

## [IV-9]

### Time-dependent Study of Mirror Discharge in the Hanbit Device

윤 남식, 양 장규, 오 영국, 이 경수, 황 순모  
기초과학지원연구소

한빛장치는 단순자기거울 여러개가 복합된 것이지만, 현재는 일단 자기거울 방전실험의 초보적인 단계로서 plug부분만을 이용하여 단순자기거울방전실험이 행해지고 있다. 이러한 활동의 일환으로 현재 행해지고있는 Langmuir probe 및 end loss analyzer 진단활동등과의 비교 및 앞으로 행해질 pulsed power operation의 실험 design을 위한 단순자기거울 방전 modelling과 simulation이 행해졌다.

사용된 model식들은, 다음과 같이 플라즈마 밀도에 연속방정식, 전자와 이온에 대한 에너지 방정식들, 중성가스 밀도에 대한 연속방정식으로 구성되어 있다.

$$\frac{dn}{dt} = n(Nk_{ion} - \tau_c^{-1})$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{3}{2} n T_i \right) = \frac{P_i}{\Omega} + \frac{3}{2} (T_e - T_i) \frac{n}{\tau_{ie}} - \frac{3}{2} T_i n N k_{ex} - E_{li} \frac{n}{\tau_c}$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{3}{2} n T_e \right) = \frac{P_e}{\Omega} + \frac{3}{2} (T_i - T_e) \frac{n}{\tau_{ie}} - \epsilon_{ion} N k_{ion} - E_{le} \frac{n}{\tau_c} - P_{rad}$$

$$V \frac{dN}{dt} = \Gamma - \Omega \frac{dn}{dt}$$

여기서  $n$  은 플라즈마 밀도,  $T_i, T_e$  는 각각 이온과 전자의 밀도,  $N$  은 중성가스 밀도,  $k_{ion}$  은 이온화율 계수,  $\tau_c$  는 플라즈마 밀폐 시간,  $P_i, P_e$  는 각각 이온과 전자가 흡수하는 power,  $k_{ex}$  는 이온의 중성가스 원자들과의 전하교환율 계수,  $\epsilon_{ion}$  은 이온화 에너지,  $\Gamma$  는 중성가스 입사선속,  $V$  는 진공용기의 체적,  $\Omega$  는 플라즈마의 체적,  $E_{li}, E_{le}$  은 각각 빠져나가는 이온과 전자의 평균에너지들 이고,  $P_{rad}$  은 radiation으로 빠져나가는 power이다.

자기거울의 전기장과 자기장에 의한 플라즈마 차폐문제에 대해서는 많은 연구들이 행해졌기 때문에 밀폐시간들에 대한 표현식들은 이들 결과를 이용했고, self-consistent한 ambipolar potential은 비선형적이고 복잡한 식을 Newton-Raphson방법과 bisection방법을 혼용하여 풀음으로써 얻어졌다.

위 식들은 일단 풀기 쉬운 형태로 변환된 뒤에 implicit-방법으로 풀렸는데, 플라즈마 start-up 과정과 pulsed power operation시 시간에 따른 여러 가지 물리량들의 변화를 보았다.

결과의 한 예로써, 그림 1에 시간에 따른 여러가지 물리량들의 변화가 주어졌다. 그림의 편의를 위해 각각의 물리량은 자신의 단위로 규격화되었는데 그들 각각의 규격단위는 다음과 같다;  $N(\times 2.5 \times 10^{12} cm^{-3})$ ,  $n(\times 2 \times 10^{12} cm^{-3})$ ,  $T_e(\times 100 eV)$ ,  $T_i(\times 1 keV)$ ,  $\phi(\times 310 V)$ . 흡수된

Power는 일정시간동안 상승하다가 최대치에 접근한다고 가정 했는데, ICRH과정이 잘 알려진바와 같이 impedance matching문제로 인해 일정량의 플라즈마를 요구하므로, 먼저 ECRH가 인가된 후 일정시간 후에 ICRH가 인가되는 것으로 가정하였다.

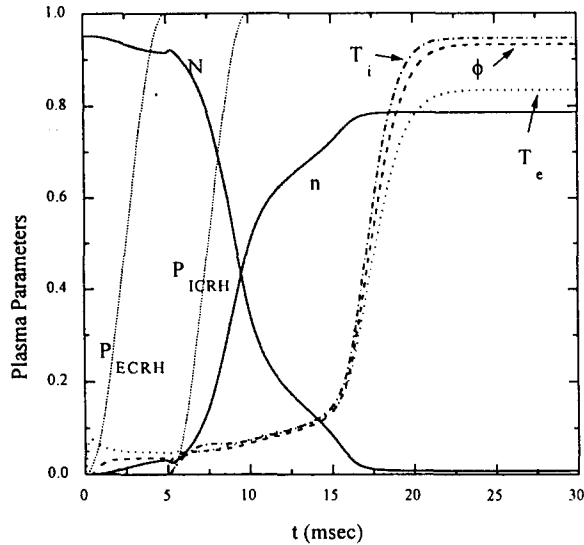


그림 1 여러 가지 물리량들의 시간에 따른 변화

전자-이온의 큰 질량 차이로 인해 전자가 이온에 전해주는 에너지가 매우 작으므로, ECRH만 가해져 있을 때는 이온의 온도상승이 매우 미약하고 전자의 온도만 상승되는 것을 볼수있다. ICRH가 걸리기 시작하면 이온의 온도가 빠르게 상승하며 플라즈마 밀도의 증가는 이에 비해 약한 편이다. 이것은 플라즈마 밀도의 증가가 전자온도증가를 거친 이차적인 경로를 통해 일어나기 때문이다. 중성개스의 밀도는 점차적으로 감소하여 정상상태에서는 완전진리 플라즈마가 되는 것을 볼 수 있다. 이번 simulation에서는 중성개스 입사선속은 없다고 가정했다.

플라즈마 변수들의 값은 power값이 일정한 값으로 수렴하는 시간인 10 msec 이후에도 얼마 정도의 시간동안 계속 증가하고 있는 것을 볼 수 있는데, 이 여분의 증가시간은 플라즈마 밀폐시간인 약 6.5 msec정도임을 알 수 있다.

플라즈마 밀도와 온도가 매우 높을 경우 불순물들에 의한 에너지손실은 일반적으로 크다고 알려져 있으므로, 불순물 모델이 첨가되어야만 보다 완전한 방전 모델이 될 것이다. 또한 플라즈마 가열이론을 도입하여 흡수한 power모델이 보다 현실성있게 되어야 할 것이다. 이러한 일들이 현재 활발히 진행되고 있다.