵심기술 테스트 및 성능향상 연구를 추진 중
- (연구내용) EU 핵융합 프로그램의 핵심 연구장치로 ITER 운전을 위한 핵심 시스템 및 기술에 대한 테스트와 향상 연구계획
  - ITER의 붕괴완화 시스템, 삼중수소 모니터링 및 제거, 원격제어 프로세스, 진단기술 등 ITER 장치 운전을 위한 선행 실험 연구 준비를 계획
  - 2009년~2011년 ITER와 동일한 베릴륨 내벽, 텅스텐으로 코팅된 CFC 디버터로 업그레이드 진행



자료: Culham Centre for Fusion Energy, <https://ccfe.ukaea.uk/>

[그림 2-82] JET

- (DT실험) 세계 최대의 핵융합 장치로서 전 세계에서 유일하게 DT 실험이 가능하고, 1991년 세계 최초로 실험에 성공한 뒤 1997년 약 1초간 핵융합 전력을 생산하기도 했으며, 2020년, 2023년에도 DT실험 추진



자료: I.Chapman(2018). UKAEA: The Path to Delivering Fusion Power

[그림 2-84] JET 추진일정

- (영국과의 협약 연장) EU와의 협약에 따라 영국에서 운영하고 있으며, 브렉시트에도 2020년까지 1,313억 원 연장 계약을 체결했으며, 2023년까지 계약을 재연장
- (중성자원 IFMIF-DONES) 핵융합 재료 방사화 데이터 확보를 위한 가속기 기반 핵융합 중성자원으로, 1조 원 가까이 투자하여 2030년 운영 목표
- (연구내용) DEMO 건설을 위한 재료 방사화 데이터를 조기에 확보하는 연구
  - IFMIF 전 단계인 DONES를 통해, DEMO 로드맵에 따른 DEMO 설계 및 인허가, 건설, 안전성 확보 등에 필요한 재료 방사화 데이터를 조기에 확보
  - ※ 1개의 가속기가 설치된 DONES는 추후 2개의 가속기가 설치된 IFMIF로 업그레이드
  - 일본과 공동연구한 IFMIF/EVEDA 시설구축과 연구성과와 경험을 토대로 구축



자료: A.Ibarra(2019). A Neutron Source for Fusion: The DONES Project

[그림 2-86] DONES 레이아웃

- (예산 및 로드맵) 현재는 2024년까지 공학 설계 단계로, 2030년 운영을 목표로 9,757억 원을 투자할 계획이며, 2033년~2035년 첫 재료 데이터 확보 예상



자료: A.Ibarra 외(2019). IFMIF-DONES Progress and Future Plans

[그림 2-88] DONES 마일스톤

- 스페인 그라나다 약 10만㎡ 부지에 건설하는 것을 2017년 결정



자료: A.Ibarra(2019). A Neutron Source for Fusion: The DONES Project

[그림 2-90] DONES 조감도

- **(공학 설계)** 메인 빌딩 및 플랜트 시스템 계약을 위한 시방서 초안을 마련하고, 핵심 장치 프로토타입을 개발하며, 안전·활용·관리·Neutronics 등의 중장기 프로젝트 지원을 수행 중
  - 2019년부터 2021년까지 약 55억 원을 투자하여 DONES 건설에 관한 국제 컨소시엄 정교화 및 협약(안)을 마련 중
  - ※ 거버넌스, 법률, 예산 등을 포함해 DONES의 구체적인 건설안을 수립 중이며, 스페인 그라나다에 건설에 관한 주요이슈 등을 주관하는 기술프로젝트사무소를 2020년 건설



자료: 한국핵융합에너지연구원(2021). 글로벌 핵융합에너지 개발 동향

[그림 2-92] IFMIF-DONES 추진현황



- (디버터 연구시설 DTT) 핵융합 플라즈마 부하제어가 가능한 디버터 시스템 연구를 위한 초전도 토카막 장치를 6,000억 원을 투자하여 2025년 완공예정
- (연구내용) 최신 디버터 배치, 액체 금속 등의 다양한 디버터 대안을 테스트하고, 이를 기반으로 ITER 실험을 지원, 보완하기 위해 붕괴의 회피/완화, 플라즈마 대면 장치, ELM pacing, 플라즈마 제어 등에 관한 R&D를 추진할 예정



자료: R.Albanese 외(2019). The New Divertor Tokamak Test Facility

[그림 2-94] DTT

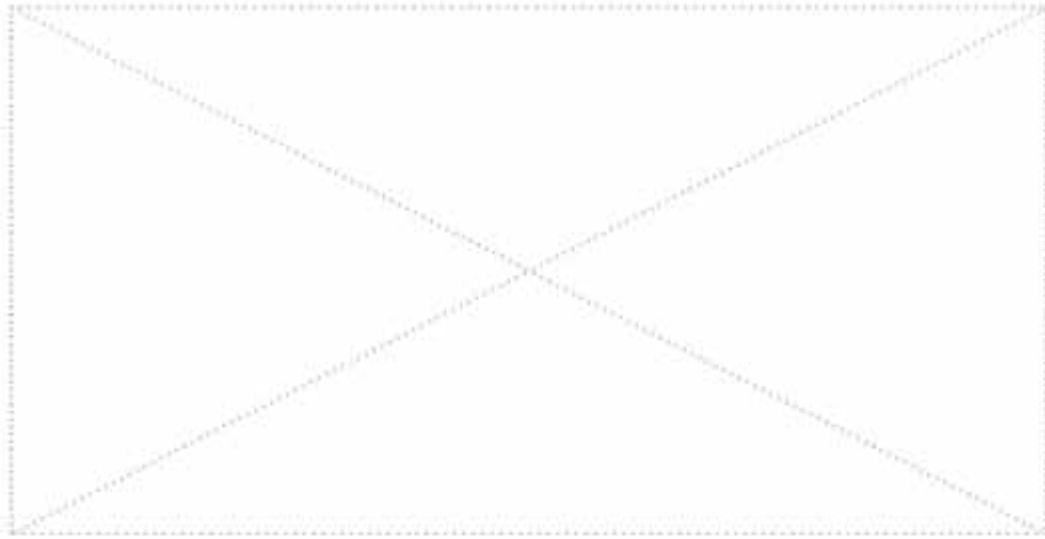
- (예산 및 로드맵) 2018년 건설에 착수하여 2025년 완공까지 6,000억 원을 투자할 계획이며, 현재 최종설계 중으로 2050년까지 디버터 연구를 진행할 예정
- ※ (0단계, 2025~2028) 완공 및 FP(First Plasma) → (1단계, 2028~2032) 가열시스템 설치 (25MW) → (2단계, 2032~2036) 가열시스템 업그레이드(45MW) → (3/4 단계, 2036~ 2040) 액체-금속 디버터 테스트 등

건설일정	운영계획

자료: R.Albanese 외(2019). The New Divertor Tokamak Test Facility; 국가핵융합연구소(2020). 주요 국의 핵융합 연구동향 분석 및 시사점 도출

[그림 2-96] DTT 추진일정

- 이탈리아 Frascati 연구센터에 건설한 예정
- ※ Frascati 연구센터: ENEA 에서 두 번째로 큰 연구기관으로 주로 핵융합, 레이저 소스, 입자 가속기, 방사선 활용 등에 관한 연구개발을 수행하며, 산하 연구기관 9개, 실험실 5개



자료: R.Albanese 외(2019). The New Divertor Tokamak Test Facility

[그림 2-99] DTT 건설부지

## 나. 영국

### □ (핵융합 재료 연구시설 FTF) 핵융합 장치 및 재료 전주기 테스트 시설로, 2021년부터 운영을 시작

- (연구내용) 핵융합발전소 설계에 필요한 연구 수행 및 프로세스 구축 예정
  - (연구 장비) 열-수력 테스트 스탠드, 전자기 테스트 리그, 재료 접합 검증용 테스트 리그, 신소재 합금 및 제조 물질 분석용 테스트 리그 등 연구 장비 보유
- (로드맵) Culham Science Center에 소재하며, 2021년 개소했으며, 일부는 산업체와의 협력을 위해 일부 연구시설을 요크셔에 건설
  - 1차벽, 블랑켓, 디버터, 진단시스템 등의 프로토타입 테스트를 위한 CHIMERA를 2022년 구축 예정

### □ (핵융합 재료 연구시설 MRF) 핵융합 반응로에 사용하기 적합한 물질의 샘플을 준비 및 시험하는 연구시설로, 인프라 추가 구축계획 수립

- (연구내용) 방사성 물질 분석을 위한 국가 원자력 사용자 시설(NNUF)로서 핵융합 분야의 연구자들이 활용
  - JET와 연계해 방사화된 물질 처리 및 특성을 연구
- (예산 및 로드맵) 샘플 준비부터 미세구조분석, 기계적 테스트, 열물성 분석 등을 위한 장비를 구축했으며, 2016년 개소하여 연간 예산은 2백만 파운드
  - (추가구축) 연료시스템 유지보수 시설 등을 포함해 테스트 시설을 확장하고 방사화 재료 측정 장치, 이온빔 등 추가구축 계획을 수립

### □ (삼중수소 연구시설 H3AT) 삼중수소 처리 및 저장 연구시설로, 2023년까지 추가적으로 ITER 1/20 수준의 삼중수소 시스템을 완공하여 운영할 예정

- (연구내용) 핵융합에너지 연료주기와 관련한 삼중수소 관련 첨단기술 개발
  - (주요시설 및 장비) 최첨단 삼중수소 연료주기 인프라, 다양한 삼중수소 관련 실험 지원이 가능한 인클로저 장비, 컴퓨터 시뮬레이션 및 모델 검증시설, 교육훈련 시설, 탈 삼중수소 화 관련 시설 등을 갖추
- (예산 및 로드맵) Culham Science Center에 2021년 완공했으며, 약 40 백만 파운드의 예산 규모
  - (추가구축) 삼중수소 100g 저장 기능, ITER 1/20 수준의 삼중수소 연료주기 시스템을 2023년 완공하여 운영 예정



자료: Culham Centre for Fusion Energy, <https://ccfe.ukaea.uk/>

[그림 2-101] H3AT

- (원격제어 연구시설 RACE) JET를 통해 축적된 로봇 및 원격제어시스템 기술을 고도화하기 위한 연구시설로, 인프라 추가 구축계획 수립

※ RACE: Remote Application in Challenging Environments

- (연구내용) 로봇기술, 원격제어 시스템 연구개발 성과를 핵융합 분야를 비롯해 다양한 연구, 산업 분야에서의 활용을 모색
  - (추진프로젝트) JET의 로봇기술, 원격제어 시스템 개발, ITER의 중성자빔 원격제어 프로젝트 (RHS: Remote Handling Systems) 등
- (예산 및 로드맵) 2016년에 개소, 건설에만 10 백만 파운드를 투자했으며, 현재 약 160명의 엔지니어 근무, 약 40개의 프로젝트가 운영되고 있음
  - (확장) 연구시설 확장에 3백만 파운드(약 48.7억 원)를 투자



자료: RACE, <https://race.ukaea.uk/>

[그림 2-103] 로봇틱스 개발

## 다. 일본

- (ITER 위성 토카막 JT-60SA) ITER 지원, DEMO 최적화 운전시나리오 개발을 위해 상전도 토카막 JT-60U를 해체해 초전도 토카막으로 업그레이드 완료
- (연구내용) 충분한 성능을 갖춘 다양한 플라즈마 구동 장치를 기반으로 ITER 위성 토카막으로서 ITER에서 야기될 수 있는 주요 위험을 완화하는 역할 수행
  - ITER 및 JT-60SA, 모델링/시뮬레이션, 로공학 등을 통해 다양한 운전시나리오 및 고성능 통합운전 실증, 통합 플라즈마 제어시스템을 개발하고, 이를 토대로 DEMO 설계 파라미터 결정



자료: JT-60SA Research Unit(2018). JT-60SA Research Plan: Research Objectives and Strategy

[그림 2-105] JT-60SA 역할

- (로드맵) BA 2단계 돌입에 따라 상전도 토카막 JT-60U를 해체해 초전도 토카막 JT-60SA로 업그레이드하여 2020년 완공했으며, 2022년 첫 가동 계획
  - 2021년에 중수소 원격 조정능력이 확보된 뒤 고성능 운전을 계획했으며, ITER 일정을 종합적으로 고려하여 운영계획을 수립



자료: K.Kurihara(2019). Fusion Energy Research & Development in Japan: Perspectives and Planning toward DEMO

[그림 2-107] JT-60SA 추진일정

□ (중성자원 IFMIF/EVEDA) EU IFMIF-DONS, 일본 A-FNS 건설 전  
검증을 위해 중성자를 통한 핵융합 재료 테스트 및 데이터 확보가 목적

○ (연구내용) 실증로의 엔지니어링 설계를 위한 데이터 제공 및 재료 성능 검증을  
위한 가속기 기반 중성자원 개발 프로젝트로 IFMIF/EVEDA 경험을 토대로  
EU는 IFMIF-DONES를, 일본은 A-FNS 중성자조사시설 건설을 추진

- IFMIF 건설을 위한 공학적 검증 및 설계, IFMIF 각 하부시스템 프로토타입에  
대한 안정적 운영 등 IFMIF에 관한 의사결정에 필요한 모든 데이터를 제공

- 가속기 프로토타입(LIPAc)과 리튬 테스트 루프(ELTL)로 구성

※ (가속기 프로토타입, LIPAc) IFMIF 가속기 설계 검증을 위해 하나의 가속기를  
시범적으로 설계 제작하여 실험·검증 수행



자료: J.Marroncle 외(2012). IFMIF-LIPAc Diagnostics and its Challenges

[그림 2-109] IFMIF와 LIPAc 구조 비교

※ (리튬 테스트 루프, ELTL) 핵융합 중성자 발생을 위한 IFMIF의 리튬 타겟 시설의 모든 요소를 포함



자료: P.Favuzza(2018). Assessment of Erosion-Corrosion Phenomena Induced by Liquid Lithium on Fusion Structural Materials

[그림 2-111] 리튬 테스트 루프(LIFUS6) 구조

□ (실증 종합연구시설 IFERC) 디버터, 블랑켓, 시뮬레이션, 원격제어 등 DEMO 설계 및 DEMO R&D 활동을 위한 시설

○ (연구내용) ITER 지원 및 DEMO 조기실현을 목표로 컴퓨터 시뮬레이션, ITER 원격실험, DEMO 설계, DEMO 기초 R&D 연구 등을 추진하며, 롯카쇼에 위치

- (DEMO 설계 및 R&D 코디네이션 센터) 핵융합로 및 디버터, 블랑켓 등에 대한 설계, 원격 유지·관리, 초전도 자석, 안전성 등 DEMO 사전개념설계 옵션 평가

※ 저방사화강(RAFM), SiCf/SiC 복합체 등 구조재 개발 및 중성자 증배재, 삼중수소 증식재 고도화, 기능소재 개발 등 공학기술 개발 추진 중



자료: K.Kurihara(2019). Fusion Energy Research & Development in Japan: Perspectives and Planning toward DEMO

[그림 2-113] IFERC 주요 R&D 활동

- (컴퓨터 시뮬레이션 센터) ITER 운전시나리오 준비, DEMO 설계 활동 등에 필요한 시뮬레이션을 위한 슈퍼컴퓨터 지원 및 활용

※ CSC(컴퓨터시뮬레이션센터)에 신규 슈퍼컴퓨터(JFRS-1)를 2018년 구축하고, 현재 EU-일본간 텅스텐 시뮬레이션 프로젝트 추진

- (ITER 원격실험 센터) ITER 원격실험에 필요한 장치 및 S/W의 준비 및 검증



자료: IFERC(2017). REC Demonstration with JT-60SA

[그림 2-115] REC 네트워크 구조도

□ (중성자원 A-FNS) DEMO 재료의 방사화 데이터를 획득하여 2035년 DEMO 건설에 반영하기 위하여 2031년 완공을 목표로 구축 중

○ (연구내용) 실증로 로드맵 목표달성을 위해 핵융합 재료 기술 및 관련 데이터의 조기 확보 검증을 위해 중성자원 구축 추진

- 핵융합 구조재 헬륨 발생 및 변위로 인한 영향, 블랑켓의 삼중수소 발생 및 회수, 실증로 진단 및 제어장치 내구성 분석 등 R&D 추진
- 완공 후 2033년까지 F82H 방사화 데이터를 확보·분석하여 2035년 DEMO 건설 여부 및 건설부지를 결정하는 데에 반영
- IFMIF/EVEDA 참여 경험 및 결과를 토대로 설계 추진



자료: K.Ochiai 외(2018). Design Progress of Advanced Fusion Neutron Source for JA/DEMO Fusion Reactor

[그림 2-117] A-FNS 설계(안)

○ (일정 및 로드맵) ITER 실험, 일본 DEMO 건설부지 결정 등을 고려해, 2031년 완공, 2035년 중성자원을 통한 DEMO 재료의 방사화 데이터 획득



## 일정을 수립

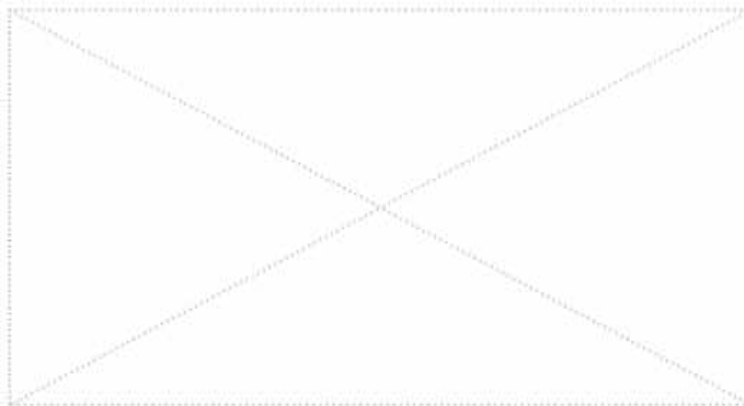
- 현재는 상세설계 단계로 25년까지 세부 추진일정 및, 시설 안전성 및 규제에 관한 기술이슈, 건설 및 운전 예산을 추정할 예정
- ※ 개념설계(CDA)(~2020) → 상세설계(EDA)(~2025) → 완공(~2031) → F82H 방사화데이터 확보·분석(~2033) → DEMO 재료 방사화 데이터 획득(~2025)



자료: K.Ochiai 외(2018). Design Progress of Advanced Fusion Neutron Source for JA/DEMO Fusion Reactor

[그림 2-119] A-FNS 추진일정

- QST 로카쇼 핵융합연구소 인근 지역에 약 13.5만 $m^2$  부지에 구축할 예정

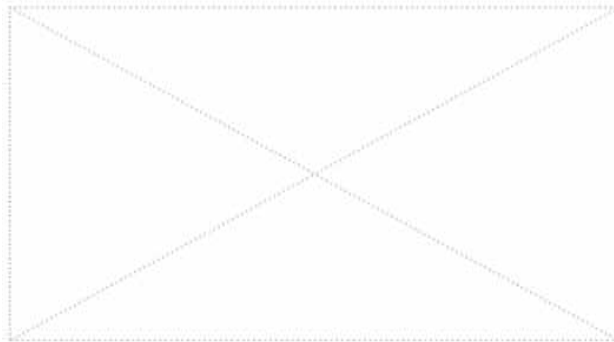


자료: K.Ochiai 외(2018). Design Progress of Advanced Fusion Neutron Source for JA/DEMO Fusion Reactor

[그림 2-120] A-FNS 조감도

### 라. 중국

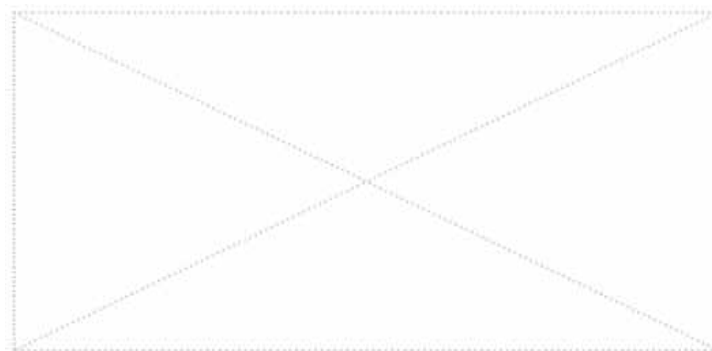
- (중국형 DEMO CFETR) 2035년 완공예정으로 2040년대 DEMO급 가동을 통해 ITER와 발전소의 기술적 간극을 해소할 것이며, 1천 억 위안 투자 계획
- (연구내용) 연소 플라즈마, 고성능 정상상태 운전, 삼중수소 증식기술 등 실증로 주요기술의 조속한 확보 및 핵융합 상용로 기반 구축을 위해 추진
  - 2030년대 1단계로 운전하고, 2040년대에 DEMO급 전력생산 실증을 수행하여 약 20년간 가동할 계획
  - ※ 단계별 목표: (1단계) CFETR 안정적 운영 및 삼중수소 자가증식을 통해  $Q=1\sim 5$ , 200MW 달성, (2단계) 상용화 가능한 핵융합 발전을 위해  $Q>10$ , 1GW 이상 달성
- (예산 및 로드맵) 2011년부터 2017년까지 개념설계를 완료하고 현재 통합공학 설계 단계로, 2035년 완공할 예정이며 1천억 위안을 투자할 계획



자료: 한국핵융합에너지연구원(2021). 글로벌 핵융합에너지 개발 동향

[그림 2-121] CFETR 조감도

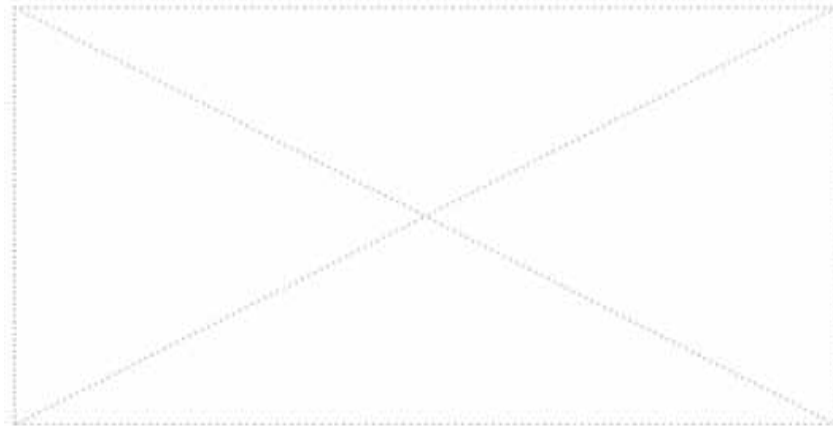
- (통합공학 설계) CFETR 물리 설계 및 파라미터 최적화, Nuclear 안전규제 프레임워크, 공학 설계의 통합, 보조 시스템 설계, DB 시스템 등을 2017년부터 추진 중



자료: 한국핵융합에너지연구원(2021). 글로벌 핵융합에너지 개발 동향

[그림 2-122] CFETR 통합공학 설계

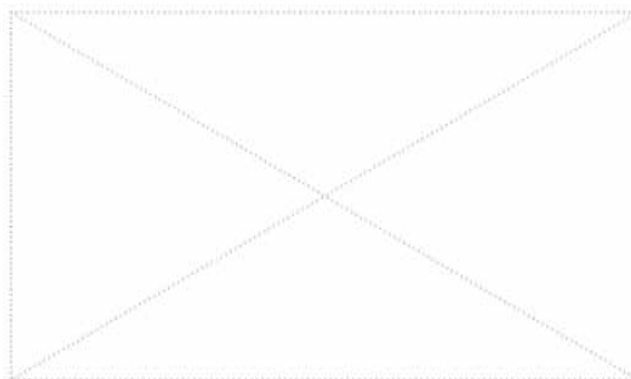
- (실증 종합연구시설 CRAFT) CFETR 건설지원을 위해 실증연구에 관해 종합적인 시설을 갖추었으며, 약 1조 1천억원을 투자하여 2025년 완공 예정
- (연구내용) 초전도 재료, 초전도 도체, 거대자석, 원격유지보수, 디버터 등 CFETR 건설지원을 위한 통합연구 시설
  - (초전도자석기술 연구시스템) 초전도 재료, 초전도 도체, 거대자석 연구를 위한 테스트 시설을 구축
  - (핵심 토카막 시스템) 가열시스템, RH시스템, 디버터 연구시스템, 진단 연구시스템 등을 위한 시설을 구축



자료: 제8회한중JCM(2020). Current Status Report of ASIPP

[그림 2-123] CRAFT 시설구성

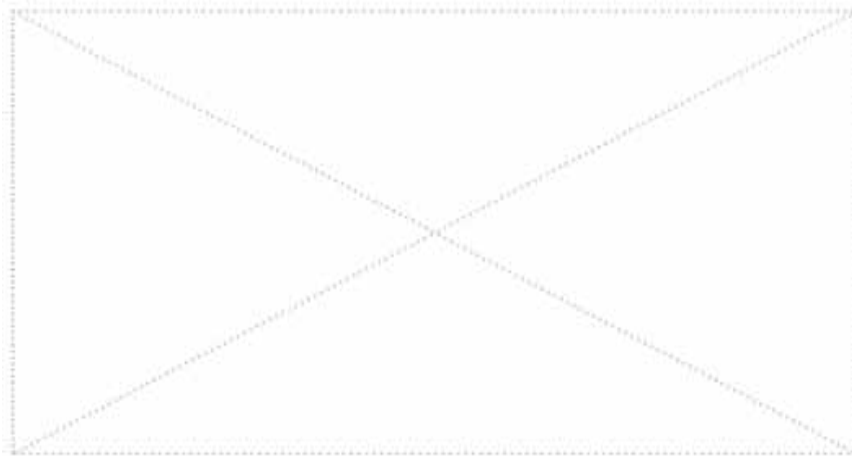
- (예산 및 로드맵) 2019년부터 2025년까지 건설 중이며, 1조 1,098억 원을 투자
  - 정보기술, 에너지(핵융합 등), 보건, 환경 등을 위한 허페이 국가 통합과학 센터 내 12만 평 부지에 조성 중



자료: CRAFT, [http://craft.ipp.ac.cn/cn/gcxc/index\\_34.aspx](http://craft.ipp.ac.cn/cn/gcxc/index_34.aspx)

[그림 2-124] CRAFT 조감도

- (중성자원 HINEG) 중성자 조사와 재료연구를 위해 고밀도 D-T 중성자 발생장치를 개발 중으로 2030년까지 10억 달러 투자하여 개발 완료 예정
- (연구내용) 핵에너지안전기술연구소(INEST)를 중심으로 3단계의 프로젝트를 추진
  - (HINEG-I) 2015년 개발 완료했으며, ITER TBM 구조재 후보인 CLAM 조사 테스트를 진행
  - (HINEG-II) 재료조사 테스트를 위해 개발하며, 현재는 공학 설계로 HINEG-II에 대한 다양한 옵션을 평가하고 사전 분석을 수행 중
  - (HINEG-III) 개념설계 단계로, 핵융합 재료 및 장치 테스트, Nuclear components 데이터수집, 핵폐기물 연소 테스트 등을 수행할 예정
- (일정 및 로드맵) 2025년까지 2단계, 2030년까지 3단계 구축 목표로, 최종 단계인 3단계 설계 및 건설 기간에 10억, 비용은 10억 달러 예상



자료: Y.Wu(2019). Latest Fusion R&D Activities at INEST

[그림 2-125] HINEG 개발단계

## 마. 국내

- (기술별 인프라) 증식블랑켓, 삼중수소 등 다양한 DEMO 요소기술 개발을 위한 중성자원과 DEMO급 검증을 위한 시험·평가·검증시설이 종합적으로 필요
- (V-DEMO) V-ITER, V-DEMO 기술개발을 위한 슈퍼컴퓨터 추가확보 필요
  - (현황) 2020년 KSTAR 수준의 노심 플라즈마 시뮬레이션을 위한 페타플롭스급 계산자원을 확보한 상태
  - (필요 인프라) 2020년 V-KSTAR를 위한 페타플롭스급 슈퍼컴퓨터를 확보한 상태로, 향후 V-ITER, V-DEMO 기술확보를 위해 단계적으로 계산자원 추가확보 필요
- (중성자원) 핵융합 실증로 환경을 구현하기 위해 DT 반응을 통한 14MeV 핵융합중성자 혹은 유사에너지의 고속중성자를 발생시키는 시설, 증식블랑켓, 핵융합 재료, 연료주기, 디버터 연구개발에 필수적
- (증식블랑켓) 실증로 환경에서의 증식블랑켓 시험 및 평가를 위해 국내 핵융합 중성자발생원 시설 및 삼중수소 측정시설 필요
  - (현황) 실증로 환경에서 검증된 기술개발이 필요하나, 실증로 환경 구현시설 부족으로 기술을 확보하지 못하고 있으며 전산모사 중심의 개념연구 수준
  - (필요 인프라) 증식재료로부터 중성자와 리튬의 핵반응에 의해 생성된 삼중수소를 추출, 분리, 계측이 가능한 시설인 삼중수소 측정시설 필요
- (핵융합 재료) 재료 취급 및 특성평가 시설 부족으로 물성DB 구축, 인허가 획득에 한계가 있는 상황으로, 중성자원, 베릴륨 취급시설, 삼중수소 측정시설 등이 필요
  - (현황) 핵융합 재료의 취급시설 및 특성평가 시설과 같은 인프라 부족으로 인해 물성 DB 구축 한계 및 인허가 획득 지연 가능성 존재
  - (필요 인프라) 극한 소재 개발을 위해서는 조사 후 시험시설, 고 열부하시험시설, 베릴륨 관련 연구를 수행하기 위한 베릴륨 취급시설, 재료 특성/성능 평가를 위한 중성자 조사시설 및 삼중수소 측정시설 등 인프라 확보 필요
  - ※ (조사 후 시험시설) 핵융합중성자가 조사된 재료를 이용하여 각종 연구를 수행할 수 있는 시설로써, 방사능 차폐 및 특성평가 시험설비가 필요
  - ※ (고 열부하시험시설) 대면재의 고 열속 저항성을 평가하기 위해 전자빔 등을 이용하여 열부하를 인가할 수 있는 시험시설
  - ※ (베릴륨 취급시설) 중성자 증배재의 원료인 베릴륨은 독성이 강하므로 보건 안전이 확보된 상태에서 연구를 수행할 수 있는 베릴륨 취급시설

- (연료주기) 핵융합 환경에서의 실증을 위해 중성자 조사시설이 필요
  - (디버터) 실증로급 디버터 열부하 시험평가를 위한 고열부하 시험시설 및 핵융합 중성자 영향평가를 위한 중성자 조사시설 소요
    - (현황) 디버터 성능 검증을 위한 국내 고 열부하 시험설비는 냉각 설비용량 부족으로 ITER급 및 실증로급 디버터의 성능 검증에 활용이 부족하며, 핵융합 중성자 조사설비의 부재로 실증로급 디버터 검증에 한계 존재
    - (필요 인프라) 국내에 핵융합 실증로 디버터 환경을 구현하기 위해 실증로급 냉각설비를 갖춘 고 열부하 시험시설 필요
- ※ 2021년 ITER급 고열부하 시험설비, 2025년 DEMO급 고 열부하 시험시설 필요

<표 2-24> 실증연구 필요 시설

시설명	필요분야	내용
슈퍼 컴퓨터	V-ITER, V-DEMO	현재 V-KSTAR 구현을 위한 페타플롭스급 슈퍼컴퓨터를 확보했으며, V-ITER, V-DEMO 구현을 위한 추가확보 필요
중성자원	증식블랑켓, 핵융합 재료, 연료주기, 디버터	핵융합 실증로 환경을 구현하기 위해 D-T 반응을 통한 핵융합 중성자(14 MeV)를 발생시켜, 각종 부품을 조사 시험하는 시설
삼중수소 측정시설	증식블랑켓, 핵융합재료	증식재료부터 중성자와 리튬의 핵반응에 의해 생성된 삼중수소를 추출, 분리, 계측이 가능한 시설
조사 후 시험시설	핵융합 재료	핵융합 중성자가 조사된 재료를 이용하여 각종 연구를 수행할 수 있는 시설로써, 방사능 차폐 및 특성평가 시험설비가 필요
고열부하 시험시설	핵융합재료, 디버터	대면재의 고열속 저항성을 평가하기 위해 전자빔 등을 이용하여 열부하를 인가할 수 있는 시험시설
베릴륨 취급시설	핵융합 재료	중성자 증배재의 원료인 베릴륨은 독성이 강하므로 보건 안전이 확보된 상태에서 연구를 수행할 수 있는 베릴륨 취급시설

## 3 특허

□ (특허 동향) 핵융합에너지기술 관련 특허는 2008년부터 증가 추세를 보이다 최근 감소하는 추세

○ (연도별) 핵융합에너지 분야의 최근 10년간 연도별 특허 동향은 2008년부터 증가하는 추세를 보이다가 최근에 감소하는 추세를 보임

- 최근 10년간 연도별 특허 동향은 2008년부터 2014년까지 연평균 12.8%로 증가하다가 15년을 기점으로 감소

- 2012년~2013년 특허 감소이유는 후쿠시마 원전사고로 인해, 세계적 원전 안전 불안감으로 핵융합 산업에까지 영향

※ 에너지 생산원리는 다르지만, 핵과 발전이란 연결고리로 인해 핵융합 산업 위축

- 2018년 이후 데이터는 특허출원 후 실제 출원이 이루어졌으나 아직 공개되지 않아 미포함 데이터 존재하여 의미 부여하기 어려움

※ 특허출원 후 1년 6개월이 경과 하여야 공개되는 특허제도의 특성으로 인함

(단위: 건)



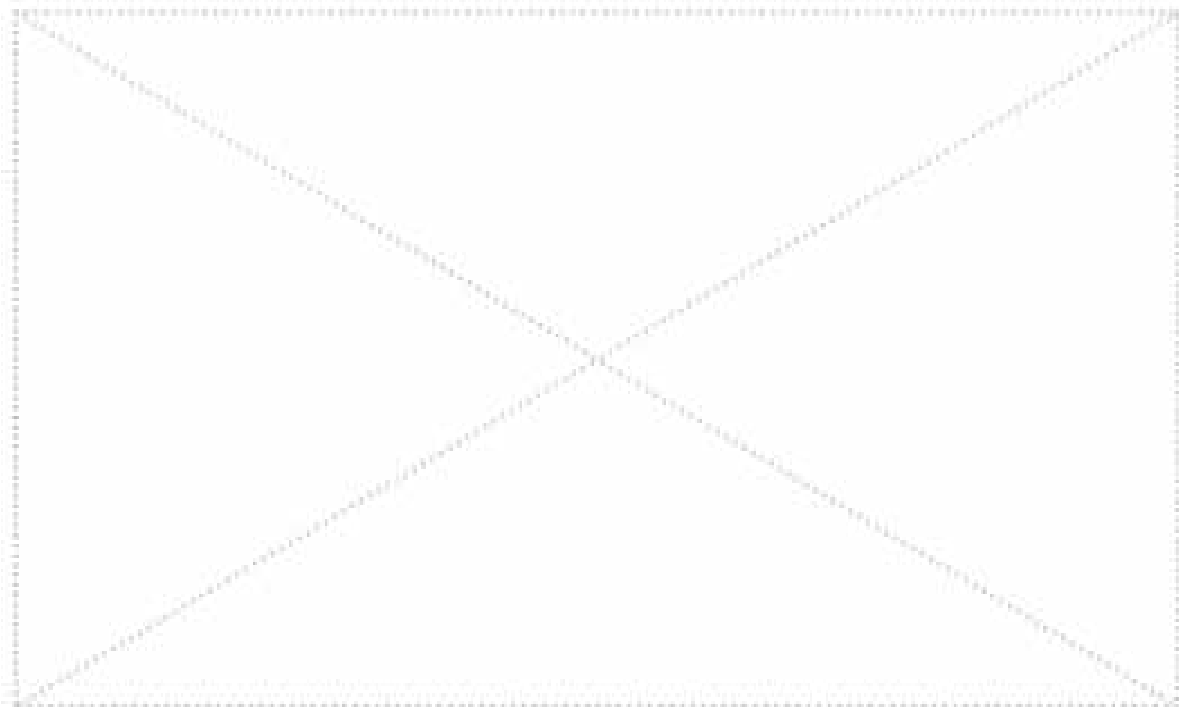
자료: 한국과학기술기획평가원(2021), 2020년 기술 수준평가

[그림 2-126] 연도별 출원 동향

○ (주요국별) 핵융합에너지기술 관련 특허등록 활동은 미국에서 가장 활발히 진행하며 선도

- 2009년도에 미국을 중심으로 특허등록이 활발했으며, 2014년도에 가장 많은 특허를 등록함
- 중국이 미국에 이어 가장 많은 특허등록을 하며, 핵융합 특허 부분에서 빠르게 추격함
- 한국은 2012년에 가장 많은 특허등록을 했으나 해당연도를 제외하면, 타 국가대비 저조한 수준

(단위: 건)



