시점확인
미검증
2024/08/12
14:32:48
KST
정부시점확인센터

RS-2023-00302693

핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원 방안 수립 기획연구

(A Study on the Establishment of a Support Plan for Overseas Export and International Cooperation of Nuclear Fusion Industries)

연 구 기 관 : 인터젠컨설팅(주)

연구책임자 : 김 승 혁

2024. 4. 30.

과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의 개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 이 종 호

제 출 문

한국연구재단 이사장 귀하

“ 핵융합 산업체 해외수출 및 국제협력지원방안 수립 기획 "에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

2024. 4. 30.

연구책임자 김 승 혁
연구자 유 종 학
연구자 정 진 주
연구자 김 수 지
연구자 고 혜 주
연구자 이 성 민

요 약 문

과제번호	RS-2023-00302693	연구기간	2023.09.01 ~ 2024.04.30(8개월)
과제명	(한글)핵융합 산업체 해외수출 및 국제협력지원방안 수립 기획 (영문)A Study on the Establishment of a Support Plan for Overseas Export and International Cooperation of Nuclear Fusion Industries		
연구책임자 (주관연구기관)	김승혁 (인터젠컨설팅(주))	참 여 연구원수	총 6명	연구비	80,000천원

요약

<연구 배경 및 필요성>

○ 국내 핵융합 관련 산업은 지속적인 기술개발 및 사업화 추진 등을 통해, 꾸준한 성장을 이루고 있으나, ITER 관련 수주 이외에 민간부문에서의 성장은 제한적

– 정부는 「핵융합에너지 개발 진흥 기본계획」 등을 기반으로, 「핵융합기초연구사업」 등을 체계적으로 지원하여 국내 연구기반을 강화하고 전문인력 양성 등을 추진

– 그러나, 이러한 정부 지원에도 불구하고 민간부문은 ITER 관련 수주 이외의 사업화는 저조하고 국내시장 개발에도 한계가 있어, 적극적인 해외 진출 추진 필요성이 큼

<주요내용>

○ 핵융합에너지 개발에 참여한 산업체의 보유 기술역량 활용과 산업생태계 활성화, 자생력 확보를 위한 “핵융합 산업체의 해외 수출 및 국제협력 지원 방안” 수립을 목적으로 연구 추진

○ 국내 핵융합 산업체 보유 기술을 활용한 해외 수출 활성화를 위한 정책적 지원 방안 마련과 기술력 강화를 위한 추진 전략 수립

– (추진방향) 핵융합 산업체의 해외시장진출을 위한 종합 지원. 핵심역량 기반의 신규시장 확보 등 사업영역 확대를 위한 전략적 지원, 산업 생태계 확대를 위하여 해외 진출을 통한 기업의 지속적인 참여 지원

<주요 지원방안 도출 결과>

○ (핵융합 에너지 기술 개발 지원을 통한 기반 확립) 기술경쟁력 확보를 위한 연구개발 지원과 연구과제 추진

○ (핵융합 수출지원체계 구축) 국가 간 네트워킹, 해외진출 지원 전문기업 발굴 등 해외진출, 국제협력을 위한 중점 지원체계 구축

○ (기업지원 활동 강화를 통한 수출 활성화) 해외진출 지원사업 신설 등 수출 활동별 맞춤형 지원

비공개 사유		비공개 기간	

목 차

1. 글로벌 핵융합에너지 현황 분석 ····· 1

1.1. 주요국 정책 동향 ····· 2
1.2. 주요국 핵융합 장치 구축계획 ····· 25
1.3. 주요국 핵융합 산업 및 기업 동향 ····· 37

2. 국내 핵융합에너지 생태계 분석 ····· 46

2.1. 국내 핵융합 관련 정책 및 기업 동향 ····· 47
2.2. 국내 핵융합 분야 주요 기술 동향 ····· 64
2.3. 국내 핵융합 분야 수출현황 및 성공사례 ····· 83
2.4. SWOT 분석 ····· 100
2.5. 국내 산업체 수출 한계점 및 활성화 이슈 ····· 106

3. 핵융합분야 국제협력 및 수출 지원계획 수립 ····· 111

3.1. 핵융합 분야 국제협력 수출 목표 및 방향성 도출 ····· 112
3.2. 사업 목표 및 지원계획 수립 ····· 116
[참고] 국내 국제협력 및 수출 관련 정부지원활동 ····· 128

4. 결론 ····· 136

4.1. 요약 및 결론 ····· 137

[붙임자료] ····· 148

붙임1. 국내 해외진출 및 국제협력 관련 정책조사 ····· 149
붙임2. 핵융합기술얼라이언스 회의 결과 ····· 159
붙임3. 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-① ····· 160
붙임4. 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-② ····· 163
붙임5. 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-③ ····· 166

<표 차례>

<표 1> 주요국의 핵융합 정책동향 ····· 3
<표 2> 주요국 핵융합 R&D 예산 추이 ····· 5
<표 3> 세부 예산 배정 ····· 7
<표 4> '23년 5월 발표한 공공-민간 파트너십 수혜기업 ····· 11
<표 5> 녹색산업혁명을 위한 10대 계획과 주요내용 ····· 13
<표 6> 세부 항목별 예산 내역 ····· 13
<표 7> 부속서 I의 구조 및 포함 품목 분류 ····· 22
<표 8> 주요국 핵융합 장치 구축계획 ····· 25
<표 9> ITER 단계별 연구계획 ····· 27
<표 10> 중국 EAST의 장치성능 향상 계획 ····· 35
<표 11> CFETR 추진 목표 및 수행 내용 ····· 36
<표 12> 빅테크 창업자들이 투자한 핵융합 스타트업 ····· 37
<표 13> 글로벌 핵융합 스타트업 개발 및 투자 동향 ····· 38
<표 14> 해외 Start-up 현황 ····· 40
<표 15> TOP 10 스타트업-누적 투자유치 금액 ····· 41
<표 16> 핵융합 분야 주요 스타트업 ····· 42
<표 17> 회원사 및 제휴사 ····· 43
<표 18> 전략별 주요과제 ····· 49
<표 19> 주요국과의 핵융합 국제협력 현황 ····· 50
<표 20> 연도별 수주 실적 ····· 51
<표 21> 핵융합 분야 제작 기술 보유 주요 기업 현황 ····· 52
<표 22> 핵융합 분야 수출업체 현황 ····· 53
<표 23> 유형 구분 ····· 57
<표 24> CASE별 향후 전망 및 이슈 ····· 63
<표 25> 핵융합 분야 주요 기술 분류 ····· 64
<표 26> ITER 프로젝트 기술목표 ····· 65
<표 27> 8대 핵심 기술 ····· 67

<표 28>핵융합 전력생산 실증을 위한 8대 핵심기술 범위 ····· 68
<표 29>핵심기술 및 기술내용 ····· 71
<표 30> 진공용기 본체 ····· 74
<표 31> 진공용기 포트 ····· 75
<표 32> 조립장비('21.12 조달완료) ····· 76
<표 33> 열차폐체('21.12 운송완료) ····· 77
<표 34> 블랑켓 차폐블록 ····· 78
<표 35> 전원공급장치 ····· 79
<표 36> 진단장치 ····· 80
<표 37> 삼중수소 저장공급장치(SDS) ····· 81
<표 38> KSTAR와 ITER 사업내용 및 성과 ····· 83
<표 39> 선도국 대비 한국의 핵융합 연구개발 경쟁력 ····· 85
<표 40> 핵융합 전력생산 실증 목표 대비 선도국과 한국의 기술수준 ····· 85
<표 41> 연도별 수주실적 ····· 86
<표 42> 국내 조달품목 ····· 87
<표 42> 국내 산업체 주요 역할 ····· 88
<표 43> 조달품목(현물조달) 상세내용 ····· 88
<표 45> ITER 한국사업 참여를 통한 타 분야 진출 사례/사업 다각화 ····· 92
<표 46> ITER 한국사업 참여 산업체 타 분야 수주내역 ····· 92
<표 47> 조달품목 국내 산업체 참여현황('19) ····· 94
<표 48> 핵융합 관련 수출사례(다원시스) ····· 95
<표 49> 연도별 매출 비중 ····· 95
<표 50> 핵융합 관련 수출사례(비츠로넥스텍) ····· 96
<표 51> 핵융합 관련 수출사례(케이.에이.티.) ····· 96
<표 52> 조사 내용 ····· 97
<표 53> 수출 세부활동별 핵심경쟁력 ····· 97
<표 54> 기업 의견 주요내용 ····· 98
<표 55> 핵융합의 장점 ····· 102
<표 56> SWOT 전략 도출 ····· 104

<표 57> 주요 이슈 발굴 ····· 106
<표 58> 수출활동별 주요 이슈 ····· 111
<표 59> 수출 활동별 핵심 경쟁력 ····· 111
<표 60> 수출활동별 주요 이슈 및 지원방안 ····· 112
<표 61> 유형별 주요 이슈와 지원방향 도출 ····· 115
<표 62> 전략별 추진전략 및 지원과제 도출 ····· 117
<표 63> 기술별 구분 ····· 118
<표 64> (가칭) 핵융합해외진출지원센터 설치 운영 ····· 121
<표 65> 조직별 주요 내용 ····· 122
<표 66> 해외 진출 지원 전문기업 역할 ····· 123
<표 67> 정부지원 활동 유형 구분 ····· 128
<표 68> 연구개발 프로세스별 주요활동 ····· 130
<표 69> 정부의 국제협력 지원내용 ····· 131
<표 70> 주요국의 핵융합 정책동향 ····· 137
<표 71> 주요국 핵융합 장치 구축계획 ····· 138
<표 72> 유형별 구분 ····· 141
<표 73> 정부의 국제협력 지원내용 ····· 142
<표 74> SWOT분석 도출 ····· 144
<표 75> 이슈 발굴 ····· 145
<표 76> 주요 이슈 및 지원방향 도출 ····· 145

<그림 차례>

[그림 1] 핵융합 상용로를 위한 주요 추진 단계 ····· 4
[그림 2] 국외 실증로 개발계획 ····· 5
[그림 3] NAS 보고서에 제시한 미국의 핵융합 상용화 로드맵 ····· 6
[그림 4] 핵융합 상용화 로드맵(NAS보고서) ····· 7
[그림 5] 기업투자 규모 ····· 9
[그림 6] 2억 달러 이상 투자기업 ····· 9
[그림 7] 공공-민간 협력 활동 ····· 10
[그림 8] EU 핵융합 상용화 R&D 로드맵 ····· 12
[그림 9] 핵융합 장치 주요 계획 ····· 18
[그림 10] 국가별 DEMO 로드맵 ····· 26
[그림 11] General Atomics의 핵융합 파일럿 플랜트 예상도 ····· 28
[그림 12] 스텔라레이터 방식 ····· 30
[그림 13] PPPT Teams(2018), EU DEMO Design and R&D Activities: Progress and Updates 31
[그림 14] STEP 단계별 목표 ····· 32
[그림 15] 일본 핵융합 DEMO 로드맵 ····· 33
[그림 16] 중국 핵융합 상용화 R&D 로드맵 ····· 36
[그림 17] (좌)EAST, (우)HL-2M ····· 36
[그림 18] 글로벌 핵융합 관련 스타트업 현황 ····· 37
[그림 19] 핵융합 스타트업 투자 동향 ····· 38
[그림 20] FIA 참여사 ····· 40
[그림 21] '유니티(UNITY)' 구상도 및 자이로트론 ····· 45
[그림 22] 우리나라 핵융합R&D 중간진입과정 및 발전방향 ····· 47
[그림 23] 주요 사업과 핵심기술 분야 연계 현황 ····· 49
[그림 24] 국내 핵융합 분야 기업 구성('18) ····· 51
[그림 25] 핵융합 분야 수출 현황 ····· 53

[그림 26] 핵융합 분야 국내 기업 기술력 수준 ····· 53
[그림 27] 핵융합 관련 기업 매출구조 ····· 57
[그림 28] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-I ····· 58
[그림 29] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-II ····· 59
[그림 30] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-III ····· 60
[그림 31] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-IV ····· 61
[그림 32] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-V ····· 62
[그림 33] ITER 및 주요국의 핵융합 추진 일정 요약 ····· 65
[그림 34] 핵융합 핵심기술 확보 장기 일정 ····· 66
[그림 35] 핵융합 전력생산 실증을 위한 8대 핵심기술 범위 ····· 67
[그림 36] 주요 수주실적 ····· 86
[그림 37] 조달품목(현물조달) ····· 87
[그림 38] 핵융합 산업 전반적 인식 수준 ····· 99
[그림 39] 해외진출 지원 센터 역할 도식화 ····· 121
[그림 40] 기술사업화 정도 ····· 129
[그림 41] 기술경쟁력(민간) ····· 130
[그림 42] 국제협력 및 수출 관련 정부지원활동 매칭 ····· 132
[그림 43] 국내 주요 산업 수출지원정책조사 ····· 132
[그림 44] 글로벌 핵융합 관련 스타트업 현황 ····· 136
[그림 45] 국내 핵융합 분야 기업 구성('18) ····· 140
[그림 46] 핵융합 관련 기업 매출구조 ····· 141
[그림 47] 국제협력 및 수출 관련 정부지원활동 매칭 ····· 143
[그림 48] 국내 주요 산업 수출지원정책조사 ····· 143

1. 글로벌 핵융합에너지 현황

: 주요국 핵융합 동향 분석

1.1. 주요국 정책 및 규제 동향
1.2. 주요국 핵융합 장치(인프라)구축 계획
1.3. 주요국 핵융합 산업 및 기업 동향

1.1. 주요국 정책동향

1.1.1. 주요국별 정책 동향

□ 전 세계적으로 에너지 수요는 지속적으로 증가할 전망이며, 세계 각국은 기존 화석연료 중심 에너지믹스를 지속 가능한 청정 에너지원 중심으로 전환하는 중

◆ COP28 개막('23)
- '국가온실가스감축목표(NDC)'의 확장에 대한 합의 마련하고자 함
- UAE는 2030년까지 재생에너지를 3배 확대하자는 의제를 제시
- 선진국들의 개발도상국 기후 행동지원을 위한 투자계획 이행 예정

* 2020년부터 매년 1,000억 달러(한화 약 134조원)

- 국제에너지기구(IEA) World Energy Outlook에 따르면, '17~'40 기간 동안 세계 에너지 수요는 25% 이상 증가할 것으로 전망됨

- 파리 기후협정('16년 발효), UN 기후 정상회의('19.9) 이후 각국의 탄소중립(carbon neutrality) 노력은 가속화되고 있으며 지속 가능한 에너지원의 비중이 급격히 높아질 전망

  * EU는 2050년 탄소 제로 목표로 European Green Deal을 추진

○ 현 청정 에너지믹스의 한계점으로 수급 안정성 위협 요인을 상쇄할 수 있는 안정적 대용량 발전원 개발이 시급

- 핵융합 발전은 低 탄소 발생, 높은 안전성(고준위 방폐물/폭발위험 없음)의 잠재력을 가진 미래 대용량 청정 에너지로서 자원 고갈 및 온실가스 배출 걱정이 없는 최적의 차세대 기저발전원이 될 것으로 기대

- EU, 영국, 일본 등은 기후변화 대응, 녹색 산업혁명, 탄소중립을 위한 정책적 노력의 일환으로 핵융합에너지 개발에 투자 및 지원을 확대하고 있음

□ 주요국 정책 동향

○ 탄소중립과 관련된 국가별 정책이 강화되고 있으며 미래의 저탄소 발전원 관련 관심도 증가에 따라 핵융합의 역할이 중요

– (미국) '35~'40년 파일럿 플랜트 건설 선언 등 저탄소 발전을 위한 주요 정책 도구로 핵융합을 인식하고 있음

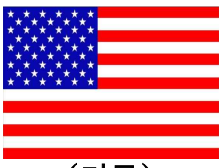
– (EU) 핵융합을 미래 주요 에너지기술로 인식하여, '50년대 상용화를 목표로 유럽원자력공동체 조약에 따른 공동연구, 핵융합에너지 전기생산 로드맵 수립 등 추진

– (영국) 녹색산업혁명 10대 계획 중 하나로 '40년 핵융합 상용화를 목표로 제시하고 입지선정 및 각종 연구시설 투자 등 선도적인 정책 추진

– (일본) ITER 초기 회원국으로 참여했을 만큼 한·중·일 3국 중 핵융합 연구가 가장 앞선 국가이며, '23년 4월 최초 국가 핵융합 전략 발표

– (중국) 핵융합로 설계를 위한 연구 및 인력양성을 위한 국가통합설계그룹을 보유하고 있으며 '50년대 핵융합 상용화를 목표로 핵융합 DEMO 로드맵 추진

<표 1> 주요국의 핵융합 정책동향

국가	정책
 (미국)	1) 재건법안(Build Back Better)에 따라 핵융합 분야에'22~'31년까지 885 MUSD(한화 1조원 이상) 투자 계획('21.11) – 민간 공공 파트너십 325MUSD(한화 약 4,500억 원 가량), 재료 200MUSD(한화 2천억 원 이상) 등 예산 투입 2) 미 에너지부(DOE) 민간 핵융합 기업에 5,000만 달러(약 716억원) 지원 공식 발표('22) – 상업적인 개발 및 도입프로그램으로 고가의 핵융합 발전소 건설 등 지원(단기간 중요한 핵융합 프로그램 구축) – 민관기금 프로그램은 2020년 에너지법에 의거 최초 승인 * 미국 정부는 1950년대부터 핵융합 연구에 연방자금을 투입해왔으며 '22년 기준 매년 약 7억 달러(약 1조원) 투자 실시(국립연구소, 대학, 국제 연구 프로젝트(ITER) 활용)
(EU)	핵융합을 미래 주요 에너지기술로 인식하여, '50년대 상용화를 목표로 유럽원자력공동체 조약*에 따른 공동연구, 핵융합에너지 전기생산 로드맵 수립 등을 추진 * EUROTOM : 독일, 프랑스 등 27개 주요국이 가입되어 있으며, 이를 통해 핵융합 및 원자력 R&D를 공동 수행 – ITER 사업 일정을 반영하여, EUROfusion *에서는 핵융합 상용화 R&D 로드맵 발표 및 이를 위한 8대 미션* 선정 * ① 플라즈마 운전 시나리오, ② 열배출시스템, ③ 핵융합 재료, ④ 삼중수소 자가증식, ⑤ 안전성,⑥ DEMO 통합설계 및 시스템 개발, ⑦ 전력 생산에서의 비용 경쟁력, ⑧ 스텔러레이터

국가	정책
(영국)	녹색 산업혁명 10대 계획을 수립하고 중요 정책 도구로 핵융합을 지정하면서'40년까지 핵융합 상용화 달성 선언 – 10대 계획의 후속 조치로 핵융합 상용화를 위한 국가전략*을 수립하고 전력 공급이 가능한 핵융합발전소 건설과 수출산업화 목표 설정 – 핵융합 기술 클러스터를 생성하고 핵융합 관련 공급망을 확장시켜 영국 기업의 미래 핵융합 시장 경쟁력 강화
(일본)	ITER 초기 회원국으로 참여했을 만큼 한중일 3국 중 핵융합 연구가 가장 앞선 국가이며,'23년 4월 최초 국가 핵융합 전략 발표 – ▲핵융합 산업 육성전략 ▲핵융합 기술 개발전략 ▲핵융합 에너지 혁신전략 추진체제를 수립하고 내각부, 외무성, 문부과학성, 경제산업성, 환경성등 관계부처 간 협력을 바탕으로 핵융합 에너지 혁신 및 산업화를 실행해 나갈 방침
(중국)	중국은 자국 내 에너지 해결을 목표로 CFETR 건설*을 포함하는 핵융합 R&D 로드맵 발표('11) * 중국 국가 중장기 기초과학연구시설 개발 프로그램(2012-2030) – 50년대 핵융합 상용화를 목표로 핵융합 DEMO 로드맵 추진

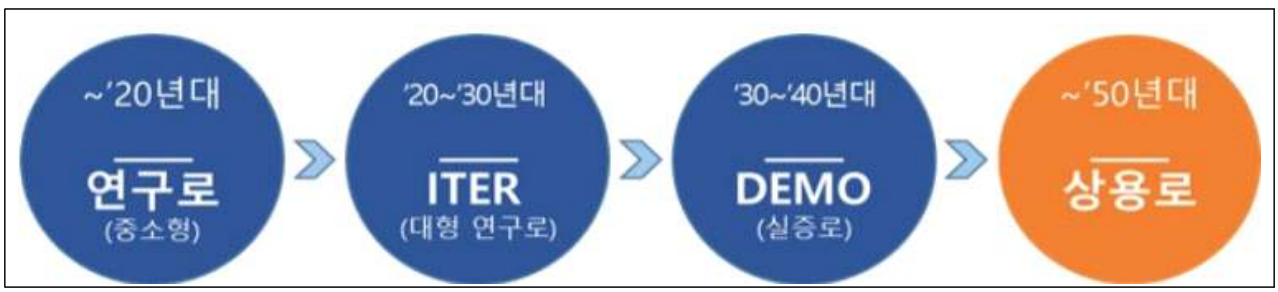
□ 주요국 연구개발 동향

○ ITER 프로젝트의 주요 일정 및 목표가 달성되면, 해당 연구 결과를 토대로 핵융합 상용화를 위한 국가별 R&D(DEMO* 및 상용로 등)는 가속화될 전망

* DEMOnstration Power Plant, 전기생산 실증 및 경제성 검증을 위한 실증로. 연구로인 ITER와 달리 전기 생산에 필요한 발전 장치까지 장착

– 주요국들은 '50년대 핵융합 상용화를 목표로 국가별 자체 연구장치(연구로), ITER, DEMO단계로 구성된 장기 계획에 따라 R&D를 추진

[그림 1] 핵융합 상용로를 위한 주요 추진 단계



* 출처: 핵융합에너지. KISTEP. 2020

– ITER 주요 회원국을 중심으로 ITER 방식 기반의 실증을 준비 중이며, ITER 핵융합반응(D-T) 실험 시기('35~)를 고려하여 실증로 로드맵 수립(미국, 영국은 구형토카막, 고온초전도체 등 비ITER 방식의 실증을 고려)

[그림 2] 국외 실증로 개발계획

* 출처: 한국핵융합에너지연구원 미래비전 2050. 2023

○ 영국과 미국의 경우 정책 방향성도 있지만 영·미 중심 핵융합 스타트업의 성장에 따라 투자 확대가 이루어져 연구개발 투자 증가

* 과기정통부, 2022. 5. '과학기술&ICT 정책·기술 동향 214호'

– 다만, 세계경제의 불확실성과 인플레이션 영향 등으로 핵융합 기술 개발에 대한 투자가 감소('23년 기준)

* FIA(핵융합산업협회)에 따르면 올해('23) 전 세계 핵융합 기업에 투자된 돈은 14억 달러로 지난 해의 절반 수준에 불과

** 출처 : '미국, COP28T서 핵융합 발전 상용화 협력 제안한다.', 2023.11. ESG경제 (https://www.esgeconomy.com)

<표 2> 주요국 핵융합 R&D 예산 추이

(단위: million USD)

구분	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
미국	481.6	622	568.1	–	–	–	–	–	–
영국	38.5	38	36.2	26.3	64.6	84.3	95.2	137	269.2
일본	98.6	322.1	234.5	229.9	224.6	218.4	215.9	210.1	215.3
EU	–	105.5	104	103	101.8	100.2	122.6	122.5	116.3

* 출처: IEA/(미국은 '15년 데이터까지만 확인 가능)

❶ 미국

□ 정책 방향

○ '35~'40년 전력생산을 위한 파일럿 플랜트 건설에 대한 세부 일정 제시

– 로드맵에서 제시한 미국 상용화 전략의 가장 큰 특징은 민간과 공공의 파트너십에 의한 추진으로 ARPA-E* 프로그램 등이 주요사업

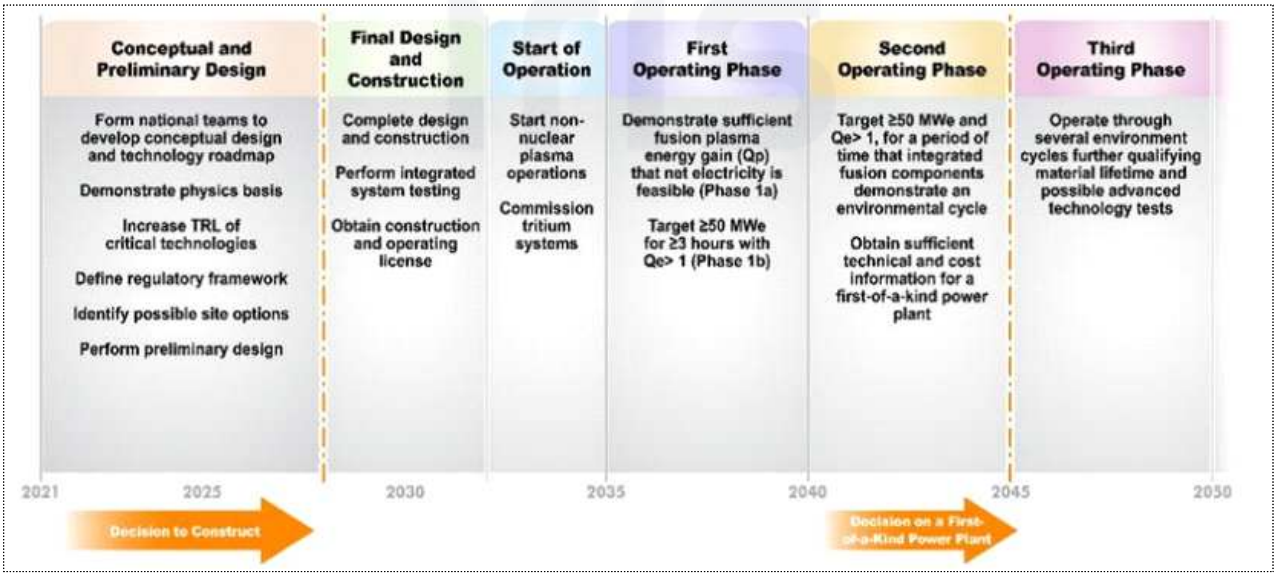
* ARPA-E(Advanced Research Projects Agency-Energy) 잠재력과 영향이 큰 에너지 기술에 대한 시장실패를 보완하기 위한 R&D 사업

– 핵융합로 건설일정이 구체화됨에 따라 NRC*에서 핵융합에 대한 안전규제 방안에 대해서 산업계 관계자와 논의**진행

* NRC(Nuclear Regulatory Commission) 미국 원자력규제위원회

** NRC 주최로 '22년 3월 "Developing Options for a Regulatory Framework for Commercial Fusion Energy Systems"을 개최하고 NRC, 핵융합 스타트업 엔지니어, 산업계 대표가 각각 발제를 하고 규제 관련 의견을 교환

[그림 3] NAS 보고서에 제시한 미국의 핵융합 상용화 로드맵



* 출처: NAS(2021), Bringing Fusion to the U.S. Grid

○ '50년까지 저탄소 전력 시스템 전환에 있어 미국의 핵융합 분야 주도권 확보를 위해 '35~'40년 파일롯 플랜트 건설 목표를 설정

– 로드맵에서 제시한 미국 상용화 전략의 가장 큰 특징은 민간과 공공의 파트너십에 의한 추진으로 ARPA-E 프로그램 등이 주요 사업

○ 신규 장치 개발보다 플라즈마 이용 연구 및 이론 물리 기반으로 국제 협력 R&D에 집중*

* KISTEP, 2020, '기술동향브리프-핵융합 에너지'

□ 투자(구축) 계획

○ (예산) '22년 3월 의회에서 통과된 핵융합 예산은 총 7억 1,300만 달러이며, ITER 건설 및 재정지원에 2억 4,200만 달러, 핵융합 연구에 4억 6천만 달러

- 하원에서 통과된 재건법안(Build Back Better)에 따르면 핵융합 분야에 '22~'31년까지 885 MUSD(한화 1조원 이상)를 투자할 계획('21. 11.)

- '35~'40년 파일럿 플랜트 건설 목표 설정하여 2050년까지 저탄소 전력 시스템 전환에서 핵융합 분야 주도권 확보하고자 함

- 이에 신규 장치 개발보다 플라즈마 이용 연구 및 이론 물리 기반으로 국제협력 R&D에 집중

* KISTEP, 2020, '기술동향브리프-핵융합 에너지'

[그림 4] 핵융합 상용화 로드맵(NAS보고서)

<표 3> 세부 예산 배정

세부 항목	예산
신규 마일스톤 기반 민관 파트너십 프로그램 (new milestone-based public private partnership program)	3억 2,500만 달러 (한화 약 4,400억원)
융합 재료 연구 및 개발 (Fusion Materials Research and Development)	2억 달러 (한화 약2,700억원)
신규 관성 핵융합 연구 및 개발 프로그램 (new Inertial Fusion Research and Development)	1억 4천만 달러 (한화 약1,900억원)
새로운 대체 및 활성화 핵융합 에너지 개념 프로그램 (new Alternative and Enabling Fusion Energy Cencepts program)	2억 달러 (한화 약2,700억원)
프로그램과 핵융합로 시스템 설계 착수 (initiate Fusion Reactor System Design)	2천만 달러 (한화 약270억원)

* FIA, https://www.fusionindustryassociation.org/support-for-fusion-energy-in-the-house-passed-build-back-better-legislation/

– 민관 파트너십에 의한 상용화 달성을 위해 R&D 투자를 대폭 증가시키고 있으며, 이를 강조하는 이유는 NASA와 Space X의 협업으로 우주왕복선 등의 성공이 새로운 투자 기회로 인식됨

※ 기존 기후변화 대응 R&D 프로그램 예산 요구안 분석

- **(에너지부(Department of Energy; DOE))** 과학국 소관 대부분의 주요 프로그램이 0.4%~2.5% 수준 증액된 바와 달리, '생명환경연구(BER)'은 전년(753백만 달러) 대비 10.0% 증액된 828백만 달러의 예산을 요구

<에너지부 과학국(SC)의 최근 3년간 예산 배분·요구 규모>

(단위 : 천 USD, %)

FY2020 제정예산	FY2021 제정예산(A)	FY2022 예산요구안(B)	전년대비 증감액(B-A)	전년대비 증감 비율((B-A)/A)
7,000,000	7,026,000	7,440,000	+414,000	+5.89%

* 출처: DOE(2021a)

- **(원자력에너지국(Office of Nuclear Energy))** 원자로 컨셉 R&D 및 첨단 원자로 실증에 각각 전년대비 15.4%, 19.1% 증액

<에너지부 응용과학국의 최근 3년간 예산 배분·요구 규모>

(단위 : 천 USD, %)

구분	FY2020 제정예산	FY2021 제정예산(A)	FY2022 예산요구안(B)	전년대비 증감액(B-A)	전년대비 증감 비율((B-A)/A)
에너지첨단연구 프로젝트사무국	425,000	427,000	500,000	+73,000	+17.10%
에너지효율 및 재생에너지국	2,777,277	7 2,861,760	4,732,000	+1,870,240	+65.35%
화석에너지 및 탄소관리국	750,000	750,000	890,000	+140,000	+18.67%
원자력에너지국	1,493,408	1,507,600	1,850,500	+342,900	+22.74%
전력국	190,000	211,720	+115,280	+115,280	+54.45%

* 출처: 녹색기술센터(GTC) 브리프, 2021

* S&T GPS, 2022. 5. '주요국의 핵융합 R&D 정책 및 시사점'

○ (기업투자) 핵융합 기업에 대한 투자는 정부 차원의 지원보다 private funding으로 진행되고 있으며 현재까지 핵융합 기업에 대한 투자는 약 60억 달러에 달함

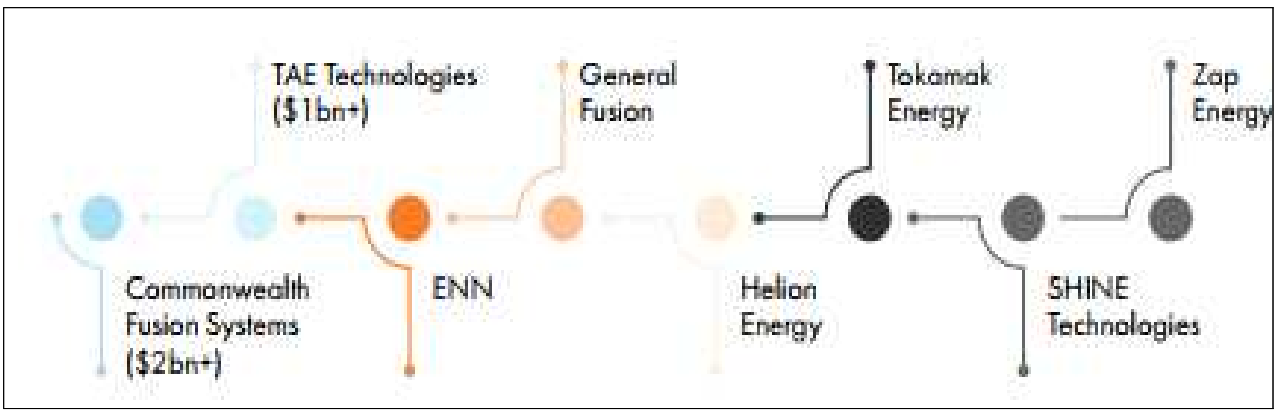
– 전 세계적으로 40개 이상의 민간 핵융합 기업이 활동 중이며 핵융합 관련 기업의 수는 점차 증가하고 있으며 관련 기업은 다양한 기술 분야 보유하고 있음

– 민간 핵융합 기업은 미국이 25개 기업을 보유하여 대규모 투자로 여전히 지배적이지만 일본, 중국, 호주, 뉴질랜드, 독일, 이스라엘 등 국가들도 빠른 성장세를 보이고 있음

[그림 5] 기업투자 규모

* 출처: FIA, The global fusion industry in 2023 'Funding for fusion companies'

[그림 6] 2억 달러 이상 투자기업



* 출처: FIA, The global fusion industry in 2023 'Funding for fusion companies'

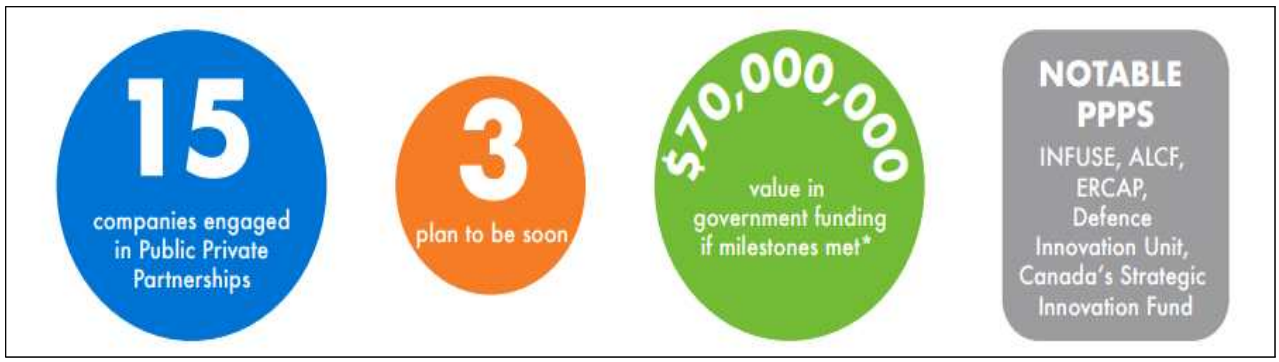
– 미국은 핵융합 산업협회(FIA: Fusion Industry Association)*를 구성하여 민간기업의 연구 활성화하고자 함

* 워싱턴 DC에 본부를 두고 핵융합 에너지 상용화를 위해 노력하는 민간 기업들로 구성된 등록된 비영리 조직

○ (공공-민간 파트너십) 현재 전 세계적으로 15개 기업으로 공공-민간 파트너십이 구성되었으며 약 90억 달러 가량의 투자 효과 기대

* DOE 과학국(Office of Science) 핵융합 에너지 혁신 네트워크(INFUSE) 프로그램, 캐나다 전략 혁신 펀드 등

[그림 7] 공공-민간 협력 활동



* 출처: FIA, The global fusion industry in 2023 'Funding for fusion companies'

○ (정부투자) 최근 핵융합 연구개발에서 혁신적인 성과들이 계속해서 나오고 있음에 따라 정부는 핵융합 상용화에 대한 정책적 지원을 확대하고자 함

– (미국) 바이든 정부는 2022년 핵융합 상용화 10년 계획을 수립하여 2030년경 핵융합 에너지를 상용화하겠다는 목표 내세움

– 민간 핵융합 스타트업 증가 및 민간 투자금 급증하고 있으며 미국 기업들은 ITER 프로젝트에 참여하여 높은 기술력을 보유하고 있음

* (MIT와 및 CFS) 고온초전도(HTS) 기술(20테슬라)개발 성공

– 미국 에너지부(DOE) 또한 민관 협동 기금으로 5,000만 달러 조성 계획을 밝혀 민간의 에너지 기업과 협력을 강화

– 연간 7억 달러(한화 약 9,543억원)를 핵융합 연구에 투자하고 있으나('22 기준) 대부분 국립 연구소, 대학, ITER 프로젝트에 투입되었던 반면 5,000만 달러(한화 약 682억원) 연구 기금은 민간 핵융합 기술 회사를 위한 기금

<표 4> ’23년 5월 발표한 공공-민간 파트너십 수혜기업

구분	기업	비고
1	CFS(Commonwealth Fusion System	(매사추세츠주 케임브리지)
2	Tokamak energy	(워싱턴주 브루스턴밀스)
3	Focused Energy Inc.	(오스틴, 텍사스)
4	Type One Energy Group	(위스콘신주 매디슨)
5	Princeton StellaratorsInc.	(뉴저지 브랜치버그)
6	XcimerEnergy Inc	(캘리포니아주 레드우드시티)
7	RealtaFusion Inc.	(위스콘신주 매디슨)
8	Zap Energy Inc.	(워싱턴주 에버렛)

※ (미국) 마일스톤 기반 핵융합 개발 프로그램

- **미국 에너지부(DOE)는 핵융합 파일럿 발전소(FPP) 설계를 위한 마일스톤 기반 핵융합 개발 프로그램 착수에 5천만 달러(약 716억원)를 배정**

* 연방 핵융합 시스템, 포커스 에너지, 프린스턴 스텔라레이터, 레타 퓨전, 도카막 에너지, 타입원 에너지 그룹, 엑스시머 에너지, 재프 에너지 등

- 이 프로그램을 통해 미국 정부는 국가 연구소와 대학 등이 협력하여 FPP 설계를 위한 주요 기술 및 상용화 마일스톤을 달성할 수 있는 기업을 지원하고자 함

- 새로운 공공-민간 파트너십 프로그램은 바이든 행정부의 상용 핵융합 에너지를 위한 대담한 10개년 비전 실현을 위한 첫걸음

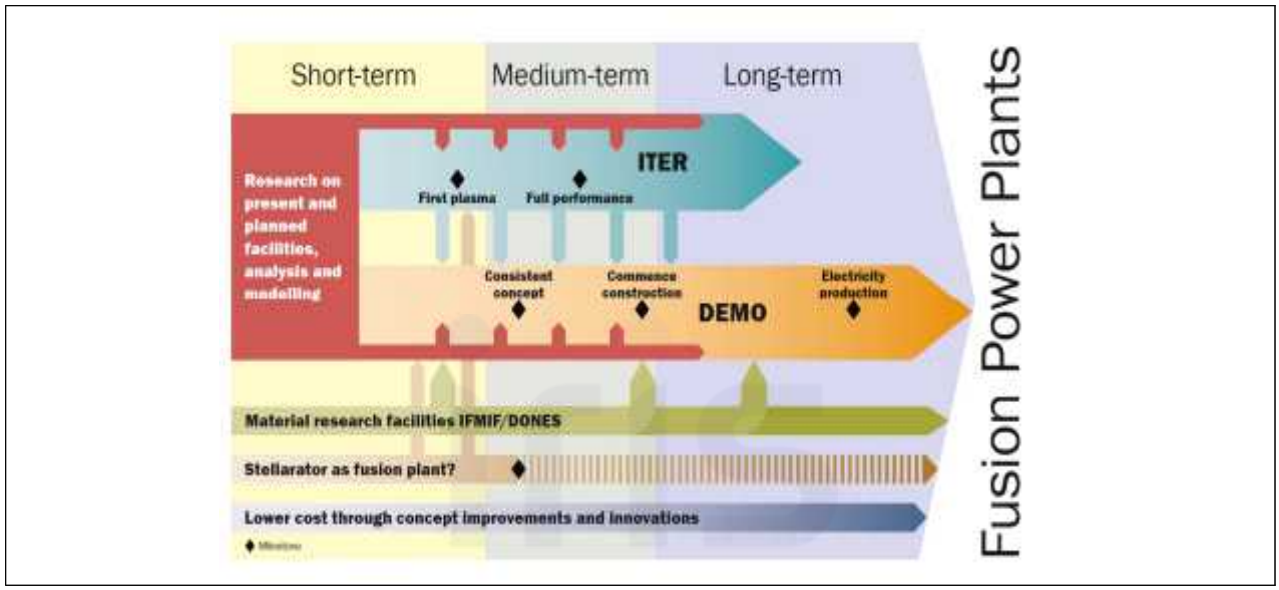
❷ EU

□ 정책 방향

○ 핵융합을 미래 주요 에너지기술로 인식하여 '50년대 상용화를 목표로 유럽 원자력 공동체 조약*에 따른 공동연구 및 핵융합에너지 전기생산 로드맵 수립 등을 추진

* EUROTOM : 독일, 프랑스 등 27개 주요국이 가입되어 있으며, 이를 통해 핵융합 및 원자력 R&D를 공동수행

[그림 8] EU 핵융합 상용화 R&D 로드맵



* 출처:핵융합에너지. KISTEP. 2020

– ITER 사업 일정을 반영하여, EUROfusion*에서는 핵융합 상용화 R&D 로드맵 발표 및 이를 위한 8대 미션** 선정

* European Consortium for the Development of Fusion Energy : EUROTOM 프로그램의 일부

** ① 플라즈마 운전 시나리오, ② 열배출시스템, ③ 핵융합 재료, ④ 삼중수소 자가증식, ⑤ 안전성, ⑥ DEMO 통합설계 및 시스템 개발, ⑦ 전력생산에서의 비용 경쟁력, ⑧ 스텔러레이터

❸ 영국

□ 정책 방향

○ 녹색산업혁명 10대 계획을 수립하고 중요 정책 도구로 핵융합을 지정하면서 '40년까지 핵융합 상용화 달성 선언

– '40년까지 세계 최초의 상용 핵융합 발전 R&D 사업에 £2억 2,200만(한화 약 3,600억 원) 투자하였으며 £1억 8,400만(한화 약 3,000억 원) 추가 투입하여 핵융합 분야 혁신의 글로벌 허브를 위한 설비와 인프라 구축 목표

– 10대 계획의 후속조치로 핵융합 상용화를 위한 국가전략*을 수립하고 전력 공급이 가능한 핵융합발전소 건설과 수출산업화 목표 설정

* UK Department of BEIS(2021), Towards Fusion Energy – The UK Government's Fusion Strategy

<표 5> 녹색산업혁명을 위한 10대 계획과 주요내용

구분	10대 개획	주요 내용
보급확산 주력	해상풍력고도화	30년 40GW까지 해상풍력 설비 확충
	무탄소 이동수단	내연기관 자동차 30년부터 판매금지
	대중교통 친환경화	전기버스.,자동차도로, 철도 노선 등 확대
	건물에너지 효율향상	28년까지 매년 60만대 히트펌프 설치
	자연보호	기후변화 적응을 위한 홍수 등 위험 대비
연구개발 투자	저탄소 수소개발	30년까지 저탄소 수소 생산능력 5GW까지 확대
	원자력연구개발	SMR과 차세대 원자로를 2030년 최초 실증
	항공/선박저탄소화	수소등 저탄소 연료 활용 해양, 항공 운송 도입
	CCUS	30년까지 온실가스 천만톤 포집역량 보유
	혁신기술투자	넷제로 혁신 포트폴리오 펀드로 R&D투자

□ 투자(구축) 계획

○ (예산) 영국 원자력청(UKAEA)의 최첨단 연구 프로그램 및 시설 등 지원으로 2021~2025년까지 7억 파운드 이상 투자

* '22년 핵융합 프로그램 강화를 위해 약 1억 2천 6백만 파운드 투자

○ 또한 새로운 Fusion Futures Programme진행 예정 발표 ('23.9.)하여 '27년까지 최대 6억 5천만 파운드 투자 계획을 밝혔으며, EU 또는 타 국가들과 협력에 대해 개방적 입장을 나타냄

<표 6> 세부 항목별 예산 내역

세부 항목	예산
연료 주기 시험 시설 (Fuel Cycle Testing Facility)	2억 파운드 (한화 약 3,476억원)
부품개발 및 설계를 위한 R&D (vital R&D ensuring industry)	2억 파운드 (한화 약 3,476억원)
Oxfordshire에 있는 Culham캠퍼스의 성장과 개선, 신규 핵융합 기업을 위한 부지 건설 (growing and improving the Culhamcampus in Oxfordshire)	5천만 파운드 (한화 약 869억원)
핵융합 스킬 프로그램 (Fusion skills programme)	5,500만 파운드 (한화 약 956억원)
FIP에 대한 추가 펀딩 (additional funding for the Fusion Industry Programme(FIP))	3,500만 파운드 (한화 약 608억원)
핵융합 R&D 국제협력 강화 (enhance international collaborations on fusion R&D)	2,500만 파운드 (한화 약 434억원)
기술이전 허브 (Technology Transfer Hub)	1,800만 파운드 (한화 약 313억원)
STEP 프로그램 지원 등 (further support the STEP programmeand upskill UK industry)	1,100만 파운드 (한화 약 191억원)

○ (기업투자) 핵융합 기술 클러스터를 생성하고* 핵융합 관련 공급망을 확장시켜 영국 기업의 미래 핵융합 시장 경쟁력 강화

* 캐나다 핵융합 스타트업 General Fusion이 영국 Culham 지역에 연구로 건설을 확정하는 등 실적 창출

** 출처: KISTEP, 2021. 6. '영국의 탄소중립 정책과 한국의 시사점'

※ [참고] 원자력 관련 정책동향

- **(현황)**원자력에 대한 투자는 대규모 원전 건설에 대한 투자와 소형원자로를 비롯한 차세대 원자로 개발로 나누어져 발표
  - 대규모 원전 건설의 경우 기존 원자력 발전소들이 향후 10년 내로 수명을 다할 것으로 예상되는 점에서 필요성이 제시되었으며, 우선'20년 중반까지 Hinkley Point C의 상업가동을 시작하여 영국 전력수요의 7% 가량을 공급
  - 원자력 발전은 건설 기간 중 1만여 개의 일자리를 제공하므로 건설비용 절감*과 함께 건설공기 및 예산을 준수한다면 향후 추가 건설에 개방적 입장 유지

*'30년까지 신규 원전 건설 사업의 비용 30% 절감

- **(진행사항)** 소형 원자로(SMR)을 비롯한 차세대 원자로 개발 투자에 2030년대 초반까지 차세대 원자력 기금을 통해 최대 £3억 8,500만 투자 추진
  - 차세대 원전 기술의 시장 진입을 용이하게 하기 위해 £4천만 투자해 영국 공급망에 대한 규제 체계를 개발하고'21년 SMR에 설계 평가 공개
- **(핵융합 관련)** 장기적으로 에너지 생산의 탈탄소화에 기여 할 것으로 전망되는 핵융합에 대해서는'40년까지 세계 최초의 핵융합 발전소 건설을 위해 £4억 투자하였으며'20년 12월 발전소 부지 선정을 위한 지역 공모 시작

❹ 일본

□ 정책 방향

○ ITER 초기 회원국으로 참여했을 만큼 한·중·일 3국 중 핵융합 연구가 가장 앞선 국가이며, '23년 4월 최초 국가 핵융합 전략 발표

※ 23. 4.14 개최된 15회 통합혁신 전략추진회의에서 퓨전에너지혁신전략(핵융합전략) 공표

- **(추진배경)** 일본의 에너지 및 환경문제, 해결방안으로서의 퓨전에너지, 새로운 산업으로서의 퓨전에너지
- **(국가전략비전)** 향후 10년을 내다본 전략으로서 「세계의 차세대 에너지인 퓨전에너지의 실용화를 목표로 기술적 우위성을 활용하여 시장에서 승리하는 "퓨전에너지의 산업화"를 비전으로 제시

<국가전략의 추진력 향상을 위한 지원체계 구축>

주요 전략	주요 내용
내각부 (관계부처)	내각부(과학기술혁신추진사무국)가 정부의 사령탑이 되어 관계부처와 협력추진
문무과학성	- 원형로 개발을 위해 QST중심으로 아카데이아나 민간기업을 결집하여 기술개발을 실시하는 체제, 민간기업을 육성하는 체계 구축 - QST가 ITER계획/BA활동등으로 획득한 기술이전, 개발이나 산업화, 인재육성을 대비하기 위한 퓨전 테크놀로지 이노베이션 거점 설립 - 미래의 커리어 패스를 명확히 하고 퓨전 에너지에 종사하는 인재를 산학관에서 계획적으로 육성 - 국내 대학등에서 인재육성을 강화하는 동시에 다른 분야나 타국으로부터 우수한 인재 유입 지원 - 국민의 이해를 제고시키기 위한 활동 추진

- ▲핵융합 산업 육성전략 ▲핵융합 기술 개발전략 ▲핵융합 에너지 혁신전략 추진체제를 수립하고 내각부, 외무성, 문부과학성, 경제산업성, 환경성 등 관계부처 간 협력을 바탕으로 핵융합 에너지 혁신 및 산업화를 실행해 나갈 방침

<구체적 방안>

주요 전략	주요 내용
산업 육성 전략(D)	●(가시화) 연구개발을 가속화하여 원형로를 조기 개발하고, 기술·산업지도 작성으로 필요 기술과 산업을 명확히 설정 ●(연결) '23년도'핵융합산업협의회'를 설립하여 타 분야 기술과의 연결을 모색 ●(육성)'23년도부터 ▲민간이 보유한 기술에 대하여 산업 수요 간의 격차 해소를 위한 연구개발 지원 증대 ▲안전규제·표준화 등의 국제 논의 참여 ▲안전 확보 개념 정립 등을 진행
기술개발전략 (T)	●소형화, 고도화 등 '게임 체인저'로 작용할 수 있는 독창적 신기술 지원책 강화 ●국제핵융합실험로(ITER) 계획과 원형로 개발 연구활동을 통해 핵심 기술 획득

주요 전략	주요 내용
	● 민간 기업 참여 촉진 시스템 등을 통해 미래 원형로 개발을 목표로 한 연구개발 가속 및 핵융합 에너지 관련 학술연구 추진 ● 신기술 활용을 염두에 둔 원형로 개발 실행계획 시행
추진체제(P)	● 내각부가 정부의 사령탑으로서 관계부터와 일체화된 전략 시행을 추진 ● 원형로 개발을 위해 양자과학기술연구개발기구(QST)를 중심으로 산업계·학계가 '핵융합 기술 혁신 거점'을 설립해 기술 개발 도모 ● 국내 대학을 통한 인재육성, 핵융합 에너지 교육 프로그램 제공, 사회 수용성을 높이기 위한 홍보활동 등 실시

* 출처: KIAT, 2023. 4. '산업기술 동향 워치'

※ 핵융합 기술의 비즈니스 창출을 위해 퓨전 에너지 포럼 설립(2023)

● **(목표)** 핵융합 산업의 기술적 요구에 대응하고 참가자들의 노하우 공유를 통해 개발을 가속화

– 핵융합 발전 실용화를 위해 핵융합로 건설 기업, 소재 기업, 상사, 스타트업 등 기업과 단체 약 50곳이 참여할 예정이며 구체적인 참가 기업은 IHI, JGC 홀딩스, 오바야시구미, INPEX 등임

– 자원이 부족한 일본은 핵융합을 에너지와 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 에너지로 인식하고 관련 연구에 적극적으로 참여하고 있으며, 1950년대 말부터 핵융합 연구 시작

– 기존 제조역량을 활용하여 글로벌 핵융합 공급망 개발 구상

* 한국경제, 2023. 9. '美·日·英 "핵융합, 이제 정부가 민·관 이니셔티브 이끈다"'

○ 1970년대 초 JT-60 건설에 착수하면서 본격화되었으며, 1990년부터 대규모의 투자가 이루어져, 자기 가둠 핵융합과 관성 가둠 핵융합을 동시에 연구개발

– EU와 공동협력 협정(Broader Appoch, BA)을 체결하여 ITER 운영 및 실증로 실험연구를 위한 선행 연구장치로 JT-60SA를 조립

○ 유럽연합과 BA의 일환으로 핵융합 재료 연구를 위한 IFMIF/ EVEDA 프로젝트를 진행 중이고, 중성자조사시설인 A-FNS 건설 추진을 위한 설계 작업 또한 진행 중, 상용화를 위한 기반 연구에도 노력 중

* 한 일본 민관 연합(미츠비시상사와 간사이전력, 국부펀드 등 16개사가 참여)은 교토대학 핵융합 기술 스타트업에 100억엔(약 979억원)을 출자 하기로함 (니혼게이자이(닛케이)신문보도(2023. 5.))

** 투자를 받은 스타트업은 2019년에 교토대 연구진이 설립한 곳으로, 핵융합 관련 기술에서 일본 내 가장 실적이 높다는 평가를 받고 있다. 신규 출자 분은 이 스타트업 지분의 20%에 해당

❺ 중국

□ 정책 방향

○ 국가 과학기술개발 5개년 계획(1995~)에 핵융합 R&D 반영 등 정책적 기반 마련과 함께, '40년대 전기생산 실증을 목표로 DEMO 로드맵 수립 및 추진

– '30년대에 CFETR 개발 및 운영하고, '40년대 전기생산 실증 및 '50년대 핵융합발전소 건설을 목표로 함

– 과학기술부(MOST)를 비롯해 국가발전개혁위원회(NDRC), 교육부(MOE), 국가자연과학기금위원회(NSFC) 등 다양한 정부기관에서 핵융합 R&D 지원사업을 추진

○ 과학기술부가 ITER 사업을 직접 관할하며, 최근 5개년 계획을 통해 중국 핵융합 에너지 개발 가속화 내용 발표

* PF 컨버터와 로컬제어기 주로 담당

○ 중국은 자국 내 에너지 해결을 목표로 CFETR 건설*을 포함하는 핵융합 R&D 로드맵 발표('11)

* 중국 국가 중장기 기초과학연구시설 개발 프로그램(2012-2030)

– 통합설계그룹은 '13년도 중장기 계획('12-'30)을 통해 CFETR 관련 2개의 큰 마일스톤을 발표하고 2030년 전후로 건설을 완료할 계획*

* 두 가지의 CFETR 설계사양 제공 : ASIPP(Institute of Plasma Physics Chinese Academy of Science)가 주축이 되어 제공하는 초전도 사양 실험로와 SWIP(Southwestern Institute of Physics) 중심으로 제공하는 구리(Cu) 자석 사양의 실험로

○ CICS*에서는 선행적 핵융합에너지 및 플라즈마 과학 진흥을 목적으로 전문성 및 협력 체계를 강화하고 있음

* Collaborative Innovation Center for Advanced Fusion Energy and Plasma Science
** 별도 위원회 설립

○ 「China Fusion Engineering Test Reactor」로 알려진 토카막 융합발전소 연구계획을 승인함

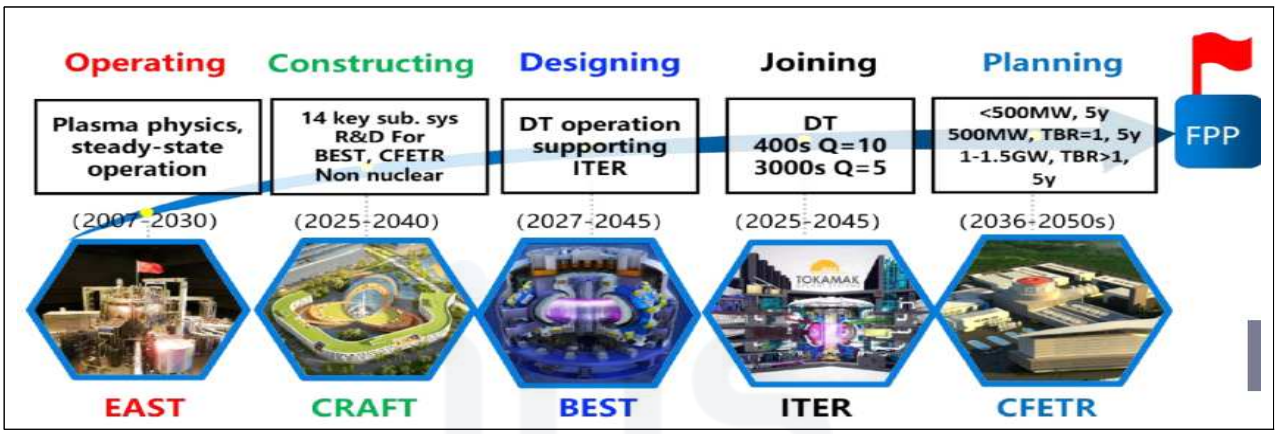
□ 투자(구축) 계획

○ ’50년대 상용화 의지와 그에 따른 연구개발 투자가 명확하며 상용화 연구시설 단지를 완공하고 추가적 핵융합연구장치 건설을 선언하면서 실제적인 투자를 진행하고 있어 적극적 정책 의지 명확

– ’21년 이전까지 로드맵에 없었던 BEST 장치를 추가하여 CFETR 건설 이전에 중수소-삼중수소 연소에 대한 리스크와 비용 절감을 시도

* BEST(Burning plasma Experimental Superconducting Tokamak)
* CFETR(Chinese Fusion Engineering Test Reactor) 상용로 이전의 실증로

[그림 9] 핵융합 장치 주요 계획



* 출처:핵융합에너지. KISTEP. 2020

○ (투자) ‘22년 기준 R&D 투자액은 3조 782억 9,000만 위안(약 560조 원)에 달했으며, 미국에 이어 세계 2위를 차지

* △ 연구·개발(R&D) 투자액 3조 위안(약 546조 원) △ 기초연구 투자액 2,000억 위안(약 36조 원)

– ’21년 기준 기초연구 투자액은 11.4% 급증하며 전체 R&D에서 차지하는 비중은 약 6.6%까지 상승

○ (계획)핵융합 기술 고도화를 위하여 중국 국가원자력공사(CNNC*) 및 25개 기관 기업이 모인 중국 핵융합에너지 컨소시엄과 내셔널챔피언(국가대표기업) 중국 핵융합을 만들어 민관 역량을 결집할 방침

* China National Nuclear Corporation

– 정확한 정부 예산 규모는 알려지지 않았지만 장시성에 들어설 여섯 번째 핵융합 실험 장치 구축에만 200억 위안(3조 7,000억원) 을 투입 예정(’24.04)

* 2022년까지 10년간 세계에서 가장 많은 핵융합 특허를 출원함

1.1.2. 주요국 핵융합 기술 규제 동향

❶ 미국

□ 미국 핵 관련 통제 개관

○ 미국 핵 관련 제품 및 기술에 대한 통제는 수출통제개혁법(ECRA*), 무기수출통제법(AECA**), 원자력 에너지법(Atomic Energy Act) 등에 의해서 규제됨[1)]

* Export Controls Reform Act

** Arms Export Control Act

○ 핵 관련 시설 및 물질의 수출은 미국 원자력규제위원회(NRC: Nuclear Regulatory Commission)와 에너지부에서, 핵 관련 이중용도 물품 및 기술 수출은 상무부(Department of Commerce)에서 규제[2)]

□ 수출통제개혁법(Export Control Reform Act)[3)]

○ 배경 및 의의

– 미중 무역 및 기술 경쟁 심화에 따른 수출통제제도 개혁의 필요성을 바탕으로 2018년 제정되었으며 경제안보를 국가안보의 범위 내에 명시적으로 포함시킴

○ 주요 내용

– 대통령에게 이중용도 품목의 수출통제에 관한 영구적인 입법 권한 부여

* 기존법과 달리, 동 법은 만료기한이 없음[4)]

---

1) Paul K. Kerr, Christopher A. Casey, The U.S. Export Control System and the Export Control Reform Act of 2018, Updated June 7, 2021 (Congressional Research Service), p.14.

