

KSTAR 토카막 시운전을 위한 연료주입계

인상렬*

한국원자력연구소 핵융합연구팀

* E-mail : srin@kaeri.re.kr

KSTAR 토카막은 2007년말 완성을 목표로 건설에 박차를 가하고 있다. 토카막조립이 끝난 후 6개월 여의 장치 가동점검과 진공, 극저온 따위의 기본성능 시험 단계를 거쳐 첫 플라즈마를 공개적으로 만들고 1년 정도의 시운전 단계에 들어간다. 시운전 단계에서 플라즈마 밀도는 대략 $10^{19}/\text{m}^3$ 을 유지하고 플라즈마 전류는 100 KA 수준이다. 플라즈마 생성에는 수소 따위의 연료기체를 주입하는 것이 필수적이다. 연료주입량은 플라즈마 생성율, 입자 밀폐시간, 재순환율 및 배기속도 등에 따라서 결정되는 입자 평형의 영향을 받는다. 플라즈마 밀도변화에 따른 연료주입량의 귀환제어는 가장 효율적인 방법이지만 결국 입자평형의 사전정보를 알고 구성해야 한다는 점과 플라즈마 진단 등 설비가 미비한 점을 고려할 때 시운전 단계에서는 아직 사용하기 어렵다. 좀 더 간단하게 연료주입계를 구성하여 사용하면 플라즈마 생성도 원활히 하고 장치의존성이 높은 입자평형에 관한 자료를 충분히 얻어 이를 토대로 귀환제어계를 만드는 것이 합리적이다. 이런 의미에서 일정 공급압력에서 제어밸브를 미리 결정된 프로그램대로 여는 방식이 이 시점에서 가장 효과적인 연료주입 방식이라고 생각된다. KSTAR 토카막 플라즈마는 ECH 전전리의 도움을 받아 생성되고 오믹 일주전압은 플라즈마 전류를 증가시키는 데 사용된다. ECH 플라즈마 밀도의 상승시간은 10 ms에 불과하기 때문에 연료주입속도는 큰 값을 필요로 한다. ECH는 10^{-5} mbar 정도의 낮은 압력에서 플라즈마 생성이 효율적인 것으로 계산되므로 연료주입 단계를 둘로 나누어 처음에는 진공용기를 10^{-5} mbar로 채우고 이어서 ECH 플라즈마가 생성될 때 용기에 채워져 있는 기체를 바로 연료로 이용하고, 외부에서는 추산한 필요량과의 차이만큼만 공급하는 방식으로 연료주입량 수요를 낮추는 것이 물리설계의 핵심이다. 연료주입 장치는 연료공급설비, 조절밸브 및 수송관으로 이루어진다. 밸브 조작에 의해 만들어지는 기체펄스 유형은 지연시간, 최대 유량 따위에 의해 정의할 수 있는데 공학설계의 일환으로 기체펄스 유형과 공급압력, 밸브 컨덕턴스, 수송관의 길이 및 굵기와의 상관관계를 알기 위해 일차원 동특성 편미분 유량방정식을 세우고 수치적으로 풀었다.