자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

[그림 2-127] 주요국별 특허 동향



- (기관별 특허등록) 핵융합 특허등록 기관 중 TOP 10에 속하는 상위 기관은 중국이 4개사, 일본과 한국이 2개사 EU와 미국이 1개사
- 핵융합 분야의 주요등록기관 TOP 10을 추출한 결과, EU의 TOKAMAK ENERGY가 전체 등록기관 1위로 나타남
  - 그 뒤를 이어 일본의 HAMAMATSU PHOTONICS, 한국의 고려대학교, 미국의 LOCKHEED MARTIN이 다수의 특허등록

&lt;표 2-25&gt; 특허등록 건수 TOP 10기관

NO	출원인명	국적	건수	전체점유율	특허증가율
1	TOKAMAK ENERGY	EU	18	11.1%	250.0%
2	HAMAMATSU PHOTONICS	일본	14	8.6%	0.0%
3	고려대학교	한국	6	3.7%	0.0%
4	LOCKHEED MARTIN	미국	6	3.7%	500.0%
5	INSTITUTE OF PLASMA PHYSICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	중국	5	3.1%	300.0%
6	SOUTHWESTERN INST PHYSICS	중국	5	3.1%	50.0%
7	KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES	일본	5	3.1%	50.0%
8	INST PLASMA PHYSICS CAS	중국	4	2.5%	-400.0%
9	HEFEI INSTITUTES OF PHYSICAL SCIENCES, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	중국	4	2.5%	300.0%
10	한국 원자력연구원	한국	4	2.5%	-66.7%

자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

- (특허 활동력) 활동력 지표에서 미국과 일본, EU가 각 부분 중 1개의 부분에서 1위를 차지하며 활동적, 한국은 모든 지표에서 4~5위를 차지하며 부진
- (특허 건수 및 점유율) 전체 422건의 특허 중 미국이 116건, 총 27.5%의 점유율을 보이며 선도
  - 미국이 총 116건, 27.5%의 점유율로 가장 많은 특허를 등록함
  - 중국이 최근 구간에서 64건 등록 1위에 랭크, 전체 27.0% 점유율을 기록 선도국인 미국을 추격
  - 한국은 총 30건, 7.1%의 점유율을 기록하며 주요국 중 5위로 가장 저조함
- (특허증가율) 일본이 66.7%의 특허증가율을 보이며 최근 구간 활발한 특허등록 활동
  - 일본은 과거 구간에서 36건 특허등록 전체 특허 점유율 중 18.8%로 3위에 랭크, 최근 구간에서 60건 전체 26.1% 점유율을 보이며 2위에 랭크 됨
  - EU(44.4%)와 중국(28.0%) 또한 최근 구간에서 활발한 특허등록
  - 한국(-23.5%)과 미국(-12.9%)은 최근 구간에서 하락하며 특허등록 활동 저조

<표 2-26> 주요국별 특허 건수, 점유율 변화 및 증가율

(단위: 건)

국가	특허 건수			점유율 변화	특허 증가율
	전체구간 건수 (점유율)	과거 구간 건수 (‘08~’12년) (점유율)	최근 구간 건수 (‘13~’17년) (점유율)		
한국	30 (7.1%)	17 (8.9%)	13 (5.7%)	-3.2%	-23.5%
중국	114 (27.0%)	50 (26.0%)	64 (27.8%)	1.8%	28.0%
일본	96 (22.7%)	36 (18.8%)	60 (26.1%)	7.3%	66.7%
EU	66 (15.6%)	27 (14.1%)	39 (17.0%)	2.9%	44.4%
미국	116 (27.5%)	62 (32.3%)	54 (23.5%)	-8.8%	-12.9%
전체	422 (100.0%)	192 (100.0%)	230 (100.0%)	-	19.8%

자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

○ (해외출원도) 특히 해외출원도를 살펴보면 EU가 6.8로 나타나며 선도함

- EU는 과거 구간 7.1에서 최근 구간 6.5로 하락했으며, 미국이 과거 구간 6.2에서 최근 구간 6.5로 상승함
- 한국은 과거 구간과 최근 구간 1.2로 4위에 랭크 됐으나, 이는 모두 평균보다 낮은 수치

<표 2-27> 주요국별 특히 해외출원도

국가	전체구간	특히 해외출원도		변화
		과거 구간('08~'12년)	최근 구간('13~'17년)	
한국	1.2	1.2	1.2	-
중국	1.1	1.2	1.1	0.1
일본	2.3	2.2	2.4	0.2
EU	6.8	7.1	6.5	-0.6
미국	6.3	6.2	6.5	0.3
평균	3.7	3.8	3.6	

자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

(단위: 개국)



자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

[그림 2-128] 주요국별 특히 해외출원도

□ (특허 기술력) 기술력 지표에서 미국이 2개, 일본과 EU가 각각 1개의 지표에서 1위를 기록하며 선도, 한국은 기술력 지표에서 또한 4~5위를 기록 하며 부진

○ (특허 영향력) 일본이 특허 영향력 1.2로 가장 높은 영향력을 보임

- 일본이 전체 특허 영향력 1.2로 가장 높으나, 이는 과거 구간 2.5에 집중되어 나타난 결과로 최근 구간에서는 특허 영향력 부진
- 미국은 과거 한국, 중국과 같이 0.0의 영향력을 보였으나, 최근 구간에서 1.1로 2위에 랭크 됨
- 한국은 과거 구간에서 3위에 랭크 되었으나, 이는 미국, 중국과 같이 0.0 수준으로 최근 구간 하락하였다는 의미 부여 어려움

<표 2-28> 주요국별 특허 영향력

국가	전체구간	특허 영향력		변화
		과거 구간('08~'12년)	최근 구간('13~'17년)	
한국	0.0	0.0	0.0	-
중국	0.0	0.0	0.0	-
일본	1.2	2.5	0.5	-2.0
EU	0.5	1.0	0.3	0.7
미국	1.1	0.0	1.1	1.1
평균	1.0	1.8	0.8	-

자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

(단위: 회)



자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

[그림 2-129] 주요국별 특허 영향력

○ (중요특허 비율) 전체 특허 422건 중 중요특허는 161건으로, 이중 미국이 39.1%로 가장 높게 나타남

- 미국은 과거 구간 44.0%, 최근 구간 34.9% 중요특허 등록하며 선도
- EU가 최근 구간에서 33건의 중요특허 등록, 전체 56건을 등록하며, 전체 34.8% 비중 차지하며 선도국인 미국을 추격
- 한국은 과거 구간 6.7%로, 주요국 중 4위에 랭크 되었으나, 최근 구간의 중요특허 비율은 0.0% 5위에 랭크 됨

<표 2-29> 주요국별 중요 특허비율

국가	전체구간	중요 특허비율		변화
		과거 구간('08~'12년)	최근 구간('13~'17년)	
한국	3.1%(5건)	6.7%(5건)	0.0%(0건)	-6.7%
중국	3.1%(5건)	1.3%(1건)	4.7%(4건)	3.3%
일본	19.9%(32건)	17.3%(13건)	22.1%(19건)	4.8%
EU	34.8%(56건)	30.7%(23건)	38.4%(33건)	7.7%
미국	39.1%(63건)	44.0%(33건)	34.9%(30건)	-9.1%

자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

(단위: %)



자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

[그림 2-130] 주요국별 중요 특허비율

○ (IP4 점유율) 전체 특허 422건 중 IP4 특허는 120건으로, 이중 미국이 45.0%로 가장 높게 나타남

- 미국은 과거 구간에서 49.2%, 최근 구간에서 41.0%로 가장 높게 나타남
- 한국은 과거 구간과 최근 구간 모두 0.0%로 IP4 점유율 없음

<표 2-30> 주요국별 IP4 점유율

국가	전체구간	IP4 점유율(건수)		변화
		과거 구간('08~'12년)	최근 구간('13~'17년)	
한국	0.0%(0건)	0.0%(0건)	0.0%(0건)	-
중국	0.0%(0건)	0.0%(0건)	0.0%(0건)	-
일본	20.0%(24건)	18.6%(11건)	21.3%(13건)	2.7%
EU	35.0%(42건)	32.2%(19건)	37.7%(23건)	5.5%
미국	45.0%(54건)	49.2%(29건)	41.0%(25건)	-8.2%

자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

(단위: %)



자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

[그림 2-131] 주요국별 IP4 점유율

- (청구항 수) 특허 청구항 수 부분에서 EU가 19.6으로 가장 높게 나타나며 활발함
- EU의 경우 과거 구간 18.1, 최근 구간 20.5로 가장 높음
  - 한국의 경우 과거 구간 9.7, 최근 구간 7.3으로 주요국 평균보다 낮은 수치를 보임

&lt;표 2-31&gt; 주요국별 특허 청구항 수

국가	전체구간	특허 영향력		변화
		과거 구간('08~'12년)	최근 구간('13~'17년)	
한국	8.8	9.7	7.3	-2.4
중국	5.7	5.5	5.8	0.3
일본	6.4	5.5	7.4	1.9
EU	19.6	18.1	20.5	2.4
미국	18.1	18.0	18.1	0.1
평균	11.3	10.2	12.2	-

자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

(단위: 항)



자료: 한국과학기술기획평가원(2021) 2020년 기술 수준평가

[그림 2-132] 주요국별 특허 청구항 수

#### 4 정부 연구개발 투자

- ※ 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)에서 최근 5년간('17~'21) 핵융합 관련 키워드 검색을 통해 과제 도출
- ※ 검색 키워드 : 핵융합, 핵융합기초연구, 핵융합선도기술개발

□ (투자 규모) 정부의 핵융합에너지 R&D 규모는 증가 추세나, 최근 5년간 실증로 관련 연구는 전체의 1% 수준으로, 총 75억 원에 불과

○ (실증로 연구) ITER 건설 기간연장에 따른 사업비 증가로 전체투자 규모는 최근 5년간 연평균 12% 증가 추세나, 최근 5년간 실증로 관련 연구는 74억으로 전체의 1%

- 전체투자 규모는 2017년 1,220억 원에서 2021년 1,954억 원으로 증가했으며, 최근 5년간 총 7,350억 원의 투자 중 ITER가 4,153억 원으로 가장 큰 비중
- 그러나 실증 플랜트 개념 및 기반기술 연구, 고성능 시나리오 연구 등 실증로 관련 연구는 최근 5년간 74.9억 원을 투자해 전체의 1%만을 차지

(단위: 억 원)



[그림 2-133] 핵융합에너지 R&D 투자 동향(2017~2021)



□ 국제핵융합실험로 공동개발사업(과기정통부, 산업부)

- (사업목적) 7개국(한국, 일본, 미국, 중국, 인도, 러시아) 공동의 국제핵융합 실험로(ITER)사업에 참여하여 핵융합에너지 핵심기술 확보
  - ※ 핵융합반응을 통해 대용량 전기생산 가능성을 공학적으로 실증하기 위한 열 출력 500MW, 에너지 증폭율(Q) 10 이상의 국제핵융합실험로 건설
- (지원 내용) ITER 회원국 국제조약(ITER 공동이행 협정)에 따라 현금분담금 납부 및 장치 설계·제작·운송
  - (현금분담금 등) 7개 참여국 간의 국제조약(ITER 공동이행협정)에 따라 ITER 기구 운영 등을 위해 매년 의무적으로 납부하는 한국 현금분담금과 운송관리 및 기술관리 비용
  - (장치개발·제작) 7개 참여국 간의 국제조약 및 ITER 건설일정·품질요건에 따라 한국 할당 조달품목별 제작·시험·운송 등을 고려한 장치개발·제작
- (사업 기간 및 규모) 2004년부터 2025년까지 22년간 1조 6432억 원을 투자

<표 2-32> 국제핵융합실험로 공동개발사업 연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원)

구분	2017	2018	2019	2020	2021	합계
과기정통부	28,500	35,736	33,354	47,226	67,100	211,916
산업부	27,300	34,334	32,046	45,374	64,400	203,454
합계	55,800	70,070	65,400	92,600	131,500	415,370

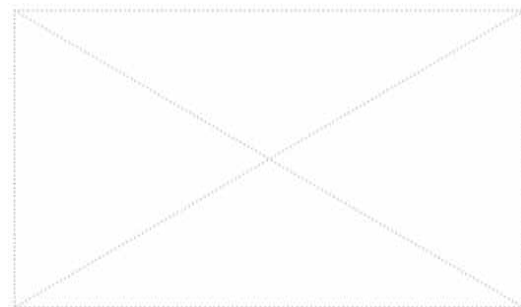
자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (수행 주체) 국가주도의 사업으로 투자액의 비중이 출연연구소(99.98%)에 집중

<표 2-33> 수행 주체별 정부연구비 (2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
대기업	100	0.02%
출연연	415,270	99.98%
합계	415,370	100.0%



자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

○ (개발단계) ITER 건설에 필요한 장치개발·제작에 집중된 기초연구단계

<표 2-34> 개발단계별 정부연구비 (2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
기초연구	415,370	100.0%
합계	415,370	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

○ (과학기술표준분류) 핵융합로 핵심기기 기술(23.3%)이 가장 많은 비중을 차지하였으며, 핵융합로 통합설계 기술(10.3%) 순으로 높은 비율을 차지

※ ITER기구 현금 분담금(52.6%)제외

<표 2-35> 과학기술표준분류별 정부연구비 (2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
ITER 기구 현금분담금	218,480	52.6%
핵융합로 핵심기기 기술	96,828	23.3%
핵융합로 통합설계 기술	42,716	10.3%
핵융합 노심기술	26,899	6.5%
핵융합 부품소재 기술	10,020	2.4%
기타	20,426	4.9%
합계	415,370	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

## ○ (적용 분야) 에너지 분야(99.87%)에 집중되어 나타남

&lt;표 2-36&gt; (2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
에너지	414,830	99.87%
전기·가스·증기·수도사업	540	0.13%
합계	415,370	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

## ○ (사업성과) 국제핵융합실험로의 논문·특허 성과는 국가 R&amp;D 성과에 비해 낮음

&lt;표 2-37&gt; 국제핵융합실험로 사업성과(2015~2019)

(단위: 건)

구분	ITER사업	국가R&D
SCI논문	0.28	2.00
국내등록특허	0.03	0.93

자료: 한국과학기술기획평가원(2021). 2019년 국가연구개발사업 성과분석보고서; 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

□ 핵융합 선도기술개발(과기정통부)

- (사업목적) 핵융합에너지 핵심기술 및 타 분야와의 융합기술 개발을 통해 핵융합 연구기반을 확대하고 ITER 운영 단계 선도 등 글로벌경쟁력을 강화
- (지원 내용) 핵융합 핵심기술의 우수 연구그룹을 지원하는 선도기술센터사업과 기계, 재료, 4차 산업혁명기술 등 타 분야와 핵융합의 융합을 지원하는 융합연구사업으로 구성
  - (선도기술센터) ① 핵융합 핵심기술임에도 선진국 역량 대비 기술격차가 커서 역량 확충이 시급한 분야, ② ITER 운영·연구계획을 고려하여 연구개발을 통한 향후 기술·인력 역량 확보 효과가 클 것으로 기대되는 분야를 지원
    - ※ 예: 연소 플라즈마 제어 및 진단기술 분야, 핵융합로 구조재, 대면재, 조사평가 기술분야, 연료주기 요소공정 및 연료순환계통 기술 등 기술 수준이 낮은 분야
    - ※※ 예: 노심 플라즈마 붕괴 및 ELM 제어, PFC 디버터 성능향상, 삼중수소 연료주기 개발 등
  - (융합연구) 다양한 이종 기술과 핵융합 기술 간 융합, 4차 산업 요소기술 활용 및 접목 등을 통한 외연 확대, 기술 고도화를 지원

<표 2-38> 핵융합선도기술개발 지원내용

구분	선도기술센터	융합연구
지원기간	3+2년	3년
연간연구비	약 12억 원	약 4억 원
공모방식	품목지정	품목지정

자료: 과학기술정보통신부(2021). 2021년 예산 및 기금운용계획 사업설명자료; 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

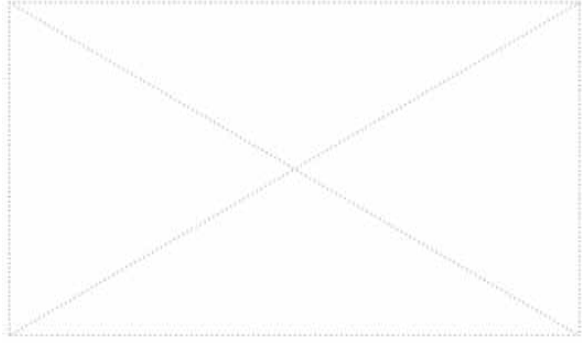
- (사업기간 및 규모) 2021~2026년까지 6년간 지원하며, 2021년 8억 원을 지원
  - ※ 선도기술센터 6억 원, 융합연구 2억 원

- (수행 주체) 대학(53.1%)이 가장 많은 비중을 차지하였으며, 출연연구소(46.9%) 순으로 나타남

<표 2-39> 핵융합 선도기술개발 수행주체별 정부연구비(2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
대학	425	53.1%
출연연	375	46.9%
합계	800	100.0%



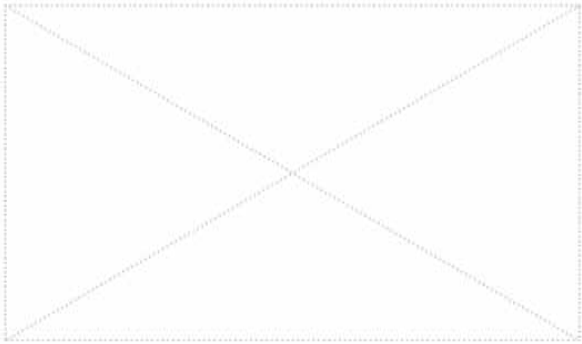
자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (개발단계) 2021년도부터 시작한 신규 사업으로 기초단계에 집중  
- 선도국과 기술격차 감소 위한 역량 확충 중점

<표 2-40> 핵융합 선도기술개발 개발단계별 정부연구비(2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
기초	800	100.0%
합계	800	100.0%



자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (과학기술표준분류) 핵융합 노심기술(39.7%)이 가장 높은 비중을 차지하였으며, 핵융합로 핵심기기 기술(29.4%), 핵융합 부품소재 기술(10.0%) 순으로 나타남

<표 2-41> 핵융합 선도기술개발 과학기술표준분류별 정부연구비(2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
핵융합 노심기술	318	39.7%
핵융합로 핵심기기 기술	235	29.4%
핵융합 부품소재기술	80	10.0%
핵융합에너지	53	6.6%
세라믹제조공정기술	50	6.3%
기타	65	8.1%
합계	800	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (적용 분야) 에너지(65.6%) 분야에 집중되어 나타나며 신규 사업인 만큼 지식의 진보(9.4%)와 기계 장비 제조업(9.4%) 화학물질·제품 제조(9.4%)에도 일부 투자

<표 2-42> 핵융합 선도기술개발 적용 분야별 정부연구비(2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
에너지	525	65.6%
지식의 진보(비 목적 연구)	75	9.4%
전기·가스·증기·수도사업	75	9.4%
전기 및 기계장비 제조업	75	9.4%
화학물질·제품 제조업	50	6.3%
합계	800	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

## □ 핵융합기초연구(과기정통부)

- (사업목적) 미래 청정에너지인 핵융합에너지개발에 필요한 핵융합 분야 연구기반을 확대하고, 연구역량 향상을 위한 핵융합 기초연구 지원
- (지원 내용) 우수성과 창출을 위한 전략적 투자 중심의 거점센터, 산학연 융합연구 중심의 공동연구, 소규모 창의·혁신연구 중심 지원의 개인기초 연구로 구성
  - (거점센터) 전략적 추진이 필요한 핵심분야의 연구역량 강화 및 우수성과 창출을 위한 거점연구
  - (공동연구) 다양한 학문 분야의 통합적 특성을 고려한 산·학·연 공동·융합연구
  - (개인기초) 핵융합 전 분야에 대한 창의적·혁신적 개인 기초연구

<표 2-43> 핵융합기초연구 지원 내용

구분	거점센터	공동연구	개인기초
지원기간	3+2년	3년	1~3년
연간연구비	5~20억 원 이내	5억 원 이내	1억 원 이내
공모방식	품목지정	자유공모	자유공모

자료: 과학기술정보통신부(2021). 2021년 예산 및 기금운용계획 사업설명자료; 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (사업기간 및 규모) 2009년부터 2021년까지 13년간 732억 38 백만 원을 투자
  - 공동연구는 2019년 사업이 일몰되었으며, 거점센터, 개인기초 모두 2021년 일몰됨에 따라 사업 규모는 축소되어가고 있음

<표 2-44> 핵융합기초연구 사업 규모

(단위: 백만 원)

내역사업	2017	2018	2019	2020	2021	합계
거점센터	3,300	4,333	2,783	3,433	3,433	17,282
개인기초	1,111	645	778	640	640	3,814
공동연구	1,853	1,286	962	-	-	4,101
합계	6,264	6,264	4,523	4,073	4,073	25,197

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

○ (수행 주체) 핵심분야 연구역량 강화를 위한 대학(87.2%)이 가장 높은 비중 차지함

<표 2-45> 핵융합기초연구 수행 주체별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
대학	21,969	87.2%
출연연	3,158	12.5%
기타	70	0.3%
합계	25,197	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

○ (개발단계) 기초연구사업인 만큼 기초연구(97.6%)에 집중

<표 2-46> 핵융합기초연구 개발단계별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
기초	24,597	97.6%
기타	600	2.4%
합계	25,197	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>



- (과학기술표준분류) 핵융합로 핵심기기 기술(25.7%)이 가장 많은 비중을 차지하였으며, 핵융합 노심기술(17.0%), 플라즈마 물리(12.5%) 순으로 비중

<표 2-47> 핵융합기초연구 과학기술표준분류별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
플라즈마 물리	3,143	12.5%
핵융합로 핵심기기 기술	6,472	25.7%
핵융합 노심기술	4,274	17.0%
핵융합 부품소재기술	3,067	12.2%
핵융합에너지	1,244	4.9%
기타	6,997	27.8%
합계	25,197	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (적용 분야) 에너지(59.4%)에서 집중되어 나타나며, 기초연구과제로 인해 지식의 진보(12.8%) 또한 높게 나타남

<표 2-48> 핵융합기초연구 적용분야별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
에너지	14,967	59.4%
지식의 진보	3,227	12.8%
전기 및 기계장비 제조업	2,445	9.7%
교육 및 인력양성	1,145	4.5%
전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업	877	3.5%
기타	2,536	10.1%
합계	25,197	100.0%

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

○ (사업성과) 핵융합기초연구의 논문·특허 성과는 국가 R&D 논문·특허 성과에 비해 높음

<표 2-49> 핵융합기초연구 사업성과(2015~2019)

(단위: 건)

구분	핵융합기초연구	국가 R&D	
SCI 논문	10.07	2.00	
국내 등록특허	1.32	0.93	

자료: 한국과학기술기획평가원(2021). 2019년 국가연구개발사업 성과분석보고서; 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

## □ 한국핵융합에너지연구원((구)국가핵융합연구소, 과기정통부)

- (사업목적) 세계 핵융합 연구를 선도하는 핵융합 전문연구기관으로서, 향후 한국형 핵융합발전소 건설능력 및 독자적인 핵융합에너지 상용화를 위한 핵심원천기술 확보
- (지원 내용) 고부가가치 산업의 근간이 되는 플라즈마 연구 및 첨단 파급기술을 활용한 신산업 창출 지원

<표 2-50> 한국핵융합에너지연구원 지원 내용

구분	내용
KSTAR 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 고성능 플라즈마의 안정적 운전을 위한 제어기술 개선</li> <li>- KSTAR 장치의 성능 유지 및 고도화</li> <li>- 플라즈마 대향장치 성능향상 및 중성입자빔 가열장치의 성능 유지를 통해 '25년도 플라즈마 이온온도 1억℃ 300초 목표달성을 위한 운전 성능 안정성 확보</li> <li>- 핵융합실증로 운전 핵심기술 확보를 위한 차세대 운전모드 연구 주도</li> <li>- KSTAR 고성능, 장시간 플라즈마 운전을 위하여 장치의 효과적인 성능향상과 유지보수 절차 확립</li> </ul>
핵융합 실증로 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 핵융합 실증로 기본 설계 및 건설을 위한 필수 연구개발 방안 수립 및 핵융합로 공학기술개발 기반구축</li> <li>- 핵융합 실증플랜트 설계에 필요한 동력계통 및 안전성 평가 기술개발 기반 제공</li> <li>- 핵융합 실증플랜트 개발을 위한 기본개념 제공 및 연구개발 추진체계 구축</li> <li>- 핵융합 실증로 개념설계 시스템 코드개발 연구</li> <li>- 핵융합 실증로 설계를 위한 통합 시뮬레이션 기술개발</li> <li>- 핵융합 시뮬레이션 고성능 클러스터 컴퓨터 활용 및 인공지능 기반 가상 핵융합로 개발을 위한 핵심기술 개발</li> <li>- KSTAR의 1억℃ 이상 초고온 플라즈마 실험을 위한 가열능력 향상에 따라 플라즈마 상태 예측 시뮬레이션을 통해 최적화된 연구 모드 개발 및 안정적인 실험 지원으로 고성능 운전모드 개발 가속화</li> <li>- 핵융합 시뮬레이션을 통한 플라즈마 상태 예측으로 KSTAR 고성능 운전모드 개발 가속화와 1억℃ 이상 초고온 플라즈마 장시간 운전 달성 지원</li> </ul>
플라즈마기술 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 플라즈마 융복합 원천기술개발의 기반 제공 통한 기술개발 촉진 및 산업체로의 기술이전을 통한 국가 산업 경쟁력 제고</li> <li>- 플라즈마 기술과 환경·에너지 분야의 융합기술 개발로 얻어지는 기술을 다양한 분야로 확대하고, 신산업 창출 및 환경 관련 중소기업 등의 신산업 성장 동력 확보에 활용</li> <li>- 플라즈마 장치 시스템의 농식품 기업에 기술이전 및 자문, 농식품 전문 연구기관과의 융합연구 주제 및 기술 발굴 추진</li> <li>- 반도체 제조 플라즈마 공정 예측/제어 원천기술 고도화</li> <li>- 플라즈마 공정가스 기초 반응물성 데이터 개발 및 플라즈마 장비 해석 선도기술 개발</li> <li>- 플라즈마 소재부품연구실(국가연구실 N-Lab 지정('20.6월))에 따른 반도체·디스플레이 등 국가 첨단 주력산업 분야 소재·부품·장비 자립역량 강화를 위한 핵심기술 개발 및 해외 의존도 해소</li> </ul>

구분	내용
ITER핵심기술개발 및 운영·관리	- 국내 핵융합에너지 상용화 기술확보에 필요한 전문핵심인력 지속 양성/수주 확대 및 종합사업관리 시스템 고도화를 통한 국제적인 사업관리 체계 구축 - ITER 비조달 핵심품목에 대한 원천기술 확보, 연구소 및 산·학·연의 ITER 국제공동개발사업 기술 활동 참여 기회 확대 - ITER 비조달 핵심품목을 포함한 ITER 장치 핵심기술 확보 및 핵융합 실증로 설계 시 기술개발 활용 - ITER TBM 인허가 문서 작성 및 절차과약을 통해 향후 실증로 및 상용로에 대한 인허가 기술개발 기반 확보

자료: 과학기술정보통신부(2021). 2021년 예산 및 기금운용계획 사업설명자료

- (사업기간 및 규모) 2007년부터 계속사업이며, 2021년까지 기 투자액은 1조 652억 원
- 주요사업은 KSTAR, 핵융합실증, ITER, 플라즈마 기술연구임

<표 2-51> 한국핵융합에너지연구원 사업 규모

(단위: 백만 원)

내역사업	2017	2018	2019	2020	2021	합계
KSTAR연구	37,392	38,686	36,788	35,731	43,258	191,855
핵융합실증로연구	-	-	-	1,833	2,402	4,235
플라즈마기술연구	7,813	7,813	5,414	5,663	6,087	32,790
ITER핵심기술개발 및 운영·관리	3,703	6,316	5,954	5,202	5,088	26,263
기관운영비	29,828	22,072	27,014	27,038	29,200	135,152
장비시스템구입비	2,839	2,462	4,760	4,110	2,241	16,412
시설비	-	4,630	5,332	836	836	11,634
핵융합실증플랜트설계개념 및 기반기술연구	1,193	843	793	-	-	2,829
플라즈마빅데이터기반HCT융합기술연구	607	607	825	-	-	2,039
창의연구	386	-	-	-	-	386
합계	83,761	83,429	86,880	80,413	89,112	423,595

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (수행 주체) 세계 핵융합 연구를 선도하는 핵융합 전문연구기관 목적의 사업으로, 해당 연구개발과제는 출연연구소(100.0%)에서 수행

<표 2-52> 한국핵융합에너지연구원 수행 주체별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
출연연	260,397	100.0%
합계	260,397	100.0%

주: 내역사업 중 세부과제 성격에서 연구관리, 연구시설·장비 구입·유지비가 100%를 차지하는 기관운영비, 장비시스템구입비, 시설비를 제외하고 분석  
 자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (개발단계) 기초연구(67.3%)가 가장 많은 비중을 차지했으며, 기타연구(28.1%), 개발연구(4.1%) 순으로 높게 나타남

<표 2-53> 한국핵융합에너지연구원 개발단계별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
기초	175,315	67.3%
응용	1,120	0.4%
개발	10,725	4.1%
기타	73,237	28.1%
합계	260,397	100.0%

주: 내역사업 중 세부과제 성격에서 연구관리, 연구시설·장비 구입·유지비가 100%를 차지하는 기관운영비, 장비시스템구입비, 시설비를 제외하고 분석  
 자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

○ (과학기술표준분류) 기타 유체/플라즈마 기술(55.4%)이 가장 많은 비중을 차지, 핵융합로 핵심기기 기술(17.7%), 플라즈마 물리(9.5%) 순으로 투자

<표 2-54> 한국핵융합에너지연구원 과학기술표준분류별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
기타 핵융합 기술	19,405	7.5%
플라즈마 물리	24,633	9.5%
기타 유체/플라즈마 기술	144,235	55.4%
기타 물리학기술	3,242	1.2%
핵융합로 핵심기기 기술	45,970	17.7%
핵융합 부품소재 기술	12,749	4.9%
기타	10,163	3.9%
합계	260,397	100.0%

주: 내역사업 중 세부과제 성격에서 연구관리, 연구시설·장비 구입·유지비가 100%를 차지하는 기관운영비, 장비시스템구입비, 시설비를 제외하고 분석

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

○ (적용분야) 지식의 진보(56.8%)가 가장 많은 비중을 차지, 에너지 분야(37.4%), 건강(4.1%) 순으로 투자

<표 2-55> 한국핵융합에너지연구원 적용 분야별 정부연구비(2017~2021)

(단위: 백만 원, %)

구분	정부연구비	비율
에너지	97,490	37.4%
지식의 진보	147,873	56.8%
교육 및 인력양성	1,295	0.5%
전문·과학·기술서비스업	300	0.1%
건강	10,654	4.1%
기타 공공목적	2,785	1.1%
합계	260,397	100.0%

주: 내역사업 중 세부과제 성격에서 연구관리, 연구시설·장비 구입·유지비가 100%를 차지하는 기관운영비, 장비시스템구입비, 시설비를 제외하고 분석

자료: 국가과학기술지식정보서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

- (사업성과) 국가 핵융합연구원의 논문·특허 성과는 국가 R&D 논문·특허 성과에 비해 낮음

<표 2-56> 한국핵융합에너지연구원 사업성과(2015~2019)

(단위: 건)

구분	국가핵융합연구 구소	국가 R&D	
SCI 논문	0.90	2.00	
국내등록특 허	0.26	0.93	

자료: 한국과학기술기획평가원(2021). 2019년 국가연구개발사업 성과분석보고서; 국가과학기술지식정보 서비스(NTIS), <https://www.ntis.go.kr/ThMain.do>

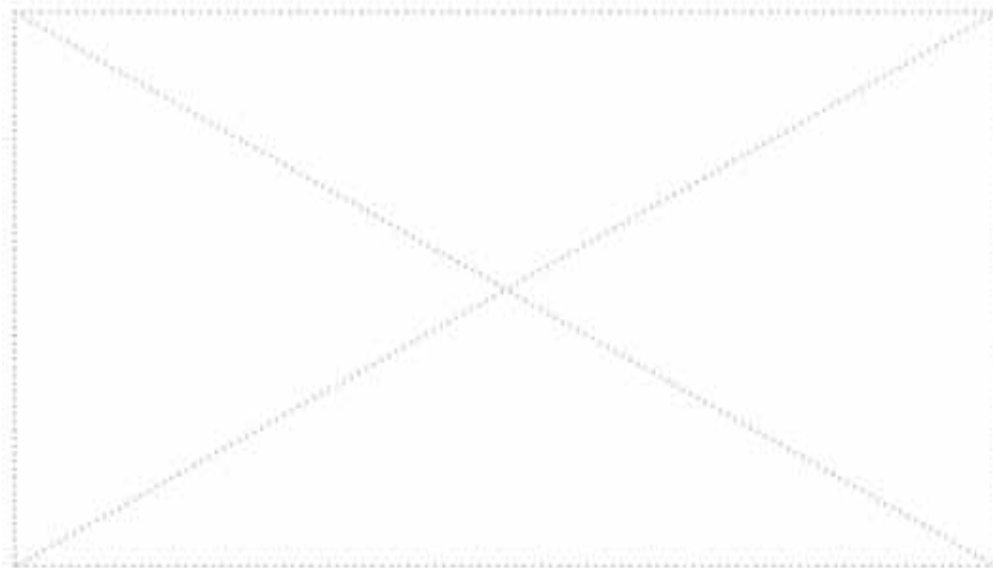
## 5 안전규제 기술개발

### □ 기술개발 필요성

- 핵융합 실증로는 복잡성이 높은 다양한 시스템의 종합 체로 주요 시스템 통합이 무엇보다 중요하며, 원자력(nuclear) 설비와는 달라 실증로 건설 및 운전애 맞는 안전·인허가 기술개발을 통해 선제적 대응 필요
- 핵융합 실증로는 관계 법령에 따른 인허가 절차에 맞추어 설계, 건설, 운영되어야 하지만, 현재 전 세계적으로 핵융합 규제체계가 확립되지 않았으며, 규제체계 마련에 대한 논의가 시작되고 있는 상황

### □ 핵융합 실증로 안전·인허가 기술개발 정의

- (안정성 평가 기술) 핵융합 실증로 고유 안전성 및 주요 위험인자를 식별하고, 이를 통한 유해인자의 인벤토리 및 예상 발생에 대한 평가 기술 확보
  - 안전/환경 영향 평가를 위한 전산 코드의 확보 및 운영과 핵융합 실증로에서 예상 가능한 사고리스트 도출 및 시나리오 분석을 통한 사고등급 분류, 사고파급영향 평가
  - 사고파급영향, 방사능 안전영향, 파급방지를 위한 안전설비를 통합하여 핵융합 인허가 획득을 위한 평가방법론 개념 정립

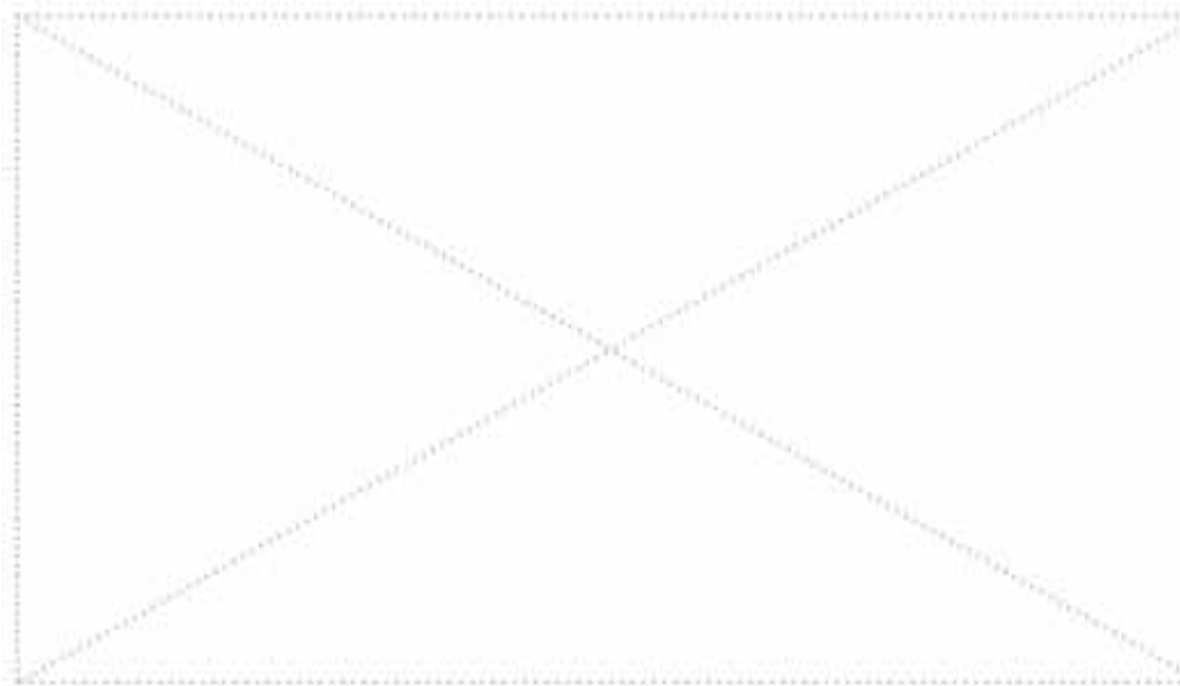


자료: 한국핵융합에너지연구원 내부 자료

[그림 2-146] 평가방법론



- (인허가 기술(요건도출)) 핵융합 규제개발 기술을 추적하고, 안전/기능 요건 정립 및 기술규제 요건을 종합하여 핵융합 실증로 규제지침요건 도출
  - 건설허가 필수요구문서 작성(방사선 환경 영향평가서, 예비 안정성 분석 보고서, 건설품질보증계획서, 해체계획서 등) 및 대응
  - 운영허가 필수요구문서 작성(방사선 환경 영향 평가서, 최종 안정성 분석 보고서, 운전품질보증계획서, 운영기술지침서, 사고관리계획서 등) 및 대응