2) DEPARTMENT OF COMMERCE (Bureau of Industry and Security), "Expansion of Nuclear Nonproliferation Controls on the People's Republic of China and Macau", Federal Register/Vol. 88, No. 155/Monday, August 14, 2023/Rules and Regulations, p. 54875 참조.

3) Paul K. Kerr, Christopher A. Casey, The U.S. Export Control System and the Export Control Reform Act of 2018, Updated June 7, 2021 (Congressional Research Service)를 번역, 정리; 이정민, 미국 수출통제 제도 심층 분석 및 시사점, Global Market Report 22-008 2022년 5월 (Kotra); 박언경, 왕상한, "미국 수출통제개혁법 제정의 함의", 법제연구 제61호 (2021)도 참고.

4) 기존 1979년 수출관리법은 한시법으로 제정되었으며, 2001년 최종 만료된 후, 관련 수출통제는 국제비상경제권법'(International Emergency Economic Powers Act, IEEP)과 대통령의 국

– 미국인, 외국인 상관없이, 미국 관할권에 속하는 품목의 수출, 재수출 및 국내 이전을 통제할 권한을 대통령에게 부여

– 또한 소재지에 관계없이, 특정 (a) 핵폭발장치, (b) 미사일, (c) 생화학 무기, (d) 화학무기 제조 시설, (e) 해외 해양 핵 프로젝트, (f) 해외 군사 정보 서비스와 관련된 미국인의 행위를 포함

– 상무부 장관이 국가 안보와 외교에 위협이 되는 최종 용도(end uses), 외국인, 통제 품목의 리스트를 작성, 관리하도록 하고 있음

* 또한 상무부 장관은 통제 품목의 수출 허가, 통제 품목의 무단 수출, 재수출, 국내 이전을 금지, 선적 및 기타 운송 수단을 감시할 수 있음

– 기존의 이중용도 품목 수출통제체제 이외에도 특정 신기술과 기반 기술(emerging and foundational technologies) 및 수출 허가 관련 규제 강화

□ 핵융합 에너지 체제 관련 법제 개발 동향[5)]

○ 원자력 에너지 혁신 및 현대화 법(NEIMA: Nuclear Energy Innovation and Modernization Act)은 NRC가 2027년 12월 31일까지 핵융합 에너지 시스템에 대한 규제 프레임워크를 구축하도록 하고 있음

– 동 법은 최신 원자로(advanced reactor)의 범주에 융합로(fusion reactor)가 포함되도록 규정

○ NRC는 규제 프레임워크 구축 방안으로, 부산물의 국내 라이센스에 대한 일반 적용 규정(Rules of General Applicability to Domestic Licensing of Byproduct Material, 10 CFR Part 30)'내 NRC의 부산물 관련 규정을 확대하는 방안을 채택('23. 4. 13.)

– 이는 동 기관 담당자들이 제출(2023.1.3.)한 보고서(Options for Licensing and Regulating Fusion Energy Systems)의 제2안에 해당

* 동 보고서에서 담당자들은 1) 새로운 프레임워크 개발을 위해 핵융합 시스템을 활용시설로 분류하는 방안, 2) 부산물 규정을 확대하는 접근 방식, 3) 1안과 2안을 결합한 하이브리드 방식(hybrid framework)을 제안하였음

가비상사태 선포에 의지하여야 하는 상황이었음

5)주로, U.S.NRC, Fusion Systems, https://www.nrc.gov/materials/fusion-energy-systems.html 요약, 정리함; U.S.NRC, Rulemaking: Regulatory Framework for Fusion Energy Systems, NRC Public Meeting, (July 12, 2023) 등 참고문헌 내 관련 보고서 참조

○ 현재, NRC는 2024년 9월 13일에 법안을 관련 당국에 전송할 것, 2025년 3월 14일에 법안을 발표할 것을 주요 일정으로 하여 법안 준비 중

❷ EU

□ 이중용도 수출통제법 (EU dual-use export control regulation)

○ (목적) 이중용도 품목의 수출, 중개, 기술 지원, 운송, 이전 통제[6]

* 이중용도 품목(dual-use items): 민간 및 군사적 목적 모두에 사용될 수 있는 소프트웨어 및 기술을 포함한 품목. 핵 또는 생화학 무기의 사용, 생산, 개발, 설계에 이용될 수 있는 품목, 비폭발성 용도로 사용될 수 있는 모든 품목의 배송, 핵무기 또는 기타 핵폭발 장치의 제조를 지원하는 모든 행위 포함(제2조(1)항)

○ (연혁) 2021년의 EU 이중용도 수출통제법(Regulation (EU) 2021/821)은 기존 2009년 법(Council Regulation (EC) No 428/2009)을 개정, 폐지함으로써 이루어짐

- 2009년의 법은 수차례 개정되었으나, 그 후에도 효율성과 명확성 증진을 위한 재구성의 필요성이 주장되었음[7]

- 유럽집행위원회(Commission, 이하 '위원회')는 2014년, EU의 수출통제체제 검토 방안들을 담은 통신문(communication)[8]을 채택하고, 2016년 9월, EU 수출통제체제를 현대화하기 위한 제안(proposal)[9]을 채택하였음[10]

- 2021년 5월 20일 유럽의회(European Parliament)와 이사회(Council)는 EU 이중용도 수출통제법(Regulation (EU) 2021/821)을 채택,[11] 동 법은

---

6) EUR-Lex, Dual-use export controls, https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/dual-use-export-controls.html

7) European Commission, "Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL setting up a Union regime for the control of exports, transfer, brokering, technical assistance and transit of dual-use items (recast)", {SWD(2016) 314 final} {SWD(2016) 315 final}, Brussels, 28.9.2016, COM(2016) 616 final, 2016/0295 (COD), p.2. 참조

8) European Commission, COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE COUNCIL AND THE EUROPEAN PARLIAMENT The Review of export control policy: ensuring security and competitiveness in a changing world, Brussels, 24.4.2014, COM(2014) 244 final

9) European Commission, Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL setting up a Union regime for the control of exports, transfer, brokering, technical assistance and transit of dual-use items (recast), {SWD(2016) 314 final} {SWD(2016) 315 final}, Brussels, 28.9.2016 COM(2016) 616 final 2016/0295 (COD)

10) European Commission, Exporting dual-use items, https://policy.trade.ec.europa.eu/help-exporters-and-importers/exporting-dual-use-items_en

11) European Commission, Exporting dual-use items, https://policy.trade.ec.europa.eu/help-exporters-and-importers/exporting-dual-use-items_en; EUR-Lex, Dual-use export controls, https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/dual-use-export-controls.html

2021년 9월 9일부터 시행됨[12)]

* 2022년, 러시아의 우크라이나 침공 대응을 위해 Delegated Regulation (EU) 2022/699에 의해 일부 개정됨. 이는 EU의 일반수출허가(EU general export authorisations)의 범위에서 러시아를 도착지로 하는 경우를 제외하기 위한 것임[13)]

□ 주요 내용

○ EU 회원국은 비EU회원국의 이중용도 품목이 위법한 용도로 의도된 경우 이러한 품목의 자국 영토 내 운송을 금지할 수 있으며, 일정한 경우 이중용도 품목을 자국 영토에서 다른 회원국으로 이전하기 위한 수출허가를 요구할 수 있음[14)]

○ 특히, 동 법 제3조는 부속서(Annex) I에 해당하는 품목의 경우 수출허가가 필요하다고 규정하면서 부속서 I에서 수출 허가가 필요한 이중용도 품목을 적시

- 부속서 I에 해당하는 품목의 리스트는 정기적으로 개정됨[15)]

- 동 리스트는 국제수출통제체제(Australia Group, Missile Technology Control Regime (MTCR), Nuclear Suppliers Group (NSG), Wassenaar Arrangement, Chemical Weapons Convention (CWC))를 이행하는 것임을 명시[16)]

○ 부속서 I은 총 11부(Part)로 구성되며, 이중용도 품목을 Part II-IX에서 Category 0-9로 분류하고 있음 (Part I은 일반사항, 두문자어, 약어, 정의(General Notes, Acronyms and Abbreviations, and Definitions)를 규정)

<표 7> 부속서 I의 구조 및 포함 품목 분류

Part I -	일반사항, 두문자어, 약어, 정의 (General Notes, Acronyms and Abbreviations, and Definitions)
Part II - Category 0	핵 물질, 시설, 장비 (Nuclear materials, facilities and equipment)
Part III - Category 1	특수 재료 및 관련 장비 (Special materials and related equipment)
Part IV - Category 2	재료 가공 (Materials processing)

12) EUR-Lex, Dual-use export controls, https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/dual-use-export-controls.html

13) EUR-Lex, Dual-use export controls, https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/dual-use-export-controls.html; COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2022/699 of 3 May 2022 amending Regulation (EU) 2021/821 of the European Parliament and of the Council by removing Russia as a destination from the scope of Union general export authorisations

14) EUR-Lex, Dual-use export controls https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/dual-use-export-controls.html

15) EUR-Lex, Dual-use export controls, https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/dual-use-export-controls.html

16) 2021년 EU 이중용도 수출통제법(Regulation (EU) 2021/821), Annex I: LIST OF DUAL-USE ITEMS REFERRED TO IN ARTICLE 3 OF THIS REGULATION, p. 25.

Part V – Category 3	전자 (Electronics)
Part VI – Category 4	컴퓨터 (Computers)
Part VII – Category 5	통신 및 정보보안 (Telecommunications and "information security")
Part VIII – Category 6	센서 및 레이저 (Sensors and lasers)
Part IX – Category 7	항법 및 항공전자 (Navigation and avionics)
Part X – Category 8	해양 (Marine)
Part XI – Category 9	항공우주 및 추진장치 (Aerospace and propulsion)

* 출처: 2021년 EU 이중용도 수출통제법(Regulation (EU) 2021/821), Annex I: LIST OF DUAL-USE ITEMS REFERRED TO IN ARTICLE 3 OF THIS REGULATION, "CONTENTS" p. 25. 번역, 정리

□ 최근 논의 동향

○ 진화하는 보안 위험, 과학기술의 급속한 발전, 세계무역의 변화에 대처하고 안보와 무역 간의 균형을 위하여 EU의 안보를 위한 방안 관련 논의 진행 중이며, 수출통제에 대한 EU 차원의 공동 대응 증진 필요성이 강조되는 경향임

– 2023년 6월 20일, 위원회는 유럽경제안보전략에 관한 통신문(Joint Communication to the European Parliament, the European Council and the Council on a "European Economic Security Strategy")을 채택[17]

* 동 통신문에는 이중용도 수출통제에 있어 EU 차원에서취해지는 조치의 공동성과 신속성을 높이고 이중용도 수출통제법의 활용 가능성을 최대화할 필요성이 지적됨

– 상기 유럽경제안보전략의 맥락에서, 위원회는 2024년 1월 24일, EU의 경제안보를 강화하기 위한 5대 이니셔티브를 채택

– 연구, 투자, 무역 개방성을 유지하는 동시에 EU의 경제 안보를 강화를 목표로 하며, 해외 투자 관련 심사 및 모니터링 방안 제안, EU 차원에서의 이중용도 품목에 대한 수출통제 효율성과 통일성 증진을 위한 논의 촉진 등을 포함[18]

17) European Commission, JOINT COMMUNICATION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL AND THE COUNCIL ON "EUROPEAN ECONOMIC SECURITY STRATEGY", Brussels, 20.6.2023, JOIN(2023) 20 final, p. 10; European Commission, WHITE PAPER on Export Controls, Brussels, 24.1.2024, COM(2024) 25 final, p.3. 참조

18) European Commission, "Commission proposes new initiatives to strengthen economic security", PRESS RELEASE 24 January 2024 Brussels, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_363 참조.

- 위원회는 또한 2024년 1월 24일, 안보 이익의 보호 관련, 수출통제의 효율성 강화를 위한 방안을 담은 백서(White Paper on Export Controls) 발행

- 백서에서 2021년 이중용도 수출통제법의 이행에 진전이 있었다고 평가하면서도[19] 동 법의 잠재력을 최대한 활용하기 위하여 이중용도 품목의 수출통제에 있어 EU 차원에서의 통일성을 강화할 것을 제안[20]

- 2026년에서 2028년 사이로 예상되는 동 법에 대한 평가를 2025년 1분기로 앞당겨 진행할 것을 제안[21]

  * European Commission, WHITE PAPER on Export Controls, Brussels, 24.1.2024, COM(2024) 25 final

❸ 주요 시사점

○ 핵융합 관련 규제는 다양한 신기술, 국제정치 및 세계무역 변화를 고려해야 하는 영역임

- 관련 규제를 정비함에 있어, 과학기술의 급속한 발전과 광범위한 영향력, 진화하는 보안 위험, 국제정치 및 세계무역의 변화, 무역과 안보의 균형 등을 고려하여야 함

○ 현재('24) 세계 각국은 상기 사항을 고려하여 관련 규제를 정비하고 있으며, 또한 미국 및 EU의 수출통제법규는 중국과 러시아에 대한 대응 필요성을 바탕으로 관련 법규를 정비, 운용하고 있음

○ 관련 규제의 포괄성, 잠재적 적용 분야와 영향력의 광범위성 등을 고려할 때, 우리나라 및 주요국의 법제 및 관련 동향에 관한 보다 심도있는 연구 필요

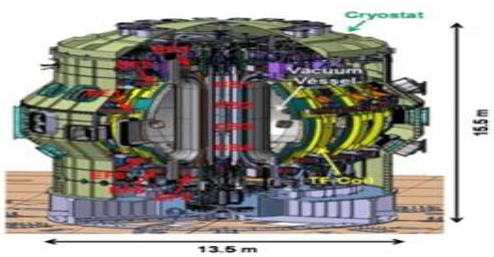
19) European Commission, WHITE PAPER on Export Controls, Brussels, 24.1.2024, COM(2024) 25 final, p. 4.
20) European Commission, WHITE PAPER on Export Controls, Brussels, 24.1.2024, COM(2024) 25 final, p. 12-13.
21) European Commission, WHITE PAPER on Export Controls, Brussels, 24.1.2024, COM(2024) 25 final, p. 13.

1.2. 주요국 핵융합 장치(인프라)구축 계획

□ 글로벌 주요국들은 '40~'50년대 핵융합 발전 실증을 위한 DEMO 건설을 목표로, ITER 참여, 자체 연구장치 운영, DEMO 관련 사전 연구를 추진

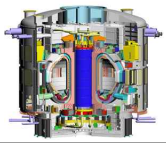
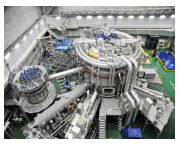
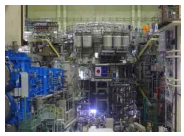
○ 주요국들은 자체 연구로→ITER→DEMO로 이어지는 로드맵을 기반으로 '50년대 전력생산 실증을 위한 R&D를 추진 중

<표 8> 주요국 핵융합 장치 구축계획

국가	정책	비고
(미국)	• NASEM*은 2050년 탄소 배출 저감 기여를 목표로, 2030년대 초까지 핵융합 파일럿 플랜트(FPP)를 건설하고, 2035년부터 단계적 운영을 통해 전력생산 추진을 제시 * 국립과학공학의학원(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) • 미국 스타트업 타입원에너지(Type One Energy)는 세계 최초의 스텔라레이터 발전소 건설을 위해 빌 게이츠를 비롯한 투자자들로부터 2,900만 달러(약 378억원)를 조달	 <핵융합장치 NSTX-U>
(EU)	• 실증로 환경에서의 핵융합 재료 테스트 및 증식 블랑켓의 삼중수소 증식 연구를 위해 가속기 기반 핵융합 중성자원* 건설을 추진 *(IFMIF/DONES International Fusion Materials Irradiation Facility/Demo Oriented Neutron Source) • EU는 2050년 데모에 적용할 수 있는 최적의 방식을 찾기 위해 두 가지 방식의 블랭킷을 ITER에서 테스트할 예정	 <공동 핵융합실험장치 JET >
(영국)	• 2040년대 완공을 목표로 세계 최초의 핵융합 전력생산 실증을 위한 STEP(Spherical Tokamak for Energy Production) 건설 진행 * STEP(Spherical Tokamak for Energy Production)은 '40년 세계 최초 핵융합 상용화 목표를 달성하기 위해 건설하는 핵융합로) • STEP은 100MW 이상의 전력생산을 통해 삼중수소 자가증식 기술 확보, 핵융합 재료 개발, 경제성 확보 등을 목표로 제시	 <STEP 개념도>
(일본)	• JT-60SA를 중심으로 노심 플라즈마 실험 • 2020년 3월 ITER의 위성 토카막 역할 수행 및 DEMO 최적화 운전시나리오 개발을 목표로 초전도 자석 업그레이드 완료	 <JT-60SA개념도>

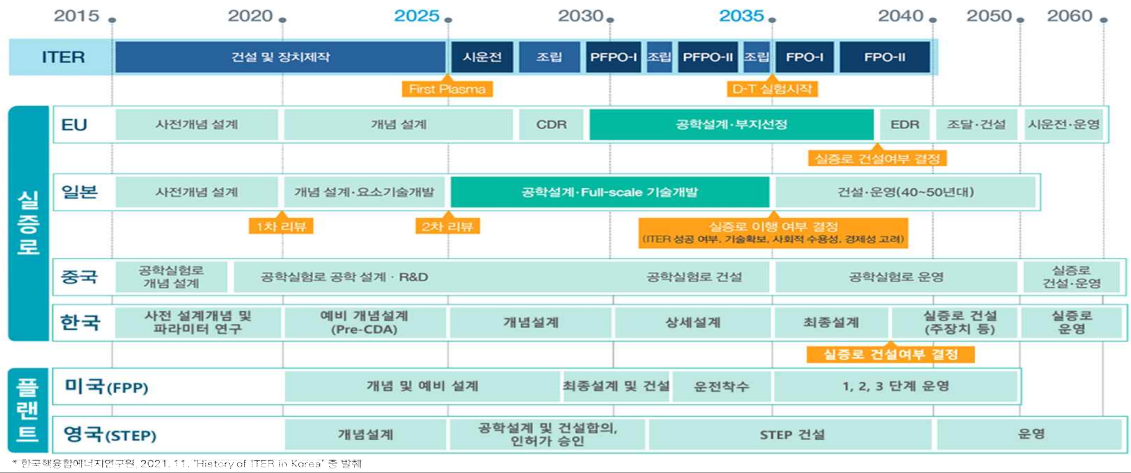
국가	정책	비고
(중국)	• '50년대 핵융합 상용화를 목표로 핵융합 DEMO 로드맵 추진 • 1960년대 중반부터 핵융합 연구를 본격화하였으며, 최근 연구장치(EAST 등)의 지속적인 성능 업그레이드로 우수 연구결과를 창출	 <핵융합장치 EAST>

<참고> 국가별 주요 연구장치 비교

국가 구분	ITER 기구	대한민국	EU	EU&일본	중국
장치 사진					
장치명	ITER	KSTAR	JET	JT-60SA	EAST
기관/위치	ITER/프랑스	NFRI/대한민국	EUROfusion/영국	JAEA/일본	중국과학원/중국
완공	2025년(예정)	2007년	1983년	2020년	2006년
크기(주반경)	6.2m	1.8m	2.96m	3.16m	1.7m
자석재료	Nb_3Sn, NbTi(초전도)	Nb_3Sn, NbTi(초전도)	Cu(상전도)	Nb_3Sn, NbTi(초전도)	NbTi(초전도)
플라즈마 전류	15MA	2MA	6MA	5.5MA	1MA
의의	500MW급 열출력, 삼중수소 증식 등 공학적 기술 실증	Nb_3Sn 사용 세계 최초 핵융합 장치	핵융합 출력 16 MW 달성 및 D-T 사용	~1.25Q 달성	장시간 운영기술 확보

※ 출처: 제2차 핵융합에너지개발진흥 기본계획 및 각 기관 홈페이지

[그림 10] 국가별 DEMO 로드맵



* 한국핵융합에너지연구원, 2021.11, "History of ITER in Korea" 중 발췌

1.2.1. ITER 기구

□ 국제핵융합실험로(ITER) 공동개발사업('04~)

○ (개요) 핵융합 반응을 통한 500MW급의 열출력을 발생하는 장치로서, 전기생산 가능성을 실증하기 위한 핵융합실험로(기초연구 / 계속사업(`04~계속) / 하향식)

* '25년까지 ITER 장치 건설, 이후에 운영·실험

- ITER 주요 회원국을 중심으로 ITER 방식 기반의 실증을 준비 중이며, ITER 핵융합반응(D-T) 실험 시기('35~)를 고려하여 실증로 로드맵 수립

○ (운영현황) 2025년 최초 플라즈마 실험 기준으로 건설 공정률은 77.7%('22.11월 기준)이며, ITER 기구와 회원국은 코로나 영향, 최초 제작 관련 기술적 현안 해소를 통한 사업 가속화에 노력

- 회원국별 할당된 ITER 주요장치를 각국에서 제작·조달 후, 현장(프랑스 카다라쉬)에서 조립

- 최초 플라즈마 실험을 시작으로 2035~2038년에 연료 직접반응 실험인 D-T 실험 시작 예정

<표 9> ITER 단계별 연구계획

단 계		기 간	주요 활동
Stage Ⅰ	FP & Engineering Operation	'25.12~ '26.06	- ECRH를 활용해 100kA/100ms 마일스톤 달성 - PFC align 전략 수립 - Ohmic start-up 연구(at 1.8T)
Stage Ⅱ	PFPO-Ⅰ	'28.12~ '30.06	- H/He 플라즈마 실험 - 통합 진단 검증 - 붕괴 연구 - 디버터 RH 검증
Stage Ⅲ	PFPO-Ⅱ	'32.06~ '34.03	- H/He의 L모드, H모드 시나리오 개발 - ELM 제어 및 붕괴 완화 검증 - TBM 제작 검증 등
Stage Ⅳ	FPO-Ⅰ	'35.12~ '37.01	- DT 반응 Q=5-10에서 50초 이하 운전 달성 - ELM H모드 유도 시나리오 개발
	FPO-Ⅱ	'37.01~ '38.05	- Q=10에서 300-500초 운전 - Q<2에서 1,000-3,000초 운전 달성 - 유도 DT 플라즈마 시나리오 개발 - TBM 테스트
	FPO-Ⅲ	'38.05~'41.09	- DT 장시간 운전(Q≤5 최대 3,000초 운전 검증) - 핵융합 에너지 생산을 위한 최적화된 플라즈마 운전 시나리오 개발 - TBM 테스트

1.2.2. 주요국별 장치 구축 계획

❶ 미국

□ **핵융합 건설 패스트 트랙 전략 ('21.2)**

○ NASEM*은 2050년 탄소 배출 저감 기여를 목표로, 2030년대 초까지 핵융합 파일럿 플랜트(FPP)를 건설하고, 2035년부터 단계적 운영을 통해 전력생산 추진을 제시

* 국립과학공학의학원(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine)

□ **핵융합 파일럿 발전소(FPP) 설계를 위한 마일스톤 기반 핵융합 개발 프로그램 지원**

○ 에너지부(DOE)가 핵융합 파일럿 발전소(FPP) 설계를 위한 마일스톤 기반 핵융합 개발 프로그램 착수에 5천만 달러(약 716억원)예산 배정

– 공공-민간 파트너십 프로그램을 통해 미국 정부는 국가 연구소와 대학 등이 협력하여 FPP 설계를 위한 주요 기술 및 상용화 마일스톤을 달성할 수 있는 기업을 지원

– 공공-민간 파트너십 프로그램을 통해 상용 핵융합 에너지를 위한 대담한 10개년 비전 실현 기대

◆ "바이든 행정부는 해당 기업들과의 파트너십을 통해 미래 핵융합 전력 생산을 향한 진보를 가속화하고, 이를 통해 전 세계에 풍부한 에너지 및 에너지 안보를 제공하고자 한다."

□ **새로운 핵융합 파일럿 발전소(FPP, Fusion Pilot Plant) 제작**

○ 미국 기업 General Atomics(이하 GA)가 새로운 핵융합 파일럿 발전소(FPP, Fusion Pilot Plant) 제작을 위한 개념안을 발표('22.10)

* GA는 에너지 및 군수 분야 전문 기업으로 미국 에너지부(DOE)와 함께 1980년대부터 핵융합 장치 DIII-D를 운영해 오고 있으며, 국제핵융합실험로(ITER) 건설을 위한 주요 장치 제작에도 참여하는 등 핵융합 분야에서 실력과 경험을 겸비한 민간 기업

– GA의 FPP는 소형 토카막 설계를 기반으로 핵융합 플라즈마의 장시간 운전을 통해 효율을 극대화하는 한편 유지보수 비용을 줄이고 설비의 수명을 연장하는 것을 목표

[그림 11] General Atomics의 핵융합 파일럿 플랜트 예상도

- GA의 FPP 개념안은 핵융합 기술 분야 GA의 혁신 기술(핵융합 통합 엔진인 FUSE(Fusion Synthesis Engine))을 적극적으로 활용할 예정

  * FUSE는 엔지니어, 물리학자 및 운전 기술자들이 특정 구성 요소의 설계에서 발전소의 효율을 극대화하기 위한 광범위한 연구를 쉽게 수행할 수 있도록 도와주는 매우 유연한 모델링 도구

- 핵융합 전력 시설의 복잡한 요구사항을 신속하게 최적화할 수 있을 것으로 기대

□ 세계 최초 핵융합발전소(스텔라레이터) 건설

○ 미국 스타트업 타입원에너지(Type One Energy)는 세계 최초의 스텔라레이터 발전소 건설을 위해 빌 게이츠를 비롯한 투자자들로부터 2,900만 달러(약 378억 원)를 조달

- 스텔라레이터를 작동시키는데 필요한 복잡한 구성도 설계가 가능한 슈퍼 컴퓨터를 활용하여 효율성 증대 기대

  * 스텔라레이터 방식은 플라즈마를 꽈배기 형태로 만들어 안정적으로 전류가 공급되지만 구현 어려움

- 관련 장치로는 독일의 Wendelstein 7-X, 미국의 Helically Symmetric Experiment (HSX), 일본의 Large Helical Device (LHD) 등

[그림 12] 스텔라레이터 방식

❷ EU

□ ITER 유치국으로 DEMO를 목표로 다양한 연구로, 중성자조사 시설 구축, 시뮬레이션 연구 등 핵융합 R&D를 가장 적극적으로 추진

○ 대형 실험장치인 JET(토카막, 영국)를 운영하고 있으며, ASDEX-U(토카막, 독일), W7-X(스텔러레이터, 독일) LMJ(레이저, 프랑스) 등 다양한 연구장치로 R&D 추진

- JET는 현재 유일하게 D-T 핵융합 반응 실험이 가능한 장치이며, ITER 건설 기간 연장에 따라 '25년까지 연장 운영할 계획

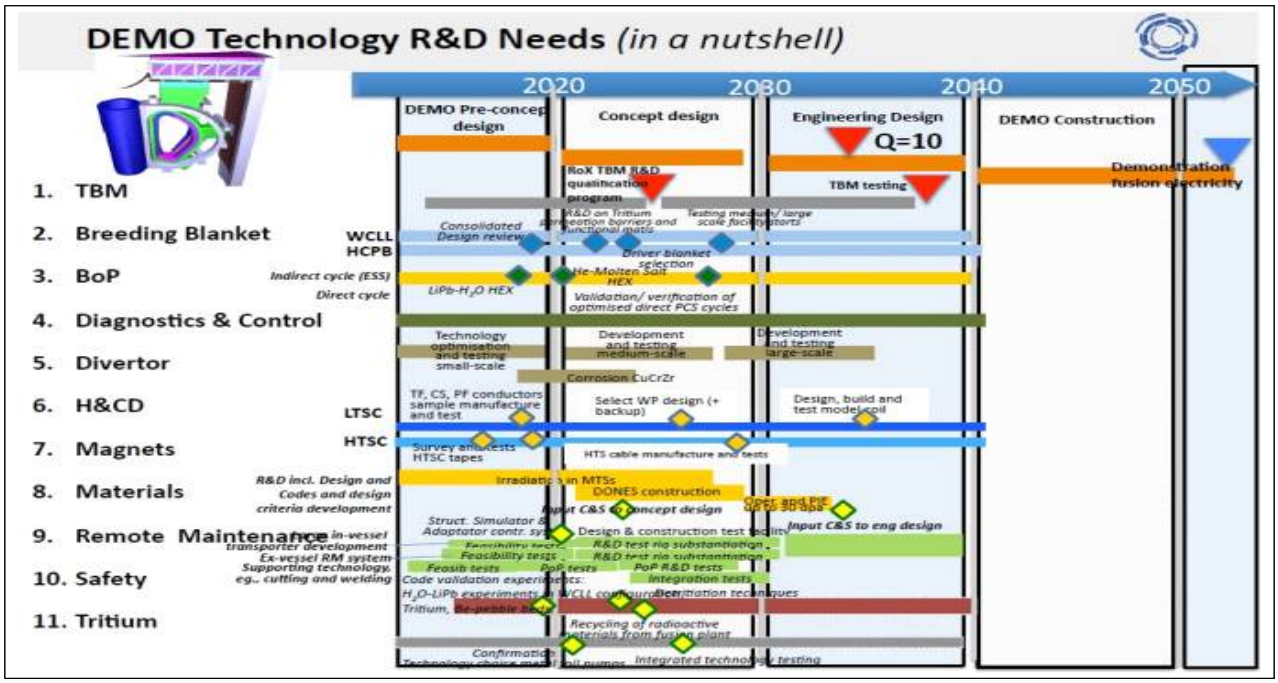
- ASDEX-U(토카막, 독일)를 통해 대면재료인 텅스텐 내벽에 대한 실험을 추진하고 있으며, LMJ(Laser Mega Joule)를 통한 관성 가둠 방식 핵융합 연구도 진행

○ '50년대 전력생산 실증을 목표로 11개의 요소기술(장치)*을 선정 및 개발 중이며 일본과 BA**(Brader Approach)를 통해 공동연구도 추진 중

* TBM, 증식블랑켓, BoP, 진단 및 제어, 다이버터, 가열 및 전류구동 시스템, 자석, 재료, 원격 제어, 안전성, 삼중수소 등

** '07년부터 핵융합 에너지 실현을 목표로 ITER 계획과 병행해 일본과 EU가 공동으로 핵융합 R&D를 추진하는 협력 협정

[그림 13] PPPT Teams(2018), EU DEMO Design and R&D Activities: Progress and Updates



* 출처: 핵융합에너지. KISTEP. 2020

– '04년에 이미 상용 핵융합 발전소 개념연구를 완료하였으며, DEMO 개념연구도 상당 수준 진행 EU DEMO 요소기술별 개발계획

○ 고성능 슈퍼컴퓨팅 기술을 통해, 예측 불확실성 해소, 핵융합 이론과 시뮬레이션, DEMO 설계 등을 위한 E-TASC(Theory and Advanced Simulation Coordination) 프로그램을 '19년부터 착수. 또한, 고속 중성자조사시설 구축을 통한 재료 개발 R&D도 가속화

* E-TASC는 4개 연구주제 *와 첨단 컴퓨팅 허브로 구성

① 중심부 및 주변부 플라즈마, ② 주변 및 SOL(Scrape-off layer), 다이버터 및 PWI(Plasma-Wall Interactions), ③ 재료 및 중성자학 ④ 가상핵융합시스템(Virtual Fusion System, VFS) – 고속중성자조사시설인 IFMIF(국제핵융합재료조사시설, 125mA, 40MeV)설계 중으로 중성자 조사에 따른 재료 거동 연구 및 핵융합 재료 개발 예정

❸ 영국

□ 세계 최초의 핵융합 전력생산 실증을 위한 STEP(Spherical Tokamak for Energy Production) 건설

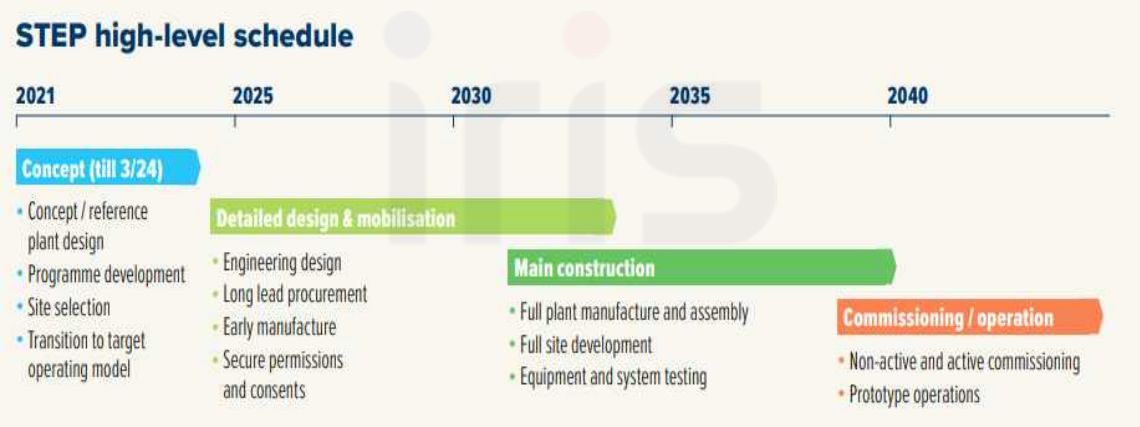
○ 2040년까지 세계 최초의 소형 핵융합 원자로를 설계하여 지속 가능한 핵융합 에너지를 가속화하고 핵융합의 상업적 실행 가능성을 확보하는 것을 목표

– (1단계) 2024년까지 STEP 개념설계 완료 계획

– (2단계) 2025년부터 2031년까지는 세부공학 설계를 완료하고 STEP 건설을 위한 제도적 기반(인허가 등) 마련을 완료할 계획

– (3단계) 2031년부터 2040년까지는 STEP 건설 완료 및 운영을 시작하여, 2040년 이후 전력 생산을 실증할 계획

[그림 14] STEP 단계별 목표



○ 차세대 핵융합 공학자 인력양성을 위해 UKAEA(영국원자력공사)는 Oxford Sigma (OS), Frazer-Nash Consultancy (FNC) 및 TÜV UK와 협력 중

* STEP을 위한 컨소시엄 파트너를 선정('22.8)

○ Nottinghamshire의 West Burton 발전소가 STEP 부지로 선정되었으며, 가동될 시 지역 대학과의 협력 지역 주민의 수혜 기대

* UKAEA의 핵융합 기술 시설과의 근접성 등 여러 장점으로 선정

❹ 일본

□ 별도 핵융합 기구를 설립하는 등 제도적 기반 구축하였으며 EU와 마찬가지로 '50년대 상용화를 목표로 DEMO 로드맵 수립 및 추진

○ 본격적인 DEMO 개발을 위해 문부과학성 산하 핵융합과학기술위원회('15.4) 및 산하에 DEMO종합전략TF* 설치('15.6)

* 기존 MEXT 원자력과학기술위원회 산하 핵융합실무연구부회를 확대개편, 산학연 전문가 14명으로 구성(관료 미포함 및 위원회 개최 시 참관)

– 문부과학성(MEXT)은 EU와 같은 종합적인 핵융합원형로(DEMO) 개발 계획 수립을 일본 양자과학기술연구개발기구(QST*) 및 국립핵융합연구소(NIFS**)에 요청('13)

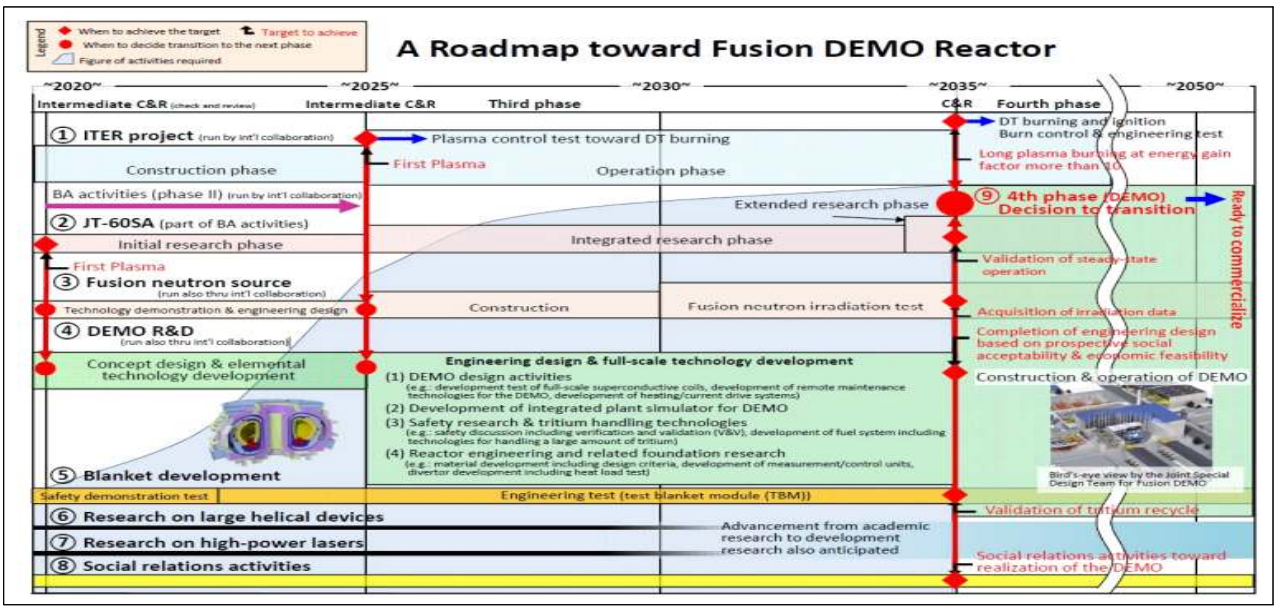
* National Institute for Quantum and Radiological Science & Technology

** National Institute for Fusion Science

– "핵융합에너지 실용화를 위한 로드맵 및 기술전략"을 수립하여 원형로(DEMO) 개발계획 초안을 완성하고, 국가차원의 구체적인 원형로 종합계획 수립('08.6)

– 원자력에너지위원회(AEC)의 핵융합자문위원회에서 "핵융합 R&D 전략"을 수립하고, 이를 토대로 DEMO 로드맵 및 기술전략 수립 추진('05)

[그림 15] 일본 핵융합 DEMO 로드맵



* 출처:핵융합에너지. KISTEP. 2020

- 변경된 ITER 건설일정에 따라 '17년 DEMO 로드맵 발표, '20년 3월 ITER의 위성 토카막 역할 수행 및 DEMO 최적화 운전시나리오 개발을 목표로 초전도 자석 업그레이드 완료

  * (1단계) 과학적 가능성 검증 → (2단계) 과학적·기술적 가능성 검증 → (3단계) 기술적 실증 및 경제성 검토 → (4단계) DEMO 건설·운영

○ 핵융합을 에너지와 지구 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 인류 궁극의 에너지로 인식하고 핵융합에너지 실현을 목표로 ITER 및 BA* 활동 추진 중

  * BA(Broader Approach): 핵융합 에너지 조기실현을 목표로 ITER 계획을 보완하기 위해, ITER 계획과 병행해 일본과 EU가 공동 진행하는 선진 핵융합 연구개발 프로그램

- MEXT 연구개발국의 환경 및 에너지과에서 ITER 및 BA 활동 지원업무 수행

○ 다양한 자기장 및 관성 핵융합 방식을 동시 개발하고 있으며, EU와 BA 통해'30년까지 실증로에 의한 전기생산 실증을 목표로 연구개발 중

- '기존 장치 성능향상(JT-60U 등) 등 핵융합 관련 재원투자 확대하고자 함

❺ 중국

□ ’06년 완공한 EAST(토카막)가 대표적이며, ’20년 하반기 완공 예정인 HL-2M(토카막), SG-Ⅲ(레이저) 등 연구장치를 공격적으로 건설

○ EAST 지속 업그레이드를 통해 플라즈마 전자온도 1억 도 달성(’18.11). 향후 가열 및 전류 구동장치 업그레이드 active cooling 텅스텐 다이버터 등을 설치할 예정

- 플라즈마 2억 도 달성을 위한 HL-2M, 세계최대 규모 레이저 핵융합 연구장치인 SG-Ⅲ 등 연구장치 확보에 지속적으로 투자

□ 국가 과학기술개발 5개년 계획(1995~)에 핵융합 R&D 반영 등 정책적 기반 마련과 함께, ’40년대 전기생산 실증을 목표로 DEMO 로드맵 수립 및 추진

<표 10> 중국 EAST의 장치성능 향상 계획

종류	~2012	2013	2014	2015	3016~2018	합계
NBI	4(80KeV)	-	4(80KeV)	-	-	8
ECH	-	6(20~70㎒) 6(30~100㎒)	-	-	-	12
ECH	-	-	-	-	6(170㎓)	6
ECR	-	-	-	-	-	4
LHCD	4(2.45㎓)	6(4.6㎓)	-	-	-	10
합계	8	18	4	4	6	40
누적	8	26	30	34	40	-

* 자료 : 국가핵융합연구소(2014), “중국의 핵융합에너지개발 동향 및 시사점”, Fusion Trend 3호
* 주 : 1MW 당 약 100억원 소요

○ 단계별 핵융합 DEMO 로드맵을 수립하여 최종적으로 ’50년대 핵융합 상용화를 목표로 함

- ’30년대에 CFETR 개발 및 운영하고, ’40년대 전기생산 실증 및 ’50년대 핵융합발전소 건설을 목표로 함

  * ’30년대에 중국형 DEMO CFETR 운영 착수를 목표로 CFETR의 최종 개념설계를 도출 하고 공학설계 및 관련 R&D 사업 착수(’17)

○ MOST 산하의 국가 CFETR 통합설계팀(’11년 설립)을 중심으로 CFETR 건설 사업 추진

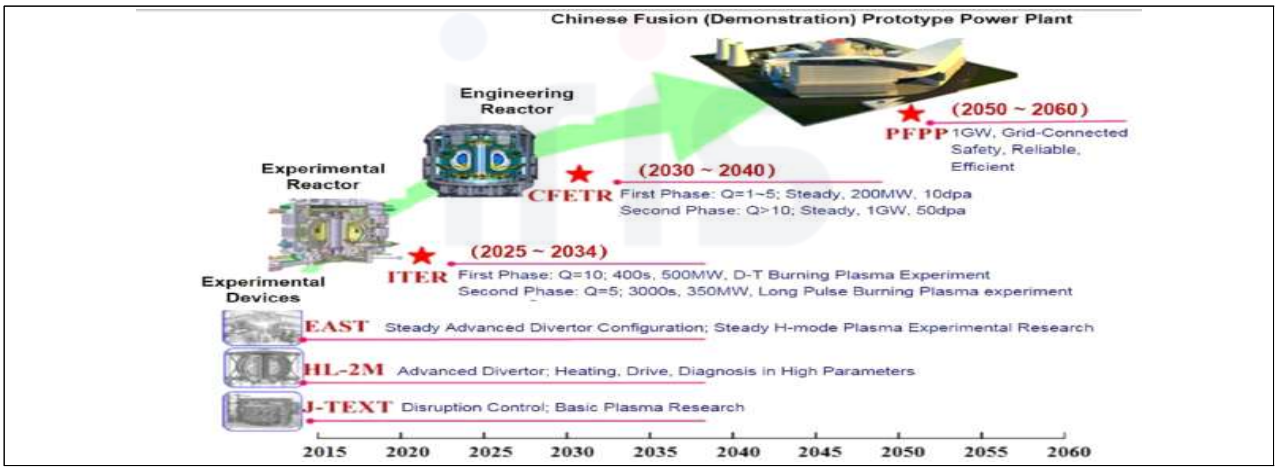
<표 11> CFETR 추진 목표 및 수행 내용

구분	추진목표	수행 내용
1단계 ('10년~)	EAST, HL-2M 등의 토카막 장치를 활용한 핵융합 연구	EAST, HL-2M 등을 통해 고성능 라즈마 운전시나리오,디버터, 가열장치, 진단 등의 플라즈마 물리학 연구 수행
2단계 ('25~'34년)	ITER 사업참여를 통한 핵융합 연구 결과 공유, 활용	ITER와 병행하여 CFETR 건설을 위한 개념설계, 공학설계 등 관련R&D수행
3단계 ('30년대~'40년대)	중국형 DEMO인 CFETR 운영을 통한 공학적 실증 및 핵융합 발전소 건설 기반 확보	CFETR을 통해 핵융합에너지 상용화에 필요한 핵심 요소 및 기술 실험·개발
4단계 ('50년대)	중국형 핵융합 프로토타입 발전소(PFPP) 건설 및 운영	'50년대~'60년대 핵융합 상용화를 위한 PFPP 건설

- CFETR*를 완공하여 1단계에서는 1~5의 Q값과 200MW 출력을 2단계에서는 10이상의 Q값과 1GW 출력을 목표로 함

  * China Fusion Engineering Testing Reactor

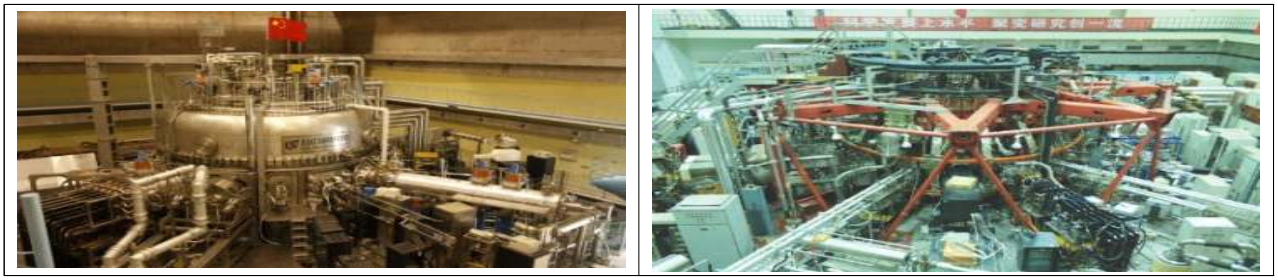
[그림 16] 중국 핵융합 상용화 R&D 로드맵



* 출처: Luo D.(2017)

- '23년 완공을 목표로 CFETR 지원을 위한 통합연구시설인 초전도 핵융합센터(SNFC) 건설에 착수('18.12월)

[그림 17] (좌)EAST, (우)HL-2M



* 출처: 중국 플라즈마 물리연구소 홈페이지, http://english.ipp.cas.cn

1.3. 주요국 핵융합 산업 및 기업 동향

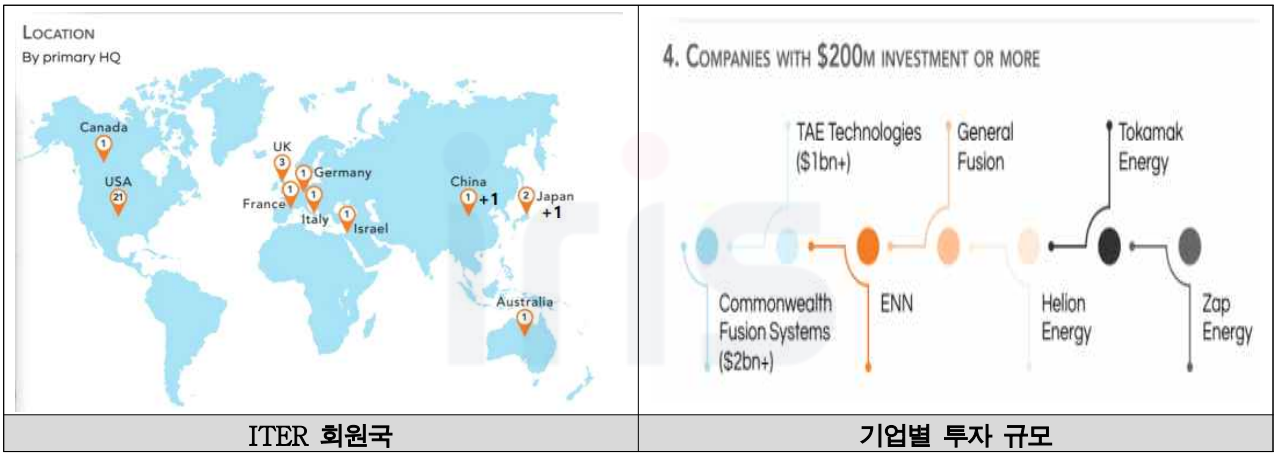
□ 글로벌 핵융합 산업시장 동향

○ 세계 핵융합 산업시장은 국제핵융합실험로(ITER) 건설 참여에 따른 조달품 제작 및 납품, 각국의 연구 장치 건설 및 운영, 가속기와 같은 핵융합 연관 산업이 주를 이루고 있음

* 민간부문의 소형 핵융합 개발 시장이 활성화 추세

○ 관련 시장의 스타트업 기업은 북미 20개 이상, 영국 3개, 일본 3개, 중국 2개 기업 등 ITER 회원국 중심으로 확대되고 있음

[그림 18] 글로벌 핵융합 관련 스타트업 현황



ITER 회원국 | 기업별 투자 규모

* 출처:The global fusion industry in 2022, FIA

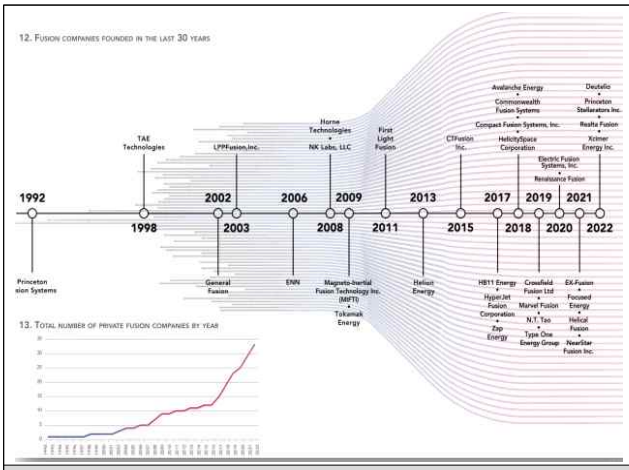
– 핵융합 분야 투자자는 전통 에너지 기업 뿐 아니라 정부 부처, 밴처 캐피털(Venture Capital) 등 다양하며 2016년 대비 2022년 기준 스타트업 기업이 3배 이상 증가함

<표 12> 빅테크 창업자들이 투자한 핵융합 스타트업

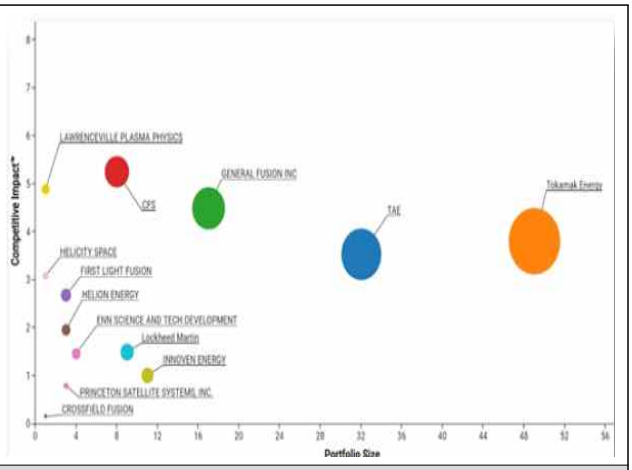
스타트업	창업자
헬리온 에너지	샘 올트먼 오픈 AI창업자, 피터 틸 페이팔 창업자
코먼웰스 퓨전시스템즈	마크 베니오프 세일즈포스 창업자, 빌게이츠 MS 창업자
제너럴 퓨전	제이 베이조스 아마존 창업자
트라이알파 에너지	폴 앨런 MS 창업자

– Tokamak Energy, TAE General Fusion, Commonwealth Fusion, Helion 등이 주요 기업에 해당

[그림 19] 핵융합 스타트업 투자 동향



'92년 이후 참여기업 현황



기업별 경쟁력 수준

○ 세계 소형모듈원자로(SMR: Small Modular Reactor) 개발사들은 대부분 제작 경험이 없는 스타트업이며, SMR을 제작 할 수 있는 업체는 제한적임

* 두산은 글로벌 제작 경쟁력 기반으로 대규모 투자를 통한 제작 역량 확대 및 첨단 제조기술 개발로 다양한 SMR 노형의 기기 제작 전문회사로 입지를 강화하고 사업을 확대예정

– 해외의 50여 개의 SMR 스타트업도 건설, 운영 경험 없이 설계만 진행하는 Fabless 형태 해당

– 미국, 유럽이 글로벌 핵융합 에너지 스타트업을 주도하고 있으며 아시아에서는 일본 3개社(교토퓨저니어링, 엑스퓨전, 헬리카퓨전)가 주도하고 있음

<표 13> 글로벌 핵융합 스타트업 개발 및 투자 동향

기업	기업 동향	비고
Commonwealth Fusion Systems 코먼웰스 퓨전시스템즈	· Last Deal: Series B $1.80B('21.12) – Climate Tech VC Deal 중 최고 투자금액 달성 – Breakthrough Energy Ventures(빌게이츠)투자 – Total Raised: $2.00B · VC Exit: 98% 가능 예상(IPO 81%,M&A 17%) – '25년까지 투입보다 높은 에너지 생산 목표(SPARC) – 영국원자력공사(UKEA)와 실험 융합로 공동 건설 중 ('30년대 초반 상용화 목표, 초전도체 자석 시연 성공)	고온초전도 제작성공으로 가속도 최근 연구동 건설 등 가시적 진척
tae TECHNOLOGIES TAE General Fusion	· Last Deal: Series G $250.0M('22.7,Post-valuation $2.55B) – Total Raised: $1.35B · VC Exit: 98% 가능 예상(IPO 94%,M&A 4%)	발전 외 다양한 BM 제시

기업	기업 동향	비고
	– '30년대 초, 송전망에 핵융합을 통한 전력 공급 목표 – 일본 국립 핵융합연구소(NIFS)와 협력 관계 체결 – 구글과 인공지능(AI) 및 머신러닝 분야에서 협업	
HELION 헬리온 에너지	· Last Deal: Later stage $35.0M('23.9,Post-valuation $3.7B) – Total Raised: $607.64M · VC Exit: 98% 가능 예상(IPO 82%, M&A 16%) – 핵융합 개발사 중 최초로 전기 공급계약 채결 ('23.5,'28년부터 핵융합 발전으로 MS에 50MW/yr 공급) –'30년 튜커 제철단지에 500MW 핵융합 발전소 건설 – 1~6차 프로토타입 모두 전력생산에 성공하여, 샘올트먼, 피터 틸 등으로부터 투자유치	28년부터 핵융합발전을 통해 매년 최소 50mw의 전기를 MS에 공급해야함
generalfusion 제너럴 퓨전	핵융합 대규모 실증로 건설을 시작(영국) – 2025년까지 완공, 2030년대 초까지 상업용 핵융합 원자로를 판매	영국 Culham에 건철 추진
FOCUSED ENERGY Focused Energy	· Last Deal: Series A $82.0M('23.6) –Total Raised: $97.0M · VC Exit: 90% 가능 예상(IPO 10%,M&A 80%) – 고속 점화로 알려진 ICF 변형 연구 중(미국 NIF,체코 ELHBL 영향,DD-PFI(direct-drive proton-fast ignition) 방식) – '29년까지 시범 작동을 목표	
KYOTO FUSIONEERING 교토퓨저니어링	· Last Deal: Series C $77.84M('23.5,Post-valuation $355.08M – Funding 진행 중(~'24.1Q,Valuation 10~25% 상승 예상) * 캐나다 원자력연구소 공동프로젝트 MOU 체결 후 자금조달 – Total Raised: $82.56M · VC Exit: 95% 가능 예상(IPO 44%,M&A 51%) – 핵융합 코어가 아닌 핵융합 주변 제품/모듈로 핵융합 코어 개발하는 회사/연구기관과의 협력을 통한 매출 발생,M&A가 기대됨 – 매출:('22년)1억엔,('23년)3억엔,('24년(E))10억엔 * 핵융합로 개발업체와 공급계약을 통해 꾸준한 매출성장 기대	
EX-Fusion 엑스퓨전	· Last Deal: Seed $12.79M('23.7,Post-valuation $61.66M) – Total Raised: $13.88M · VC Exit: 77% 가능 예상(IPO 2%,M&A 75%) – '29년 상용로 기술 실증,'35년 파일럿 플랜트 건설 – 레이저 제어 기술을 패키지화해 IP(지적재산) 취득 상정 – 레이저 기술을 반도체, 피뢰침, 로켓엔진 등 응용 가능	

