

## 고속파 전자가열을 시도한 KSTAR 토카막 원형 플라즈마에서의 ICRF 고주파 부하 저항

왕선정, 김선호, 곽종구

한국원자력연구원

KSTAR 토카막의 두번째 실험 캠페인 동안 고속파 전자가열 (FWEH)을 위한 ICRF 고주파입사 실험을 실시하였다. 토로이달 자기장은 2 T, 플라즈마 전류는 200-300 kA, 주반경은 1.8 m, 부반경은 0.5 m의 원형 플라즈마가 가열 대상이 되었으며, 네개의 ICRF 안테나 전류피 가운데 중심부의 두개의 전류피를 최대 300 kW로 구동하기 위한 운전 주파수는 44.2 MHz가 선택 되었다. 이 주파수는 플라즈마의 모든 영역에서 이온 사이클로트론 공명을 일으키지 않으므로 플라즈마에 흡수되는 대부분의 출력은 전자에게 전달될 것으로 기대되었다. 낮은 고주파-플라즈마 결합으로 인하여 전송선의 최대 고주파 전압이 허용치를 초과하기 때문에 비교적 낮은 최대 출력만이 허용 되었으나, ECE에 의해 관측된 전자의 온도는 국지적으로 최대 150 % 까지 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 낮은 고주파-플라즈마 결합의 첫번째 원인은 FWEH의 효율이 이온을 가열할 때 보다 상대적으로 낮기 때문이다. 플라즈마 내에 이온 사이클로트론 공명층이 형성되면 높은 효율로 고주파를 입사 할 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 또다른 원인은 D 형상의 플라즈마에 맞도록 만들어진 안테나와, 원형 플라즈마간의 부조화로 인하여 고속파 차단층이 (Fast Wave Cutt-off Layer) 평균적으로 넓게 형성되기 때문이다. 플라즈마 외곽에 반드시 존재하는 낮은 플라즈마 밀도의 고속파 차단층 내부에서, 중심부로 향하는 고주파의 진폭은 지수함수로 감쇠하므로 가능하면 플라즈마 밀도를 높여 차단층 자체의 폭을 줄이거나, 안테나 전류피를 플라즈마에 바짝 접근시켜야만 한다. 고주파 진단 장치로는 송출기의 출력과 반사파 측정 장치, 공명루프의 전압 측정 장치가 있는데, 이것들을 이용하여 안테나에 전달되는 출력 및 고주파-플라즈마 결합 효율을 나타내는 플라즈마에 대한 고주파 부하 저항을 구할 수 있다. 측정 결과, 부하 저항의 최소값은 진공시 또는 ICRF만의 방전시의 값 0.25 Ohm 보다 큰 0.5 Ohm을 나타냈으며, 최대값은 플라즈마의 상태에 따라 1 Ohm에서 2 Ohm 사이에서 매우 빠르게 요동하는 것을 확인했다. Mm 파 반사계의 측정에 의하면 플라즈마 언저리의 위치가 약 3 cm 정도의 크기로 요동하는 것으로 나타났는데, 부하 저항과 언저리 위치의 파형이 정확하게 일치하지 않지만 유사한 경향성을 가진 것으로 보인다. 따라서 플라즈마 언저리 위치의 제어를 통하여 가열 효율을 높게 유지할 수 있음을 알 수 있다. 본 발표에서는 실험의 소개와 함께 부하 저항의 관점에서 가열 효율을 높일 방안을 토론하도록 한다.