자료: 한국핵융합에너지연구원 내부 자료

[그림 2-147] 단계별 인허가 기술요건

## □ (연구개발 현황)

- (현황 및 성과) ITER 사업참여를 통해 ITER의 단계적 인허가준비에 대한 경험을 축적하고 있으며, TBM 사업을 통해 일부 설계 코드개발을 추진 중
  - 국내 유일한 초전도 토카막 실험장치인 KSTAR의 건설 및 방사선 발생장치로의 인허가 획득 경험을 보유
  - 다만 실험장치와는 상이한 실증로급 설비에 대한 주요 시스템(증식블랑켓 등)의 통합설계 경험축적과 이에 대한 인허가 규제환경 미비로 인한 대응 전략 준비가 필요한 상황
  - 원자력 및 화력 발전 분야의 통합설계 경험, 시스템 안전성 평가 연구 경험을 활용하여 핵융합 분야로의 적용이 가능할 것으로 기대

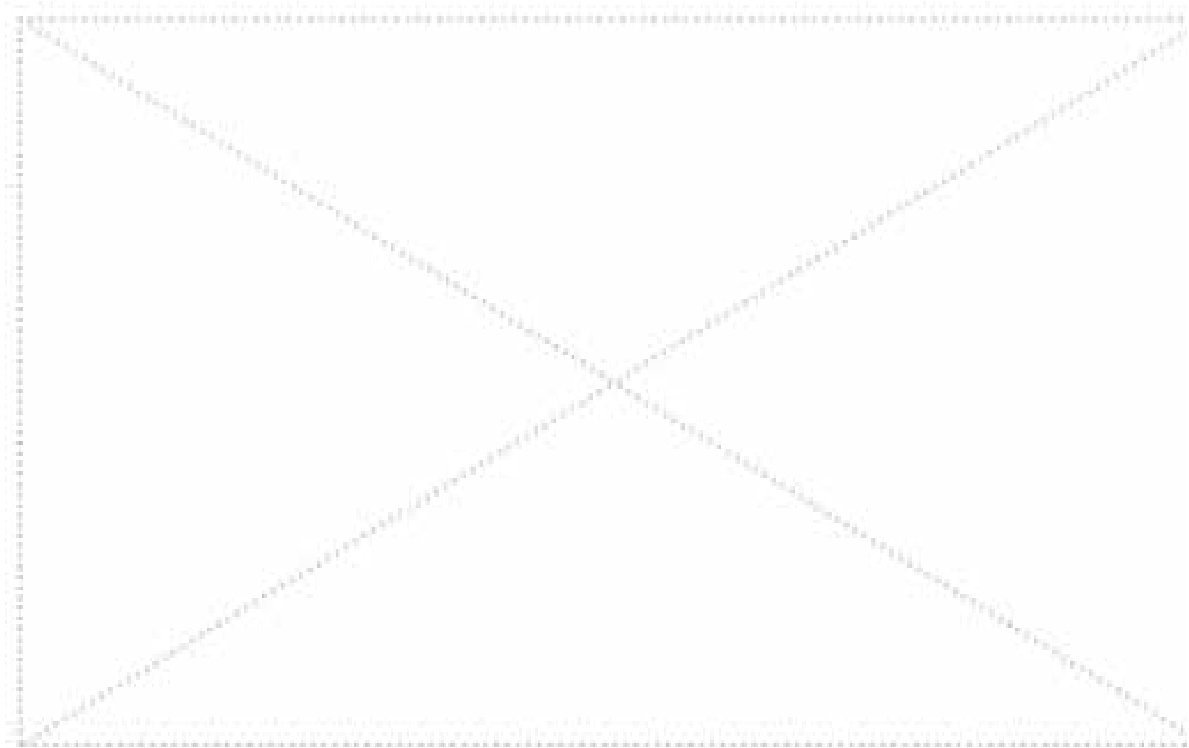
- 핵융합(연)을 중심으로 한국형 실증로 개념연구 보고서(안) 발간과 함께 실증로 안전 및 인허가에 관한 개념연구를 진행하고 있으며, 원자력(연)에서 ITER TBM 과제 의 일환으로 고유 코드개발·검증 연구를 추진 중
- ※ (EU) ITER 장치는 원자로급 인허가 절차를 거쳐 건설이 진행되고 있으며, 프랑스 원자력규제 당국 인허가 획득을 위해 예비안전성분석보고서 개발 중이며, 건설/운영 업그레이드 계획에 맞추어 인허가 필요요건을 단계적 접근으로 보완해 나아가는 전략을 수립

○ (한계점) 핵융합 실증로의 특성을 반영한 통합설계 및 인허가 체계의 부재

- 핵융합 실증로 고유의 안전인허가 체계 부재로, 기존 원자로 안전인허가 체계 내에서 핵융합 실증로는 단순 방사선 발생장치로 분류될 수 없으므로, 인허가 요건·절차의 난이도가 높을 것으로 예상
- 하지만, 핵융합로만이 가지는 고유안전 특성은 기존 원전의 상당 부분의 위험요소를 설계부터 제거할 수 있으므로, 기존 원전규제와는 다른 고유 특성을 반영한 안전인허가 체계 개발 필요

□ 연구개발 핵심기술 및 로드맵

- (목표) 핵융합 실증로의 종합 안정성 평가 및 핵융합 안전성 규명 방안 및 건설, 운영인허가 요건 개발



자료: 한국핵융합에너지연구원 내부 자료

[그림 2-148] 핵융합 실증로 종합 안정성 평가 및 인허가 요건 개발 로드맵

- (안정성 평가 기술) 실증로의 고유한 안전성의 반영이 가능한 평가방법론을 개발 및 안정성 평가를 통해 실증로 설계의 종합 안정성을 검증
- (실증로 위험인자 식별) 실증로의 고유 안전성 및 주요 위험인자를 식별하고 안전 해석을 위한 전산코드(MELCOR, MCNP, RASCAL 등) 운용 능력을 확보('21~'24)
  - (안전요건 평가기법 정립) 실증로 인허가 획득에 필요한 안전요건의 평가기법을 정립하고 안전성 평가계획을 수립('23~'30)
  - (유해인자 영향평가) 식별된 유해인자의 영향을 평가하고 실증로에서 발생 가능한 사고분석 등 시스템의 안전성 확보를 위한 평가 기술의 개발('24~'30)
  - (실증로 종합안전성 규명) 실증로의 안전성 평가 결과를 종합하고 설계의 종합적 안전성 규명 및 인허가 대응을 위한 기술요건 도출('30~'38)

&lt;표 2-57&gt; 핵융합 안전·인허가 세부 기술별 성과목표

구분	세부 기술	개발기간	성과목표
안전성 평가기술	고유안전성 평가, 위험인자 평가기술	'20~'24	('24년) 실증로 고유안전성, 중요안전인자 평가기술 확보
	안전해석전산코드 운용 및 신뢰성 평가기술	'21~'24	('24년) 안전해석에 필요한 전산해석코드의 운용기술 및 신뢰성 평가기술 확보
	원향평가기술	'24~'28	('28년) 유해인자 정량평가 및 방사선 원향 평가기술 확보
	초기사고, 사고등급 분석 기술	'24~'29	('29년) 발생가능 사고리스트 도출 및 시나리오 분류
	시스템 안전 동특성 평가기술	'26~'30	('30년) 시스템 안전 동특성 평가, 방사선 안전평가, 안전설비 설계 등 안전평가 요소기술 개발
	방사선 안전(영향) 평가기술	'25~'30	('30년) 시스템내외부 방사능 영향 평가
	시스템 안전설비 설계 기술	'26~'30	('30년) 사고방지 및 과급 영향 완화 안전설비 설계
	핵융합안전성 평가방법론 개념정립	'23~'30	('30년) 핵융합로의 안전성 평가에 필요한 적정 방법론, 기준, 신뢰성 평가방안 등의 개념정립
	설계종합안전성평가 기술	'30~'38	('38년) 건설허가 요건 도출을 위한 설계종합안전성평가 기술 확보
	사고예측기술 운영안전대응기술	'38~'45	('45년) 고장/사고 대응 매뉴얼 및 인력교육체계 구축
	핵융합실증로 운영안전성 검증 및 기술표준화	'38~'50	('48년) 운영허가 요건 도출을 위한 운영기술 검증 및 기술표준화

자료: 한국핵융합에너지연구원 내부 자료

○ (인허가 기술(요건도출)) 실증로관련 법/규제/지침 등에 기반한 건설 및 운영 인허가 절차 대응

- (실증로 안전기준 도출) 실증로 시스템의 안전/기능을 정립하고 국내외 핵융합 관련 인허가 기준, 가이드라인 분석을 통해 실증로 개념설계에 반영되어야하는 상위 안전기준 도출('21~'25)
- (실증로 규제지침 요건도출) 실증로 안전규제 연구를 통해 기술규제요건 및 절차적 규제지침요건을 도출('25~'30)
- (실증로 건설인허가 대응) 실증로 건설허가에 필요한 필수 문서요건을 도출하고 건설인허가 대응('30~'35)
- (실증로 운영인허가 대응) 실증로 운영허가에 필요한 필수 문서요건을 도출하고 운영인허가 대응('40~'50)

<표 2-58> 핵융합 안전·인허가 세부 기술별 성과목표

구분	세부 기술	개발기간	성과목표
인허가 기술(요건도출)	핵융합 인허가 기술추적	'20~'24	('24년) 국내외 규제개발 기술추적
	안전/기능요건 정립	'21~'25	('25년) 실증로 안전철학, 목표/원칙 및 안전/기능요건 정립
	기술규제요건(공학C&S 등) 검토	'25~'30	('30년) 기술지침(규격, C&S 개발/활용 방안), 행정지침(안) 요건 마련
	절차기술적 규제지침요건 도출	'24~'30	('30년) 규제환경 개발필요 정보 도출 (안전요건, 기술요건)
	건설허가문서 초안작성(FSAR 등)	'30~'35	('35년) 건설허가 문서 제출
	건설허가 대응	'35~'38	('38년) 건설허가 획득
	블랑켓 등 부대시설 최종설계사항 확정	'38~'45	('45년) 부대시설 최종설계 반영 최종 운영인허가 준비
	운영허가 문서 초안 작성 (FSAR, 운영기술지침 등)	'40~'48	('45년) 운영허가 문서 제출
	운영허가 대응	'48~'50	('50년) 운영허가 획득

자료: 한국핵융합에너지연구원 내부 자료

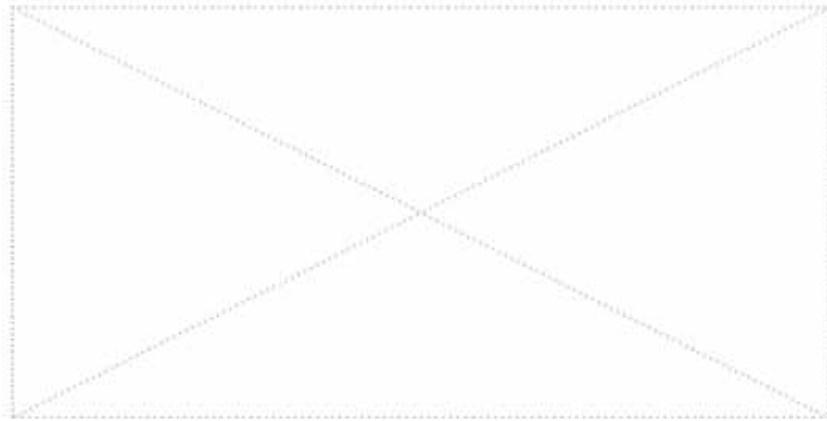
○ (소요 기반 사항) 실증로의 안전해석코드의 검증을 위한 실험적 검증 시설의 활용 필수

- (안전해석코드의 검증) 현재 ITER의 기준 안전해석코드로 활용되는 MELCOR 코드의 경우, 원자력분야에서 초기 개발되어 핵융합로 분석에 적합하도록 개선되고 있으나, 핵융합로 고유의 특이 현상(예, He, Lithium-lead 유체 거동, 극저온/진공 환경 특성)에 따른 열/물질전달 특성 분석의 신뢰성 검증이 미비

## 6 핵융합에너지 기술동향 시사점

주요국의 실증기술 개발 경쟁은 심화되고 있으며, 특히 영국·중국은 타국 대비 10년 빠른 핵융합 상용화 로드맵을 실행

- (주요국 DEMO 로드맵) ITER 일정에 따라 2035년까지 실증연구를 완료하는 로드맵을 수립했지만 특히 영국·중국은 2040년대 상용화 로드맵 수립
  - (EU) 2050년대 전력을 상용화할 계획으로, 현재 개념설계로 단계를 전환
  - (영국) 세계최초 2040년 핵융합 발전소(STEP) 완공을 목표로 하고 있으며, 2024년까지 개념설계에만 3,600억 원을 투자할 계획
  - (일본) 2040년대 DEMO 가동, 2050년대 핵융합 상용화가 목표로, 현재 개념 설계로의 전환을 심사 중
  - (중국) 2030~40년대 CFETR(중국 DEMO) 가동, 2050년대 프로토타입 발전소 (PFPP) 완공이 목표



[그림 2-150] ITER 및 주요국 DEMO 로드맵

- (실증연구 로드맵) DEMO 요소기술을 선정하여 개념설계·공학설계에 돌입, 수천 억 원을 투자하여 실증기술을 확보하기 위해 경쟁 중
  - (EU) 11개 DEMO 요소기술을 선정했으며, 기술별로 개념 설계를 진행 중
  - (영국) Culham 캠퍼스에서 Fusion Foundations 프로그램에 착수, 2,975억 원 투자하여 DEMO 요소기술 개발, 재료 로드맵 수립 등 STEP 기반기술 개발 가속화
  - (일본) EU와의 공동연구를 통해 실증연구 시설을 운영하여 14개 DEMO 요소기술에 대한 R&D를 수행 중
  - (중국) CFETR 5개년 계획을 수립(2018~2022), DEMO 8개 요소기술의 통합 공학 설계 및 R&D에 6억 달러를 투자 중

**우리나라도 DEMO 로드맵 및 요소기술 모두 수립했지만, 실증시설 부족으로 실제로 실증연구로 이어지지 못하고 있는 실정**

- (국내 로드맵·요소기술 수립) 2035년까지 K-DEMO 요소기술을 확보하고, 2050년까지 전력을 상용화하는 로드맵을 수립했으며, 8대 핵심기술도 도출
  - (로드맵) EU 및 일본과 동일하게 2038년 K-DEMO 건설에 착수하기 위해 2035년까지 실증연구하는 로드맵을 수립



[그림 2-151] 국내 DEMO 로드맵

- (요소기술) 3차 기본계획에 2050년대 전력 상용화 8대 핵심 기술 분야를 도출
  - ※ ① 노심 플라즈마, ② 증식블랑켓, ③ 핵융합 소재, ④ 연료주기, ⑤ 디버터, ⑥ 가열 및 진류 구동, ⑦ 초전도자석기술, ⑧ 안전·인허가를 선정
- (실증연구 미흡) 주요국은 개념설계 돌입했으나, 국내는 2025년까지 사전개념설계 단계이며, 실증연구도 2021년 27억 원을 투입하는 등 사실상 시작하지 못한 실정
  - (사전개념설계) EU, 영국, 일본, 중국 모두 개념설계 단계에 돌입했으나, 국내는 아직 2025년까지 K-DEMO 사전 개념설계 단계
  - (투자 규모 미진) 2021년 27억 원을 투자해, STEP 개념설계에 3,600억 원, CFETR 통합공학 설계과 R&D에 6억 달러를 투자하는 영국, 중국과 비교하여 투자가 매우 미진
  - (인프라 한계) DEMO 요소기술 개발을 위해 필수적인, 실증로급 환경을 구사하는 연구 장비가 국내에 없기 때문에 실증연구를 시작하지 못하는 실정

<표 2-59> 실증연구 현황

구분	내용
증식 블랑켓	실증로 환경에서 검증된 기술개발이 필요하나, 실증로 환경 구현시설 부족으로 기술을 확보하지 못하고 있으며 전산모사를 중심으로 개념연구 수준
핵융합 재료	핵융합 재료의 취급시설 및 특성평가 시설과 같은 인프라 부족으로 인해 물성 DB 구축 한계 및 인허가 획득 지연 가능성 존재
디버터	디버터 성능 검증을 위한 국내 고열부하 시험설비는 냉각 설비 용량 부족으로 ITER급 및 실증로급 디버터의 성능 검증에 활용이 부족하며, 핵융합 중성자 조사 설비의 부재로 실증로급 디버터 검증에 한계 존재

주요국은 실증연구 시설 운영을 시작, 완공을 앞두고 있으나, 국내는 실증로급 환경을 구사하는 연구시설이 전무하여, 시급한 구축이 필요

- (주요국 실증경쟁 심화) EU·일본은 2050년까지, 영국·중국은 2040년까지 핵융합 상용화하기 위해 실증연구 건설에 착수, 완공 앞두고 있으며, 일부는 운영 시작
- (EU) DT 실험이 가능한 유일한 연구시설인 JET를 보유 중이며, 중성자원인 IFMIF-DONES에는 1조 원을 투자, 2030년 운영시작 계획이며, 디버터 연구 시설인 DTT는 2025년 완공예정, 6,000억 원 투자 계획
  - (일본) ITER의 위성 토카막인 JT-60SA는 최근 업그레이드를 완료하여 2022년 첫 가동을 앞두고 있으며, 중성자원인 A-FNS는 2031년 완공예정이고, 디버터, 블랑켓, 원격제어 등 다양한 DEMO 요소기술을 개발하는 IFERC도 구축
  - (중국) 중국형 DEMO CFETR를 1천 억 위안을 투자하여 2035년까지 완공할 예정이며, 이를 지원하기 위한 실증 종합연구시설 CRAFT를 2025년까지 약 1조 1천 억 원을 투자하여 완공할 예정

<표 2-60> 주요국 실증 인프라

국가	장치명	분야	목표 및 내용	기간 및 투자
EU	JET	DT연구	ITER 핵심기술 테스트 및 성능 향상을 목표로 DT 실험이 가능한 유일한 장치	(기간) 2023년 연장 (투자) 1,313억 원 연장
	IFMIF-DONES	중성자원	DEMO 재료의 방사화 데이터를 획득	(기간) 2030년 시작 (투자) 약 1조 원
	DTT	디버터	핵융합 플라즈마 부하제어가 가능한 디버터 시스템 연구	(기간) 2025년 완공 (투자) 6,000억 원
일본	JT-60SA	ITER 위성토카막	ITER 지원, DEMO 최적화 운전시나리오 개발	(기간) 2022년 시작
	A-FNS	중성자원	DEMO 재료의 방사화 데이터를 획득	(기간) 2031년 완공
	IFERC	실증종합 연구시설	디버터, 블랑켓, 시뮬레이션, 원격제어 등 DEMO 요소기술 개발	
중국	CFETR	중국 DEMO	2030년대 1단계 운전, 2040년대 2단계(DEMO급) 가동	(기간) 2035년 완공 (투자) 1천억 위안
	CRAFT	실증종합 연구시설	CFETR 건설지원을 위한 실증 종합연구시설로 초전도 자석기술과 핵심 토카막 시스템 구축	(기간) 2025년 완공예정 (투자) 1조 1천억 원
	HINEG	중성자원	중성자 조사와 재료연구 위해 고밀도 D-T 중성자 발생장치를 개발 중	(기간) 2030년 개발완료 (투자) 10억 달러

- (국내 실증시설 필요) 실증로급 환경을 구사하는 연구시설이 부재하여 실증연구가 지연되는 실정으로, 실증연구 시설에 대한 정부지원이 절실한 상황
  - (V-DEMO) V-ITER, V-DEMO 기술개발을 위한 슈퍼컴퓨터 추가 확보 필요
  - (중성자원) 핵융합 실증로 환경을 구현하기 위해 D-T 반응을 통한 핵융합 중성자를 발생시키는 시설로, 증식블랑켓, 핵융합 재료, 연료주기, 디버터 연구개발에 필수적
  - (증식 블랑켓) 실증로 환경에서의 증식블랑켓 시험 및 평가를 위해 국내 핵융합 중성자발생원 시설 및 삼중수소 측정시설 필요
  - (핵융합 재료) 재료취급 및 특성평가 시설 부족으로 물성DB 구축, 인허가 획득에 한계가 있는 상황으로, 중성자원, 베릴륨 취급시설, 삼중수소 측정시설 등이 필요
  - (디버터) 실증로급 디버터 열부하 시험평가를 위한 고열부하 시험시설 및 핵융합 중성자 영향 평가를 위한 중성자 조사시설 필요

<표 2-61> 실증연구 필요시설

시설명	분야	내용
슈퍼 컴퓨터	V-ITER, V-DEMO	현재 V-KSTAR 구현 위한 페타플롭스급 슈퍼컴퓨터를 확보했으며, V-ITER, V-DEMO 구현 위한 추가확보 필요
중성자원	증식블랑켓, 핵융합재료, 연료주기, 디버터	핵융합 실증로 환경을 구현하기 위해 D-T 반응을 통한 핵융합 중성자(14 MeV)를 발생시켜, 각종 부품을 조사 시험하는 시설
삼중수소 측정시설	증식블랑켓, 핵융합재료	증식재료부터 중성자와 리튬의 핵반응에 의해 생성된 삼중수소를 추출, 분리, 계측이 가능한 시설
조사 후 시험시설	핵융합 재료	핵융합 중성자가 조사된 재료를 이용하여 각종 연구를 수행할 수 있는 시설로써, 방사능 차폐 및 특성평가 시험 설비가 필요
고열부하 시험시설	핵융합재료, 디버터	대면재의 고열속 저항성을 평가하기 위해 전자빔 등을 이용하여 열부하를 인가할 수 있는 시험시설
베릴륨 취급시설	핵융합 재료	중성자 증배재의 원료인 베릴륨은 독성이 강하므로 보건 안전이 확보된 상태에서 연구를 수행할 수 있는 베릴륨 취급시설



### 3절 핵융합에너지 산업경쟁력

#### 1 국외

##### □ (산업적 특징) 핵융합은 거대과학 분야 중 하나로, 극한기술 기반의 고부가가치 장치 산업인 점에서 매우 중요

※ 5대 거대과학 분야: 가속기, 원자력, 항공, 우주, 핵융합

##### ○ (산업적 중요성) 핵융합은 대표적인 거대과학으로 대규모 연구시설·장비 필요, 국가 간의 협력연구가 진행 중이고 이를 통해 극한기술과 기초과학 역량을 획득

- (거대과학 분야) 거대과학(big science)이란 막대한 자본과 인력 그리고 거대 연구 시설물을 요구하는 기초과학 연구 분야
- (거대과학 연구성과) 거대과학 연구성과는 기존 산업의 발전과 신산업 창출에 기여, 경제적 파급효과가 매우 크고 수출상품으로서도 가치가 높음
- (고부가 가치산업) 극한기술 기반의 고부가가치 장치 산업이며 연구성과의 파급효과가 매우 크지만, 대규모 투자가 필요하여 정부 주도의 연구가 필요

※ (극한기술) 초전도, 초고온, 극저온, 초고진공, 대용량 전력 공급 등

##### ○ (주요국의 지원) 거대과학의 중요성을 인식하여 유럽, 미국과 같은 주요국은 핵융합 산업계에 대한 대규모 투자와 지원을 진행 중

- (유럽) 정부주도의 R&D 지원을 통해 ITER 등 국제기구에 자국 산업체가 진출하도록 도움

※ 스페인은 경제경쟁력부 산하 CDTI가 ITER에 자국 기업이 참여할 수 있도록 지원, 독일은 산업체의 ITER 조달 계약을 지원하는 총괄기구를 두어 ITER에 대한 계약 또는 기술적 지원을 수행 등

- (미국) ITER 재원의 80%를 지출하여 산업생태계 조성에 투자

※ 45개 주에 소속된 연구소, 회사 등과 600개 이상의 계약을 체결하여 산업체 540 백만 달러, 대학 26 백만 달러, 연구소 409 백만 달러 규모의 투자(2017 기준)를 했으며, 500명 이상의 직접 고용과 1,100개 이상의 간접 직업 창출

□ (핵융합 산업생태계) 핵융합 산업생태계는 연구시설을 보유한 스타트업이 활발히 등장하는 등 출현단계에서 확장단계로 이행 중

○ (확장단계로의 이행) 핵융합 산업생태계는 주요 고객(연구기관, 정부)과 강력한 공급자(산업체) 등이 생태계로 편입되고 있어, 출현단계서 확장단계로 이행 시기

- (출현단계) Moore의 구분에 따르면 출현단계는 새로운 가치 창출 네트워크를 형성하고, 잠재 시장에 서비스할 수 있는 비즈니스 모델을 디자인하는 시기
- (확장단계) 다음으로 확장단계는 주요 고객, 강력한 공급자, 주요 유통경로 등을 모두 산업계로 편입하는 단계

<표 2-62> Moore의 구분에 따른 산업생태계의 단계별 특성

구분	단계별 특성
출현단계	- 새로운 가치 창출 네트워크의 형성 - 잠재 시장에 서비스할 수 있는 비즈니스 모델 디자인에 주력하는 시기 - 새로운 기회와 통합 패러다임을 축으로 현실적으로 가능한 가치사슬을 설계하고 창조
확장단계	- 주요 고객, 강력한 공급자, 주요 유통경로 등을 모두 생태계로 편입
성숙단계 /리더십 확보 단계	- 중심 고객 및 공급자들의 투자를 이끌어내는 능력 유지 및 강화 필요 - 미래에 대한 강력한 비전 제공 - 내·외부적 경쟁관계 발생 - 생태계 전체의 혁신과 공진화 진작 - 자신의 권위와 생태계 기여를 위한 독창성 유지
자기재생 /쇠퇴단계	- 끊임없는 성과의 개선으로 생태계의 리더로서 입지를 구축한 기업들은 생명 연장을 가장 우선시

자료: 최원재 외(2013). 거대과학 산업생태계 활성화 전략의 우선순위 결정에 관한 연구: 핵융합과 가속기 장치를 중심으로

□ (스타트업) 핵융합산업 스타트업에 공격적 투자가 증가하고 연구시설이 확충되면서 빠르게는 2025년부터 소형 핵융합로 실증을 목표

○ (투자) 2021년까지 2조 원 넘게 투자를 받는 등 핵융합 스타트업의 성장세가 가파르게 증가하고 있음

- 2007년까지 5개였던 스타트업 기업이 2010년에는 10개를 넘어섰고 2018년에는 20개 이상의 기업이 존재

(단위: 개)



자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-152] 누적 스타트업 기업 수(2018년까지)

- 또한 투자 규모 역시 꾸준히 증가하는 추세로 2014년에는 400백만 달러 이하였지만 2018년에는 1,000백만 달러를 넘어서 급성장

(단위: 백만 달러)



자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-153] 누적 투자 금액(2002~2018)

- 핵융합 스타트업 기업은 계속 증가하는 추세로 2021년 10월 기준 약 30개가 운영 중이며 3.7조 원 이상의 투자가 이루어진 것으로 추정

<표 2-63> 스타트업 투자규모(2021)

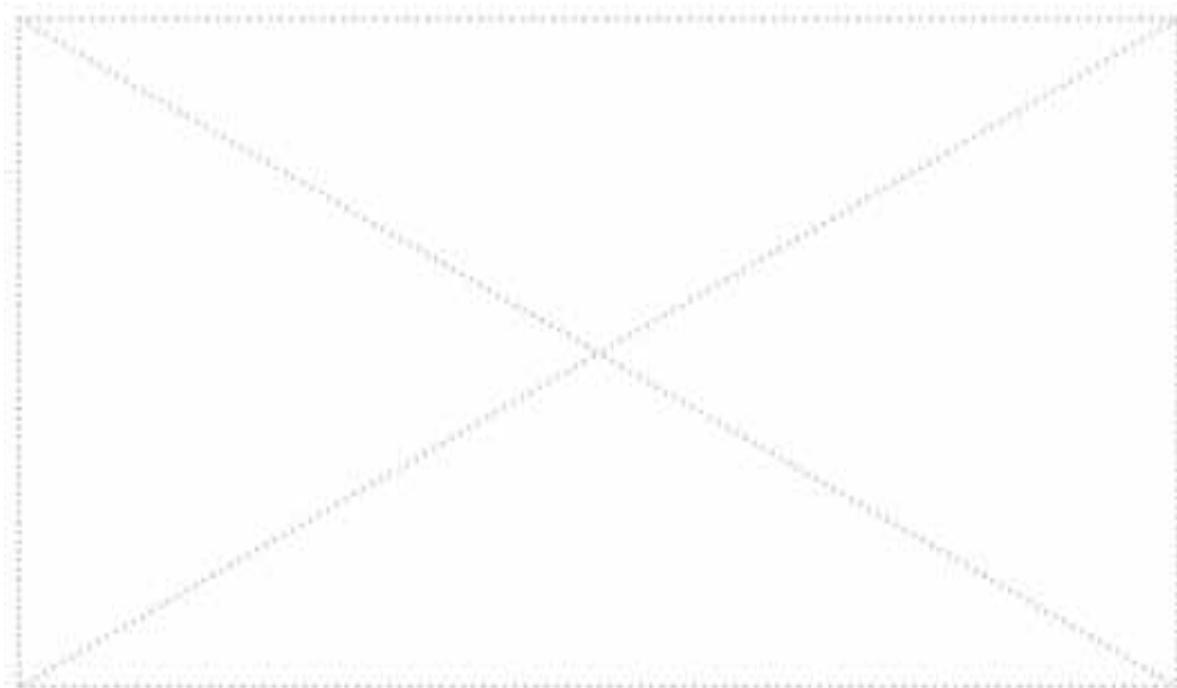
(단위: 백만 달러, 억 원)

기업명	투자규모
Commonwealth Fusion System	1,800백만 달러(한화 약 21,474억원)
General Fusion	192.1백만 달러(한화 약 2,282억원)
Tokamak Energy	167백만 달러(한화 약 2,005억원)
Zap Energy	42.8백만 달러(한화 약 511억원)
TAE Technology	916.9백만 달러(한화 약 1조 944억원)

자료: 한국핵융합에너지연구원(2021). 글로벌 핵융합에너지 개발 동향

○ (연구개발) 북미 스타트업 기업을 중심으로 2030년대 핵융합에너지 상용화를 목표로 소형 핵융합 발전소 개발 참여 확대

- (핵융합 스타트업 기업 분포) DT(중수소-삼중수소 반응), DD(중수소간 반응) 등 연료반응 기술, 초전도 자석 등 핵융합장치 종류에 따라 다양한 기업이 분포



자료: 국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획

[그림 2-154] 핵융합 스타트업 기업분류

- General Fusion은 2025년 소형 핵융합로(상용로의 약 70% 규모) 실증을 목표로 건설을 추진 중이며 약 2,282억 원 투자 유치 성공
- ※ 플라즈마 온도를 1억 도까지 상승시킬 장치를 개발 중, 핵융합 방식은 Magneto Inertial Fusion을 채택
- ※ 마이크로소프트와 협업하여 빅데이터 기술을 활용한 분석을 통해 핵융합 장치 설계 최적화



자료: 국가핵융합연구소(2019). 국가핵융합연구소 독립기관 기획 연구용역

[그림 2-155] General Fusion의 기술개발 로드맵

- TAE는 2024년 에너지 상용화를 목표로 CBFR 장치를 통해 중성자빔으로 FRC 반응을 일으키는 새로운 방식의 기술을 개발 중이며 1조 944억 원의 투자 유치



자료: 국가핵융합연구소(2019). 국가핵융합연구소 독립기관 기획 연구용역

[그림 2-156] TAE의 기술개발 로드맵

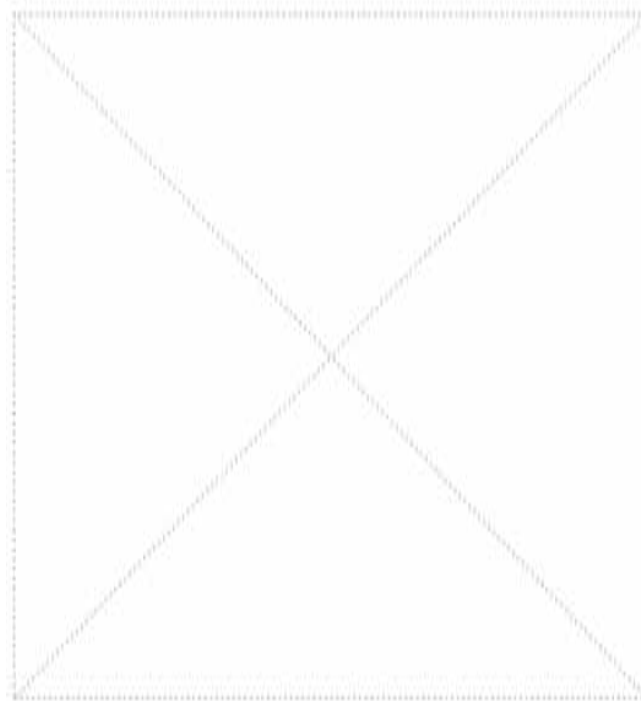
- CFS는 C-Mod 토카막 개념에 고온초전도체를 접목한 소형 핵융합로의 프로토타입 개발 프로젝트 추진 중이며, 약 2조1,474억 원의 투자 유치
- ※ 2030년대 초 200MW급 핵융합발전소 건설을 목표로, 현재 고온초전도체 연구개발에 주력



자료: 국가핵융합연구소(2019). 국가핵융합연구소 독립기관 기획 연구용역

[그림 2-157] CFS의 기술개발 로드맵

- Tokamak Energy는 고온초전도체(HTS)를 적용한 고자장 핵융합에너지 기술 기반의 소형 핵융합 장치 개발을 추진 중이며 약 2,005억 원 투자 유치
- ※ 네 구리 자석을 활용한 구형 토카막 ST-40을 통해 섭씨 1,500만도 달성(2018), 전력공급 장치 및 가열시스템 업그레이드(2021), HTS 보호 신기술 검증에 성공
- Lockheed Martin은 100MW급의 소형 핵융합로 개발에 나섰으며, 핵융합 방식은 CFR(Compact Fusion Reactor)을 사용