* 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

○ (Fusion Industry Association) 핵융합 상용화를 목적으로 회원사와 설비, 연구, 투자자등으로 구성된 준회원사로 구성

– FIA는 핵융합 스타트업의 이익을 대변하는 단체로 의회, 행정부, NRC 등에 업계의 니즈를 전달하기 위한 소통창구 역할 수행

[그림 20] FIA 참여사

□ 글로벌 핵융합 기업투자 동향

○ 최근 북미를 중심으로 소형 핵융합 상용화에 대한 20개 이상의 startup 활동 이 활발하게 진행되고 있으며, 투자 또한 '18년 기준으로 1조원 이상(누적 투자) 의 정부기금과 민간자본이 유입되고 있음

<표 14> 해외 Start-up 현황

구분	주요내용
미국	대표적으로 TAE(Tri Alpha Energy), Lockheed Martin, CFS(Commonwealth Fusion System) 3개 회사가 소형 핵융합 상용화 산업을 주도 1) TAE(Tri Alpha Energy)는 Microsoft의 창업자인 Paul Allen이 만든 투자사로부터 600백만달러 이상의 투자를 받았으며 록펠러 재단의 VC인 Venrock, 러시아 정부를 대행한 Rusnano 등에서 투자 유치 2) MIT의 핵융합 기술에 기반하여 창업한 CFS(Commonwealth Fusion System)은 2025년까지 발전소 프로토타입 건설을 목표로, 이탈리아 석유회사 eni로부터 50백만 달러를 포함한 총 115백만 달러의 투자 유치('19) 3) Lockheed Martin은 100MW급의 소형 핵융합로 개발에 뛰어들었으며 2019년 주요한 결과물을 내놓을 것이라고 공언함
캐나다	민간기업인 General Fusion은 MTF(Magnetized Target Fusion) 방식의 연구로 캐나다 정부와 글로벌 민간투자를 유치 1) General Fusion은 '16년 글로벌 투자와 캐나다정부의 기금(SDTC)을 통해 100백만달러 이상의 자금을 지원받았으며, '18년 정부의 전략혁신기금을

구분	주요내용
	통해 493백만달러(약 435 억)의 추가 투자를 유치하면서 약 400개의 일자리 창출을 도모 * 현재 연구개발에 150백만달러(약 1,323억원), 실증플랜트 건설에 캐나다 정부, 말레이시아 국부펀드, 제프 베조스(아마존 CEO) 등 다양한 투자 유치를 통해 250백 만달러(약2,205억원) 이상의 추가 투자 예정

* 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

○ 핵융합은 자본 집약적 기술 개발이 이루어지는 딥테크 영역으로 타 산업대비 참여기업의 수가 많지 않으나 Value가 높음

<표 15> TOP 10 스타트업-누적 투자유치 금액

Company	Total raised($M)	Deal type	Latest deal value($M)	Latest deal date	HQ location	Year founded
Commonwealth Fusion Systems	$1,999.0	Late-stage VC	N/A	September 1,2023	Devens,MA	2017
TAE	$1,346.5	Late-stage VC	$250.0	July 19, 2022	Foothill Ranch,CA	1998
First Light	$588.3	Late-stage VC	$480.5	August 2, 2022	Yarnton,UK	2011
Helion	$572.6	Late-stage VC	$500.0	November 5,2021	Everett, WA	2013
General Fusion	$417.9	Late-stage VC	$25.0	August 9, 2023	Richmond, Canada	2002
Neo Fusion	$216.7	Seed round	$216.7	May 19,2023	Anhui, China	2023
Tokamak Energy	$197.5	Late-stage VC	N/A	September 1,2023	Abingdon,UK	2009
Zap Energy	$196.6	Grant	$5.0	May 31,2023	Everett,WA	2017
KEPCO Engineering& Construction Company	$142.9	IPO	$142.9	December 14,2009	Gimcheon-si, South Korea	1975
Industrial Heat	$130.3	PE growth/expansion	$65.3	September 1,2018	London, UK	2012

□ 주요국 핵융합 기업 동향

○ 구형 토카막, 고온초전도체 등 비ITER 방식의 소형 핵융합 장치를 개발하여 '30년대 중반 전력생산을 실증하는 도전적 목표를 제시

– (민간 스타트업 현황) 최근 기후변화 및 ESG 대응 전략으로 핵융합 분야에 대한 관심이 고조되며, 핵융합 민간 스타트업 수* 및 투자** 증가

* 미국(13개), 영국(5개) 등 약 30개 이상의 스타트업 활동 중('21년 기준)

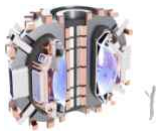
** 핵융합 스타트업 총 누적 투자금액은 약 $4.1B(한화 약 4.8조) 이상('21년 기준)

○ (기술 방식) 구형 토카막, 고온초전도체 등 비ITER 방식*으로 ITER 대비 소규모로 핵융합 장치 설계·제작을 추진

* ITER는 저온초전도체를 활용한 도넛모양의 토카막 방식

– 특히, CFS(美), Tokamak Energy(英)는 고온초전체(HTS)를 사용한 소형 토카막 장치를 개발하여 '30년대 중반 전력생산 실증(100~200MWe) 목표

<표 16> 핵융합 분야 주요 스타트업

회 사	세부내용	사 진
Tokamak Energy (영국)	· 영국컬햄핵융합연구소(CCFE)의 스핀오프 기업 · 구형(spherical) 토카막장치 ST40에 고온초전도체(20테슬라급)를 개발·접목하여 DEMO4 건설을 추진 중('20년대 중반 운전 목표) · '30년대 초까지 핵융합 파일럿 플랜트 모듈(ST-E1) 건설·운전 목표	
TAE (미국)	· 빔 형태의 '역자장 방식'(플라즈마 입자의 소용돌이 운동으로 자기장 생성)을 활용한 플라즈마 연구 장치 '코페르니쿠스'(10+ keV 이온온도 목표)를 개발, `23년 이후 운영 목표	
CFS (미국)	· MIT 플라즈마과학핵융합센터의 스핀오프 기업 · 고온초전도체를 개발·접목하여 높은 자기장을 갖는 소형 토카막(KSTAR 크기) 연구장치 SPARC 개발('25년 최초 플라즈마 목표) · '35년까지 파일롯 발전소(ARC) 건설, 전력생산(200MWe) 실증 목표	
General Fusion (캐나다)	· 리튬액체금속을 채운 챔버를 회전시켜 내부에 플라즈마를 주입하고 수백 개의 피스톤으로 압축하여 핵융합 반응을 발생시키는 방식 · 주반경 1.5m 크기의 장치(10 KeV 온도 목표)를 '25년까지 설계 및 건설 목표	

○ (공공-민간 협력) 민간 스타트업이 제안하는 다양한 핵융합 개념의 구현을 위해 공공 연구기관 및 대학 등과의 긴밀한 협력 강조

* 미국은 핵융합기술 연구 및 개발을 위해 마일스톤 달성 시 연구비를 지급하는 공공-민간 파트너쉽(PPPs : Public-Private Partnerships) 프로그램 착수('22)

❶ 미국

□ 핵융합에너지의 상용화를 위해 민간 회사(19개)들로 구성된 핵융합 산업협회(FIA:Fusion Industry Association)를 구성하여 민간기업들의 연구가 활성화됨

<표 17> 회원사 및 제휴사

번호	회원사	제휴사
1	Helion Energy	AIR LIQUIDE
2	COMMONWEALTH FUSION SYSTEMS	JEMA
3	General Fusion	STRONG ATOMICS
4	TAE TECHNOLOGIES	STI
5	Fuse	STELLAR Energy Foundation
6	Tokamak Energy	UAH
7	CTFusion	WOODRUFF SCIENTIFIC
8	PROTON SCIEMTIFIC	TECH-X
9	MIFTI	PEGASUS
10	COMPACT FUSION SYSTEMS	-
11	LPP FUSION	-
12	HYPERJET FUSION CORPORATION	-
13	HORNE TECHNOLOGIES	-
14	AGNI	-
15	Princeton SATELLITE SYSTEMS	-
16	EMC2	-
17	first light	-
18	Helicityspace	-
19	PENAISSANCE FUSION	-

* 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

❷ 영국

□ CCFE*는 ITER 조달 및 Remote Handling 시스템의 응용을 통해 약 10억 파운드의 영국 산업의 파급효과 실현 계획 중

* Culham Centre for Fusion Energy: Culham 핵융합 연구센터

○ ITER의 건설에 관련된 많은 하이테크 계약을 통하여 CCFE는 수년간 영국 기업들이 ITER 계약 입찰에 참여하도록 독려하는 산업프로그램을 유지함에 따라 많은 기업들이 새롭게 핵융합 영역으로 진입 가능

○ 과학장관(David Willettts MP)와 CCFE의 수장(Prof. Steve Cowley)은 산업적 편익의 중요성을 강조하며 ITER 사업에 관련하여 ITER 국제조직 및 F4E(Fusion for Energy)를 통하여 기업지원실시(최소 150M유로)

□ CCFE는 웹사이트 운영 등 다양한 방법으로 산업계를 연결하고자 지원 방안 마련

○ 정기적으로 계약 기회에 대한 소식지로서 'e-news'와 핵융합 관련 사업(Fusion Business) 소식지를 받아보는 기업들의 데이터베이스와 website (www.fusion.org.uk/industry) 를 운영

❸ EU

□ EU의 국제기구를 중심으로 활발한 산업계 참여를 촉진하기 위하여 CCFE 차원의 적극적인 핵융합 산업계 육성

○ ITER IO 등 공식기구 및 정부연구소가 중심이 되어 산업체 관련 컨소시엄 및 포럼 중심의 프로그램 운영

* ITER 사업 진행현황 공유, 향후 과제발주 계획 설명 및 관련 산업체 간 기술정보 교류를 위하여 ITER Business Forum (IBF) 격년제로 개최
* 유럽산업체협의회, 상공회의소 공동주관, ITER IO, F4E (Fusion for Energy) 후원으로 진행

○ EFET 등 산업체 컨소시엄을 통해 공학 설계, 주요 부품 건설 참여 및 BOP 등 많은 분야에 참여

* EFET : European Fusion Engineering and Technology

❹ 일본

□ 주요 핵융합 기술에 대하여 Lexisnexis 프로그램을 이용한 분석 결과, 특허 Inventor는 일본, 미국, 중국, 영국, 한국 등의 순으로 나타났으며, 일본이 전체의 약 70% 차지

○ 핵융합 기술 관련 진공용기, 내벽, 자석, 핵융합로 분야 등에서 일본의 히타치, 도시 바, 스미모토 등 일본 대기업의 기술선점이 이루어짐

○ ITER 프로젝트 외에 각국이 개별적으로 실행하는 핵융합 프로젝트에 일본 스타트업(교토퓨저니어링 등)들이 참여하여 수행 중

* 교토퓨저니어링: 세계 최초로 전기 생산을 실증할 수 있는 '유니티(UNITY)'라는 시설 구축하여 자체 개발한 핵융합 설비들을 조립해 내년('24)까지 유니티를 구축하여 전기 발전 실현하고자 함

[그림 21] '유니티(UNITY)' 구상도 및 자이로트론

2. 국내 핵융합에너지 생태계분석

2.1. 국내 핵융합 관련 정책 및 기업동향
2.2. 국내 핵융합 분야 주요 기술동향
2.3. 국내 핵융합 분야 수출현황 및 성공사례

2.1. 국내 핵융합 관련 정책 및 기업동향

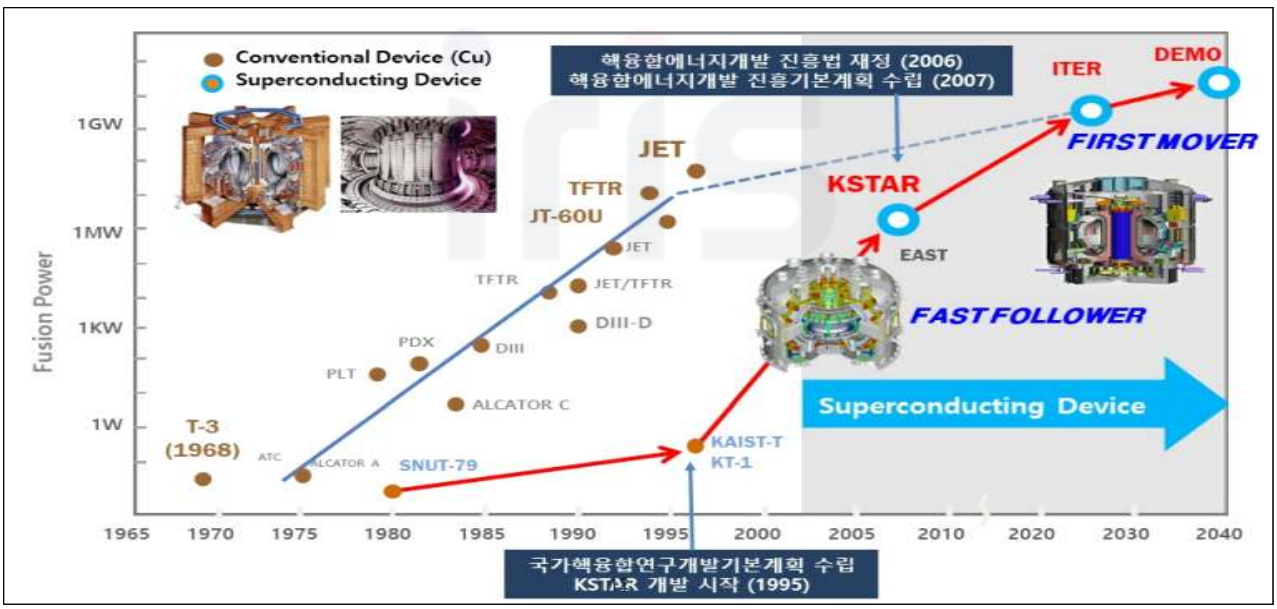
2.1.1. 국내 핵융합 관련 정책동향

□ 국가 핵융합 연구개발 기본계획('95)을 시작으로 '06년 핵융합진흥법 제정 및 5년 단위 '핵융합에너지개발 진흥기본계획'에 따라 핵융합 R&D를 추진하고 있음

○ (배경) 선진국과의 기술격차 극복을 위하여 중간진입전략을 채택하고 KSTAR 건설 성공 및 ITER 사업 참여

– (목적) '95년 국가핵융합연구개발위원회 신설 및 국가 핵융합 연구개발 기본계획 수립 등을 통해 차세대초전도 핵융합연구장치(KSTAR) 개발, ITER 참여 기반 마련

[그림 22] 우리나라 핵융합R&D 중간진입과정 및 발전방향



* 출처: 핵융합에너지 KISTEP, 2020

– 제3차 핵융합에너지개발 진흥기본계획('17~'21)'에서는 '40년대 핵융합 발전소 건설능력 확보를 위해 3대 중점 추진전략*을 수립 및 2단계 목표 달성 지원을 제시

* ① DEMO 핵심기술 개발 기반 확보, ② 핵융합 연구기반 및 인재양성 체계 강화, ③ 핵융합에너지개발 지지기반 확대 도출

※ [참고] 국내 연구동향

- **(KSTAR)** 초고온·고성능 플라즈마 운전 등 핵심기술 확보를 통해 노심 플라즈마 분야에서 우수 연구성과 및 인력 확보
  - 이온온도 1억도의 초고온 플라즈마 달성('18) 및 유지 시간 지속 연장('21년 30초) 등 세계적 수준의 우수 연구성과 창출
  - 국제협력 연구(ITER기구-한국-EU-미국)를 통해 ITER 난제 해결을 위한 '플라즈마 붕괴 완화' 기술 검증 수행('19)

- **(ITER 한국사업)** ITER 장치·품목의 성공적 제작·조달 및 ITER 국제기구 한국인 근무자 지속 확대를 통해 핵융합 기술역량 강화
  - 엄격한 기술·품질·안전 요건에 따른 제작 과정에서 초대형·초정밀 기술 다수 확보, ITER 고난이도 핵심품목 조달 성공
  - 한-EU ITER 테스트블랑켓모듈(TBM) 공동개발*을 통해 ITER 운영단계(`26~)에서 핵융합 환경 하에서의 증식블랑켓 기술 검증

  * 증식블랑켓은 핵융합로 노심을 둘러싸고 ①삼중수소 증식, ②에너지변환·추출, ③방사선 차폐 기능을 수행하는 핵융합로의 핵심부품으로, ITER 환경에서의 설계기술 검증을 위해 한-EU 공동연구 추진(`12~)

- **(장기 일정계획)** 「제4차 핵융합에너지 개발진흥 기본계획('22~'26)」을 통해 '50년대 전력생산 실증을 위한 장기 일정 목표를 수립
  - 실증로 기본개념 확립('22), 이를 바탕으로 장기 R&D 로드맵 수립 및 실증로 설계 착수('23), ITER 성공 확인 후 실증로 건설여부 결정(`35년경)

<핵융합 핵심기술 확보 장기 일정 로드맵>

- **(실증로 설계 일정(안))** 한국형 핵융합 전력생산 실증로의 특성에 따라 상세설계 및 인허가의 단계별 추진으로 조기 건설 착수 추진

<핵융합 실증로 설계 및 건설 일정(안)>

□ 제4차 핵융합에너지 개발 진흥 기본계획(2022~2026)

○ **(목표)** 핵심기술 개발가속화·전략적 기반조성으로 핵융합에너지 실현을 위한 국내외 노력 선도

* KSTAR 장치 실험목표 달성, ITER 건설 마무리 단계 진입, 장기 연구개발 로드맵 구체화, 핵융합 규제 체계 기본방향 마련

○ **(전략)** ❶ 핵융합 특화 전략·제도확충, ❷핵융합 핵심기술개발 촉진 및 기반 강화, ❸ 국제협력을 통한 첨단기술 확보 가속화

<표 18> 전략별 주요과제

전략	주요과제
❶ 핵융합 특화 전략·제도확충	1-1) 장기 연구개발 로드맵 구체화 및 체계적 이행
	1-2) 핵융합 특화 제도·체계 등 종합 기반 확충
❷핵융합 핵심기술개발 촉진 및 기반 강화	2-1) KSTAR를 활용한 고성능 플라즈마 기술 연구
	2-2) 전력생산 실증 핵심기술 개발 강화
	2-3) 핵융합 인재 양성 및 산업 생태계 활성화 지원
❸ 국제협력을 통한 첨단기술 확보 가속화	3-1) ITER 사업을 통한 핵심기술 확보 극대화
	3-2) 주요 핵융합에너지 개발국과의 전략적 기술협력 강화

– (과제: 2-2) 8대 핵심기술을 중심으로 전력생산 실증 핵심기술 개발 노력을 강화하고 산·학·연 전문가가 참여하여 핵융합 전력생산 실증로 예비개념설계 추진

[그림 23] 주요 사업과 핵심기술 분야 연계 현황

	노심 플라즈마	블랑켓	소재	연료주기	디버터	가열·전류구동	초전도 자석	안전·인허가
KSTAR 연구	✔					✔		
ITER 참여	✔	✔	✔	✔				
핵융합 선도기술개발	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔
초전도자석 분야 R&D 사업							✔	
(기타)핵융합연 주요사업 등					✔			✔

– (과제: 3-2) 핵융합에너지 개발은 모든 국가가 최초로 도전하는 기술인만큼 주요 기술 선도국과 적극적인 협력을 통해 핵심기술을 효과적으로 확보

– 주요 핵융합 기술 선도국과 양자 연구협력 강화 각국과 중점 협력 분야 및 실증 핵심기술 분야를 중심으로 정책교류, 기술협력 및 공동연구 프로그램 발굴·강화

<표 19> 주요국과의 핵융합 국제협력 현황

국가	주요협정	협력주요현황
일본	핵융합협력 약정('04)	·KSTAR 플라즈마 가열, 부대 장치 공동개발, 장비 무상 도입 ·KSTAR-LHD 장치 간 실험 협력 및 인력 교류 ·ITER 기술 협력 (일차벽 및 블랑켓, 삼중수소 시설, 진단분야)
EU	핵융합협력 협정('06)	·한-EU기술관리계획('19)에따른실증주요기술분야협력 ·한-EUITERTBM공동개발협력추진협의중 ·ITER플라즈마붕괴완화시스템 관련연구장치실험협력
미국	핵융합 연구협력 시행약정('10)	·KSTAR 장비 무상 도입 ·한-미간장시간플라즈마연구,실시간제어시스템구축협력 ·ITERSPI플라즈마붕괴완화시스템 관련연구장치실험협력
중국	핵융합협력 약정('11)	·KSTAR-EAST 연구장치 협력 ·ITER 조달 관련 기술협력(블랑켓 차폐블록, 전원장치 등)
영국	-	·신규협력 논의 중 →협력 분야 도출 및 협력체계 마련 추진('22)

- 한-EU ITER 테스트 블랑켓모듈 공동개발을 통해 블랑켓 핵심기술 확보

☞ ITER의 핵융합 환경에서 열추출·연료주기 등 실증기술을 검증하기위해 한국이 참여('12~)해오고 있는 'TBM 프로그램'을 EU와의 양자 공동개발 협력으로 전환 추진하여 기술 확보 극대화

* 증식블랑켓: 핵융합로 노심을 둘러싸고 ①삼중수소 증식, ②에너지 변환·추출, ③방사선 차폐의 3대 기능 수행

→ TBM은 ITER에 설치하여 성능·타당성을 검증하는 '증식블랑켓 시험모듈'

[참고] 핵융합 관련 국내 지자체 관련 계획

○ 한국핵융합에너지연구원·대전테크노파크과 산업 육성 협력('23.12)

- (현황) 대전시는 핵융합에너지 산업 육성을 위해 6일 신세계백화점 엑스포타워 D-유니콘라운지에서 '대전지역 핵융합 분야 기술 사업 활성화 협약'을 체결
- (주요내용) ▲핵융합산업 육성 지원체계 구축 ▲기술개발 및 사업화를 위한 공동연구 협력 ▲산업생태계 활성화를 위한 기반시설 조성 협력 ▲혁신기업 육성을 위한 공동 협력

○ 전남도, 핵융합 연구시설 유치('21.03)

- (현황) '전라남도 과학기술발전위원회'를 열어 인공태양과 우주발사체 산업생태계 조성
- (주요내용) 한국에너지공대와 연계한 첨단과학기술단지 구축으로 대한민국에너지수도 정착
- 인공태양 산업생태계 구성에 따른 투자 촉진으로 지방화시대 선도와 연구인력·근로자 유입을 통한 20만 강소도시 도약

2.1.2. 국내 핵융합 관련 기업동향

□ 국내 핵융합 관련 산업체 동향

○ ITER 건설 등 관련 국내 산업체의 해외 수주 지속 증가, 핵융합 및 파생 기술 분야 산업체 협력 및 관련 기술이전 확대

– 정보 제공 및 ITER Business Forum('17, '19, '21) 등 네트워킹 지원 노력/ 국내 산업체는 ITER기구·타회원국으로부터 159건(6,747억원)의 용역 및 제작수주('07~'21.10 누적)

– '핵융합·가속기 산업체 상생한마당' 매년 개최, 평균 약 40개 업체 참여 /핵융합(연) 기술이전 증가(('17) 7건, 4.03억원 →('20) 10건, 9억 5700백만원))

– ITER 관련 수주 이외에는 민간 부문에서 핵융합 기술에 대한 인식 및 활동이 저조한 편

[그림 24] 국내 핵융합 분야 기업 구성('18)

* 출처:핵융합및가속기산업분야국내생태계종합실태조사, 연구재단, 2020

– '23년 ITER 기구 및 타 참여국으로부터 약 350억 원(총 10건)규모의 연구·서비스 용역과 물품 제작을 수주하였으며, 국내 산업체가 제작에 참여하고 있음

<표 20> 연도별 수주 실적

발주처	구분/년	'18	'19	'20	'21	'22	'23	합 계
ITER 기구	(건)	6	7	12	15	12	9	141
	(억원)	226	50	332	440	97	330	4,614
타회원국	(건)	5	4	1	2	1	1	43
	(억원)	87	145	32	22	8	23	2,712
합 계	(건)	11	11	13	17	13	10	184
	(억원)	313	195	364	462	104	353	7,326

○ ITER 국제기구 참여국별 인력 현황('19년 기준)을 살펴보면 총 861명의 인력보유하고 있으며 EU는 전체의 70% 가량인 597명, 중국 82명(9.5%), 한국 32명(3%)의 인력을 파견

* IPA(ITER Project Associates)는 현재 인력(861명)을 향후 1,050명 수준까지 확대하고자 함

– 중국은 국가 전략 차원에서 젊은 연구자들을 적극적으로 파견하며 참여 인력의 비율을 높이고 있는 반면 한국과 일본은 높은 투자재원에도 불구하고 상대적으로 저조

– 한국 투입인력 비중은 3%로 타국가대비 많이 낮은 것으로 확인되기에 7%까지 투입인력 확대가 필요

* 국제핵융합실험로(ITER) 국제기구의 에이스케 다타(Eisuke TADA) 행정사무차장

○ 한국은 진공용기 6번 섹터를 제작중이여, 일본으로부터는 TF코일 등의 대형 조달품이 들어와 본격적인 조립공정 수행 중

– 숙련된 인력이 요구됨에 따라 우수 연구자와 엔지니어들의 ITER에 파견을 통한 역량향상 필요

* 핵융합선도기술개발사업('23)을 통하여 우수연구그룹지원 및 신진인력의 ITER 국제기구 근무 지원

[참고] 한국과 일본, 분담비 대비 ITER 파견 낮음('18)

○ ITER 프로젝트에 숙련된 기술자가 필요한 가운데 KSTAR로 우수한 역량을 갖춘 한국 연구자들이 ITER 국제기구에 보다 많이 진출이 요구됨

– EU가 45.46%, 나머지 6개국이 각각 9.09%를 현물과 현금으로 분담하고 있으며, 각국은 인력·재원에서 분담비에 상응하는 기여를 할 수 있는데 상대적으로 비율이 저조

– EU는 861명의 ITER 근무자중 597명(69.3%)를 파견했으며, 중국도 82명(9.5%)을 차지

○ 핵융합 설계/제작기술분야 주요 플레이어로는 다원시스, 넥상스코리아, 현대중공업, 모비스 등으로 확인

<표 21> 핵융합 분야 제작 기술 보유 주요 기업 현황

구분	주요 기술명	기술력
1. 다원시스	고전압 장치 제작 기술	100
2. 제이에이치엔지니어링	초전도 자석 제작 기술	100
3. 넥상스코리아	핵융합용 초전도 케이블 제작 기술	100
4. 현대중공업	대형 초정밀 부품 가공 기술	95
5. 비츠로테크	확산접합	95

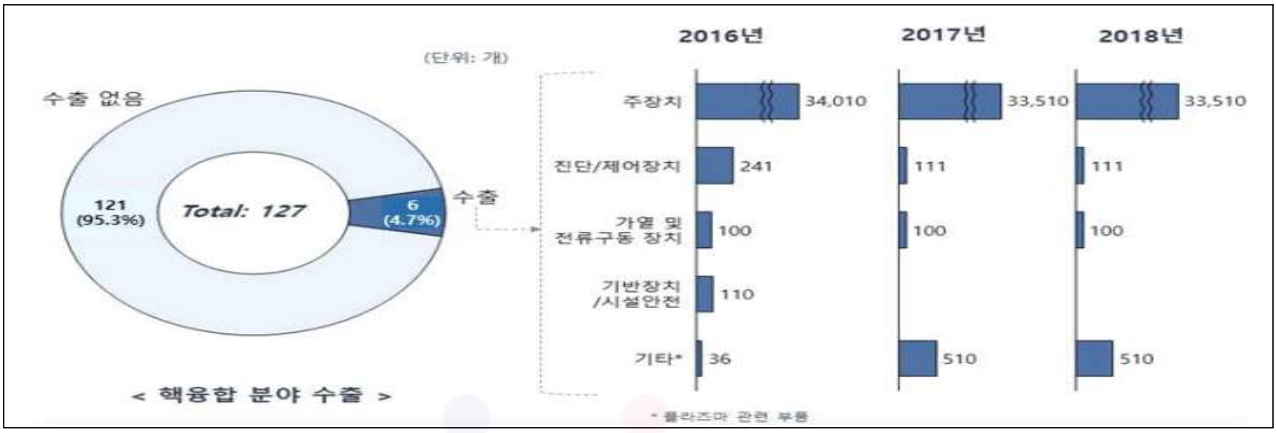
* 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

○ (수출) 국내 핵융합 관련 업체 중 4.7%에 해당하는 6개 업체만이 수출 실적 기록하고 있음

＊ 핵융합 분야 수출 상세 내역(2018년 기준)

– 넥상스코리아, 다원시스, 모비스, KAT, 현대중공업 등이 주로 ITER 사업을 통해 수출 실적 창출

[그림 25] 핵융합 분야 수출 현황



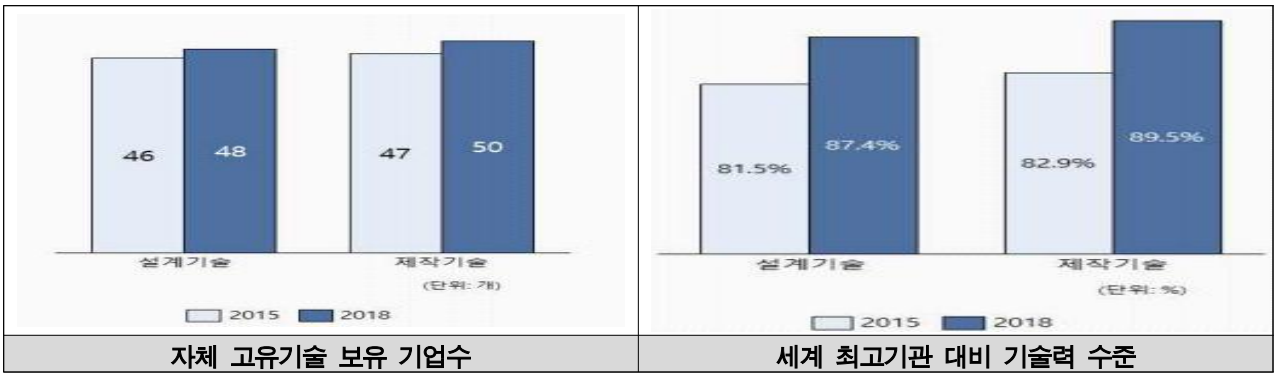
＊ 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

○ (기술 노하우) 자체 설계기술 및 제작기술 보유 기업 모두 증가

○ (기술력 수준) 설계기술과 제작기술 기술력 수준 모두 증가

– KSTAR, ITER 등 국내외 핵융합 관련 대형사업에 지속적으로 참여한 기업체를 중심으로 관련 제품에 대한 설계 및 제작 기술력이 꾸준히 증가한 것으로 파악됨

[그림 26] 핵융합 분야 국내 기업 기술력 수준



자체 고유기술 보유 기업수 | **세계 최고기관 대비 기술력 수준**

＊ 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

<표 22> 핵융합 분야 수출업체 현황

순번	기관명	주요사업 및 제품
1	한국핵융합가속기기술진흥협회	핵융합·가속기
2	(주)금룡테크	가속기용 전자석 및 초전도 자석
3	(주)다원시스	특수대용량 전원장치
4	(주)동아하이텍	전원장치, 고전압 CCPS
5	(주)디케이	진공브레이징, 열교환기
6	(주)모비스	핵융합, 가속기 제어장치
7	(주)모션하이테크	가속기 빔라인장치, 방사선 장치
8	(주)비츠로테크	대형 전력기기 장치, 가속관, 도파관
9	(주)성산전자통신	전력증폭기, RF특수장비
10	(주)성호하이텍	공작기계부품, 산업자동기계
11	(주)엠케이브이	펄스 모듈레이터
12	K.A.T(주)	초전도선재
13	RFHIC(주)	통신, 트렌지스터, RF장비
14	한국전력기술(주)	핵융합 설계 및 기술용역
15	한미테크윈(주)	가속기용 전자석 및 초전도 자석
16	현대중공업(주)	ITER 특수장치, 압력용기
17	(주)현우	진공 챔버 및 용기
18	(주)뉴젠텍	가속기 정밀가공
19	(주)무진기연	원자력 보조기기
20	(주)삼흥기계	ITER, 열차폐체 제작
21	(주)서남	초전도, 나노 및 첨단소재
22	(주)수퍼제닉스	고온 초전도 마그네트
23	(주)쎄크	검사기, x-ray, 가속기
24	(주)알파이브이에스	진단장치, 빔라인, 진공장치
25	(주)에스브이엠테크	기체펌프(극저온 펌프부품)
26	에스에이 엔지니어링(주)	초정밀 측량, 정렬
27	이엠코리아(주)	방산, 항공, TBM 발전산업
28	터보윈(주)	펌프, 압축기
29	(주)하늘엔지니어링	고진공, 초저온시스템
30	한국수력원자력(주)	전기업
31	(주)휴먼텍	epics기반 제어시스템, 정밀온도 냉각시스템
32	(주)거성씨앤티	화학세정 금속표면처리
33	금강테크(주)	전기용 기계장비부품, 전원장치
34	넥상스코리아(주)	전력선, 통신케이블선, 특수선, 광케이블
35	대정에이앤지(주)	산업용 제어설비
36	대흥정밀산업(주)	자동화/진공시스템 정밀가공부품
37	(주)두진	초저온 진공배관
38	(주)비지티	기계·전기전자 부품
39	(주)삼영유니텍	연마성형시스템, 산업기계, 공장자동화기기
40	(주)세이저온	액화 및 극저온설계·운전·유지보수
41	쓰리알랩(주)	저항기, 전력반도체, 전자부품
42	(주)씨브이	극저온기기, 진공단열배관(SIVP) 초전도기기 도매
43	(주)씨테크시스템	컴퓨터시스템구축, 네트워크 장비
44	(주)아이티에스	진공 부품 및 기기
45	(주)에이치엠티	전자계측장비
46	에이치케이티전기(주)	변압기, 전기집진장치
47	(주)엠티에스	반도체 제조, 정밀부품가공
48	(주)이레이티에스	수배전반, PLC
49	(주)인텍텔레콤	LLRF, 소프트웨어 개발
50	일진기계(주)	산업기계, 발전설비
51	(주)일진파워	열교환기, 압력용기, 반응기, 밸브
52	정우이앤이(주)	초저온밸브, 산업기계
53	진우기전(주)	전력기기, 진공부품
54	(주)포스코ICT	IT, 전기제어기술엔지니어링
55	한국스틸(주)	주강품, 자유단조용 INGOT
56	한국초저온용기(주)	초저온 공급장치

※ [참고] 핵융합 산업*동향

* 기반정치/시설안전, 진단/제어장치, 주장치로 구분

- 표준산업분류기준 제조업, 도매 및 소매업(전문부품) 순으로 기업 참여하고 있으며 건설업의 경우 냉각, 공조, 수전, 전력, 통신시설 등과 관련된 특수 시설을 의미함

* 국내 핵융합 분야는 83% 소기업 해당

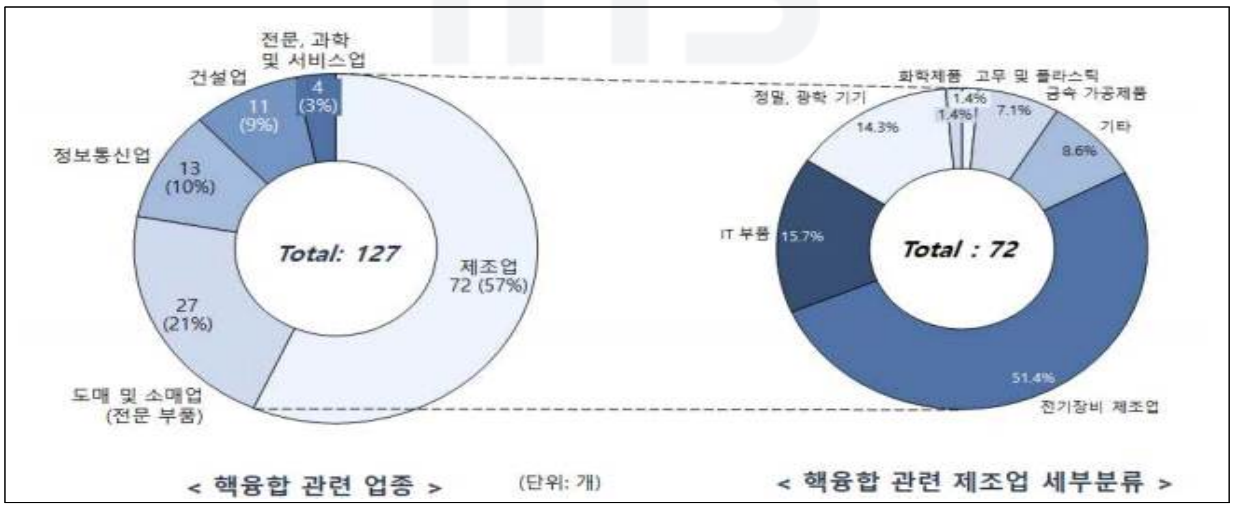
<핵융합 산업 분류체계>

산업 구분(대분류)	세부 품목(중분류)
Ⓐ 주장치	초전도자석, 진공용기, 블랑켓, 디버터, 조립장비, 저온탱크, 열차폐체, 연료주입장치
Ⓑ 진단/제어 장치	제어 및 데이터처리시스템, 진단
Ⓒ 가열 및 전류구동 장치	고주파가열 및 전류구동장치, 전자공명 가열 및 전류구동장치, 중성입자빔 가열 및 전류구동장치
Ⓓ 기반장치/시설안전	전원공급장치, 헬륨냉각기 및 분배, 냉각수 공급장치, 진공배기시스템, 삼중수소 분리 및 회수장치, 방사선 안전 시설, 그 외 특수 건축시설
Ⓔ 과학연구	핵융합 이론연구, 핵융합 실험연구
Ⓕ 기타	그 외 따로 분류하기 어려운 품목

* 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

- 기업체는 제조업 72개(57%), 도매 및 소매업 27개(21%), 정보통신업 13개 (10%), 건설업 11개(9%), 전문·과학 및 서비스업 4개(3%)으로 나타남

<표준산업분류 별 핵융합 기업체 분포 및 제조업 세부 분류>



* 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국 핵융합·가속기 연구조합 외, 2019

□ 기업 간담회개최를 통한 산업체 현황 파악

○ (주요 이슈) 기업간담회*를 통하여 국내 기업의 해외 진출 및 수출 관련 주요 이슈를 발굴하여 해결방안을 마련하고자 함

* 과기부 핵융합 실증로 설계 관련 산업계 사전 간담회개최

<핵융합 기술얼라이언스 회의 개요>

- 핵융합 관련 기업을 대상으로 국내 기업의 해외 진출 및 수출지원 관련 정책 마련을 위해 해소해야 할 이슈 발굴 및 의견수렴

– (일시) 2023.11.23.(목)
– (구성) 핵융합 실증로 W/G 참여 신청기업 약 20명 내외
– (논의사항) 국내 기업의 해외진출, 수출 관련 현황 및 애로사항, 해외진출,수출 관련 정책지원 요청사항 등

(1) 애로사항

– (기업의 기술 수준) 현재 참여기업은 연구개발단계(초기)로 트렉 레코드확보도 어려운 실정임, 수출 가능한 단계가 아님

– (데이터) 정부는 관련 기업이 보유하고 있는 기술과 그 기술에 대한 수준(기술력)에 대한 자료확보가 되어있지 않으며 해외동향 자료 및 관련 소식에 대한 지원이 부재함

– 나라별 코드 앤 스탠다드가 제각각이며 인허가기준도 다양함에 따라 이를 대응할 수 있는 업체는 전무함

(2) 지원방안

– 기존 ITER사업에 대한 수출 전략(각국 DEMO Plant) 마련 및 기술적 측면 육성방안 마련

– 정부가 핵융합 육성/지원 아젠다(로드맵)을 제시하여 선제적으로 적극적인 투자 의지를 보여준다면 기업의 투자는 자연스럽게 이루어질 것임(국가주도)

(명확한 목표제시) ITER사업에서는 더 이상 국내 기업이 참여할 수 있는 영역이 없으며 남은 부분은 국내에서 해소하기 어려운 분야에 해당, 국가적 차원으로 지속적인 지원을 약속하는 계획 발표가 시급

(다양한 정보제공) 국내외 관련 동향에 대한 정보력이 많이 떨어짐에 따라 국내 기업의 접근성 또한 함께 낮아짐

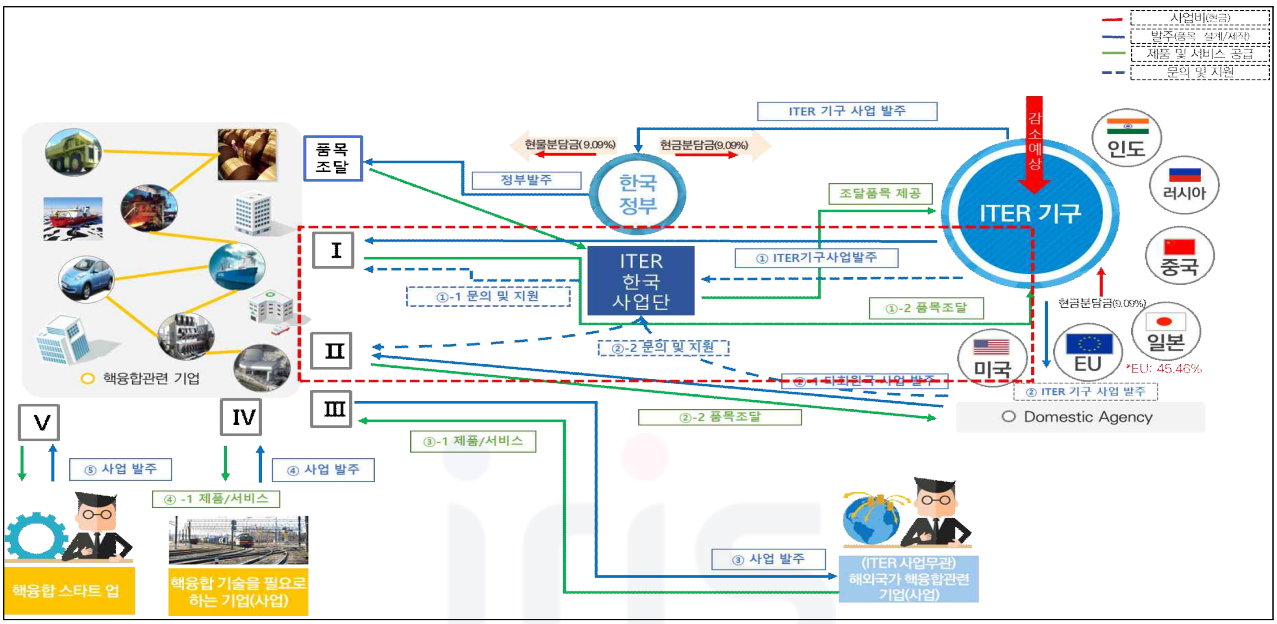
(인허가 등 글로벌 진출 시 필요한 제반사항 지원) 해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원마련이 시급(법적문제 등)

2.1.3. 국내 핵융합 관련 기업 매출구조 분석

□ 핵융합 관련 기업 매출구조

○ 국내 핵융합 관련 기업매출구조는 CASE-5개로 구분되며 ITER 사업을 통해 발생되는 사업이외 가능한 사업이 포함됨

[그림 27] 핵융합 관련 기업 매출구조



– 기존 수출 실적은 ITER 사업참여를 통한 성과가 다수를 차지하나 ITER 사업 또한 마지막 단계에 이르고 있기에 국내 관련 기업이 참여할 수 있는 추가 수요처 발굴 시급

<표 23> 유형 구분

구분	구분	발주처(고객)	계약형태	시장확대 가능성	비고
CASE- Ⅰ	ITER기구 직접 조달품목을 한국산업체/연구원 등 수주	ITER	직접계약	○	
CASE- Ⅱ	ITER 타회원국에 할당된 현물조달품목을 한국 산업체 수주	ITER	직접계약	○	
CASE-III	ITER 기술 활용하여 해외 핵융합 관련 제품 수주	해외국/기업	직접계약	◐	
CASE-IV	ITER 기술 활용하지만, 핵융합과 무관한 제품 수주	국내외 타 산업체	직접계약	◐	
CASE-V	해외 스타트업, 공공기관 핵융합 관련 제품 수주	해외 스타트업	직접계약	●	미래 수요처

* 확대가능성: 없음○/보통◐/ 많음●

(1) 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-I

□ ITER기구가 직접 발주하는 품목에 대한 아국 산업체 수주 (회원국 조달품목 이외)

○ 회원국에 할당된 조달품목 이외 ITER 기구가 직접 발주하는 품목의 경우, 국내 수주 가능한 기업들이 ITER 기구 공개경쟁 입찰에 참여하여 수주

[그림 28] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-I

- (이슈) ITER 기구가 직접 발주하는 품목의 국내 산업체 수주를 통한 수출 (조달품목 이외) 활성화 기여가 가능하나, ITER 사업이 마무리 단계에 접어들면서 ITER 기구 이외 수요처 발굴 필요

※ [관련 실적] ITER기구가 직접 발주하는 품목에 대한 아국 산업체 조달(조달품목 이외)

● **(현황)** ITER 한국사업단을 중심으로 우리나라 산업체의 ITER기구로 부터 수주 확대 지속 노력중

구 분		~2016년	2017~2019년	2020년	2021년	2022년	합 계
IO 수주	과제(건)	75	18	12	15	12	132
	수주액(억원)	3,008.9	406.4	331.8	440.0	96.6	4,283.7

* 국제핵융합실험로 공동개발사업 종합적 성과분석 보고서, KFE(2023)

(2) 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-II

□ ITER 타회원국에 할당된 현물조달품목을 한국 산업체 수주

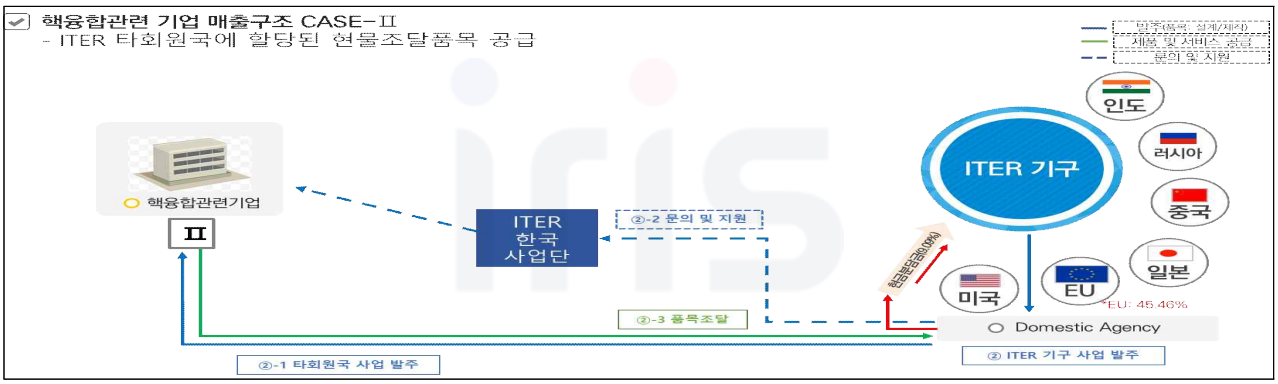
○ ITER 타회원국에 할당된 현물조달품목 중 가격 및 기술경쟁력이 타국가 대비 우수할 경우, 타 회원국 사업단과 협의 및 협상을 통해 국내기업이 공개경쟁 또는 우선협상을 통해 일부 공급

* EU: 45.46%, 타 회원국 9.09%,/ 분담방식 : 현물분담, 현금분담

– 우리나라의 경우 할당된 조달품목에 대하여 ITER 한국 사업단의 공개경쟁 입찰을 통해 선정된 국내 산업체가 제작 조달

– 타회원국 조달품목에 대한 수주실적은 국내 산업체 입장에서는 매출로 인정되어 국내 산업체의 입장에서는 조달품목 수주를 수출 실적으로 구분 가능

[그림 29] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-II



– (이슈) ITER 타 회원국의 요청에 따른 수주를 한 경우, 직접 수출에 해당하여 국내 기업 수출 활성화 기여가 가능하나, 타 회원국 조달 사업이 마무리 단계에 접어들면서, 수출 활성화를 위한 타 수요처 발굴 필요

※ [관련실적]ITER 타회원국의 현물조달 품목 중 일부 공급

● **(현황)** 타회원국으로부터의 수주실적은 매년 꾸준하게 이어지고 있으나 수주액은 ITER사업 마지막 단계임에 따라 감소하는 것으로 예상

구 분		~2016년	2017~2019년	2020년	2021년	2022년	합 계
타회원국	과제(건)	25	13	1	2	1	42
	수주액(억원)	2,301.6	325.4	32.3	21.9	7.8	2,689.0

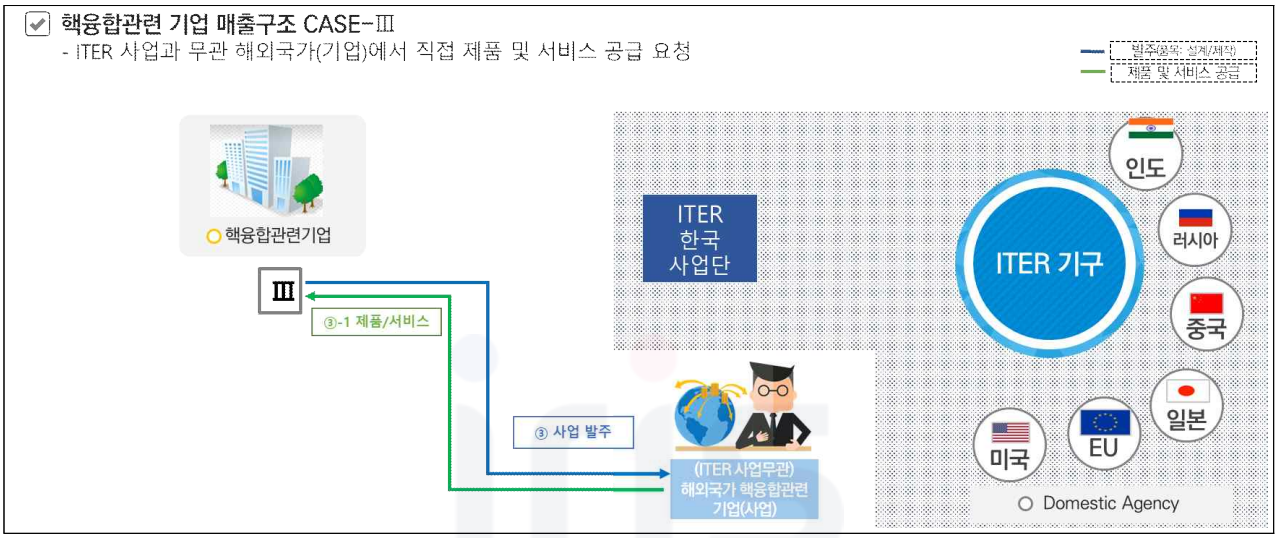
* (2020) 日: TFCS Component 제작, 하늘엔지니어링
* (2021) 日: TFC 가공 (TF Coil B-Segment Machining, 3 set), 일진기계/ 美CODAC Software Engineering Services, 모비스
* (2022) 日: Cooperation on ITER Diagnostic Port Integration of Lower Port #02, KFE(ITER), 현대중공업 등 여러 업체

(3) 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-Ⅲ

□ ITER 사업 기술 활용하여 해외국가(기업) 핵융합 관련 제품 직접 수주

○ ITER사업과는 무관하지만, ITER 사업 과정에서 개발한 기술을 활용하여 해외국에서 필요로 하는 조달 품목 제작 조달 또는 관련 서비스 수주 (사업단의 정보제공 노력 통한 기업 간 직접계약 형태)

[그림 30] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-III



- (이슈) 현재 전체 매출실적 중 ITER 사업을 통한 실적이 가장 많이 차지하고 있으며, 향후 ITER 사업이 종료되고 나면 확대 가능한 수요처에 해당

※ [관련 실적] ITER 사업과 무관 해외국가(기업)에서 직접 제품 및 서비스 공급 요청

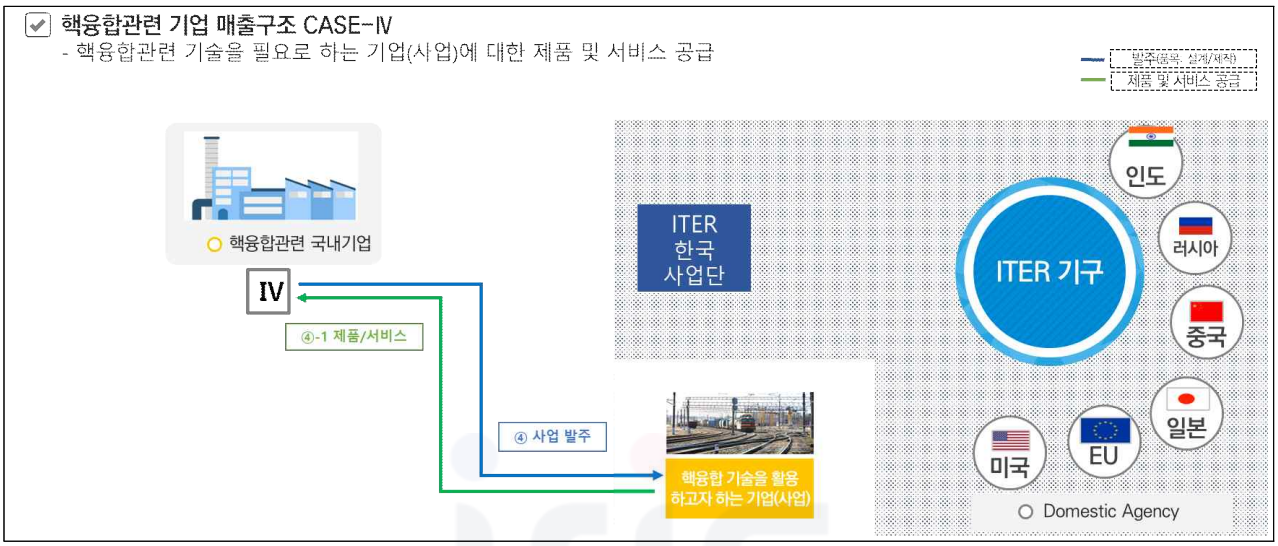
- **(현황)** 이탈리아 핵융합장치 초전도 선재 제작 사업 수주 성공('19)
  - **(참여대상)** 국내 기업 KAT-ITER 한국사업단 협력
  - **(수주규모)** 430억원
  - **(주요내용)**이탈리아에서 개발하는 토카막형 핵융합실험장치 DTT(Divertor Tokamak Test Facility)의 초전도 선재 제작 용역 수주에 성공하며 계약을 체결
  - 2020년부터 2022년까지 초전도 선재 55t을 이탈리아 ENEA(DTT 프로젝트 주관 연구원)로 납품

(4) 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-Ⅳ

□ **핵융합 관련 기술을 활용한 핵융합 분야 이외의 신규 사업 참여로 산업체 매출/수출 증대**

○ ITER사업 또는 핵융합과는 무관한 분야에 핵융합 관련 기술을 활용하여 국내외 사업 참여로 매출/수출 증대

[그림 31] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-IV



– (이슈) ITER 참여를 통해 확보한 기술을 기반으로 핵융합 외 다른 산업 분야 장치 조달 또는 서비스 참여 가능한 분야로 한국 산업체의 역할이 증가할 가능성이 있으며, 신시장 창출이 기대되는 영역에 해당

※ [관련 실적] 핵융합 관련 기술을 필요로 하는 국내외 기업(사업)에 대한 제품 및 서비스 공급

● **(현황)**

① 다원시스: 미얀마 철도 현대화 사업 수주('18) (현재, 국내 지하철 사업 지속 참여 중)

– **(사업규모)** 3762만달러(약430억원)

– **(주요내용)** 미얀마 철도 현대화 사업에 관한 계약을 체결

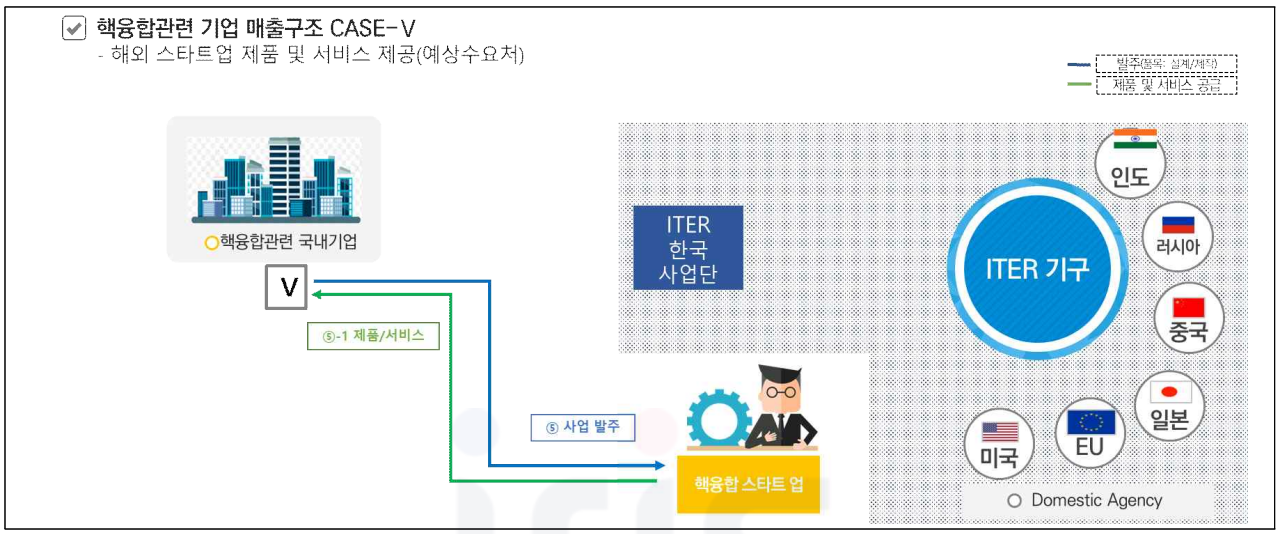
– 한국철도공사의 미얀마 철도청에 대한 사업 컨설팅 하에 20개월간 3762만달러 규모의 객차 100량과 기타 장비 등을 공급할 예정

