

차세대 초전도 핵융합 연구장치(KSTAR)

- 물리적 타당성 검증 평가 결과 -

이 보고서는 97년 6월 22일~25일까지 대전에서 열린 「차세대 초전도 핵융합 연구장치(KSTAR 장치)」에 대한 물리적 타당성 검증 평가위원회(위원회)의 조사 결과 및 추천 사항을 요약한 것이다. 검증 위원은 M. 시마다(위원장, 일본원자력연구소), V. 첸(미국 제너럴 아토믹사), 엄한섭(미국 해상전술연구소), O. 그루버(독일 막스플랑크연구소), E. 마마(미국 MIT 공대), O. 모또지마(일본 국립핵융합과학연구소), 이문중(미국 매릴랜드), Y. 시모무라(국제열핵융합실험로)이다. 검증 평가위원은 각 분야의 전문가이며 「KSTAR 물리적 타당성 검증 문서」 및 발표 자료를 기초로 검증하였다.

자료제공 : 이경수(기초과학지원
연구소 대형 공동기기연구부장)

「KSTAR」 프로젝트 물리적 타당성 검증 평가 현황에 따른 위원회의 임무는 다음과 같은 평가 기준에 대해 진술하는 것이다.

- ① KSTAR 장치의 물리적 요구 사항 및 설계는 건설하며 KSTAR 프로젝트 목표 및 사업 목적을 적절히 뒷받침하고 있는가?
- ② KSTAR 장치는 최첨단 기술에 향상시키고 미래 핵융합로를 직접 뒷받침하는, 플라즈마 물리학 연구의 디딤돌을 제공하는가?
- ③ 투자 계획 및 일정 목표 등과 합치되는 범위를 고려하여 물리적 요구 사항이나 설계 결과에 관해 추천할 변경 사항이 있는가?

조사 결과 및 추천사항(요약)

검증 평가위원 모두는 KSTAR 장치가 핵융합로 개발에 있어 핵심적인 분야에 올바르게 초점을 맞추고 있다는 점에 합의하였다.

KSTAR 토카막 프로그램의 연구 목표는 다음과 같다.

- ① 단면 및 수송의 능동적 제어를 통해 토카막 운전에 있어서 현재의 안정성 및 성능 범위 확장
- ② 비유도 전류 구동 방법을 개발·적용하여 토카막 핵융합로의 정상 상태 운전을 달성할 수 있는 방법 탐구
- ③ 매력적인 토카막 핵융합로를 개발하기 위한 단계로서 최적화된 플라즈마 성능과 지속적인 운전 기술의 통합

검증 평가위원 모두는 KSTAR 설

계팀이 목표를 달성하기 위한 최첨단의 플라즈마 물리학 지식 및 경험들을 통합하였으며, 40메가와트의 가열 전원 및 300초의 펄스 길이, 그리고 고도의 유연성을 갖춘 KSTAR의 현재 설계도 그 요구 사항에 적절하게 부합하고 있다고 판단하였다.

더욱이 검증 평가위원 모두는 KSTAR 장치 건설이 매우 시의적절하다고 생각하였다.

즉 플라즈마 물리학의 지식이 현재 KSTAR와 같이 첨단 차세대 토카막 설계를 뒷받침할 정도로 충분히 무르익었고, 향후 십여년 간의 기간 동안 KSTAR 차세대 토카막 실험이 현재의 토카막 장치와 ITER 장치 사이의 간격을 메우는 데 이바지할 수 있을 것이며, 또한 ITER에 적용할 수 있는 최적 운전 방법들을 탐구함으로써 ITER 프로젝트에 도움을 줄

수 있을 것으로 판단하였다.

또 KSTAR의 긴 펄스 실험은 다른 자기 가둠방식간의 비교를 진전시킬 것으로 본다.

또한 검증 평가위원 모두는 최적화된 운영 방식의 실험적 탐구 및 혁신적인 개념의 시험을 위해 필수적인, KSTAR의 설계가 유연하다고 판단하였다.