자료: 국가핵융합연구소(2019). 국가핵융합연구소 독립기관 기획 연구용역

[그림 2-158] Lockheed Martin의 기술개발 로드맵

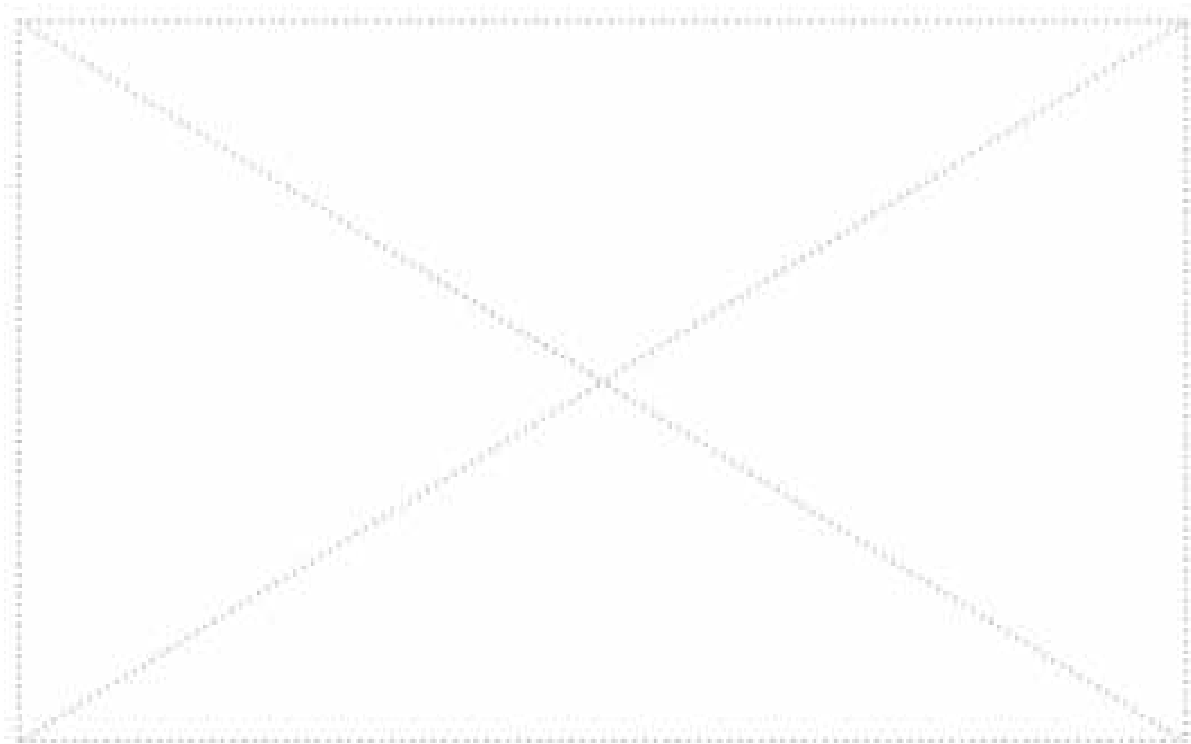
## 2 국내

## □ (산업생태계) KSTAR 및 ITER 성과를 바탕으로 핵융합 기초단계에서의 산업생태계 기반마련

## ○ (산업적 효과) ITER 참여를 통해 핵융합에너지 상용화를 위한 핵심기술 확보로 국가 산업경쟁력 강화 및 신사업 창출

- 초고온, 극진공, 초전도, 극저온 등의 핵융합 파급기술을 활용한 고부가가치 산업육성 등 국가 산업 경쟁력 강화 및 신산업 창출 가능

※ 파급기술을 활용하여 ITER 해외수주, 가속기 및 우주천문, 지하철 전동차 등에 진출



자료: 한국연구재단(2018). 핵융합 연구 관련 국내외 산업계 현황 분석 및 활용 방안 마련

[그림 2-159] ITER의 연관산업

## ○ (기초기반 마련) ITER 국내사업 추진, 기업참여로 국내 산업생태계에 산업적, 기술적으로 기초단계에서의 기반마련

- (산업적 기반) ITER 사업참여를 통해 ITER 기구 및 회원국으로부터 직접 수주를 받으며 매출이 발생

※ 사업 추진 기간인 2007년부터 2021년 8월까지 ITER 기구 및 타 회원국으로부터 158건, 6,744억 원의 연구·서비스용역, 물품 제작을 수주받음

<표 2-64> ITER 한국사업 조달업체 현황(2019.5월)

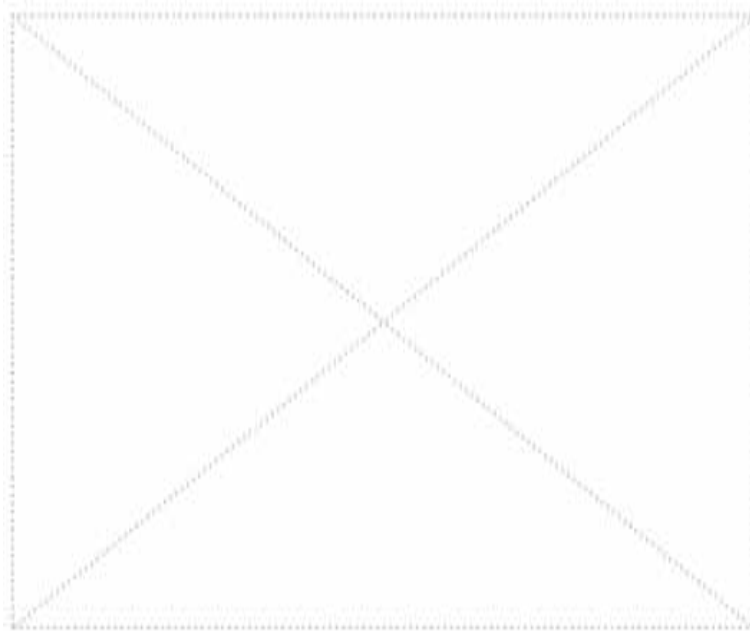
조달품목	세부 조달품목	계약업체
초전도 도체	선재	KAT
	케이블링	넥상스코리아
	조관용 튜브	포스코특수강
	조관	ICAS(이탈리아)
진공용기 본체	섹터 6번, 섹터 1번	현대중공업
진공용기 포트	중앙부 포트, 하부 포트 등	현대중공업
	중성입자빔 포트 격벽차폐체	현대중공업
	진공용기 지지구조물	현대중공업
블랑켓 차폐플록	블랑켓 차폐블록 패키지 1	Rolf Kind GmbH(독일)
	블랑켓 차폐블록 패키지 2	이엠코리아
	블랑켓 차폐블록 패키지 3	비츠로테크
조립장비류	섹터 부-조립장비군 제작	SFA
	추가 섹터 부-조립장비 및 잔여 조립장비군 제작	SFA
	섹터 조립장비군 제작	유진엠에스
	ITER 섹터 부-조립장비군 잔여분 21종	일진기계
열차폐체	ITER 열차폐체 제작	SFA
전원공급장치	ITER 초전도 자석 전원장치 공급	다원시스/효성
진단장치	진단장치 설계	비츠로테크

자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

- (기술적 기반) ITER 조달품목 제작을 통해 지적 재산권을 확보하고 ITER 관련 기술력이 선진국 수준으로 향상되어, 다른 사업 분야에 파급효과를 미침
- ※ (기술 수준) 참여 전 선진국대비 기술 수준이 60%였지만 90%로 향상되었으며, 삼중수소는 50%에서 95%까지, 조립 장비 역시 16% 수준에서 83%까지 향상



(단위: %)

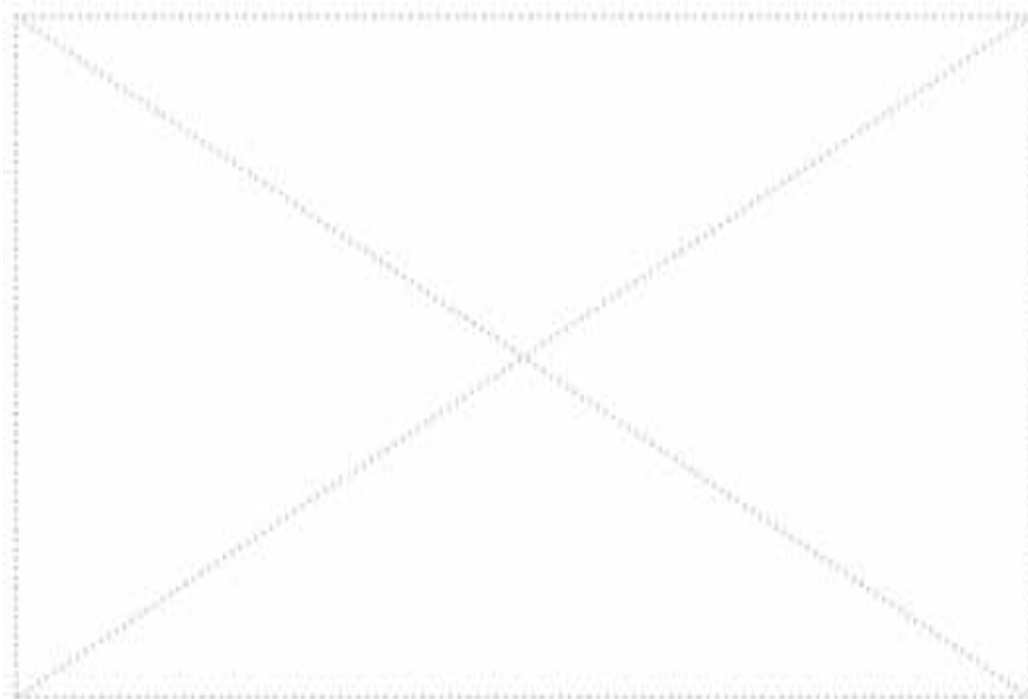


자료: 한국연구재단(2018). 핵융합 연구 관련 국내외 산업계 현황 분석 및 활용 방안 마련

[그림 2-160] ITER 사업참여 전후 산업체의 기술 수준 변화

※ (기술개발 기간단축) 기술개발 기간 단축 효과는 평균 2.7년으로, ITER 사업은 참여하지 않았을 때에 비해 TBM은 5년, 진단장치는 3.5년 등의 기술개발 단축 효과

(단위: 년)



자료: 한국연구재단(2018). 핵융합 연구 관련 국내외 산업계 현황분석 및 활용방안 마련

[그림 2-161] ITER 사업참여로 인한 조달품목 제작 단축 효과

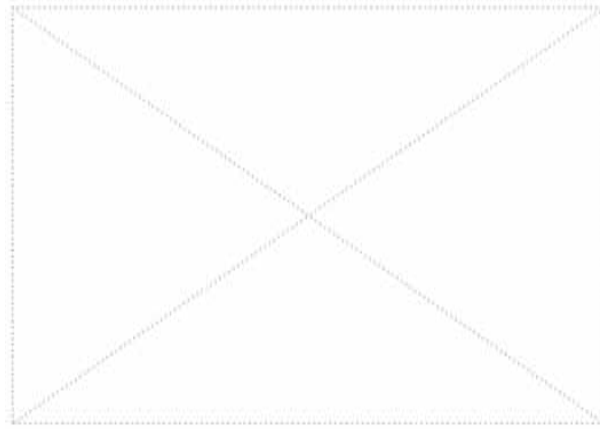
□ (기업분야 및 규모) 기업분야는 주장치, 기반장치/시설안전, 진단/제어장치 등 부품제조 위주이며 80% 이상이 소기업에 해당

※ 2019년 핵융합·가속기 실태조사는 2016~2018년 기준 활동 중인 672개 핵융합·가속기 기업을 대상으로 모집단 334개를 선발, 분야별 중복 제외 핵융합 127개, 가속기 250개를 대상으로 조사

○ (기업분야) 세부분야별로는 기반장치, 진단/제어장치, 주장치 등 부품류가 75%이고, 표준산업분류별로는 제조업이 약 60%이며, 과학연구는 2%에 불과한 상황

- (세부분야) 기반장치/시설안전(43%), 진단/제어장치(31%), 주장치(27%) 순으로 과학연구는 2%에 불과

(단위: 개, %)



자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-163] 핵융합 세부분야별 기업 수

- (표준산업분류) 장치류에 집중된 기업분야는 핵융합 업종의 대부분이 제조업인 것과도 연관되며 제조업 57%, 도매 및 소매업 21%, 정보통신업 10% 순

(단위: 개, %)

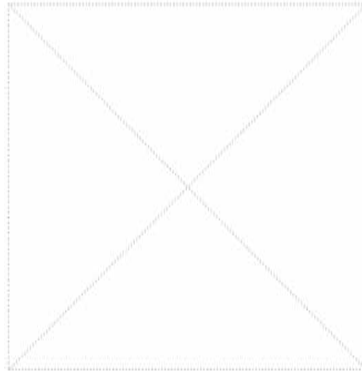


자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-164] 핵융합 표준산업분류별 기업 수(2018)

- (규모) 기업 규모별 기업 수에서는 83%가 소기업, 11%가 중견기업, 6%가 대기업으로 대부분 기업이 영세한 규모임

(단위: 개, %)



자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-165] 핵융합 규모별 기업 수(2018)

- (산업규모 및 매출액) 산업규모는 2015년 정점 이후 2018년까지 다소 감소하는 추세를 보이며 매출액도 과학연구보다 부품제조에 집중

- (산업규모) 2018년 매출액은 2014년 대비 소폭 증가했지만, 정점이었던 2015년 이후로는 연평균 9.5%씩 감소

- 핵융합 산업 활동 금액은 2015년 3,052억 원 이후 2018년 2,264억 원까지 감소

(단위: 백만 원)



자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-166] 핵융합 산업활동 금액

○ (매출액) 전체 매출액이 감소하는 가운데 제조업과 장치류를 중심으로 매출액이 발생하고 있으며, 과학연구, 전문·과학·서비스업에서의 매출액은 전체의 1% 수준

- (연도별) 매출액 정점인 2015년 1,634억 원 이후 2018년 862억 원까지 감소했으며, 2014년 이후 연평균 3.2%, 2015년 이후 연평균 19.1% 감소

(단위: 백만 원)

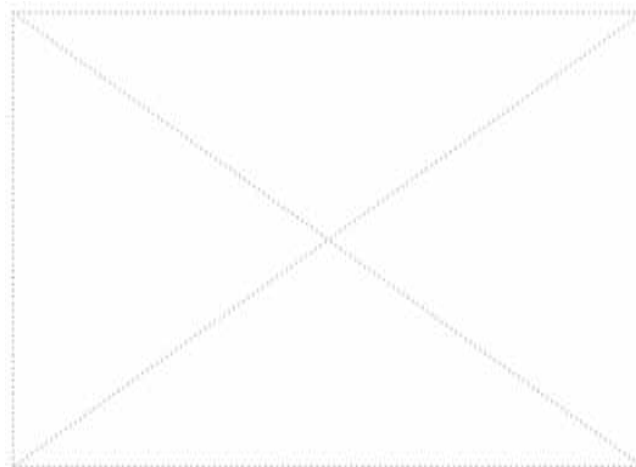


자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-167] 핵융합 연도별 매출액

- (세부분야별) 핵융합 세부분야에서는 주장치, 기반장치 등 장치류가 97%로 대부분을 차지하며 과학연구 분야는 0.2%로 거의 매출액이 존재하지 않음

(단위: 백만 원, %)



자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-168] 핵융합 세부분야별 매출액(2018)

- (표준산업분류) 산업분류별로는 90%가까이가 제조업에 편중되며 도매 및 소매업이 6.6%로 뒤를 잇고, 전문·과학 및 서비스업은 1.3%에 불과

(단위: 백만 원, %)

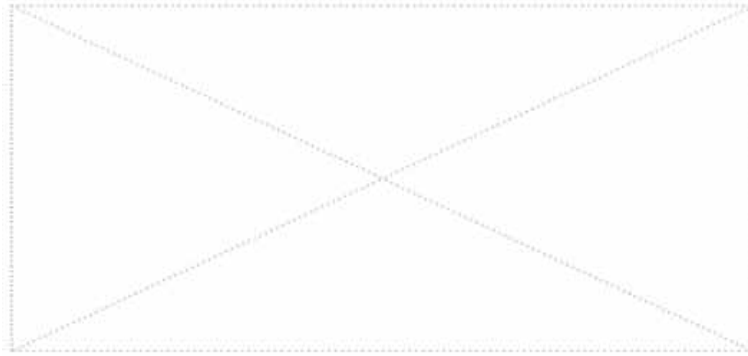


자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-169] 핵융합 표준산업분류별 매출액(2018)

- (수출) 2015년 이후 꾸준히 무역 수지 흑자를 기록하고 있으나 대기업·ITER 편중 현상이 나타나고 아직까지 세계에서의 시장경쟁력은 떨어짐
- (기업 수 및 세부분야) 대기업 중심으로 ITER 사업 관련 하여 수출이 발생하고 있으며, 기술보다는 사실상 부품제조에서만 발생
  - (기업 수) 국내 핵융합 관련 업체 중 4.7%만이 수출하고 있으며, 넥상스코리아, 다원시스, 모비스, KAT, 현대중공업 등이 주로 ITER 사업을 통해 수출 실적 창출
  - (세부분야별) 2016년부터 2018년까지 3년간 수출액은 1,029억 59백만 원이었으나 그 중 99%가 주장치, 진단/제어장치, 가열/전류구동 장치에서 발생

(단위: 개, %, 백만 원)

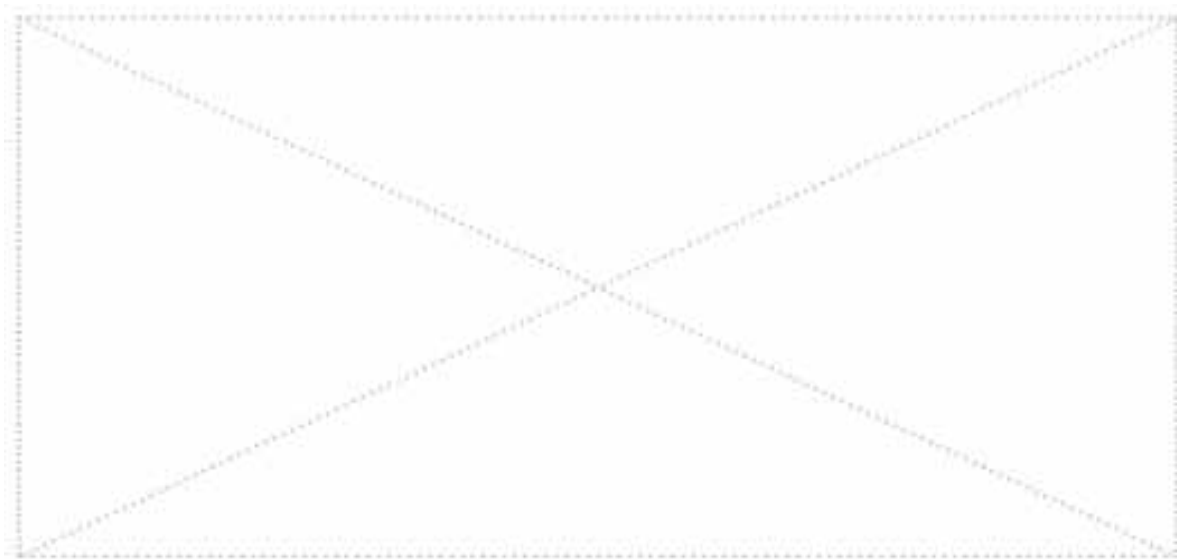


자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-170] 핵융합 세부분야별 수출현황

- (국내기업 점유율) 또한 전 세계 시장에서 핵융합 국내업체 점유율은 10%도 안 되는 상황이며 그마저도 국내 제외 순수 해외 시장은 3%미만
- 국내포함 세계 시장에서의 점유율은 7.6%, 국내제외 순수 해외 시장은 2.8%의 적은 점유율을 보여줌

(단위: 억 원, %)



자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[그림 2-171] 핵융합 국내업체 점유율(2018)

- 현대중공업(2015년 350억원 → 2018년 300억원), KAT (2015년 135억원 → 2018년 31억원) 등 핵융합 분야에서 주요 기업이 수출 주도
- 2019년 이후 다원시스, 비츠로테크, KAT, 한국전력기술 등이 핵융합 관련 수출

- 계약을 체결함에 따라 향후 무역수지 흑자 지속될 것으로 예상됨
- 넥상스코리아, 다원시스, 모비스, KAT, 현대중공업 등이 주로 ITER 사업을 통해 수출 실적 창출

- (전문인력 현황) 핵융합 전문인력은 기업체와 연구기관의 경우 인력 증가했으나, 유사산업 확장과 정책적 변화로 소규모 증가
- (기관별 인력 현황) 기업체 3%, 연구기관 7%로 증가 추세이나, 유사산업으로의 확장과 정책적 변화로 인한 소규모 증가, 대학은 소규모 감소 추세
  - (기업체) 2014년 575명 대비 2018년 643명으로 연평균 3% 증가했으나 미미한 수준
    - ※ 제조업(88.1%) 중심의 사업으로 유사산업으로 확장으로 인한 인원 보강 추정
  - (연구기관) 2015년 이후 지속적으로 증가하고 있으나, 신규 건설, 계약직 인력 정규직화 정책 등의 영향 예상
    - ※ 2017년 이후 공공 연구기관의 계약직 인력을 정규직 확대하면서 일부 인력 증가
  - (대학) 대학소속의 인원은 감소세를 보이며, 이로 인한 신규인력의 유입 감소 우려
    - ※ 최근 5년간 대학소속 인원은 287명에서 273명으로 소폭감소, 참여 대학과 전문교수 규모의 변화 한계점으로 인해 변화폭 작음

(단위: 명)



자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사 참고 가공

[그림 2-172] 핵융합 기관별 전문인력 현황



□ (학력·전공별 인력현황) 기업체는 기계전공 학사 위주, 대학 및 연구기관은 자연계열 전공 박사 위주로 분포

○ (기업체) 핵융합 기업 분야는 전문인력 기계전공 학사 이하 학력을 보유, 기업체 인력 643명 중 77%가 학사 학력을 보유함

- 주장치, 기반장치/시설안전, 진단/제어장치 등 부품제조 위주의 산업으로 인해 기계, 전자, 자연계열 순으로 분포 추정
- 기업 규모별 기업 수에서는 83%가 소기업으로, 학력의 깊이보다는 경험을 선호하는 경향에 따라, 대부분 학사 수준의 학력으로 구성

○ (대학 및 연구기관) 핵융합 학·연 분야는 자연계열 전공 박사 이상의 학력을 보유, 인력 450명 중 74%가 박사 이상의 학력 보유

- R&D 목적 위주의 성향으로 핵융합 관련 전문지식을 요 함으로 자연계열, 원자력, 기계 순으로 분포 추정
- R&D 목적의 성향으로 대학 및 연구기관의 특성상 학력의 깊이를 중요시하는 경향에 따라 대부분 박사 수준의 학력을 보유함

[표 2-65] 핵융합 학력별 전문인력 현황(2018)

(단위: 명)

소계		기업체	연구기관	대학	합계
핵융합	박사(교수포함)	28	150	184	362
	석사	119	27	89	235
	학사 이하	496	-	-	496
	소계	643	177	273	1,093

자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

[표 2-66] 핵융합 전공별 전문인력 현황(2018)

(단위: 명)

구분	기업체	연구기관	대학	합계	
핵융합	자연계열	52	76	96	224
	기계	319	26	12	357
	원자력	10	26	91	127
	재료	26	4	37	67
	전자	116	15	20	151
	화공	48	9	9	66
	기타	72	21	8	101
	소계	643	177	273	1,093

자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

### 3 핵융합에너지 산업경쟁력 시사점

**(과감한 투자 필요) 핵융합 산업은 초기확장 단계로 최초 기술개발자는 시장 선도자 이득을 독점, 에너지패권 가능하며, 주요국과 같이 초기확장 단계인 현재 과감한 투자 필요**

- **(초기확장 단계산업 진입 시점)** 시장이익 독점과 같은 선도자의 이득을 누리고 타국의 에너지패권을 견제하기 위해 산업적으로 초기 확장단계인 지금 과감한 투자가 필요
  - (산업의 확장 시작) 현재 핵융합 산업생태계는 주요 고객인 연구기관, 정부와 강력한 공급자인 산업체 등이 생태계로 편입되고 있어, 출현단계서 확장단계로 이행 중
  - (선도자의 이득) 확장 초반 단계인 산업은 최초 상용화 기술이 결국 국제표준이 되어 시장에 큰 영향력을 행사하고 이익을 독점할 수 있는, 선도자의 이득이 큰 산업
  - (에너지 패권) 특히 에너지산업의 특성상 시장 선도자 이익은 곧 에너지패권을 차지하게 되는 것으로, 도태될 경우 한국은 비 자립국에 계속 머물 위기
  - ※ 한국은 화석에너지 시대에 석탄·석유·천연가스를 수입, 원자력 에너지는 미국에서 기술을 수입, 재생에너지는 비 적합한 기후·지리를 보유, 생산하지 못하여 현재 계속 비 자립국
  - (실증연구 과감한 투자 필요) 선도자의 이득을 차지, 극대화하고 에너지 비자립국에 머무르지 않도록 주요국 비해 더 과감한 투자가 필요한 시점
- **(주요국 스타트업 경쟁 심화)** 주요국의 핵융합 실증 스타트업은 공격적 투자로 에너지패권을 차지, 선도자의 이득을 극대화하고자 하며, 벤치마킹 필요
  - (스타트업 현황) 해외 스타트업 기업 수는 2021년 10월 기준 약 30개가 운영 중이며, 2.4조 원 이상의 과감한 투자가 이루어지고 있음
  - (세계최소 소형실험로 건설) 특히 General Fusion은 세계 최초로 상용로 70% 규모의 실험로를 2025년 가동하기 위해 2022년에 영국에서 건설에 착수

<표 2-67> 핵융합 스타트업

기업명	국가	투자규모	내용
General Fusion	캐나다	3.2억 달러	- '25년 세계 최초로 소형 실험로(상용로의 70% 규모) 가동을 목표로, 영국 Culham 캠퍼스에 '22년 건설 착수
Commonwealth Fusion Systems	미국	20억 달러	- 고온초전도체 활용 토카막 장치 SPARC 제작(~'25) - 핵융합에너지 순증(Q>1) 최초 검증 목표
Tokamak Energy	영국	2억 달러	- 고온초전도체 기술 및 “구형(Spherical) 토카막” 기술 확보를 통한 연구장치 제작·업그레이드 추진

**(실증연구 추진 시급) 국내 산업기반은 ITER 성과에만 머무르고 있으며, 연구계 주도의 실증연구를 시급히 추진할 필요**

- (국내 실증기반 부족) ITER 사업으로 기초단계에서의 산업적 기반이 갖추어졌으나, ITER 성과에만 머무르고 있어 실증을 위한 기반은 오히려 부족
  - (기초기반 마련) ITER에 참여하면서 ITER 부품조달 외 타 국·타 기업으로부터 물품 수주를 받는 등 성과가 창출
    - ※ 사업추진 기간인 2007년부터 2021년 8월까지 ITER 기구 및 타 회원국으로부터 158건, 6,744억 원의 연구·서비스용역, 물품 제작을 수주받음
  - (실증기반 부족) 그러나 장치류와 제조업에 집중된 매출액은 오히려 ITER 사업에 대한 의존도가 높다는 방증이며, ITER 외 실증기반이 약한 것을 보여줌
    - ※ (분야별 기업 수) 세부분야별로 장치류가 80.3%, 표준산업분류별로 제조업이 56.7%를 차지
    - ※ (분야별 매출액) 세부분야별로 장치류가 96.3%, 표준산업분류별로 제조업이 88.1%를 차지

<표 2-68> 기업 수 및 매출액(2018)

(단위: %)

구분	세부분야			표준산업분류			합계
	장치류	과학연구	기타	제조	전문·과학·서비스	기타	
기업 수	80.3%	1.6%	18.1%	56.7%	3.1%	40.2%	100%
매출액	96.3%	0.2%	3.5%	88.1%	1.3%	10.6%	100%

자료: 비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

- (연구계 주도 시급) 시장 선도자의 이득을 차지, 타국의 에너지패권을 견제하기 위해 실증연구가 필요한 시점이나 실증기반 약화추세로 연구계 주도 연구 시급
  - (실증연구 시급) 산업의 초기확장 단계에서 시장 선도자 이득 및 에너지패권을 위한 주요국 스타트업의 공격적 투자로 국내 실증연구가 시급한 시점
  - (실증기반 약화 심화) ITER 사업이 2025년으로 기한이 임박해지며, 산업 규모 및 매출액 모두 하락하는 추세로 실증기반의 불안정함이 드러나는 실정
    - ※ (연도별 산업활동 금액) 2015년부터 2018년까지 연평균 9.5% 하락하는 추세
    - ※ (연도별 매출액) 2014년부터 2018년까지 연평균 3.1% 하락하는 추세
  - (연구계 주도 필요) 실증연구가 시급한 시점에서 국내 실증기반은 오히려 약화 심화가 예상되어 연구계 주도의 연구가 필요



# 3 장

## 유사사례 운영현황 분석

- 1절 국가생명공학정책연구센터
- 2절 국가나노기술정책센터
- 3절 뇌연구정책센터
- 4절 융합연구정책센터
- 5절 국가우주정책연구센터
- 6절 유사사례 운영현황 시사점





## 1절 국가생명공학정책연구센터

- (목적) 생명공학의 국가 차원 정책수립을 지원하고, 정책정보 인프라 구축을 통해 국가 생명공학 육성을 위한 종합 전략 및 정책 개발이 목표
- (정책수립 지원) 전반적인 바이오 분야의 기획·지원을 위한 과학기술정보통신부 지원기관의 역할을 수행하기 위해 설립
  - 국가 생명공학 육성을 위한 종합 전략 및 정책을 개발하고, 바이오 분야 R&D 추진방안 기획을 통한 정책수립 지원
- (정책정보 기반 조성) 정책 정보 인프라 구축을 통한 글로벌 경쟁력 제고를 위해 설립
  - 국내·외 생명공학 관련 기술·정책·산업·제도에 관한 정보 조사 및 관련 통계 개발과 특허맵·논문맵 분석을 통한 정책정보 기반 조성
- (설립 및 운영) 생명공학육성법을 근거로 정책연구와 정보 기반 조성이라는 목표 달성을 위해 생명공학연구원 내부조직으로 운영
- (운영 방식) 과기부와 생명공학연구원의 연구협약에 의해 생명공학연구원 내부조직으로 신설되었으며, 별도의 규정 신설 없이 유치 기관의 제반규정을 준용하는 형태로 운영
  - 2005년 생명공학정책연구센터 운영위원회 개최를 시작으로 본격적으로 운영
  - 한국생명공학연구원의 「부서연구기관 운영규정」에 따라 부설기관의 장은 권한의 일부를 원장에게 위임받아 업무를 수행
- (설립 근거) 생명공학육성법 제24조에 설립과 운영에 관한 법적 근거를 마련

<표 3-1> 생명공학육성법 제24조

### 제24조(생명공학정책전문기관의 지정 등)

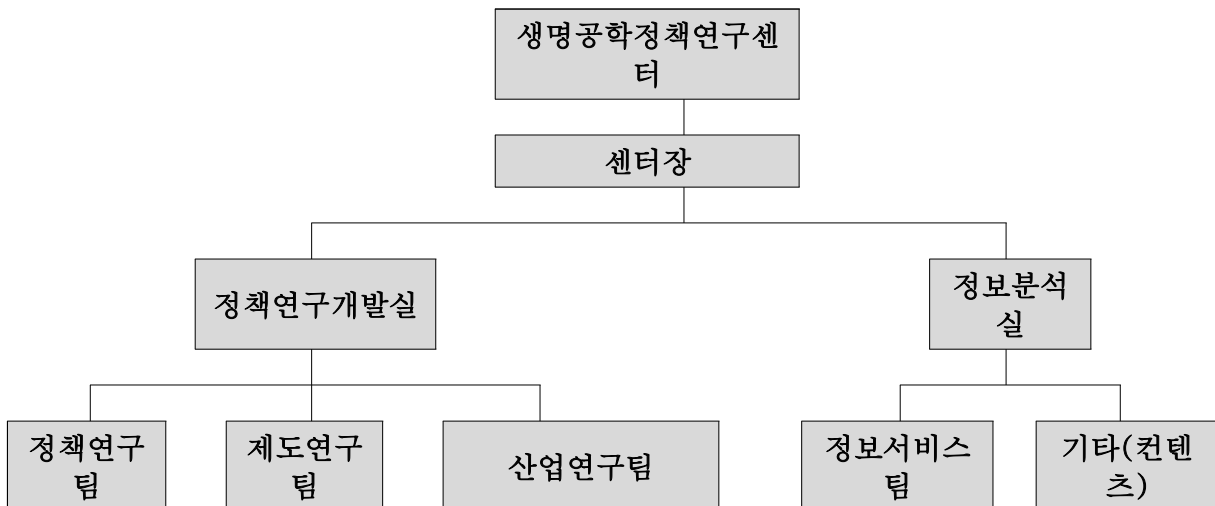
- ① 과학기술정보통신부장관은 생명공학 정책의 수립·조정 및 생명공학 기술개발·활용을 효율적으로 지원하기 위하여 생명공학정책전문기관(이하 “정책센터”라 한다)을 지정할 수 있다.
- ② 정부는 예산의 범위에서 정책센터의 사업 수행에 드는 비용의 전부 또는 일부를 지원할 수 있다.③ 그 밖에 정책센터의 지정과 운영에 필요한 사항은 과학기술정보통신부장관이 정한다.