(5) 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-V(예상)

□ **해외 핵융합 분야 스타트업 또는 공공기관 제품 및 서비스 제공**

○ ITER사업과는 무관하지만, ITER 사업의 경험을 토대로 해외 핵융합 관련 선도국 스타트업 또는 공공기관 발주 사업에 관련 제품 및 서비스 분야 참여 가능

[그림 32] 핵융합 관련 기업 매출구조 CASE-V



- (이슈) 미국의 경우 관련 스타트업 약 40여 개. 또한 유럽, 영국, 일본, 중국 등 ITER 회원국을 중심으로 스타트업 기업 탄생

- 특히 중국, 일본, 유럽 등 ITER 회원국 정부 중심으로 자국의 DEMO 건설 계획을 추진 중으로, 향후 매우 중요한 수출 시장으로 기대됨

<표 24> CASE별 향후 전망 및 이슈

구분	구분	향후 전망 및 이슈
CASE- I	ITER기구 직접 조달품목을 한국산업체/연구원 등 수주	ITER 발주의 특성상 품목 및 대상이 제한적이므로 ITER 사업 종료시를 고려하여 대체 매출처 확보 필요성 존재
CASE-II	ITER 타 회원국에 할당된 현물조달 품목을 한국 산업체 수주	
CASE-III	ITER 기술 활용하여 해외 핵융합 관련 제품 수주	ITER 사업 과정에서 개발한 기술을 활용하여 품목 및 서비스를 수주하는 경우로 이 과정에서 국내 기업의 우수한 기술력에 대한 대외인식 강화 필요 - ITER 사업이 종료된 후에도 기술력을 활용하여 핵융합 분야의 국내 우수한 기술력 극대화 가능 - 국내 기술력 인식 강화를 위한 홍보 등 지원체계 필요
CASE-IV	ITER 기술 활용하지만, 핵융합과 무관한 제품 수주	핵융합 관련 기술을 활용한 국내외 사업 참여 확대를 위해 핵융합 분야 이외 유관기술, 제품 분야 투자 확대 및 심층적 연구를 통해 역량 확대 필요
CASE-V	해외 스타트업, 공공기관 핵융합 관련 제품 수주	글로벌 경쟁력 확보를 위해 국내 제품 인증, 수출지원, 인식 제고가 필요하며 다양한 매출 경로 확보 지원 필요

2.2. 국내 핵융합 분야 주요 기술 동향

2.2.1. 핵융합 관련 기술 동향

□ 핵융합 기술의 정의 및 범위

○ (정의) 가벼운 원자핵들이 더 무거운 원자핵으로 합쳐지는 현상이며 핵융합 시 질량결손에 따라 발생되는 에너지($E=mc^2$), 즉 핵융합 에너지가 발생됨

– (핵융합 반응 유도 방식) 플라즈마를 제어하는 방식에 따라 자기 가둠 방식과 관성 가둠 방식으로 구분

– (핵융합 기술 범위) 핵융합 발전 과정에 따라 연료주기, 핵융합로 노심, 시스템통합, 핵융합 재료, 전력 계통 공학 등으로 구분할 수 있음

<표 25> 핵융합 분야 주요 기술 분류

분류	세부내용
연료주기 기술	• 핵융합로의 연료주기를 발전소 내에서 충족하도록 하는 제반 기술을 말하며 삼중수소의 증식, 추출 및 저장과 발전소 내외 누출을 허용한계 이하로 관리·제어하는 기술을 포함
핵융합로 노심 기술	• 고온·고밀도의 플라즈마를 연속적으로 유지 · 제어하는 기술로 연속운전 기술, 노심해석 및 설계기술, 플라즈마 진단기술, 플라즈마 가열 및 전류구동기술 등을 포함
핵융합로 시스템 통합 기술	• 핵융합로의 노심과 핵융합 반응에 의해 발생한 중성자 에너지가 전기 에너지로 변환되는 모든 계통의 설계와 관련된 기술
핵융합재료 기술	• 고에너지 중성자 및 초고온 환경에서 사용이 가능한 재료 및 초전도체에 대한 기술로 고온 초전도체 재료기술, 제1벽 재료기술, 저방사화/초고온 재료기술, 증식재/냉각재 재료 기술 등
전력계통 공학 기술	• 핵융합로의 노심에서 발생하는 에너지를 안전하게 2차 측으로 전달하는 계통의 설계 및 해석에 관련한 기술로 블랑켓 설계기술, 냉각재 순환기술, 원격제어기술, 안전계통 기술 등을 포함

* 출처: 핵융합에너지, KISTEP, 2020

□ 국내외 핵융합 관련 기술개발 현황

○ 주요국은 대체로 '50년대 전력 생산 실증을 목표로 기술개발에 박차를 가하고 있으며 '35년경 이후 ITER 중수소-삼중수소 연소실험 결과 확인 후 실증로 건설 추진 여부 결정

[그림 33] ITER 및 주요국의 핵융합 추진 일정 요약

* 출처: 제 4차 핵융합에너지개발 진흥 기본계획(2022-2026), 과기부, 2021

- (ITER 프로젝트 기술목표) 열출력 500MW 및 에너지증폭률(Q) 10 이상* 구현을 목표로 설계

  * 에너지를 1 투입했을 때 10 이상의 열 발생, 즉 50MW의 에너지로 500MW 이상의 열출력

<표 26> ITER 프로젝트 기술목표

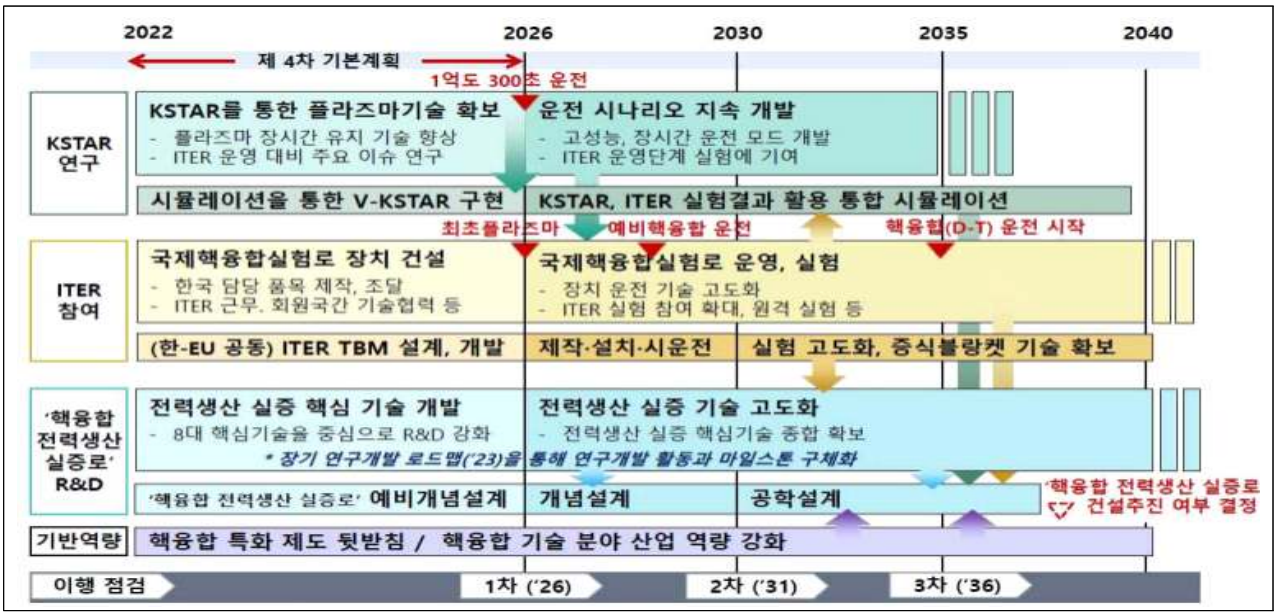
구분	기술상세
연료주기	삼중수소 자체 수급을 위한 생산·회수·저장·공급 관련 기술 개발, 즉 시험 블랑켓 모듈(Test Blanket Module, TBS) 프로그램 운영
핵융합로 노심	대형 장치에서의 플라즈마 물리 현상에 대한 검증과 플라즈마 전류 15.0MA, 평균 이온온도 약 1억 도, 유지시간 약 400초 구현을 목표로 함
핵융합재료	고에너지 중성자(14.1MeV) 및 고열 유속 환경에서 블랑켓, 다이버터 등 플라즈마 대면 재료 및 부품에 대한 연구

○ 우리나라는 국내 기술 역량과 ITER 건설·운영 일정 등을 고려하여, 2050년대에 핵융합 전력 생산을 실증*하기 위한 핵융합 핵심기술 확보 장기 일정 수립(제 4차 핵융합에너지 개발 진흥 기본계획)

* 미래 핵융합 전력생산 실증에 필요한 8대 핵심기술 도출

- 2035년경 이후 ITER 실험의 목표 달성(에너지 증폭률 10배) 성공 여부를 확인한 후 한국의 '핵융합 전력생산 실증로' 건설 추진 여부를 결정

[그림 34] 핵융합 핵심기술 확보 장기 일정



□ 제 4차 핵융합에너지 개발 진흥 기본계획內 8대 핵심기술의 범위

○ (정의) ① 향후 한국의 '핵융합 전력 생산 실증로'가 KSTAR와 ITER를 확장·발전한 토카막 방식을 채택 ② 핵융합 전문가들에 의한 현 시점에서의 최선의 과학 기술적 판단에 근거

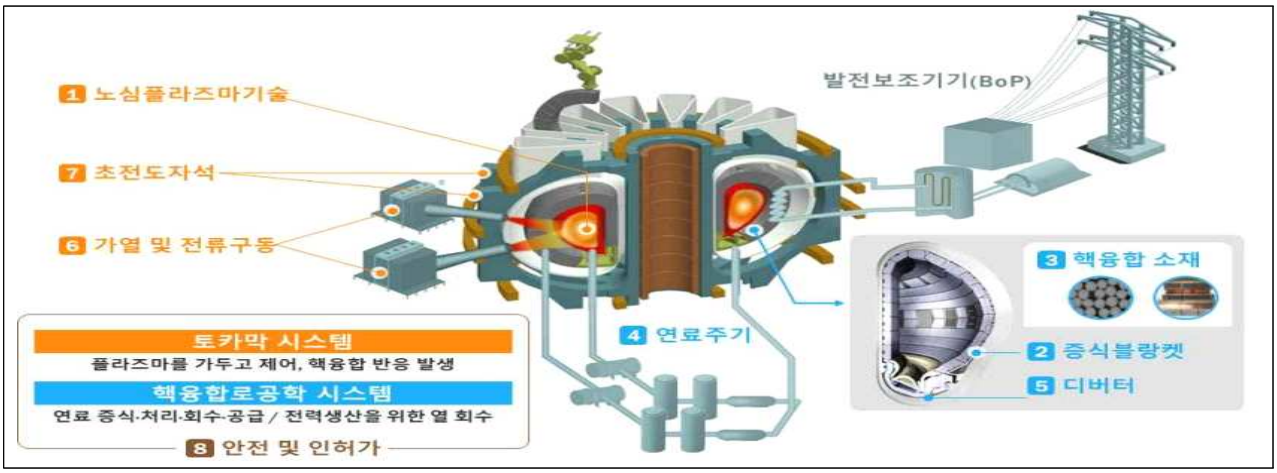
* 타 기술 분야(예: 원자력 등)에서 이미 성숙된 기술이 확보되어 있고 핵융합에 적용이 비교적 쉬운 기술이거나, ii)전세계적으로 기초단계에 있어 현 시점에서 '핵융합 전력 생산 실증로'의 기술적 기반으로 채택 검토가 어려운 기술은 범위에서 제외

○ (범위) 2050년대 핵융합 전력 생산 실증에 필수적인 기술로서 현재 진행 중인 연구개발 활동의 심화 또는 추가적·도전적 연구수행을 통해 과학 기술적·공학적 난제를 극복함으로써 확보 가능한 기술

– 핵융합 전력 생산 실증로 등 미래 핵융합 장치 등에 적용할 안전·인허가 체계를 확립하기 위해 필요한 기술 → ⑧ 안전·인허가

* ① 노심 플라즈마, ② 증식블랑켓, ③ 핵융합 소재, ④ 연료주기, ⑤ 디버터, ⑥ 가열 및 전류구동, ⑦ 초전도자석 기술

[그림 35] 핵융합 전력생산 실증을 위한 8대 핵심기술 범위



<표 27> 8대 핵심 기술

구분	세부기술	비고
1. 초고온·장시간·고밀도 노심 플라즈마 기술(토카막)	• 핵융합 반응을 위해 높은 온도(1억도 이상)와 밀도를 갖는 노심 플라즈마를 만들고, 제어·유지하는 운전 시나리오 개발	* ① 제어기술, ② 진단기술, ③ 시뮬레이션
2. 삼중수소 증식 및 전력생산을 위한 증식블랑켓 기술(로공학)	• 열에너지 변환 및 삼중수소 증식을 위한 내벽 부품인 '증식블랑켓' 기술 개발 및 실증로 환경 검증	* ① 설계/안전해석 체계 구축, ② 제작/검증 기술, ③ 계통 기술
3. 극한 열부하와 高중성자속을 견디는 고유 소재 기술(로공학)	• 핵융합로의 구조적 안정성과 에너지 생산의 효율성을 확보할 수 있는 소재 개발 및 물성평가 데이터베이스 구축	* ① 구조재, ② 대면제, ③ 기능소재
4. 핵융합 연속 반응 유지를 위한 연료주기 기술(로공학)	• 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 진공배기기술
5. 플라즈마 고성능 유지를 위한 디버터 기술(로공학/)	• 핵융합 환경에 직접 노출되어 불순물과 헬륨을 제어하는 장치인 '디버터'의 정밀한 설계·제어	* ① 디버터 설계 기술, ② 디버터 제작 및 검증 기술
6. 플라즈마 가열 및 전류구동 장치 기술(토카막)	• 플라즈마 성능 향상 및 안정적 유지를 위한 가열 및 전류구동 장치기술 개발	* ① 가열 및 전류구동 장치 기술, ② 가열 및 전류구동, 플라즈마 통합 기술
7. 플라즈마 안정적 가둠을 위한 고자장 초전도 자석 기술(토카막)	• 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
8. 기술 혁신 및 수용성 확보를 위한 안전•인허가 관련 기술(안전·인허가)	• 핵융합로 운전방식, 고유 안전성을 고려한 특수한 안전•인허가 체계 확립과 이를 위한 평가•검증 기술	* ① 안전선 평가 기술, ② 인허가 기술(요건 도출)

* 출처: 제4차 핵융합에너지 개발 진흥 기본계획(과학기술정보통신부, 2021)

○ (산업활동) 8대 기술 분야별 산업활동 분류

– 8대 세부 기술 분야를 전체 ITER 서플라이 체인(설계, 소재, 제작, 시공, 운영 등)에 따라 산업활동 분류

– 전문가 검토를 통한 핵심 기술별 산업활동 유형 분류 진행하였으며 핵융합 관련 기술의 대부분은 설계/엔지니어링, 제작, 소재에 해당되며 설계 및 제작이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타남

<표 28> 핵융합 전력생산 실증을 위한 8대 핵심기술 범위

구분	기술	세부기술(예시)	산업활동 유형분류(공급사슬)				
			설계/엔지니어링	소재	제작	A/S	기타
1	노심플라즈마 기술	1-1) 노심 플라즈마 제어기술	○				
		1-2) 노심 플라즈마 진단기술	○	○	○		재료
		1-3) 노심 플라즈마 시뮬레이션	○				
2	가열 및 전류구동 기술	2-1) 가열 및 전류구동 장치	○		○		
		2-2) 가열 및 전류구동 플라즈마 통합	○				
3	초전도 자석 기술	3-1) 초전도 선재		○	○		
		3-2) 초전도 도체	○	○	○		
		3-3) 초전도 자석	○		○		
		3-4) 초전도 자석기반 시스템	○		○		
4	증식블랑켓	4-1) 설계/안전해석 체계 구축기술	○				
		4-2) 설계 및 제작•검증 기술		○	○		
		4-3) 계통기술	○		○		
5	핵융합 소재	5-1) 구조재		○	○		
		5-2) 대면재		○	○		
		5-3) 기능소재		○	○		
6	연료주기	6-1) 삼중수소 안전	○				물질
		6-2) 삼중수소 정제•분리•저장 기술	○		○		
		6-3) 핵융합 연료 공급	○		○		
		6-4) 핵융합 진공배기	○		○		
7	디버터	7-1) 디버터 설계기술 개발	○				
		7-2) 디버터 제작 및 검증 기술개발	○	○	○		
8	실증로 안전·인허가 기술	8-1) 안전성 평가기술	○			○	○
		8-2) 인허가 기술	○				○

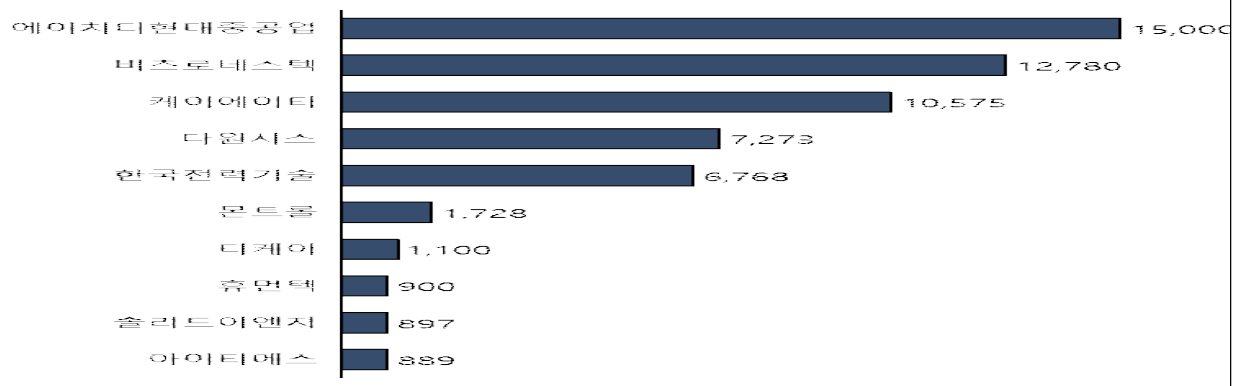
* 출처: 제4차 핵융합에너지 개발 진흥 기본계획(과학기술정보통신부, 2021)의 8대기술에 대한 전문가 검토

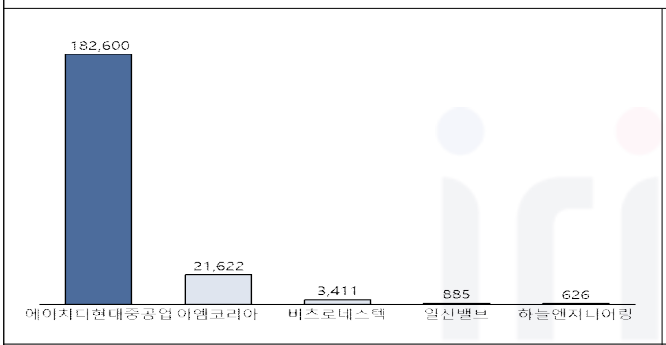
<참고> 핵융합기술*관련 기업 매출액 및 연구개발활동 현황

* 8대기술관련

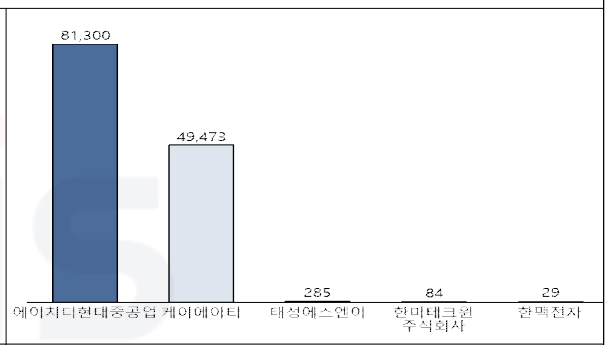
○ 매출 상위 10개 기업의 점유율은 최근 5년간 감소 추세를 보임. 기업별로는 현대중공업이 토카막주장치 제작 분야 등 150억원, 비츠로넥스텍이 4개 분야에 127.8억원 등으로 조사됨

(단위: 백만원)

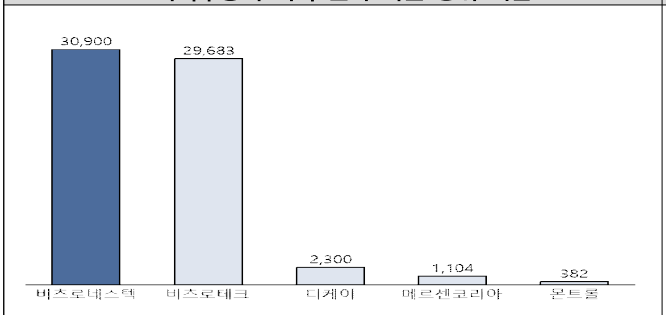




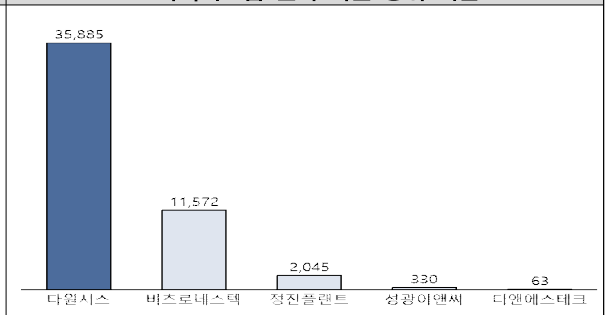
토카막주장치 제작 분야 매출 상위 기업



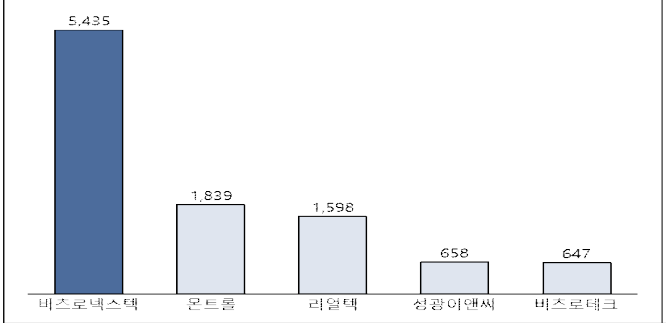
자석시스템 분야 매출 상위 기업



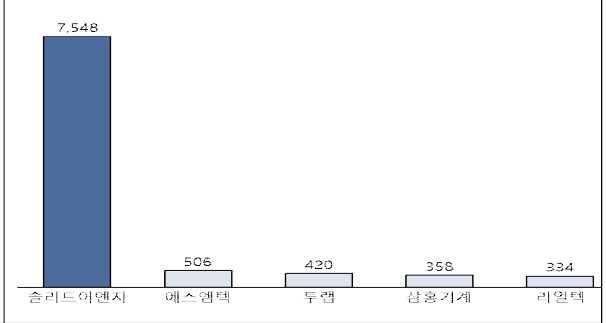
디버터분야 매출 상위 기업



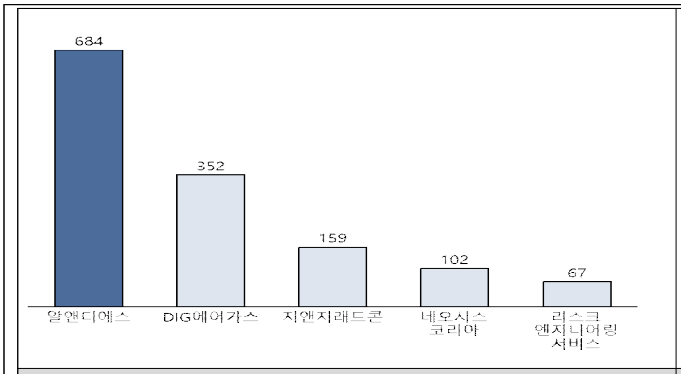
BoP동력변환 및 전력공급 계통 분야 매출 상위 기업



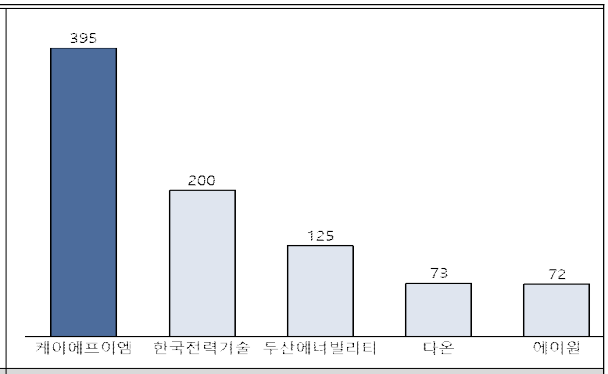
가열장치 분야 매출 상위 기업



노심 플라즈마 분야 매출 상위 기업



연료주기 분야 매출 상위 기업



증식블랑켓분야 매출 상위 기업

*출처: 핵융합 산업 인력 현황 실태조사 연구용역, KFE(2023)

○ 다원시스, 현대중공업, 비츠로테크, 모비스, 이엠코리아 등의 국내 기업들은 핵융합 에너지 상용화를 목표로, 초전도 자석, 진공용기, 고온 플라즈마 제어 기술 등 핵융합 관련 핵심 기술 개발에 주력

– 기업들은 정부 주도 하에 진행되는 K-STAR 프로젝트와 같은 국내외 대형 연구 프로젝트에 참여하여 기술력 강화

기업명	기술	연구개발활동	프로젝트 참여
다원시스	고전압 장치 제작, 연료주기 기술	전원장치 연구개발	ITER
현대중공업	대형 초정밀 부품 가공, 핵융합로 노심 기술	진공 용기와 포트(ports) 제작	ITER/K-STAR
넥상스코리아	초전도 자석 기술, 초전도 케이블 제작	고전압 및 해저 케이블기술	ITER
비츠로테크	핵융합 재료 기술, 고온 고압 견딜 수 있는 재료 개발	텅스텐 브레이징기술	iterate
모비스	핵융합 및 가속기 제어장치 기술, 시스템 통합 기술	EPICS 기반 중앙 제어 시스템, 인터락 시스템, 초전도 코일 전원 공급 시스템 등	ITITER/K-STARER
이엠코리아	핵융합 재료 및 장비 개발	고전압 큐비클(전기설비의 하나)과 신호 조절기, 토카막 보호 시스템 등	ITER/K-STAR
휴먼텍	epics기반 제어시스템, 정밀온도 냉각시스템	DAQ SYSTEM 개발 설계	ITER
동아하이텍	전원장치, 고전압 CCPS	전원장치(SMPS,CCPS, MPS) 설계	–
케이에이티㈜	초전도 선재	초전도선재 개발	ITER/K-STAR
㈜일신밸브	밸브 설계 및 제작 기술	ITER TCWS용 밸브설계 및 시제품 제작	ITER
㈜사이언스웍스	반도체, 입자 가속기 등 관련 기술	이종접합기술 확보 및 전기주조 공정 개발	–

* 인터넷 조사자료를 통하여 프로젝트 참여여부 정리

□ ITER 사업 관련 기술 확보 현황

○ ITER 기구가 요구하는 조건에 맞추어 개발·제작하기 위한 할당된 조달품목으로서 필요한 핵심기술(20개)

<표 29> 핵심기술 및 기술 내용

구 분	핵심기술 및 핵심요소기술	기술 정의
초전도 도체	1-1. 초전도 도체 설계기술	- 초전도 소재 성분/구조, 초전도 선재 성분/구조, 초전도 도체 구조 등의 최적화에 의하여 초전도 효과를 최대화할 수 있는 설계기술
	1-1-1. 초전도 선재 설계기술	- 초전도 선재의 직경, 도금조건, Twist 구조 등을 최적화할 수 있는 설계기술
	1-2. 초전도 선재 제조기술	- 초전도 선재의 생산성 및 품질 균일성을 최대화할 수 있는 제조기술
	1-2-1. 초전도 합금 소재 제조기술	- 초전도 합금 소재의 생산성을 높이고 성분 균일도를 향상할 수 있는 제조기술
	1-2-2. 복합소재 압출/인발 기술	- 초전도 복합소재의 압출/인발 공정시 선재단면의 균일도를 높일 수 있는 기술
	1-3. 초전도 도체 제조 기술	- 초전도 도체의 생산성 및 품질 균일성을 최대화할 수 있는 제조기술
	1-3-1. 케이블링 기술	- 초전도 케이블의 풀림 현상이나 외경의 변화를 최소화할 수 있는 제조기술
	1-3-2. 조관 기술	- 초전도 도체의 초전도 효과를 최대화할 수 있는 제조기술
	1-4. 초전도 도체 성능 평가 기술	- 초전도 도체의 품질 및 성능을 평가하는 기술
	1-4-1. 강관 저온특성 평가 기술	- 조관용 튜브의 저온인장 특성평가 기술
	1-4-2. 초전도 도체 저온성능 시험기술	- 초전도 도체의 저온 성능시험 기술
진공용기 본체 / 포트	2-1. 대형 진공용기 제조 기술	- 고진공용 대형용기 제조기술
	2-1-1. 후판용접기술	- 용접결함 및 열변형을 최소화할 수 있는 용접기술
	2-1-2. 비파괴 검사기술	- 용접 부위 100% 비파괴 검사기술
	2-1-3. 정밀조립기술	- 버츄얼피팅 기술을 활용한 대형 압력용기 정밀 조립기술
블랑켓 차폐블록	3-1. 블랑켓 차폐블록 설계 및 해석기술	- 핵융합 환경의 열 및 중성자 영향을 고려한 블랑켓 차폐블록 설계체계를 구축하는 기술
	3-1-1. 전자기력 해석기술	- 전자기력의 영향해석 및 부품설계기술
	3-1-2. 열수력 및 구조해석기술	- 열수력 및 구조를 고려한 설계 해석기술
	3-2. 블랑켓 차폐블록 제조기술	- 품질 요구수준에 맞는 블랑켓 차폐블록 제작기술
	3-2-1. 가공 및 용접기술	- 대형 초고진공 부품의 가공 및 용접기술 - 용접변형 및 열응력을 최소화할 수 있는 용접기술
	3-2-2. 품질 및 성능평가 기술	- 비파괴검사 및 수압/고온, 상온 헬륨누설 시험기술

구 분	핵심기술 및 핵심요소기술	기술 정의
조립장비	4-1. 조립장비 설계기술	- 조립의 정확성 및 안전을 고려한 조립장비 설계기술
	4-1-1. Scale-down 설계 검증기술	- 축소 모형 제작/시험을 통한 설계 타당성 검증기술
	4-1-2. 조립장비 설계기술	- 유럽기술기준에 따라 조립부품의 인양, 이동, 정렬기능 및 안전을 고려한 조립장비 설계기술
	4-1-3. 구조해석 기술	- 유럽기술기준에 따라 조립장비의 구조적 안정성 검증을 위한 구조계산 및 해석기술
	4-2. 조립장비 시험기술	- 대형/고중량의 부품 조립을 위한 조립장비 시험기술
	4-2-1. 고중량 인양 장비 시험/평가 기술	- 유럽기술기준에 따라 고중량부품 인양장치 평가를 위한 시험기술
열차폐체	5-1. 열차폐체 설계기술	- 핵융합로 계통의 기능 수행이 가능하도록 열차폐체의 설계개념을 확정하고 상세 설계를 통해 제작에 필요한 설계자료를 생산하는 기술
	5-1-1. 구조 및 열 해석기술	- 열차폐체의 구조 및 열적 안정성 검증을 위한 전산 구조해석 및 열 유동 특성 분석 기술
	5-1-2. 상세 설계기술	- 열차폐체 제작, 설치, 운영 및 유지보수 특성을 고려한 상세 설계기술
	5-2. 열차폐체 제조기술	- 핵융합로용 열차폐체 정밀 제작기술
	5-2-1. 대형구조물 정밀제작 및 가조립 기술	- 용접변형 최소화 및 정밀가공을 통해 제작된 3차원 형상의 대형구조물을 가조립(높이가 12m)을 통해 조립성을 검증하는 기술로써, 3차원의 좁은 공간에 설치되는 대형구조물에 필수
	5-2-2. 대형구조물 은도금기술	- 3차원 형상을 갖는 6m 크기의 대형구조물 표면에 전기 은도금하는 기술로서, 은 도금된 표면의 낮은 방사율(0.04) 값은 진공상태에서 복사에 의한 열전달을 최소화
	5-2-3. 헬륨 냉각 파이프 무결점 용접 및 품질 검사기술	- 냉각패널에 길이가 32m에 달하는 헬륨 냉각 파이프를 정밀 용접하고 검사하는 기술로서, 특수 제작된 산업용 내시경을 이용한 용접부에 대한 육안검사, 가압 및 진공 누설검사를 통해 품질을 검증
삼중수소 SDS	6-1. 삼중수소 저장용기 제조 기술	- 삼중수소 저장을 위한 DU 저장용기의 설계, 제작, 성능 검증
	6-1-1. 저장용기 설계 및 제작 성공	- 삼중수소 저장용기 제작을 위한 C&S 검토 및 이에 따른 제작기술 확보
	6-1-2. 저장용기 요소 검증	- 삼중수소 저장재인 DU Hydride 특성 평가 및 열 물질 전달성능을 강화한 내부 요소 평가
	6-1-3. 저장용기 성능 검증	- 삼중수소 SDS 공정에 적용하기 위한 흡탈장성능 및 Heater 내구성 평가
	6-2. 삼중수소 SDS 공정기술	- 삼중수소 저장·공급 시스템의 공정설계, 단위공정 검증 및 안전성 평가
	6-2-1. SDS 공정설계	- 삼중수소 저장·공급 시스템 공정설계를 위한 PFD, P&ID, 기기 배치도 등 작성
	6-2-2. SDS 단위공정 검증	- 삼중수소 저장·공급 시스템 단위공정 검증을 위한 실험적 및 수치적 평가
	6-2-3. 공정 안전성 평가	- 삼중수소 저장·공급 시스템 공정 안전성 확보를 위한 HAZOP, RAMI, FMEA 평가

구 분	핵심기술 및 핵심요소기술	기술 정의
	6-3. 삼중수소 취급을 위한 안전 기술	- 삼중수소 취급을 위한 삼중수소 재고량 평가 및 삼중수소 누출 방지 기술
	6-3-1. 삼중수소 재고량 측정 및 평가	- 삼중수소 저장용기 재고량 측정 및 삼중수소 저장·공급 시스템 삼중수소 재고량 평가
	6-3-2. 삼중수소 누출 방지를 위한 이중차폐	- 삼중수소의 외부 누출을 최소화하기 위한 이중차폐 및 Glovebox System 적용 기술
	6-3-3. 삼중수소 측정기술	- 삼중수소 저장·공급 시스템 공정 가스 삼중수소 농도 측정기술
전원공급 장치	7-1. 초전도자석 전원공급장치 설계 기술 및 해석기술	- 초전도자석용 대용량 전원공급장치의 회로, 부품, 장치 및 시스템 설계 기술
	7-1-1. 초전도자석용 대용량 전력변환기 회로설계 및 해석기술	- 초전도자석용 대용량 전력변환기의 안정적 동작 및 초전도자석, 보호를 위한 회로설계 및 시스템 해석기술
	7-1-2. 초전도자석용 대용량 정류기 설계 기술	- 초전도자석용 대전류다병렬스위칭 소자 방식 정류기의 구조설계 및 전기 설계기술
	7-2. 초전도자석 전원공급장치 제작 및 검증기술	- 초전도자석용 대용량 전원공급장치의 부품, 장치, 시스템 등의 제작, 공장시험, 설치, 인수검사기술
	7-3. 초전도자석 전원계통 통합제어 설계 및 검증기술	- 토카막 운전을 위한 초전도자석 전원 플랜트용 통합제어 시스템의 설계, 제작, 검증기술
진단장치	8-1. 핵융합 중성자 진단기술	- 플라즈마에서 발생하는 핵융합 중성자의 수량 및 에너지를 측정하고 분석하는 기술
	8-1-1. 중성자 방사화 진단장치 설계 및 제작기술	- ITER 플라즈마에서 발생하는 핵융합 중성자를 중성자 방사화법에 의해 측정하는 진단장치를 설계, 제작하는 기술
	8-1-2. 중성자 방사화 진단장치 운전 및 데이터 해석 기술	- 핵융합로에서 중성자 방사화 진단장치를 운전하고 획득한 진단 데이터를 분석하여 핵융합 중성자 특성을 평가하는 기술
	8-2. 진공자외선 분광 진단기술	- 플라즈마 내부 불순물의 종류, 수량, 분포를 진공 자외선분광법에 의해 측정하고 분석하는 기술
	8-2-1. 진공자외선 분광 진단장치 설계 및 제작기술	- ITER 핵융합 플라즈마 내부 불순물의 종류, 수량, 분포를 진공 자외선분광법에 의해 측정하는 진단장치를 설계, 제작하는 기술
	8-2-2. 진공자외선 분광 진단장치 운전 및 데이터 해석 기술	- 핵융합로에서 진공 자외선분광 진단장치를 운전하고 획득한 진단 데이터를 분석하여 플라즈마 내 불순물 특성을 평가하는 기술
	8-3. 진단장치 포트 통합 기술	- 포트 통합 구조물의 설계/제작 및 진단장치 포트 통합설계/설치 기술
	8-3-1. 진단장치 포트 통합 구조물 설계 및 제작기술	- 고온, 고 전자기력, 고 중성자속 등 ITER 특수 환경에서 구조건전성을 유지하는 진단장치 포트 통합 구조물을 설계하고 제작하는 기술
	8-3-2. 진단장치 포트 통합설계 및 설치 기술	- 다수의 진단장치를 포트에 효율적으로 설치하고 시험하며 유지보수하는 설계기술 - 진단장치와 구조물을 통합 설치하는 기술

*출처: 국제핵융합실험로 공동개발사업 종합적 성과분석 보고서(한국핵융합에너지연구원, 2023)

□ 조달 품목의 개발 제작을 통한 확보 기술 현황('20~'22)

○ 진공용기 본체, 진공용기 포트, 조립장비, 열차폐체, 블랑켓 차폐블록, 전원공급장치, 진단장치, 삼중수소 저장공급장치 관련 확보기술 및 성과

<표 30> 진공용기 본체

<table>
<tr><td>개요</td><td colspan="3">○ 이중 격벽 진공 구조물로서 ITER 장치 내에 발생한 플라즈마를 밀폐하기 위한 진공 환경을 제공하는 장치
○ 조달내용 : 진공용기 본체 섹터 총 9개중 2개 제작(#6, #1)</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td colspan="3">○ 대형 진공용기 제조 기술
– 후판용접기술, 비파괴 검사기술, 정밀조립기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td colspan="3">○ 진공용기 본체는 핵융합반응이 일어날 수 있도록 1억도 이상의 초고온 플라즈마를 발생시키고 유지할 수 있는 고진공 환경을 제공해야 하며, 핵융합 과정에서 발생하는 중성자를 차폐하는 방사선 1차 방호벽 역할을 해야 함. 한 개의 섹터는 높이 11.3m, 폭 6.6m, 무게는 약 4백 톤의 거대구조물로서 프랑스 원자력 압력용기 규제 법령(ESPN)과 코드(RCC-MR 2007) 및 ITER 요구조건을 준수하며 제작을 수행하여야 함에 따라 기술적 난이도가 매우 높음
○ 제작 관련 기술개발 난제는 다음과 같음
– 용접결함 및 열변형을 최소화할 수 있는 용접기술 개발
– 용접부 100% 비파괴검사기술 개발
– 고중량 세그먼트들간의 최종 정밀조립기술 개발
– 초대형 이중격벽 진공용기의 진공누설시험 기술 개발
– 프랑스 원자력법령(ESPN)과 코드요건(RCC-MR 2007)을 준수한 제작품질 관리 기술</td></tr>
<tr><td>추진실적
('20년 ~ '21년)</td><td colspan="3">○ ('20년) ITER 진공용기 제작참여국 중 최초로, 진공용기 본체 섹터 6번의 세그먼트 제작 및 운송 완료
– 엄격한 프랑스 원자력법령 요구조건을 만족하며 ITER 최원국 중 최초로 첫 번째 섹터의 운송을 완료하여, ITER 건설이 본격적인 장치 조립 설치 단계에 진입
○ 진공용기 본체 섹터 1번 제작 및 운송 완료('21년)
– 두번째 섹터를 성공적으로 조달 완료하여 우리나라 할당 조달품목 중 하나인 진공용기 본체(2개)를 모두 적기에 조달 완료함</td></tr>
<tr><td>확보 기술
('20년 ~ '21년)</td><td colspan="3">진공용기 본체 구성품의 정밀 최종조립기술과 공장인수시험기술을 개발하여 본체 6번과 1번 제작에 성공적으로 적용한 결과 조달을 완료함. 이를 통해 향후 핵융합 발전로 건설에 직접적으로 활용이 가능한 기술을 확보함</td></tr>
<tr><td>증빙자료 /
결과물</td><td colspan="3">논문 : Manufacturing completion of the first ITER vacuum vessel sector, Nuclear Fusion 62 (2022) 076044
논문 : Evaluation of the functional acceptability of the ITER vacuum vessel, Nuclear Fusion 63 (2022) 016003
특허 : 토카막 진공용기 제조방법 (출원정보 10-2021-0049340 (출원일 : 2021-04-15))</td></tr>
<tr><td>관련 그림, 사진</td><td>
진공용기 본체 6번
진공누설시험('20.04)</td><td>
진공용기 본체 6번 ITER
현장인수시험('20.09)</td><td>
진공용기 본체 1번 ITER
현장인수시험('21.09)</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td colspan="3">대형 토카막 진공용기 정밀 조립 기술 및 성능시험 기술 개발</td></tr>
</table>

<표 31> 진공용기 포트

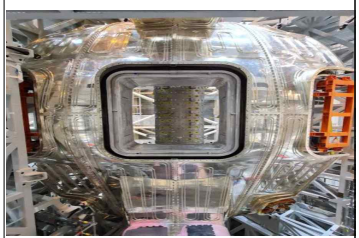
<table>
<tr><td>개요</td><td colspan="3">○ ITER 주포트는 진공용기의 일부를 형성하며 본체와 외부설비를 연결하는 통로 역할을 수행하는 장치 (지지구조물은 진공용기 시스템 전체 하중을 지지)
○ 조달내용 : 중앙부 포트 및 하부포트 전량</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td colspan="3">○ 복잡한 형상의 진공용기 주요 부품 제조 기술
– 후판용접기술, 비파괴 검사기술, 정밀조립기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td colspan="3">○ 진공용기 포트는 그 기능에 따라 다양한 설계가 필요하고 본체와 동일하게 프랑스 원자력 압력용기 규제법령(ESPN)과 코드(RCC-MR 2007) 및 ITER 요구조건을 준수하며 제작을 수행하여야 함에 따라 기술적 난이도가 매우 높음
○ 제작 관련 기술개발 난제는 다음과 같음
– 두꺼운 스텐강(최대 230T) 정밀 용접 기술 개발
– 다양한 설계를 갖는 포트 용접에 대한 100% 비파괴검사 기술 개발
– 프랑스 원자력법령(ESPN)과 코드요건(RCC-MR 2007)을 준수한 제작품질 관리 기술
– 멀티힌지 구조물의 정밀 조립 기술(진공용기 지지구조물)</td></tr>
<tr><td>추진실적
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ (’20년) 하부포트 스터브 익스텐션 전량 제작 완료 및 중성입자빔 포트 제작
– 60t 스텐강 정밀용접기술, 100% 비파괴검사 기술 및 이중 격벽 구조를 갖는 고진공 압력용기의 공장인수시험(압력시험, 베이킹, 진공누설시험 및 치수검사) 기술 개발을 통해 하부 포트 스터브 익스텐션 9개 전량 제작 및 운송 완료
– 협소한 이중 격벽 내에 중성자 차폐체를 조립할 수 있는 조립 절차를 개발하고 Mock-up 제작을 통한 검증 후 중성입자빔 포트 스터브 익스텐션 제작 진행
○ (’21년) 진공용기 지지구조물 제작
– 멀티힌지 구조를 갖는 진공용기 지지구조물의 정밀조립(냉간박음 조립) 기술개발 완료 후 첫 호기 제작 완료
○ (’22년) 진공용기 하부포트 익스텐션(냉동펌프 타입) 제작 완료
– ITER에서 요구하는 원자력 안전 규제 및 제작 코드 요건을 만족시키며 진공용기 하부포트 익스텐션(냉동펌프 타입) 6개 제작 완료</td></tr>
<tr><td>확보 기술
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ 진공용기 주포트 제작에 요구되는 정밀용접, 비파괴검사 및 공장인수 시험기술을 성공적으로 개발(하부포트 스터브 익스텐션 등 제작 관련 기술)
○ 멀티힌지 구조를 갖는 진공용기 지지구조물의 정밀조립 기술 개발</td></tr>
<tr><td>증빙자료 / 결과물</td><td colspan="3">1. 논문: Hydrostatic pressure test of the ITER lower port stub extension for factory acceptance, 2020 Fusion Eng. Des. 160 111929
2. 기술문서 : 지지구조물 정밀조립기술 절차서 등</td></tr>
<tr><td>관련 그림, 사진</td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td></td><td>중성입자빔 포트 스터브 익스텐션: 중성자 차폐체 조립 후 외벽 용접 준비 (’20.11)</td><td>진공용기 지지구조물 첫 호기 최종 조립(’21.10)</td><td>하부 포트 익스텐션(냉동펌프 타입) 제작 완료(’22.12)</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td colspan="3">정밀조립기술(슬리브 냉간 박음)을 활용한 대형 핵융합 고하중 지지부품 제작</td></tr>
</table>

<표 32> 조립장비('21.12 조달완료)

<table>
<tr><td>개요</td><td colspan="3">○ ITER 주장치를 조립하기 위한 총 128종의 전용 조립장비
○ 조달내용 : 44종의 조립장비 조달</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td colspan="3">○ 조립장비 설계기술
– Scale-down 설계 검증기술, 조립장비 설계기술, 구조해석 기술
○ 조립장비 시험기술
– 고중량 인양 장비 시험/평가 기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td colspan="3">대형·고중량 조립대상물을 ITER 기구에서 요구하는 수준으로 정밀하게 제어하는 조립장비 개발 및 신뢰성 확보를 위한 검증 방법을 제시해야 함. 이는 대형 조립장비의 시험 표준이 없는 상황에서 유럽의 CE 마크, 프랑스 규제, ITER 국제기구 요구 사항 등 다양한 규정과 평가 기관들의 검토를 만족하는 시험 방법과 규정을 개발하고 시험해야 하는 것으로 기술개발 과정의 난이도가 매우 높음</td></tr>
<tr><td>추진실적
('20년 ~ '22년)</td><td colspan="3">○ ('20년) 조립장비 조달 완료
– SSAT를 포함한 44종 조립장비 Delivery 완료
– 품질 및 조달문서를 IO 조달 기준에 따라 작성하고 최종 승인
– SSAT, UT 등과 같은 중요장비의 IO Site Acceptance 시험을 위한 기술지원
○ ('21년) 조립장비 Credit 확보 완료 및 기술지원
– Site Acceptance 시험 승인('21.12)에 따라 최종 Credit 확보로 조달 완료
– SSAT, UT, SLT 등의 실제 운용을 위한 기술지원
– 진공용기 인양을 통해 본격적인 ITER 주장치 조립을 착수 선언
○ ('22년) 조립장비 기술지원 및 수주(기술지원)
– 섹터 부조립을 위한 조립장비 운용 기술지원
– 진공용기(450톤) 인양, 40도 섹터 (1,500톤) 인양 및 Pit 안착 성공
– 국내산업체(유진엠에스) Bracing Tool 제작 수주 ('22.04, 13억 규모)</td></tr>
<tr><td>확보 기술
('20년 ~ '22년)</td><td colspan="3">44종 핵심 조립장비의 설계, 제작, 검증시험 완료 후 성공적인 조달 완료를 통해 대형·고중량·고정밀 조립장비의 설계 및 시험기술을 습득</td></tr>
<tr><td>증빙자료 / 결과물</td><td colspan="3">○ Fabrication and factory acceptance test of ITER UPSE installation tool (FED)
○ '인공태양의 꿈'에 한 발짝 더…한국 ITER 조립장비 조달 완료 - 중앙일보 ('20.06)
○ 핵융합에너지 시대 한 걸음 더…'ITER' 조립 개시 선언 - 아이뉴스24 ('20.07)
○ 650 TONNES UPENDED IN MID-AIR (ITER Newsline, '21.12)
○ WATCH THE BIG LIFT! (ITER Newsline, '22.05)</td></tr>
<tr><td>관련 그림, 사진</td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td></td><td>진공용기 직립('21.12)</td><td>섹터 부조립('22.04)</td><td>섹터 인양('22.05)</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td colspan="3">○ 대형·고중량·고정밀 조립장비의 설계 및 시험기술을 습득
○ 조립장비의 성공적인 조달을 토대로 국내 산업체 IO 계약 수주로 확산</td></tr>
</table>

<표 33> 열차폐체('21.12 운송완료)

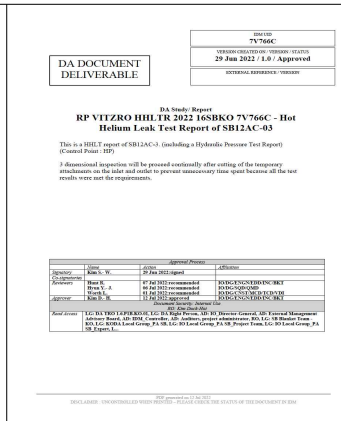
<table>
<tr><td>개요</td><td>○ 4.5K 극저온으로 운전되는 초전도자석 구조물로의 복사열전달을 최소화하기 위한 시스템 (진공용기와 저온용기로부터 초전도자석으로 유입되는 복사 열전달을 약 99.9% 차단)
○ 조달내용 : 열차폐체 100% 조달(상부/중앙부/하부 저온용기 열차폐체 등)</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td>○ 열차폐체 설계기술: 구조 및 열해석기술, 상세 설계기술
○ 열차폐체 제조기술: 대형구조물 정밀제작 및 가조립기술, 대형구조물 은도금 기술, 헬륨냉각파이프 무결점 용접 및 품질 검사기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td>○ 고진공, 극저온, 고자기장과 같은 극한의 환경에서 반영구적으로 작동해야 함에 따라 정밀한 은도금 기술 개발, 헬륨 냉각파이프(총 20km 이상)의 무결점 용접 및 내시경 검사 등에 있어 기술개발 및 철처한 품질관리가 요구됨
○ 열차폐체는 진공용기와 초전도자석 사이의 비좁은 공간에 설치되며, 주변 장치들과의 인터페이스가 매우 복잡하고 제작품에 대해서 엄격한 제작 공차가 요구되므로 정밀 가공, 정밀 용접 및 용접 변형 제어 기술을 개발해야 함
○ 자중, 열, 전자기력, 지진 하중이 복합적으로 작용하는 운전 조건에서 열차폐체의 구조적 안정성이 해석적으로 규명해야 함</td></tr>
<tr><td>추진실적
('20년 ~ '21년)</td><td>○ ('20년) 진공용기 열차폐체(VVTS) 제작 및 운송
– VVTS #7, 8, 5, 4, 1 운송 완료
– VVTS #9, 3, 2 제작 완료 및 운송 진행
○ ('20년) 저온용기 열차폐체(CTS) 제작 수행
○ ('21년) 열차폐체 제작·검사 및 현지 설치 지원
– VVTS 및 CTS 제작/운송 완료
– 열차폐체 현지 설치 지원</td></tr>
<tr><td>확보 기술
('20년 ~ '21년)</td><td>○ 대형 스테인레스강 구조물의 용접변형 최소화 기술, 정밀 가공기술, 정밀 조립기술, 냉각파이프 정밀 용접기술 확보.
○ 3차원 형상의 긴 파이프 (최대 35 미터)에 대해 내부 표면 검사용 내시경을 국내기술로 개발하고 성공적으로 활용.
○ 대형 구조물의 은도금 설비, 제작 및 운영 기술을 확보함으로써 유사 대형 도금 설비의 개발 및 운영에 기여 가능.</td></tr>
<tr><td>증빙자료 / 결과물</td><td>FED 논문 4편: Progress on the manufacturing of ITER thermal shields (2020), Studies on the Fabrication of T-branches of ITER Thermal Shields Manifold pipes (2020), Studies on the silver-coated patch with spot welding for the ITER Thermal Shield (2021), Study on the impact of non-silver coated area in the ITER vacuum vessel thermal shield (2021)</td></tr>
<tr><td>관련 그림, 사진</td><td>
VVTS 은도금('20.01)

VVTS #1 운송('20.12)
 
VVTS #6 조립('21.07)</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td>대형 구조물 정밀 은도금 기술 확보</td></tr>
</table>

<표 34> 블랑켓 차폐블록

<table>
<tr><td>개요</td><td>○ 차폐블록 제작 및 조달을 통해 확보하려는 기술</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td>○ 블랑켓 차폐블록 설계 및 해석기술
– 전자기력 해석기술, 열수력 및 구조해석기술
○ 블랑켓 차폐블록 제작기술
– 가공 및 용접기술, 품질 및 성능평가 기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td>완성된 블랑켓 차폐블록의 헬륨누설 시험을 위한 세계 최대 규모(개발당시 기준)의 고온헬륨누설시험 설비를의 제작이 필요하며, 동 설비를 활용한 시험(Test) 경험과 기술이 부재하여 혁신성과 개발과정의 난이도가 매우 높음. 또한 차폐블록 주변의 다양한 인터페이스로 인하여 제작 복잡성이 높음</td></tr>
<tr><td>추진실적
(20년 ~ 22년)</td><td>○ (‘20년) ITER 블랑켓 차폐블록 초도품 제작 성공
– 세계 최초로 개발된 초대형 고온헬륨누설시험 설비를 이용해 실제 ITER 운전 환경과 유사한 고온, 고진공 조건에서 성능 테스트 등 기술적 요건을 충족하는 차폐블록 초도품 제작 성공
○ (‘22년) 양산시스템의 구축을 완료하고 블랑켓 차폐블록 본제품 제작 착수
– 블랑켓 차폐블록 제작에 필요한 설계, 제작, 시험 등 모든 과정에 대한 기술적 이슈 해결
– 연중 총 72개 모듈 제작이 착수하고 그 중 36개 제작 및 시험 완료
○ (’22년) 차폐블록 본제품 제작용 소재 공급(139set) 및 본제품 총 72개 제작·시험 완료
– 한국 담당 총 220개의 차폐블록 중 72개의 차폐블록 제작 및 시험을 성공적으로 완료</td></tr>
<tr><td>확보 기술
(20년 ~ 22년)</td><td>자체 설계·제작된 헬륨누설설비 운용을 통해 핵융합 부품 시험을 성공적으로 수행하는 등 블랑켓 차폐블록 제작에 필요한 설계, 제작, 시험 등 모든 과정에 대한 기술적 이슈를 해결함으로써 블랑켓 차폐블록 제작기술(가공 및 용접기술, 품질 및 성능평가 기술)을 확보함</td></tr>
<tr><td>증빙자료 / 결과물</td><td>In-vessel Component 최초 본제품 초도품 완료 (ITER 뉴스라인)
2. 고온헬륨누설시험 관련 특허 등록 (특허 제 10-2289636 호)
3. 고온헬륨누설시험 결과 보고서 (IO 승인)
(관련 논문, 특허, 기술문서 또는 보도자료(ITER 기구 뉴스라인 포함 가능))</td></tr>
<tr><td>관련 그림, 사진</td><td>

ITER 뉴스라인(’20.09)

관련기술 특허 등록 (’21.08)


고온헬륨누설시험 결과 보고서(’22.07)
</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td>고온헬륨누설시험 설비를 활용한 핵융합 부품 시험 기술 개발</td></tr>
</table>