KSTAR 장치는 가열 전원의 증가, 플라즈마 형상 및 대향 물질 재료의 변경, 그리고 궁극적으로 정상 상태에 이르는 펄스 길이 연장 등 계획된대로 성능을 향상시킴으로써 더욱더 매력적인 것이 될 것이라고 평가하였다.

검증 평가위원 모두는 KSTAR의 첨단 차세대 기능으로 인하여 KSTAR가 향후 다년간의 세계 핵융합 연구 개발에 현저히 이바지할 수 있을 것이라고 기대한다.

또한 KSTAR 프로젝트는 대표적인 예를 거대 초전도 자석 체계의 전반적인 적용 등을 통하여 여러 첨단 극한 기술 분야의 파급 효과가 클 것으로 기대되며 한국 산업 개발의 중요한 자극제가 될 것으로 기대된다.

뿐만 아니라 차세대 운영 방식의 기능을 가진 KSTAR는 ITER가 운전 전을 시작한 이후에도 보완적이며 중요한 역할을 계속할 수 있다고 판단하였다.

또한 검증 평가위원 모두는 KSTAR 팀이 제안한 인원 계획이 활발한 연구 프로그램을 수행하는 데 합당하며 필

요한 수준임을 확인하였다.

위의 결과를 요약하면 검증 평가위원 모두는, ○KSTAR 장치의 물리적 요구 사항 및 설계는 견실하며 KSTAR 프로젝트의 목표와 사업 목적을 적절하게 뒷받침하고 있다고 보며, ○KSTAR 장치는 혁신적인 플라즈마 물리학 연구의 디딤돌을 제공함으로써 최첨단 기술을 향상시키고 미래 핵융합로를 직접 뒷받침할 수 있을 것이라고 판단하였다.

세부 조사 결과 및 추천 사항

1. 실험적 프로그램

가. 조사 결과

적당한 성능 변수와 함께 믿을 수 있는 플라즈마 운전이 실현되는 기본적인 운전 단계와 진일보한 고급 방식의 운전 단계가 뒤따르는 두 단계 실험적 프로그램은 합당한 것이다.

나. 추천 사항

고급 방식의 운전 단계를 최대한 일찍 시작하는 것이 상당히 바람직하다.

2. 기본적 장치 변수

가. 조사 결과

기본적 장치 변수(크기, 자장, 사양, 보조 장치 체계)는 비용과 일정 제약을 고려할 때 잘 선택하였고 계획한 실험적 프로그램 수요에 잘 어울리는 것으로 보인다.

나. 추천 사항

KSTAR 문서 및 관련된 물리적 시간 규모면에서 펄스 길이를 포함하는 변수 선택의 근거에 대해 좀더 분명한 설명이 필요하다.

3. 기본적 운전 단계에 대한 체계와 사양 선택

가. 조사 결과

검증 평가위원 모두는 최소의 진단과 보조 가열 장치로써 설비 온라인을 최단 기간 내에 달성하고 이러한 체계를 향상시키는 단계적 수행이 뒤따르도록 계획된 접근 방식에 동의한다.

비용 제약과 계획된 일정으로 인해 필요하게 된 단계의 선택은 합당하며 검증 평가위원 모두는 이 프로젝트가 선택한 접근 방식에 일반적으로 동의한다.

나. 추천 사항

① 실험의 견실한 조기 착수, 차세대 토카막 물리를 적용할 수 있는 능력 및 추후 핵융합로에 대한 적응성 등을 고려하여 우선 순위를 분명히 할 것을 추천한다.

② 다음 사항을 고려할 것을 추천한다.

○내부와 외부 디버터 채널에 펌핑을 동시에 가질 수 있는 디버터 사양

○최근의 두드러진 기술 개발 결과를 반영한 가열 및 전류 구동을 위한 부가적인 전자 가열 장치의 적용

○진단계

검증 평가위원 모두는 또한 계획된 모든 진단 장치들이 물리적 이해와 상향 운전이 필수적이므로 가능한 한 빨리 진단 과제를 수행할 것을 추천한다.

4. 유연성 및 차세대 운전 방식 용량

가. 조사 결과

기본적 설계는 압력 및 전류 분포 단면과 관련되어 좋은 유연성을 지니고 있다.