자료: 과학기술정보통신부(2020). 생명공학육성법

□ (조직 및 예산) 연구 분야에 따른 역할을 수행하기 위한 조직으로 정책연구개발실과 정보 분석실이 있으며 총 15인으로 구성

○ (조직) 정책연구개발실과 정보분석실의 2실로 구성, 정책연구개발실 내 정책연구팀, 제도연구팀, 산업연구팀, 산업연구팀과 정보분석실 내 정보서비스팀으로 구성

- (정책연구팀) R&D 정책지원과 정책 아젠다 발굴, 바이오혁신성장대전 주관 업무 수행
- (제도연구팀) 생명공학육성기본계획 주관, OECD 및 GloPOD-R 등 국제협력과 신약 이슈 발굴·지원 업무 수행
- (산업연구팀) 생명육성시행계획 총괄, 혁신기술 발굴 및 육성, 중소벤처통계 및 기업 DB 관리 업무 수행
- (정보서비스팀) BioIN 사이트 운영 및 관리, 성균바이오융합과학기술원(BICS) 관리 업무 수행



자료: 국가생명공학정책연구센터 홈페이지, <https://www.bioin.or.kr/bioin.do?cmd=org>

[그림 3-1] 생명공학정책연구센터 조직도

○ (인력) 2022년 4월 기준 센터장 1인, 실장 2인과 팀장 3인, 연구원 9인 총 15명으로 구성

- 실장 2인과 정책연구팀 3인, 제도연구팀 2인, 산업연구팀 3인, 정보서비스팀 2인, 기타 2인으로 구성

<표 3-2> 생명공학정책연구센터 인력

조직도	직급	규모
생명공학센터	센터장	1
정책연구개발실	실장	1
정책연구팀	연구원	3
	팀장	1
제도연구팀	연구원	1
	팀장	1
산업연구팀	연구원	2
	팀장	1
정보분석실	실장	1
정보서비스팀	연구원	1
	팀장	1
기타(컨텐츠)	연구원	2
합계		15

자료: 국가생명공학정책연구센터 홈페이지, <https://www.bioin.or.kr/bioin.do?cmd=org>

○ (예산) 정부와 생명공학연구원의 출연금 등 약 23억 원 수준

<표 3-3> 최근 5개년도 국가생명공학정책연구센터 예산

(단위: 백만원)

연도	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
총 예산	1,701	1,701	2,171	2,350	2,350

자료: 과학기술정보통신부. 예산 및 기금 운용계획 사업설명자료

□ (주요 임무) 국가 정책개발 및 기획, 통계 개발을 통한 정보 수집 및 보급, 대국민 홍보, 전문가 네트워크 구축 및 국제 협력이 주요 임무

○ (정책개발 및 기획) 국가 BT 육성 종합 정책 및 전략 R&D 분야 추진방안 기획

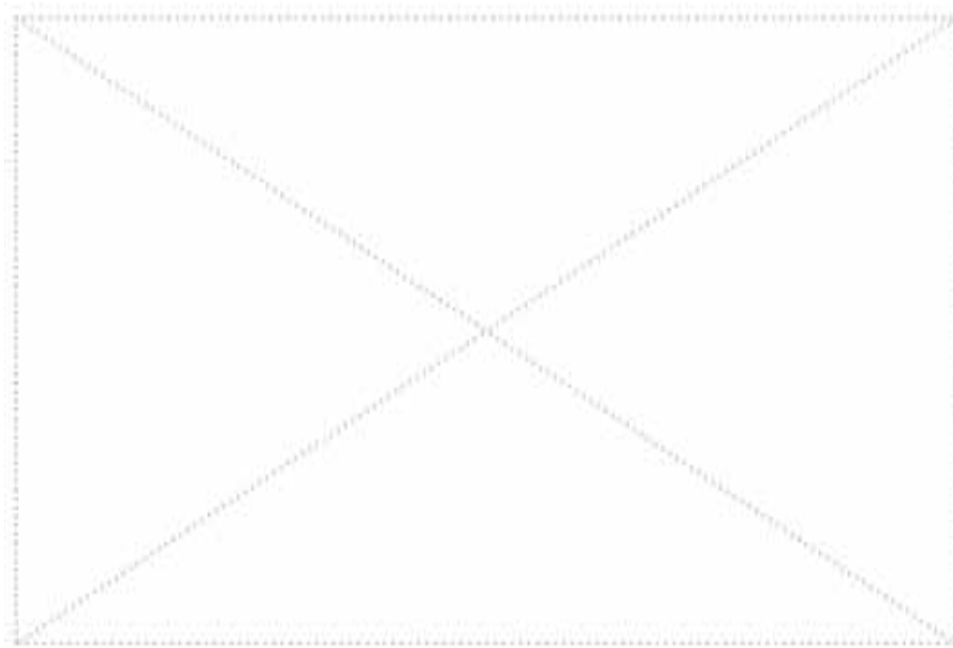
- 2단계 생명공학육성기본계획('12.2), 생명연구자원기본계획('10.2), BT 심층 3P 분석 기획연구('10.12) 등의 연구 성과 창출

○ (정보 분석) 국내·외 기술·산업·제도·정책에 관한 BT 정보 모니터링 및 통계 개발과 이를 통한 정보 서비스 제공

- DB 구축과 특허맵·논문맵 작성을 통해 정부의 정책수립 및 연구자들의 연구 방향 수립을 지원



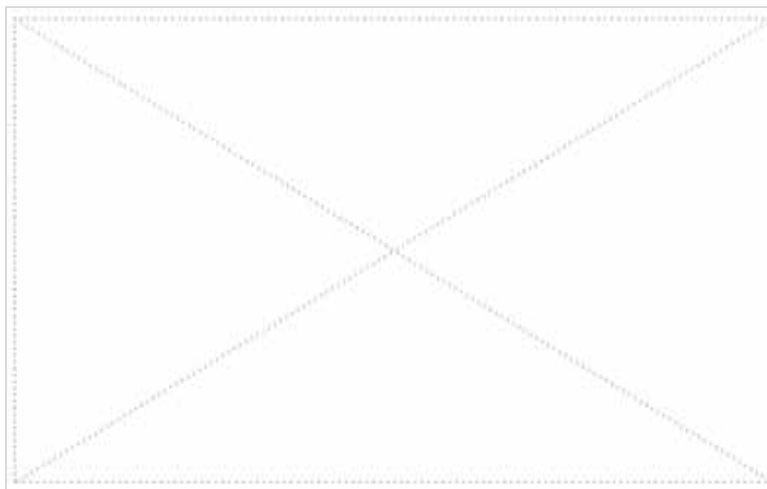
- 매년 생명공학과 관련된 국내외 투자현황, 산업, 기술의 통계보고서 발간
  - 10년 이상 축적한 약 100,000건의 생명공학 관련 국내·외 정책정보를 지원 및 보급하는 체계적 서비스 제공
- (대국민 홍보) 백서와 홍보자료 발간, 생명공학 포럼, BT 좌담회, BT 세미나 등을 통해 생명공학에 대한 국민 관심 및 이해 증진
- 생명공학백서, 국내·외 홍보책자 발간을 통한 홍보이슈 발굴 및 이슈별 언론과 토론회 등을 통한 대국민 홍보
  - 생명공학 포럼과 좌담회, 세미나 등을 통한 국민의 생명공학에 대한 관심 및 이해를 증진하기 위한 노력
- (전문가 네트워크 및 국제협력) 국내·외 정책기획 협력 및 해외 거점 망 확보를 통한 효율적 국제 협력 추진
- 미국 전문가 네트워크 및 한인 단체 네트워크, OECD WPB 등 해외 네트워크 구축 노력
- ※ 미국 한인 단체 주요 네트워크: BAKAS-KOIS-KASBP-NEBS-RTP-KRIBB



자료: 국가생명공학정책연구센터 홈페이지, <https://www.bioin.or.kr/bioin.do?cmd=center2>

[그림 3-2] 생명공학정책연구센터 주요 임무

- (협업체계) 과학기술정보통신부, 연구재단국책단 그리고 BT 유관기관과의 협업체계를 구축하여 생명공학 정책 지원의 중심점 역할 수행
- (과학기술정보통신부) 생명공학정책연구센터의 정책 자료를 바탕으로 정책을 수립하고 유관 산업체 지원
  - 생명공학 기본계획 및 시행계획의 수립과 조정, 생명공학 관련 주요 제도의 수립과 정비 및 개선을 담당
  - 생명공학의 효율적인 육성을 위한 종합적인 시책을 세우고 추진
- (BT 유관기관 및 연구재단국책단) 생명공학정책연구센터의 지원을 바탕으로 연구를 기획하고 성과를 확산
  - (연구재단국책단) 생명과학분야 연구 사업을 진행하면서 과제기획을 통해 RFP를 공고하는 등 국책연구사업을 수행
  - (BT 유관기관) 산업체나 관련 연구기관에 대해 통계 등 정책기반 제공과 지원을 통해 성과 확산의 역할 수행
- (생명공학정책연구센터) 정책 개발 및 기획, 정보 분석·제공을 통해 과기정통부를 지원하는 역할로 원활한 협업체계를 위해 운영위원회와 기술·정책 네트워크를 운영
  - (운영 위원회) 센터 운영 방안에서부터 주요 사업계획, 주요업무에 대한 심의 의결을 수행
  - (기술·정책 네트워크) 정책기획 전문가로 구성되어 있으며 수행사업에 대한 자문 제공



자료: 국가생명공학정책연구센터 홈페이지, <https://www.bioin.or.kr/bioin.do?cmd=center>

[그림 3-3] 생명공학정책연구센터 협업체계

## 2절 국가나노기술정책센터

- (목적) 나노기술 정보의 수집·분석과 국가 나노정책 및 전략 수립 지원을 위해 설립
- (정책 지원) 나노기술분야의 정책 지원 기능이 분산되어 구심점 부재와 예산 효율성 저하가 나타나자 이를 해결하기 위해 설립
  - 한국연구재단, 나노기술연구협의회, 과학기술정보연구원으로 분산되어 수행하던 교육과학기술부의 나노기술종합정보 및 정책지원 기능을 통합할 필요성 제기
  - 이에 나노기술개발촉진법을 근거로 나노 정책에 대한 구심점 역할 및 효율적 정책 수립을 위해 나노기술정책센터 설립
- (정책수립 지원 및 국제협력) 나노 정책 지원의 구심점으로 효율적 나노 기술 투자 및 정책 수립, 국제적 이슈에 대한 신속한 대응을 기대
  - 세계적 수준의 나노 정책 전문연구기관의 역할을 담당하도록 유사 정책지원 기능을 통합
  - 효율적인 나노 기술 투자와 정책수립, 국제협력 및 네트워크 지원을 통한 국제적 이슈에 대응
- (설립 및 운영) 나노기술개발 촉진법을 근거로 정책지원 기능을 통합하여 2010년 한국과학기술정보연구원(KISTI) 내부조직으로 설치 이후 재료연구소로 이전
- (운영 방식) 나노 정책 구심점으로서의 역할을 수행하기 위해 한국과학기술정보연구원 (KISTI)을 유치기관으로 선정하고 내부 조직으로 운영
  - 2010년 KISTI 내부조직으로 설립 이후 2017년 7월 KISTI에서 한국기계연구원 부설기관인 한국재료연구원 소속으로 센터를 이관하여 독립적인 조직으로 운영 중
- (설립 근거) 나노기술개발 촉진법 제14조 제2항을 법적 근거로 설립

<표 3-4> 나노기술개발 촉진법 제14조 제2항

**제14조(기술정보체계의 구축)** ①정부는 나노기술의 연구개발을 효율적으로 지원하고 나노기술정보의 생산·유통·관리 및 활용을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 시책을 세우고 이를 추진하여야 한다.

②과학기술정보통신부장관은 제1항의 시책을 원활하게 추진하기 위하여 필요한 경우에는 대통령령으로 정하는 바에 따라 나노기술정보관리전문기관을 지정할 수 있다.

자료: 과학기술정보통신부(2018). 나노기술개발 촉진법

- (조직 및 예산) 정책연구, 정보 서비스 제공, 네트워크 지원 임무를 수행하기 위해 정책기획팀, 정보분석팀, 대외협력팀 등 총 12인으로 구성
- (조직) 센터장, 사무국과 기능 중심의 3팀(정책기획팀, 정보분석팀, 대외협력팀)으로 구성
  - (정책기획팀) 국가나노기술 종합계획 및 시행계획 수립, 기술영향평가 실시와 같은 나노 분야 정책수립 지원, 기획 업무를 담당
  - (정보분석팀) 논문·특허 동향분석, 기술 연감, 이슈페이퍼 및 심층분석보고서, 통계자료집, 나노기술 기관 현황 조사와 같은 정보 분석 업무를 담당
  - (대외협력팀) 미국, EU 등 국외와의 나노포럼, 워크샵과 같은 주기적인 행사를 개최, 운영, 총괄하는 업무를 담당



자료: 국가나노기술정책센터 홈페이지. [https://www.nnpc.re.kr/bbs/content.php?co\\_id=06\\_07](https://www.nnpc.re.kr/bbs/content.php?co_id=06_07)

[그림 3-4] 국가나노기술정책센터 조직도

- (인력) 2022년 4월 기준 센터장 1인, 사무국장 1인, 팀장 1인, 사무국장 겸임 팀장 1인, 선임연구원 3인, 연구원 5인으로 총 12인으로 구성
  - 정책기획팀 3인, 정보분석팀 4인, 대외협력팀 3인으로 구성

&lt;표 3-5&gt; 국가나노기술정책센터 인력

조직도	직급	규모
생명공학센터	센터장	1
사무국	사무국장	1
정책기획팀	팀장	1
	선임연구원	1
	연구원	1
정보분석팀	선임연구원	1
	연구원	3
대외협력팀	사무국장 겸임 팀장	1
	선임연구원	1
	연구원	1
합계		12

자료: 국가나노기술정책센터 홈페이지. [https://www.nnpc.re.kr/bbs/content.php?co\\_id=06\\_07](https://www.nnpc.re.kr/bbs/content.php?co_id=06_07)

○ (예산) 정부연구비 및 민간연구비로 2021년 약 26.5억원 수준

&lt;표 3-6&gt; 최근 5개년도 국가나노기술정책센터 예산

(단위: 백만원)

연도	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
정부연구비	1,435	1,750	1,800	2,150	2,300
민간연구비	165.2	279	334	350	350
연구비합계	1600.2	2,029	2,134	2,500	2,650

자료: 과학기술정보통신부. 예산 및 기금 운용계획 사업설명자료

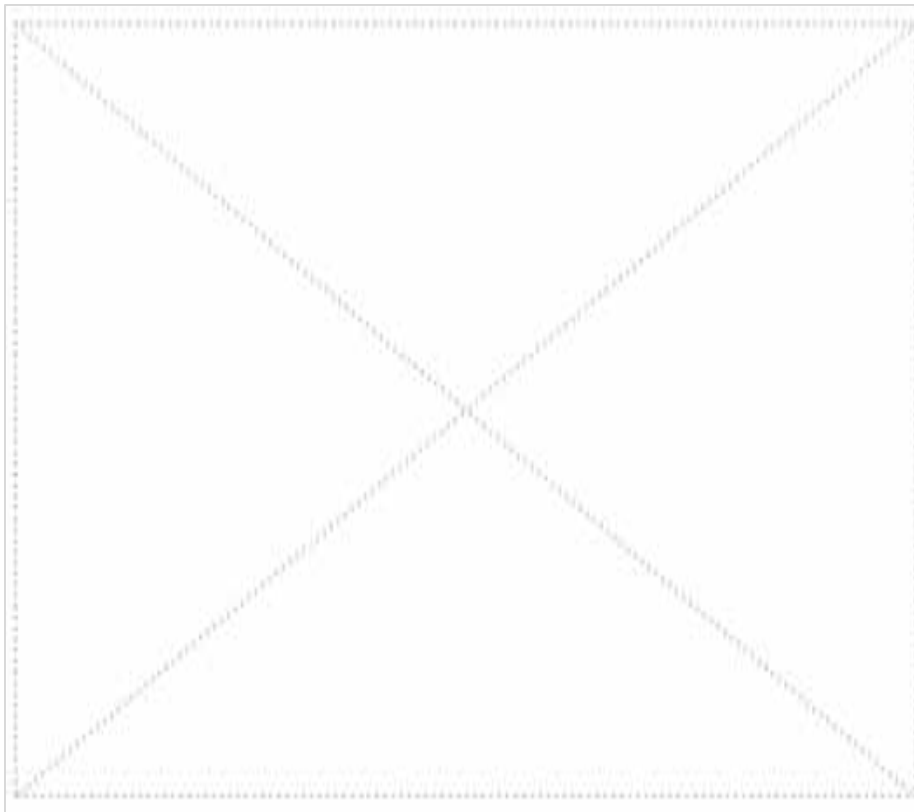
- (주요 임무) 정책연구 및 기획, 정보수집 및 분석 서비스 제공, 홍보 및 네트워크 지원을 통한 정부의 나노기술 정책 및 전략 수립 지원이 주요 임무
- (정책연구 및 기획) 정부의 나노기술 관련 정책·전략개발, 장기 계획 수립과정에서 필요한 정책이슈 등 상시 정책 지원
  - 나노 일류국가 비전을 제시하기 위한 국가나노기술 종합발전계획\*과 정부·민간이 방향 설정에 전략적으로 활용할 수 있는 나노기술 지도\*\* 수립
  - ※ 국가나노기술 종합발전계획: 체계적이고 종합적인 나노기술 연구프로그램 추진을 위한 기본계획
  - ※ 국가나노기술 지도: 나노기술분야 현황 진단 및 미래 사회 수요·시장 전망 등 반영
  - 나노기술의 발전과 산업화가 우리 사회에 미치는 영향을 사전에 평가하고 그 결과를 정책에 반영하기 위한 나노기술영향 평가 실시
- (정보수집 및 분석) 수집된 정보를 분석·가공하여 나노정책 당국자, 연구자 및 산업계 종사자에게 적기에 정보 제공
  - 나노기술 분야의 논문·특허 동향 조사, 글로벌 나노정책 및 기술동향 조사를 통해 나노기술정책수립에 국내·외 환경 변화 반영 노력
  - 매년 나노기술에 관한 국내·외 정책·사업·인프라교육 등을 총망라한 나노 기술 연감 발간
- (홍보 및 네트워크) 나노기술 연구 성과를 공유, 확산하여 네트워크를 구축하고 홍보 활동을 통해 나노기술에 대한 인식제고 및 저변 확대
  - 한·미 나노포럼, 한·EU 나노워크숍, OECD BNCT 활동 참여와 나노융합성과전 개최를 통한 국내 산·학·연 교류 등 국내·외 네트워크 구축
  - ※ OECD BNCT(Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technologies): OECD 바이오나노융합기술 작업반
  - 웹진과 강연 방송을 통해 나노기술에 대한 국민의 이해도, 친밀도 증진



자료: 과학기술정책연구원(2019). 우주정책센터 신설 기획 최종보고서

[그림 3-5] 국가나노기술정책센터의 주요 임무

- (협업체계) 과학기술정보통신부를 비롯한 관계부처와 산·학·연과의 협업체계를 구축하여 나노 정책 지원 기능 수행
- (정부 부처) 나노기술종합발전계획을 수립함에 있어 주관 부처인 과학기술정보통신부 외에도 8개의 관계부처와 협업체계를 구축
- 기획재정부, 교육부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 보건복지부, 환경부, 중소기업부, 식품의약품안전처 등으로 구성된 관계부처 추진위를 구성하여 협업체계를 구축
  - 또한 산·학·연·관 전문가들로 구성된 기획위원회를 구성하여 협업체계 구축
- (산·학·연) 정부 기관 외에도 산업계, 학계, 연구계와의 협업체계를 구축하여 나노 기술 정책 및 전략 수립에 기여
- 산업계와는 상용화, 학계와는 인력 양성, 연구계와는 연구개발과 기술이전 등을 협업
- (나노기술정책센터) 정책연구 및 기획, 나노기술정보 수집·분석 서비스 등을 바탕으로 정부 부처와 산·학·연 지원
- 나노기술종합발전계획 및 시행계획 수립을 지원하며, 정책이슈 대응 및 상시 정책 지원 체계 구축



자료: 국가나노기술정책센터(2021). 국가나노기술정책센터 브로셔

[그림 3-6] 국가나노기술정책센터 협업체계

### 3절 뇌연구정책센터

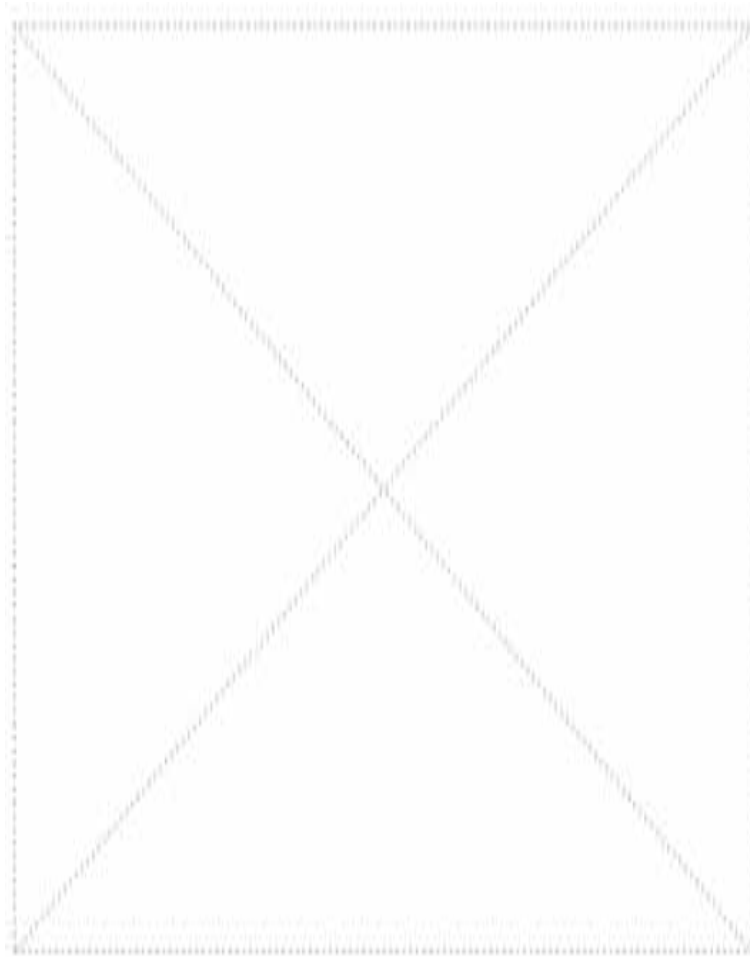
- (목적) 국가 뇌 연구 중장기 전략 수립, 뇌 연구 정보·동향 분석, 뇌 연구 협력 네트워크 구축 등 뇌 연구 정책 지원 싱크탱크 역할을 목적으로 설립
- (정책수립 지원) 중장기 뇌 연구 정책·전략 수립, 뇌 연구 동향 분석, 뇌융합 연구개발 사업의 기획, 뇌 연구 협력 네트워크 구축을 통한 뇌 과학 발전 도모
  - 뇌연구 R&D 기획 및 사업발굴, 예타 사업 지원 등 전반적인 정책 지원 업무를 수행하기 위해 설립
- (연구 동향 분석) 뇌 연구 정책 수립에 필요한 기초자료 수립·분석 등을 수행하여 미래 성장 동력인 뇌 과학 발전을 뒷받침하기 위해 설립
  - 뇌 연구 통계연감 및 백서와 뇌 연구 동향정보 등 정보허브 구축
- (설립 및 운영) 과학기술정보통신부와의 연구협약으로 설립하여 한국뇌연구원 (KBRI) 내부조직으로 운영
- (운영 방식) 2015년 설립된 한국뇌연구원의 내부조직으로, 유치기관장이 뇌 연구정책센터장의 임면권을 행사
  - 별도의 운영규정 없이 한국뇌연구원의 제반규정을 준용하며 운영하는 형태
- (설립 근거) 과학기술정보통신부와 설치기관장 사이의 연구협약을 통해 설립
- (조직 및 예산) 뇌연구정책센터 단일 조직이며 별도의 조직 구분 없이 총 6인으로 구성
- (조직 및 인력) 2022년 4월 기준 센터장 1인, 선임연구원 1인, 연구원 1인, 연수연구원 1인, 행정원 2인으로 구성되며, 총 6명으로 구성

<표 3-7> 뇌연구정책센터 인력

조직도	직급	규모
뇌연구정책센터	센터장	1
	선임연구원	1
	연구원	1
	연수연구원	1
	행정원	2
합계		6

자료: 한국뇌연구원, <https://www.kbri.re.kr/new/pages/sub/page.html?mc=0787>





자료: 뇌연구정책센터 홈페이지, <https://www.kbri.re.kr/new/pages/sub/page.html?mc=0382>

[그림 3-7] 한국뇌연구원 조직도

- (예산) '20년 13.16억원의 정부연구비를 지원하였으나, '21년 9억원으로 연구비 감소

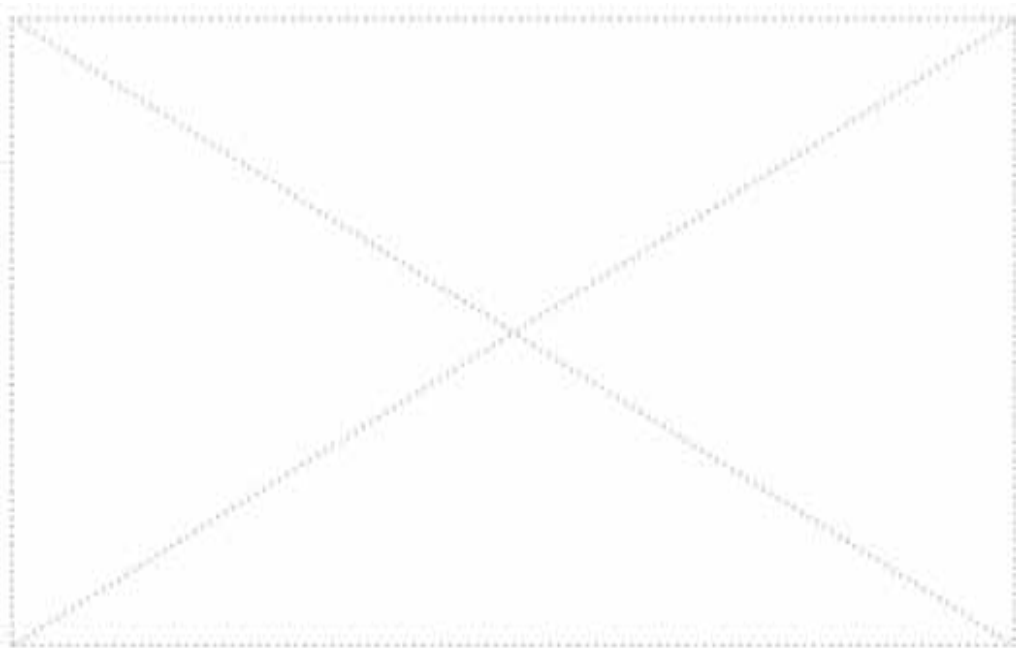
<표 3-8> 최근 5개년도 뇌연구정책센터 예산

(단위: 백만원)

연도	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
정부연구비	717	970	1,270	1,316	900

자료: 과학기술정보통신부. 예산 및 기금 운용계획 사업설명자료

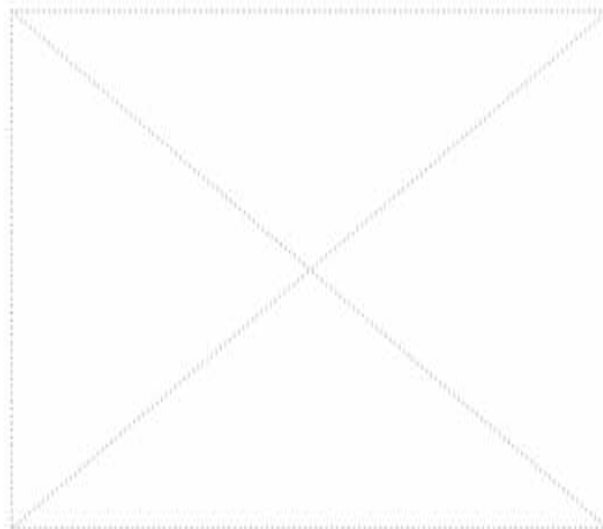
- (주요 임무) 국가 뇌 연구 정책지원, 국내·외 협력 네트워크 구축, 국가 뇌 정보 허브 구축 역할이 주요 임무
- (기획 및 정책지원) 뇌연구촉진 기본(시행)계획 수립, 중장기 계획 수립, 대·내외 주요 정책 및 연구 기획 등 정책 지원 역할
  - 4차 산업혁명 뇌 연구 활성화 입법 간담회, 뇌연구촉진 기본계획 공청회 개최, 국가 뇌연구 발전전략 토론회 개최 등 정책 지원 역할 수행
- (국내·외 협력 네트워크) 국내·외 MOU 관리, 국제뇌과학이니셔티브(IBI) 참여와 뇌연구기관협의체 운영, 학연위원회 운영 지원 등 네트워크 구축 역할
  - KBRI-영국 킹스칼리지 간 MOU 체결, 세계뇌신경과학총회 개최, IBI 참여, 바이오동향 세미나 등 국내·외 협력 네트워크 구축
- (정보 허브) 뇌 연구 동향과 주요 이슈를 분석하여 책자를 발간하며, 뇌 연구 통계데이터 확보 및 분석
  - Brain News를 제공하고 Brain Insight를 발간하는 등 뇌 연구 동향과 주요 이슈를 분석하여 제공
  - 뇌 연구 통계 데이터를 분석하여 국가 뇌 연구 정보허브 구축



자료: 뇌연구정책센터 홈페이지, <https://www.kbri.re.kr/new/pages/sub/page.html?mc=0786>

[그림 3-8] 뇌연구정책센터 주요 임무

- (협업체계) 국가 뇌 연구 컨트롤타워로서 다수의 뇌 연구 기관에 대한 역할 분담과 조정자 역할을 하며, 산·학·연과의 협업체계 구축
- (과기정통부) 과학기술정보통신부 생명기술과에 대한 지원기관으로서 국가와 민간 기업체의 가교 역할
- (국내·외 뇌연구기관) KIST, IBS 등 다수의 뇌 연구 기관에 대한 역할 분담, 조정 수행
  - 뇌 연구 관계자들에게 최신 정보 제공, 관련 제도 개선 및 지원과 함께 첨단 뇌정밀의학 클러스터 구축 사업 추진
- (국내·외 기업체대학병원) 산·학·연과 병원 간의 유기적 협력 네트워크를 구축하는 협력 체계 구축
  - 국가 거대 뇌 연구 사업의 민간 참여 및 투자를 촉진하는 역할 수행



자료: 뇌연구정책센터, <https://www.kbri.re.kr/new/pages/sub/page.html?mc=0783>

[그림 3-9] 뇌연구정책센터 협업체계

## 4절 융합연구정책센터

- (목적) 융합에 대한 국가 전략적 정책 방향 설정 및 부처 간 중복 방지 등 정책수립을 지원하기 위해 설립
- (융합연구 전략 수립) 융합연구 촉진과 신산업 창출을 위하여 연구자와 정부 간, 과학기술과 인문사회 간 융합관련 컨트롤 타워 필요성 제기
  - 융합연구정책센터는 혁신성장과 신산업 창출에 기여하기 위한 국가융합연구 정책 및 전략의 방향을 수립하는 싱크탱크 역할 수행
  - 융합전문가 간 네트워크 구축과 부처 기능 조정 역할을 수행할 컨트롤 타워 역할 기대
- (융합연구 지원 체계 구축) 융합연구에 대한 상시 지원 체계 구축, R&D 정책 수립지원을 통하여 국가융합기술의 경쟁력 강화, 네트워크 확산 등 융합연구 촉진방안 수립을 기대
  - 상시 지원 체계를 통한 융합 연구 및 기술·산업 관련 정부 R&D 사업 추진의 효율성과 효과성 제고
  - 연구주제 발굴과 융합연구의 특성을 고려한 R&D 정책 수립 지원을 통한 국가융합 기술의 경쟁력 강화
  - 융합 R&D에 대한 국내·외 기술동향, 통계조사 및 융합전문가 간 네트워크 확산을 통한 융합연구 촉진 방안 수립
- (설립 및 운영) 설립목적과의 부합성 및 지원의지를 평가하여 한국과학기술연구원 (KIST)을 주관 연구기관으로, 고려대학교를 참여 연구기관으로 선정하여 사업단 형태로 운영
- (운영 방식) 기관 선정부터 공모를 통해 이루어진 경우로, 4년 주기의 평가 결과에 따라 유치기관이 변경될 수 있는 기한제 사업단 형태를 보임
  - 공모를 통해 2012년 12월 KIST 내부 조직으로 설치하여 유치 기관의 제반규정을 준용하여 운영
- (설립 근거) 국가융합기술 발전 기본계획('09~'13)은 실행 로드맵으로 “과학기술·인문사회 융합연구센터 선정·지원 방안”을 수립하였으며 이를 기반으로 설립
- (조직 및 예산) 정책 지원 임무를 수행하기 위해 정책지원팀, 사업기획팀, 정보분석팀 총 15인으로 구성
- (조직) KIST 내 부원장 직속 기관으로 정책지원팀, 사업기획팀, 정보분석팀으로 구성

- (정책지원팀) 국가 융합기술발전 기본계획 수립 등 융합 전략 수립을 담당
- (사업기획팀) 융합포럼을 개최 및 지원하고 융합연구 신규사업기회 및 지원을 담당
- (정보분석팀) 융합기술 수준, 성과 분석조사와 관련 동향 분석, 융합기술 심층 분석 제공을 담당



자료: 융합연구정책센터 홈페이지, <https://crpc.kist.re.kr/user/nd78146.do>

[그림 3-10] 융합연구정책센터 조직도

○ (인력) 2022년 4월 기준 소장 1인을 비롯해 팀장 3인과 팀원(Post-Doc 포함) 11인, 총 15인으로 구성

- 정책지원팀 5인, 사업기획팀 5인, 정보분석팀 4인으로 구성

<표 3-9> 융합연구정책센터 인력

조직도	직급	규모
융합연구정책센터	소장	1
정책지원팀	팀장	1
	팀원	4
사업기획팀	팀장	1
	팀원	4
정보분석팀	팀장	1
	팀원(Post-Doc 포함)	3
합계		15

자료: 융합연구정책센터 홈페이지, <https://crpc.kist.re.kr/user/nd78146.do>

○ (예산) 정부 첨단융합기술개발사업과 KIST의 예산으로 매년 약 18억원 수준

<표 3-10> 최근 5개년도 융합연구정책센터 출연금

(단위: 백만원)

연도	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년
총 예산	2,150	1,800	1,655	1,800	1,799

자료: 과학기술정보통신부. 예산 및 기금 운용계획 사업설명자료

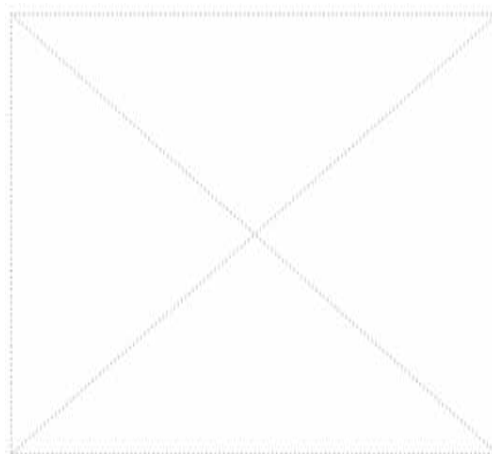
- (주요 임무) 정부 융합연구 정책 지원과 사업기획, 융합정보 분석 및 제공, 네트워크 구축 및 확산 등 범부처 융합 컨트롤 타워 역할이 주요 임무
- (정책·기획 지원) 융합 전략을 수립하고 신규 사업기획을 지원하는 역할
  - 국가 융합기술발전 기본계획, 시행계획 등 융합 정책 및 전략을 수립하는 역할
  - 융합기술 수준·성과 분석조사와 동향 분석, 포럼 개최를 통한 융합연구 신규 사업기획 및 지원
- (정보 분석과 네트워크 구축) 정책 지원의 컨트롤 타워 역할을 수행하기 위해 정보의 허브 역할과 네트워크의 구심점 역할 수행
  - 융합기술에 대한 심층 분석을 제공하고 융합 관련 정보의 허브 역할 수행
  - 융합 인력 양성 및 교육 지원과 해외 협력을 통한 융합연구 네트워크 구심점 역할 수행



자료: 융합연구정책센터, <https://crpc.kist.re.kr/user/nd63683.do>

[그림 3-11] 융합연구정책센터의 주요 임무

- (협업체계) 융합기관 간 네트워크 구축을 통해 융합연구 활성화 기반 마련 및 융합연구 허브로서 중심체 역할을 제3차 융합연구개발 활성화 기본계획에서 제시
- (융합대학(원)) 4차 산업혁명 시대에 필수적인 융합인력 양성 및 융합연구(교육)를 수행
  - 융합교육 및 인재양성으로 통해 융합인재 공급 및 인력 교류를 담당하며 대학(원)간 협력 기반 리빙랩 설치
- (출연(연)) 기술간, 학제간, 분야간(인문사회) 융합연구·기술개발 등을 추진
  - 공동겸직교수, 기술교류 및 공동연구를 통해 융합기술 개발 및 연구를 담당하며 도전적·혁신적 융합연구를 통한 다양한 연구성과 창출
- (기업) 다양한 응용분야에서 융합 신제품 및 서비스 개발 등 융합연구 발전을 주도
  - 기술교류 및 협업을 통해 융합기술 상용화와 제품개발을 담당하며 생산시설과 서비스 네트워크 구축
- (융합연구정책센터) 융합연구 정보 제공과 교류·소통의 중심점을 통해 맞춤형 정보공유, 확산 플랫폼 제공하여 미래융합협회의의 간사 역할을 수행
  - DB 연계를 통한 정보분석·가공을 통해 협력 파트너 연계, 성과중심 연구자맵, 연구데이터 플랫폼 구축
  - 상시 연계·협력을 통해 산·학·연 네트워크 구축, 글로벌 포럼 개최, 대국민 정책 소통 강화

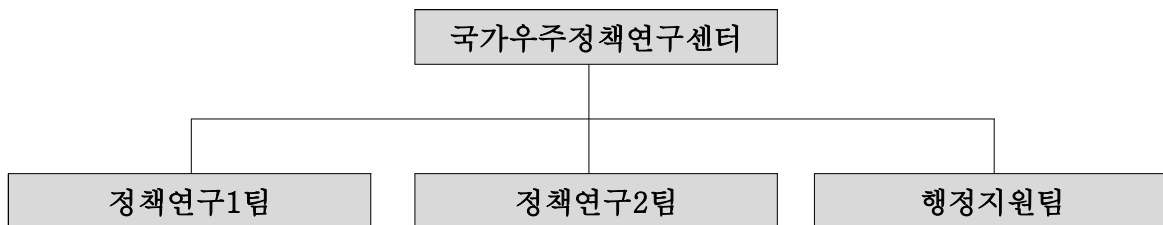


자료: 융합연구개발 활성화 기본계획(2018), 융합연구정책센터

[그림 3-12] 융합연구정책센터 협업체계

## 5절 국가우주정책연구센터

- (목적) 연구개발 중심에서 외교·안보·산업 등 종합 정책 성격으로 확대되는 국가 우주정책을 지원하기 위해 설립
- (우주개발 대응) 활용 범위를 확장 중인 우주개발에 대응하기 위해 정책지원 센터 설립 필요성 제기
  - 우주개발 분야는 위성을 통한 기상예측, 미세먼지 등 환경관리, 해양생태계 관리, 국토관리 등으로 활용 범위를 확장 중
  - ※ 정찰위성, 우주감시 등 안보 전략 자산이자, 고부가가치 산업인 우주인터넷, 우주관광 등의 실현과 함께 미래 유망기술로 촉망 받음
- (정책수립 지원) 우주개발강국으로 도약하기 위한 연구개발, 안보, 우주외교, 우주산업 분야의 정책을 지원하기 위해 설립
  - 상설기관의 전문성과 연속성을 바탕으로, 종합적인 우주정책 수립에 기여 목표
- (설립 및 운영) 2021년도 우주개발 진흥 시행계획을 근거로 우주정책의 싱크탱크 역할을 위해 과학기술정책연구원(STEPI) 원장 직속 조직으로 운영
- (운영 방식) 한국연구재단의 공모 절차와 전문가 평가를 거쳐 STEPI를 유치기관으로 선정
  - 2021년 국가 우주정책의 싱크탱크 역할을 위해 공모를 거쳐 STEPI 원장 직속 기관으로 운영
- (설립 근거) 제3차 우주개발 진흥 기본계획의 시행계획(2021)에서 우주개발전략 기반 조성을 위해 우주정책센터 설치를 계획
  - 전략 6-6(우주개발전략 기반 조성)에서 전문성이 높고 연속성이 제고된 우주개발 정책 수립을 위해, 상설화된 우주정책센터 설치를 2021년 계획으로 제시
- (조직 및 예산) 정책연구1팀, 정책연구 2팀, 행정지원팀으로 구성



자료: ALIO 공공기관 경영정보공개 시스템(과학기술정책연구원), <http://www.alio.go.kr/popReportTerm.do?apbaId=C0017&reportFormRootNo=10101>

[그림 3-13] 국가우주정책연구센터 조직도



- (인력) 2022년 4월 기준 센터장 1인, 팀장 2인, 책임연구원 1인, 선임연구원 1인, 연구원 1인으로 구성
  - 정책연구1팀은 4인, 정책연구2팀 및 운영기획팀은 인력 구성 중

&lt;표 3-11&gt; 국가우주정책연구센터 인력

조직도	직급	규모
국가우주정책연구센터	센터장	1
정책연구1팀	팀장	1
	책임연구원	1
	선임연구원	1
	연구원	1
정책연구2팀	팀장	1
	팀원*	(인력 구성 중)
운영기획팀	팀장*	
	팀원*	
합계		

자료: 과학기술정책연구원, <https://stepi.re.kr/site/stepiko/ex/bbs/List.do?cbIdx=1318#>

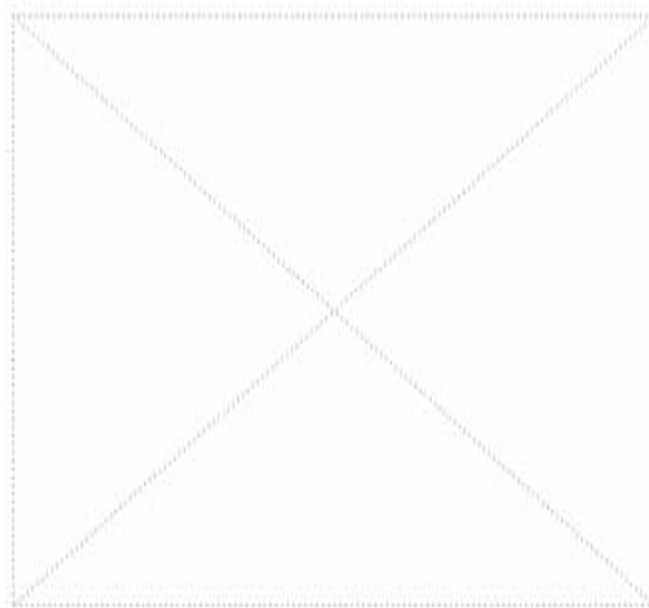
- (예산) '21년 신설되어 정부예산 1,010백만 원이며, '22년 1,200백만 원으로 증가
- (주요 임무) 우주개발진흥기본계획 등 정부의 정책 지원과 우주 개발 이슈 및 동향 분석 등 정보 제공이 주요 임무
- (정책 지원) 우주개발진흥기본계획 등 정부의 주요 우주개발 계획과 '우주산업 육성 전략' 등 민간에서 필요로 하는 정책 수립 지원 임무 수행
  - (우주개발진흥기본계획) 민간과 안보의 우주개발 연계성 강화, 위성정보 활용 극대화 등 국가 우주개발 추진의 효율성 제고 등을 포함하여 수립
  - (우주사업 육성전략) 민간에서 필요로 하는 정책을 수립하며, 우주개발진흥법 제18조 제1항은 민간 우주개발사업의 지원을 명시

&lt;표 3-12&gt; 센터의 설립근거 법령(우주개발 진흥법 제18조)

**제18조(민간 우주개발사업의 지원)** ① 과학기술정보통신부장관은 민간부문의 우주개발 사업을 활성화하고 연구개발투자의 확대를 유도하기 위하여 우수 우주개발인력의 공급, 세제상·재정상의 지원 및 우선 구매 등의 지원시책을 마련하여야 한다.

