



주요 동향(1) : 과학기술

1 미국, 핵융합 과학기술(FS&T) 로드맵 최종 버전 발표

⇒ 미국 에너지부는 '30년대 핵융합 에너지 상용화를 목표로 향후 추진해 갈 주요 조치와 기술적 과제들을 정리한 핵융합 과학기술(FS&T) 로드맵*을 발표(26.6)

* Fusion Science and Technology Roadmap

※ 로드맵 초안은 '25년 10월 최초로 공개되었으며, 이번에 발표된 로드맵은 최종 버전

- (개요) '30년대 핵융합 파일럿 플랜트(FPP*) 실현을 목표로 에너지부가 추진해 갈 주요 조치를 3대 전략적 축으로 나누어 제시하고, 미국 핵융합 과학 발전을 위해 극복해야 하는 6가지 기술적 도전 과제를 정리

* Fusion Pilot Plant: 시범적 형태의 상업용 핵융합 발전소

- 핵융합 기술 및 실증 프로젝트에 이미 100억 달러 이상의 민간 투자가 이뤄졌으며, 에너지부는 상용화에 필요한 기술적 격차를 해소하는 국가적 노력을 주도 중
- 그 일환으로 에너지부는 급성장 중인 미국 민간 핵융합 산업과 전략적 협력을 통해 가장 빠르고 신뢰할 수 있는 상업용 핵융합 발전을 구현하기 위해 로드맵을 마련
- 이전의 로드맵 수립 노력을 기반으로*, 핵융합 과학기술, 인프라, 인력 개발, 상용화를 위한 우선순위 과제들을 하나의 국가 전략으로 통합

* 에너지부 산하 자문 기구인 핵융합 에너지 과학 자문위원회(Fusion Energy Sciences Advisory Committee)가 '20년에 발표한 핵융합 에너지 연구개발 로드맵인 장기 전략 계획(Long-Range Plan)을 기반으로 작성

- 800명 이상의 공공·민간 부문 과학자 및 엔지니어, 15개 이상의 민간 기업, 10개 이상의 국립 연구소, 그리고 70개 이상의 대학들이 로드맵 수립에 참여
- 로드맵은 에너지부의 제네시스 미션(Genesis Mission)*과 연계돼 추진되며 에너지부 산하에 신설된 핵융합국(Office of Fusion)이 실행을 주도할 예정

* AI를 활용해 기초과학 연구 속도를 극적으로 단축하고 원자력 에너지, 국가 안보, 생명공학 등 국가 핵심 과제를 해결하기 위해 '25년 11월에 출범한 미국의 국가적 AI 프로젝트

※ 핵융합국은 로드맵 초안이 공개된 '25년 10월에 설립

- 다만 로드맵에 제시된 주요 조치와 목표를 일정대로 달성하기 위해서는 향후 민관 협력 및 의회의 적극적인 예산 지원이 필요할 전망

● (3대 전략적 축) ‘구축(Build)-혁신(Innovate)-성장(Grow)’이라는 3대 전략적 축 하에서 10개의 핵심 조치(액션)를 제시

※ 에너지부는 각 조치별로 단기·중기·장기적인 지원 계획과 성과 지표를 설정

- (구축) 핵융합 분야에서 기술 격차를 해소하기 위해 핵심 인프라를 구축하고 최첨단 상용 핵융합 소재 등을 위한 실증 기반을 제공하는 데에 초점
- (혁신) 핵융합 분야 혁신 및 연구 경쟁력과 비용 경쟁력 제고를 도모
- (성장) 민간 파트너십, 공급망, 인력, 규제 등 미국 내 핵융합 생태계 전반의 성장을 촉진하기 위한 조치들로 구성