<표 35> 전원공급장치

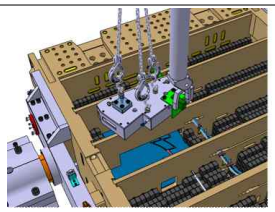
<table>
<tr><td>개요</td><td colspan="3">○ TF, CS, PF, CC 코일 등 ITER 초전도자석에 전류를 공급하여 플라즈마 발생, 플라즈마 위치와 형상 제어 등을 담당하는 장치
○ 조달내용 : 컨버터 및 컨버터 변압기</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td colspan="3">○ 초전도자석 전원공급장치 설계기술 및 해석기술
– 초전도자석용 대용량 전력변환기 회로설계 및 해석기술
– 초전도자석용 대용량 정류기 설계기술
○ 초전도자석 전원공급장치 제작 및 검증기술
○ 초전도자석 전원계통 통합제어 설계 및 검증기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td colspan="3">○ 기술 장벽이 높고, 핵융합 장치 보유국이 기술 공개가 제한적인 상황에서 국내 개발 경험 전무하여 개발 난이도가 높음.
○ 대형 초전도자석의 운전 및 보호 등에 관한 이해, 설계, 해석을 위해서 기계역학, 열역학, 유체역학, 전자기해석 등 다양한 기술이 필요하여 복잡성이 높음</td></tr>
<tr><td>추진실적
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ (‘20년) 전원공급장치 1차분 제작, 운송 및 설치 진행
– 1차분 컨버터((CC, VS1) 양산품 출하 및 설치 진행
– 더미로드 제작 및 원격 입회 검사 완료
○ (’21년) 전원공급장치 2차분 제작, 운송 및 설치 진행
– CS 컨버터 양산품 시험 및 운송 완료, TF 컨버터 제작 완료, 제어기 검사 완료
– 컨버터 현장 설치 진행(17대), 더미로드 운송 및 설치 진행
○ (‘22년) 전원공급장치 TF 컨버터 시험 및 설치 진행
– TF 전원장치 단락시험 및 공장시험 완료, 더미로드 및 컨버터 현장 실치
– RTDS 기반 로컬제어기 및 마스터제어기 통합시험 완료</td></tr>
<tr><td>확보 기술
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ 용량이 가장 큰 TF 전원장치 단락시험 수행에 필요한 국내 시험설비의 제약을 극복하기 위해 시험 가능 대체 환경을 발굴하고 이를 활용한 등가 시험 방법을 개발함.
○ 전원계통 및 초전도자석을 포함하는 전원 플랜트 제어기 검증 시뮬레이터(RTDS)를 구축하여 실제와 유사한 환경하에서 제어기의 검사를 실시하여 제어기 검사 신뢰성을 높이고, 핵융합 플랜트급 전원장치 통합 제어기술을 확보함.</td></tr>
<tr><td>증빙자료 / 결과물</td><td colspan="3">○ FED 논문(2020년, 2편): Design Considerations of Local Controller for ITER Coil Power Supply with High Availability and Reliability, Design Evaluation of Hardwired F-LIC Module for ITER AC/DC Converters by FMEDA Method
○ FAT Report of CS-6 Converter, 2021년
○ 전력전자학술지(2021년): ITER AC/DC Converter 서브랙의 EN 61000 및 IEC 61010에 의한 EMC/LVD 시험평가
○ FAT Report (Phase II) of Local Control Cubicles (4종:VS1, CS, TF, CC), 2022년
○ FAT Report for MCS of CPSS (3종: TFPS, PFCS, CCPS), 2022년 등</td></tr>
<tr><td>관련 그림, 사진</td><td>

CCUL-6 컨버터 FAT(‘20.07)
더미로드 FAT(’20.10)</td><td>

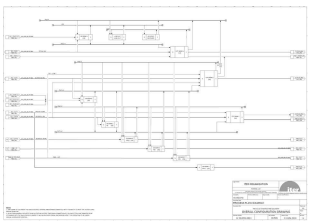
CS-6 컨버터 FAT(‘21.06)
컨버터 현장설치(’21.11)</td><td>

TF 컨버터 단락시험(‘22.02)
마스터제어기 통합시험(’22.05)</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td colspan="3">초전도자석 전원공급장치 컨버터 및 제어기 검증기술 확보</td></tr>
</table>

<표 36> 진단장치

<table>
<tr><td>개요</td><td colspan="3">○ 플라즈마 온도, 밀도, 자기장, 불순물 등 플라즈마의 다양한 물리적 상태를 측정하는 장치
○ 조달내용 : 상부 포트플러그 1set, 진공자외선 분광기 3set, 중성자방사화시스템 1set</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td colspan="3">○ 핵융합 중성자 진단기술
– 중성자 방사화 진단장치 설계 및 제작기술
– 중성자 방사화 진단장치 운전 및 데이터 해석기술
○ 진공자외선 분광 진단기술
– 진공자외선 분광 진단장치 설계 및 제작기술
– 진공자외선 분광 진단장치 운전 및 데이터 해석기술
○ 진단장치 포트 통합 기술
– 진단장치 포트 통합 구조물 설계 및 제작 기술
– 진단장치 포트 통합설계 및 설치기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td colspan="3">○ 플라즈마 물리변수 측정을 위한 민감 부품으로 구성된 장치임에도 불구하고 원자력 안전 요구조건을 만족하면서 초고진공, 방사선 등 혹독한 환경에서 정상운전되어야 하므로 설계 및 제작의 기술 난이도가 매우 높음.</td></tr>
<tr><td>추진실적
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ (‘20년~’21년)18번 상부포트 진단장치 통합 최종설계
○ (‘20년~’21년)중성자방사화 시스템 IV/EP11 전송선 최종설계 및 제작
○ (‘21년~’22년) 진공자외선 분광기 EP11, 중성자방사화 시스템 VS/L3 전송선 제작 및 조달
○ (‘22년)18번 상부포트 진단차폐모듈 (DSM) 제작성 검토</td></tr>
<tr><td>확보 기술
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ 전자기해석, 핵해석 등 진단장치 구조물 설계를 위한 공학해석 기술
○ 원격조작 호환성, 방사선, 플라즈마 대면 등 ITER의 특수환경을 고려한 진단장치 설계기술
○ 진단장치 운전 및 데이터 해석을 위한 I&C 설계기술
○ 플라즈마 대면 광학부품 설계 및 제작기술
○ 안전 및 진공 1등급 진단장치 부품 설계 및 제작기술
○ 포트통합 장치 중성자 차폐 구조물 설계 및 제작기술</td></tr>
<tr><td>증빙자료 / 결과물</td><td colspan="3">○ 진단장치 설계 문서
○ 중성자방사화 시스템 VS12/13 전송선 본제품
○ 18번 상부포트 진단차폐모듈 목업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">관련 그림, 사진</td><td>  </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>진공자외선 분광기 원격조작 호환성 검증 (’20.05)</td><td>중성자방사화 시스템 VS12/13 전송선 본제품 (’21.10)</td><td>진단차폐모듈 제작성 검토 및 목업 제작 (’22.12)</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td colspan="3">초고진공, 방사선 등 혹독한 ITER 환경에서 원자력 안전 요구조건을 만족하는 진단장치 설계 기술 구축</td></tr>
</table>

<표 37> 삼중수소 저장공급장치(SDS)

<table>
<tr><td>개요</td><td colspan="3">○ 핵융합 연료가스의 재순환 사용을 위한 핵융합 삼중수소 연료주기의 일부로, 분리된 삼중수소/중수소 가스를 안전하게 저장하고 공급하는 시스템(SDS)
○ 조달내용 : 연료(삼중수소, 중수소) 저장·공급시스템, 삼중수소 유입 및 삼중수소 이송용기 취급시스템, 기타 가스 정제시스템</td></tr>
<tr><td>확보목표 기술</td><td colspan="3">○ 삼중수소 저장용기 제조 기술
– 저장용기 설계 및 제작, 저장용기 요소 검증, 저장용기 성능 검증
○ 삼중수소 SDS 공정기술
– SDS 공정설계, SDS 단위공정 검증, 공정 안전성 평가
○ 삼중수소 취급을 위한 안전기술
– 삼중수소 재고량 측정 및 평가, 삼중수소 누출 방지를 위한 이중차폐, 삼중수소 측정기술</td></tr>
<tr><td>기술개발
난제</td><td colspan="3">○ ITER 연료주기의 삼중수소 플랜트는 전 세계적으로 유래 없는 규모의 혁신적인 삼중수소 처리 공정의 개발·구축을 요구함. 또한 삼중수소 관련 정보 및 기술은 민감 정보이자 수출통제 항목이기에 기술 장벽이 높으며, 국내 개발 경험 또한 극히 한정적이기에, 개발 난이도가 매우 높은 편임.</td></tr>
<tr><td>추진실적
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ (‘20년) 삼중수소 SDS 예비설계 검토회의 및 시스템 기기성능 개선 진행
– 예비설계 검토회의 문서 작성 및 예비설계 검토 수행
○ (’21년) 삼중수소 SDS 예비설계 Chit 해결 및 공정성능 최적화
– SDS 예비설계 검토회의 도출 Chit 해결 및 예비설계 후 설계개정 사항 검토
– 연구원 내 DU(열화우라늄) 활용 자체 실험실 구축 및 실험장치/설비 이전 완료
○ (‘22년) 삼중수소 SDS 예비설계 최종 승인 및 SDS 성능 검증
– SDS 예비설계 Chit 해결 지원 및 예비설계 최종승인 획득
– 삼중수소 저장용기 시제품 제작성 평가 및 SDS 예비설계 안전성 해석</td></tr>
<tr><td>확보 기술
(‘20년 ~ ’22년)</td><td colspan="3">○ ITER SDS 예비설계 및 SDS 연관(Interface)된 ITER 삼중수소 플랜트 각부 시스템의 정보수집을 통한 대량 삼중수소 연료주기 설계 및 공정 검증 기술 기반 확보
○ 삼중수소 저장·공급 용기(금속수소화물 용기) 개발 및 검증 기술 확보.</td></tr>
<tr><td>증빙자료 / 결과물</td><td colspan="3">“Helium recovery and blanketing effect with the hydriding reaction of ZrCo”, FED v.170, 2021
“Characteristics of uranium hydride bed for fusion fuel cycle: Hydrogen and deuterium absorption“, IJHE, v.47, 2022
SDS 예비설계 최종승인 보고서, “Close out report for Storage and Delivery System PDR(PBS32.SD)”</td></tr>
<tr><td>관련 그림, 사진</td><td>  </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td></td><td>SDS 예비설계 PFD (’20.07)</td><td>ITER SDS DU 실험실
구축(군산,’21.07)</td><td>SDS 예비설계 최종승인 보고서
(’22.05)</td></tr>
<tr><td>대표성과</td><td colspan="3">삼중수소 저장·공급 시스템 및 저장용기 설계, 검증 기술 확보</td></tr>
</table>

□ **경쟁국 대비 우리나라의 우위/열위 기술 영역**

○ 경쟁국 대비 우위 기술영역

– (기초) '70. 핵융합기술'은 KSTAR 장치를 바탕으로 초전도 토카막 운전기술과 고성능 플라즈마 진단기술, 경계면 불안정 현상 제어 기술 등에 대해 경쟁력을 갖추고 있음

– (응용·개발) '70. 핵융합기술'은 KSTAR 장치를 바탕으로 진공용기, 초전도 선재 등 초전도 토카막 제작 기술에 대해 경쟁국 대비 우수성을 보유하고 있음. 장치 건설에 대한 Q&A에 경쟁력을 갖추고 있음

○ 경쟁국 대비 열위 기술영역

– (기초) '70. 핵융합기술'은 디버터 등 핵융합대면재 기술, 핵융합재료 기술 등이 경쟁국 대비 뒤쳐져 있음. 노심 플라즈마를 비롯 전산해석코드를 거의 보유하고 있지 못함

– (응용·개발) 플랜트 통합설계기술, 핵융합로 안전성/환경영향평가기술 등이 경쟁국에 뒤쳐져 있으며 관성핵융합 기술 경우 핵무기 보유와 관련된 외교안보적 특수성에 의해 상당히 뒤떨어져 있음

2.3. 국내 핵융합 분야 수출현황 및 성공사례

2.3.1. 기술 확보 현황

□ KSTAR 운영 및 실험 결과

○ 초전도 핵융합 연구장치인 KSTAR 운영 및 실험연구를 통한 고성능 플라즈마 운전 기술을 지속적으로 향상시킴

– 세계 최장시간(70초) 고성능 플라즈마 운전을 달성함

– 세계 최초 초고온 플라즈마 이온온도 1억도 20초 이상 달성 및 유지시간 지속연장('21년 30초)

– 네이쳐 피직스 게재 ('18.4월) 플라즈마 경제면 불안정성 억제 예측 모델 개발

<표 38> KSTAR와 ITER 사업내용 및 성과

구분	KSTAR	ITER
장치 역할	• 핵융합 고성능 플라즈마 연구장치	• 핵융합 연소 플라즈마 구현 실험장치
장치 규모	• ITER 장치의 크기 1/3, 부피 1/30	• KSTAR 장치의 크기 3배, 부피 30배
연구 목표	• 고성능(고온, 고밀도), 장시간 플라즈마 성능평가 및 운전 기술 연구	• 연소 플라즈마의 핵융합 반응으로 500MW 에너지를 발생시키고, 이런 조건에서 핵융합로의 과학적, 공학적 특성 연구
사용 연료	• 수소 또는 중수소	• 중수소와 삼중수소(핵융합 반응률이 높음)
주요 내용	• 초고온 고밀도 플라즈마의 장시간 운전제어 기술 확보 • 가열·진단 등 핵심 부대장치의 성능 고도화및 공학기술 확보 • 핵융합 물리이론 검증, 경계면 불안정 현상 등 핵융합 발전 난제 해결을 위한 연구 수행	• 한국은 ITER 기구 운영 등을 위한 현금분담금 납부 및 할당 9개° 주요장치를 제작·조달, 할당품목 이외의 핵융합 핵심기술 확보를 위한 연구개발 병행 ° ①초전도 도체(완료, '14), ②진공용기 본체/③조립장비류/④열차폐체(조달·운송완료, '21), ⑤진공용기 포트, ⑥블랑켓 차폐블록, ⑦전원공급장치, ⑧삼중수소 저장·공급시스템, ⑨진단장치 등 R&D/설계/제작/운송 진행
주요 성과	• 국내 기술로 세계 최고성능의 초전도 핵융합장치 KSTAR 건설 완공('07.8월) • 세계 최초로 단 한 번의 시도로 First Plasma 발생 성공('08.7월) • 세계 최장 플라즈마 이온 온도 1억도 30초 운전('21.9월)° ° ('18) 2초→('19) 5초→('20) 20초→('21) 30초 ※ KAT, 넥상스코리아, 현대중공업, 다원시스, SFA 등 80여개 업체 KSTAR 건설 및운영 참여	• 한국할당 9개 조달품목 중 핵심품목인 진공용기 본체 등 4개 품목 제작·운송 완료 • ITER 기구 건설총괄 부문장 등 한국인 총65명이 ITER 기구 근무('23.6월) • ITER 기구 및 타 참여국의 조달품목 등에서 한국이 180건 총 7,288억원 규모 해외수주('23.6월) ※ 현대중공업, KAT, 포스코특수강, 다원시스 등 140여개 업체 본제품 제작및 R&D 참여

□ ITER 참여 성과

○ 기술적 난제 극복하고 ITER 진공용기 최초 섹터 제작·조달 성공하여('20.8월), ITER 조립단계 착수에 결정적으로 기여함

– (기술확보) 한국 할당 9개 품목 중 4개 품목 제작 및 조달 완료 등 관련 핵심기술을 확보함

– (4개 품목 완료) 초전도자석('14), 조립장비('20), 열차폐체('21), 진공용기 본체('21)는 조달 완료함

– (5개 품목 진행) 진공용기 주포트 등 제작, 블랑켓 차폐블록 개발·제작, 삼중수소 SDS 예비설계 진행, 전원공급장치 제작 및 현장설치, 진단장치 예비설계 및 최초 플라즈마 부품 제작을 진행함

– (인력파견) ITER 기구 건설총괄 부문장, 진공용기 총괄 등이 ITER 건설 핵심을 담당하고 있으며, 총 65명이 ITER 기구 근무 중('23.6월말) - (해외수주) 07~23.6월 까지 총 180건 7,288억원의 ITER 관련 조달을 수주함750)

○ ITER의 극한·첨단 장치 개발 경험을 바탕으로 ITER 조달·수주 이외에도 초전도 자석, 대형 전원장치 등 관련 국내외 수주 성과 창출

– 지식재산 성과('23.6월 말 기준): 논문게재(679건), 특허출원(61건), 특허등록(52건)

□ 한계점

○ 핵융합 연구개발 특허 산출이 감소하고 있으며 기업체 논문 산출도 감소하고 있는 추세로 나타남

– (특허)연구기관의 핵융합 국내 특허 출원 및 등록 건수는 2014년 87건 대비 2018년 60건으로 지속적인 감소 추세

– 기업체의 해외 특허 출원 및 등록 건수는 2016년 4건에서 2017년 5건으로 증가했다가 2018년 1건 으로 2016년 대비 크게 감소함

- 기업체의 핵융합·가속기 국내 특허 출원 및 등록 건수는 2016년 20건, 2017년 18건 대비 2018년 11건으로 지속적으로 감소함

– (논문) 연구기관의 핵융합·가속기 관련 SCI 논문은 2014년 99건, 2018년 131건으로 증가함

– 기업체는 2016년 3건, 2017년 0건으로 3건 감소했다가 2018년 2건으로 2016년 대비 감소함

○ 선도국 대비 핵융합 연구개발 경쟁력이 낮으며 핵융합 실증로 구현 목표 대비 기술 진보 수준 낮음

<표 39> 선도국 대비 한국의 핵융합 연구개발 경쟁력

핵심기술	최고기술국	최고기술국 대비 한국기술수준
노심플라즈마	미국, EU (100%)	76.7%
증식블랑켓	EU (100%)	69.2%
핵융합 소재	EU, 일본 (100%)	72.5%
연료주기	EU (100%)	34.5%
디버터	EU (100%)	68.8%
가열 및 전류구동	EU (100%)	61.8%
초전도자석	EU, 미국 (100%)	72.5%
평균		64%

* 최고기술국 대비 한국 기술수준의 경우 전문가 설문을 통해 도출된 수치임

– 핵융합 실증로 구현을 위한 최종 목표대비 기술수준은 40.8% 수준이며 최고기술국은 노심 플라즈마, 핵융합 소재, 가열 및 전류구동 분야가 최종목표대 비 근접, 증식블랑켓·연료주기 분야의 경우 아직 기술수준이 낮음

<표 40> 핵융합 전력생산 실증 목표 대비 선도국과 한국의 기술수준

핵심기술	최고기술국	최종목표 대비 최고기술국 기술수준	최고기술국 대비 한국기술수준
노심플라즈마	미국, EU	80.4%	61.7%
증식블랑켓	EU	39.8%	27.5%
핵융합 소재	EU, 일본	80.5%	58.3%
연료주기	EU	38.3%	13.2%
디버터	EU	63.6%	43.8%
가열 및 전류구동	EU	72.9%	45%
초전도자석	미국, EU	63.8%	46.3%
평균		62.7%	40.8%

* 최종목표 대비 기술수준, 최고기술국 대비 한국 기술수준의 경우 전문가 설문을 통해 도출된 수치임

2.3.2. 수출실적

□ (핵융합 수출실적) ITER 기구 및 타 참여국의 조달품목 등에서 우리나라가 184건 총 7,300억 원 규모 수주('23년 9월 기준), 국내사업에 총 7,474억 매출 효과 발생('04~'22년)

* 예) ITER기구는 EU의 진공용기 조달분을 한국(현대중공업)으로 이관(1,250억 원, '16년)

○ 타회원국의 경우 총 43건으로 총 2,712억원 정도의 규모를 수주하고 있는 것으로 나타남('07~'23년기준)

– 국내 기술력의 우수성을 기반으로 회원국 및 IO를 통한 수주 확대 진행 중

<표 41> 연도별 수주실적

발주처	구분/년	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	합 계
ITER기구	(건)	0	4	15	14	8	8	5	9	5	7	5	6	7	12	15	12	9	141
	(억 원)	0	81	100	142	33	368	126	101	25	2,032	130	226	50	332	440	97	330	4,614
타회원국	(건)	2	0	0	1	1	3	6	7	4	1	4	5	4	1	2	1	1	43
	(억 원)	4	0	0	4	30	906	931	330	92	5	93	87	145	32	22	8	23	2,712
합 계	(건)	2	4	15	15	9	11	11	16	9	8	9	11	11	13	17	13	10	184
	(억 원)	4	81	100	145	63	1,274	1,057	432	117	2,038	223	313	195	364	462	104	353	7,326

* 출처: 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사

– ITER 또는 주요국(미국, 일본 등)에 수주를 하고 있으며, 한국전력기술, 비츠로테크, 현대중공업 등의 기업 중심

[그림 36] 주요 수주실적

ITER 금액대별 수주 건수 | 주요국 금액대별 수주 건수(미, 일, 중)

* 출처: ITER 자료 요청 재정리

○ 우리나라의 ITER공동개발사업 운영은 크게 조달품목 제작을 위한 현물조달 분야, 현금조달 분야, 핵심기술개발 분야, 국내전담기구 운영 분야로 구분

<표 42> 국내 조달품목

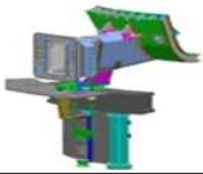
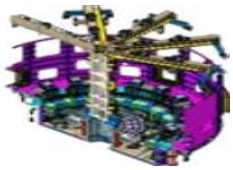
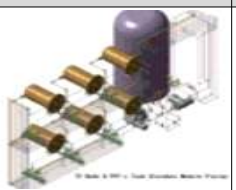
구분	총 조달금액(kIUA)	한국참여율	한국조달금액(kIUA)
1. TF 초전도 도체(조달완료)	215.01	20.18%	43.39
2. 진공용기 본체(조달완료)	117.09	21.50%	25.2
3. 진공용기 포트	72.66	72.82%	52.91
4. 블랑켓 차폐블록	56.34	49.82%	28.07
5. 조립장비(조달완료)	18.55	99.90%	18.53
6. 열차폐체	26.56	100%	26.56
7. 삼중수소 저장·공급시스템	12.5	94.25%	11.79
8. 전원공급장치	113.56	40.14%	45.58
9. 진단장치	204.89	1.93%	3.96

* 출차: KFE (한국핵융합에너지연구원)

** ITER 화폐단위(kIUA: kilo ITER Unit of Account) : 1 kIUA=1.69012MEuro ('16년 기준)

– 한국은 9개의 조달품목(IVC 포함 시)이 할당되어 있으며, 이 중 3개 품목(초전도 도체)을 조달 완료 되었으며 총 조달금액은 총 조달 금액 255.98kIUA로 확인('16년 기준)

[그림 37] 조달품목(현물조달)

<table>
<tr><td> </td><td> </td><td>  </td><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>TF 초전도 도체
(Conductor)</td><td>진공용기 본체
(Vacuum Vessel)</td><td>진공용기 포트
(Port)</td><td>블랑켓 차폐블록
(Shield Block)</td><td>조립장비
(Assembly Tooling)</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>열차폐체
(Thermal Shield)</td><td>삼중수소 저장 및 공급시스템</td><td>전원공급장치
(AC/DC Converters)</td><td colspan="2">진단장치
(Diagnostics)</td></tr>
</table>

* 출처: ITER 한국사업단 홈페이지, https://www.iterkorea.org

** 우리나라는 추가적으로 ITER 비조달 핵심기술인 테스트 블랑켓 모듈(TBM), 장치통합제어(CODAC)에 참여하고 있음('20)

○ ITER에 조달하는 품목은 TF 초전도 선재와 진공용기 본체, 진공용기 포트, 블랑켓 차폐블록, 조립장비, 열차폐체, 삼중수소 저장 공급시스템, 전원공급장치, 진단장치 해당

– 장치 조립 및 주요 부품 제작 등 분야에 한국 산업체의 역할이 증가 중이며, ITER 참여를 기반으로 신시장도 창출

<표 43> 국내 산업체 주요 역할

구분	주요 내용
한국전력기술	실험로조립 감독관리 참여
현대중공업	EU 조달품인 진공용기 2개 섹터 수주
다원시스	대형전원장치 기술을 활용 서울지하철 200량(1,143억 원) 수주('15), 미얀마 철도차량 사업(430억 원) 수출('18)
KAT	이탈리아 DTT(토카막형핵융합실험장치) 초전도 선재(430억) 제작사업 수주('19)
효성	초전도자석 전원공급장치 설계 및 제작 진행(다원시스 컨소시엄)
삼흥기계	초전도핵융합장치(K-STAR) 높이 12m의 열차폐체 몸통담당

– ITER 조립장비*는 SFA와 유진엠에스, 일진기계가 개발을 담당

* 상세 설계부터 제작과 검증시험까지 모두 책임져야함

– ITER 주요 부품을 핵융합 반응의 결과물인 중성자에서 보호하는 블랑켓 차폐블록은 이엠코리아가 한국 조달분 전량인 220개를 전담('20년 기준)

<표 44> 조달품목(현물조달) 상세내용

구분	역할	제원 및 구성	우리나라 조달내역
TF 초전도 도체	ITER 자석(플라즈마 밀폐 및 평형유지를 위한 자기장 생성)의 핵심 구성품	• 특수 316LN 재료(316LN-IG-HT)로 만들어진 튜브, 초전도 케이블로 구성 • 초전도 케이블 : Nb3Sn 초전도선재(900가닥), 무산소동(522가닥), Central Spiral(1개)로 구성 – 초전도 선재(150가닥), 무산소동 선재(87가닥)로 이루어진 6개의 Sub-cable을 Central Spiral 중심으로 집합연선	• 760m CICC 19개, 415m CICC 8개(TF 자석은 18개로 구성) – TF 자석 1개는 760m 길이의 CICC 5개, 415m 길이의 CICC 2개로 구성 • 조달금액 : 43.39kIUA(총 조달금액 : 215.01kIUA) ※ 한국 20.18%, 중국 7.51%, EU 20.18%, 일본 14.99%, 러시아 19.32%, 미국 7.82%, EU-일본 10.00%

<table>
<tr><th>구분</th><th>역할</th><th>제원 및 구성</th><th>우리나라 조달내역</th></tr>
<tr><td>진공용기
본체</td><td>• 핵융합 반응을 위한 연소 플라즈마 (Burning Plasma) 발생 및 저장
• 플라즈마 생성 및 유지에 필요한 초고진공 환경 제공
• 진공용기 내 삼중 수소 등 방사성 물질에 대한 1차 방호벽 역할
• 초전도 자석 보호를 위한 방사열 차폐 및 저온용기 내부 구조물 방사화 감소를 위한 중성자 차폐
• 진공용기 내부 구조물의 감쇄열 제거
• 블랑켓, 디버터 등 진공용기 내벽에 설치되는 구조물 지지</td><td><table>
<tr><th>크기</th><th>내부 면적 및 체적</th><th>전체 무게: 5,124톤</th></tr>
<tr><td>토러스 외경: 19.4M</td><td>면적 : 850 ㎡</td><td>본체 : 1,611 톤</td></tr>
<tr><td>토러스 높이 : 11.3 m</td><td>체적 : 1,600 ㎥</td><td>내벽 차폐체 : 1,733 톤</td></tr>
<tr><td>이중벽 두께 : 0.34~0.75 m</td><td></td><td>포트 구조물 : 1,780 톤</td></tr>
</table></td><td>• 조달금액 : 25.20kIUA(총 조달금액 : 117.09kIUA)
※참여율 : 한국 21.50%, EU 73.61%, IO 4.89%</td></tr>
<tr><td>진공용기
포트</td><td>• 진공용기 일부를 구성하며 진공용기 본체와 저온용기 사이를 연결하는 구조물</td><td><table>
<tr><th>구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>상부 포트</td><td>Upper Port (18개)</td></tr>
<tr><td>중앙부 포트</td><td>Regular Port (14개)
Heating Neutral Beam Port (3개)
Neutral Beam Duct Liner (3개)
Vacuum Sealing Flange</td></tr>
<tr><td>하부 포트</td><td>Remote Handling/Diagnositc Port (4개)
Cryopump Port (5개)
Local Penetration Ports
Vacuum Vessel Support (9개)</td></tr>
</table></td><td>• 중앙부 포트 및 하부포트 (상부 포트 조달 : 러시아)
• 조달금액 : 55.31kIUA(총 조달금액 : 72.66kIUA)
※참여율 : 한국 72.82%, 러시아 27.18%</td></tr>
<tr><td>블랑켓
차폐블록</td><td>• 진공용기, 초전도자석 등 주요 주장치를 보호하기 위한 중성자 (차폐 구조물)</td><td>• 블랑켓 차폐블록은 설치 및 유지 보수 등을 고려하여 모듈식으로 제작되며, 폴로이달 방향(수직방향)으로 18개, 토로이달 방향(원주방향)으로 18~36개로 나뉘어져 있음
• 일차벽과는 Key, Bolt, Hydraulic Connector, 진공용기와는 Key, Flexible Support로 체결되며, 전기연결부(Electrical Connector)및 냉각관 연결부(Hydraulic Connector)등이 부착되어야 함
<table>
<tr><th>구분</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>재질</td><td>316L(N)-IG</td></tr>
<tr><td>총 수량</td><td>440모듈</td></tr>
<tr><td>모듈별 중량 제한 (일차벽 포함)</td><td>4.5톤/모듈</td></tr>
</table></td><td>• 우리나라는 SB 1, 2, 6, 7, 8, 12, 13, 15, 16번 모듈 (총 220개)의 차폐블록을 제작 및 납품해야 함.
• 조달금액 : 28.07kIUA(총 조달금액 : 56.34kIUA)
※ 참여율 : 한국 49.82%, 중국 50.18%</td></tr>
</table>

구분	역할	제원 및 구성	우리나라 조달내역
조립장비	• ITER 주장치를 구성하는 진공용기(Vacuum Vessel), 초전도자석(TF, PF, CC, CS 초전도자석), 열차폐체(Thermal Shield) 등을 조립하는데 사용하는 전용 조립장비 ※ 일반측정 및 표준장비는 제외됨	• ITER 주장치는 조립절차를 기준으로 Lower Cryostat Activities, Sector Sub Assembly, Sector Assembly, Ex-Vessel Activities, In-Vessel Activities 조립장비로 분류 – 주 조립 대상물인 진공용기, TF 자석, 열차폐체로 구성된 40° Sector는 무게 약 1,200톤, 높이 약 17m×폭 9m×깊이 7m이며, 조립 정도는 수직, 수평방향으로 각각 약 ±3mm임	• ITER 주장치 전용 조립장비의 설계, 제작, 시험, 운송, 현지 설치 및 시운전 지원 등 조달 관련 업무 수행 • 조달금액 : 18.53kIUA(총 조달금액 : 18.55kIUA) ※ 참여율 : 한국 99.90%, IO 0.10%
열차폐체	• 실온의 구조물로부터 초전도자석으로 전달되는 열을 최소화하는 역할 – 유입 온도가 80 K인 가압 헬륨 가스에 의한 강제 냉각 방식으로 열차폐체의 온도를 유지하며, 정상 운전 상태에서 냉각용 헬륨의 온도를 80~100 K로 유지	• SS 304LN을 모재로 제작되며 열차폐체의 양면에 두께 5μm이상의 은도금을 하여 표면 열 방사율이 0.05 이하가 되도록 함 • 진공용기 열차폐체 (VVTS) : Inboard Section, Outboard Section로 구성 – Outboard section : 20 mm 두께의 panel로 구성 – Inboard section : 20 mm 두께의 panel로 구성 ※ 열차폐체의 설계는 양면이 은코팅된 SS 304LN 패널을 기준으로 함 • 저온용기 열차폐체 (CTS) : Upper CTS, Lower CTS, Equatorial CTS로 구성 – Upper CTS : Upper CTS Lid 및 Cylinder, 5개의 Shroud로 구성 – Lower CTS : Lower CTS Floor와 Cylinder로 구성 – Equatorial CTS : VVTS와 함께 중앙부 열차폐체 구조물을 형성	• 조달금액 : 26.56kIUA(총 26.56kIUA, 한국 참여율 100%)

구분	역할	제원 및 구성	우리나라 조달내역
삼중수소 저장 및 공급시스템	• ITER 핵융합 반응의 연료가 되는 수소동위원소를 저장·공급하며 대량의 삼중수소를 단기 또는 장기 저장하는데 필요한 인프라 제공 – 수소동위원소(삼중수소, 중수소) 및 다양한 주입목적에 따른 순수가스 공급 – 토카막(Tokamak) 핵융합로 운전 시나리오에 따른 삼중수소 저장 및 공급 공정 구현 – 삼중수소의 안전한 저장과 재고량 측정 및 정밀한 Tracking금속 수소화물을 이용한 삼중수소 저장용 베드의 적용 및 운전삼중수소 운반용기의 입고, 검수 및 보관	• 삼중수소 저장 및 공급시스템(SDS, Storage and Delivery System) 과 삼중수소 로딩 스테이션(TLS, Tritium Loading Station) 으로 구성 • 삼중수소 총용량은 최대 4kg 이며, 삼중수소 저장용 베드는 70g 의 용량을 가짐. • 삼중수소의 안전한 관리를 위해 삼중수소의 방사능 붕괴열을 열량계를 이용하여 재고량을 측정하며, 삼중수소 이송을 정밀하게 추적 및 제어해야 함. • 삼중수소의 장단기 저장에 안전 확보를 위해 금속수소화물의 형태로 삼중수소 및 중수소를 베드에 저장하며, SDS와 TLS에서 대부분의 설비와 공정은 글러브 박스 내부에 설치 및 운영됨. • 버퍼탱크, 가스 계통, 밸브 및 펌프 등은 삼중수소 적용 가능(Tritium Compatible) 해야 함	• 조달금액 : 11.79kIUA(총 조달금액 : 12.50kIUA) ※ 참여율 : 한국 94.25%, IO 5.75%
전원공급장치	• TF(18), CS(6), PF(6), CC(18) 등 총 48개의 ITER 초전도코일에 전류를 공급해 주는 전력변환장치임 • 적절한 전류제어를 통하여 플라즈마를 발생 및 가열시키고, 플라즈마의 위치와 형상 등을 제어하고, 자기장의 오차를 교정해 주고 최종적으로 안전하게 소멸시킴	• 컨버터별 최대 능력이 각각 78 MVA, 1,350 V, 68 kA인 대전력, 고전압, 대전류 전력변환장치로 총 설비용량이 2 GVA급임 • 컨버터용 변압기, 12펄스 싸이리스터 스택 및 DC 리액터로 구성된 TF(1), CS(12), VS1(6), CC(9), PF(16) 등 총 44대의 AC/DC 컨버터가 Disconnector 및 버스바를 통해 초전도코일에 직·병렬로 연결됨	• 조달금액 : 45.58kIUA(총 조달금액 : 113.56kIUA) ※ 참여율 : 한국 40.14%, 중국 58.68%, IO 1.19%
진단장치	• 핵융합 고온 플라즈마의 물리변수(밀도, 온도, 자기장 등)를 측정하기 위한 부대장치로서, 측정 데이터는 핵융합 연소 플라즈마 물리현상 이해, 플라즈마 제어, 일차벽 손상 여부 판별에 활용함	• 약 40여종의 독립적인 측정 시스템들로 구성되며, 자기장, 중성자, 분광, 레이저, 마이크로파, 입자 진단 등의 기법 활용 • 센서, 거울(Mirror), 도파관(Waveguide) 등의 측정 부품들은 플라즈마를 직접 관측하기 위해 진공용기 상부(12), 중간(6), 하부(6) 포트에 플러그 구조물을 사용하여 설치되고, 계측기기는 포트플러그 바깥에 설치됨.	• 상부 포트플러그 구조물 1개, VUV (Vacuum Ultra Violet) 분광기 및 중성자방사화시스템 등 진단장치 2개 • 조달금액 : 4.10kIUA(총 조달금액 : 204.89kIUA) ※ 참여율 : 한국 1.93%, 중국 1.68%, EU 14.71%, 인도 1.73%, 일본 9.29%, 러시아 8.72%, 미국 6.54%, IO 55.40%

*출처: 국제핵융합실험로 공동개발사업 종합적 성과분석 보고서(한국핵융합에너지연구원, 2023. 2.)

□ (타분야 진출) 산업체는 ITER 사업 참여 경험을 바탕으로 타 분야에 진출하여 매출을 확보함

○ 항공 및 우주, 가속기, 원자력 등 거대공공과학 및 전원, 철도 등 산업 분야에 진출 및 사업 다각화

<표 45> ITER 한국사업 참여를 통한 타 분야 진출 사례/사업 다각화

참여 분야	산업체	타 분야 진출 / 사업 다각화 사례
초전도 도체	케이.에이.티. 주식회사	– MRI용 초전도 마그넷과 가속기용 가속 모듈 개발/생산/공급 – CERN과 High Jc Nb3Sn 초전도 선재의 개발 계약 체결 – ITER 일본사업단 물량의 1/3에 해당하는 물량 수주 및 공급
진공용기 본체/포트	현대중공업	– 나로호 발사대 제작 참여
진공용기 본체	I-Plant	– UAE Ruwais FCC 공정 및 Saudi PRC FCC 공정 수주
진공용기 포트	하늘엔지니어링	– 프랑스 ITER 본부 VS Coil 사업 수행 – 반도체 및 2차 전지 생산 설비 관련 업무 참여
블랑켓 차폐블록 진단장치	비츠로테크	– 진공 브레이징 기술을 활용한 포항 가속기 납품 계약 체결 – 냉동기술 활용 DBU 제작 및 설치 – 플라즈마 기술을 이용한 음식물 처리기 개발 및 상용화
열차폐체	SFA	– 항공기 부품 오토클레이브 수주 – 인공위성 기능 및 성능 시험장치 제작 – 위성 카메라 시험장치 제작 – 해저 케이블 진공 함침 장치 제작
전원공급장치	다원시스	– 전동차 차체 구조해석 및 평가 – 전동차 차체 제작 – 분소 중성자포획치료 장치 개발 등
전원공급장치	모비스	– 중앙통제시스템 부문 해외 ITER 사업 참여 – 항공우주, 원자력 등 거대과학 분야 진출 – 포항 4세대 방사광 가속기 납품

* 출처 : 공공정책성과평가연구원(2021) ITER 한국사업 성과(정성·정량) 및 파급효과 분석

○ 2020년~2022년 타 분야 매출액은 각각 2,922억원, 1,879억원, 1,439억원으로 3년간 총 4,549억원의 매출액을 달성함

<표 46> ITER 한국사업 참여 산업체 타 분야 수주내역

(단위: 백만원)

구 분	초전도 자석	원자력	가속기	전원장치	진공용기	로켓 및 발사체	전동차	기 타	합 계
2020년이전	88,100		89,732	27,900	330	6,400	849,200		1,061,662
2020년		2,686	260				289,227		292,173
2021년			900	4,817			4,957	8,117	18,791
2022년			700	27,782			100,428	15,000	143,910
소계	–	2,686	1,860	32,599	330	6,400	394,612	23,117	454,874
합 계	**88,100**	**2,686**	**91,592**	**60,499**	**330**	**6,400**	**1,243,812**	**23,117**	**1,516,536**

*출처: 국제핵융합실험로 공동개발사업 종합적 성과분석 보고서(한국핵융합에너지연구원, 2023. 2.)

2.3.3. 인력 및 네트워크 현황

□ (ITER 기구 운영) ITER 국제회의 주도적 참여 및 국제협력 내실화

＊ 이사회(IC), 경영자문위원회(MAC), 과학기술자문위원히(STAC), IO-DA 사업집행위원회 등

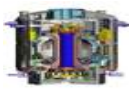
○ IO 사업 및 운영 등에 참여하며, 우리나라의 국익을 최대한 반영할 수 있도록 지원

□ ITER 기구 건설총괄 도메인장 등이 ITER 건설 핵심을 담당하고 있으며 총 65명이 ITER 기구 근무중('23.8월말 기준, 복귀인력 제외)

＊ IO와 국내 산업체 간의 용역사업 수주 등을 통해 산업체 인력 파견 근무 중

○ 총 86개의 조달품목 중 초전도자석 도체, 진공용기본체 및 포트, 블랭킷 일차벽 및 차폐블록, 열차폐체, 조립장비류, 삼중수소 저장·공급 시스템, 전원공급장치, 진단장치 등 10개의 품목을 할당

※ [참고] 국제핵융합실험로(ITER) 공동개발사업 개요



※ ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)
- 핵융합 반응을 통한 **500MW급의 열출력을 발생하는 장치**로서, **전기생산 가능성을 실증하기 위한 핵융합실험로**

- **(목적)** 7개국(미국, 러시아, EU, 일본, 중국, 한국, 인도)이 공동으로 ITER 건설·운영에 참여하여 핵융합에너지의 실현 가능성을 과학적·기술적으로 실증하는 초대형 국제협력 R&D 프로젝트 (참여국가 및 참여시기 : 미국, 러시아, EU, 일본('88.4), 중국('03.1) 한국('03.6), 인도('05.12))

- **(국제공동개발사업)** 석유자원 고갈과 지구온난화로 인한인류생존의 문제를 극복하기 위한 최적의 선택인 핵융합에너지 개발을 위해 7개 참여국이 힘을 모은 역사상 가장 큰 규모의 국제공동연구 개발사업 ('25년까지 ITER 장치 건설, 이후에 운영·실험)
- (총사업기간) 2007 ~ 2042년(건설, 운영, 방사능감쇄, 해체 등 4단계)

＊ 건설기간 : '07~25년(건설 이후 운영 12년, 방사능감쇄 5년 후 해체)

- (최종목표) 500MW급 국제핵융합실험로 개발·건설 운영사업
- (추진체계) 7개국 공동으로 ITER 장치 제작비, 국제기구 운영비, 공동 R&D 비용 부담
- (총건설비) 6,963. kIUA (약 117.7억 유로)
- (건설방식) 참여국에 할당된 조달품목을 제작 납품 후 현장 조립 완성

- **(ITER 사업추진경위)** 1888년 ITER 사업 출범→ 2003 한국 가입→ 2005 ITER 공동이행협정 협상완료→ 2007 ITER 공동이행협정 발표 및 ITER 기구 공식 발족→ 2010 베이스라인 확정→ 2016 베이스라인 개정→ 2022 ITER 간설장치 제작 조립 설치 진행

- **(ITER 시작)**1988년 핵융합에너지 개발을 위한 실용화 단계로의 발전을 위해 미국, 유럽연합, 일본, 러시아 등 4개국이 주도하는 『국제핵융합실험로(ITER) 공동개발사업』 계획이 추진되어 2001년 현재의 공학설계 (Engineering Design Activity)가 완료

- **(우리나라 참여)** 참여 조건으로 우리나라는 ITER 건설비(총건설비 : 6,963 kIUA, kIUA : kilo ITER Unit of Accounts)의 9.09%를 분담하고, 참여 이전에 진행되었던 공동이행협정 및 ITER 설계 결과 등을 수용하며, 분담비율에 따른 건설비 및 운영비를 부담
- 건설사업비 : 16,432억원(현물제작+현금분담)
- 분담분 중 현금분담금을 ITER 국제기구의 운영비 및 장치 정비 등에 사용되며, 현물분담금은 각 회원국이 각자 할당받은 ITER 장치부품(조달품목)들은 현물로 제작하여 공급

2.3.4. 수출 성공사례

□ (ITER 조달품목) KSTAR 건설 및 운영, ITER 건설에 참여한 국내 산업체가 타분야 및 해외 진출로 신규시장 개척을 활발하게 진행 중임

○ 우리나라는 KSTAR 건설 경험을 토대로, 9개 주요 조달품목을 제작·조달하며, 핵융합 핵심기술의 전략적 확보를 위해 국내 산업체를 통한 조달품목 개발 및 제작

* 초전도 도체, 진공용기 본체, 진공용기 포트, 블랑켓 차폐블록, 조립장비류, 열차폐체, 삼중수소저장·공급시스템, 전원공급장치, 진단장치

<표 47> 조달품목 국내 산업체 참여현황('19)

조달품목	세부 조달품목		계약업체	비고
초전도 도체	선재 (Strand)	28톤	KAT	조달완료
		30톤		
		35톤		
	케이블링 (Cabling & Material)		넥상스코리아	
	조관용 튜브 (Jacket Section)		포스코특수강	
	조관 (Jacketing)		ICAS (이탈리아)	
진공용기 본체	섹터 6번, 섹터 1번		현대중공업	'21.07 완료예정
진공용기 포트	중앙부 포트, 하부 포트 등		현대중공업	'21.07 완료예정
	중성입자빔 포트 격벽차폐체		현대중공업	'19.12 완료예정
	진공용기 지지구조물 (VV Supports)		현대중공업	'21.01 완료예정
블랑켓 차폐블록	블랑켓 차폐블록 패키지 1 (소재)		Rolf Kind Gmbh (독일)	'23.10 완료(구매)예정
	블랑켓 차폐블록 패키지 2 (제작1)		이엠코리아	'22.04 완료예정
	블랑켓 차폐블록 패키지 3 (FAT and Sub-Components)		비츠로테크	'25.03 완료예정
조립장비류	섹터 부-조립장비군 제작		SFA	'19.06 완료예정
	추가 섹터 부-조립장비 및 잔여 조립장비군 제작		SFA	'19.06 완료예정
	섹터 조립장비군 제작		유진엠에스	'19.12 완료예정
	ITER 섹터 부-조립장비군 잔여분 21종		일진기계	'19.12 완료예정
열차폐체	ITER 열차폐체 제작		SFA	'20.02 완료예정
전원공급장치	ITER 초전도 자석 전원장치 공급		다원시스/효성 (컨소시엄)	'22.12. 완료예정
진단장치	진단장치 설계		비츠로테크	'20.12 완료예정

※ 삼중수소저장·공급시스템은 '27년 6월 완료예정으로, 현재는 설계 단계임.

* 출처: 한국 핵융합·가속기 연구조합, 비츠로넥스텍, 2019. 11. '핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사'

❶ 다원시스

○ 독보적인 전력전자기술을 바탕으로 전동차, 핵융합발전, 플라즈마, 신재생에너지 등 다양한 산업분야에서 전원장치 사업 수행

– 초고온 플라즈마 자장밀폐를 위한 TF 초전도 전자석용 전원 개발에 참여

– 초고압 전원장치로 플라즈마 초기가열 및 형성용 자이로트론 튜브용 전원장치(GPS)와 플라즈마 가열에 절대적인 역할을 하는 중성입자 빔용 전원장치(NBI)의 개발에 참여

<표 48> 핵융합 관련 수출사례(다원시스)

구분	내용
핵융합 관련 수출사례	국내 유일의 핵융합 초전도 전원장치 제조업체로 한국형핵융합로(KSTAR)와 국제핵융합실험로(ITER) 사업에 특수전원장치를 공급 – 2011년 Phase 1 개발에 참여해 729억 원의 수주를 확보 – 2023년에는 2,221억 원 규모의 Phase 2 개발이 예정돼 있어 재수주 여부 관건
	민간 차원의 연구개발을 목적으로 한 MIT스핀오프 기업 CFS(Commonwealth Fusion System)으로부터 사업참여 의뢰

– 뛰어난 기술력 보유, 해외 네트워킹을 통한 관련 정보확보, 기업의 핵융합 분야에 대한 적극적인 투자 등으로 인하여 해외 수출이 가능

<표 49> 연도별 매출 비중

매출유형		품목	구분	2020		2021		2022	
				금액 (백만원)	비중 (%)	금액 (백만원)	비중 (%)	금액 (백만원)	비중 (%)
제품 매출	특수 전원 장치	핵융합	내수	4,310	1.74	5,248	1.78	1,640	0.78
			수출	–	0.00	–	0.00	–	0.00
			합계	4,310	1.74	5,248	1.78	1,640	0.78

* DART 사업보고서 참조

❷ 비츠로넥스텍

○ 에너지 분야 기기와 부품, 소재를 전문적으로 생산하는 비츠로그룹의 계열사 중 우주항공, 플라스마, 가속기 등 특수사업 분야를 담당하는 계열사

– 초고온의 플라즈마로부터 토카막 내부의 장치를보호하는 PFC 제작 등을 수행

<표 50> 핵융합 관련 수출사례(비츠로넥스텍)

구분	내용
핵융합 관련 수출사례	• 2018년 145억 원 규모 내벽 코일 전류전달장치, 2020년 12월 130억 규모 진단장치 보호용 1차벽 제작사업을 수주하는 등 ITER 주요 부품 제작을 담당 – 2021년 4월에는 190억원 규모의 ITER 수직 안정화 코일* 제작사업을 수주 * 1억도 이상 초고온의 불안정한 플라즈마를 수직으로 잡아줘 안정화하는 역할을 하는 장치

❸ 케이.에이.티.

○ 핵융합로와 의료용 MRI 등에 사용되는 고성능 초전도 선재(Nb3Sn, NbTi, MgB2)를 개발 및 판매

– 2006년 한국형 핵융합연구로인 K-STAR를 필두로 세계적인 핵융합 프로젝트인 ITER에 초전도 선재를 공급

– 핵융합 주장치로서 뛰어난 초전도선도 기술 보유하고 있으며 자체 연구 개발도 활발히 진행 중

<표 51> 핵융합 관련 수출사례(케이.에이.티.)

구분	내용
핵융합 관련 수출사례	2006년에 KSTAR(한국형 핵융합 실험로)에 2t(10억 원)의 Nb3Sn 선재 공급을 시작으로 2009년부터 2016년까지 Nb3Sn 146t(1230억 원)을 ITER(한국, 미국, 일본, 중국, 러시아, 인도, EU의 공동 핵융합 실험로)에 공급 ITER TF 도체 제작용 Nb3Sn 초전도선재 93톤을 참여국 중 가장 먼저 공급을 완료
	ITER 참여국 중 일본사업단이 발주한 'CS케이블 제작 국제 공개경쟁 입찰'에 참여해 수주 성공
	2014년 5월 일본 도시바전력시스템으로부터 국제핵융합실험로(ITER) 건설을 위해 일본이 조달하기로 한 약 37억 원 규모의 ITER TF도체 1개를 수주 성공
	이탈리아에 건설 예정인 DTT 핵융합 실험로 프로젝트에 ITER급 Nb3Sn 선재 55t(420억 원)을 2020년부터 2년간 공급

* 출처: 동아일보, 2023. 4. '초전도 선재 부문 강자… 미래 사업 가능성에 주목' 대한뉴스(http://www.dhns.co.kr)

2.3.5. 핵융합 관련 산업체 의견수렴 결과

□ 국내 핵융합 관련 산업체 대상 심층 인터뷰를 통하여 수출 활성화를 위한 정책적 지원 방안 마련과 기술력 강화를 위한 산업체 관계자 의견 청취

○ (조사 개요) 핵융합 산업체의 해외 수출 및 국제협력에 대한 정책적 투자육성방안 마련을 위해서는 기업 현황 및 애로사항 분석

<표 52> 조사 내용

구분	심층 인터뷰
조사대상	국내 핵융합 산업 관련 기업체
조사방법	온오프라인
조사기간	2024. 1월~3월
조사내용	수출성공 사례/애로사항/기술보유현황(강점/약점)/정부지원활동

○ (참여기업) 유진엠에스, 케이.에이.티, 다원시스, 이엠코리아, 인에이블퓨전

○ (조사내용) 수출 세부활동별 핵심경쟁력 및 해외 진출 시 애로사항, 국내 스타트업 동향

– 시장 및 고객발굴, 제품 및 서비스 개발, 수출 및 해외 진출로 구분하여 기업이 갖추어야 할 역량 및 정부가 지원해야 할 핵심경쟁력 영역 도출

<표 53> 수출 세부활동별 핵심경쟁력

수출활동	세부활동	핵심경쟁력
시장고객발굴	• 해외시장 탐색 – 시장조사 및 분석 • 마케팅 및 세일즈 • 유통채널 구축	• 보유 기술 및 기술 수준의 동향 파악 • 해외 수주정보 획득 • 국내 기술력에 대한 인지도 향상 • 해외 파트너 확보 및 연계
제품 및 서비스 개발	• 연구개발 • 제조 및 생산 • 기술사업화/제품화	• 기술개발 투자를 통한 기술경쟁력 확보 • 전문인력 보유
수출 해외진출	• 수출계약 • 제품생산	• 기술규제에 대한 대응력 • 시험/인증 등 해외인증 역량

○ (기업의견 주요내용) 시장 및 고개발굴, 제품 및 서비스개발, 수출 및 해외진출로 구분하여 산업체 의견을 조사 및 분석하여 이슈 발굴

– 핵융합 관련 기업체의 경우 공통적으로 관련 분야의 정보확보가 어려움, 연구개발 및 전문인력 지원 확대, 해외진출 시 요구되는 제반사항 지원 부재함에 대한 애로사항 확인

<표 54> 기업 의견 주요 내용

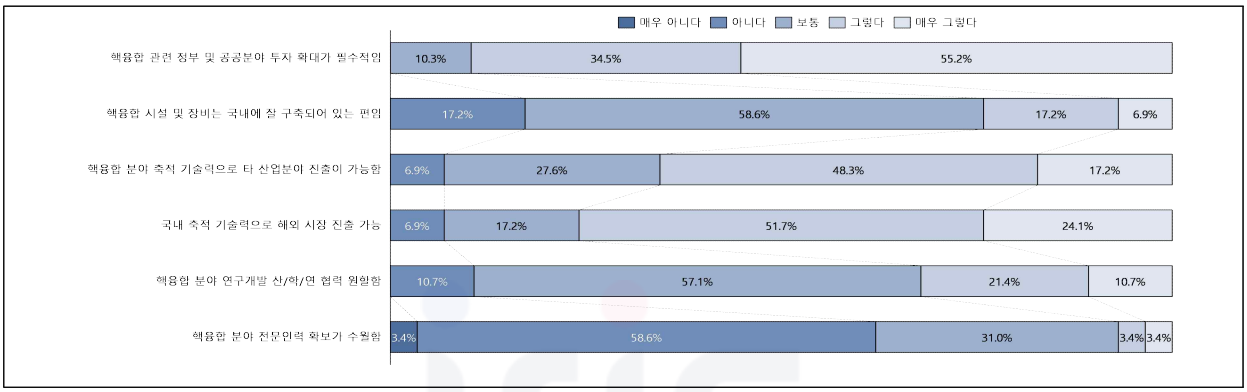
구분	기업 의견 주요 내용
시장고객발굴	•핵융합 관련 분야 정보 확보 어려움 – ITER참여 국가간 정보공개 잘 이루어지지 않고 있으며 기업들은 영업 비밀처럼 특허 등록도 잘 하지 않음 – 정부는 관련 기업이 보유하고 있는 기술과 그 기술에 대한 수준에 대한 자료확보가 미흡, 해외 동향자료 및 관련 소식에 대한 지원이 부재함 •응용가능한 산업 관련 시장정보가 부족, 시장 진출에 있어 미스매치 우려 •조달시장에 대한 정보력 부족(소싱 정보) – 국내외 타 산업체를 대상으로 핵융합 관련 기술을 필요로 하는 기업에 대한 제품 및 서비스 공급 가능 •해외의 제작 등 니즈를 확인하고 작업이 가능한 기업을 연결시켜주는 지원 센터 등이 부재 •민간부문에서 기술을 보유하고 있어도 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외 진출 활동에 제약 – 국내외 관련 동향에 대한 정보력이 미흡함에 따라 국내 기업의 접근성 또한 낮아짐 •국내 산업체의 기술력에 대해서는 미국, 유럽 등에서 인식이 낮은 편이기에 홍보 필요
제품 및 서비스 개발	•기초과학분야의 연구개발 관련 정부 및 공공분야 투자 확대가 필요 – 수출가능품목에 대한 연구개발지원 필요 •일반기기에 대한 연구개발지원 필요 – 핵융합 관련 중요 설비파트의 경우 일반기기에 대한 엄격한 기준을 요하는 일부 국가가 존재함에 따라 지원필요 (ex.밸브는 일반 기기로 핵융합 유동체에 들어가지만 위험하게 작용될 수도 있는 설비 해당, 일부 국가 엄격한 기준 요구할 가능성 있음) •프로젝트 진행 시 인터페이스 문제 발생 경우 대응의 어려움, 인테그레이션엔지니어링 (Integration engineer) 관련 연구지원필요 •전문인력확보를 위한 지원 미흡
수출 해외진출	•해외 진출 등 수출 지원을 위한 지원체계 부재 •해당 국가와의 소통문제 해소 필요(엔지니어 지식을 보유한 소통 가능한 전문가 필요) •ITER기구 절차 등 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정 서류 작업 어려움 •국제적으로 통용되는 글로벌 산업 표준기준 부재 •해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원마련 필요 – 글로벌 규제 및 국제법과 관련한 이슈들에 대한 대응이 어려움

<참고> 한국핵융합에너지연구원의 산업인력현황 실태조사 연구결과를 참고하여 산업의 전반전 인식 수준 확인

○ 응답 기업들은 핵융합 산업 발전을 위해 정부 및 공공분야 투자 확대가 가장 필수적이라고 응답하였으며, 전문인력 확보 수월성에는 부정적이라고 응답함

* 핵융합 산업 발전을 위해 정부 및 공공분야 투자 확대가 필수적이라는 데 가장 긍정적으로 응답함(89.7%)
* 해외시장 진출 가능(75.9%), 타 산업 분야 진출 가능(65.5%) 순으로 긍정적으로 응답함
* 핵융합 분야 전문인력 확보의 수월함에 대하여 부정적으로 응답한 기업은 62.0% 차지

[그림 38] 핵융합 산업 전반적 인식 수준



* 출처: KFE 핵융합 산업인력현황 실태조사 연구용역('23)

2.4. SWOT 분석

1 내부역량 분석 : 강점 (Strengths)

□ ITER 사업 참여 및 KSTAR 연구를 통한 성과 및 연구 역량 확보를 통하여 극한 기술 활용분야의 기술 경쟁력 강화

○ 우리나라 핵융합은 1970년대 대학 및 연구소의 기초연구를 시작으로 1995년 대형 초전도 토카막(KSTAR)건설을 목표로 국가핵융합연구개발 기본계획을 수립하면서 본격화

– 핵융합 연구는 상대적으로 후발주자에 속하나 KSTAR* 건설 및 운영을 중간진입전략(Mid-entry Strategy)으로 삼아 핵융합 선진국과의 기술 격차를 빠르게 해소하였고 이를 통한 연구 인프라 및 관련 기술을 토대로 2003년 ITER 사업 참여

* KSTAR 연구·운영을 통해 세계 최초로 초전도 토카막 장치에서 1억 ℃, H-모드 및 ITB-모드 달성, 고온·고밀도 플라즈마 장시간 운전 성공, 플라즈마 경계면 불안정 제어 등 우수한 연구성과 도출

* ITER 건설일정에 따른 할당품목 적기 개발·제작, 핵심기술 확보를 추진 중이며 타 회원국 및 ITER기구를 통해 사업 수주 규모 지속 확대

<Mid-entry Strategy>
– 우리나라는 다른 선진국에 비해 뒤늦게 핵융합 연구참여, 1990년 대 중반 이후 정부 주도로 추진된 '중간진입전략(Mid-entry Strategy)'을 통해 세계 최고 수준의 초전도 핵융합연구장치인 KSTAR를 건설
– 선진국들과 함께 국제핵융합실험로(ITER) 공동개발사업에 참여하면서 빠르게 세계 핵융합 에너지 개발의 중심으로 다가가고자 함