② 과학기술정보통신부장관은 제1항에 따른 지원시책을 위하여 관계 중앙행정기관의 장에게 협조를 요청할 수 있다.

- (정보 제공) 균형 잡힌 국내·외 우주개발 이슈와 현황, 객관적인 연구와 분석과 같은 임무 수행
  - 다양한 분야에서 우주개발을 활용하기 위해서는 종합적이고 객관적인 분석 필요
- (협업체계) 전문성과 연속성 확보를 위해 정부 출연연구기관과 관계 전문가들의 역량을 결집하여 국가 우주정책을 지원하기 위한 협업체계 구축
- (한국항공우주연구원) 오랜 기간 우주 개발을 전담해온 전문성을 바탕으로 우주정책 수립을 지원
  - 국내에서 가장 전문성이 높으며, 사업기획 및 현재 정책·국제협력 인력 및 네트워크 활용의 연속성에서 강점
- (한국천문연구원) 위성 고도화와 활용 가능성 증대에 있어 연구 결과를 바탕으로 우주정책 수립을 지원
  - 고정밀 GPS 측지측량 기술, 석각 천문도 3차원 디지털 측정 콘텐츠 기술 등을 보유하여 천문연구, 우주측지연구, 전파 신호처리 등에서 강점을 보임
- (국방과학연구소) 군사·안보 분야로 확장하는 우주 개발 영역의 확대에 따라 국방과학 연구소의 전문성을 바탕으로 우주정책 수립을 지원
  - 국방과학연구소는 첨단·혁신 기술공급자로서의 전략을 제시했으며, 우주 등 미래전을 선도할 수 있는 첨단국방과학기술에 연구역량을 집중하고 있음



자료: 과학기술정책연구원(2019), 우주정책센터 신설 기획 최종보고서

[그림 3-14] 국가우주정책센터 협업체계

&lt;표 3-13&gt; 과학기술계 전략지원센터 비교

항목	국가생명공학 정책연구센터 (내부 조직)	국가나노기술 정책센터 (내부 조직)	뇌연구정책센터 (내부 조직)	융합연구정책센터 (사업단 형태)	우주정책센터 (내부 조직)
기관 성격	바이오 분야 기획·지원을 위한 과기정통부 지원기관	나노기술 정보의 수집·분석과 국가나노정책 및 전략 수립지원	국가 뇌연구 중장기전략 수립 및 국제협력 네트워킹 지원	국가 융합정책의 전략 방향 설정 및 국제협력 지원을 위한 과기정통부 지원기관	우주개발 정책 수립, 국제협력 지원을 위한 국가우주위원회 지원기관
유치 기관	생명공학연구원 지정	한국과학기술정 보연구원 지정 (2017. 7월 재료연구소로 이전)	한국뇌연구원 지정	공모를 통해 KIST 내부 조직으로 설치, 4년 평가결과에 따라 유치기관 변경 가능	공모를 통해 과학기술 정책연구원 (STEPI) 내부조직으로 설치 (2년 연임가능)
센터장	유치기관장이 임면	유치기관장이 임면	유치기관장이 임면	유치기관장이 임면	정부가 공모 및 지정
인력	생명공학연구원 연구원	재료연 내부 인력 + 파견 인력	한국뇌연구원 연구원	KIST 내부 인력 + 파견 인력(1-2명)	STEPI + 파견
국제 협력	국내 산학연 협력 중심	국제 포럼 등 홍보 및 네트워크 지원 중심	국제기구 기술협력 지원 및 국내 산학연 협력 중심	국내 융합정책 중심	외국정부 간 국제협력 지원
예산	정부 + 생공연 (기관고유사업 비, 3억) 매칭	정부(나노기술 정책연구 및 정보분석, 18억) + KIMS(4.0억원) 매칭	정부지원금 예산 약 9억('18)	정부(첨단융합 기술개 발사업, 14.6억) + KIST(3.4억) 매칭	정부지원금 예 산 약 10.1억('21)
설립 근거	생명공학육성법 (24조)를 근거로, 과기부와 설치기관장 사이의 연구협약	나노기술개발촉 진법 (14조 2항)을 근거로, 과기부와 설치기관장 사이의 연구협약	과기부와 설치기관장 사이의 연구협약	제1차국가융합 기술발 전기본계획('09 -'13) 을 근거로, 과기부와 설치기관장 사이의 연구협약	우주개발진흥법 제7조(우주개발 전문기관의 지 정) 및 시행령 제7조(우주개발 전문기관의 사 업)

자료: 과학기술정책연구원(2019). 우주정책센터 신설 기획 최종보고서

## 6절 유사사례 운영현황 시사점

**(주관기관 선정) 핵융합에너지 전략지원센터의 설립목적과 기능에 따라 주관기관을 선정하여 운영하는 것이 중요**

- (유형 분류) 전략지원센터는 3가지 형태로 구분되며, 동 전략지원센터는 “내부조직”의 형태가 적합할 것으로 판단
  - 내부조직 : 유치기관의 내부조직으로 구성·운영
  - 사업단 형태 : 사업공모를 통해 사업 목적에 적합한 기관이 유치기관으로 선정되며, 한시적 내부 조직으로 구성
  - 독립법인 : 별도의 운영규정을 가지고 예산과 회계를 본원과 독립적으로 행하는 형태

<표 3-14> 전략지원센터 운영 방식

분류	내부 조직	사업단 형태	독립 법인
운영 예산	9~20억 내외	9~30억 내외	약 100억 내외
지정 방식	지정공모를 통한 선정	지정공모를 통한 선정	내부조직에서 규모 확대로 법인화
사례	국가생명공학정책연구센터 국가나노기술정책센터	융합연구정책센터	녹색기술센터

- (공모 방식) 지정공모와 정책지정 방식이 있으며, 동 전략지원센터는 두 방식 모두 가능할 것으로 판단되나 “지정공모”의 방식이 적합
  - 지정공모 : 개발이 필요한 대상기술과 도전적 기술목표를 평가하여 선정
  - 정책지정 : 신속한 추진이 필요하거나 대외 비공개 필요성, 기타 정책상 필요하다고 판단하여 수행과제와 그 수행기관을 지정하여 선정

**(법적 근거 검토) 핵융합에너지 전략지원센터가 취지에 맞게 운영되기 위하여 설립을 위한 근거 법령의 검토 및 개정 필요**

- **(현황)** 핵융합에너지 진흥법에 전문기관 설립과 관련된 근거 법령 부재
  - 시행령 제12조의 전문기관은 연구개발사업 기획·관리를 위한 전문기관(대상 : 한국연구재단)
  - 법률상 연구개발사업에 대한 지원 근거는 있으나, 전략지원센터(실태조사·기술영향평가·정보수집 활동 등)의 설립과 관련된 근거 조항은 부재함
- **(타 법률)** 「우주개발 진흥법」 및 「생명공학육성법」에는 전문기관의 지정에 관한 법률 내용이 명시되어 있어 법적 근거를 완비하고 있음

<표 3-15> 과학기술계 전략지원센터 설립 근거 관련 법률

센터명	주요 내용
<p>국가생명공학 정책연구센터</p>	<p><b>생명공학육성법 제24조(생명공학정책전문기관의 지정 등)</b> ① 과학기술정보통신부장관은 생명공학 정책의 수립·조정 및 생명공학 기술개발·활용을 효율적으로 지원하기 위하여 생명공학정책전문기관(이하 “정책센터”라 한다)을 지정할 수 있다. ② 정부는 예산의 범위에서 정책센터의 사업 수행에 드는 비용의 전부 또는 일부를 지원할 수 있다. ③ 그 밖에 정책센터의 지정과 운영에 필요한 사항은 과학기술정보통신부장관이 정한다.</p> <p><b>생명공학육성법 시행령 제24조(업무의 위탁)</b> ① 과학기술정보통신부장관은 법 제27조제2항에 따라 다음 각 호의 업무 중 과학기술정보통신부장관의 소관에 속하는 업무를 법 제24조제1항에 따라 지정하는 생명공학정책전문기관(이하 “정책센터”라 한다)에 위탁할 수 있다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 법 제9조제1항에 따른 실태조사</li> <li>2. 법 제10조제1항에 따른 기술영향평가</li> <li>3. 법 제19조에 따른 생명공학정보의 수집·관리·활용</li> <li>4. 법 제20조제1항에 따른 생명공학 분류체계의 수립·보완·발전</li> <li>5. 법 제21조에 따른 생명공학 통계의 조사·분석</li> </ol> <p>② 과학기술정보통신부장관은 제1항에 따라 업무를 위탁하는 경우에는 위탁받는 정책센터 및 위탁업무의 내용을 고시해야 한다.</p>
<p>국가우주정책센터</p>	<p><b>우주개발 진흥법 제7조(우주개발전문기관의 지정)</b> ① 과학기술정보통신부장관은 우주개발사업을 체계적·효율적으로 추진하기 위한 전문기관(이하 “우주개발전문기관”이라 한다)을 지정하여 지원할 수 있다.</p> <p><b>우주개발 진흥법 시행령 제7조(우주개발전문기관의 사업)</b> 법 제7조제2항제3호에서 “대통령령으로 정하는 우주개발사업 관련 업무”란 다음 각 호의 업무를 말한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 우주개발 관련 국제협력에 관한 업무</li> <li>2. 우주사고 조사에 관한 국제협력 및 지원에 관한 업무</li> <li>3. 우주개발정책 수립에 관한 지원 업무</li> </ol> <p><b>제8조(우주개발전문기관의 지정기준)</b> ① 법 제7조제1항에 따라 우주개발전문기관으로 지정받을 수 있는 기관은 다음 각 호의 어느 하나의 요건을 갖추어야 한다.</p> <p><b>제9조(우주개발전문기관에 대한 지원 내용)</b> ① 정부는 법 제7조제3항에 따라 우주개발전문기관을 효율적으로 운영하기 위하여 인력공급 및 정부출연금 지급 등 다양한 지원시책을 수립하고 시행한다. ② 과학기술정보통신부장관은 우주센터의 운영에 필요한 비용을 지원할 수 있다.</p>



# 4 장

## 핵융합에너지 전략지원센터 구축·운영 방안

- 1절 핵융합에너지 전략지원센터 신설의 필요성
- 2절 센터의 설립목표 및 방향성
- 3절 센터의 주관기관 선정 방안
- 4절 조직 및 인력 구성방안







## 1절 핵융합에너지 전략지원센터 신설의 필요성

## 1 법·제도 구축

(기술·제도 간 협업체계 구축) 기술개발과 적용 이후 예상되는 다양한 법·제도 및 규제 환경 대응을 위한 선제적 검토 및 체계 구축

- (진흥·규제 간 조율) 핵융합에너지 진흥 관련 법·제도 검토·보완, 발생 가능한 규제 사항의 도출 및 안전 관련 법·제도 구축 등 상용화에 대한 체계적 대비 필요
  - (진흥법) 타 분야 기술연관산업 진흥법에 비하여 핵융합에너지 개발진흥법은 혁신 활동 대응 부분에서 다소 미흡한 상황
  - ※ 핵융합에너지 개발진흥법에 나타난 혁신시스템 활동국면
    - ①생성: 제8조(핵융합에너지 연구개발사업의 추진)
    - ②생성/전환: 제9조(핵융합에너지 연구개발기관 등), 제10조(전문인력의 양성), 제12조(핵융합에너지 연구개발에 대한 지원), 제14조(국제협력의 촉진)

<표 4-1> 기술연관산업 진흥 관계법의 혁신시스템 활동 대응 규정의 빈도 분포

구분	기술연관산업 진흥 관계법					
	엔지니어링 산업 진흥법	정보통신산업 진흥법	소프트웨어 산업 진흥법	정보보호산업 의 진흥에 관한 법률	삼차원 프린팅산업 진흥법	핵융합 에너지 개발진흥법
혁신시스템 활동 국면	생성	1	1	1		1
	생성/ 전환	2	2	1	3	4
	전환	2	5	2	3	-
	전환/ 실현		1	1	1	-
	실현		1	2	1	-
	전반	3	2	2	1	2

자료: 한국과학기술기획평가원(2019). 국가혁신체제론에 따른 과학기술 관계법령 분석과 개선방향

[참고] 과학기술 혁신시스템

○ 과학기술 혁신시스템에는 세 국면이 존재하며, 진흥법은 각 단계에 적합한 지원 내용을 포함

- 혁신시스템의 정의: 새롭고 경제적으로 유용한 지식의 생산, 확산 및 사용에 있어서 상호작용하는 요소들과 관계들 (Lundvall, 1992)
- 혁신시스템의 세 국면: ①기술혁신 생성 국면 (지식이나 기술의 도입, 창출), ②기술혁신 전환 국면 (활용 지식이나 기술의 혁신으로의 연계, 확산, 이전), ③기술혁신 실현 국면 (혁신의 적용, 활용)

- (안전법) 현재의 안전법은 원자력에너지를 중심으로 구성되어 핵융합에너지 생산 시 발생할 수 있는 고유 안전 이슈에 적합지 않은 부분이 존재
- ※ 핵융합반응에 사용되는 삼중수소는 재사용되며, 폐기물은 저준위 폐기물로 상대적으로 안전한 편으로 완화된 조항 또는 예외 조항의 추가 등에 대한 법제도 관점의 연구 검토 필요
- ※ (삼중수소) 삼중수소의 취급, 저장, 폐기물 관리
- ※ (중저준위 방폐물) 중성자에 의해 방사화된 내벽재료 등 폐기물 관리

○ (규제 리스크 사전검토) 핵융합 분야 주요 이슈에 대응하는 규제 시행 시 기술의 발전을 저해할 수 있는 리스크에 대한 사전 검토 필요

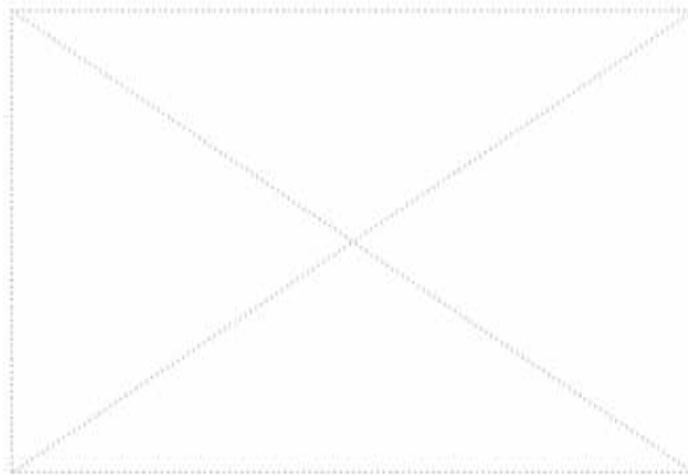
- (진흥과 규제의 갈등) 기술개발과 법제도 구축을 별도의 트랙으로 운영 시 효율성을 저해\*하는 과도한 규제와 산업진흥 간의 갈등\*\* 이슈 발생할 수 있음
- \* 유해물질관리 규제 강화로 화학산업의 경쟁역량 약화: 2015년 화평법 제정 이후 비용 증가, 중복 규제 등으로 국내 화학산업 경쟁력 위축
- \*\*산업 특수성을 간과한 규제로 핀테크 산업 경쟁력 약화: 기존 규제체계와 온라인 금융플랫폼 간의 충돌 발생, 국가 핀테크 산업 발전 순위 하락
- (핵융합 규제법 미비) 안전 규제 체계가 정립된 원자력 산업\*과 비교하면 핵융합에너지 개발은 안전 관련 규제의 미비로 기술개발과 투자의 불확실성 존재
- \* 안전성의 중요도가 높아짐에 따라 기존 대형 원전을 대체할 혁신형 소형모듈원자로(SMR)를 차세대형 원자로로 개발하고 있음
- (대응방안) 현 법체계에서는 핵융합에너지는 원자력안전법의 적용을 받게 될 것이므로 법 조항의 개정 또는 필요 시 별도의 제정도 고려할 필요

&lt;표 4-2&gt; 원자력과 핵융합에너지 개발 관련 주요 법안 비교

법안 기술	주요 법안		현황
	진흥법	안전법	
원자력	위원회 추진, 종합계획 수립·시행, 연구개발기관 설립, 연구개발사업의 추진, 실태조사 실시, 기금의 설치 등	원자력시설과 핵물질, 원자력활동에 대한 인·허가 및 이의 변경과 취소를 포함하는 규제절차, 규제요건, 기술기준과 벌칙 등	기술의 진흥과 규제의 균형성을 준수하며 기술개발이 이루어지고 있음
핵융합 에너지 개발	위원회 추진, 기본계획 수립·추진 연구개발기관 설립, 연구개발사업의 추진, 전문인력의 양성, 연구개발에 대한 지원, 국제협력의 촉진 등	규제 체계 미비	기술의 진흥을 통한 기술혁신을 수행하고 있으나 규제 체계의 미비로 기술 개발과 투자의 불확실성 존재

○ (기술·제도 간 공동혁신) 기술과 제도 간 공동혁신을 통한 기술혁신 촉진 및 투자 불확실성 감소 등을 위한 체계적·선도적 지원 전략 수립 기능 필요

- (혁신 지원기관 마련) 국내외 타과학기술 안전 규제 등을 참고하여 규제 예측, 선제적 검토 및 대응 전략 수립으로 기술혁신 촉진을 담당할 전담 조직 마련



[그림 4-1] 핵융합에너지 분야의 발전을 위한 기술과 제도 간 공동혁신 구축

- (공동혁신 지원) 규제 체계의 선제적 검토·준비를 통해 기술혁신을 촉진하고 투자 불확실성을 감소시키면서 유의미한 가치를 창출하는 입법적 대응 수행
- ※ (수소충전) 친환경에너지로 에너지원 전환 → 수소충전 기술개발에 따라 수소전기차 보급이 확대 → 수소충전소 설치 및 허가 관련 규제개혁 → 수소충전 기술개발 지속

<표 4-3> 기술·제도 간 공동혁신 사례: 수소충전 인프라 관련 규제 이슈 및 개혁 방향

제기된 이슈와 관련 법(조항)	규제개혁 방향
복층형 충전소(도심) 설치 문제 - 국토의 계획 및 이용에 관한 법률(국토계획법) 상 용도지역에 따른 제한규정 - 도시계획법 시행령의 규정에 따른 건축 제한 - 환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 - 옥외광고물법 시행령, 시도 표준조례	국토계획법 일부 정비 예정 및 완화 - 복층 구조의 충전소 구축으로 구축 부지 축소 - 복층 상부 설비 등에 대한 구조 안전도 확인 방안 마련 - 국공유지 내 친환경차 충전소 설치 시 수의계약 허용(2019.4) - 친환경차 충전소에 광고 허용(2019.4)
셀프충전소 허가 문제 고압가스안전관리법 제4조 제1항 - 수소충전소 안전관리자 자격요건(고법 시행령)	고압가스 안전관리법 일부 정비 예정 및 완화 - 수소충전소 안전관리자 자격요건 완화 (고법 시행령, 2019.5) - 수소안전관리 종합대책 등 마련 - 국민 수용성 및 LPG 등과의 형평성 확보 노력

자료: 한국과학기술기획평가원(2019). 국가혁신체제론에 따른 과학기술 관계법령 분석과 개선방향

## (기업육성 및 산업진흥) 미래 핵융합 산업을 선도할 국내 시스템기업 육성 및 산업진흥 지원기관 부재

- (시스템기업 육성) 핵융합 기술의 고도화됨에 따라 기술 개발의 가속화를 도울 핵융합 시스템기업의 육성이 필요
  - (국내 현황) 국내 핵융합에너지 관련 기업은 부품제조 위주 산업으로 구성되어 있어, 시스템기업은 전무한 상태
  - (육성 전략) 학계 및 연구기관과 연계하여 전문성을 가진 스타트업의 육성 및 투자 촉진 필요
  - ※ 미국 매사추세츠공대(MIT)의 스핀오프 기업인 ‘커먼웰스퓨전시스템스(CFS)’는 핵융합로 ‘스파크(SPARC)’에 대한 연구로 관심을 받으며 18억 달러 이상의 투자금 조달받음
- (산업진흥 기반확충) 핵융합 관련 산업체를 향후 기술·시장을 리드하는 강소기업으로 양성하여 산업생태계 활성화
  - (문제점) 정보 및 인력 부족으로 인한 높은 진입장벽, 기술활용의 부족, 인프라 부족 등이 핵융합 산업생태계 관련 문제점으로 대두
  - (해결방안) 이를 해결하기 위해 지원기관을 설립하여 초기 산업생태계 기반의 확충 및 강소기업 양성을 통한 산업생태계 활성화 지원

<표 4-4> 핵융합 산업생태계 주요 이슈 및 해결 방안

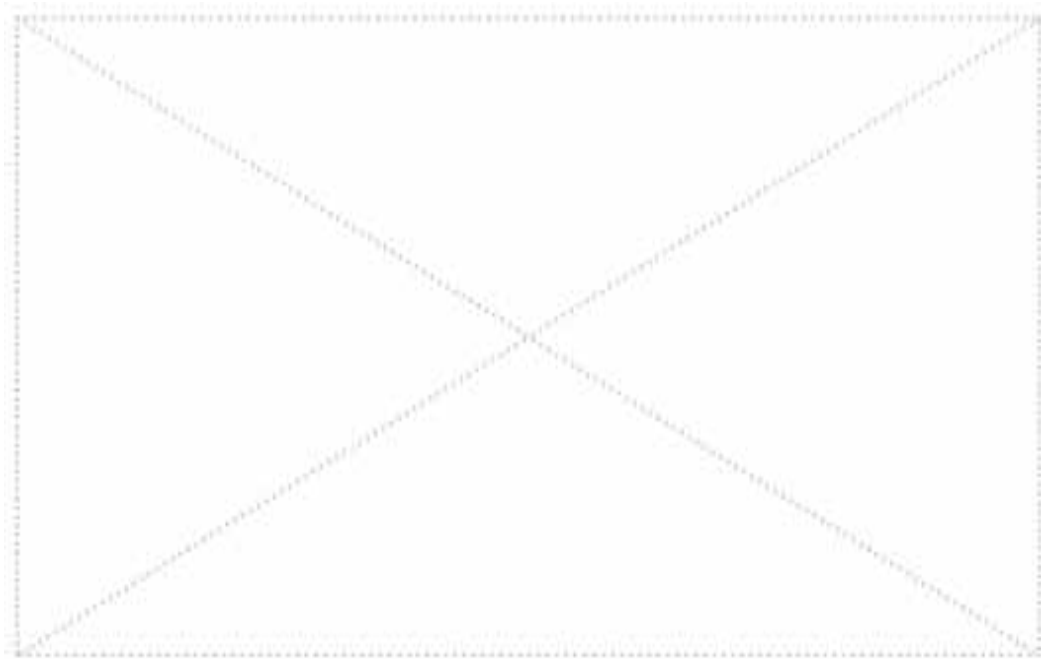
주요 이슈 및 문제점		해결 방안
진입 장벽	핵융합 사업 참여를 위한 정보, 인력, 예산, 기술 등의 부족	① 신규 기업의 생태계 진입장벽 완화 * 핵융합 분야 정보 공유 및 초기 R&D 지원을 통한 개발 위험 분산 필요
기술활용부족	핵융합 관련 확보 기술 활용 방안 부족	⇒ ② 기업-연구소 동반성장을 위한 파트너십 강화 * 개발된 핵융합 기술을 통한 안정적 수익 모델 확보를 지원하여 기술적 용 지연에 따른 기술력 손실 방지
	주요 핵심기술의 해외 의존도 개선필요	
	신규시장 부족 및 해외시장 진출 미흡	
인프라 부족	핵융합 산업생태계 활성화 지원 시스템 부족	③ 신규 시장 개척 및 사업 영역 확장 * 기술 기반이 확보된 기업의 해외 시장 진출 및 타 산업 분야로의 연계 지원  ④ 산업 생태계 활성화 기반 조성 * 핵융합 분야의 활발한 기술 교류 및 인적·물적 자원 공유를 통한 인프라 확대
	산업체 전문성 확보를 위한 교육 프로그램 및 장비지원시스템 부족	

자료: 국가핵융합연구소(2013). 거대과학 산업생태계 활성화 전략의 우선순위 결정에 관한 연구: 핵융합과 가속기 장치를 중심으로

## 2 핵융합에너지 실증화 대비

(대형연구시설 구축의 체계적 관리) 실증로 구축을 포함한 핵융합에너지 생산에 필요한 연구·실증시설 구축 계획 수립 및 체계적 관리 추진

- (시설 구축사업 관리체계 정립) 연구개발 사업과 연계된 대형시설 구축 사업의 특성을 고려하여 국내 실증로 구축사업에 적합한 관리체계 정립
- (대형연구시설장비구축사업의 특징) 대형연구개발사업(R&D)과 대형시설·장비 구축사업이 결합된 형태로 두 분야의 특성을 모두 고려한 사업관리 방안 마련 중요



자료: 한국연구재단(2021). 대형연구개발사업의 사업관리체계 개선방안 수립 연구

[그림 4-2] 대형연구시설장비구축사업의 특징

- (해외 사례) 국외 주요국들은 R&D 전담조직과 연계하여 대형시설·장비 구축사업을 전문적으로 관리하는 조직이 존재
  - ※ (중국) DEMO 구축 사례: '30년대에 중국형 핵융합실증로 구축 및 '40년대 전기생산 실증을 목표로 '11년부터 중국 국가통합 설계그룹(National Integration Design Group) 주도하에 CFETR을 건설 중
  - ※ (일본) RIKEN RIBF 구축 사례: RIKEN 내부인력은 가속기 활용 및 성능향상 연구에 집중, 가속기 공통시설 구축 및 가속기 운영의 경우 일본 내 가속기 구축 전문 회사인 스미토모社(민간기업) 인력이 전담
- (체계적 사업계획수립) 기간연장 및 예산증액 방지를 위해 사업 추진 단계에서 다수의 지원기관을 통한 다각적인 리스크 분석 등 철저한 논의 필요
- (대형연구시설장비구축사업의 문제점) 대형시설·장비 구축사업 수행경험 부족에 따른 체계적 사업 관리체계 미비로 사업비 증액 및 일정 지연 등 문제 발생
  - ※ (사업관리 부실) 사업관리 인력부족 및 전문성 부족으로 전문 인력 강화에 대한 니즈가 존재
  - ※ (기간연장 및 예산증액) 기획단계에서 설계가 구체화 되지 못하여 사업 추진 시 설계변경이 빈번하게 발생함에 따라 예산 및 기간에 영향을 미침

<표 4-5> 주요 국내 대형연구시설장비구축사업 추진현황

사업명	기존계획		변경계획		변경내용
	기간	총사업비	기간	총사업비	
중이온가속기 구축사업	'11~'17	1조 4,445억 원	'11~'21	1조 5,183억 원	△4년 △738억
중입자가속기 구축사업	'10~'15	1,950억 원	'10~'24	2,598억 원	△9년 △648억
수출형신형 연구로 사업	'12~'16	2,900억 원	'12~'23	4,389억 원	△7년 △1,489억
한국형발사체 개발사업	'10~'22	1조 5,449억 원	'10~'22	1조 9,572억 원	△4,123억
물리탐사연구 선 건조사업	'18~'23	1,725억 원	'18~'23	1,873억 원	△148억

자료: 한국연구재단(2021). 대형연구개발사업의 사업관리체계 개선방안 수립 연구

- (국내 실증시설 구축 방안) 사업추진과정에서 기존의 자문·권고 수준의 점검을 벗어나 단계별로 객관적·심층적·기술적 검토를 지원하는 기관 확보 및 검토 과정의 공유할 수 있는 협력 네트워크 구성
  - (지원기관 확보) 핵융합 실증사업 계획 수립 시 선제적 위험요인 검토 및 전문적 의견 제시로 일정과 예산에 맞게 사업이 진행될 수 있도록 지원
  - ※ 대형시설·장비 구축사업 관리의 전문성을 가진 인력을 지원함으로써 R&D 인력은 핵융합연구·개발 자체에 집중할 수 있는 구조 형성 필요
  - (협력 네트워크 구성) 국내외 협력을 통해 추진 일정에 따라 핵융합 실증로 건설에 필요한 설계·인허가·핵심기술 등을 보유하도록 지원
  - ※ 기존 ITER에 집중된 국외 네트워크 채널을 확대하여, 각국의 주요 개발 기관과 연계 협조를 통해 실증사업의 체계적 관리 경험을 공유, 필요한 설계·인허가·핵심기술의 사례 공유



### 3 핵융합에너지 협업거점 구축

#### (협업거점 구축) 국가 핵융합 정책의 목표 달성을 위한 전략 수립 및 국가 과학기술 역량을 제고할 수 있는 협업거점 구축

- (전략적 기반 조성) 장기 R&D 일정을 고려한 체계적인 전략 기반 및 세부 실행 계획을 구축하여 핵융합에너지 확보 가속화 필요
  - (제4차 기본계획) 핵심기술 개발 가속화 및 전략적 기반 조성으로 핵융합에너지 실증 선도를 목표로 추진계획 수립
  - ※ (추진 전략과 과제) ① 핵융합 특화 전략·제도 확충 ② 핵융합 핵심기술 개발 촉진 및 기반 강화 ③ 국제협력을 통한 첨단기술 확보 가속화
  - (세부 실행 계획) 중장기적인 핵융합에너지 개발 계획에 따라 연구비 확대, 인프라 구축, 인력 양성 및 유치, 국내·국제협력 촉진, 법·제도 개선 등의 종합적 실행 계획 수립이 필요
- (핵융합 협업거점 구축) 핵융합에너지 정책을 지원하여 국가 과학기술 역량을 제고 할 수 있는 협업거점 구축 필요
  - (핵융합 협업거점) 핵융합에너지 개발이 가속화됨에 따라 핵융합에너지 정책을 체계적으로 관리·협력할 수 있는 협업거점의 중요도가 높아짐
  - (주요국 거점기관) 국외는 핵융합 R&D 연구 전담기관 외 다수의 핵융합에너지 관련 전략지원 조직이 공조하여 핵융합에너지 발전 체계 마련
  - ※ (EU) Fusion for Energy(F4E): EU의 ITER DA이자 BA 활동 총괄
  - ※ (일본) ① 핵융합과학기술위원회: 핵융합 연구개발 및 활용에 관한 정책 전반에 대한 기본방침 제시, ② DEMO 개발종합전략: DEMO 세부실행계획을 수립·심의, ③ DEMO 설계특별합동팀: BA 활동과 연계해 DEMO 개념을 설계
  - ※ (미국) Fusion Energy Sciences Advisory Committee(FESAC): DOE 연구 우선순위 결정 및 연구비 지원을 위한 핵융합 과학프로그램의 계획, 시행, 관리에 관한 과학기술 자문 수행
  - ※ (중국) 국가자기가동핵융합위원회: DEMO R&D 전략기획, 국가자기가동핵융합MCF 개발 계획 자문·평가, ITER 업무 수행
  - (국내 현황) 실증화 대비 중장기 전략 수립, 정보·동향 분석, 협력 네트워크 구축 등 핵융합에너지 연구의 정책 지원을 위한 싱크탱크 기능 강화 필요
  - ※ (현황) 핵융합에너지관련 법제도 마련 지원, 전략 수립 지원, 정보·동향분석 등을 핵융합에너지연구원에서 수행하고 있으나, 인력 및 예산 부족으로 적극 지원에 한계

- ※ (해결방안) 핵융합 관련 산·학·연의 효율적, 통합적 R&D 추진을 지원하기 위한 별도의 전략 지원 조직 필요  
(국내의 경우 우주분야 정책 싱크탱크 기능 강화를 위한 국가우주정책센터 신설 추진('21))
- (체계적 핵융합 협업거점의 기대효과) 협업거점 구축을 통한 전략 수립은 국가 과학 경쟁력을 종합적으로 제고하는 다양한 기대효과 발생시킴
- ※ ① 기술·정책 분야를 포괄한 정책 연계성 강화
- ② 정부와 민간의 역할 설정과 기술분류별 예산 칸막이 해소
- ③ 시민 참여형 정책 수립
- ④ 인력 양성, 기업생태계 조성 및 규제 개선을 통합적으로 고려
- ⑤ 인재 성장을 통한 혁신역량 강화 및 세계적 수준의 연구역량 확보
- 핵융합 협업거점을 구축하여 정책적·기술적 공백을 심층적으로 분석하고 핵융합 연구 개발과 정책이 연계하여 강화될 수 있는 기반 마련 필요

## (기술 선점 전략 제시) 국가 간 기술경쟁 대비를 위한 핵융합에너지 기술 선도 촉진 및 실증기술 확보 기반 강화

- (핵융합 기술 선점) 핵융합에너지 기술의 자체적 실용화 및 산업화 기술 개발 단계에서의 기술 확보를 통해 기술패권경쟁 우위 선점 절실
  - ITER 이후 핵융합에너지 기술이 기존 공조체제에서 경쟁체제로 전환될 시 핵융합에너지 패권 및 기술 진입장벽 생성으로 기술 선점 전략의 중요도 증가

<표 4-6> 핵융합 상용로 추진단계와 기술시스템발전 단계

핵융합 상용로 추진단계	~'20년대 연구로(중소형)	~'20~'30년대 ITER(대형 연구로)	~'30~'40년대 DEMO(실증로)	~'50년대 상용로
연구 단계	기초연구		실증연구	
기술 협력 체제	기술 개발 공조		기술 선점 경쟁	
기술시스템 발전 단계	발명, 개발, 공동 혁신의 단계 ↓ 기술 이전의 단계		기술 경쟁의 단계 ↓ 기술 공고화 단계	

- (실증기술 확보) 기술 선점화 전략의 선제적 구상을 통해 실증기술을 확보하여 핵융합에너지 기술 선도 발판 마련 필요
  - (개발 경쟁 심화) 핵융합 기술 개발과 이전이 이루어진 후 DEMO 구축 추진 시기에 기술 경쟁의 심화, 선점 경쟁 우위 기술의 공고화 진행 예정
  - (기술 공유 제한) 핵융합 전력생산을 위한 핵심기술(중식플라즈마, 재료, 연료주기 등)은 보안상의 이유로 국가 간 기술 정보 교류가 극히 제한적
  - (국외) 주요국들은 DEMO 가동을 위한 실증기술 개발과 연구 인프라 구축을 가속화, 미래 기술 선점화를 위한 핵융합 핵심기술의 특허 다수 확보
  - ※ (EU) ITER가 건설되고 있는 국가로 '38년 DEMO 건설에 착수하여 '51년 이후 전력을 상용화하기 위해 11개 실증기술 개발 중
  - ※ (일본) '35년 실험결과를 반영하여 늦어도 '30년대 말까지 DEMO 건설에 착수, '50년대 전력을 상용화할 계획으로, 14개 실증기술 개발 중
  - ※ (중국) '30년대 중국형 DEMO(CFETR) 가동을 시작하여 '40년대 전력을 상용화할 계획으로, 8개 실증기술을 개발 중
  - ※ (영국) '40년대 초 세계 최초로 핵융합 발전소(STEP)를 완공하기 위해 핵융합 발전 기반기술 개발과 연구 인프라 구축을 가속화

