

초전도 ECR 이온원을 위한 RF 시스템 설계

정승호, 왕선정, 인상렬

한국원자력연구원 핵융합공학기술개발부

기초과학지원연구원(KBSI) 부산센터에서는 ECR 이온원을 이용한 ‘첨단 중·소형 입자빔 이용시설 구축사업’을 수행중이다. 이 사업의 시작점에 ‘다중 양전하 중이온 가속용 초전도 ECR(electron cyclotron resonance) 이온원 장치개발’이 있다. 중이온 가속용 이온원에서 고 전하 상태 이온을 얻기 위해서는 고 전하상태에 대응하는 높은 전자온도를 갖는 플라즈마가 필수적인데 중이온 가속용 ECR 이온원은 높은 거울 자장(magnetic mirror field) 및 버킷자장(magnetic bucket field)을 이용해 밀폐(confinement)를 향상시키고 고출력 ECR 방전을 이용함으로써 추구하는 목적을 달성하고 있다. 따라서 ECR 이온원이 발전함에 따라 요구되는 자장도 점점 높아져 초전도 자석을 사용해야만 가능한 현실에 이르렀으며 ECR 방전을 위한 RF 역시 자장에 비례해 높은 주파수와 고출력이 요구되고 있다. 현재 KBSI 부산센터에서 개발 중인 초전도 ECR 이온원은 주파수 28GHz, RF전력 10kW를 요구하고 있다. 이를 위해 적절한 자이로트론(Gyrotron)을 선정하고, 자이로트론으로부터 이온원까지 도파관 시스템을 설계하였다. 자이로트론은 CPI사 모델로 LBNL의 VENUS장치 ECR 이온원에 사용 중인 것과 기본적으로 동일한 모델이며 원형 over mode 도파관(32.5mm inside dia., WRC621D14)을 통해 28GHz TE02 모드 RF를 연속적으로 10kW로 출력한다. 도파관 시스템은 내경 32.5mm over mode 원형도파관과 bi-directional coupler, TE02/TE01 mode converter, TE02 mode filter, HV breaker, vacuum window 등으로 구성된다. bi-directional coupler는 오직 TE02 모드에만 반응하며 이를 통해 자이로트론으로 되돌아오는 반사파를 측정한다. TE02 모드를 손실이 작은 TE01 모드로 바꾸기 위해 TE02/TE01 converter가 필요하며 자이로트론이 도파관 시스템에서 발생되고 반사되어 돌아오는 TE21, TE11 모드들의 에너지에 의해 손상을 입을 수 있으므로 TE02 모드 필터를 채택하였다. TE02 반사파는 자이로트론에 크게 해가 되지 않는다. HV breaker는 이온원의 가속전압으로부터 자이로트론을 절연하기 위해 사용되며 이온원 챔버의 진공은 도파관의 진공창에 의해 유지된다. 또한 도파관 시스템에서 다른 모드들의 발생을 최대한 줄이기 위해 꺾임 부분을 없애고, 자이로트론으로부터 이온원에 직선으로 RF power가 전달 되도록 도파관 시스템을 설계했다. 도파관 부품 중 30kV HV breaker는 적절한 상용제품이 없어 'CST Microwave Studio'를 사용하여 26-30 GHz에 걸쳐 0.1 dB 이하의 손실을 갖도록 설계하였다. 앞으로 prototype HV breaker를 제작하여 내전압 특성과 RF 전달특성을 시험할 예정이다.