○ 우리나라 정부 R&D 투자규모는 1,568.0억 원(`19년 기준)으로, 최근 4년 간(`16~`19) 연평균 4.3% 증가추세를 나타내며 미래 안정적이며 청정한 에너지원을 확보하기 위하여 핵융합 분야에 적극적인 투자 실시

– 국제협력 및 기관지원 중심으로 투자되어 대학이나 기업보다는 출연연 투자 비중*이 상당히 높은 것으로 나타남

* 95.8%(2016) → 96.3%(2017) → 96.6%(2018) → 97.4%(2019)

○ 우리나라는 핵융합 관련 다양한 연구활동 참여 및 적극적인 정부지원을 바탕으로 선도국과 견줄만한 제조기술력(High-Quality), Fast-Delivcery, Reasonable-Cost의 강점을 보유하고 있음

◆ “우리나라는 핵융합 R&D 후발주자로 중간진입전략 채택 후, KSTAR 연구·운영, ITER 사업 등에서 세계적 성과 창출”
◆ “우리나라의 핵융합분야에 적극적인 투자를 통하여 핵융합 핵심기술의 적기 확보를 통한 에너지강국 기대”

2 내부역량 분석 : 약점 (Weakness)

□ 핵융합에너지 개발은 많은 실험과 장기간 연구가 필요한 분야로서 민간부문의 진입이 어려움

* 다수의 기술적 난제들로 발전 상용화까지 막대한 시간과 자본이 소요

○ (기술·인력) 상용화도 최소 30~50년의 기간이 소요되는 거대과학 분야로, 경직성 경비의 높은 소모 비중 등 민간부문의 적극적인 연구개발 및 투자 진행 어려움

○ (산업·시장) 거대과학산업이라는 산업 특성상 기업의 독자적인 수출 등 진행에는 현실적 어려움이 존재(기술적 신뢰도 등)

* EU나 미국 등 업체 선정 시 자국 제조업체를 우선 선정해야 하는 제도가 존재하여 공공 부문 차원의 체계적인 지원 필요

– 핵융합 분야는 주로 공공부문을 중심으로 수요처가 한정되어 있고, 국내 시장은 2035년까지 정체 예상

* 민간부문에서 기술을 보유하고 있어도 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외 진출 활동에 제약(특히 중소기업)

– 국내 기업은 소규모 기업이 대부분이며, 긴 소요시간, 연구 진행 과정에서의 추가 비용 발생 등 민간부문의 진입이 어렵고 대기업도 이러한 어려움은 동일

* 민간부문에서 자체 연구개발을 추진하기에는 사업화에 장기간 소요되고 불확실성이 높은 특성

◆ “핵융합에너지 관련 연구는 거대과학이라는 특성 상 KFE 중심으로 연구개발이 대부분 진행, 민간 부문에서는 연구개발 추진, 전문인력 확보 등이 어려움”

○ ITER 프로젝트의 주요 일정 및 목표가 달성되면 해당 연구결과를 토대로 핵융합 상용화를 위한 국가 R&D(DEMO)가 가속화될 전망

– 완료 시점의 유동성 문제에 따른 K-DEMO 추진계획 또한 일정상 유동적일 것으로 예상됨

3 외부환경 분석 : 기회요인 (Opportunities)

□ 핵융합에너지 과학적 개발이 완료 시 핵융합 기술보유국이 에너지 강국이 될것으로 전망

○ 핵융합에너지는 청정한 에너지로서 대규모의 안정적 공급이 가능하다는 장점이 있으며 원자력 발전을 대체할 수 있는 미래에너지에 해당

– 전 세계적으로 기후변화대응 정책 일환으로 주요국은 탄소중립을 선언하고 있으며 핵융합에너지가 이에 부응할 수 있을지는 현재 진행하고 있는 핵융합 연구의 상용화(40년) 성공 여부에 달려 있음

<표 55> 핵융합의 장점

구분	주요내용
장점	* 발전과정에서 이산화탄소, 미세먼지 미배출 * 연료획득 용이(중소소는 바닷물 전기분해, 삼중주소는 리튬에 중성자 가해 얻을수 있음) * 발전용량은 1GW이상이 되고 연료비용이 낮아 기저전원으로 사용가능 * 핵융합 반응은 연료공급이 없을 경우 반응이 없어지므로 대형사고 위험이 거의 없음

* 출처: 핵융합발전의 사회경제적 인식분석, 에너지경제연구원(2016)

○ (기술·인력) KSTAR는 핵융합 에너지를 내는 데 핵심 조건인 이온 온도 1억도의 초고온 플라즈마를 30초간 유지, 초고온 플라즈마 장시간 운전 세계 기록 갱신(2021)하며 핵융합 핵심기술 적기확보 가능성 확대

* (기초) '70. 핵융합기술'은 KSTAR 장치를 바탕으로 초전도 토카막 운전기술과 고성능 플라즈마 진단기술, 경계면 불안정 현상 제어 기술 등에 대해 경쟁력을 갖추고 있음

* (응용·개발) '70. 핵융합기술'은 KSTAR 장치를 바탕으로 진공용기, 초전도 선재 등 초전도 토카막 제작 기술에 대해 경쟁국 대비 우수성을 보유하고 있음. 장치 건설에 대한 Q&A에 경쟁력을 갖추고 있음 * 핵융합·가속기 분야 기술 및 산업 현황 조사, 한국핵융합 가속기협회(2019)

○ (산업·시장) 미국은 이미 핵융합 분야 공급사슬(supply chain)이 구축되어 있으며 핵융합 관련 개발기업(약 43개) 및 SMR(소형모듈원전: 약 50개) 스타트업 활동 중

– 이러한 단기간 상용화 기술에 대한 니즈가 있는 스타트업의 경우 국내 기업의 보유 기술력으로 수출가능한 수요처로서 활용 가능

◆ 핵융합에너지는 청정한 에너지로서 대규모의 안정적 공급이 가능, 원자력 발전을 대체할 수 있는 미래에너지 해당

◆ 우리나라는 ITER 사업참여, KSTAR 연구·운영 등을 통하여 경험 축척 및 핵융합 핵심기술 확보를 통한 세계적 성과 창출 가능

○ (국제협력) 타 산업에 비해 국제협력의 기회가 많은 편이며 ITER 또한 국제 공동 연구개발 프로젝트로 향후 국제협력 가능성 높음

④ 외부환경 분석 : 위협요인 (Threats)

□ **친환경 미래 에너지원으로 기대를 받고 있는 핵융합 발전장치 개발 경쟁이 치열해지고 있으며 우리나라는 아직 핵융합 관련 분야의 공급사슬이 형성되어 있지 않음**

○ 중국은 핵융합 연구에서 후발주자지만 2015년 이후 대규모 예산 및 인력을 동원하여 핵융합 분야에 집중적인 투자(유력특허 확대 등)를 통해 규모를 확대, 에너지 기술 핵융합 특허실적은 미국을 역전함

* 출원기업 및 연구기관 국적별 특허출원 : 중국(4만 3,156점), 미국(3만 8,145점), 영국(3만 792점), 일본 1만 6,566점
* 중국은 미중경쟁으로 인하여 에너지 분야에서도 자국력 강화하고자함(4세대 원자력 건설 중, 약 25개 건설)

◆ "중국정부는 핵융합에너지분야에 공격적인 투자를 진행 중이며 이로 인하여 국내 기업의 진입가능한 시장이 축소될 우려"

○ ITER 사업에서는 더 이상 국내 기업이 참여할 수 있는 영역이 없으며 남은 부분은 국내에서 해소하기 어려운 분야에 해당

- ITER의 경우 납품을 하는 경우 IO(ITER 국제기구)에 설계도를 필수적으로 넣어야 하지만, 외국 기업들이 공개를 하려하지 않음

○ (기술·인력) ITER 프로젝트 종료되면 참여 및 관련 기업(제작사)들의 연속성 있는 사업이 부재함에 따라 기존 구축되어놓은 기술력 및 전문인력등이 사라질 것이 우려

- K-DEMO 존재 자체만으로 기업의 활성화가 이루어지지는 않을 것으로 예상되며 자생적인 공급사슬(supply chain)이 생성될 수 있는 구조를 구축 필요

* 현재 범용기술, DEMO 적용기술보다는 새로운 도적적 기술을 개발할 수 있도록 지원 필요

◆ "국내기업의 투자활성화를 위해서는 국가적 차원으로 지속적인 지원을 약속하는 공식적인 계획 발표가 시급"

○ (수출지원) 핵융합산업 발전을 위하여 해외진출, 국제협력, 수출지원 관련 중점 지원체계가 부재함

– 이에 해외진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 지원체계 마련이 시급하며 한국핵융합에너지연구원(KFE)가 산업지원 역할을 수행하고 있으나, 연구기관의 특성상 역할에 한계

– ITER 한국사업단에서 개인적 네트워크 등을 통해 일부 수출 성과 등을 창출하고 있으나, 사업단의 역할에 부합하는 역할로 보기는 어려움, 이에 해외진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 지원체계 마련 시급

□ 정책방향을 위한 시사점 도출

<표 56> SWOT 전략 도출

	강점 요인(STRENGTHS)	약점 요인(WEAKNESSES)
내부요인	• 핵융합 연구는 상대적으로 후발주자에 속하나 KSTAR건설 및 운영을 중간진입전략(Mid-entry Strategy)으로 삼아 핵융합 선진국과의 기술 격차를 빠르게 해소 • ITER 건설 일정에 따른 할당 품목 적기 개발·제작, 핵심기술 확보를 추진 중 • 타 회원국 및 ITER기구를 통해 사업 수주 규모 지속 확대 • 우리나라는 선도국과 견줄만한 제조기술력(High-Quality) 및 Fast-Delivcery, Reasonable-Cost의 강점을 보유	• 핵융합에너지 연구는 다수의 기술적 난제들로 발전 상용화까지 막대한 시간과 자본이 소요 • 핵융합분야는 주로 공공부문을 중심으로 수요처가 한정되어 있고, 국내 시장은 2035년까지 정체 예상 • ITER 프로젝트 완료 시점의 유동성 문제에 따른 K-DEMO 추진계획 또한 일정상 유동적일 것으로 예상
외부요인	**기회 요인(OPPORTUNITIES)**	**위협 요인(THREATS)**
	• 핵융합에너지는 청정한 에너지로서 대규모의 안정적 공급 가능 • ITER 사업, KSTAR 연구·운영 등을 통하여 세계적 성과 창출 • ITER 등 핵융합 관련 사업 참여 경험을 최대한 활용하여 추가수요처 발굴	• 친환경 미래에너지원으로 핵융합 관련 분야 경쟁 치열 • ITER사업은 마무리 단계로서 국내 기업이 참여할 수 있는 영역 축소 • 관련 산업 자생적 공급사슬 부재 • 산업체 관점에서 해외진출, 국제협력, 수출지원 관련 중점 지원체계가 부재함
	긍정적 요인(Positive)	**부정적 요인(Negative)**

[기회로 활용]

○ (S-O) 우리나라는 핵융합 선진국과의 기술 격차를 빠르게 해소하며 high quality(제조기술), fast delivcery, reasonable cost의 강점을 가지고 해당 영역의 수출 가능한 수요처 발굴을 확대할 수 있는 사업 설계

○ (W-O) 핵융합에너지는 청정한 에너지로서 대규모의 안정적 공급이 가능하다는 장점이 있는 미래 에너지 해당, 이에 관련 기술개발 뿐 아니라 산업 측면에서의 지원 필요

- ITER 사업에서는 더 이상 국내 기업이 참여할 수 있는 영역이 없으며 남은 부분은 국내에서 해소하기 어려운 분야에 해당됨에 따라 이러한 위기에 대응이 가능한 지원체계를 마련할 수 있도록 지원

  * 자생적인 공급사슬(supply chain)이 생성될 수 있는 구조를 구축 필요

[위협에 대응]

○ (S-T) 우리나라의 미래 안정적이며 청정한 에너지원을 확보하기 위하여 범용기술, DEMO 적용 기술 뿐 아니라 새로운 도전적 기술을 개발할 수 있도록 정부의 적극적인 투자 필요

○ (W-T) 핵융합 에너지 관련 연구는 거대과학이라는 특성 상 공공부문 중심으로 연구개발이 대부분 진행, 민간부문에서는 연구개발 추진, 전문인력 확보 등이 어려운 점을 고려하여 지원

- ITER 프로젝트 종료 시 참여 및 관련 기업(제작사)들의 연속성 있는 사업이 부재함에 따라 기존 구축되어놓은 기술력 및 전문인력 등이 사라질 것이 우려되며 자생적인 공급사슬(supply chain)이 생성될 수 있는 구조 마련

2.5. 국내 산업체 수출 한계점 및 활성화 이슈

□ 국내 산업체의 해외 진출 방안을 마련하기 위하여 다각도적인 측면에서의 이슈 발굴

<표 57> 주요 이슈 발굴

구분	산업구조적	기술/인적역량	국제협력	지원체계	수출활동
현황	·제작 중심의 산업 구조로 기술 발전의 어려움 ·핵융합 산업 생태계가 구축되어 있지 않아 현재 산업구조상 시장 성장 제약	·민간영역에서의 적극적인 연구개발추진 및 전문인력 확보의 어려움 ·핵융합 연구개발 특허 및 기업체 논문 산출 감소하고 있는 추세	·타 산업에 비해 국제협력 및 타분야 진출 등 기회가 많은 편 ·주요국의 국내 기술력에 대한 인식이 상대적으로 낮음 ·공공 부문의 체계적인 개입 필요	·핵융합산업 발전을 위한 중점 지원체계 구축 미흡 ·국제적 기준 및 규제 및 국제법과 관련한 이슈들에 대한 대응이 어려움	·(시장/고객발굴) 동향 파악 및 국가 간 네트워킹, 정보교류, 연계 지원 미흡 ·(제품/서비스개발) 정부/공공분야 투자 부족 ·(수출/해외진출) 해외 시장 대응대응 및 수출 지원을 위한 지원 체계 부재
시사점	·핵융합 산업 생태계 구축 및 발전방안마련 필요	·산업체의 기술경쟁력 확보를 위한 지원 필요	·국가간 교류 및 네트워킹 등 국가적 차원에서의 지원 필요	·핵융합산업 발전을 위한 중점 지원체계 마련	·수출 지원관련 체계적인 지원을 통한 기업의 수주지원

□ 산업 구조적 측면

(1) 제작 중심의 산업구조로 기술 발전의 어려움

○ 주요국은 최근 기후변화 및 ESG 대응 전략으로 핵융합 분야에 대한 관심이 고조되며, 핵융합 민간 스타트업 수* 및 투자** 증가

* 미국(13개), 영국(5개) 등 약 30개 이상의 스타트업 활동 중('21년 기준)

** 핵융합 스타트업 총 누적 투자금액은 약 $4.1B(한화 약 4.8조) 이상('21년 기준)

– 구형 토카막, 고온초전도체 등 비 ITER 방식*으로 ITER 대비 소규모로 핵융합 장치 설계·제작을 추진

* ITER는 저온초전도체를 활용한 도넛모양의 토카막 방식

– 특히, CFS(美), Tokamak Energy(英)는 고온초전체(HTS)를 사용한 소형 토카막 장치를 개발하여 '30년대 중반 전력생산 실증(100~200MWe) 목표

○ 이에 반면 국내 산업은 주로 제작단계를 중심으로 발달해 왔고, 설계/엔지니어링 분야의 성장은 지체되고 있음

* 핵융합 관련 기술의 대부분은 설계/엔지니어링, 제작, 소재에 해당되며 설계 및 제작이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타남

(2) 핵융합 산업 생태계가 구축되어 있지 않아 현재 산업구조 상 시장 성장 제약

○ 우리나라는 선진국과의 기술 격차 극복을 위하여 중간진입전략을 채택하고 KSTAR 건설 성공 및 ITER 사업 참여중에 있으나 핵융합 산업 생태계는 주로 공공부분으로 수요처 한정

* ITER 프로젝트 진행상황에 따라 국내 시장은 2035년까지 정체 예상

– 국내 기업의 수출 물량 대부분이 ITER기구에 발주한 사업으로 ITER사업 종료 이후 공급망 부족이 예상됨

* ITER 기구 및 타 참여국의 조달품목 등에서 우리나라가 184건 총 7,300억 원 규모 수주('23년 9월 기준), 국내사업에 총 7,474억 매출 효과 발생('04~'22년)

○ 국내 기업은 소규모 기업이 대부분이며, 긴 소요 시간, 연구 진행과정에서의 추가 비용 발생 등 민간부문의 진입이 어렵고 대기업도 이러한 어려움은 동일

□ **국내 기술·인적역량 측면**

(1) 민간영역에서의 적극적인 연구개발추진 및 전문인력 확보의 어려움

○ 핵융합은 상용화도 최소 30~50년의 기간이 소요되는 거대과학 분야로 한국핵융합 에너지연구원(KFE) 중심으로 연구개발이 진행되고 있음

– 변화하는 정부 정권 비전 및 국정과제에 따라 핵융합 분야의 관심, 예산이 영향을 받기에 안정적인 지원 가능 여부는 미지수

* 정부의 의지에 따라 기업의 투자확대 가능

○ 민간부문에서 자체 연구개발을 추진하기에는 사업화에 장기간 소요되고 불확실성이 높은 특성

– 민간부문에서는 자체적인 연구개발 추진 및 전문인력 확보, 적극적인 연구개발 및 투자 진행이 어려움

* 민간부문(특히 중소기업)에서는 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외진출 활동에 제약

핵융합 산업발전을 위해 정부 및 공공분야 투자 확대가 필수적이라는 데 가장 긍정적으로 응답함(89.7%)

* 핵융합에너지연구원 산업인력 현황 실대조사 결과(2023)

(2) 핵융합 연구개발 특허 및 기업체 논문 산출 감소하고 있는 추세

○ 선도국 대비 핵융합 연구개발 경쟁력이 낮으며 핵융합 실증로 구현 목표 대비 기술 진보 수준 낮음

* 핵융합 실증로 구현을 위한 최종 목표대비 기술수준은 40.8% 수준이며 최고 기술국은 노심 플라즈마, 핵융합 소재, 가열 및 전류구동 분야가 최종목표대 비 근접, 증식블랑켓·연료주기 분야의 경우 아직 기술수준이 낮음

– 기업체의 핵융합·가속기 국내 특허 출원 및 등록 건수는 2016년 20건, 2017년 18건 대비 2018년 11건으로 지속적으로 감소함

대부분의 기업은 뛰어난 기술력 보유, 기업의 핵융합 분야에 대한 적극적인 투자로 인하여 해외 수출에 성공한 것으로 나타남

* 국내기업 해외수출 성공사례 조사

□ 국제협력 측면

(1) 타 산업에 비해 국제협력 및 타분야 진출 등 기회가 많은 편

○ ITER 또한 국제 공동 연구개발 프로젝트로 향후 국제협력 가능성 높으며 일부 산업체는 ITER 사업 참여 경험을 바탕으로 타 분야*에 진출하여 매출을 확보함

* 항공 및 우주, 가속기, 원자력 등 거대공공과학 및 전원, 철도 등 산업 분야

① 다원시스: 미얀마 철도 현대화 사업 수주('18) (현재, 국내 지하철 사업 지속 참여 중)
– **(사업규모)** 3762만달러(약430억원)
– **(주요내용)** 미얀마 철도 현대화 사업에 관한 계약을 체결
– 한국철도공사의 미얀마 철도청에 대한 사업 컨설팅 하에 20개월간 3762만달러 규모의 객차 100량과 기타 장비 등을 공급할 예정

(2) 주요국의 국내 기술력에 대한 인식이 상대적으로 낮은 상황

○ 국내 기업의 제조·가공능력은 우수하나, 이에 대해 국외에서 인식이 낮으며 이에 해외스타트업 기업 등에 국내 기업의 기술력 소개 및 홍보 방안 마련 필요

(3) 공공 부문의 체계적인 개입 필요

○ 거대과학산업이라는 산업 특성상 기업의 독자적인 수출 등 진행에는 현실적 어려움이 존재(기술적 신뢰도, 발주정보 등)

– 국내기업은 국내외 관련 동향에 대한 정보력이 부족하여 기업의 접근성 또한 낮아질 수 밖에 없음, 조달시장에 대한 정보력 부족(소싱 정보)에 따른 어려움

> ITER의 경우 납품을 하는 경우 IO(ITER 국제기구)에 설계도를 필수적으로 넣어야 하지만, 외국 기업들이 공개를 하려하지 않음
>
> 정부는 관련 기업이 보유하고 있는 기술과 그 기술에 대한 수준에 대한 자료확보가 미흡, 해외 동향자료 및 관련 소식에 대한 지원이 부재함
>
> * 핵융합관련기업 심층인터뷰

○ EU나 미국 등 업체 선정 시 자국 제조업체를 우선 선정해야 하는 제도가 존재하여 공공 부문 차원의 체계적인 지원 필요

* 영국의 경우 EU 탈퇴 후 핵융합에너지에 독자적으로 활발히 투자 중

□ **지원체계 측면**

(1) 핵융합산업 발전을 위한 중점 지원체계 구축 미흡

○ 해외 진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 지원체계 마련 등 시급하며 KFE가 산업지원 역할을 수행하고 있으나, 연구기관의 특성 상 역할에 한계

○ ITER 한국사업단에서 개인적 네트워크 등을 통해 일부 수출 성과 등을 창출하고 있으나, 사업단의 역할에 부합하는 역할로 보기는 어려움, 이에 해외진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 지원체계 마련 등 시급

(2) 국제적 기준 및 규제 및 국제법과 관련한 이슈들에 대한 대응이 어려움

○ 해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원 마련 필요

– ITER 건설을 위한 지원의 경우 요구되는 사양에 맞추어 개발 및 제작해야 하며, 국제적으로 통용되는 글로벌 산업표준 기준은 부재한 상태

– ITER기구 절차 등 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정 서류 작업 어려움, 해당 국가와의 소통문제 해소 필요(엔지니어 지식을 보유한 소통 가능한 전문가 필요)

(3) 잠재적 시장 진입자에 대한 지원체계 미흡

○ 높은 전문성을 가진 인력이나 기업이 분야에 진출할 수 있는 지원체계 구축 필요

– 제한적인 분야의 특성상 신규 전문인력 및 기업의 진입의 어려움이 존재해 기술력이나 전문성 제고에 한계가 존재할 수 있음

□ **수출활동 측면**

○ 기업의 수출 활동을 시장 및 고객발굴, 제품 및 서비스 개발, 수출 등 해외 진출로 구분하여 세부 활동별 이슈 도출

– (정보조사) 핵융합분야에 진출하고자 하는 기업이 늘어나고 있으나 핵융합 관련 뿐 아니라 응용가능한 산업에 대한 시장정보가 부족하며 조달시장에 대한 정보력 부족

– (정보제공) 국내 산업체의 기술력에 대해서는 미국, 유럽 등에서 인식이 낮은 편에 속하여 사업 수주 시 어려움을 겪고 있음

– (해외파트너 확보 및 연결) 해외의 제작 등 니즈를 확인하고 작업이 가능한 기업을 연계시켜주는 지원 센터등이 부재

– (연구개발 및 제조·생산) 국내 기업은 소규모 기업이 대부분이며, 긴 소요 시간, 연구 진행 과정에서의 추가 비용 발생 등 민간부문의 진입이 어렵고 대기업도 이러한 어려움은 동일

* 국내 산업이 주로 제작단계를 중심으로 발달

– 국내에서 설계 기술을 보유하고 있는 기업이 많지 않으며 기초연구 분야에 대한 예산감축으로 인한 정부 지원이 미흡

– (수출계약 및 해외진출) 해외 진출 등 수출 지원을 위한 지원체계 부재하여 수주 전후 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정처리 및 기술적 커뮤니케이션 어려움

– 민간부문에서 기술을 보유하고 있어도 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외 진출 활동에 제약

* 프로젝트 진행 시 인터페이스 문제 발생 경우 대응의 어려움

◆ 수출 지원 관련 체계적인 지원을 통한 기업의 수주지원(지속적인 정보제공 + 요구기술 개발→ 맞춤형 수주)필요

<표 58> 수출활동별 주요 이슈

단계	시장 및 고객 발굴			제품 및 서비스개발	수출 등 해외진출	
구분	정보조사 및 정보제공	해외파트너		사업화/제품화	수출계약	해외 진출
		확보	연계			
상세	해외시장 탐색	검증	공급의사/가격타진	연구개발 제조 및 생산	주문서 및 공급확약서	제품생산
이슈	•핵융합 관련분야 정보 확보 어려움 •응용가능한 산업관련 시장정보가 부족, 시장 진출에 있어 미스매치우려 •국내 산업체 기술력에 대한 해외국가 인식이 낮은편	•민간부문에서 기술을 보유하고 있어도 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외 진출 활동에 제약(특히 중소기업) •해외의 제작 등 니즈를 확인하고 작업이 가능한 기업을 연결시켜주는 지원센터등이 부재		•국내에서 설계 기술을 보유하고 있는 기업이 많지 않음 •기초연구분야에 대한 예산감축으로 인한 정부 지원이 미흡 •연구 진행과정에서의 추가 비용 발생 등 민간부문의 진입이 어려움	•해외 진출 등 수출 지원을 위한 지원체계 부재 •소통의 어려움, ITER기구 절차 등 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정서류 작업 불가	

○ 수출 활동별 핵심경쟁력은 기업이 보유해야 하거나 기업의 역량이 부족 시 정부가 지원해야 할 영역에 해당

<표 59> 수출 활동별 핵심 경쟁력

수출 활동	세부 활동	핵심 경쟁력
시장·고객발굴	• 해외시장 탐색 – 시장조사 및 분석 • 마케팅 및 세일즈 • 유통채널 구축	• 보유 기술 및 수준의 글로벌 동향 파악 • 해외 수주정보 획득 • 국내 기술력에 대한 인지도 향상 • 해외 파트너 확보 및 연계
제품·서비스 개발	• 연구개발 • 제조 및 생산 • 기술사업화/제품화	• 기술개발 투자를 통한 기술경쟁력 확보 • 전문인력 보유
수출·해외진출	• 수출계약 • 제품생산	• 기술규제에 대한 대응력 • 시험/인증 등 해외인증 역량

□ 진단·이슈 및 지원방안 마련

○ (시장 및 고객발굴) 관련 보유 기술 및 기술 수준에 대한 글로벌 동향 파악 및 국가간 네트워킹, 정보교류, 연계 지원 필요

– 우수한 기술력을 갖고 있으나 자금조달의 어려움이나 대외인식이 낮은 유망 스타트업 기업을 위해 인식제고 및 수출지원 등 지원체계 마련 필요

○ (제품 및 서비스개발) 핵융합 관련 산업 발전을 위해서는 정부 및 공공분야 투자 확대 필요

– 수출가능품목에 대한 연구개발지원뿐만 아니라 지속적인 연구과제지원을 통한 기술력 확보 및 인력 유지 기회 제공 필요(공급망 유지 발전)

○ (수출 등 해외진출) 해외 시장 대응 및 수출 지원을 위한 지원 센터 구축 필요(행정지원 및 기술적 소통 등)

* 공급망 유지 발전 기대

– 국제적 기준에 따른 법/규제에 대응하기 위한 지원체계 마련 필요

<표 60> 수출활동별 주요 이슈 및 지원방안

수출 활동	진단/이슈	지원방안
시장 고객 발굴	•관련 보유 기술 및 기술수준에 대한 글로벌 동향 파악 필요 •글로벌 조달시장에 대한 정보력 확보 필요 •해외 파트너 확보 및 연계지원 필요 •국내 기업 및 기술력에 대한 홍보 지원활동 필요 – 유망 스타트업 기업 등을 대상으로 다방면 지원 활동 강화	(1) 정보수집 : 해외시장조사/해외 수주정보 (2) 정보제공 : 글로벌 보유기술 및 기술수준/해외 제작니즈(수주) (3) 해외 파트너 확보 : 수출대상국으로 적합 여부 검증 (4) 해외파트너 연계 : 공급 의사 및 가격 타진 (5) 판로 개척 및 홍보 : 해외 네트워킹을 통한 국내 기술력 홍보(전시회, 포럼 등)
제품 및 서비스 개발	•기술 경쟁력 확보를 위한 연구개발지원 필요 •수출가능품목 발굴을 위한 연구개발 지원 필요 •지속적인 연구과제지원을 통한 기술력 확보 및 인력 유지 기회 제공 필요 •핵융합분야 주요 일반기기에 대한 연구개발 지원 필요 •엔지니어 자식을 보유한 소통이 가능한 전문가 확보 필요	(1) 연구개발 : 기술 경쟁력 확보 (2) 전문인력 : 연구인력 지원(ITER사업 등 글로벌 사업 참여 기회 확대 등)
수출 해외 진출	•해외진출관련 수출지원을 위한 지원 센터 필요(행정지원 및 소통 등) •국제적 기준에 따른 법/규제에 대응하기 위한 지원체계마련 필요 •해외인증관련 지원체계 마련 필요 •국제적으로 통용되는 글로벌 산업 표준기준 마련 필요	(1) 수출계약 : 주문서 및 공급확약서 내용 파악 및 작성 지원, 해당 국가의 법/규제 관련 지원 (2) 해외진출 : 제품생산을 위한 해외 인증 지원, 프로젝트 진행 중 기술 자문 필요 시 지원

3. 핵융합 분야 국제협력 및 수출지원계획 수립

3.1. 핵융합 분야 국제협력수출 목표 및 방향성 도출
3.2. 중점 추진과제 및 지원계획 수립

3.1. 핵융합 분야 국제협력 수출 목표와 방향성 도출

핵융합 산업체 해외수출 및 국제협력 지원 관련 이슈

국내외 정책동향

국내
- 선진국과의 기술격차 극복을 위하여 중간진입전략을 채택하고 **KSTAR 건설 성공 및 ITER 사업** 참여
- 「제4차 핵융합에너지 개발진흥 기본계획('22~'26)」을 통해 '50년대 전력생산 실증을 위한 장기 일정 목표를 수립하여 추진중이나 ITER 사업지연으로 인하여 KSTAR 일정 차질 우려

해외
- 전 세계적으로 에너지 수요는 지속적으로 증가 될 전망이며, 세계 각국은 기존 화석연료 중심 에너지믹스를 지속 가능한 **청정 에너지원 중심으로 전환**하는 중
- EU, 영국, 일본 등은 기후변화 대응, 녹색 산업혁명, 탄소중립을 위한 정책적 노력의 일환으로 **핵융합에너지 개발에 투자 및 지원을 확대**
  * 주요국들은 자체 연구로→ITER→DEMO로 이어지는 로드맵을 기반으로 '50년대 전력생산실증을 위한 R&D를 추진 중

국내외 시장/산업동향

국내
- 핵융합 분야는 주로 공공 부문을 중심으로 **수요처가 한정**되어 있고, 국내 시장은 2035년까지 정체 예상

* 관련 산업 **자생적 공급사슬부재**
- 현재 활동 중인 핵융합 기업체는 제조업 중심으로 KSTAR, ITER 부품 제작에 참여하여 장치 개발/제작 경험 기술력 확보
  * 국내 업체 해외 수주 실적('07~'23 누적): 7,288억원

해외
- **핵융합 스타트업 40개 이상 활동 중**이며 미국의 비중 가증 높음, 핵융합 스타트업 투자금액은 총 약 62억 달러 차지
  * '21년 13개사→ '23년 25개사

관련사업 성과와 한계

성과
- (KSTAR) 초전도 핵융합 연구장치인 KSTAR 운영 및 실험연구를 통한 **고성능 플라즈마 운전 기술을 지속적으로 향상**
  * 세계 최초 초고온 플라즈마 이온온도 1억도 20초 이상 달성 및 유지 시간 지속연장('21년 30초)
- (ITER) 기술적 난제 극복하고 **ITER 진공용기 최초 섹터 제작·조달 성공**하여('20.8월), ITER 조립단계 착수에 결정적으로 기여

한계
- 선도국 대비 **핵융합 연구개발 경쟁력이 낮으며** 핵융합 실증로 구현 목표 대비 기술진보수준 낮음
  * 핵융합 실증로 구현을 위한 최종 목표대비 기술수준은 40.8% 수준
- **ITER사업은 마무리단계**로서 국내 기업이 참여할 수 있는 영역 축소

설문조사 및 심층인터뷰를 통한 기업의견

- (애로사항) 핵융합 관련 기업체의 경우 공통적으로 관련 분야의 정보 확보가 어려움, 해외진출 시 요구되는 제반사항 지원 부재
- 산업 발전을 위해 정부 및 공공분야 투자 확대가 가장 필수적

전략 추진 방향

1

핵융합 에너지기술개발 지원을 통한 기반 확립

- 기술 경쟁력 확보를 위한 연구개발 지원(도전적기술 및 시장수요형 기술개발)
- 기업 규모별 지속적인 연구개발과제추진
- 핵융합 인재양성 지원

2

핵융합 수출지원체계 구축

- 해외 진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 중점 지원 체계 구축(국가 간 네트워킹, 정보 교류, 연계 지원)
- 해외진출지원 전문기업 발굴 · 핵융합 전문기업 선정/우대

3

핵융합 관련 기업지원 활동을 통한 수출활성화

- 시장진출을 위한 수출 활동별 맞춤형 지원
  · 핵융합기업 해외진출 지원사업 신설

□ 국내 핵융합 산업체 보유 기술을 활용한 해외 수출 활성화를 위한 정책적 지원 방안 마련과 기술력 강화를 위한 추진 전략 수립

<표 61> 유형별 주요 이슈와 지원방향 도출

구분		이슈	지원방향
기술력	공통	핵융합 분야는 자체 연구개발을 추진하기에는 사업화에 장기간 소요되고 불확실성이 높은 특성에 따라 산업체 연구개발지원확대 필요 * 현재 범용기술, DEMO 적용기술이외 새로운 도적적 기술을 개발할 수 있도록 지원 * 시장수요형기술개발지원 필요	핵융합 에너지 연구개발 (소형단기, 대형장기)
	설계	설계/엔지니어링 분야의 성장에 대한 연구개발에 대한 지원 필요 * 핵융합관련 기술의 대부분은 설계/엔지니어링, 제작, 소재에 해당되며 설계 및 제작이 가장 큰 비중	핵융합 에너지 기술개발 (설계 및 엔지니어링)
	제작	수출가능품목 및 국제적 기준이 요구되는 일반기기 대상으로 설비관련 연구개발 지원 필요	핵융합 에너지 기술개발 (제작)
	인력 (기술)	산업체 해외 진출 시 기술적 소통 가능한 전문인력 지원 필요 * 민간부문(특히 중소기업)에서는 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외진출 활동에 제약	핵융합 에너지 연구개발 (인재 교류, 단기연수, 인턴, 파견 등)
산업 생태계	수요처 발굴	국내 기업에 대한 지속 가능한 지원체계 마련 필요 * 국내 기업의 수출 물량 대부분이 ITER기구에 발주한 사업으로 ITER사업 종료 이후 공급망 부족이 예상됨, 핵융합 산업 생태계는 주로 공공 부분으로 수요처 한정	수출지원 센터 구축 및 기존 핵융합발전 스타트업 간 업무 협력
		EU나 미국 등 업체 선정 시 자국 제조업체를 우선 선정해야 하는 제도가 존재하여 공공 부문 차원의 체계적인 지원 필요	
	네트워킹	해외의 제작 등 니즈를 확인하고 작업이 가능한 기업을 연계시켜주는 지원 센터등이 부재	수출지원 센터 구축을 통하여 기업 간 연계 지원
		해외진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 지원체계 마련 등 시급	
	인력 (지원)	ITER기구 절차 등 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정 서류 작업 어려움, 해당국가와의 소통문제 해소 필요	AD 역할 수행
수출 활동	홍보	국내 기업의 제조·가공능력은 우수하나, 이에 대해 국외에서 인식이 낮으며 이에 해외 스타트업 기업 등에 국내 기업의 기술력 소개 및 홍보 방안 마련 필요	전시회, 포럼, 세미나 등 국제행사 참여 기회 제공
	정보력	관련 해외 기업이 보유하고 있는 기술과 그 기술에 대한 수준에 대한 정보제공 필요	해외 동향자료 및 관련 소식 제공
	규제	해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원마련 필요	국제적 기준 및 규제 및 국제법과 관련한 이슈 대응

3.2. 사업 목표 및 지원계획 수립

3.2.1. 사업 목표 및 추진전략

사업목표

핵융합 산업체 혁신성장 및 시장 확대

– 핵융합 산업체 해외 진출을 위한 체계적인 육성 지원 –

사업 방향	**핵융합 관련 산업체 대외 경쟁력 강화** **전략적 해외 진출 및 시장 다변화에 대한 적응 지원**
주요내용	■ 핵융합 에너지 개발에 참여한 산업체의 보유 기술 역량 활용과 산업 생태계 활성화 방안 마련 ■ 국내 핵융합 산업체 보유기술을 활용한 해외 수출 활성화를 위한 정책적 지원 방안 마련 ■ 핵융합 산업체 기술력 강화를 위한 다양한 차원의 국제협력 지원을 위한 추진과제 발굴 ■ 핵융합 산업의 건전한 성장 및 자생력 확보를 위한 정책 추진 기반 구축
추진방향	■ 핵융합 산업체의 해외시장진출을 위한 종합 지원 ■ 핵심역량 기반의 신규시장 확보 등 사업영역 확대를 위한 전략적 지원 ■ 산업 생태계 확대를 위하여 해외 진출을 통한 기업의 지속적인 참여 지원

추진전략 ①	핵융합 에너지기술개발 지원을 통한 기반 확립
추진전략 ②	핵융합 수출지원체계 구축
추진전략 ③	핵융합 관련 기업지원활동을 통한 수출 활성화

3.2.2. 추진전략 및 중점추진과제 도출

□ 글로벌 핵융합 에너지 현황, 국내 핵융합 에너지 생태계 분석, 해외 수출 관련 이슈 분석 등을 통한 핵융합 산업체 해외수출 지원 세부 전략 마련

<표 62> 전략별 추진전략 및 지원과제 도출

구분	추진전략	지원과제
전략 1	핵융합 에너지기술개발 지원을 통한 기반 확립	① 해외 시장지향 기술 및 제품 개발 지원 ② 산업체 전문인력 양성지원
전략 2	핵융합 수출지원체계 구축	① 산업 생태계 구축을 위한 지원체계구축 ② 핵융합기술의 해외진출 지원 전문 기업 발굴 육성
전략 3	핵융합관련 기업지원활동을 통한 수출 활성화	① 핵융합 기업 해외진출 지원 사업 신설 ② 국내기술력정보제공, 홍보강화, 규제대응

추진전략 1 | **핵융합 에너지기술개발 지원을 통한 기반 확립**

○ (주요이슈) 전 세계적으로 에너지 수요는 지속적으로 증가 될 전망이며, 세계 각국은 기존 화석연료 중심 에너지믹스에서 지속 가능한 청정 에너지원 중심으로 전환하는 중

- EU, 영국, 일본 등은 기후변화 대응, 녹색 산업혁명, 탄소중립을 위한 정책적 노력의 일환으로 핵융합에너지 개발에 투자 및 지원을 확대

  * 주요국들은 자체 연구로→ITER→DEMO로 이어지는 로드맵을 기반으로 '50년대 전력 생산 실증을 위한 R&D를 추진 중

- 우리나라 보유 기술수준은 선도국 대비 핵융합 연구개발 경쟁력이 낮으며 핵융합 실증로 구현 목표 대비 기술 진보수준 낮음

  * 핵융합 실증로 구현을 위한 최종 목표대비 기술수준은 40.8% 수준

○ (대응방안) 민간부문에서 자체 연구개발을 추진하기에는 사업화에 장기간 소요되고 불확실성이 높은 특성에 따라 지속적인 연구 과제지원을 통한 기술력 및 전문인력 확보

– 기술 경쟁력 확보를 위한 지속적인 연구개발 지원(소형단기, 대형장기), 핵융합 인재양성 지원

◆ ① 해외 시장지향 기술 및 제품개발지원(도전적 기술, 시장수요형 기술, 범용기술)
② 핵융합 산업체 관련 전문인력 양성지원

(과제1) 해외 시장지향 기술 및 제품 개발 지원

○ (추진목적) 민간영역에서는 자체 연구개발을 추진하기 어려운 핵융합 분야* 산업체를 대상으로 연구개발 지원을 통한 기업 경쟁력 제고

* 사업화에 장기간 소요, 불확실성이 높음

○ (추진내용) 핵융합 관련 기술의 대부분은 설계(엔지니어링), 제작, 소재 분야에 속하며 해당 분야의 기술 경쟁력 확보를 위하여 도전적 기술 및 시장수요 맞춤형 기술개발 지원(도전적 기술, 시장수요형 기술, 범용기술)

① (도전적 기술) ITER 비조달 품목, DEMO 적용 기술 이외 새로운 도전적 기술*을 개발할 수 있도록 지원

* 전력 생산 실증 또는 실용화관련 기술 및 타 산업 융합 분야를 포함하며 핵융합 실증로 구현관련 기술(8대 핵심기술 분야 이외 확보가 필요한 기술)

② (시장수요형 기술) 설계 및 엔지니어링 분야 관련하여 우리나라만의 특화 기술에 대한 발굴을 통한 연구개발지원

* 수요형 기술발굴 : 단·중기(5년 이내), 에너지 기업 등

③ (범용기술) 현재 범용기술, DEMO 적용 기술 및 수출 가능 품목뿐 아니라 국제적 기준이 요구되는 일반기기 대상으로 설비 관련 연구개발 지원 필요

<표 63> 기술별 구분

기술구분	관련분야	지원(선정)방식	수요발굴	지원 대상
도전적 기술	핵융합	공동 R&D 프로그램 (Top-Down/Bottom Up 방식 병행)	기관별, 기술분야별로 도전적인 기술주제 발굴(수요조사 등)	대학/ 대기업
시장 수요형 기술	핵융합/에너지 등	Bottom Up 방식/자유공모	관련 분야 산학연 대상으로 수요조사 실시(매년)	대기업 /중견/ 중소
범용기술	핵융합/에너지/ 전기/기계 등	Bottom Up 방식/자유공모	관련 분야 산학연 대상으로 수요조사 실시(매년)	중견/ 중소

○ (추진 로드맵)

추진과제	단기(5년 미만)	중기(5~10년)	장기(10년 이상)
도전적 기술개발지원		대 중견 전력 생산 실증 및 실용화관련 기술	
시장수요형 기술개발지원	중견 중소 설계 및 엔지니어링 분야관련 기술		
범용기술개발지원	중소 설비(일반기기)관련 기술	* 소규모 용역 및 공동연구 발주를 통한 역량 확보 및 협력관계 유지 지원	

○ (기대효과) 해외 시장지향 기술 및 제품 연구개발지원을 통한 핵융합 산업체 기술력 강화

– 핵융합 에너지 개발에 참여한 산업체의 보유 기술 역량 제고 및 핵융합 에너지 기술 개발 지원을 통한 기반 확립

(과제2) 핵융합 관련 전문인력양성 지원

○ (추진목적) 핵융합 관련 교육(연구)기회를 제공할 수 있도록 교육기관 거점 지정 및 기존 글로벌 프로그램 참여 지원 확대를 통하여 네트워크 구축, 산업체 연계 강화

○ (추진내용) ❶국내 핵융합 해외 진출 전문인력 양성을 위한 교육기관 거점 지정 및 산업체 연계, ❷기존 글로벌 프로젝트(프로그램) 참여 확대

(1) 지역 거점별 대학을 선정(2~3개)하여 지역 산업체와 연계하여 기업의 해외 진출 관련 교육 프로그램 제공

* 관련 전공: 기계공학 재료공학 물리학 원자력공학 화학공학 핵공학 전기 전자 공학 전파공학 컴퓨터 제어공학 시스템공학 등

<거점대학 교육 프로그램(안)>

❶ (해외수출) 시장조사, 실무교육(온오프라인: 8주)
❷ (기술동향) 핵융합 기술(트렌드, 기술경쟁력, 기술 수준 등) 의 이해(온오프라인: 16주)
❸ (규제동향) 주요국 수출관련 규제 및 법 동향 등(온오프라인: 8주)
❹ (기타) 해외 진출 시 필요한 행정절차 및 서류 작업 등(오프라인: 4주)

(2) 기존 글로벌 기관 및 프로젝트(ITER 기구 파견 및 IO 인턴 활동 연계 등) 및 핵융합 전문인력양성 프로그램에 대하여 국내 전문인력 참여 확대 지원

○ (추진 로드맵)

추진과제	단기(5년 미만)	중기(5~10년)	장기(10년 이상)
거점형 교육기관연계 핵융합교육 프로그램 제공	중견, 중소: 해외수출, 기술/규제동향 등 관련 교육프로그램 제공		
기존 글로벌 프로그램(프로젝트) 참여 확대	대: ITER 기구 인력 파견 및 IO인턴 연계 중견, 중소: 산학연 프로젝트 파견인력 지원		

○ (기대효과) 국내외 산업체 전문인력 교류 및 핵융합 전문인력양성 프로그램 참여 지원을 통한 기업 뿐아니라 국내 산업체 인력의 전문성 및 경쟁력 향상 기대

추진전략 ②	핵융합 수출지원체계 구축

○ (주요이슈) 해외진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 지원체계 마련 등 시급하며 KFE가 산업체 지원 역할을 수행하고 있으나, 연구기관의 특성 상 역할에 한계

– 이에 수출 성과를 창출할 수 있도록 네트워킹, 정보 교류 등을 통하여 산업체의 해외진출, 국제협력 지원을 위한 체계 마련 시급

– 민간부문에서 기술을 보유하고 있어도 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외 진출 활동에 제약

* 프로젝트 진행 시 인터페이스 문제 발생 경우 대응의 어려움

○ (대응방안) 핵융합 산업 발전을 위한 중점 지원체계 구축 미흡함에 따라 해외시장 대응 및 수출 활성화 지원을 위한 체계 마련

– 해외 진출 및 국제협력, 수출지원을 위한 중점 지원 체계 구축, 국가 간 네트워킹, 정보교류, 연계 지원

◆ ① 산업 생태계구축을 위한 지원체계 마련(네트워킹, 사업기획, AD 업무 지원)
② 핵융합 기술의 해외 진출 지원 전문기업 발굴 육성

(과제1) 산업 생태계구축을 위한 지원체계 구축

○ (추진목적) 국내 기업에 대한 지속가능한 지원 체계 마련을 위해 핵융합 해외진출 지원센터를 구축하여 핵융합 산업체의 자생적 공급사슬이 생성될 수 있도록 지원

* 전문기업(R&D기업, ITER/K-STAR 등 해외 프로젝트 경험 보유)을 대상으로 현실적인 지원 필요

○ (추진내용) 네트워킹 및 인력(지원)지원

– (네트워킹 구축 교류 협력) 핵융합 관련 산업체 해외시장진출 지원을 위한 전문센터 및 핵융합 관련 스타트업과의 연계를 통하여 부품 및 제작 기술이 가능한 기업 간 연계 및 기술력 확보

* 해외기관 및 기업간 네트워크 구축 및 정기적인 교류를 통한 상호협력 강화 및 기술/정보교류(해외의 제작 등 니즈를 확인하고 작업이 가능한 기업을 연결)

– 글로벌 기관 및 기업 간 네트워크를 통해 기업의 수주지원(지속적인 정보 제공 + 요구기술개발→ 맞춤형 수주)

– (지원 인력확보) 기업의 해외 진출을 위해 준수해야 할 기본적인 사항에 대하여 준비하기 위하여 기술적인 영역뿐 아니라 커뮤니케이션 및 행정적 업무 지원

* 해외 국가와의 소통의 어려움 해소, ITER기구 절차 등 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정서류 작업 시 발생 이슈 대응

– (사업기획 및 관리) 기업의 해외진출 지원을 위한 사업 기획, 사업 배분 및 조정 및 관련 사업 성과관리 실시

– (법/제도) 기업의 해외진출 시 준비해야 할 해당 국가별 해외 진출 관련 법, 규제 정보 제공 및 대응 지원 실시

<표 64> (가칭) 핵융합 해외진출 지원센터 설치 운영

구분	역할(업무분장)
네트워킹/교류	컨텍포인트 구축 해외파트너 연계 및 검토 (정보제공, 사업비 등 조정)
기획지원	기업의 해외진출 지원을 위한 사업 기획, 사업 배분 및 조정, 핵융합 전문기업 선정 등
행정지원	응찰 자료 등 문서 작업지원
기술지원	기술적 커뮤니케이션 지원
제도지원	해당 국가별 해외 진출관련 법, 규제 정보 제공(필요 시 대응 지원)
성과관리	해외 진출관련 사업 사후관리(성과)

[그림 39] 해외진출 지원 센터 역할 도식화

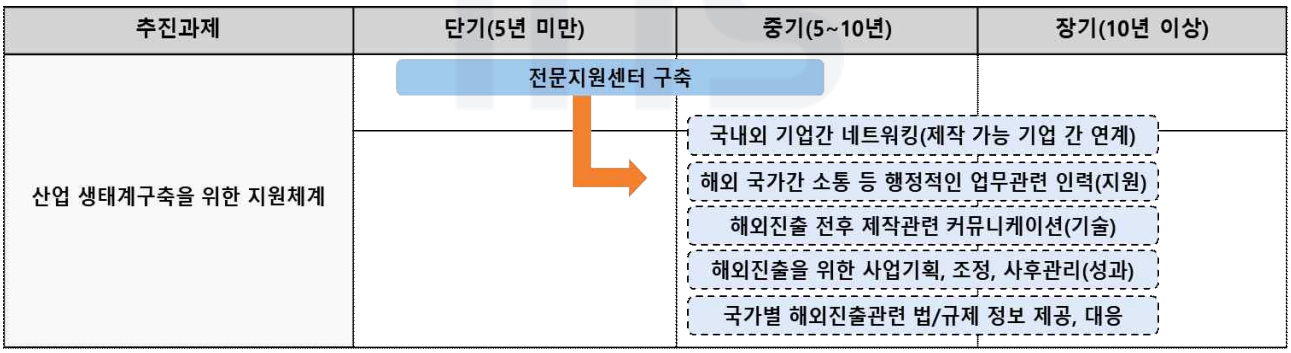
○ (조직구성) 사업 기획 전문가, 핵융합관련 기술 전문가, 글로벌 법제 전문가

○ (조직형태) 별도전문기관, KFE 부설기관설립, 센터(사업) 공모지정방식 중 적합한 조직형태를 채택하여 설립

<표 65> 조직별 주요 내용

구분	별도 전문기관 설립	KFE 부설기관설립	센터(산업)공모지정방식
주요내용	외부 관련 기관 및 기업을 지정하여 별도의 전문기관 설립	KFE 부설 센터 설립하여 인력 파견	정부가 공모하여 위탁 (5년마다 재선성)
유사사례	-	-	(KIST)국가융합연구정책센터 (재료연)국가나노기술정책센터 (STEPI) 국가 우주정책센터
장점	독립적 기관으로서 해당 사업에 장기적 지원 가능	기존 KFE 인프라/인력활용가능하며 기술 전문성확보 가능	경쟁력 있는 검증된 기관선정 가능, 산업계 참여 용이
단점	초기 설립 시 절차 복잡하며 예산 및 인력 확보의 어려움	사업화 지원에 대한 역량 문제 우려(연구기관으로서 한계)	별도 조직 구성에 대한 부담감 및 안정성 우려(5년마다 재선정), 우수인력 확보어려움

○ (추진 로드맵)



○ (기대효과) 핵융합 관련 산업체 해외 진출을 위한 전주기적(해외 파트너 연계, 기술적, 행정적 지원)을 통하여 산업 생태계 구축 및 해외 진출을 통한 기업의 지속적인 참여 기대

(과제2) 핵융합 해외 진출 전문기업 발굴 육성

○ (추진목적) 해외 진출에 유리한 기술*보유기업에 대한 집중 발굴 및 지원을 위한 전문기업 육성

* high quality, fast delivcery, reasonable cost의 강점을 보유

○ (추진내용) 핵융합 해외진출 지원센터를 통하여 전문기업 발굴하여 해외 진출 (잠재)역량을 보유한 기업을 중점적으로 지원

* R&D 기업, 공급 경험, ITER, K-STAR 경험 기업에 근무했던 전문인력으로 구성된 소규모 전문기업에 대한 현실적 지원

– (네트워킹 구축 교류 협력) 해외 바이어 발굴을 위한 조사, 해외 바이어 연계

– (사업기획) 국내 기업에 대한 해외진출을 위한 사업 기획 관련 컨설팅 등

– (법/제도) 주요국의 법/제도 동향, 규제 정보 공유 등

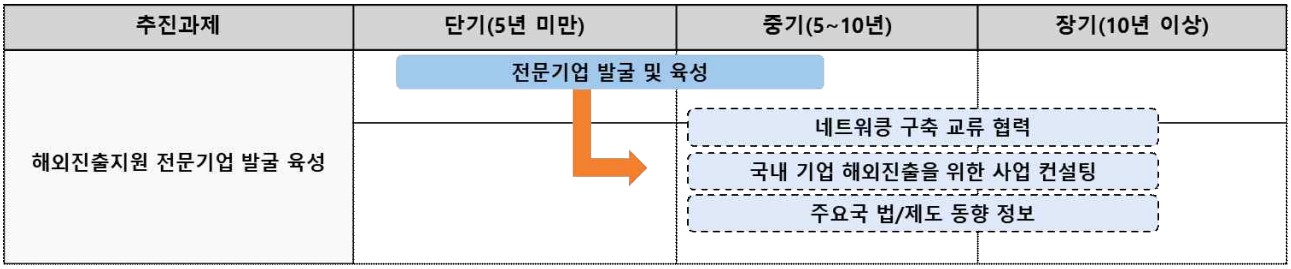
<표 66> 해외 진출 지원 전문기업 역할

<table>
<tr><th>구분</th><th>역할(업무분장)</th></tr>
<tr><td>목적</td><td>부품 및 제작기술이 가능한 기업간 연계</td></tr>
<tr><td>주요 고객</td><td>SMR 개발 및 핵융합 개발사, 국내 관련 부품 제작 가능 기업</td></tr>
<tr><td>지원 단계</td><td>발주처 컨셉 디자인 설계 이후</td></tr>
<tr><td>지원 형태</td><td>전문기업이 보유하고 있는 내부역량 활용 및 (가칭) 핵융합해외진출지원센터 연계를 통하여 지원

– 핵융합 전문기업 선정* 시 우대
*①해외 수주실적, ②기술력, ③수출 경쟁력 등 을 종합적으로 고려하여 우수기업 선정 3년간 30~50개社)

<지원 세부사항>
<table>
<tr><th>유형</th><th>주요내용</th></tr>
<tr><td>해외진출지원</td><td>■ 홍보/전시 지원
■ 「핵융합 해외진출지원사업」 우대 가점
■ 해외 네트워크 구축 우선지원</td></tr>
<tr><td>금융지원</td><td>■ 인증 시 필요 자금 지원 ■ 금리·환거래 우대</td></tr>
<tr><td>R&D 지원</td><td>■ 우수기업 전용트랙 마련
■ R&D실증지원 – 핵융합관련 R&D사업참여시 가점 등</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

○ (추진 로드맵)



○ (기대효과) 핵융합 관련 생태계 활성화 지원을 통하여 자생적인 공급사슬(supply chain)이 생성 및 확대 기대

– 해외 진출 성과를 창출, 해외시장에 대한 공략을 통해 국내 핵융합 관련 기업의 활로 모색

추진전략 3	핵융합 관련 기업활동 지원을 통한 수출 활성화

○ (주요이슈) 주요국의 국내 기술력에 대한 인식이 상대적으로 낮은 상황이며 국내 기업은 국내외 관련 동향에 대한 정보력*이 부족하여 기업의 접근성이 낮음

* (발주정보)국내 기업은 조달시장에 대한 정보력 부족(소싱 정보)으로 어려움을 겪고 있음
* (기술동향) ITER의 경우 납품을 하는 경우 IO(ITER 국제기구)에 설계도를 필수적으로 넣어야 하지만, 외국 기업들이 공개하려 하지 않음

– 국내 기업의 제조·가공능력은 우수하나, 이에 대해 국외에서 인식이 낮기에 해외스타트업 기업 등에 국내 기업의 기술력 소개 및 홍보 방안 마련 필요

– 기업의 해외 진출 시 국제적 기준 및 규제 및 국제법과 관련한 이슈들에 대한 대응이 어려움에 따라 해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드 라인 제시 등 지원 마련 필요

○ (대응방안) 해외 진출 전후 기업에 요구되는 제반 사항을 지원하기 위한 기업의 다양한 수출 활동 지원, 시장 진출을 위한 수출 활동별 맞춤형 지원

◆ ① 핵융합기업 해외진출 지원사업신설 ②핵융합 전문기업 선정 ③ 정보제공 및 홍보강화(국내 기술력 홍보/전시, 국외 기업/기술력 등 정보 제공, 국제적 기준 및 규제 및 국제법과 관련한 이슈 대응)

(과제1) 핵융합기업 해외진출 지원사업 신설

○ (추진목적) 공공기관과 민간기업의 전문성에 기반한 서비스, 해외 진출 직접 소요 비용 지원 등 다양한 방법 활용하여 지원

○ (추진내용) 서비스 제공 기관 및 기업 모집, 지원을 통하여 해외 수주, 시장조사, 홍보·광고, 법무 서비스, 교육 등 기업 수요에 따른 사업 지원

* 핵융합 전문기업의 해외 진출 사업 선정 시 가점부여 등 우대

<해외진출 지원사업 예시>

홍보/광고	전시회/행사/해외영업지원	조사/일반 컨설팅	법무·세무·회계 컨설팅
역량강화 교육	서류대행/현지등록/환보험	통번역	해외규격인증

<프로그램 유형 및 추진절차·방법>

◆ 프로그램 유형
- ○ 해외 수주 지원 : 전시회/행사/해외영업 지원, F/S 지원(비용지원)
- ○ 현지조사 : 현지 조사/일반 컨설팅, 통번역
- ○ 홍보지원 : 기업 기술력홍보/광고/홍보동영상
- ○ 법무 서비스 : 법무·세무·회계 컨설팅/서류 대행/현지 등록/환보험/특허/지재권/시험
- ○ 교육 : 현지화 역량강화 교육