- (국내) DEMO 공백기술에 대한 계획을 수립했으나, 실증시설 부족으로 실증연구가 미진하게 진행 중
- ※ (기술 수준 비교) 국내 핵융합 분야 핵심기술의 특허 건수도 주요국들에 비해 적으며 8대 핵심기술 분야에 대한 기술 수준은 TRL 2~4로 국외에 비해 떨어짐

<표 4-7> 핵융합 분야 특허 현황('08~'17, 출원 기준)

국가	미국	중국	일본	EU	한국	계
건수 (점유율)	116 (27.5%)	114 (27.0%)	96 (22.7%)	66 (15.6%)	30 (7.1%)	422 (100%)

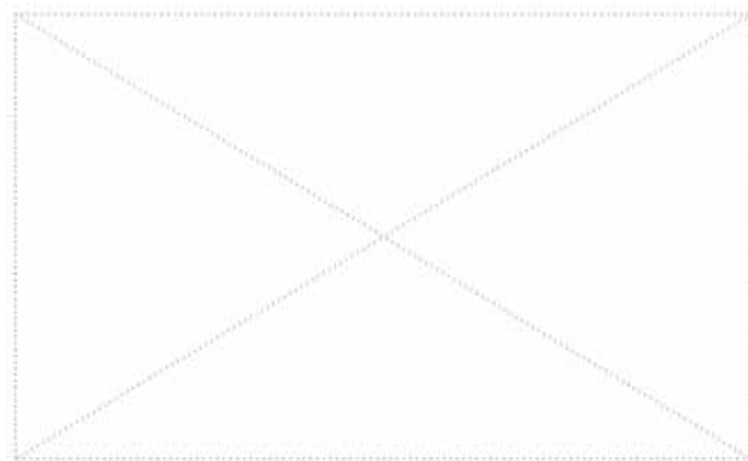
자료: 한국과학기술기획평가원(2020). 2020년 기술 수준평가

- (대응 방안) 핵융합에너지의 핵심기술 확보 기술경쟁에 대비하기 위한 단기 및 중장기적인 관점의 대응 전략수립 기관이 필요
  - 핵심 기술의 독자 연구와 기술의 자력 확보를 위한 단기 및 중장기적 관점의 대응전략 수립이 필요
  - ※ (단기 전략) 실증연구에 시급하게 돌입하여 DEMO 공백기술 개발, 기술 검증 데이터 확보 등 현안 해결을 위한 정책적 지원 필요
  - ※ (중장기 전략) 증식블랑켓, 재료 등 주요 기술의 미래 시장 경쟁력 확보를 위한 핵융합 핵심기술 특허전략 마련 등 정책적 전략 수립 필요

## 4 핵융합에너지 R&D 전략지원

### (차세대 과제 발굴) 핵융합에너지 분야 기술 조사·정보 확보 및 이를 통해 핵융합 관련 융합 과제 발굴로 국가과학기술 발전 지원

- (기술 동향 조사) 핵융합 기술이 고도화됨에 따라 핵융합 관련 기술개발 동향 조사 및 정보 확보의 체계화 필요
  - (조사 필요성) 핵융합에너지 패권 경쟁이 예상됨에 따라 전략 및 투자 우선순위 설정에 대한 중요성 증대
    - ※ 주요국과의 기술격차 추이를 파악하여 국내 핵융합 기술의 현황 점검 및 핵융합 기술 정책 수립의 지표로 활용될 수 있는 자료 확보가 중요
- (핵융합 과제 발굴) 핵융합 관련 기술 동향을 토대로 미래 기술을 예측하여 융합 과제 및 미래 먹거리 산업 발굴
  - (핵융합 기술파급 효과) 핵융합 기술이 고도화됨에 따라 핵융합 기술파급 효과는 공학 전반에 걸쳐 광범위하게 나타날 것으로 예측
    - ※ 국내 산업경쟁력이 다소 취약하다고 알려진 재료, 정밀 기계·제어, 광학, 항공우주, 의료기기 등에도 파급
    - ※ 초고온, 극진공, 초전도, 극저온 등의 핵융합 파급기술을 활용한 고부가가치 산업육성 등 국가 산업경쟁력 강화 및 신산업 창출 가능



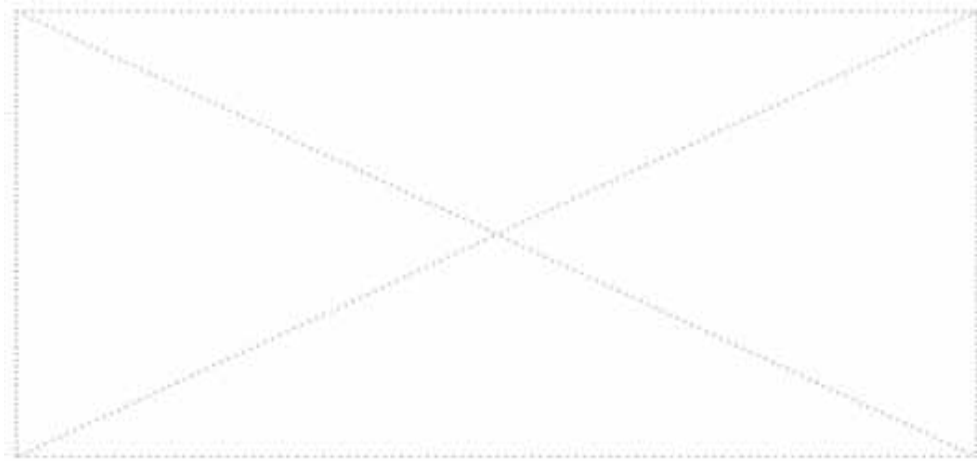
자료: 한국연구재단(2018). 핵융합 연구 관련 국내외 산업계 현황 분석 및 활용 방안 마련

[그림 4-3] 핵융합 파급기술과 관련 산업

- (성과 활용) 핵융합 관련 차세대 기술 정보 확보 및 타분야 기초 기술의 융합을 통한 국가 과학기술 발전 기대

**(인력 양성 전략수립) 국내 핵융합 관련 인력 양성 투자 촉진 및 인력 양성 사업 체계화를 통해 글로벌 핵융합 연구를 선도할 고급 인재 확보**

- (인력 양성의 특수성) 핵융합, 원자력과 같은 고도·특화된 연구 분야의 인력 양성은 정부의 관심과 투자가 절실
  - (정부 지원 필요성) 고도·특화된 전공분야의 인력 증감에 있어 정부 투자변수가 직접적인 영향을 미치므로 핵융합인력 양성은 지속적인 정부 투자가 불가피
  - ※ (원자력 사례) 美연방정부가 90년대 초반 원자력인력 양성 지원예산 삭감 → 미국 내 원자력공학과 및 학부생 수가 급격히 감소 → 20년대 초 정부예산 증가 → 전공자가 반등하여 '12년부터 2,468명의 학부생 수준 유지

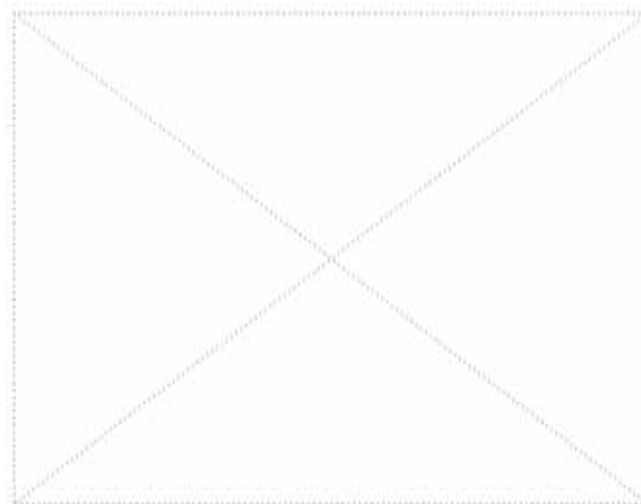


자료: 과학기술정보통신부(2016). 국가 원자력 인력 양성 지원체계 구축·운영

[그림 4-4] 미국 원자력 공학부생 증감 추이와 연방정부 예산지원 관계

- (핵융합 인력) 핵융합 관련 연구인력 및 교육 인프라 부족으로 인해 선도적인 성과 도출에 한계 존재
  - (현황) 국내 핵융합 관련 인력은 국외 주요국들과 비교하면 현저히 부족한 상황\*으로 선도적인 성과 도출에 한계 존재
    - \* 핵융합 연구장치 인력('18년 기준) (NFRI, '20): (EU) 2,964명, (중국) 2,692명, (미국) 1,492명, (일본) 688명, (한국) 394명
  - (예측) 국내외 핵융합 연구인력의 수요 및 공급 예측에 의하면 향후 핵융합 전문인력의 공급과 수요에 상당한 불균형이 예상
  - (필요성) ITER 운영·실험 참여 효과를 극대화하고 미래 실증연구를 선도하기 위해서는 국내 인력 양성 강화가 시급

- (인력 양성 전략수립) 체계적인 국내 핵융합 인력 양성 프로그램 구상을 통해 미래 핵융합 분야를 선도할 인재 확보
  - (인력 양성 투자 촉진) 미래 핵융합 기술 선도를 위해 핵융합에너지 개발에 우수인력이 많은 관심을 가질 수 있도록 하는 제도적·교육적 기반 확충 필요
  - (국외 인력 양성) 국가 차원에서의 투자를 통해 체계적 인력 양성 노력 지속 중
  - ※ (EU) EURATOM을 중심으로 '21~'30년 인력 수요에 초점을 맞춘 교육 및 훈련 수행 석·박사 및 박사후연구원 프로그램 지원, 엔지니어링 기술개발 및 역량 강화를 위한 MSCA(Marie Sklodowska-Curie Actions) 프로그램 활용
  - ※ (중국) 교육부(MOE) 중심으로 화중대학(HUST)의 MCF 연구센터를 비롯해 대학의 연구사업 및 인재 양성 지원
  
- (국내 인력 양성) 제한적인 국내 인력 양성 한계를 극복, 전문 교육 시설 및 프로그램 구성 등의 인력양성 전략을 통해 핵융합 분야에 특화된 인력확보가 절실
  - (교육 현황) 핵융합 관련 대학원 전공과정 운영 2개 대학에 불과, 한수원 K-CLOUD사업으로 핵융합 전문 인력 양성 프로그램을 운영하지만, 단기 연수 형태의 프로그램으로 기간 및 인원이 제한적임
  - (양성 전략) 국내외 교육 프로그램을 벤치마킹하여 우수 프로그램 발굴, 대학원생 국내외 연수 강화, 실무 경험을 쌓을 수 있는 전문 교육 시설\* 확보 등의 양성 전략 수립
  - \* 핵융합, 원자력 등 설비에 대한 특이성이 큰 분야에 대한 전문적인 교육 지원 시설의 구축 필수(예: 경희대학교 교육용 원자로)



자료: 경희대학교 원자로센터 홈페이지. [http://rrec.khu.ac.kr/korea/center/sub\\_05.html?PSI=undefined&PSI=db3f7dbe4e4978b283d9afe609bf6f4a](http://rrec.khu.ac.kr/korea/center/sub_05.html?PSI=undefined&PSI=db3f7dbe4e4978b283d9afe609bf6f4a)

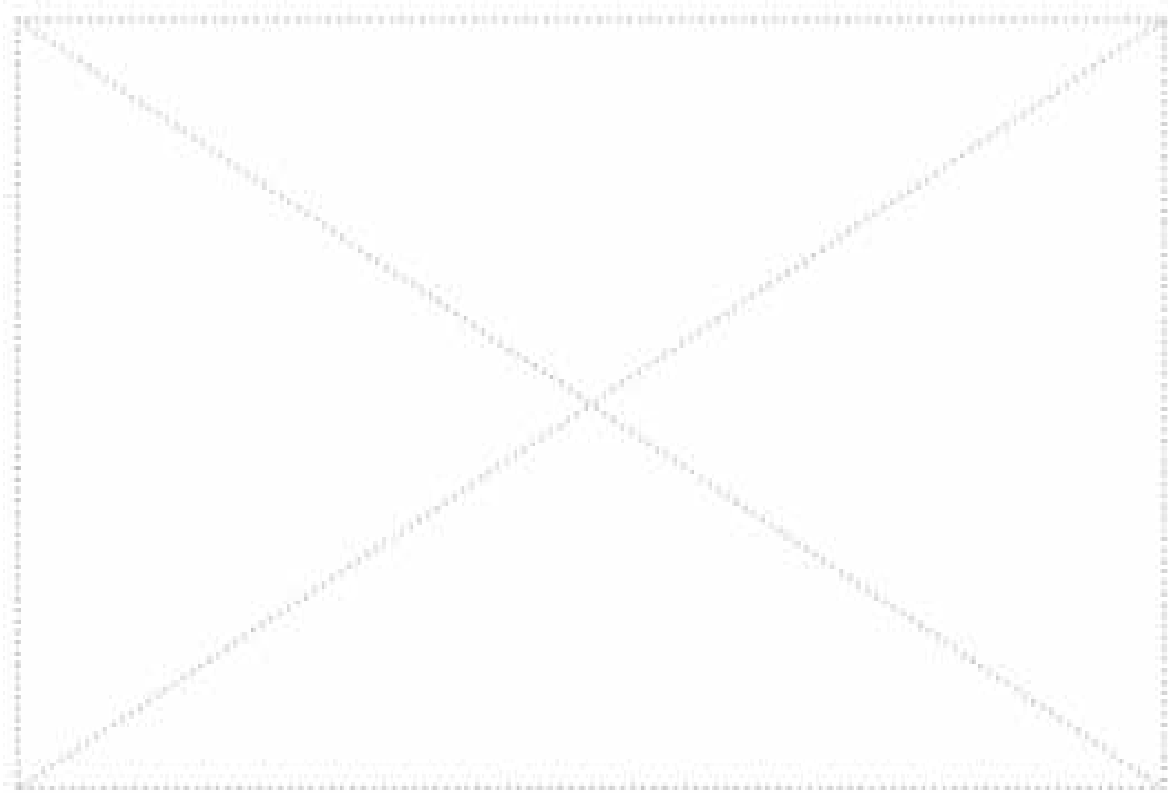
[그림 4-5] 경희대학교 교육용 원자로 AGN-201K

## 2절 센터의 설립목표 및 방향성

(설립목표 및 방향성) 국가 핵융합에너지개발 전략을 수립, 종합적으로 기획·추진하여 국가 경쟁력을 제고하는 싱크탱크 역할을 담당할 기관 구축

- (법·제도 구축) 핵융합에너지 진흥에 관한 정책과 제도 개발을 지원하고 제도와 관련된 기술의 유연한 대처 및 산업육성 제도 마련
  - (기술·제도 공동혁신) 규제 체계의 선제적 검토 및 준비를 통해 기술혁신을 촉진, 기술과 제도가 상호작용하며 발전할 수 있는 전략 수립
  - (산업육성 기반확충) 제도적 산업진흥 지원을 통한 핵융합 산업생태계의 활성화 도모 및 균형적 산업육성
- (실증화 대비) 핵융합에너지진흥기본계획에 따라 핵융합에너지의 실증화 가능성 제고하는 인프라 구축 전략 수립
  - (효율적 시설구축사업 관리) 대형연구시설장비구축사업의 기간연장 및 예산증액 방지를 위한 체계적 전략 수립
  - (DEMO 타당성 확보) 핵융합 실증로를 개발하기 위한 실증시설 설계 지원 및 체계적 관리시스템 구축
- (협업거점 구축) 핵융합에너지 정책 싱크탱크의 역할을 집중 수행하여 기술 경쟁 체제에서 핵융합 기술 선도국으로 거듭날 수 있는 전략 수립
  - (협업 전략 지원) 핵융합에너지 정책을 지원하여 국가 역량을 제고할 수 있는 협업거점 구축 전략 수립
  - (기술 선점 전략 제시) 국가 간 기술경쟁 대비를 위한 핵융합에너지 기술 선도 전략 수립
- (R&D 전략지원) 미래 핵융합 경쟁력 확보를 위해 차세대 융합 과제를 발굴하고 인재 확보를 위한 인력 양성 프로그램 체계화 전략 수립
  - (차세대 과제 발굴) 핵융합에너지 전략 수립을 위해 세분화된 기술 조사 및 정보 확보를 통한 핵융합 관련 융합 과제 발굴 전략 수립
  - (인력 양성) 국내 핵융합 관련 인력 양성의 체계화를 통해 글로벌 핵융합 연구를 선도할 고급 인재 확보 지원 전략 수립





[그림 4-6] 핵융합에너지 전략지원센터의 주요임무

**(센터의 비전) 국가 핵융합 발전 실현을 위한 전략·정책 전문연구기관의  
구축을 센터의 비전으로 수립**

- (센터의 핵심가치) 핵융합에너지 관련 정책·법률적 지원 활동 및 국내외 핵융합에너지 싱크탱크간 네트워크 구축 등 핵융합에너지 전문연구기관으로써의 위상 정립
  - 이를 위해 단계별 목표를 수립하여, 핵융합 발전의 실현 단계에 맞는 센터의 역할을 정립·실행

<표 4-8> 핵융합에너지 전략지원센터의 비전체계도(안)

센터 비전	<b>국가 핵융합 발전 실현을 위한 전략·정책 전문연구기관 구축</b>		
센터 목적	핵융합 발전의 실현에 기여하고, 산업 육성을 지원하기 위하여 국가핵융합에너지정책 및 전략 방향 수립		
단계별 목표	1단계(개념설계)	핵융합에너지 기술정책·전략 수립 및 국내외 협력 네트워크 구축	
	2단계(실증로 건설)	핵융합 실증로 건설 전략 수립 및 안전인허가 대응 전략 수립	
	3단계(발전 실현)	핵융합 발전 실현을 위한 전략·정책 수립 및 산업육성 기반 수립	
주요 기능	<b>핵융합에너지 개발진흥법 등 법제도 마련</b>	<b>국내의 협업 거점 구축</b>	<b>R&amp;D 전략지원 및 핵융합 실증화 대비</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵융합기본계획 수립 지원</li> <li>• 범부처 총괄 조정 지원</li> <li>• 국내 현안·이슈 발굴 연구</li> <li>• 국가핵융합위 운영 지원</li> <li>• 핵융합 법·제도의 마련</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵융합협업거점 구축 및 협력 정책수립 지원</li> <li>• 다자양자 협력 활동 지원</li> <li>• 국제협력 전문가 네트워크</li> <li>• 해외 핵융합 동향 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연구실증인프라 전략지원</li> <li>• R&amp;D 인력양성 전략 수립</li> <li>• R&amp;D과제사업성과 분석</li> <li>• 산업 생태계 조성 지원</li> </ul>

### 3절 센터의 주관기관 선정 방안

#### 1 주관기관 선정

**(주관기관 선정) 핵융합에너지 전략지원센터의 독립성과 전문성을 보장하기 위해 별도의 조직체제로 구성하고, 공고를 통해 선정**

- **(지원근거 확보)** 핵융합에너지 전략지원센터는 국가 핵융합 정책의 대표성 있는 기관으로 정책·자료조사·국제협력 활동을 위한 법적 지원근거 마련이 필요
  - 핵융합에너지 연구개발에 대한 지원에 관한 사항의 근거 조항에 대한 개정이 선행되어야 함
- **(선정평가)** 다양한 선정 대상을 고려하여, 기관의 관점을 넘어서는 국가 차원의 정책 지원기관으로서의 독립성·전문성·안정성 확보가 필요
  - **(선정대상기관)** 출연(연)뿐만 아니라, 타 대학 및 정책연구기관, 또는 이들의 컨소시엄까지 넓은 범위를 고려
  - **(선정지표)** 지원기관의 핵융합 정책 수립의 전문성, 안정적인 운영 체계, 독립된 관점의 정책수립 객관성의 확보를 위한 평가 지표 개발

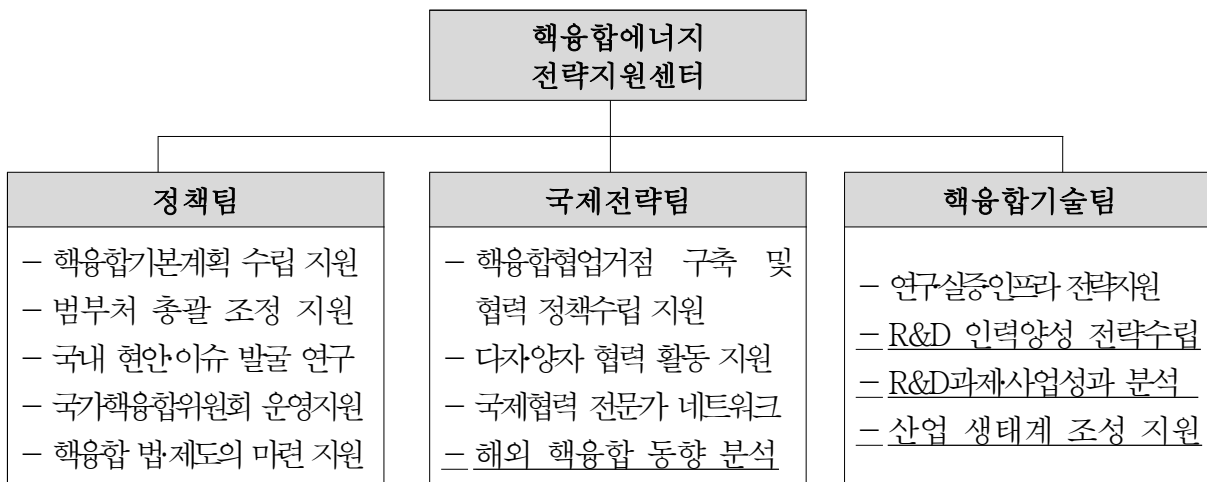
<표 4-9> 핵융합에너지 전략지원센터 선정 평가 지표(안)

평가 항목	평가 지표	배점
설립목적과의 부합성	- 사업신청서 계획과 과제제안요구서(RFP) 내용과의 부합성	5
센터 발전전략	- 센터의 비전, 목적, 목표 등의 명확성과 구체성 - 센터의 발전전략 및 추진체계 등을 통한 사업 기획 및 정부 정책지원 계획의 실현 가능성 - 출연(연) 부설기관이나 별도 법인으로 확대·발전 중장기 계획	20
조직 역량 (전문성)	- 정책개발, 사업기획, 국외외교 등 업무를 주도할 참여인력의 전문성 및 우수성 - 파견 인력 확보 방안(기관 간 컨소시엄 구성 시 다양성) 및 외부전문성 활용방안	25
운영 계획 (독립성)	- 주관 기관과의 예산 및 인력 운용의 독립성 확보 방안 - 별도의 운영·자문위원회 설치 및 운영 계획	25
유치기관의 지원의지 (안정성)	- 센터의 설립 및 운영 등을 위한 유치기관의 지원 (인력·예산) 계획 등	25
계		100

## 2 센터의 운영 전문성 및 독립성 확보

(전문성 확보) 국가적 관점의 정책지원을 위해 핵융합에너지 전략지원센터는 핵융합 분야의 전문성을 보유해야 함

- (이슈) 국내 핵융합에너지 관련 공공기관은 각각 연구, 경제, 정책 등 개별 분야에 특화되어 있어 어느 기관이 선정되더라도 전략지원센터에 필요한 핵융합 분야 종합 전문성의 확보가 어려울 것으로 예상됨
  - 공공분야의 현직 핵융합 관련 정책전문가의 수가 절대적으로 부족
  - 민간 전문가의 파견도 대안이나 외부 인력의 효율적 활용 측면에서 센터의 인력 운영(인센티브, 처우 등)이 부담이 될 수도 있음
- (해결 방안) 핵융합에너지 전략지원센터를 구축하고 외부 민간 기관과의 협업 또는 업무 위탁을 통하여 연구원 조직의 부족한 점을 보완
  - 전략수립 및 국내 외 기술·산업·정책 분석·조사 등 일부 활동을 민간 기관과 협업 또는 위탁하여 추진, 내부인력은 정부·부처 업무에 집중
  - ※ 협업(산업/제) : 한국핵융합·가속기기술진흥협회(KAFAT), 에너지경제연구원(KEEI) 등
  - ※ 위탁(조사/분석) : 산업기술 조사·기획 전문 민간 컨설팅 기관
  - ※ 파견(기술) : 한국핵융합에너지연구원 (KFE)
  - 외부 역량을 효율적으로 활용할 수 있다면 한국핵융합에너지연구원(KFE) 내에 전략지원센터를 설립하는 방안도 검토 가능



[그림 4-7] 핵융합에너지 전략지원센터 조직도 및 세부기능 중 위탁협업 가능분야

□ 국내 핵융합 관련 연구 및 거대공공연구·에너지 정책 관련 연구기관, 관련 전공 교수가 있는 대학이 협약 가능할 것으로 판단됨

<표 4-10> 협약가능 기관(안)

기관	참고
한국핵융합에너지연구원(KFE)	
한국원자력연구원(KAERI)	
한국원자력안전기술원(KINS)	
한국에너지기술연구원(KIER)	
한국핵융합·가속기기술진흥협회(KAFAT)	(사단법인)
에너지경제연구원(KEEI)	
과학기술정책연구원(STEPI)	
한국과학기술기획평가원(KISTEP)	
서울대학교	* 서울대학교 원자력 정책센터 운영
한국과학기술원(KAIST)	* 관련 전공 교수 현임
포항공과대학교	

- 유사 전략지원센터의 신청 가능 기관 유형 및 자격을 참고, 핵융합에너지 전략 지원센터 협약 가능 기관의 유형을 연구원, 협회 및 대학까지 고려

[참고 - 생명공학정책센터 신청 가능 기관의 유형 및 자격]

<p>○ (신청단위) 실질적으로 사업을 주관하는 기관 내 부서 또는 기관 단위</p> <p>※ 00대학 00 센터, 00연구원 00 연구소 등 기관 직제에 반영된 부서를 원칙으로 하되, 직제에 반영되지 않은 실험실(연구실)에서 신청하는 경우 사업의 안정적인 유지에 관한 기관장의 협약서 별도 제출</p> <p>○ (신청자격) 아래의 최소 기준을 갖춘 기관 중 인력 및 관련 사업 실적 등의 전문성을 고려하여 적합한 자를 지정</p> <p>- 생명공학분야 전문인력* 7인 이상 보유(전체 인력의 70% 이상)</p> <p>※ 관련 분야(생명과학, 생명공학 등) 전공자 또는 5년 이상 종사자</p> <p>- 최근 3년 이내 국가 생명공학 정책 수립 지원 실적 보유</p>
--

**(독립성 확보) 주관기관과의 독립성을 고려한 전략지원센터 운영 방식 결정이 요구되며, 제도적·연구적 측면의 독립성 확보 필요**

- 전략지원센터의 독립적이고 자율적인 연구활동을 보장하기 위한 요소를 선정, 이에 대한 운영 규정을 작성하여 독립적인 권한을 부여
- (제도적 측면) 재정 형태의 독립성 확보, 핵융합에너지 분야의 특수성으로 인한 수혜자 확대의 어려움 등 제도적 독립성 확보에 한계가 있으므로, 대안으로 분명한 업무 기술과 내부관리의 자율성을 보장하여 독립성을 확보
  - (연구적 측면) 독립적인 아젠다 설정, 연구자료의 발간을 통한 공개성 확보, 독립적 자문위원회 구성을 통한 자율적 연구 체계를 구성하여 연구의 독립성을 유지

<표 4-11> 핵융합에너지 전략지원센터의 독립성 확보방안

분 류	제도적 측면	연구적 측면
주요 독립성 요소	재정형태, 분명한 임무 기술, 내부관리 자율성 보장, 수혜자의 범위 확대, 재정 제공자와의 관계 조정 및 책임성 부여	독립적인 아젠다 설정, 학문적 우수성 및 질 보장, 자문 보호장치 수립, 이미지 형성과 신망을 위한 공개성 및 발간
핵융합에너지 전략지원센터의 독립성 확보방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 내부관리 자율성 보장</li> <li>• 분명한 임무 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 독립적인 아젠다 설정</li> <li>• 학문적 우수성 및 질 보장</li> <li>• 자문 보호장치 수립</li> <li>• 이미지 형성과 신망을 위한 공개성 및 발간</li> </ul>
세부 확보 방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>내부관리 자율성 보장</b> : 운영 규정에 독립성을 보장하기 위한 조항 적시 * 센터장의 임기 및 인사권 보장 등 권한과 책임에 대한 명확한 규정 적시</li> <li>• <b>독립적인 아젠다 설정</b> : 전략지원센터 내부적으로 자체 연구 아젠다를 설정하는 책임을 부여 * 연구 주제선정에 대한 외부 의견 수렴, 자체적인 연구과제 선정 절차 수립</li> <li>• <b>학문적 우수성과 질 보장</b> : 센터 설립의 핵심 가치인 정책연구에 대한 책임 부여 * 핵융합에너지의 정책연구 분야에 대한 독자적인 연구책임을 부여</li> <li>• <b>자문 보호 장치</b> : 싱크탱크 상부의 개입이나 영향을 차단하기 위한 독립적 전문가 구성 * 관련 분야 전문가, 민간 연구자 등으로 구성된 독립적인 자문위원회를 구성하여 객관성을 유지</li> <li>• <b>공개성 및 발간</b> : 독립적인 연구 수행 및 공공성 확보를 위한 연구성과물 공개</li> <li>• <b>전략지원센터의 분명한 임무 기술</b> : 전략지원센터의 내부 규정 수립 시 업무의 명확한 분류 및 자율적인 정책 제안의 규정을 삽입하여 센터의 독립적 활동에 대한 근거 확보</li> </ul>	

\* 정부 싱크탱크의 운영과 독립성 문제(RESEAT,2009)를 참고하여 연구진 재작성

- 운영규정은 세부 확보 방안을 반영하여 독립성을 확보하고, 기존 정책연구센터 (생명공학 정책연구센터, 국가우주정책연구센터, 뇌연구정책센터 등)의 운영 규정을 참고하여 마련

<표 4-12> 핵융합에너지 전략지원센터의 관련 운영 규정(예시)

규정 분류	내 용
총 칙	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (목적) 이 규정은 핵융합에너지 개발진흥법 에 따른 핵융합에너지 전략지원센터의 지정·운영에 관한 세부사항을 규정함을 목적으로 한다.</li> </ul>
센터의 설립·운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (센터설립 주관기관 공모) 핵융합에너지 전략지원센터는 공모를 통해 매 4년에 1회 관련 설치한다.</li> <li>• (센터설립 주관기관 선정·심사 등) 과기정통부장은 센터설립 주관기관 신청을 받은 때에는 심사단을 구성하여 신청기간 종료 후 1개월 이내에 심사하여 선정하여야 한다.</li> <li>• (센터의 지정) 평가결과 센터 설립 주관기관으로 선정된 기관의 장은 센터 설립계획을 수립하여 과기정통부에 센터지정신청서를 제출하여야 한다.</li> <li>• (센터의 구성) 센터는 센터장 1명을 두고, 핵융합정책팀, 국제전략팀, 핵융합기술팀으로 구성한다.</li> <li>• (예산) 센터는 예산 수립 및 시행에 대한 독립적 권한을 가진다.</li> <li>• (기능) 전략지원센터는 다음 각 호의 업무를 수행한다.               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 기술개발 현황·경쟁·사회·산업 등 동향 파악 및 전파</li> <li>2. 관련 공무원과 민간전문가 등이 참여하는 국제회의 개최 및 지원</li> <li>3. 국가핵융합위원회 운영·기본계획 수립 등 국가 정책 수립 지원</li> <li>4. 핵융합분야 성과 분석·기술 수준 분석 등 국내 역량 분석</li> <li>5. 제1호부터 제4호까지의 사항과 관련된 자료발간, 출판물 번역·발간</li> <li>6. 그 밖에 운영위원회에서 필요하다고 인정하는 사항</li> </ol> </li> </ul>
센터장의 선정 및 권한과 의무	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 주관기관의 장은 센터를 효율적으로 운영하기 위하여 센터를 대표하는 센터장을 3배수로 추천하고 평가위원회의 승인을 얻어 임명한다. 다만, 지원자 등이 없어 불가피하게 3배수 추천이 곤란한 경우 그 사유를 달아 2배수 또는 단수로 추천할 수 있다.</li> <li>• 센터장은 상근, 임기는 3년으로 하며, 1회에 한하여 중임할 수 있다. 다만, 1회에 한하는 중임규정으로 인하여 센터장 선임이 불가능한 경우 등 특별한 사정이 있다고 행정협의회의 위원장이 인정하는 경우에는 예외로 할 수 있다.</li> </ul>
자문위원회 구성 및 운영	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센터장은 센터사업의 효과적인 수행을 위해 자문위원회를 구성 할 수 있다.</li> <li>• 자문위원회 위원장은 센터장이 되며, 위원은 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 10명 이상의 전문가로서 위원장이 임명 또는 위촉한다.               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 주관기관 및 업무 담당공무원을 포함하는 참여기관의 관계자</li> <li>2. 관련 연구원 및 연구소 등의 관계자 또는 전문가</li> <li>3. 민법 제32조에 의거 주무관청으로부터 허가받은 비영리법인 및 비영리민간단체 지원법 제4조에 의거하여 등록한 비영리 민간단체의 관련 관계자 또는 전문가</li> <li>4. 그 밖에 환경관련 전문가 또는 위원장이 추천하는 자</li> </ol> </li> </ul>
인사 규정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 센터 인력의 채용, 파견, 급여, 복무관리 등</li> </ul>
행정 규정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 예산 및 회계, 주관기관의 시설물 제공, 문서행위, 책임과 의무 등</li> </ul>



### 3 센터의 운영 주체에 따른 비교

(주관기관 유형 비교) 한국핵융합에너지연구원, 관련학과 대학, 정부 출연연 등 운영 주체간의 장단점 비교를 통해 주관기관의 선정 시의 문제점을 분석

- (주관기관 비교) 주관기관의 선정 시 전문성, 독립성, 안정성의 지표로 주관기관을 선정하며, 각 기준지표를 중심으로 주관기관의 유형에 따라 장단점 비교
- 한국핵융합에너지연구원은 국내 유일의 핵융합에너지 연구 정부출연 연구소로서 관련 정책 및 기술 개발에 오랜기간 참여
  - 핵융합 관련 대학은 해당분야에 대한 연구를 수행하였으며, 대학에서 운영하는 원자력정책센터와 같은 유사 사례가 있음
  - 정부 출연연은 에너지 및 R&D 정책과 관련된 연구를 수행하는 기관으로 거대과학과 관련된 정책분석을 수행한 기관을 주 대상으로서 비교

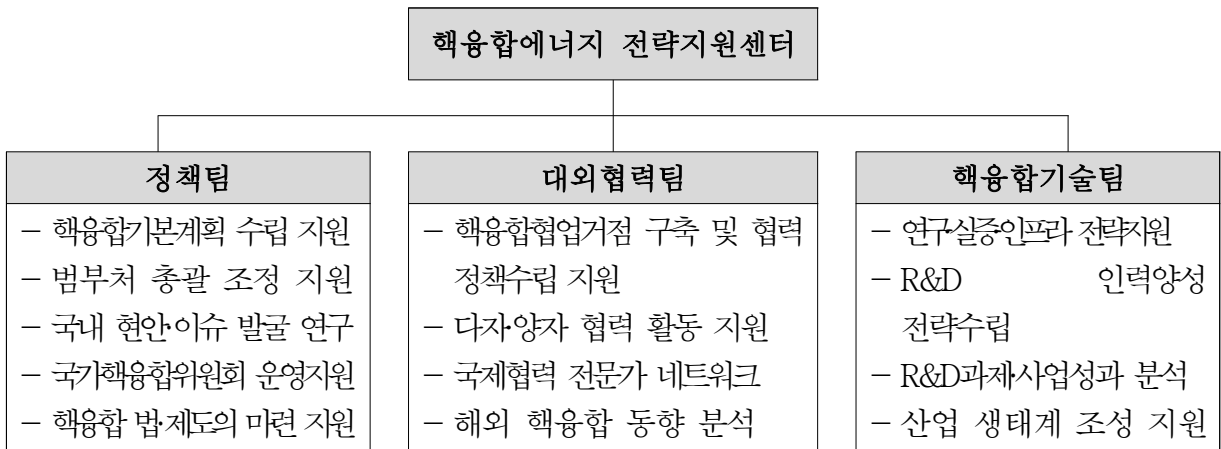
운영 주체	한국핵융합에너지연구원	대학(핵융합 관련 학과)	정부 출연연
개요	- 핵융합 전문가 및 기술연구를 수행하는 전문 연구조직	- 핵융합관련 학과내 정책 연구센터의 형태로 구성	- 에너지 및 R&D정책 관련 기타 출연연
전문성	- 기술적 전문성이 높으며, 다년간 축적된 네트워크, 정보수집 분석역량 보유 - 변화나 외부 요구에 신속한 대응 가능	- 전문성 일부 있으나, 실무 역량이 보장되지 않음 - 학생 등이 참여하게 되므로 역량 축적에 우려	- 기술적 전문성 확보가 어려우며, 관련 전문가와 연계가 어려움
독립성	- 기술조직내 전략조직이 있어 독립성 이슈 존재 - 운영 규정 제정 및 내부 조직 정비를 통해 센터의 업무를 제한 등 장치 마련 가능	- 연구중심의 센터로 독립적 싱크탱크가 가능 - 은퇴 전문가의 활용 등이 용이함	- 일부 독립성 확보는 가능하나, 실질적인 연구진은 KFE 인력을 파견의 형태로 활용해야함
안정성	- 조직의 전문 분야와 센터의 분야가 일치하므로 지속적 운영 가능	- 핵융합 관련 학과는 원자력 분야에 소속되어 있음 - 학과 조직에 따른 변동 가능성. 학생 입학졸업의 영향을 크게 받음	- 출연연은 운영안정성이 높으나 전문 분야가 일치하지 않을 경우, 운영우선 순위에서 배제될 가능성 있음
기타	- KFE내에 정책연구 부서가 있어, 이를 기반으로 센터를 구성, 센터 구축 초기부터 높은 수준의 전문성 확보가 가능	- 센터 구축 및 운영 초기에 시행착오가 우려됨	- 파견인력 및 전문위원 중심의 운영이 불가피하므로 전문성 유지가 어려울 수 있음