〈 FS&T 로드맵의 3대 전략적 축과 10개 핵심 조치 〉

구분	주요 내용
핵융합 소재 및 기술 격차 해소를 위한 핵심 인프라 구축	1. 핵융합 과학기술 인프라 조성 가속화 - 핵융합 소재·연료·플라즈마·중성자 환경 등 인프라 구축 업그레이드 2. ‘AI-핵융합 디지털 융합 플랫폼’ 구축 - 고성능 컴퓨팅(HPC), AI/머신러닝, 디지털 트윈(Digital Twin) 기술을 통합해 핵융합 연료 순환*을 완성시킬 수 있는 재료 탐색을 가속화하고 플라즈마를 자율적으로 제어 * Fusion Fuel Cycle: 핵융합 발전이 지속될 수 있도록 연료(중수소와 삼중수소)를 공급·회수·정제·재주입하는 선순환 시스템
첨단 연구, 고성능 컴퓨팅, AI를 통한 혁신 추진	3. 혁신적이고 변혁적인 연구 추진 - 기존 자기장 가둠(토카막, 스텔러레이터 등) 방식이나 관성 가둠 기술 외에 새로운 구속* 개념·소재·공정 등 탐색 * 태양이 에너지를 내는 원리를 구현하기 위해 초고온 플라즈마를 용기 안에 안정적으로 가두는 기술을 의미 4. 최대한 빠른 일정과 최소의 비용으로 핵융합 파일럿 플랜트(FPP) 구현 - 다양한 설계·기술 경로를 평가하고 여러 옵션을 모색
민간 협력, 공급망 개발, 인력 양성 및 상용화 경로를 통해 미국의 핵융합 산업 성장 지원	5. 민간 파트너십 프로그램(PPP) 지원 - 성과 지표(마일스톤) 기반의 PPP를 확대하고, 과학적·기술적 리스크 완화 방법을 모색 6. 핵융합 공급망 기반 조성 - 고온 구조재, 블랭킷(플라즈마를 감싸고 있는 벽면 구조물), 초전도 자석, 고출력 레이저·전원 등 핵융합 공급망·제조 기반을 선제적으로 육성 7. 핵융합 분야 진로 개발을 통한 인재 육성 - 각종 교육훈련, 인턴십, 박사 후 과정 등 핵융합 전문가를 위한 진로를 체계적으로 설계 8. 첨단 원자력 연구개발·배치 활용 - 공통 관심 분야에서 첨단 원자력과 핵융합 연구개발의 전략적 협력을 추진하고, 기존 원자력 연구개발·배치 경험을 핵융합 분야에 적용 9. 핵융합 에너지 도입을 위한 실질적인 경로(practical path) 지원 - 핵융합 에너지를 실제 도입·보급하기 위해 계통·계측 분야를 혁신하고, 연구·제도적 기반을 강화 10. 상용화를 위한 경로 제시 - 핵융합 에너지 상용화 수준 모니터링 및 지원 계획 수립

- (6가지 도전 영역) FPP를 실현하기 위해 반드시 해결해야 할 핵심적인 과학기술 격차 및 과제를 정리
 - 핵융합 과학 발전의 3가지 동인(driver)인 ▲연소 플라즈마의 안정적인 구속·제어를 위한 과학기술 기반 ▲핵융합 장치의 극한 환경을 견디는 재료·구조·시스템 개발 ▲핵융합 반응을 실제 전력·열로 전환하는 체계 구축에 초점
 - 3가지 동인과 관련해 극복 또는 달성해야 하는 핵심적인 엔지니어링·연구개발 과제를 6가지 도전 영역으로 구분해 설명

〈 FS&T 발전을 위한 6가지 도전 영역 〉

구분	주요 내용
구조 재료 과학기술	• 핵융합 발전소 내 극한의 환경 스트레스를 견딜 수 있는 재료, 구조물, 시스템 등의 설계·개발·적격성 평가와 관련
플라즈마 대면 부품(PFC) 및 플라즈마-재료 반응(PMI)	• 플라즈마 대면 부품(Plasma Facing Components) 및 플라즈마-재료 반응(Plasma-Material Interaction) 등 플라즈마에 노출되는 부품 및 재료 연구
구속(가둠) 기술	• 고성능 연소 플라즈마의 생성·유지·제어 기술 개발 • 난류·안정성 문제 해소, 핵융합 가둠 체제 확립 등과 관련
연료 주기 및 삼중수소 처리	• 삼중수소 폐쇄 루프(closed-loop)에서 핵융합 연료를 생산·취급·재활용 하는 데 필요한 기술과 공정 개발 • 배기·분리 시스템, 저장 및 재고 관리, 삼중수소 제거 시스템 등과 관련
블랭킷 과학기술	• 블랭킷 개념 개발(고체, 액체, 용융염 등), 재료 호환성 연구, 열수력학 및 삼중수소 운반 모델링 및 통합 테스트 등
핵융합 발전소 엔지니어링·시스템 통합	• 핵융합 엔진을 넘어 전체 발전소 시스템 설계·통합 • 전력 변환 및 발전소 통합 제어 시스템, 원격 유지보수 로봇, 완전 통합된 발전소 모델링을 위한 코드·모델·도구·플랫폼 등과 관련

출처 : 미국 에너지부 (2026.6.9.)

<https://www.energy.gov/documents/fusion-science-and-technology-roadmap>