

# 고에너지 입자 활용 초고온 플라즈마 안정화 및 핵융합 성능 향상 기술

서울대학교 원자핵공학과 나용수 교수 연구팀

## 기술개요

본 기술은 고에너지 입자를 적극적으로 활용하여 핵융합 플라즈마의 안정성을 획기적으로 향상시키고, 1억도 이상의 초고온 상태를 장시간 안정적으로 유지할 수 있도록 하는 핵심 기술입니다.

특히, FIRE(Fast Ion Regulated Enhancement) 모드라는 새로운 핵융합 운전 방식을 통해 고에너지 입자가 플라즈마 내 난류를 억제하고 안정화시키는 메커니즘을 규명하였으며, 이를 통해 핵융합 성능을 크게 향상시킬 수 있는 새로운 가능성을 제시합니다.

본 기술은 KSTAR와 같은 토카막 장치에서 1억도 이상의 초고온 플라즈마를 40초 이상 안정적으로 유지하는 데 세계 최초로 성공하였으며, 향후 핵융합 실증로 및 상용로에서의 장시간 운전을 가능하게 하는 핵심 기반 기술로 평가되고 있습니다.

## 기술의 핵심 구성

기술 영역	주요 내용	대표 논문
고에너지 입자 활용	고에너지 입자가 플라즈마 난류를 안정화하고, 초고온 플라즈마 형성을 지원	Nature Reviews Physics (2025)
FIRE 모드 개발	고에너지 입자를 활용한 장시간 초고온 핵융합 운전 방식을 세계 최초로 개발하여 안정성 향상	Nature (2022)
자발 전류 발견	새로운 형태의 플라즈마 전류가 발생, 장시간 운전 가능성을 제시	Nature Communications (2022)
플라즈마 발생 기작	고에너지 전자의 발생 기작을 규명하여 안전한 플라즈마 형성 조건 도출	Physical Review Letters (2024)

## 기술적 차별성 및 효과

- FIRE 모드는 기존 운전 방식과 달리, **플라즈마의 경계면 불안정성을 안정화시켜 핵융합 장치 내벽에 미치는 손상을 최소화하고, 장시간 안정적인 플라즈마 운전을 가능하게 함.**
- **고에너지 입자가 플라즈마 난류를 안정화**하여 에너지 손실을 감소시키고 핵융합 반응 효율을 향상시킴.
- **자발 전류**가 새로운 형태로 플라즈마 내부에 발생, 핵융합 실험로에서의 **장시간 안정적인 운전**이 가능해짐.
- **고에너지 전자 발생** 기작을 규명하여 **안전성**을 확보하고, **폭주 전자** 발생의 위험을 최소화하는 근본적 해결책을 제시.

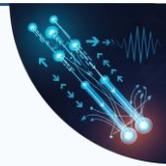
## 적용 가능 분야

ITER 및 K-DEMO와 같은 핵융합 실험로 및 상용화 발전소



초고온 핵융합 플라즈마 운전 및 안정성 제어 관련 핵심 기술

고에너지 전자 발생 제어 및 전류구동 기술



AI 기반 핵융합 제어 시스템 및 플라즈마 시뮬레이션 기술



## 기술이전 및 사업화 전략

산업분류	• 핵융합에너지 / 고에너지 입자 제어 / AI 기반 제어 시스템
특허 가능성	• 고에너지 입자 활용, FIRE 모드 관련 기술 및 플라즈마 제어 기술
기술 성숙도	• TRL 5~6 (KSTAR에서 실험적 검증 완료, ITER 적용 가능성 높음)
이전 방식	• 기술이전(독점/비독점), 공동 R&D, 핵융합로 실증 기반 사업화
관련 수요기업	• 핵융합 연구기관, 에너지 관련 기업, 고에너지 입자 제어 시스템 기업
제안 협력	• ITER, K-DEMO, 핵융합 관련 실증로와 협력하여 기술 발전 및 사업화 추진

## 성과 및 국제적 인정

- **Nature (2022)** : 고에너지 입자 활용 및 FIRE 모드 개발 논문 발표
- **Nature Communications (2022)** : 자발 전류 발견 및 장시간 안정적 운전 가능성 규명
- **Physical Review Letters (2024)** : 고에너지 전자 발생 기작 규명
- **Nature Reviews Physics (2025)** : 고에너지 입자의 난류 완화 기작 규명
- **국제핵융합실험로(ITER)** : 한국 대표로 국제과학기술자문위원으로 활동, 통합운전국제전문가그룹 의장으로 글로벌 핵융합 연구 협력 주도
- **국제핵융합플라즈마학회 (IAEA Fusion Energy Conference)** : 초청 강연 및 발표

## 요약 정보

**기술명** 고에너지 입자 활용 핵융합 플라즈마 안정화 기술

**핵심** FIRE 모드를 통한 초고온 플라즈마 안정화 및 장시간 운전

**성과** KSTAR에서 세계 최초로 1억도 이상의 초고온 플라즈마를 40초 이상 안정적으로 유지

**적용** ITER, K-DEMO, 고에너지 플라즈마 운전 제어 시스템, 핵융합 실험로

**제안** 기술이전, 공동 R&D, 국제 핵융합 협력 강화

### KEYWORDS

#핵융합기술 #FIRE모드 #고에너지입자 #플라즈마안정화  
 #핵융합상용화 #1억도플라즈마 #ITER #K-DEMO  
 #AI기반핵융합제어 #핵융합에너지 #자발전류  
 #고에너지전자 #전류구동기술 #핵융합실험로