## 4절 조직 및 인력 구성방안

### 1 조직의 구성 및 주요 업무

**(조직 구성 및 예산) 핵융합에너지 전략지원센터는 정책·국제전략·핵융합기술의 세부 전문분야로 구성 운영**

- (구성) 핵융합 실현기반 강화를 위한 정책 및 전략 수립을 뒷받침하기 위해 정책수립팀, 국제전략팀, 핵융합기술팀 등 조직도 및 조직별 세부기능을 기획



[그림 4-8] 핵융합에너지 전략지원센터 조직도 및 세부기능(안)

- (정책팀) 핵융합에너지 관련 국가 정책 수립 및 주요 현안 분석 등 국가적 컨센서스 확보 및 국가 계획기능 강화
  - 정부의 핵융합에너지 발전 계획 수립 업무에 대한 총괄지원
    - ※ 핵융합에너지 개발진흥법의 재개정 지원
    - ※ 핵융합에너지발전기본계획 수립 지원
  - 범부처 총괄 지원 조정 지원
    - ※ 과기정통부, 산업부, 중기부 등 핵융합에너지 관련 기술 및 산업화 대응을 위한 범부처 정책지원
  - 국내 현안·이슈 발굴 연구
    - ※ 에너지 안보에 대한 주요 이슈 발굴 및 연구
    - ※ 핵융합에 대한 국민 수용성 등 주요 이슈 발굴 및 연구
  - 국가 핵융합위원회 운영 지원
    - ※ 주요 회의체 운영 지원 및 심의 의결기구에 대한 운영 지원

○ (대외협력팀) ITER 및 국제적 핵융합 개발 협력 및 국내 연구 협업 체계 구축을 통한 네트워크 구축 지원

- 핵융합 협업거점 구축 및 협력 정책 수립 지원
- ※ 핵융합에너지 발전 기술 개발을 위한 대외 협력 정책의 총괄 수립 지원
- 다자 협력 활동 지원
- ※ ITER의 참여 전략 및 기술 교류 확대를 위한 전략 수립 지원
- 양자 협력 활동 지원
- ※ ITER 외 주요 개발국과의 협력 전략 수립 지원
- ※ 예) 일본과 중성자원 시설 구축 협력 등 단일 국가와의 개발 연계체계 수립 등
- 국제협력 전문가 네트워크 구축
- ※ 핵융합에너지 전문가를 대상으로 한 네트워크 구축 전략 수립 및 시행
- 해외 핵융합 동향 분석
- ※ 글로벌 기술개발 동향 파악 및 경쟁 우위 전략 수립 등 지원
- ※ 주요국 기술 수준 조사 및 논문·특허 동향 파악

○ (핵융합기술팀) 핵융합에너지 기술 및 산업 등 직접적인 개발 동향 파악 및 국내 기술·산업적 역량 강화 전략 수립 지원

- 핵융합실증 정책 지원
- ※ 국내 핵융합 실증시설 구축에 대한 정책적 지원
- ※ 핵융합 실증시설 검토 및 타당성 검토를 위한 인력 네트워크 구축 지원
- R&D 인력양성 전략 수립 등 국내 핵융합 기술개발 역량 강화 전략수립
- ※ 국내 핵융합 전문인력 양성 계획 수립
- R&D과제 ·사업성과 분석
- ※ 국가 핵융합 R&D 과제의 성과 조사 관리
- ※ 국내 핵융합 실증시설 및 연구시설에 대한 현황 파악
- 핵융합산업 생태계 조성 지원
- ※ 국내 핵융합 산업체 현황 조사 및 인력 현황 조사
- ※ 국내 핵융합 연관 산업 현황 조사
- ※ 핵융합 산업육성을 위한 정책 수립 지원

## 2 인력규모

- (인력구성) 조직도 및 조직별 세부기능에 따른 인력규모와 인력별 세부기능을 기획
  - 센터의 역할과 정책연구를 수행하기 위한 적절한 규모의 인력규모를 과학분야의 주요 정책연구센터를 분석하여 도출

<표 4-13> 핵융합에너지 전략지원센터 인력규모 및 세부기능(안)

(단위: 명)

구분	주요업무	인력
운영(2명)	운영총괄(센터장-공모직)	1
	행정지원	1
정책팀 (3명)	정책팀 총괄	1
	국가핵융합정책수립 지원, 범부처 총괄조정 지원	1
	국내 현안·이슈발굴, 주요 회의체 운영 지원	1
국제 전략팀 (3명)	국제전략팀 총괄	1
	핵융합협력 정책수립 지원, 다자·양자협력 활동지원	1
	국제협력 전문가 네트워크, 해외 핵융합개발 동향 분석	1
핵융합 기술팀 (4명)	기술팀 총괄	1
	사업기획/성과관리	1
	안전규제/인력양성 전략	1
	핵융합산업생태계 조성 지원	1
합계		12

\* 국가나노기술정책센터 인력 구성 준용

## [참고] 타 센터 인력규모 현황(2022.04.15. 기준)

○ 과학분야의 주요 정책연구센터의 인력구성 현황

## [ 생명공학정책연구센터 인력 ]

조직도	직급	규모
생명공학센터	센터장	1
정책연구개발실	실장	1
정책연구팀	연구원	3
	팀장	1
제도연구팀	연구원	1
	팀장	1
산업연구팀	연구원	2
	팀장	1
정보분석실	실장	1
정보서비스팀	연구원	1
	팀장	1
컨텐츠팀	연구원	2
합계		15

자료: 국가생명공학정책연구센터 홈페이지, <https://www.bioin.or.kr/bioin.do?cmd=org>

## [ 국가나노기술정책센터 인력 ]

조직도	직급	규모
국가나노기술정책센터	센터장	1
사무국	사무국장	1
정책기획팀	팀장	1
	선임연구원	1
	연구원	1
정보분석팀	선임연구원	1
	연구원	3
대외협력팀	사무국장 겸임 팀장	1
	선임연구원	1
	연구원	1
합계		12

자료: 국가나노기술정책센터 홈페이지, [https://www.nnpc.re.kr/bbs/content.php?co\\_id=06\\_07](https://www.nnpc.re.kr/bbs/content.php?co_id=06_07)

[ 뇌연구정책센터 인력 ]

조직도	직급	규모
뇌연구정책센터	센터장	1
	선임연구원	1
	연구원	1
	연수연구원	1
	행정원	2
합계		6

자료: 한국뇌연구원, <https://www.kbri.re.kr/new/pages/sub/page.html?mc=0787>

[ 융합연구정책센터 인력 ]

조직도	직급	규모
융합연구정책센터	센터장	1
정책지원팀	팀장	1
	팀원	4
사업기획팀	팀장	1
	팀원	4
정보분석팀	팀장	1
	팀원(Post-Doc 포함)	3
합계		15

자료: 융합연구정책센터 홈페이지, <https://crpc.kist.re.kr/user/nd78146.do>

[ 국가우주정책연구센터 인력 ]

조직도	직급	규모
국가우주정책연구센터	센터장	1
정책연구1팀	팀장	1
	책임연구원	1
	선임연구원	1
	연구원	1
정책연구2팀	팀장	1
	팀원*	(인력 구성 중)
운영기획팀	팀장*	
	팀원*	
합계		

자료: 과학기술정책연구원, <https://stepi.re.kr/site/stepiko/ex/bbs/List.do?cbIdx=1318#>

### 3 예산규모

- (예산규모) 인력규모 및 역할에 따라 인건비를 책정하고, 연구활동비, 연구과제 추진비, 위탁연구개발비, 연구수당 등 직접비를 책정하여 예산규모를 산정
  - 총 사업예산 1,570백만 원 중 신규사업예산 1,200백만 원이며, 주관기관과 파견기관에서 인건비를 일부 부담
  - ※ 연구원과 달리 행정직의 경우 주관기관의 규정 상 연구수당을 받지 못하는 것으로 되어 있는데, 이는 주관기관과의 사전 협의를 통하여 같은 직급의 연구직에 준하는 연구수당을 받을 수 있도록 특례조항을 운영규정에 추가

<표 4-14> 핵융합에너지 전략지원센터 예산규모(안)

(단위: 백만 원)

구분	세목	지출	신규사업예산	주관기관 부담	파견기관 부담
인건비	센터장(1명)	110	110(1명)	-	-
	책임급(3명)	270	90(1명)	90(1명)	90(1명)
	선임급(3명)	210	70(1명)	70(1명)	70(1명)
	원급(5명)	250	200(4명)	-	50(1명)
	인건비 소계	840	470(5명)	160(2명)	210(3명)
연구비	연구활동비	350	350		-
	연구과제추진비	100	100		-
	위탁연구개발비	100	100		-
	연구수당	80	80		-
	연구비 소계	630	630		
간접비		100	100		-
예산규모		1,570	1,200	160	210

#### [참고] 공무원 파견규정

- (파견 규정) 공무원의 파견근무(국가공무원법 제32조의4 및 제43조, 공무원임용령 제41조)
  - 규정 : 동조항 제7호 국내의 연구기관, 민간기관·단체에서 관련업무수행·능력 개발이나 국가정책수립 관련 자료수집
  - 기간 : 2년 이내(총 파견기간 5년 이내에서 연장 가능)
  - 파견대상기관 : 국내의 연구기관, 민간기관·단체
  - 보수 : 소속기관에서 지급
    - ※ 법령에 특별한 규정이 있거나, 원소속기관과 파견받을 기관이 협의하여 따로 정한 경우에는 파견받은 기관에서 지급 가능
    - ※ 보수 외에 직무수행에 필요한 여비 등 실비변상적인 급여는 파견받은 기관에서 지급 가능
    - ※ 별도의 파견수당은 공무원보수 등의 업무지침에서 규정하고 있지 않으며, 지급 불가

- (연구비) 총 6.3억 원으로 구성되며, 이중 정책총괄연구(2.1억 원), 국제전략연구(2.2억 원), 핵융합기술동향조사(2.0억 원)으로 구성

<표 4-15> 핵융합에너지 전략지원센터 직접비 지출내역(안)

(단위: 백만원)

업무 분류	주요내용	금액
정책총괄	핵융합기본계획 수립 지원	50
	범부처 총괄 조정 지원	30
	국내 현안·이슈 발굴 연구	100
	국가핵융합위원회 운영 지원	30
국제전략	핵융합협력 정책수립 지원	50
	다자 협력 활동 지원	120
	양자 협력 활동 지원	
	국제협력 전문가 네트워크	
	해외 핵융합 동향 분석	50
핵융합 기술	핵융합실증 정책 지원	50
	핵융합 안전규제/인력 양성 전략	150
	국가핵융합사업성과 관리	
	핵융합산업 생태계 조성 지원	
합계		630







핵융합에너지 개발을 위한 전략지원체계 구축 방안 연구

# 5 장

## 기대효과 및 활용방안

1절 기대효과

2절 활용방안





## 1절 기대효과

### 1 정책적

#### □ 핵융합에너지법 및 주요 과학기술 계획 등 국가 정책 목표달성 기여

- 전략지원센터는 핵융합에너지개발진흥법에 따라 시행되는 기술개발 및 정부활동을 지원하여 기본계획 목표\*달성에 기여
  - ※ 핵융합에너지법 제1조(목적): 핵융합에너지 연구개발을 촉진하여 핵융합에너지의 생산 및 평화적 이용에 필요한 기반을 조성하고, 핵융합에너지 관련 과학기술과 산업을 진흥함으로써 국가 경제의 발전과 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 한다.
  - ※ 기본계획 비전: 핵융합에너지 실용화 기술개발로 지속가능한 국가 신에너지 확보
- 주요 상위 과학기술 계획의 목표달성에 기여하고, 특히 핵융합 전력생산 실증 관련 핵심기술 확보를 통해 탄소중립 및 에너지사용량 증가 대응
  - ※ 과학기술기본계획(2018), 에너지기본계획(2019), 국가대형연구시설구축지도(2014), 탄소중립 연구개발 투자전략(안)(2021) 등

#### □ 핵융합 핵심기술개발 연구시설·장비의 실질적인 구축 계획 수립

- 전략지원센터는 핵융합 핵심기술 개발을 위한 연구시설·장비 구축 계획 수립에 참여, 적기에 연구인프라가 구축될 수 있도록 지원
  - 연구시설·장비 구축으로 지역 내 대학, 산업체와 연계한 공동연구 및 네트워크 구축을 통한 기술경쟁력 강화 기여

#### □ 핵융합에너지 핵심기술 확보를 통한 국가적 위상 제고

- 전략지원센터는 핵융합에너지 분야의 핵심기술 확보를 위한 과제발굴 지원 등 우리나라의 과학기술 위상 제고 기대
  - KSTAR의 성공적인 건설 및 운영으로 우리나라의 핵융합에너지 분야 기술력이 세계적 수준에 도달하였으며, 이로 인해 ITER 사업의 주도적 참여 통한 고위직 진출, ITER 국제기구 파견 등 가능

## 2 과학기술적

### □ 핵융합에너지 전력생산 실증을 위한 핵심기술의 기술 수준 제고

- 전략지원센터는 기존의 연구성과(KSTAR 연구 및 ITER 조달) 활용 및 확산에 기여하고, 신규과제 및 기술정보 분석을 통해 핵융합에너지 실증연구를 지원
  - 토카막·플라즈마\*기술 등 기존의 성과의 활용 및 확산을 통해 유관분야 및 국내 과학기술전반의 기술 수준 향상에 기여
    - ※ 세계최초 1억도 초고온 플라즈마 20초 유지운전(2020.11월), 세계최초 ITER 진공용기 섹터 6번 성공적 제작·조달(2020.8월) 등
  - 핵융합에너지 관련 최신 기술 정보 수집 등 실증로 준비를 위한 공학기술의 기술 수준 제고에 기여가 가능하며, 핵융합 실증로 분야에서의 우수한 연구성과 창출을 지원
    - ※ 난제 해결 중심의 핵융합 연구개발 특성으로, 핵융합기초연구사업의 경우 전체 정부 R&D 대비 논문 생산성 및 질적우수성이 높음

### □ 핵융합에너지 핵심기술의 독자 연구 및 기술협력 네트워크 구축을 통한 국가 간 기술경쟁 대비

- 전략지원센터는 핵융합 핵심기술 개발 연구기반 확보 전략 수립 등을 통해 정보 교류가 제한적인 분야\*의 독자 연구개발 추진 및 자력 기술확보를 지원
  - ※ 핵융합 전력생산을 위한 핵심기술(중식블랑켓, 재료, 연료주기 등)은 보안상의 이유로 국가 간 기술 정보 교류가 극히 제한적 분야로 해외 주요 국가들은 자국 연구시설·장비 구축 중
- 기술협력이 필요한 분야에 대해 기술협력 네트워크를 구축하여, 핵심기술의 빠른 확보를 지원
  - ※ (한-일/한-중) 장치 실험과 ITER 조달 등 관련 각 19개, 8개 의제 중심 협력
  - ※ (한-EU) 한-EU ‘기술관리계획’ 체결(2019.11), 양자 간 ITER TBM 공동개발 추진 등 실증 핵심기술 분야 협력 강화
- 우리나라의 연구성과를 기반으로 국제협력 촉진하여 공동연구 추진 가능성 제고
  - ※ (과거사례) KSTAR의 성공적인 실험·운전 결과를 기반으로, ITER 핵심 난제인 “플라즈마 붕괴완화”에 대하여 한·미·EU 공동연구를 통해 실험적 검증

### □ 핵융합 인력 전문성 강화 및 참여 산업체 역량 강화

- 전략지원센터는 핵융합 핵심인력 육성 전략을 통해 기존 노심플라즈마, 장치제작 분야에서 공학분야 연구 확장으로 참여 인력, 산업체의 전문성 강화 기대
  - ※ 실증로 단계의 전문성 있는 인력의 양성을 위해서는 산·학·연의 핵융합 핵심기술 개발 참여 필요(제17차 핵융합실무위원회, 2021)

### □ 과학문화 확산을 통한 핵융합에너지 사회적 수용성 제고

- 핵융합 핵심기술 확보 및 연구성과의 과학문화 확산을 통해 핵융합에너지의 사회적 수용성 제고 기여
- 선도적 과학기술 성과를 통한 국가 위상 제고로, 과학기술에 대한 인식개선 및 신뢰 기반 마련 기여

## 3 경제적

### □ 핵융합 관련 기업의 매출 증대 및 신규 고용창출

- 전략지원센터의 핵융합 산업 육성 계획 수립 및 법제화 지원으로 산업체의 매출 증대 및 신규고용 창출을 촉진하고, 이로 인한 핵융합 산업생태계 유지·확장 기여
- 핵융합에너지 관련 기업의 기술력을 확보를 지원하고, 정책적 지원 체계를 마련

### □ 핵융합 핵심기술의 타 분야 활용 촉진 및 관련 인프라의 활용 확산

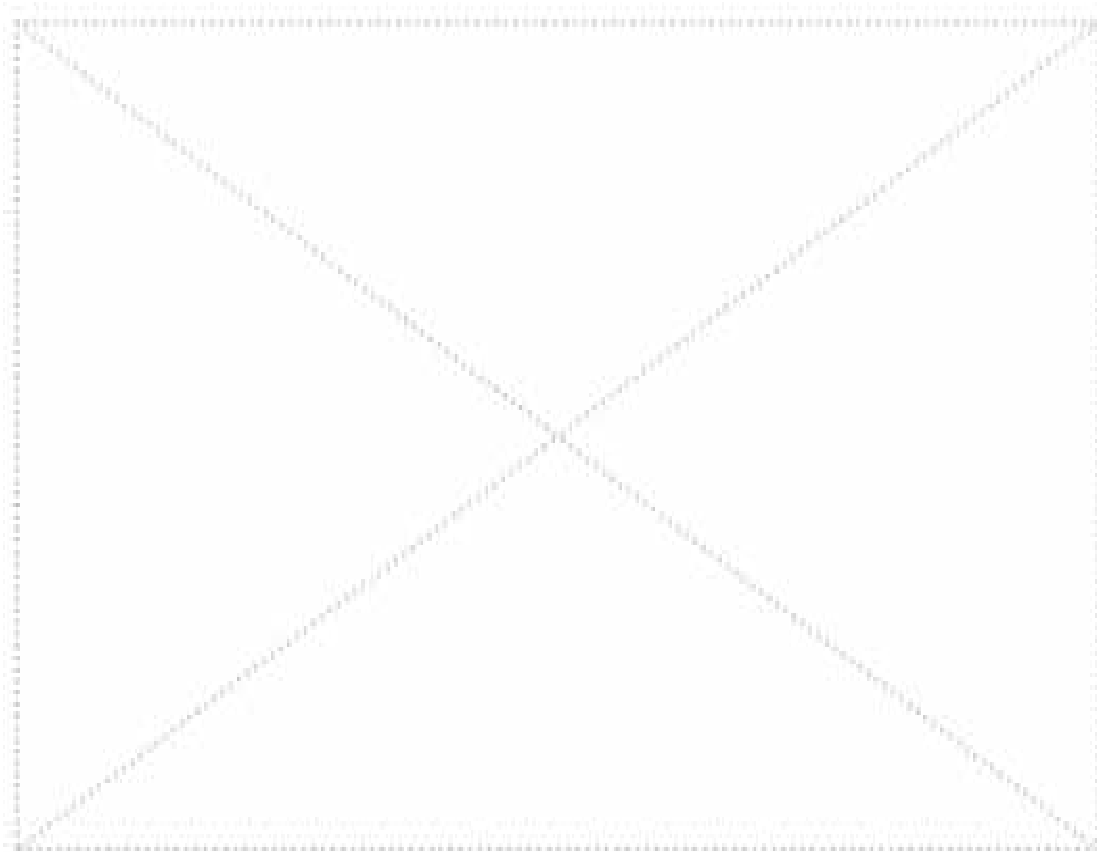
- 핵융합 핵심기술은 연구시설·장비는 극한 환경에서의 연구 및 시험·평가를 위한 시설·장비로 타 분야(우주, 원자력 등) 활용 참여 가능
- 핵융합 핵심기술개발을 위한 연구시설·장비 구축으로 해외 핵융합 개발 국가들의 연구수요 유도로 시설·장비 이용 수입 발생 가능

### □ 장기적인 추진전략 수립으로 실증로 구현 및 에너지 자립을 위한 마일스톤 구축

- 핵융합 핵심기술의 확보 전략 수립을 통해 장기적으로 핵융합 실증로 구현에 기여하고, 에너지원으로써의 핵융합 활용으로 국가 에너지 자립 기여
- 핵융합에너지의 안전한 건설과 운영을 위한 인허가 대비 등 장기적인 발전시설 건설 계획 수립

## 2절 활용방안

- (네트워킹 중심지) 전략지원센터를 수요자와 공급자의 네트워킹 중심지로 활용하면 외부의 요구와 지지에 반응할 수 있음
- (협업의 조율자 역할) 협업 행정을 위해서는 다양한 부처의 이해관계를 조정, 종합하는 제도적 장치가 필요하며 종합적 시각에서 정책과 전략을 수립하는 전략 지원센터를 협업의 조율자로 활용할 수 있음
- (기술개발 허브 역할 수행) 기술적 성과가 산업적, 경제적 성과로 이어지도록 산업화 방안 연구, 수출 시장 개척, 특히 전략 수립을 담당하는 조직으로 활용
- (국민과 소통 창구) 결과적으로 기술적 완성도를 확보해도 안전 규제 등에서 국민의 신뢰를 얻지 못할 가능성이 존재하기 때문에 이를 해결하기 위해 종합적 시각에서 국민의 이해를 돕는 소통 창구로 활용



[그림 5-1] 핵융합에너지 전략지원센터 활용방안

## 참 고 문 헌

- 과학기술정보통신부(2019). 핵융합에너지 개발진흥법  
과학기술정보통신부(2021). 과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률  
관계부처합동(2020). 2050 탄소중립 추진전략  
관계부처합동(2021). 탄소중립 기술혁신 추진전략  
관계부처합동(2021). 탄소중립 연구개발 투자전략  
국가핵융합연구소(2019). 국가핵융합연구소 독립기관 기획 연구용역  
국가핵융합연구소(2019). 중장기 R&D 발전계획  
국가핵융합연구소(2020). 주요국의 핵융합 연구동향 분석 및 시사점 도출  
녹색기술센터(2021). 주요국 탄소중립 기술정책 동향  
뉴시스(2021). 한국의 인공태양 KSTAR, 1억 도 30초 운전 성공  
대통령직속4차산업혁명위원회(2017). 2차 회의 안건  
딜로이트(2021). 2021년과 그 이후를 지배할 메가트렌드  
머니투데이(2021). EU 탄소국경세 도입 현실화...국내기업 영향도 상당할 듯  
미래창조과학부(2017). 제3차 핵융합에너지개발 진흥기본계획(2017~2021)  
비츠로넥스텍(2019). 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사  
산업통상자원부(2022). 제4차 에너지기본계획  
서울경제(2020). 탄소중립에 가장 적합한 발전원은 원전...온실가스 배출량 LNG보다 50배 적어  
에너지경제연구원(2020). 2050 장기저탄소발전전략(LEDS)의 논의과정과 특징  
에너지경제연구원(2020). 유럽 그린딜의 동향과 시사점  
연합뉴스(2020). 전세계 재생에너지 발전량, 지난 해 처음으로 원자력 추월  
연합뉴스(2021). 日, 후쿠시마 원전 사고 처리에 지금까지 138조 원 투입  
인더스트리뉴스(2021). 일본, 재생에너지 비중 목표 대폭 확대...2030년 최대 38%까지  
전자신문(2021). 폭발하는 전기차 전력 수요...“2030년 세계 수송부문 5.4배 증가”  
제8회한중JCM(2020). Current Status Report of ASIPP  
조선비즈(2017). 한국 일사량, 美의 70% 수준...태양광 발전 비용 2배나 들어  
조선비즈(2021). 정부 ‘해상풍력 5대 강국’ 선언했는데...약한 바람, 비싼 건설비 난제  
조선일보(2014). 우라늄 수출 금지한 호주...러 “신뢰 못할 국가” 공개 비난  
중앙선데이(2021). 발전량 들쭉날쭉한 풍력·태양광 에너지...물 분해로 수소 만들어 전기차에 활용  
최원재 외(2013). 거대과학 산업생태계 활성화 전략의 우선순위 결정에 관한 연구: 핵융합과 가속기 장치를 중심으로  
한국과학기술기획평가원 기술동향브리프(2020), 핵융합에너지  
한국과학기술기획평가원(2020). 국제핵융합실험로 공동개발사업 ITER 핵심기술개발 및 운영·관리사업  
한국과학기술기획평가원(2020). 핵융합에너지  
한국과학기술기획평가원(2021). 영국의 탄소중립 정책과 한국의 시사점  
한국과학기술기획평가원(연도별). 국가연구개발사업 성과분석 보고서  
한국연구재단(2018). 핵융합 연구 관련 국내외 산업계 현황 분석 및 활용 방안 마련



- 한국핵융합에너지연구원(2021). 글로벌 핵융합에너지 개발 동향
- 한국핵융합에너지연구원(2021). 핵융합 산업생태계 동향 및 산업체 인식조사
- 한중과학기술협력센터(2021). 중국의 탄소중립 정책동향
- 환경부(2016). 파리협정 길라잡이
- 환경부(2022). 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법
- A.Ibarra 외(2019). IFMIF-DONES Progress and Future Plans
- A.Ibarra(2019). A Neutron Source for Fusion: The DONES Project
- Bi Liekai(2021). 중국의 에너지 산업 투자의 실증분석
- E.O.Lawrence 외(1930). On the Production of High Speed Protons
- EUROfusion Ad-Hoc Group(2018). Theory and Advanced Simulation Coordination(E-TASC)
- EUROfusion(2018). European Research Roadmap to the Realisation of Fusion
- G.Federici 외(2018). EU DEMO Design and R&D Activities: Progress and Updates
- I.Chapman 외(2019). UKAEA Capabilities to Address the Challenges on the Path to Delivering Fusion Power
- I.Chapman(2018). UKAEA: The Path to Delivering Fusion Power
- IFERC(2017). REC Demonstration with JT-60SA
- ITER Newslines(2021). The UK will Remain Part of ITER
- J.Li(2018). Chinese Fusion Energy Strategy
- J.Marroncle 외(2012). IFMIF-LIPAc Diagnostics and its Challenges
- JT-60SA Research Unit(2018). JT-60SA Research Plan: Research Objectives and Strategy
- K.Kurihara(2019). Fusion Energy Research & Development in Japan: Perspectives and Planning toward DEMO
- K.Ochiai 외(2018). Design Progress of Advanced Fusion Neutron Source for JA/DEMO Fusion Reactor
- K.Okano 외(2018). An Action Plan of Japan toward Development of DEMO Reactor
- M.Koot 외(2021). Usage Impact on Data Center Electricity Needs: A System Dynamic Forecasting Model
- MEXT핵융합과학기술위원회(2021). 제25회 회의자료
- R.Albanese 외(2019). The New Divertor Tokamak Test Facility
- Science and Technology Committee on Fusion Energy(2018). A Roadmap toward Fusion DEMO Reactor
- U.S. Energy Information Administration(2021). International Energy Outlook 2021
- UKAEA(2021). UK Fusion Roadmap 2021-2040
- 대한민국정책브리핑, <https://www.korea.kr/main.do>
- 한국에너지기술연구원, <https://www.kier.re.kr/>
- 한국원자력연구원, <https://www.kaeri.re.kr/>
- 한국핵융합에너지연구원, <https://www.kfe.re.kr/kor/index>
- 한국환경공단, <https://www.keco.or.kr/kr/main/index.do>
- CRAFT, [http://craft.ipp.ac.cn/cn/gcxc/index\\_34.aspx](http://craft.ipp.ac.cn/cn/gcxc/index_34.aspx)
- Culham Centre for Fusion Energy, <https://ccfe.ukaea.uk/>
- e나라지표, <https://www.index.go.kr/main.do>
- IBA, <https://www.iba-radiopharmasolutions.com/>
- RACE, <https://race.ukaea.uk/>
- Statista, <https://www.statista.com/>

## 부록 1 전문가 자문회의 회의록

□ 회 의 명 : 핵융합에너지 개발을 위한 전략지원체계 구축 전문가 회의

□ 회의일시 : 2022년 05월 11일 (수) 15:00 ~ 17:00

□ 회의장소 : 서울시 양재역 토즈

□ 참 석 자 :

(과기정통부) 거대공공연구협력과 박시정 과장

(자문위원) (한국핵융합에너지연구원) 정현경 부장  
(한국에너지기술연구원) 배치혜 선임  
(에너지경제연구원) 박찬국 팀장  
(한국과학기술기획평가원) 심정민 센터장  
(서울대학교 원자핵공학과) 나용수 교수  
(한국과학기술원 원자력 및 양자공학과) 김영철 교수

(연구팀) 에이치엔피파트너스 김석필 부사장, 윤유식 선임, 이지아 선임

### □ 주요 논의사항

○ 핵융합에너지 전략지원센터의 설립 필요성 및 역할 검토

- 센터의 필요성과 운영목표·과제를 구체화하여 조직 구성·기능과 일치시켜야 함
- 핵융합에너지의 중요성·필요성에 있어 탄소제로 정책은 시기가 맞물리지 않으므로 재검토·조정 필요
- 국가핵융합위원회 등 정부조직과 역할 배분 명시. 원자력분야의 정책수립조직 참고 검토 필요

○ 센터의 전문성 및 독립성 확보 방안 검토

- 센터의 전문성, 독립성, 지속성을 모두 동등하게 고려하여 센터 선정·운영 방식을 결정해야 함
- 센터의 운영·인력·정보의 지속성을 확보하는 것이 중요
- 센터의 설립이 핵융합R&D전문조직 혹은 대학, 정책연구조직, 기타 R&D 조직에서 이뤄질 때의 장단점을 비교 분석필요

## □ 전문가 의견

### ○ 정현경 부장

- 센터의 필요성과 역할·기능이 서로 일치하지 않는 부분을 재검토해 보아야 함
- 핵융합연 자체 정책팀 기능과 전략지원센터만의 역할이 차별되어야 함
- 전략지원센터 운영 시 기술의 중요성도 중시되어야 함
- 안전·인허가 부분 정책 측면에서 전략지원센터의 역할이 명시되어야 함

### ○ 배치혜 선임

- 핵융합연 내부에 센터 설치 시, 센터의 독립성 및 지속성 확보방안을 구상해야 함
  - 내부 업무를 분담하지 않는 조직임을 명시하거나 정규직중심 인원구성로 센터의 독립성 및 지속성 확보 (ex. 한국에너지기술연구원 내부의 국가기후기술정책센터)
- 기술 전략과 성과 확산을 센터의 역할로써 강조해야 함
- 타 분야 정책센터(ex. 원자력정책센터)와 역할 및 기능이 중복되지 않음을 강조해야 함

### ○ 박찬국 팀장

- 핵융합연 내부에 센터를 설립하는 것이 업무의 효율성 높일 수 있음
  - 핵융합연 내부에 설립 시 외부 평가에 가중치를 두는 객관적 검증 절차 필요함
- 법제도 차원(ex. 안전법)에서 전략지원센터 설립 근거 강조해야 함
- 센터의 역할에서 우선순위 명시되어야 하며 아래 두 가지 측면이 강조되어야 함
  - ①정책수립 지원 ②핵융합네트워크 구축을 통한 연구 확장 및 인력 양성

### ○ 심정민 센터장

- 핵융합이라는 특수성 있는 분야를 명시하여 설립하는 센터인 만큼 센터설립의 필요성 및 활용성 강조되어야 함
  - 핵융합의 인지도가 낮음을 고려하여 센터설립의 필요성과 당위성을 명시해주어야 함
- 거버넌스 구축이라는 표현은 다소 오해의 소지가 있으므로, 기술분야의

산업확장 싱크탱크로서 센터의 필요성을 강조해야 함

- 실증 및 산업육성이라는 센터의 필요성이 역할 부분에서 드러나지 않기 때문에 재검토 필요
- 아래 네 가지 측면이 센터의 역할에서 언급되어야 함
  - ①기술 정책 수립: 핵융합 법제도 수립 지원. 실증화 정책 수립 지원.
  - ②기술 전략 지원: 기술 로드맵 점검. 위원회 지원. 국내 기술동향 파악. 기술 정보 플랫폼
  - ③산업육성 및 실증화 대비
  - ④국제 협력
- 시설구축사업 관리체계 정책 및 전략 부분의 하위에 들어갈 것으로 보이며 용어 수정 고려 필요
- 인력조사 측면에서도 센터가 역할을 할 수 있음
- 센터의 전문성과 독립성 확보와 동시에 지속성 확보방안을 구상해야 함
- 센터가 핵융합연 내부와 외부에서서 각각 운영될 경우의 장단점 비교 분석하여 선정해야 함

○ 나용수 교수

- 주요국 전략담당지원조직에 핵융합위원회 등은 국내의 국가핵융합위원회 수준이므로 재검토 필요
- 센터의 필요성과 역할이 상이하므로 재검토 필요
- 2050년 탄소제로 정책은 핵융합에너지 실증화 시기와 맞물리지 않기 때문에 필요성의 근거로 적합하지 않음

○ 김영철 교수

- 센터가 독립적으로 조직되어야만 하는 근거 보충 필요
- 센터의 업무가 별도의 조직 구성없이 현재 핵융합연 내부에서 추진할 수 있다는 이의에 반박할 근거 명시되어야 함

## 부록 2 전략지원센터 법적 근거 보완(안)

- (법률 개정안) 핵융합에너지 개발진흥법을 개정, 전략지원센터의 설립 근거를 마련
- 현행 법령에 전략지원센터의 설립 근거에 대한 법적 요건이 부재함으로, 법령을 개정하여 전략지원기관의 설립 근거를 확보
  - 법제 9조의2를 신설하여 전문기관의 지정 요건 및 수행업무를 규정하고, 세부 수립 방안은 대통령령을 통해 마련

[ 핵융합에너지 개발진흥법 개정(안) 신·구 조문대비표 ]

현 행	개 정(안)
< 신 설 >	<p>제9조의2(핵융합에너지 정책전문기관의 지정 등) ① 과학기술정보통신부장관은 핵융합에너지 정책의 수립·조정 및 핵융합에너지 기술개발·활용을 효율적으로 지원하기 위하여 핵융합에너지 정책전문기관(이하 “핵융합전략지원센터”라 한다)을 지정할 수 있다.</p> <p>② 핵융합전략지원센터는 다음 각 호의 사업을 수행한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 기본계획의 수립 및 시행계획 수립 지원</li> <li>2. 핵융합에너지 개발정책 수립에 관한 지원</li> <li>3. 그 밖에 대통령령으로 정하는 핵융합에너지 개발 사업 관련 업무</li> </ol> <p>③ 정부는 예산의 범위에서 핵융합전략지원센터의 사업 수행에 드는 비용의 전부 또는 일부를 지원할 수 있다.</p> <p>④ 그 밖에 핵융합전략지원센터의 지정과 운영에 필요한 사항은 과학기술정보통신부장관이 정한다.</p>

[ 핵융합에너지 개발진흥법 시행령 개정(안) 신·구 조문대비표 ]

현 행	개 정(안)
< 신 설 >	<p>제21조(핵융합에너지 핵융합정책전문기관의 사업) 법 제9조의2제2항제3호에 따른 “그 밖에 대통령령으로 정하는 핵융합에너지 개발 사업 관련 업무”란 다음 각 호의 업무를 말한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 핵융합에너지 관련 국제협약에 관한 업무</li> <li>2. 핵융합에너지 국제협력 및 지원에 관한 업무</li> <li>3. 핵융합에너지 국내외 실태조사 및 정보 수집·관리·활용에 관한 업무</li> </ol>