◆ 추진절차 및 방법

① 서비스 제공 기관·기업 모집 및 확정 : 서비스별 비용 확정
② 기업 신청·선정 : 사용계획서, 기업 현황 등 평가 후, 대상기업 선정
③ 전담위원 배정, 서비스 이용 : 선정 후 1년간 지원금 지원
④ 정산 및 지원성과 분석

○ (추진 로드맵)

추진과제	단기(5년 미만)	중기(5~10년)	장기(10년 이상)
핵융합기업 해외진출 지원사업 신설 (프로그램)	해외수주지원 현지조사 지원 홍보지원/교육지원 법/규제 지원		

○ (기대효과) 지원기관 서비스의 양적, 질적 향상을 통하여 핵융합 관련 기업의 해외시장 도전 기회 확대

(과제 2) 국내 기술력 정보 제공, 홍보 강화 및 규제 대응

○ (추진목적) 핵융합 및 에너지산업 관련 해외 박람회(전시회) 등에 산업체 참여 지원을 통하여 국내 기업 홍보 효과 및 파트너 · 협력 주제 탐색 등 협력 기회 제공

– 국내 기업의 해외시장진출을 위한 국외 산업체 및 기술동향관련 정보제공 및 조사 지원

– 해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원 마련

○ (추진내용)

– (홍보/전시) 국내 기업이 보유하고 있는 우수한 기술력 및 해외 정보 및 경쟁력이 부족한 국내 기업의 대한 홍보 활동 지원(해외전시회 참가, 국제행사(학회/세미나/회의) 연계 해외 홍보부스 운영 등)

– (기술동향) 관련 해외 기업이 보유하고 있는 기술과 그 기술에 대한 수준에 대한 정보제공

– (법/규제) 국제적 기준에 따른 법/규제에 대응하기 위한 수출관련 기반교육 실시 및 관련 협회를 통한 국제표준, 기술규제 관련 등 협력 전략 구축

* 기업의 인증, 품질보증, 코드&표준, 재정 보증 등에 대한 교육을 통한 대응 역량 강화

○ (추진 로드맵)

추진과제	단기(5년 미만)	중기(5~10년)	장기(10년 이상)
국내 기술력 홍보/전시 등 지원	국내기업의 우수한 기술력 홍보(산업체 참여지원)		
국외 동향파악 및 정보 제공	공동 기술협력 세미나 및 워크샵 개최 국외 산업체 기술동향 조사 지원		
국제적 기준에 따른 법/규제 대응지원	수출관련 기반 교육 실시	국제표준, 기술관련 협력 지원	

○ (기대효과) 우수한 국내 기업의 제조·가공능력에 대한 기술력 소개 및 홍보를 통한 국외 기관 및 해외스타트업 기업 인식 제고

– 국외 산업체 동향 파악을 통하여 국내 산업체의 성공적인 해외진출, 국제적 기준, 규제 및 국제법과 관련한 이슈 대응을 통하여 국내 기업의 원활한 해외 진출 기대

참고 국내 국제협력 및 수출 관련 정부지원활동

□ 산업 유형별 구분에 따른 정부지원 활동

○ (유형구분) 기업의 수출 및 해외진출을 지원하기 위한 관련 정책방향 및 지원 내용을 조사한 결과 네가지 유형으로 구분됨

– (유형Ⅰ) 민간시장 중심으로 글로벌 기술경쟁력 높은 기업 및 기술대상으로 주요 지원내용은 정보제공 및 홍보, 판로개척 등

– (유형Ⅱ) 민간시장 중심으로 글로벌 기술경쟁력이 낮은 기업 및 기술대상으로 주요 지원내용은 기술규제, 해외인증, 공동 R&D 등

– (유형Ⅲ) 공공기술 중심으로 글로벌 기술경쟁력이 낮은 기업 및 기술대상으로 주요 지원내용은 기술교류 및 협력, 글로벌 공조체계 등

– (유형Ⅳ) 민간시장 중심으로 글로벌 기술경쟁력 높은 기업 및 기술대상으로 주요 지원내용은 글로벌 공조체계, 경제사절단 정보제공 및 홍보 및 유형Ⅱ지원활동 해당

<표 67> 정부지원 활동 유형 구분

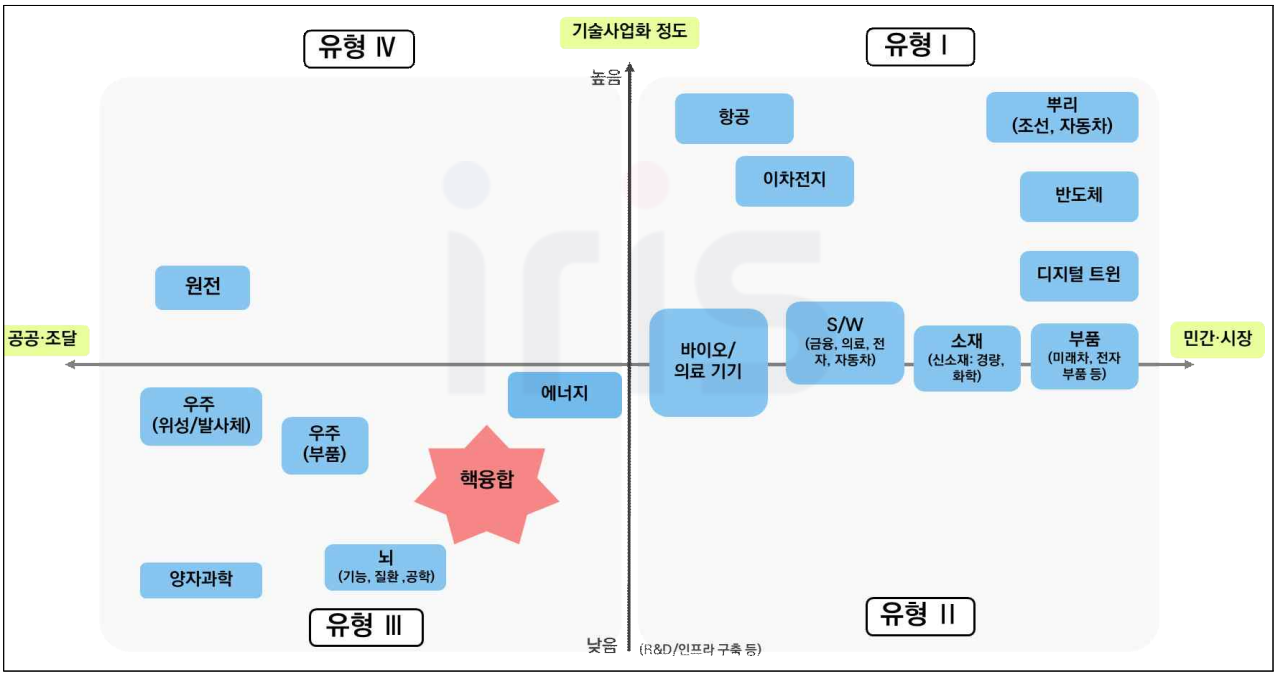
구분	시장 유형	글로벌 기술경쟁력	단계	수출 및 해외진출을 위한 정부 지원
유형Ⅰ	민간 시장 중심	글로벌 기술경쟁력 높음	기술 사업화 단계	(정보제공 및 홍보) 해외 전시회 참가, 유통채널 구축, 해외시장조사, 마케팅/세일즈, 온라인 플랫폼 조성 등 지원 (판로개척) 플랫폼 활용(수출저변확대)및 수출지원체계 구축, 실증(자금) 지원 등
유형Ⅱ	민간 시장 중심	글로벌 기술경쟁력 낮음	R&D 단계	(기술규제) 해외기술규제(시험 및 인증 등 심층분석), 전문분야 전문가 매칭등 지원 (해외인증) 해외인증 획득자금, 인허가 승인자금 등 지원 (공동R&D과제) 실증연구개발시 선도국과의 공동연구개발 지원(기술료감면등) (수요매칭/과제발굴) 매칭 자금지원, 기업수요 매칭(자금, 상담, 기업발굴)등 지원
유형Ⅲ	공공 기술 위주	글로벌 기술경쟁력 낮음	R&D 단계	(기술 교류 및 협력) 선도국과의 공동인증 협력, 국가 간 협력체계 강화(이니셔티브 구성 등), 다자협의체 활동, 국제 기술 교류행사 지속 개최, 인적교류 협력 지원 등 (글로벌 공조체계)주요국 연구기관과 연구자 교류 등 공조체계 구축, 관련 이니셔티브 참여, 관련 협의체 구성 및 수출 파트너 발굴 등 지원
유형Ⅳ	공공 기술 위주	글로벌 기술경쟁력 높음	기술 사업화 단계	글로벌공조체계, 경제사절단 정보제공 및 홍보및 유형Ⅱ지원활동 해당

◆ 산업체 수출 및 해외진출을 위한 정부지원 유형별 공통 활동
– (공통 지원활용) 기술교류 및 협력(기술 및 인적교류를 위한 장 마련 등), 글로벌 공조 체계 마련 지원 해당

○ (기술사업화) 민간·시장 및 공공·조달로 구분하여 국내 주요 산업별 기술 사업화 정도를 분석하여 본 사업 해당 산업의 위상 확인

– 핵융합, 우주, 양자 등과 같은 거대과학은 현재 기술사업화 정도는 낮으며 정부의 장기간의 대규모 예산 투자 및 인력, 관련 첨단기술을 필요로 하는 공통점을 나타냄

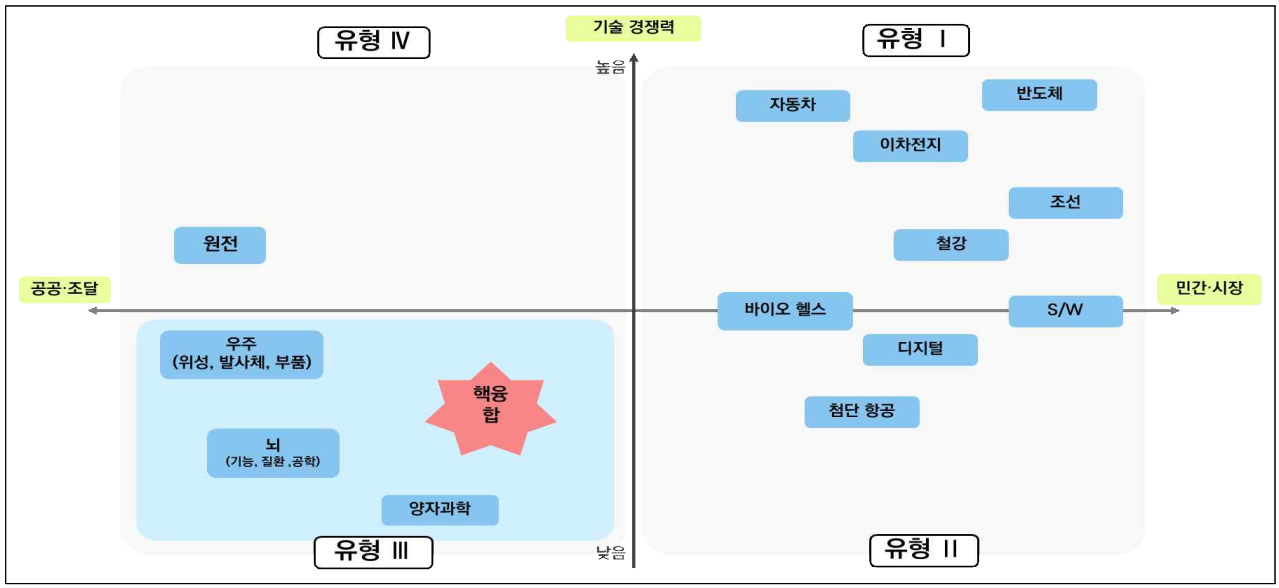
[그림 40] 기술사업화 정도



○ (기술 경쟁력) 민간영역에서의 국가 주요 산업별 기술경쟁력에 수준을 분석하여 본 사업 해당 산업의 위상 확인

– 거대공공과학에 해당하는 분야의 경우 기술사업화도 낮은 정도로 확인되었으며 기술경쟁력 또한 미흡하게 나타남에 따라 정부의 지원이 필요

[그림 41] 기술경쟁력(민간)



□ 연구개발 프로세스에 따른 주요활동

○ 기술개발, 기술사업화, 사업전개 등의 단계별 목적에 따른 수출지원활동이 구분됨

– (기술개발) 원천기술확보를 위하여 기술이전 및 공동개발 필요

– (기술사업화) 시제품제작을 위하여 연구, 개발, 기획 컨설팅이 요구됨

– (사업전개) 양산단계에서는 시장개척 및 확장, 제품화를 위한지원 필요

<표 68> 연구개발 프로세스별 주요활동

구분	목적	주요활동	세부사항	수출지원활동 예시
기술개발	원천기술확보 (기술이전/ 공동개발)	기술매칭, 기술구매	공공기술확보	·기술교류·협력 ·수요매칭 ·과제 발굴 ·공동R&D 과제기획 지원 ·글로벌 공조 체계
기술 사업화	시제품제작 (연구/개발/기획)	상세사업계획수립 시제품제작 시장진출계획수립 상업용제품 구현	·기술사업화에 필요한 시설 및 운전 자금 지원 ·사업화 연계를 위한 진단 및 컨설팅 지원 ·시제품 개발 및 제작 지원 ·지식재산권 관련 지원 ·표준화 및 인허가 취득	
사업전개 (양산)	시장개척 (양산) 및 확장, 제품화	제품화	·양산화 기술개발 지원 ·판로개척을 위한 수출/마케팅 지원	·정보제공/홍보(협의체구성 및 전시회 등) ·기술규제지원(상담회/컨설팅) ·해외인증지원(비용)

□ 국제협력 및 수출 관련 정부지원활동

○ 지원활동을 구분하여 활동별 주요 지원내용을 조사하고 연구단계별 요구되는 국제협력 및 수출지원 활동 매칭 실시

– 관련 정부활동은 기술교류 및 협력, 수요 매칭/과제발굴, 글로벌 공조체계, 정보제공 및 홍보 등의 지원

– 다품종 소량·고품질 생산 등의 특징을 고려하여 국내 원자력 관련 협회, 산업부의 생태계 지원 프로그램 벤치마킹 예정

<표 69> 정부의 국제협력 지원내용

지원활동	세부내용	비고
기술교류 및 협력	· 파트너 · 협력 주제 탐색 등 협력기회 제공 · 공동 기술협력 세미나 및 워크샵 등 개최, 네트워킹	
수요매칭/과제발굴	(Out-Bound) 국내기업의 해외 기술협력 파트너 발굴·주제 탐색 · (In-Bound) 해외파트너 수요 접수 및 국내기업 연계 · 양자/다자 국제공동R&D 과제 발굴	
공동R&D기획	· 국제공동과제 기획 및 사전타당성 조사 지원 · 선도국과의 에너지 국제공동연구 지원 · 트렉레코드축적기술의 현지 실증 프로젝트 참여기회 제공 지원	
글로벌 공조체계	· 국제표준, 기술규제 관련 등 협력 전략 구축 · 기술교류 협력거점 마련 · 자원수요국과의 네트워크 활동 지원	
정보제공 및 홍보	· 해외 전시회 참가지원 · 유통채널 구축지원 · 해외시장조사 지원 · 마케팅 및 세일즈 지원 · 온라인 플랫폼 조성(해외 조작/생산가능하도록 국내 오프라인 전시관 연계)	시장조사/마케팅/세일즈
기술규제	· 글로벌 핵심전문가 해외진출 전략지원 · 해외 수출 관련전문가 매칭(현장컨설팅)	전략 등 컨설팅
해외인증	· 해외인증지원(인증획득비용) · 시험/인증 등 심층분석, 현장 컨설팅	전문가자문 및 자금지원
기타	· 실증 등 판로지원	자금, 정보 등

[그림 42] 국제협력 및 수출 관련 정부지원활동 매칭

구분	목적	주요활동	세부사항	수출지원활동 예시
기술개발	원천기술확보 (기술이전/ 공동개발)	• 기술 매칭 • 기술구매	공공기술확보	• 기술교류 협력 • 수요매칭 • 과제 발굴 • 공동R&D 과제기획 • 지원 • 글로벌 공조 체계
기술사업화	시제품제작 (연구/ 개발/기획)	• 상세 사업 계획 수립 • 시제품제작 • 시장 진출 계획 수립 • 상업용 제품 구현	• 기술사업화에 필요한 사설 및 운전 자금 지원 • 사업화 연계를 위한 진단 및 컨설팅 지원 • 시제품 개발 및 제작 지원 • 지식재산권 관련 지원 • 표준화 및 인허가 취득	
사업전개 (양산)	시장개척(양산) 및 확장, 제품화	• 제품화	• 양산화 기술개발 지원 • 판로개척을 위한 수출/마케팅 지원	• 정보제공/홍보(협의체구성 및 전시회 등) • 기술규제지원(상담회/컨설팅) • 해외인증지원(비용)

구분	지원활동	비고
기술교류 및 협력	· 파트너·협력 주체 탐색 등 협력기회 제공 · 공동 기술협력 세미나 및 워크샵 등 개최, 네트워킹	
수요매칭/ 과제발굴	· (Out-Bound) 국내기업의 해외 기술협력 파트너 발굴·수체 탐색 · (In-Bound) 해외파트너 수요 접수 및 국내기업 연계 · 양자/다자 국제공동R&D 과제 발굴	
공동R&D 기획 지원	· 국제공동과제 기획 및 사전타당성 조사 지원 · 선도국과의 에너지 국제공동연구 지원 · 트랙 레코드 축적 기술의 현지 실증 프로젝트 참여기회 제공 지원	
글로벌 공조체계	· 국제표준, 기술규제 관련 등 협력 전략 구축 · 기술교류 협력거점 마련 · 자원수요국과의 네트워크 활동 지원	
정보제공 및 홍보	· 해외 전시회 참가지원 · 유통채널 구축지원 · 해외시장조사 지원 · 마케팅 및 세일즈 지원 · 온라인 플랫폼 조성(해외 조작/시생산 가능하도록 국내 오프라인 전시관 연계)	시진조사/ 마케팅/세일즈
기술규제지원	· 글로벌 핵심전문가 해외진출 전략자원 · 해외 수출 관련전문가 매칭(현장컨설팅)	전략 등 컨설팅
해외인증	· 해외인증지원(인증획득비용) · 시험/인증 등 심층분석, 현장 컨설팅	전문가 자문 및 자금지원
기타	· 실증 등 판로지원	자금, 정보 등

□ 타 산업(수출 및 해외진출)지원 정책 수단

○ 핵융합분야의 경우 유형Ⅲ에 해당되며 기술사업화 및 기술경쟁력 수준을 고려하여 기술교류 및 협력, 수요 매칭/과제발굴, 글로벌 공조체계 마련 등의 지원이 필요한 것으로 나타남

[그림 43] 국내 주요 산업 수출지원정책조사

□ 국제협력 및 수출 관련 정부정책

구분	제3차 뿌리산업 진흥 기본계획(안) (2023~2027) (2022. 12. 관계부처 합동	제4차 우주개발진흥 기본계획 (2022.12.관계부처 합동)	제1차 소재·부품·장비산업 경쟁력 강화 기본계획 (2020, 관계부처 합동)	소프트웨어 진흥 전략(2023.4.관계부처 합동)	제3차 제약 바이오 산업 육성·지원 종합계획(안) (2023~2027, 관계부처 합동)
목표	노동집약적 저부가 → 미래 고부가 첨단산업으로 大전환	도전적 우주탐사, 우주경제 인프라(지상시설, 산업, 지식) 확보를 아우르는 장기임무 설정	도전적 우주탐사, 우주경제 인프라(지상시설, 산업, 지식) 확보를 아우르는 장기임무 설정	SW기초체력 확보를 통해 디지털 대한민국 대도약 실현	제약바이오 글로벌 중심국가 도약
전략	•뿌리기업의 활력과 지속가능성을 제고 • 「디지털·친환경·글로벌」 산업구조로 전환 가속화 •전후방 산업과 함께하는 고도성장기반 구축	❶우주경제 기반구축 ❷우주기술 확보를 핵심 전략으로 관련 기술개발 사업 및 정책·제도적 지원을 포괄하는 통합적인 중장기 계획 마련	글로벌 공급망 참여 확대, 미래시장 선도를 위한 개발·생산 역량 확충 등 경쟁력 강화 전략 추진	디지털 전환, 글로벌 진출 가속화를 위한 전략SW 기술개발, 글로벌 시장을 지향하는 SW기업 육성	R&D 강화, 수출지원, 인력양성, 제도 인프라 개선을 주요 전략으로 내세워 중점과제 및 세부과제 제시
수출지원 및 국제협력	• (해외시장 개척) 뿌리산업 관련 세계 전시회를 전략적으로 활용하여 해외 바이어 매칭 활성화, 매칭 후속 컨설팅 등 마케팅 강화 •(R&D 연계 진출) 신제품 개발 또는 글로벌 수준의 품질 인증 등 해외 수요기업과 R&D 공동 수행으로 글로벌 시장 개척 가속화지역 수요 기반 R&D 기반구축시설의 특성화 유도 • (지원 확대) 「글로벌 첨단 뿌리기업」에 글로벌 전시·상담회 참여 확대, 수출금융, 무역보험 등 글로벌화 지원에 집중	•(지원체계) 해외 수요조사, 규제대응 지원 등을 통해 국내 우주기업의 해외진출을 도모하는 정부 및 민간 지원체계 마련 • (사업 발굴) 정상외교, 절충교역, ODA, 양자외교 등 다양한 국제 협력수단을 활용하여 협력사업 발굴 • (진출 지원) 글로벌 홍보 기회 확대, 신뢰도 제고를 위한 지원 강화	•핵심장비 내재화를 통한 국산화 및 고도화) 장비 교체·개조 및 수출 지원을 통해 규모의 경제 시현 • (맞춤형 투자유치 인센티브 제공) 수요기업의 협력사 유턴 지원(물량보장, 자금 및 기술지원 등) 장려 및 제도적 지	•글로벌 시장을 지향하는 SW기업 육성 •글로벌 진출 기회 확대를 위해 현지 시장을 고려한 지원체계 마련	•메가 펀드 조성을 통한 혁신신약 글로벌 진출 가속화 •정책금융 투자연계 강화 •벤처·창업기업 Scale-up을 위한 전주기 지원 •미국 행정명령 대응 및 R2R 협력 강화 수출역량 제고를 위한 맞춤형 지원 강화 •전략국가별 시장진출 지원체계 강화

구분	제4차 뇌연구촉진 기본계획 (2023.6. 관계부처 합동)	제3차 항공산업발전 기본계획(21~30) (2021.2.관계부처 합동)	제4차 에너지 기술개발계획 (19~28) (2019.12.관계부처 합동)	인공지능 반도체 산업 발전전략 (2020.10.관계부처 합동)	반도체·디스플레이·차세대전지 3대 주력기술 초격차 R&D전략 (2023.4.관계부처 합동)
목표	혁신과 융합으로 뇌 연구·뇌산업 선도국가 진입	항공산업의 고도화를 통한 신시장 개척 및 R&D 선진화로 미래 항공산업 도약기반 구축	에너지전환 중점기술 투자 강화, 에너지산업 시장경쟁력 제고	[민간]의 '혁신역량' + [정부]의 '전략적 지원'으로 국가적 역량 결집	3대 주력기술인 반도체·디스플레이·차세대전지 분야 미래 핵심기술 확보
전략	•R&D 지원 강화, 생애 전 주기 지원, 융합 기반 뇌성장·도약 지원, 공유 및 협력 중심의 뇌연구 생태계 강화	지원 인프라 강화, 시장 경쟁력 강화 및 부품산업 고도화, UAM/AAM 생태계 조성과 항공선진기술 개발	선진기술 획득, 해외시장 진출 목표의 공동연구를 강화하고, 양자 협력과 다자 협의체 활동 활성화	글로벌 시장 점유율 10%('26)→20%('30)을 목표로 제시하며 혁신 기육성을 위한 인프라 강화 방안 중 하나로 지원프로그램 등을 통한 기업의 해외진출 지원	'27년까지 5년간 총 160조원 규모의 민·관 연구개발(R&D) 자금 투자 연구자 중심의 기반(인프라)를 조성하고 국제 협력을 활성화 등
수출지원 및 국제협력	•신기술·연구방법 습득을 위한 미국(NIH), 독일(Max Planck), 일본(RIKEN CBS), 중국(ION) 등 선진 연구기관과 연구자 교류 등 공조체계 구축 •UK-Korea 뇌과학 심포지엄, CJK International meeting 등 뇌연구 국제 교류행사 지속 개최 및 지원책 마련 •국제 뇌과학 이니셔티브(IBI, International Brain Initiative)에 참여하여 뇌연구 성과·데이터 공유, 핵심정보 및 혁신 기술 습득	•국제공동개발(RSP)참여 체계 구축으로 부품산업 고도화 •수요연계형 핵심기술 선정 및 투자방향 제시	•기술격차가 큰 분야를 중심으로 최고 기술력을 보유한 선도국과에너지 국제공동연구 확대 •국내 트렉 레코드가 축적된 기술은 해외 실증, ODA 사업 등을 통해 현지 실증 프로젝트 참여기회 우선 제공 •공통이슈 중심 양자협력 강화,다자협의체 활동을 통한 글로벌 기술협력 교류 활성화	•인공지능 반도체 팹리스 집중 지원체계 구축 - (해외진출) 시스템IC협력센터, 수출바우처,K-Global 프로그램등을 통해 유망 기업 해외진출 지원	• 반도체 - (국제협력) 반도체 R&D 분야 국제협력 촉진을 위해 韓-美·EU 간 '반도체 연구자 포럼'을 신설·운영하고 양국 간 공동 R&D과제 추진 • 차세대 전지 - (인프라 및 국제협력) 주요국 기술 동맹 강화 및 창업 등 인프라 지원

구분	2030 이차전지 산업(K-Battery)발전 전략(2021.7.관계부처 합동)	모빌리티 혁신 로드맵(2022.9.국토교통부)	제4차 생명공학육성 기본계획('23~'32,관계부처 합동)	대한민국 양자과학기술 전략(2023.6.관계부처 합동)	디지털 트윈 활성화 전략(2021.9.관계부처 합동)
목표	2030 차세대 이차전지 1등 국가 대한민국	미래를 향한 멈추지 않는 혁신모빌리티 혁명의 일상 구현과 글로벌 선도	패러다임 선도 바이오강국도약	글로벌 양자경제 중심국가	디지털 트윈 초혁신 프로젝트(선도국 대비 기술수준 95% 달성,산업 생태계 조성 등)
전략	• 민관 대규모 R&D 추진 • 안정적 공급망을 갖춘 튼튼한 생태계 조성 • 공공·민간 수요시장 창출	• 규제 개선, 실증 지원을 통한 혁신 성과 창출 • 법·제도 기반 강화 • 인프라, 기술 개발을 위한 투자 확대	• 디지털 융합을 통한 혁신 • 바이오 융합 R&D 강화 • 스케일업 촉진 • 바이오 융합 생태계 조성	• 양자과학기술 생태계 조성 • 양자 과학기술발전 • 기술-산업 융합	• 디지털 트윈 산업 성장기반 조성 • 대규모 선도시장 창출 • 기술 경쟁력 강화 • 표준화·제도 개선
수출지원 및 국제협력	• 글로벌 선도기지 구축을 위한 연대와 협력의 생태계조성 ❶ 안정적인 이차전지 소재 공급망 구축 - (정부간 협력강화) 국가간 협력채널(산업·자원협력위 등) 확대, 자원수요국과의 네트워크 활동을 통해 민간 해외진출 기반 조성 ❷ 글로벌 트렌드에 대응한 제도기반 마련-해외생산거점 확대 및 기술수준 상향을 고려한 국가핵심기술 수출 관리	• 미래 항공 모빌리티의 글로벌 경쟁력 강화 -(기업 지원) 해외 수출지원사업, 국제 행사(UAV Expo 등) 참여지원 등을 통해 K-드론 기업의 해외진출 역량 강화 • 스마트 물류 모빌리티 체계 구축 -(전통 기업 지원) 인센티브 제공을 통한 스마트 물류 기업 전환지원, 화주·물류기업 간 공동 해외진출 활성화 컨설팅으로 기업 경쟁력 강화 지원	• (K-바이오 도약 지원) 해외 규제 대응 역량 확보 등 글로벌 진출 맞춤형 지원 • 현지거점 확대,판로개척 등 국제화 발판 마련 -유통채널 구축,수출 파트너 발굴,해외전시회 참가지원 등 • 바이오혁신 거버넌스 강화 -글로벌 어젠다 협력 적극 참여, 국제연구협력 및 우수인력 교류 강화	• 글로벌 양자 리더십 확보 - 국제협력에 2035년까지 2,100억원을 투자 - 주요 양자과학기술 선도국들과의 전략적·외교적 협력을 강화하기 위한 가간 양자(bilateral)·다자 협의체 및 제적 논의에 적극적으로 참여 - 인력 교류 및 연구 협력 동참 - 글로벌 공급망 형성에 전략적 위치 선점을 위한 산업계 참여 촉진	• 산업 성장기반 조성 -(클라우드 연동·실증) 국내 시뮬레이션 SaaS의 판로 개척을 위해 국내·외 클라우드 플랫폼과의 연동 및 실증(POC) 지원('22~)

4. 결론

4.1. 요약 및 결론

4.1. 요약 및 결론

□ 전 세계적으로 에너지 수요는 지속적으로 증가할 전망이며, 세계 각국은 기존 화석연료 중심 에너지믹스를 지속 가능한 청정 에너지원 중심으로 전환하는 중

◆ COP28 개막('23)
- '국가온실가스감축목표(NDC)'의 확장에 대한 합의 마련하고자 함
- UAE는 2030년까지 재생에너지를 3배 확대하자는 의제를 제시
- 선진국들의 개발도상국 기후 행동지원을 위한 투자계획 이행 예정

* 2020년부터 매년 1000억달러(약 134조원)

○ 파리 기후협정('16년 발효), UN 기후 정상회의('19.9) 이후 각국의 탄소중립(carbon neutrality) 노력은 가속화되고 있으며 지속 가능한 에너지원의 비중이 급격히 높아질 전망

* EU는 2050년 탄소 제로 목표로 European Green Deal을 추진

○ 현 청정 에너지믹스의 한계점으로 수급 안정성 위협 요인을 상쇄할 수 있는 안정적 대용량 발전원 개발이 시급

– 핵융합 발전은 低 탄소 발생, 높은 안전성(고준위 방폐물/폭발위험 없음)의 잠재력을 가진 미래 대용량 청정 에너지로서 자원 고갈 및 온실가스 배출 걱정이 없는 최적의 차세대 기저발전원이 될 것으로 기대

○ EU, 영국, 일본 등은 기후변화 대응, 녹색 산업혁명, 탄소중립을 위한 정책적 노력의 일환으로 핵융합에너지 개발에 투자 및 지원을 확대하고 있음

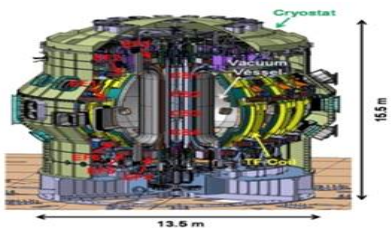
<표 70> 주요국의 핵융합 정책동향

국가	정책
	'35~'40년 파일럿 플랜트 건설 선언 등 저탄소 발전을 위한 주요 정책 도구로 핵융합을 인식하고 있음
	핵융합을 미래 주요 에너지기술로 인식하여, '50년대 상용화를 목표로 유럽원자력공동체 조약에 따른 공동연구, 핵융합에너지 전기생산 로드맵 수립 등 추진
	녹색산업혁명 10대 계획 중 하나로 '40년 핵융합 상용화를 목표로 제시하고 입지 선정 및 각종 연구시설 투자 등 선도적인 정책 추진
	ITER 초기 회원국으로 참여했을 만큼 한·중·일 3국 중 핵융합 연구가 가장 앞선 국가이며, '23년 4월 최초 국가 핵융합 전략 발표
	ITER 초기 회원국으로 참여했을 만큼 한·중·일 3국 중 핵융합 연구가 가장 앞선 국가이며, '23년 4월 최초 국가 핵융합 전략 발표

□ 글로벌 주요국들은 ’40~’50년대 핵융합 발전 실증을 위한 DEMO 건설을 목표로, ITER 참여, 자체 연구장치 운영, DEMO 관련 사전연구들을 추진하고 있음

○ 주요국들은 자체 연구로→ITER→DEMO로 이어지는 로드맵을 기반으로 ’50년대 전력생산실증을 위한 R&D를 추진 중

<표 71> 주요국 핵융합 장치 구축계획

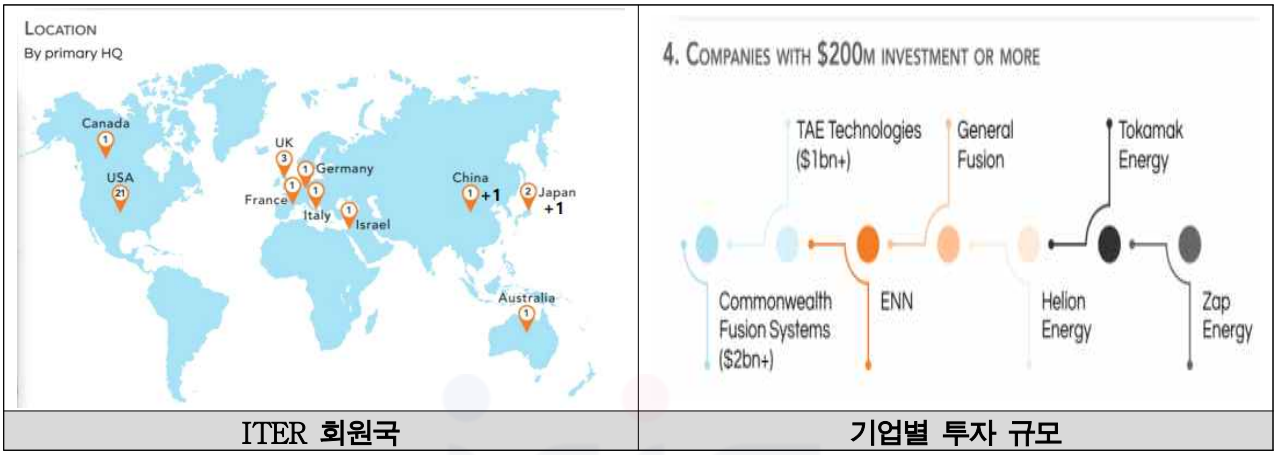
국가	정책	비고
(미국)	• NASEM*은 2050년 탄소 배출 저감 기여를 목표로, 2030년대 초까지 핵융합 파일럿 플랜트(FPP)를 건설하고, 2035년부터 단계적 운영을 통해 전력생산 추진을 제시 * 국립과학공학의학원(National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine) • 미국 스타트업 타입원에너지(Type One Energy)는 세계 최초의 스텔라레이터 발전소 건설을 위해 빌 게이츠를 비롯한 투자자들로부터 2,900만 달러(약 378억원)를 조달	 <핵융합장치 NSTX-U>
(EU)	• 실증로 환경에서의 핵융합 재료 테스트 및 증식 블랑켓의 삼중수소 증식 연구를 위해 가속기 기반 핵융합 중성자원* 건설을 추진 *(IFMIF/DONES International Fusion Materials Irradiation Facility/Demo Oriented Neutron Source) • EU는 2050년 데모에 적용할 수 있는 최적의 방식을 찾기 위해 두 가지 방식의 블랭킷을 ITER에서 테스트할 예정	 <공동 핵융합실험장치 JET>
(영국)	• 2040년대 완공을 목표로 세계 최초의 핵융합 전력생산 실증을 위한 STEP(Spherical Tokamak for Energy Production) 건설 진행 * STEP(Spherical Tokamak for Energy Production)은 ’40년 세계 최초 핵융합 상용화 목표를 달성하기 위해 건설하는 핵융합로) • STEP은 100㎿ 이상의 전력생산을 통해 삼중수소 자가증식 기술 확보, 핵융합 재료 개발, 경제성 확보 등을 목표로 제시	 <STEP 개념도>
(일본)	• JT-60SA를 중심으로 노심 플라즈마 실험 • 2020년 3월 ITER의 위성 토카막 역할 수행 및 DEMO 최적화 운전시나리오 개발을 목표로 초전도 자석 업그레이드 완료	 <JT-60SA개념도>
(중국)	• ’50년대 핵융합 상용화를 목표로 핵융합 DEMO 로드맵 추진 • 1960년대 중반부터 핵융합 연구를 본격화하였으며, 최근 연구장치(EAST 등)의 지속적인 성능 업그레이드로 우수 연구결과를 창출	 <핵융합장치 EAST>

□ 세계 핵융합 산업시장은 국제핵융합실험로(ITER) 건설 참여에 따른 조달 품 제작 및 납품, 각국의 연구장치 건설 및 운영, 가속기와 같은 핵융합 연관 산업이 주를 이루고 있음

* 민간부문의 소형 핵융합 개발 시장이 활성화 추세

○ 관련 시장의 스타트업 기업은 북미 20개 이상, 영국 3개, 일본 3개, 중국 2개 기업 등 ITER 회원국 중심으로 확대되고 있음

[그림 44] 글로벌 핵융합 관련 스타트업 현황



ITER 회원국 | 기업별 투자 규모

* 출처:The global fusion industry in 2022, FIA

– 핵융합 분야 투자자는 전통에너지기업 뿐아니라 정부부처, VC 등 다양하며 2016년 대비 2022년기준 스타트 기업이 3배이상 증가함

– Tokamak Energy, TAE General Fusion, Commonwealth Fusion, Helion등이 주요기업에 해당

○ 주요국 핵융합 관련 기업들은 구형 토카막, 고온초전도체 등 비ITER 방식의 소형 핵융합 장치를 개발하여 '30년대 중반 전력생산을 실증하는 도전적 목표를 제시

○ (민간 스타트업 현황) 최근 기후변화 및 ESG 대응 전략으로 핵융합 분야에 대한 관심이 고조되며, 핵융합 민간 스타트업 수* 및 투자** 증가

* 미국(13개), 영국(5개) 등 약 30개 이상의 스타트업 활동 중('21년 기준)

** 핵융합 스타트업 총 누적 투자금액은 약 $4.1B(한화 약 4.8조) 이상('21년 기준)

□ **ITER 건설 등 관련 국내 산업체의 해외 수주 지속 증가, 핵융합 및 파생 기술 분야 산업체 협력 및 관련 기술이전 확대되고 있으나 민간 부분 핵융합 기술에 대한 활동 저조**

○ 정보 제공 및 ITER Business Forum('17, '19, '21) 등 네트워킹 지원 노력/ 국내 산업체는 ITER기구·타 회원국으로부터 159건(6,747억원)의 용역 및 제작 수주('07~'21.10 누적)

– '핵융합·가속기 산업체 상생한마당' 매년 개최, 평균 약 40개 업체 참여 /핵융합(연) 기술이전 증가(('17) 7건, 4.03억원 →('20) 10건, 9.57억원))

– ITER 관련 수주 이외에는 민간 부문에서 핵융합 기술에 대한 인식 및 활동이 저조한 편임

[그림 45] 국내 핵융합 분야 기업 구성('18)

* 출처: 핵융합및가속기산업분야국내생태계종합실태조사, 연구재단, 2020

○ (수출) 국내 핵융합 관련 업체 중 4.7%에 해당하는 6개 업체만이 수출 실적 기록하고 있음

* 핵융합 분야 수출 상세 내역(2018년 기준)

– 넥상스코리아, 다원시스, 모비스, KAT, 현대중공업 등이 주로 ITER 사업을 통해 수출 실적 창출

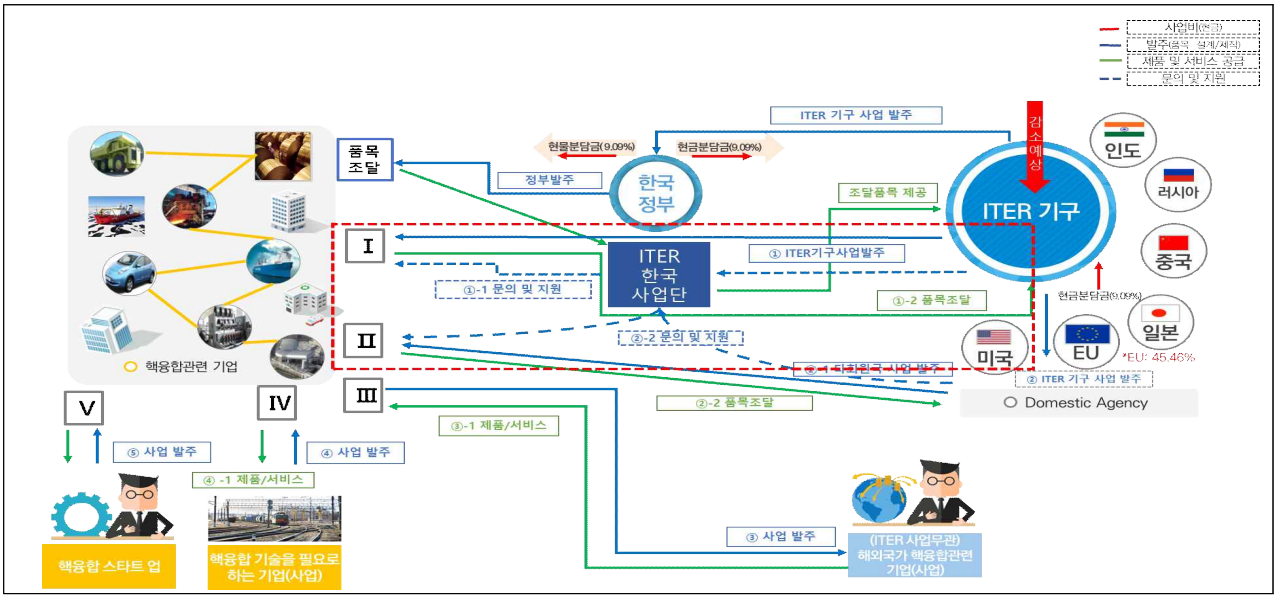
(명확한 목표제시) ITER사업에서는 더 이상 국내 기업이 참여할 수 있는 영역이 없으며 남은 부분은 국내에서 해소하기 어려운 분야에 해당, 국가적 차원으로 지속적인 지원을 약속하는 계획 발표가 시급

(다양한 정보제공) 국내외 관련 동향에 대한 정보력이 많이 떨어짐에 따라 국내 기업의 접근성 또한 함께 낮아짐

(인허가 등 글로벌 진출 시 필요한 제반사항 지원) 해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원마련이 시급(법적문제 등)

□ 핵융합 관련 국내 핵융합 관련 기업매출구조는 CASE-5개로 구분되며 ITER 사업을 통해 발생되는 사업 이외 가능한 사업이 포함됨

[그림 46] 핵융합 관련 기업 매출구조



○ 기존 수출 실적은 ITER 사업참여를 통한 성과가 다수를 차지하나 ITER 사업 또한 마지막 단계에 이르고 있기에 국내 관련 기업이 참여할 수 있는 추가 수요처 발굴 시급

<표 72> 유형별 구분

구분	구분	발주처(고객)	계약형태	시장확대 가능성	비고
CASE-Ⅰ	ITER기구 직접 조달품목을 한국산업체/연구원 등 수주	ITER	직접계약	○	
CASE-Ⅱ	ITER 타회원국에 할당된 현물조달품목을 한국 산업체 수주	ITER	직접계약	○	
CASE-Ⅲ	ITER 기술 활용하여 해외 핵융합 관련 제품 수주	해외국/기업	직접계약	◐	
CASE-Ⅳ	ITER 기술 활용하지만, 핵융합과 무관한 제품 수주	국내외 타 산업체	직접계약	◐	
CASE-V	해외 스타트업, 공공기관 핵융합 관련 제품 수주	해외 스타트업	직접계약	●	미래 수요처

* 확대가능성: 없음○/보통◐/ 많음●

□ **국제협력 및 수출 관련 정부지원활동 분석 및 타 산업(수출 및 해외진출)지원 정책 수단 진단**

○ 지원활동을 구분하여 활동별 주요 지원내용을 조사하고 연구단계별 요구되는 국제협력 및 수출지원 활동 매칭 실시

– 관련 정부활동은 기술교류 및 협력, 수요 매칭/과제발굴, 글로벌 공조체계, 정보제공 및 홍보등의 지원

– 다품종 소량·고품질 생산 등의 특징을 고려하여 국내 원자력 관련 협회, 산업부의 생태계 지원 프로그램 벤치마킹 예정

<표 73> 정부의 국제협력 지원내용

지원활동	세부내용	비고
기술교류 및 협력	· 파트너 · 협력 주제 탐색 등 협력기회 제공 · 공동 기술협력 세미나 및 워크샵 등 개최, 네트워킹	
수요매칭/과제발굴	(Out-Bound) 국내기업의 해외 기술협력 파트너 발굴·주제 탐색 · (In-Bound) 해외파트너 수요 접수 및 국내기업 연계 · 양자/다자 국제공동R&D 과제 발굴	
공동R&D기획	· 국제공동과제 기획 및 사전타당성 조사 지원 · 선도국과의 에너지 국제공동연구 지원 · 트렉레코드축적기술의 현지 실증 프로젝트 참여기회 제공 지원	
글로벌 공조체계	· 국제표준, 기술규제 관련 등 협력 전략 구축 · 기술교류 협력거점 마련 · 자원수요국과의 네트워크 활동 지원	
정보제공 및 홍보	· 해외 전시회 참가지원 · 유통채널 구축지원 · 해외시장조사 지원 · 마케팅 및 세일즈 지원 · 온라인 플랫폼 조성(해외 조작/생산가능하도록 국내 오프라인 전시관 연계)	시장조사/마케팅/세일즈
기술규제	· 글로벌 핵심전문가 해외진출 전략지원 · 해외 수출 관련전문가 매칭(현장컨설팅)	전략 등 컨설팅
해외인증	· 해외인증지원(인증획득비용) · 시험/인증 등 심층분석, 현장 컨설팅	전문가자문 및 자금지원
기타	· 실증 등 판로지원	자금, 정보 등

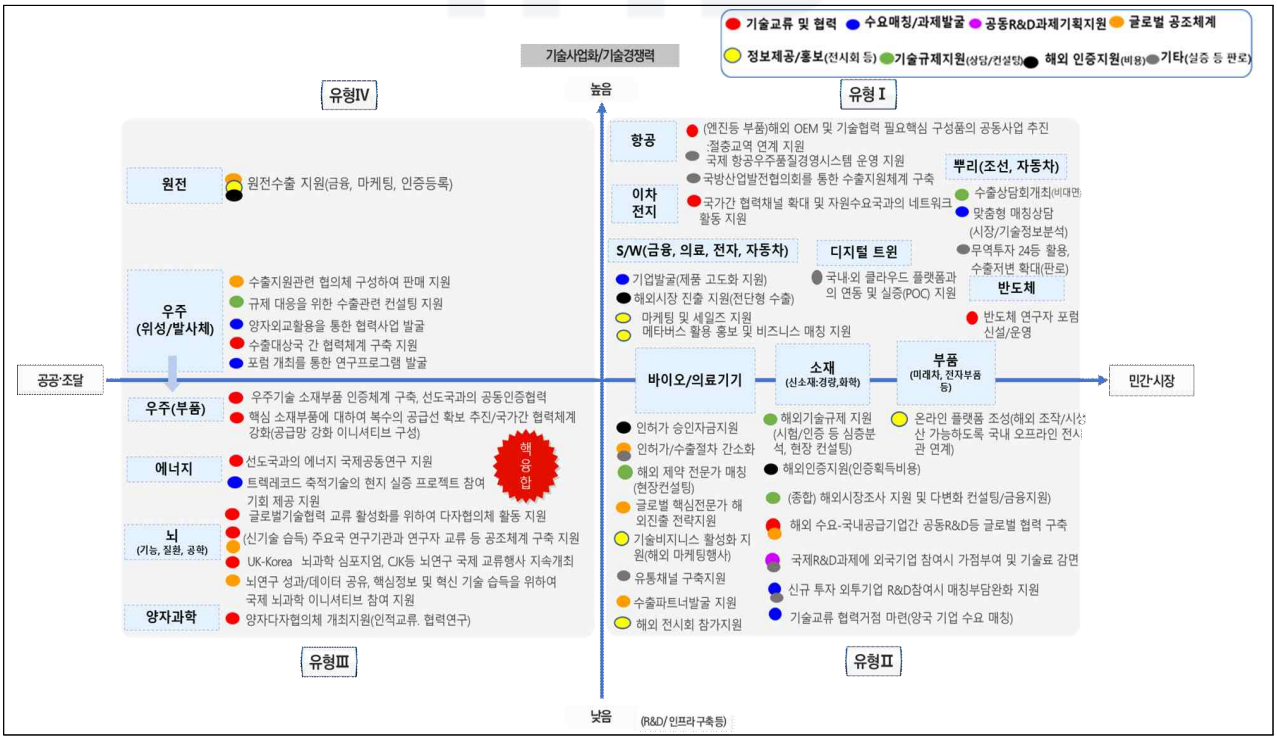
[그림 47] 국제협력 및 수출 관련 정부지원활동 매칭

구분	목적	주요활동	세부사항	수출지원활동 예시
기술개발	원천기술확보 (기술이전/공동개발)	• 기술 매칭 • 기술구매	공공기술확보	• 기술교류 협력 • 수요매칭 • 과제 발굴 • 공동R&D 과제기획 • 지원 • 글로벌 공조 체계
기술사업화	시제품제작 (연구/개발/기획)	• 상세 사업 계획 수립 • 시제품제작 • 시장 진출 계획 수립 • 상업용 제품 구현	• 기술사업화에 필요한 시설 및 운전 자금 지원 • 사업화 연계를 위한 진단 및 컨설팅 지원 • 시제품 개발 및 제작 지원 • 지식재산권 관련 지원 • 표준화 및 인허가 취득	
사업전개 (양산)	시장개척(양산) 및 확장, 제품화	• 제품화	• 양산화 기술개발 지원 • 판로개척을 위한 수출/마케팅 지원	• 정보제공/홍보(협의체구성 및 전시회 등) • 기술규제지원(상담회/컨설팅) • 해외인증지원(비용)

구분	지원활동	비고
기술교류 및 협력	· 파트너 · 협력 주제 탐색 등 협력기획 제공 · 공동 기술협력 세미나 및 워크샵 등 개최, 네트워킹	
수요매칭/과제발굴	· (Out-Bound) 국내기업의 해외 기술협력 파트너 발굴·주제 탐색 · (In-Bound) 해외파트너 수요 접수 및 국내기업 연계 · 양자/다자 국제공동R&D 과제 발굴	
공동R&D 기획 지원	· 국제공동과제 기획 및 사전타당성 조사 지원 · 선도국과의 에너지 국제공동연구 지원 · 트랙 레코드 축적 기술의 현지 실증 프로젝트 참여기회 제공 지원	
글로벌 공조체계	· 국제표준, 기술규제 관련 등 협력 전략 구축 · 기술교류 협력거점 마련 · 자원수요국과의 네트워크 활동 지원	
정보제공 및 홍보	· 해외 전시회 참가지원 · 유통채널 구축지원 · 해외시장조사 지원 · 마케팅 및 세일즈 지원 · 온라인 플랫폼 조성(해외 조작/시생산 가능하도록 국내 오프라인 전시관 연계)	시장조사/마케팅/세일즈
기술규제지원	· 글로벌 핵심전문가 해외진출 전략지원 · 해외 수출 관련전문가 매칭(현장컨설팅)	전략 등 컨설팅
해외인증	· 해외인증지원(인증획득비용) · 시험/인증 등 심층분석, 현장 컨설팅	전문가 자문 및 자금지원
기타	· 실증 등 판로지원	자금, 정보 등

○ 핵융합 분야의 경우 유형Ⅲ에 해당되며 기술사업화 및 기술경쟁력 수준을 고려하여 기술교류 및 협력, 수요 매칭/과제발굴, 글로벌 공조체계 마련 등의 지원이 필요한 것으로 나타남

[그림 48] 국내 주요 산업 수출지원정책조사



□ SWOT 분석을 통한 정책 방향을 위한 시사점 도출

○ (S-O) 우리나라는 핵융합 선진국과의 기술 격차를 빠르게 해소하며 high quality(제조기술), fast delivcery, reasonable cost의 강점을 가지고 해당 영역의 수출 가능한 수요처 발굴을 확대할 수 있는 사업 설계

○ (W-O) 핵융합에너지는 청정한 에너지로서 대규모의 안정적 공급이 가능하다는 장점이 있는 미래 에너지 해당, 이에 관련 기술개발 뿐 아니라 산업 측면에서의 지원 필요

○ (S-T) 우리나라의 미래 안정적이며 청정한 에너지원을 확보하기 위하여 범용기술, DEMO 적용 기술 뿐 아니라 새로운 도전적 기술을 개발할 수 있도록 정부의 적극적인 투자 필요

○ (W-T) 핵융합 에너지 관련 연구는 거대과학이라는 특성상 공공부문 중심으로 연구개발이 대부분 진행, 민간부문에서는 연구개발 추진, 전문인력 확보 등이 어려운 점을 고려하여 지원

<표 74> SWOT분석 도출

	강점 요인(STRENGTHS)	약점 요인(WEAKNESSES)
내부요인	• 핵융합 연구는 상대적으로 후발주자에 속하나 KSTAR건설 및 운영을 중간진입전략(Mid-entry Strategy)으로 삼아 핵융합 선진국과의 기술 격차를 빠르게 해소 • ITER 건설 일정에 따른 할당 품목 적기 개발·제작, 핵심기술 확보를 추진 중 • 타 회원국 및 ITER기구를 통해 사업 수주 규모 지속 확대 • 우리나라는 선도국과 견줄만한 제조기술력(High-Quality) 및 Fast-Delivcery, Reasonable-Cost의 강점을 보유	• 핵융합에너지 연구는 다수의 기술적 난제들로 발전 상용화까지 막대한 시간과 자본이 소요 • 핵융합분야는 주로 공공부문을 중심으로 수요처가 한정되어 있고, 국내 시장은 2035년까지 정체 예상 • ITER 프로젝트 완료 시점의 유동성 문제에 따른 K-DEMO 추진계획 또한 일정상 유동적일 것으로 예상
외부요인	**기회 요인(OPPORTUNITIES)**	**위협 요인(THREATS)**
	• 핵융합에너지는 청정한 에너지로서 대규모의 안정적 공급 가능 • ITER 사업, KSTAR 연구·운영 등을 통하여 세계적 성과 창출 • ITER 등 핵융합 관련 사업 참여 경험을 최대한 활용하여 추가수요처 발굴	• 친환경 미래에너지원으로 핵융합 관련 분야 경쟁 치열 • ITER사업은 마무리 단계로서 국내 기업이 참여할 수 있는 영역 축소 • 관련 산업 자생적 공급사슬 부재 • 산업체 관점에서 해외진출, 국제협력, 수출지원 관련 중점 지원체계가 부재함
	긍정적 요인(Positive)	**부정적 요인(Negative)**

□ 국내 산업체의 해외진출방안을 마련하기 위하여 다각도적인 측면에서의 이슈 발굴

<표 75> 이슈 발굴

구분	산업구조적	기술/인적역량	국제협력	지원체계	수출활동
현황	·제작 중심의 산업 구조로 기술 발전의 어려움 ·핵융합 산업 생태계가 구축되어 있지 않아 현재 산업구조상 시장 성장 제약	·민간영역에서의 적극적인 연구개발추진 및 전문인력 확보의 어려움 ·핵융합 연구개발 특허 및 기업체 논문 산출 감소하고 있는 추세	·타 산업에 비해 국제협력 및 타분야 진출 등 기회가 많은 편 ·주요국의 국내 기술력에 대한 인식이 상대적으로 낮음 ·공공 부문의 체계적인 개입 필요	·핵융합산업 발전을 위한 중점 지원체계 구축 미흡 ·국제적 기준 및 규제 및 국제법과 관련한 이슈들에 대한 대응이 어려움	·(시장/고객발굴) 동향 파악 및 국가 간 네트워킹, 정보교류, 연계 지원 미흡 ·(제품/ 서비스개발)정부/공공분야 투자 부족 ·(수출/해외진출) 해외 시장 대응대응 및 수출 지원을 위한 지원 체계 부재
시사점	·핵융합 산업 생태계 구축 및 발전방안마련 필요	·산업체의 기술경쟁력 확보를 위한 지원 필요	·국가간 교류 및 네트워킹 등 국가적 차원에서의 지원 필요	·핵융합산업 발전을 위한 중점 지원체계 마련	·수출 지원 관련 체계적인 지원을 통한 기업의 수주지원

□ 국내 핵융합 산업체 보유 기술을 활용한 해외 수출 활성화를 위한 정책적 지원 방안 마련과 기술력 강화를 위한 추진 전략 수립

○ **(기술력)** 핵융합 에너지 관련 연구의 특성(장시간 투자 필요)을 고려하여 민간분야의 연구개발 활성화 지원을 통한 기술 경쟁력 및 전문인력확보 필요

○ **(산업 생태계)** 기업의 활성화가 이루어질 수 있도록 자생적인 공급사슬(supply chain)이 생성될 수 있는 구조를 구축 필요

○ **(수출 활동)** 기업의 해외 수출 시 어려움을 겪는 영역으로 국내 기업 및 기술력 홍보, 국외기업 및 기술력 정보, 국가별 규제 및 제도 파악 등 활동에 대한 지원 필요