$\kappa=1.8$, $\delta=0.8$ 의 이중점과 단일점에 의한 평형 운전이 가능하며 내부 구조와 양립할 수 있다.

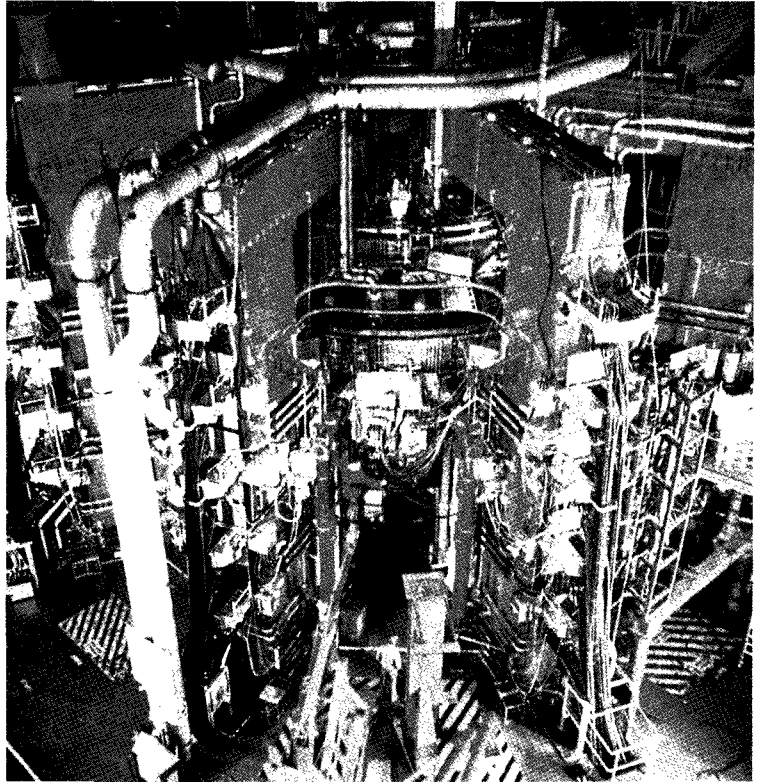
(ITER와 같이) 더 낮은 삼각 평형 상태는 내부 하드웨어의 재배치를 적용하면 가능하다고 판단하였다.

나. 추천 사항

KSTAR 설계 요구 문서에 펄스 길이, 사양(모양·크기·디버터), 가열, 전류 구동 및 입자 공급 방법 등 좀 더 체계적인 설명이 필요하다.

검증 위원 모두는 KSTAR 설계 팀이 이 장치를 통해 정상 상태에 이르기 위해 궁극적으로 펄스 길이 용량을 늘릴 수 있는 가능성을 탐구할 것을 추천한다.

공학적 용량(진공 용기, 초전도 자석, 설비 규모 및 MG 단위) 뿐만 아니라 유연성(계획한 디버터 변경/성능 향상, 플라즈마 대향 재료, 가열/전류 구동, 변경 가능성 및 손쉬움)



EU에서 운영중인 JET(Joint European Torus)의 비갈 모습

수준에서 좀더 상세한 설명이 또한 필요하다.

5. 향후 추천 사항

다음 분야에서 세심한 분석과 집약적인 설계 작업을 계속해야 할 것이다.

낮은 m, n 방식(예 : 신고전적 방식), 디스럽션 제어, 수직 변위에 의한 $j \times B$ 힘 및 플라즈마 가열 등을 고려한 토카막 운전의 신뢰성 확보, 그리고 장치의 유연한 보수 작업을 가

능케 하기 위한 방사능 제어 등.

또한 압력 확산 장벽 제어, 일반적으로 동시에 특별히 플라즈마 에너지 및/또는 유도의 빠른 변화에 대한 플라즈마 모양 제어, 낮은 li의 수직 제어, 위치 제어 전류 변화로 인한 ac 손실 및 헬륨 소진 실험 용량 등을 조사할 것을 추천한다.

앞으로 플라즈마 성능 제어 및 자료 수집 체계를 확정하여 설계에 통합하는 것이 필요하다. ☞