<표 76> 주요 이슈 및 지원방향 도출

구분		이슈	지원방향
기술력	공통	핵융합 분야는 자체 연구개발을 추진하기에는 사업화에 장기간 소요되고 불확실성이 높은 특성에 따라 산업체 연구개발지원확대필요 * 현재 범용기술, DEMO 적용기술이외 새로운 도적적 기술을 개발할 수 있도록 지원 * 시장수요형기술개발지원 필요	핵융합 에너지 연구개발 (소형단기, 대형장기)
	설계	설계/엔지니어링 분야의 성장에 대한 연구개발에 대한 지원 필요 * 핵융합 관련 기술의 대부분은 설계/엔지니어링, 제작, 소재에 해당되며 설계 및 제작이 가장 큰 비중	핵융합 에너지 기술개발 (설계 및 엔지니어링)

구분		이슈	지원방향
	제작	수출가능품목 및 국제적 기준이 요구되는 일반기기 대상으로 설비 관련 연구개발 지원 필요	핵융합 에너지 기술개발 (제작)
	인력 (기술)	산업체 해외 진출 시 기술적 소통 가능한 전문인력 지원 필요 * 민간부문(특히 중소기업)에서는 기술적 이해가 높고 외국어에 능통한 전문인력의 확보가 어려워 자체적인 해외진출 활동에 제약	핵융합 에너지 연구개발 (인재 교류, 단기연수, 인턴, 파견 등)
산업 생태계	수요처 발굴	국내 기업에 대한 지속 가능한 지원체계 련 필요 * 국내 기업의 수출 물량 대부분이 ITER기구에 발주한 사업으로 ITER사업 종료 이후 공급망 부족이 예상됨, 핵융합 산업 생태계는 주로 공공부분으로 수요처 한정	수출지원 센터 구축 및 기존 핵융합발전 스타트업 간 업무 협력
		EU나 미국 등 업체 선정 시 자국 제조업체를 우선 선정해야 하는 제도가 존재하여 공공 부문 차원의 체계적인 지원 필요	
	네트워킹	해외의 제작 등 니즈를 확인하고 작업이 가능한 기업을 연계시켜주는 지원 센터등이 부재	수출지원 센터 구축을 통하여 기업 간 연계 지원
		해외진출 및 국제협력, 수출 지원을 위한 지원체계 마련 등 시급	
	인력 (지원)	ITER기구 절차 등 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정 서류 작업 어려움, 해당국가와의 소통문제 해소 필요	AD 역할 수행
수출 활동	홍보	국내 기업의 제조·가공능력은 우수하나, 이에 대해 국외에서 인식이 낮으며 이에 해외 스타트업 기업 등에 국내 기업의 기술력 소개 및 홍보 방안 마련 필요	전시회, 포럼, 세미나 등 국제행사 참여 기회 제공
	정보력	관련 해외 기업이 보유하고 있는 기술과 그 기술에 대한 수준에 대한 정보제공 필요	해외 동향자료 및 관련 소식 제공
	규제	해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원마련 필요	국제적 기준 및 규제 및 국제법과 관련한 이슈 대응

□ **글로벌 핵융합 에너지 현황, 국내 핵융합 에너지 생태계 분석, 해외 수출 관련 이슈 분석 등을 통한 핵융합 산업체 해외수출 지원 세부 전략 마련**

○ (주요내용) 핵융합 에너지 개발에 참여한 산업체의 보유 기술 역량 활용과 산업 생태계 활성화 방안 마련

– 국내 핵융합 산업체 보유기술을 활용한 해외 수출 활성화를 위한 정책적 지원 방안 마련

– 핵융합 산업체 기술력 강화를 위한 다양한 차원의 국제협력 지원을 위한 추진과제 발굴

– 핵융합 산업의 건전한 성장 및 자생력 확보를 위한 정책 추진 기반 구축

○ (추진방향) 핵융합 산업체의 해외시장진출을 위한 종합 지원. 핵심역량 기반의 신규시장 확보 등 사업영역 확대를 위한 전략적 지원, 산업 생태계 확대를 위하여 해외 진출을 통한 기업의 지속적인 참여 지원

– (전략1 : 핵융합 에너지기술개발 지원을 통한 기반 확립) 민간부문에서 자체 연구개발을 추진하기에는 사업화에 장기간 소요되고 불확실성이 높은 특성에 따라 지속적인 연구 과제지원을 통한 기술력 및 전문인력 확보

– (전략2: 핵융합 수출지원체계 구축) 핵융합산업 생태계구축 및 발전을 위한 해외 시장 대응 및 수출 활성화 지원을 위한 중점 지원 체계 마련

– 해외 진출 및 국제협력, 수출지원을 위한 중점 지원 체계 구축, 국가 간 네트워킹, 정보교류, 연계 지원

– 해외진출 지원을 위한 전문기업 발굴 및 육성 지원하여 자생적인 공급사슬(supply chain)이 생성 및 확대 기여

– (전략3 : 핵융합 관련 기업지원 활동을 통한 수출 활성화) 해외 진출 전후 기업에 요구되는 제반 사항을 지원하기 위한 기업의 다양한 수출 활동 지원

* 시장진출을 위한 수출 활동별 맞춤형 지원

핵융합산업체 해외수출 및 국제협력
지원방안수립

붙임 자료

1. 국내 해외진출 및 국제협력 관련 정책조사
2. 핵융합기술얼라이언스 회의결과
3. 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-①(ITER 한국사업단)
4. 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-②(핵융합·가속기기술진흥협회)
5. 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-③

붙임1 국내 해외진출 및 국제협력 관련 정책조사

□ 제3차 뿌리산업 진흥 기본계획(안) (2023~2027)

○ **(목표)** 뿌리산업 분야 종합 계획으로 뿌리산업 발전 기반 조성 및 경쟁력 강화를 위한 원칙과 방향을 제시하고 거시적 관점에서 조정

○ **(전략)** ❶ 뿌리기업의 활력과 지속가능성을 제고, ❷ 「디지털·친환경·글로벌」 산업구조로 전환 가속화, ❸ 전후방 산업과 함께하는 고도 성장기반 구축

○ 기업 수출 지원 정책 관련 내용

– **(글로벌 첨단 기술 역량 강화)** 글로벌 시장 진출 확대

<국제협력 관련 지원세부내용>

구분	내용
시장진출 다변화 – 수출마케팅 강화, 글로벌 시장 개척 가속화	• (해외시장 개척) 뿌리산업 관련 세계전시회*를 전략적으로 활용하여 해외 바이어 매칭 활성화, 매칭 후속 컨설팅** 등 마케팅 강화 * 금형전시회('23.9, 獨) 등 해외바이어와 뿌리기술매칭 컨퍼런스, 뿌리전용 공동전시관 운영 ** 뿌리전용 수출코디네이터 운영으로 실계약에 요구되는 제도, 절차 등 애로 해결 • (R&D 연계 진출) 신제품 개발 또는 글로벌 수준의 품질 인증 등 해외 수요기업과 R&D 공동 수행으로 글로벌 시장 개척 가속화 * 글로벌뿌리R&D('22, 400억원, 해외 수요기업 구매의향서·R&D요청서 의무 제출) : '24년 일몰 → 성과평가 및 보완 후 신규 사업화 추진('25~) • (지원 확대) 「글로벌 첨단 뿌리기업」에 글로벌 전시·상담회 참여 확대, 수출금융, 무역보험 등 글로벌화 지원에 집중

□ 제4차 우주개발진흥 기본계획 (2022. 12. 관계부처 합동)

○ **(목표)** 기술개발 목표에 앞서 장기적 관점의 우주개발 임무와 목표를 설정, 도전적 우주탐사, 우주경제 인프라(지상시설, 산업, 지식) 확보를 아우르는 장기임무 설정

○ **(전략)** ❶ 우주경제 기반구축 ❷ 우주기술 확보를 핵심 전략으로 관련 기술개발 사업 및 정책·제도적 지원을 포괄하는 통합적인 중장기 계획 마련

– 우주 산업 세계시장 비중 ('21, 現수준) 약 1%→ ('45) 10%(주력산업 수준)으로 민간 우주산업 창출 목표

○ 기업 수출 지원 정책 관련 내용

– **(우주경제 기반구축)** 민간 주도 우주산업 생태계 촉진

<글로벌 시장진출 관련 세부내용>

구분	내용
글로벌 시장 진출 지원	• **(지원체계) 해외 수요조사, 규제대응 지원 등을 통해 국내 우주기업의 해외진출을 도모하는 정부 및 민간 지원체계 마련** – (정부) 국내·외 수출규제 대응 지원, 국가 간 협력 지원 등을 위해 우주항공청 내 '우주산업 수출지원 관계부처 협의체' 구성·운영 – (민간) 관련 협회 등 민간 지원기구 내에 '우주산업 수출지원 센터'를 설치('24년)하여 국내기업의 해외진출 One-Stop 서비스 지원 ※ 개도국 대상 "소형위성 제작-발사서비스 제공-지상국 구축" 과 같이 우주시스템을 패키지로 수출하는 방식 등 다양한 수출 모델 발굴 및 지원 • **(사업 발굴) 정상외교, 절충교역, ODA, 양자외교 등 다양한 국제 협력수단을 활용하여 협력사업 발굴** ※ EDCF차관, 한은, 수은 등 국책금융기관, 민간사모펀드 등을 활용하여 수출지원 – 아르테미스 프로그램 등 대형 국제협력사업, 글로벌 기업의 위성인터넷 등 대형국제우주사업에 국내기업의 참여 적극 지원 ※ (예) 美AxiomSpace社의 저궤도 민간 우주정거장 사업에 국내 기업 역할 발굴 및 참여 • **(진출 지원) 글로벌 홍보기회 확대, 신뢰도 제고를 위한 지원 강화** – (교류확대) 수출 대상국가와 협력체계(Alliance) 구축, 국내·외 우주포럼 신설·개최* 및 양자회의에 기업참여 확대 추진 * (예시) 태국 등 아세안 국가와 우주기술 협력체계 구축 및 "아세안 우주포럼" 개최 등 – (신뢰도 제고) 국내기업이 해외 진출 시에 공공 분야 역량과 국제적 인지도를 활용할 수 있도록 하는 지원체계 마련 ※ 기업 신뢰도 향상을 위한 항우(연) 납품실적증명서 발급, 항우(연)과 공동진출 등

□ 제1차 소재·부품·장비산업 경쟁력강화 기본계획 (2020, 관계부처 합동)

○ **(추진 배경)** 글로벌 환경의 변화로 소재·부품·장비 수급우려 문제 등이 대두되었으며, 주요 국가들은 4차 산업혁명, 환경보호 등 미래 신시장 주도를 위해 소재부품을 중심으로 기술혁신, 인프라 개선 등 경쟁적 정책추진

○ **(목표)** 소부장 정책 확장과 강력한 첨단산업 유치를 통한 소부장 강국 도약

○ **(전략)** 글로벌 공급망 참여 확대, 미래시장 선도를 위한 개발·생산 역량 확충 등 경쟁력 강화 전략 추진

○ 기업 수출 지원 정책 관련 내용

– **(핵심장비 내재화를 통한 국산화 및 고도화)** 장비 교체·개조 및 수출 지원을 통해 규모의 경제 시현

<온오프라인 지원 프로세스>

• 新남방·新북방에 “기계장비 종합지원센터”를 추진 검토하여 A/S를 지원하고 AR·VR·Digital Twin 활용 “온라인 플랫폼”** 조성

* 해외사례 (美 제조기술협회(AMT) 테크센터) : 중국, 인도, 폴란드 등 5개국에 “글로벌 테크센터”를 구축해 장비기업들의 A/S, 현지인력, 고객 대응 등 비즈니스 지원

** 해외에서 온라인으로 직접 조작·시생산이 가능하도록 국내 오프라인 전시관과 연계해 추진

온라인 전시관		오프라인 전시·시생산 현장
• AR·VR 활용 가상 조작 • Digital Twin 활용 가상 시생산	시생산 요청 ⇒ ⇐ 영상·결과 피드백	• 실제 제품 전시 • 실제 시생산

– **(맞춤형 투자유치 인센티브 제공)** 수요기업의 협력사 유턴 지원(물량보장, 자금 및 기술지원 등) 장려 및 제도적 지원 **(구매확대)**

– 국내외 시장 확보·유지를 위해 해외인증 지원 사업, 구매조건부 R&D, 수출바우처 지원 사업 등 우대(중기부, 산업부)

□ 소프트웨어 진흥 전략 (2023. 4. 관계부처 합동)

○ **(목표)** SW는 디지털 新기술의 혁신과 성장을 견인하는 기반으로 SW기초체력 확보를 통해 디지털 대한민국 대도약 실현

○ **(전략)** 디지털 전환, 글로벌 진출 가속화를 위한 전략SW 기술개발, 글로벌 시장을 지향하는 SW기업 육성 등

<주요 추진전략>

구분	내용
추진전략 및 중점 추진과제	1. [인재] 전국민 SW교육 및 고급·전문인재 양성을 위한 기반 마련
	2. [기술] 디지털 시대를 선도하는 미래 SW기술력 확보
	3. [개발 생태계] 개방·협력 기반의 오픈소스 혁신 생태계 구축
	4. [서비스형 SW] 서비스化를 통한 SW산업 경쟁력 강화
	5. [글로벌] 글로벌 시장을 지향하는 SW기업 육성
	6. [제도] SW의 가치보장 강화를 위한 제도 개선
	7. [문화] 누구나 SW를 체험하고 활용하는 SW문화 확산

○ 기업 수출 지원 정책 관련 내용

– **(글로벌)** 글로벌 시장을 지향하는 SW기업 육성

* (목표) SW 1천억 클럽(연매출 1천억 원 이상) 기업 수 : ('21) 145개 → ('27) 250개

<기업 수출지원 관련 계획>

• 글로벌 시장을 지향하는 SW기업 육성

– 유망 SW기업의 고성장, 해외진출 단계까지 체계적 지원체계구축

■ (SF 프로젝트) 글로벌 시장을 새롭게 개척할 도전적 SW기업을 발굴, 해외진출을 위한 단계별 스케일업(가칭SW Frontier)지원('24~)[제품 고도화(R&D)-후속성장 지원(비R&D) 연계]

■ (전단형 수출) 건설·에너지·국방 등 산업 대표기업과 SW·메타버스 중소기업이 전단을 구성, 해외 시장(예 : 네옴시티)에 함께 진출('24~)

• 해외진출 촉진을 위한 지원체계 마련

– 글로벌 진출 기회 확대를 위해 현지시장을 고려한 지원체계마련

■ SaaS의 글로벌 마켓플레이스 진입 → 마케팅 → 세일즈 종합지원('24~)

■ ICT 현지거점 활용 확대 및 현지 인력 양성을 위한 '한-아세안 디지털 스쿨' 추진('24~)

■ 글로벌 메타버스 플랫폼과 연계 국내 기업 서비스·콘텐츠 홍보, 비즈니스 매칭 지원('24~)

□ 제3차 제약바이오산업 육성·지원 종합계획(안) (2023~2027, 관계부처 합동)

○ **(추진 배경)** '바이오·디지털헬스 글로벌 중심국가 도약'국정과제 추진, 미래먹거리, 일자리 확보의 핵심분야로 내세우며 계획 수립 필요

○ **(목표)** 제약바이오 글로벌 중심국가 도약

○ **(전략)** R&D 강화, **수출지원**, 인력양성, 제도 인프라 개선을 주요 전략으로 내세워 중점과제 및 세부과제 제시

○ 기업 수출 지원 정책 관련 내용

– 민·관 협력 대규모 펀드 조성 및 사후 관리, 신약의 인허가·승인 등에 필요한 자금 지원을 통해 기업 글로벌 진출 도약, 제약바이오 전후방 인프라 연계를 통한 창업 활성화

– 글로벌 진출 진입장벽 완화, 다방면 지원을 통한 수출 기회 확대, 국내 기업 현지 사업화 추진 등 방향 설정

<수출지원 관련 과제>

전략	중점과제	세부과제
수출지원	1 제약바이오분야금융 지원 강화 및 창업 지원	1. 메가 펀드 조성을 통한 혁신신약 글로벌 진출 가속화 2. 정책금융 투자연계 강화 3. 벤처·창업기업 Scale-up을 위한 전주기 지원
	2 제약바이오산업의 핵심 수출산업화	1. 미국 행정명령 대응 및 R2R 협력 강화 2. 수출역량 제고를 위한 맞춤형 지원 강화 3. 전략국가별 시장진출 지원체계 강화

<세부과제>

세부과제	내용
메가 펀드 조성을 통한 혁신신약 글로벌 진출 가속화	● 제약바이오 메가펀드 조성으로 자금지원 확대 ● 정책펀드 운용 효과성 제고
정책금융 투자연계 강화	● 제약바이오기업 대상 정책자금 지원 강화 ● 바이오분야 민간투자 활성화
벤처·창업기업 Scale-up을 위한 전주기 지원	● 전주기 창업 지원을 위한 인프라 구축 및 운영 ● 벤처·창업기업의 기술사업화 지원 ● 벤처・창업기업 투자유치 및 생태계 활성화
미국 행정명령 대응 및 R2R 협력 강화	● 美 자국 생산 및 규제강화에 대비한 대응 강화 ● R2R 협력 강화
수출역량 제고를 위한 맞춤형 지원 강화	● 제약바이오 수출 종합지원센터 설치·운영 ● 수출역량 제고를 위한 전문가 컨설팅 강화
전략국가별 시장진출 지원체계 강화	● 제약바이오 수출 전략 로드맵 수립 ● 주요 국가 현지 지원체계 강화 ● 글로벌 판로개척 지원을 위한 교류 지원 ● 바이오헬스 글로벌 리더십 확보를 통한 산업진출 기반 강화

□ 제4차 뇌연구촉진 기본계획 (2023.6. 관계부처 합동*)

* 과기정통부, 교육부, 보건복지부, 산업통상자원부, 질병관리청

○ **(추진 배경)** 고령화 등 급격화 사회변화에 따라 다양한 뇌질환에 대한 해결책 요구 급증, 첨단 기술을 접목하는 새로운 R&D 및 산업적 기회를 창출하는 디지털 바이오의 부상

– 바이오 분야 글로벌 기술패권 경쟁이 심화되고 있으며, 미국, EU 등은 대형 뇌연구 프로젝트를 통해 정부 주도로 장기적·지속적 투자 중

○ **(목표)** 혁신과 융합으로 뇌 연구·뇌 산업 선도국가 진입

– 뇌과학 기술수준 세계 최고 대비 85%, 선도그룹으로 도약

– 자폐, 치매 등 주요 뇌질환 국산 치료제 2종 확보

– 기업가치 1조 원 규모 뇌산업 전문기업 10개 창출

○ **(전략)** R&D 지원 강화, 생애 전주기 지원, 융합 기반 뇌성장·도약 지원, 공유 및 협력 중심의 뇌연구 생태계 강화

○ 국제협력 및 기업 수출 지원 정책 관련 내용

– 주요 글로벌 대학 및 연구기관과의 인력 파견 양성 체계 구축을 통한 해외 현장 중심 인턴십 프로그램 추진

– 국제 협력 체계 구축 및 한국 주도형 뇌연구 교류 확대

• 신기술·연구방법 습득을 위한 미국(NIH), 독일(Max Planck), 일본(RIKEN CBS), 중국(ION) 등 선진 연구기관과 연구자 교류 등 공조체계 구축
• UK-Korea 뇌과학 심포지엄, CJK International meeting 등 뇌연구 국제 교류행사 지속 개최 및 지원책 마련
• 국제 뇌과학 이니셔티브(IBI, International Brain Initiative)에 참여하여 뇌연구 성과·데이터 공유, 핵심정보 및 혁신 기술 습득 ※ 글로벌 협력 기반 정서 특화 뇌지도 구축 사업 등

□ 제3차 항공산업발전 기본계획(21~30) (2021. 2. 관계부처 합동)

○ (추진 배경)

○ (목표) 항공산업의 고도화를 통한 신시장 개척 및 R&D 선진화로 미래 항공산업 도약기반 구축

○ (전략) 지원 인프라 강화, 시장 경쟁력 강화 및 부품산업 고도화, UAM/AAM 생태계 조성과 항공선진기술 개발

○ 국제협력 및 기업 수출 지원 정책 관련 내용

(1) 국제공동개발(RSP) 사업 및 스마트캐빈 사업 참여, 공정 스마트화 등을 통한 부품산업 경쟁력 확보

– 산업협력 강화를 위하여 국제공동개발, 합작생산 등 글로벌 OEM 기업과 절충교역을 연계한 산업협력 강화로 국내 항공산업 발전 도모

국제공동개발(RSP) 참여 체계구축으로 부품산업 고도화	● (RSP 특화금융) 대규모 장기 자본투자('15년 이상)가 필요한RSP특성을 반영한 국제공동개발 프로젝트 특화 금융체계 마련
	● (컨소시엄 구성) 국내 역량 결집을 통해 국제공동개발 참여 및대형물량 수주를 위한 사업 추진 체계 마련

(2) 국제인증 운영지원: 국제항공우주품질경영시스템(KSQ9100)운영및지원

– KSQ9100 인증 컨설팅/획득* 및 인증 확대/수출** 지원체계 구축

* 국내기업 KSQ9100 컨설팅 및 신규/전환(AS9100 → KSQ9100)인증, 심사원 양성 기관 설치·운영 지원

** 동남아 지역(말레이시아 등) KSQ9100 인증 수출 및 KSQ9110(정비)/9120(유통) 등 인증 scheme 추가

– 미래 기술 선제적 대응을 위한 핵심기술 로드맵 수립

수요연계형 핵심기술 선정 및 투자방향 제시	● (항공기술 5대 분야별 핵심기술 추진 전략) 차세대 민간항공기와 미래 비행체 등 향후 10년간항공산업 발전에 필요한 핵심기술 선정 및 투자전략 제시 – (기체구조) 주익, 중·후방 동체 등 대형 복합구조물·국제공동개발 추진 – (추진기관) 가스터빈엔진 핵심모듈 국제공동개발 참여 확대

□ 원전 중소·중견기업 수출 첫걸음 프로그램 (2023. 9. 산업부)

○ **(추진 배경)** 최근 신규원전 건설과 계속운전 확대로 전 세계적인 원전설비 수요가 증가하고 있는 반면, 주요국들은 과거 원전건설 중단 등 영향으로 설비제조 능력이 약화되어 우리기업의 글로벌 공급망 진입기회가 높아진 상황

○ **(목표)** 중소·중견 원전 설비 내수기업의 수출기업화

– 2027년까지 공기업 수주에 의존하지 않는 원전설비 수출기업 100개사* 육성 목표

* 100개사 = **독자수출 경험보유** 40개사(`22년 기준) + **`27년까지 신규 육성** 60개사

– 수출경험은 없으나, 수출 잠재력을 갖춘 유망기업을 선정하여 수출 전 단계를 집중적으로 지원

○ **(사업내용)** 원전수출 유망기업을 선정*하여, 수출활동 집중지원

* 선정기준 : 기술역량, 수출기반, 추진의지, 기대효과 등을 종합적으로 평가

① 선정 : **`23년 10개社** 내외 (`27년까지 누적 60개社 목표)

② 지원 : **5개 기관* 30개** 원전수출 지원사업을 **패키지로 제공**

* 원전수출산업협회, 한수원, KOTRA, 원자력협력재단, 무보 등 (향후 참여기관 확대 예정)

지원분야	금융(3), 마케팅(14), 인증·등록(6), 기타(7)
지원방식	(전용, 23개) 별도의 심사과정 없이 지원사업 활용 (연계, 7개) 신청시, 가점부여·한도상향·우대혜택 등 제공

○ **(지원규모*) 1社당 연간 약 4억원, 최대 5년간 20억원 예상** (금융지원 제외)

* 원전수출기반구축사업(KNA), 동반성장사업(한수원), 원전수출특례보증보험(무보) 등

□ 제4차 에너지 기술개발계획(19~28) (2019. 12. 관계부처 합동)

○ **(배경)** 국가 에너지기본계획 정책목표 달성을 위해 R&D 추진전략, 중점 투자기술 분야 및 제도 운영방안을 명확화하기 위한 계획수립 필요

○ **(비전)** 에너지전환과 新산업 선도를 위한 에너지기술 강국 도약

○ **(목표)** ①에너지전환 중점기술 투자강화(16대 중점기술 90%이상 집중지원)②미래 에너지 기술혁신 선도(기술수준 10%p↑)
③에너지산업 시장경쟁력 제고(경제적성과 57조원)

○ **(미래 지향적 에너지 R&D 저변 확대: 국제협력)** 선진기술 획득, 해외시장 진출 목표의 공동연구를 강화하고, 양자 협력과 다자 협의체 활동 활성화

- (선진기술 획득) 기술격차가 큰 분야를 중심으로 최고 기술력을 보유한 선도국과에너지 국제공동연구 확대

* (美) III-V족 태양전지, P2P 전력거래, (獨) 플러스에너지건물, (日) 액체수소 저장 등

** 플래그쉽 프로젝트 연계 추진(해외선진기술 도입 필요시 국제공동 연구와 연계)

- 국내 트렉레코드가 축적된 기술은 해외 실증, ODA 사업 등을 통해 현지 실증 프로젝트 참여기회 우선 제공

- (협력기반 조성) 선진국과의 旣체결 MoU* 후속 협력을 강화하고, 개도국(신남방·신북방 중심)과 공통이슈 중심의 양자협력 추진*

* MoU 체결국가(기관) : 미국(DOE), 영국(BEIS), 캐나다(NRCan), 싱가폴(MTI), 중국(MOST)

** 韓-中 미세먼지저감 청정화력기술개발 공동연구 추진('20) 등

- (해외시장진출) 공통이슈 중심의 양자협력을 강화*하고, IEA, 미션이노베이션** 등 다자협의체 활동을 통한 글로벌기술협력 교류 활성화

* 韓-中 미세먼지저감 청정화력기술개발 공동연구 추진('20) 등

** 청정에너지 R&D(정부+공기업) 투자를 '21년까지 두 배 확대 선언((韓) '21년 1.12조원)

붙임2 핵융합기술얼라이언스 회의 결과

회의일시	2023.11.24. 14:00
참석자	핵융합 실증로 W/G 참여 신청기업 약 20개사 김승혁 대표 김수지 책임(인터젠 컨설팅)

회의안건	핵융합 기술 얼라이언스 정기회의(2달 1회, 매주 목요일) – 핵융합 산업체 해외수출 활성화 및 국제협력

	내용	비고
회의내용	○ 국내 기업의 해외 진출/수출 관련 현황 및 애로사항 – (기업의 기술수준) 현재 참여기업은 연구개발단계(초기)로 트렉 레코드확보도 어려운 실정임, 수출 가능한 단계가 아님 – (데이터) 정부는 관련 기업이 보유하고 있는 기술과 그 기술에 대한 수준(기술력)에 대한 자료확보가 되어있지 않으며 해외동향 자료 및 관련 소식에 대한 지원이 부재함 – 나라별 코드 앤 스탠다드가 제각각이며 인허가기준도 다양함에 따라 이를 대응할수 있는 업체는 전무함 ○ 지원방안 – 기존 ITER사업에 대한 수출 전략(각국 DEMO Plant) 마련 및 기술적 측면 육성방안 마련 – 정부가 핵융합 육성/지원 아젠다(로드맵)을 제시하여 선제적으로 적극적인 투자 의지를 보여준다면 기업의 투자는 자연스럽게 이루어질것임(국가주도) **(명확한 목표제시)** – ITER사업에서는 더 이상 국내이경비 참여할 수 있는 영역이 없으며 남은 부분은 국내에서 해소하기 어려운 분야에 해당, 국가적 차원으로 지속적인 지원을 약속하는 계획 발표가 시급 **(다양한 정보제공)** – 국내외 관련 동향에 대한 정보력이 많이 떨어짐에 따라 국내 기업의 접근성 또한 함께 낮아짐 **(인허가 등 글로벌 진출 시 필요한 제반사항 지원)** – 해당 국가별 요구기준에 맞추기 위한 다양한 기준에 대한 국가적 차원의 가이드라인 등 지원마련이 시급(법적문제 등) ○ **기타** – 일반 기기에 대한 지원 필요(ex. 밸브: 일반기기로서 핵융합 유동체에 들어가는 밸브지만 위험하게 작용될 수도 있는 설비해당, 일부국가에서는 엄격한 기준으로 기존 기준을 뛰어넘는 조건요구 중) **※ 수출지원 전략품목을 지정하여 가능한 품목 제안 예정(8대 기술분야+a)**	

결정사항	– 개별 기업별로 인터뷰 제안(ITER 사무국장님) –8대 기술분야 워킹그룹PM (12명) 인터뷰(정현경 부장님) –대학(서울, 카이스트, 포스텍) 자문 가능(ITER 사무국장님)

향후계획	– 1월 25일 빛으로테크기업 주도 14시 회의 예정

붙임3 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-①

('23.10.30.(월), 인터젠컨설팅)

1. 회의개요

□ **(목적)** 핵융합 관련 기업의 해외 수출 성공사례 및 현황, 해외진출(수출)의 한계점 및 애로사항, 지원을 위한 방안 마련

□ **(일시)** 2023년 10월 30일 10:30~

□ **(장소)** 핵융합에너지연구원 본관동 회의실

□ **참석자**

○ **(한수원)** ITER 한국사업단 정기정 단장님

○ **(인터젠)** 인터젠컨설팅 김승혁 대표 외 2인

□ **주요 논의사항**

○ **(일반현황)**

– 국내 핵융합기업 해외진출(수출) 사례 및 성공요인

– 해외진출(수출) 지원 모델화 가능성

– 해외진출(수출)의 한계점 및 제약사항(애로사항)

– 해외진출(수출)지원을 위한 정책 제안

2. 회의내용

<추진배경>
- ITER 한국사업단은 국제기구로부터 요청받은 조달품목에 대한 조달 임무를 가짐
- ITER 국제기구 및 회원국(미국, 유럽등)은 자국보다는 한국에 엔지니어링 관련 제작 선호
- 가격적, 기술적, 규모적 우위(① 비용절감, ②품질확보, ③큰 규모(대기업 위주 중공업보유))
*ITER기구: JIA(공동이행협정) 평화적 목적 활용 선언

□ 해외진출(수출) 성공사례 및 현황

○ **(경제적 성과)** ITER 사업 참여 통해 ITER 기구 및 타 회원국으로부터 직접 수주

- ITER 기구 및 타 참여국의 조달품목 등에서 우리나라가 183건 총 7,300억원규모 수주 ('23.9월 말 기준), 국내사업에 총 7,474억 매출 효과 발생('04년~'22년)

* 예: ITER 기구는 EU의 진공용기 조달분을 한국(현대중공업)으로 이관 (1,250억원, '16년)

- 국내 기술력의 우수성을 기반으로 회원국 및 IO를 통한 수주 확대 진행 중
- 장치 조립 및 주요 부품 제작 등 분야에 한국 산업체의 역할이 증가 중이며, ITER 참여를 기반으로 신시장도 창출

기업	성과
한국전력기술	실험로 조립 감독관리 참여/(현대중공업) EU 조달품인 진공용기 2섹터 수주
다원시스	대형전원장치 기술을 활용 서울지하철 200량(1,143억원) 수주('15), 미얀마 철도차량 사업(430억원) 수출('18)
KAT	이탈리아 DTT(토카막형 핵융합실험장치) 초전도 선재(430억) 제작 사업 수주('19)

□ 해외진출의 한계점 및 제약사항

○ **(문제점)** 해외의 제작 등 니즈를 확인하고 작업이 가능한 기업을 연결시켜주는 지원 센터등이 부재하며 현재는 ITER 한국사업단의 개인 인적네트워크를 통해 지원 중

* 인적네트워크를 통해 기업의 수주지원(지속적인 정보제공 + 요구기술개발→ 맞춤형 수주)

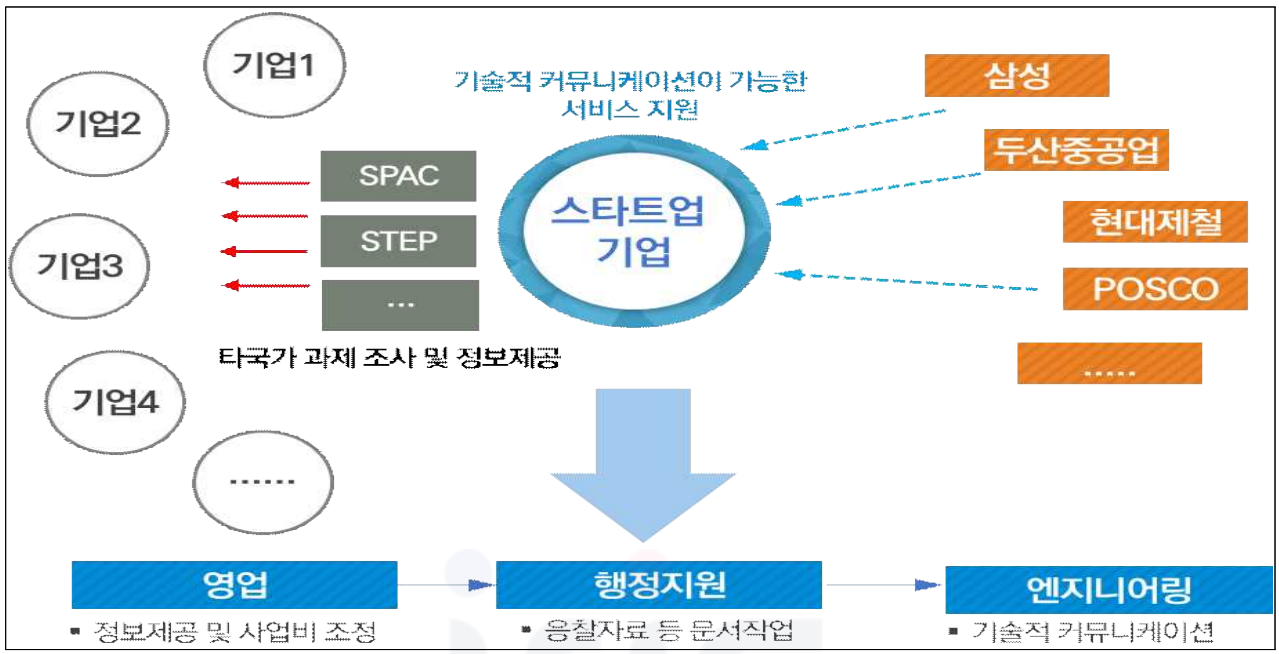
- 중소기업의 경우 기술적 지원 이외 커뮤니케이션 역량 및 행정적인 업무역량이 떨어짐에 따라 이러한 역할을 ITER에서 담당하고 있음

* 소통의 어려움, ITER기구 절차 등 국제적 기준에 따른 절차에 맞춘 행정서류 작업 불가

□ 해결방안(안)

○ **(기업지원)** 국내기업에 대한 지속 가능한 지원체계 마련을 위한 사업체 구성 필요

* 일본: 자국 스타트업기업 운영, 미국 한국에 수주가능성 높음



□ 기타사항(이슈)

○ **(국제표준)** ITER 건설을 위한 지원의 경우 요구되는 사양에 맞추어 개발 및 제작해야 함, 국제적으로 통용되는 글로벌 산업표준 기준은 부재한 상태임

* 중국: 현재 국내기업(KAT:153억)과 계약을 체결하여 공사 진행 예정에 있으며 요청하는 기술 특성 및 스펙에 따름

○ **(해외시장)**

구분	일본	중국	미국	유럽등
내용	R&D분야 투자예정 (미래 협약가능)	CFETR, BEST 과제	제조기반 작업 한국의뢰 가능성 높음	

○ **(전략품목)** 8대 핵심기술 분야는 기확보기술, 확보가 필요한 기술, 해외 이미 있는 기술로 구분되며 1), 2)기술을 대상으로 집중 지원 필요

붙임4 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-②

(2023. 10. 5. 인터젠컨설팅)

□ 개요

○ 일시: 2023. 10. 5. (목) 13:30~15:00

○ 장소: 인터젠컨설팅 대회의실

○ 대상: 한국 핵융합·가속기기술진흥협회 김인호 사무국장

○ 목적: 핵융합 산업 구조, 현황을 파악을 통한 향후 지원 방안 수립 토대 마련

· 인터뷰 내용

□ 산업구조

○ 일부 주요 기업이 높은 점유율을 차지하고 있으며, 나머지 소수의 5~60개의 써드벤더로 이루어진 구조

○ 대부분의 기업들이 중소기업이다보니 개발은 연구소에서 진행하고 블루프린트를 주면 제작·설계를 통해 KSTAR나 ITER에 납품

– 국내에서 설계 기술을 보유하고 있지 않는 구조

□ 현황

○ 설계도 등 DB화가 이루어져 있지 않은 상황

○ ITER의 경우 납품을 하는 경우 IO(ITER 국제기구)에 설계도를 필수적으로 넣어야 하지만, 외국 기업들이 공개를 하려하지 않음

– 핵융합의 상용화도 최소 3~40년 더 걸릴 수 있으니 기업들이 영업 비밀처럼 특허 등록도 잘 하지 않음

○ 설계도나 IP를 받아야 우리기술로 개발이 가능한 데 현실적으로 어려운 상황이며, 국가적 지원 정책 또한 부재

□ **해외 수출 지원 방안 마련의 경우 Bottom-up 방식으로는 한계가 있어, Top-down 방식으로 이루어져야 함**

○ 핵융합 산업 분야는 소규모 업체들이 대다수를 차지하고 있으며, 제일 큰 규모의 업체로 볼 수 있는 '비츠로테크'도 7~80명 인력 수준

- 정부에서 제품군을 면밀히 분석 후 타겟을 설정하거나, 특정 품목을 전문가 논의 과정 거쳐 시장 개척이 적합하다는 소견

* 핵융합연에 150여 명의 박사 인력이 있지만 기술이 어떠한 산업체 응용될 수 있는가 등 시장 관련 정보가 부족하여 시장 진출에 있어 미스매치가 큰 상황

- 기업들 의견을 수렴하더라도 명확한 해결책이 부재한 상황이라 open question으로 해결책을 찾기에는 어려운 측면이 있다는 의견

□ **핵융합 산업과 같이 거대과학 분야는 최소 30~50년의 기간이 소요되는 분야이나, 정부마다 관심도, 예산 등이 상이해 기술 투자, 발전이 원활하게 이루어지지 않는 측면 존재**

○ 대형연구시설은 경직성 경비의 소모가 큰데, 예산을 감축하면 실험비용(인건비) 등을 줄이는 것

□ **(기업의 수익성 측면) 원가 등 비용이 명확하게 공개는 안되고 있지만 대부분 적자 상태**

○ 예산 물가상승 미반영 또는 연구 진행 과정에서 설계변경으로 인한 비용 발생* 등

* IO에서 설계 변경으로 인한 기간 연장은 허용되나 비용 지원은 어렵다는 식으로 말하기도 함

○ 이러한 특성으로 대기업 들도 진입을 꺼려하며, 현대중공업도 정부 설득으로 진행하는 상황

- 그러함에도 가능하면 1차 벤더는 대기업에서 맡는 것이 적합하다는 의견

□ **(국제협력 측면) 핵융합 산업 분야는 타 산업에 비해 국제협력의 기회가 많은 편임**

○ 외국에서 KSTAR 자체는 인정하지만 아직 국내 산업체의 기술력에 대해서는 미국, 유럽 등에서 인식이 낮은 편

○ 미국 스타트업 기업에 국내 기업 기술력을 소개하고 홍보하는 방안이 효과적이다는 의견

– 그러나, EU나 미국조차도 업체 선정시 자국 제조업체를 우선 선정해야하는 법이 존재

○ 미국 스타트업 기업 등에 국내 업체가 어떠한 방식으로 진입할 수 있을까는 깊게 고려하는 것이 연구 과제에 중요하다는 의견

○ 영국은 정부가 주도하고 미국은 private sector가 주도적인데, 국내는 아직 민간분야 기술력이 약하다보니 영국 방향을 따라가는 게 적합

* 영국은 EU 탈퇴 후 핵융합에너지에 독자적으로 활발히 투자중

– 아직 기업의 독자적 진행에는 현실적으로 어려운 측면이 존재

□ **향후 기업체 설문조사는 불특정 다수 기업보다 관심도가 있는 일부 기업에 집중하여 진행**

○ 11/23 핵융합 3차 얼라이언스 회의 참석

붙임5 핵융합 산업체 해외 수출 및 국제협력 지원방안 인터뷰결과-③

□ 인터뷰 개요

○ (목적) 핵융합 산업체의 원활한 수출활동을 위한 해외진출 및 국제협력 정부지원방안 마련

- 산업체관련 기업 관계자 의견을 경청하고자 심층 인터뷰 실시

○ (참석대상)

일시	기업명	참석대상	직위
24.03.06(수) 16:00~17:00	유진엠에스	김유진	이사
24.03.07(목) 13:00~14:00	케이.에이.티	김용일	팀장
24.03.06(수) 16:00~17:00	다원시스	박성태	부장
24.03.15(금) 10:00~11:00	이엠코리아	김민수	부장

□ 논의내용

○ 핵융합분야 수출입현황, 수출계획 및 애로사항 기술 개발수요 등

순번	구분	세부사항
1	기업개요	· 기업일반현황(업력, 기업유형, 연구소 보유여부) · 매출액 및 종사자수(기업 총매출액 대비 핵융합 분야 구분)
2	향후 수출 계획 및 애로사항	· 핵융합관련 수출 경험여부 · 수출 경험 시 성공요인 · 수출 실패 시 실패요인 · 수출 활동 시 경험했거나 예상되는 애로사항 · 향후 수출활동 계획이 있다면 기술분야, 선호 국가 예상 시기
3	기술/제품	· 핵융합 분야 보유 기술 여부(보유 시 기술선도 수준) · 기술개발 수요(기술개발이 필요한 분야, 기술명, 대상국, 소요기간 및 예산) · 업계 수출관련 강/약점
4	정부지원활동	· 핵융합 분야 수출 활동을 위해 필요한 지원사항

1 유진엠에스 김유진 이사

□ 기업 일반현황

○ 산업용 로봇분야로서 기업 내 핵융합 분야는 약 10%정도 차지하여 겸업기업으로 확인되며 이후 확대 예정 * 업력: 22년(2002.2)

- 핵융합 관련 연구만을 전담하는 별도 연구부서 보유하고 있음(엔지니어링 인력: 약 35명)

□ 핵융합 분야 관련 수출현황

○ 수익성 측면에서 국내 사업보다는 해외사업이 유리하며 기술력 및 가격경쟁력에 따라 수출 확대 예정

- (ITER 사업 조달 품목) 조립 장비 중 48개 납품 완료, 85개 준비

- (ITER 직접 발주) 최근 3년 동안 총 6건 약 100억 수주

  * 이태리: ITER 미참여국을 통한 수출조달방식(ex. 크로아티아 회사설립)

- (KFE) 약 60억 수준 협력사로서 참여

◆ **성공 요인**

- 뛰어난 기술력 보유 및 ITER 사업 참여 경험

* 관련 사업의 경우 국제표준규격, IO 스텐다드 준용 필요하며 이에 대한 대응 가능

□ 기술 보유 현황

○ 지능형 로봇 엔지니어링관련 기계설계, 2D, 3D 기술 설계, 센서를 이용한 센서 개발, 시뮬레이션, 모니터링 제어시스템 개발, S/W 프로그램

* 설비 제작, 설계 작업 이력 보유

- (강점) 주요 부품의 조립을 통한 최대성능구현, 조립 시 발생 될 수 있는 절차, Risk 검증 및 식별하여 해결책 도출 가능

* 조립 과정 시뮬레이션 핸들링 장비 보유

- (약점) 인터페이스 문제 발생 시 대응의 어려움에 따라 인테그레이션 엔지니어링(Integration engineer) 필요

□ 애로사항

○ 수주 전후 해외국가와의 소통문제가 있으며 단순 언어문제해결이 아닌 엔지니어의 지식을 가진 사람을 통한 커뮤니케이션이 가능해야 함

○ 유럽 국가와의 프로젝트 진행 경우 작업환경이 상이함에 따라 엔지니어링 방식을 맞추어나가는 프로세스가 쉽지 않음

- 논리적인 사고방식을 접목하여 합리적인 설계 검증을 통하여 결과물을 도출해야 함

○ 거대공공연구분야관련한 연구개발에 정부의 투자 확대를 통한 산업 생태계 활성화 및 안정화 기여 필요

□ 향후 수출 활동 계획

○ 그간 사업 경험에 따라 유럽 국가가 적합, 미국과는 방식이 상이하여 미고려, 영국과의 사업을 기대하고 있으나 인원의 제약이 있어 진행 여부 내부적으로 검토 중

② 케이.에이.티 김용일 팀장

□ 기업 일반현황

○ 초전도 자석관련 핵융합 전업기업에 해당되며 보유인력 중 80% 이상 연구인력으로 구성 * 업력: 20년(2004.3)

* 핵융합 및 입자가속기(초전도 자석/선도), 입자기속기 초전도 가속모듈

- 핵융합 관련 연구만을 전담하는 별도 연구부서 보유하고 있음(엔지니어링 인력: 약 36명)

□ 핵융합 분야 관련 수출현황

○ ITER 한국사업단 및 기업 자체 해외 네트워킹을 통하여 사업을 수주해옴

- (ITER 직접 발주) 약 1,250억원

* 타회원국(일본) 발주건 포함

◆ 성공 요인
- 고려제강의 자회사로서 핵융합 수출을 위한 기업의 적극적인 투자 지원 가능
- 기업의 적극적인 투자로 뛰어난 기술력 보유를 통한 발주처의 납기일 준수

□ 기술 보유 현황

○ 핵융합 주장치로서 뛰어난 초전도선도기술보유하고 있으며 자체 연구개발도 활발히 진행중에 있음

- (강점) 초전도 선재관련한 물량공급이 대량으로 가능하며 미국 다음으로 2~3위순위를 예상

* 미국: 브루커그룹, 루바타

- (약점) 초전도 선재관련 원재료를 수입해오는 상황에 따라 프로젝트 입찰 참여 이후 납기일까지 일정에 원재료 확보 시점 및 여부가 큰 영향을 미침

□ 애로사항

○ 초전도 선재 특성상 원재료* 확보가 어려우며 수급가능 기업(특정국 전량수입)이 전세계적으로 많지 않음

* 나이오비움, 무산소동(OFC)

- 현재 초전도 선재 원재료관련 생태계가 구축되지 않은 상황이나 상용화 성공 이후 초전도 선재 원재료관련 수요시장확대가 예상

○ 정부의 국내기업의 적극적인 연구개발 투자확대를 통하여 성능 및 품질 향상에 대한 프로젝트를 통한 핵융합 생태계 유지 필요

□ 기술개발 수요

○ 고온도/고성능 초전도 선재 기술개발 필요(2~4년 소요)

* 초전도 선재 원가: 톤당 약 10억

□ 기타

- CERN(유럽 물리 연구소)와의 공동연구를 통하여 차세대 입자가속기 FCC 건설참여('23)

3 다원시스 박성태 부장

□ 기업 일반현황

○ 전원공급 및 제어시스템관련 핵융합 겸업기업으로 핵융합 관련 사업 비중 50% 미만에 해당 * 업력: 28년(1996.1)

- 핵융합 관련 연구만을 전담하는 별도 연구부서 보유하고 있음(엔지니어링 인력: 약 19명)

□ 핵융합 분야 관련 수출현황

○ 다원시스는 ITER 기구 요청에 따른 직접 수출(조달품목 이외) 경험('23)을 보유하고 있으며 핵융합 관련 기술을 확보하고 있는 것으로 나타남

- 뛰어난 기술력 보유, 해외 네트워킹을 통한 관련 정보 확보, 기업의 핵융합 분야에 대한 적극적인 투자 등으로 인하여 해외 수출이 가능한 것으로 판단

<다원시스 수출경험 관련>

사업명	총사업비	발주처	참여유형	수출국가	산업분류	품목
ITER 전원장치 버스바 서포트 제작 설치	143 백만원	ITER(IO)	원청사	프랑스	기반장치 /제작	초전도 자석

- 2003년부터 K-STAR 및 ITER 프로젝트를 참여한 경험 보유, 2011년 ITER 프로젝트* 직접계약 체결 * 컨버터
- ITER 플라즈마 프로젝트가 지연됨에 따라 설치이후 가동 가능여부에 대한 테스트 필요 이에 2023년 서비스 용역계약 형태로 CPSS(유지보수) 용역 수주하여 참여 중

  * 3년, 약 23억원, 6:1경쟁률

- 미국 스파크 프로젝트 참여 실패이유는 가격경쟁력 측면뿐아니라 네트워킹이 원활하지 않았기 때문 * 미국-이탈리아간 협력

○ 수출 참여 희망 분야(주요 사업, 대상, 기술 분야 등)는 민간 핵융합 분야로서 고전압, 대전류 전원장치 제작 기술 및 제어기술 등 해당

◆ 성공 요인

- 뛰어난 기술력 보유, 해외 네트워킹을 통한 관련 정보 확보, 핵융합 수출을 위한 기업의 적극적인 투자 지원

□ 기술 보유 현황

○ 다원시스는 전원공급장치 품목관련 기술을 보유하고 있으며 주요 경쟁업체 대비 현재 기술 수준은 90% 이상을 상회하고 있음

<해외 주요경쟁기업 비교>

기업의 강점(기술)분야			주요 경쟁기업			주요 경쟁업체 대비 현재 기술수준
세부품목	기술분야	기술명	기업명/국가	세부품목	기술분야/기술명	
전원공급장치	가열/전류구동	고전압 전원 설계, 제작	스위스, 일본	전원공급장치	가열/전류구동	95%
전원공급장치	초전도자석	대전류 전원 설계, 제작	중국	전원공급장치	초전도자석	110%

- (강점) KSTAR & ITER를 통한 고전압, 대전류, 제어시스템의 실적 보유, (유럽기업 보다 빠른 대응, 빠른 납기 가능)

- (약점) 고전압관련 R&D(절연기술)필요, 현재 K-STAR 사양은 낮기에 글로벌 사양에 맞추어 고전압관련 기술개발 필요

* K-STAR 10만볼트, 도시바 50만 볼트

○ 벤치마킹 가능한 해외기업은 스위스/AMPEGON, 일본/도시바, 히타치, 미쓰비씨 해당

- 브랜드 이미지 및 지사, 대리점 등을 통한 영업력 확보 되어 있음

○ 기업 보유 기술은 미국, 유럽 등 민간 핵융합으로의 적용 가능

1) Commonwealth Fusion Systems (미국)
2) TAE Technologies (미국)
3) General Fusion (미국)
4) Helion Energy (미국)

* 당사의 KSTAR, ITER 실적과 유사 방식(고전압 & 대전류), 확보된 예산, 지역, 구축 일정 등 감안

□ 애로사항

○ 고객사 등의 한정된 정보제공으로 인한 진입 장벽 형성

- 해당 국가 관련 법규 등에 따른 제약 조건 등(안전법, CE, UL인증 필수 조건 등->시간 & 비용 과다 발생)

○ 조달 시장에 대한 정보력이 부족하며 현지 영업력에 대한 지원 필요(소싱정보 부족)

* ITER 한국사업단 및 소싱그룹해당 소싱사이트 모니터링 중

○ 기업홍보활동을 통하여 기업의 기술력 및 인지도 확대 필요

* KOTRA: G-PASS 사업 참여: 수출우량기업 전시회등 지원

□ 기술개발 수요

기술명 / 과제명	고전압, 대전류 스위치 개발
대상국 (기업)	일본 (Toshiba)
소요기간 및 예산	2년 / 20억원

□ 기타

- 핵융합 민간 스타트업관련 시장도 염두하고 있으며 가속기분야에서도 활발히 활동 중

* 전력전원장치분야 특성상 가속기분야 활용도 높음

④ 이엠코리아 김민수 부장

□ 기업 일반현황

○ 블랑켓관련 핵융합 겸업기업으로 핵융합 관련 사업 비중 매출액 기준 5% 미만에 해당 * 업력: 30년(1994)

□ 핵융합 분야 관련 수출현황

○ ITER 직접 발주건에 대하여 준비중에 있으며 현재 9개국 경쟁입찰 진행 중

- 과거 ITER 직접 발주건 제안하였으나 실패하였으며 (EU) 원인은 유사실적 부재함에 따른 것으로 예상

○ KFR 발주건으로 프로젝트 진행중에 있으며 '24년 11월에 납기예정

□ 기술 보유 현황

- (강점) 가공분야 30년이상 노하우가 축적되어 높은 기술력을 보유하고 있는 기업으로 기업자체적인 관심 및 투자 확대되고 있음
- 어려운 가공 부분 및 재질에 대하여 맞춤형 형성가공 노하우 보유, 핵융합 가공관련 기술 자체 개발 중
- 3D, 해석, 제작, 핸들링 등 다양한 분야의 요구를 맞출 수 있는 기술력 보유
- (약점) 핵융합 분야 특성 고려, 필요로하는 원자재가 다양하며 특수함, 이에 원자재 확보를 위한 데이터 및 네트워크에 대한 정보력 부족

* 대부분 수입(99%), 국내 조달 거의 없음(1~2% 수준)

□ 애로사항

○ 영국 및 미국등 관련 프로젝트 진행중인 것으로 알고 있으나 수주관련 정보 미흡하여 접근하기가 어려움(정보수집)

○ ITER 발주건의 경우 소통의 문제가 발생할 경우 어려움이 예상

됨, 엔지니어 지식을 보유한 소통가능한 전문인력 확보 및 지원이 필요

○ 해외국을 대상으로 국내 기업 및 보유기술에 대한 소개 및 홍보가 미흡하기에 정보교류 어려움

첨부 수정 · 보완의견 반영내역 대비표

수정 및 보완의견	수정 및 보완의견 반영내용	해당 페이지	비고
현재 국내 핵융합 산업체는 KSTAR와 ITER 건설에 따라 만들어진 업체들로 그 수나 분야가 상당히 제한적임. 따라서, 기존 업체뿐만 아니라 다양한 핵융합 기술 전문성을 가진 여러 연구원들이 그 전문성을 살려 관련 기업을 창업할 수 있도록 지원할 수 있는 방안이 담겨 있으면 좋겠음	국내 산업체 수출 한계점 및 활성화 이슈의 '지원체계 측면'에서 '잠재적 시장 진입자에 대한 지원체계 마련' 내용을 추가하여 보완하였음.	p107, p108	
세계적으로 핵융합 분야 투자 금액은 '21년까지 증가하다 이후 줄어들고 있는데 계속 확대하고 있는 것처럼 인식될 수 있어 관련 내용을 보완하기 바람	<표2> 주요국 핵융합 R&D 예산 관련 '23년도 핵융합 기술개발 투자 감소 언론 보도 내용을 추가하여 보완하였음	p5	
요약문에 연구 내용만 기술되어 있어 본 과제의 핵심적인 결과 및 결론을 추가하기 바람	연구요약문에 연구 주요 지원방안 도출 결과 내용을 추가하였음	연구 요약문	
1.1.2절에서 주요국 기술규제의 분석을 시도한 점이 우수함. 추후 핵융합 산업체가 구체화된 이후 각 법이 수출/수입 등에 미칠 영향을 다각도로 분석할 필요가 있음 '해외 산업체 수출 관련 법·제도·규정 등 제약 요건 분석' 관련 보강 제시 바람	기술 규제 및 법 규정 분야의 경우 관련 외부 전문가 자문을 통해 내용을 작성하여 추가 분석 및 보강의 한계점 존재	–	
2.1 절에서 주로 ITER 부품 조달로 인한 핵융합 산업생태계의 현황을 잘 보여주었으나, 이에 대한 한계점을 다각도로 분석할 필요가 있음	'<표 24> CASE별 향후 전망 및 이슈'를 추가하여 매출구조 유형별 향후 전망과 보완점에 대한 내용을 추가하였음	*p63*	
2.2절에서 8대기술 확보 기술에 대한 표가 잘 정리되어 있으며, 이 기술들을 보유한 기업, 혹은 수주한 기업 등도 함께 정리 보완 필요	핵융합기술관련 국내 기업 매출액 및 연구개발활동 현황 조사 추가	*p69-70*	
표 38, 39의 한국의 기술수준 현황의 정량적 수준 지표는 22년 전문가 설문조사에서 비롯된 것으로 보임. 신뢰도를 위해 이 설문조사의 조사샘플수 및	표 하단에 전문가 설문을 통해 도출된 수치임을 명시하여 보완하였음.	p85	

수정 및 보완의견	수정 및 보완의견 반영내용	해당 페이지	비고
표준편차 등을 통계적으로 표시할 필요가 있음. 실제 평가보다는 주관적인 표본에서 나온 수치라는 것을 표시할 필요가 있음			
표44의 ITER 조달 사업의 타분야 진출 사례를 정리한 점은 매우 유용하며 잘 정리되어 있음. 계약의 경우 정량적인 계약액이나 타 분야 시장 진출한 경우 예상되는 시장의 크기를 정량적으로 표안에 함께 제시하면 더 유용할 것임	참고한 원문 보고서인 '국제핵융합실험로 공동개발사업 종합적 성과분석 보고서' 상의 구체적 계약액 등 정량적 수치 확인의 한계가 존재	–	
일부 숫자에 단위(달러, 원)가 생략되어 있어 혼선 우려 있으므로 수정 바람	금액 단위 추가 및 달러, 파운드 단위에 한화 금액 추가	p10, p14 p60, p92 p95	
영어 표기 시, 기준을 정하여 작성할 필요가 있음	약자 용어의 경우 추가 원 용어 표기	p33, p37, p38, p44	
국내 스타트업 관련 내용 보강 제시 바람. (예, 활성화, 경쟁력 제고, 지원 등)	이슈 진단을 통한 지원방안 마련 부분에 '우수한 기술력을 가진 유망 스타트업 기업에 대한 홍보 및 지원체계 마련 필요' 내용을 추가하였음	p112	
중간보고회의 주요 내용이 충실히 반영되었는지 검토 바람	중국 및 일본 동향, 해외 핵융합 관련 스타트업 정보, 국내 ITER 조달기업, ITER 인력 파견 현황, 지원방안 관련 추가 제안 의견 등의 내용 반영	p18~19, p52 p74-82, p87-91 p92, p94, p123-125	
본 보고서의 경우, 다양한 분야에서의 활용 가능성 있으므로 독자 친화성이 요구됨 (예시) 전문용어 및 약자 등에 대한 정리 등이 필요함	영어 약자 풀이 및 설명 추가 보완	p18, p33, p37, p38, p44, p104	