

## [ VI-5 ] [ 초청 ]

# 헬리콘 플라즈마의 연구 현황

엄세훈, 장홍영  
한국과학기술원 물리학과

Aigrain에 의해 Helicon이라는 이름이 명명된 이후, helicon은 저온의 금속과 같은 높은 전도도 (conductivity)를 갖는 매질이나 강한 자기장이 걸려있는 plasma를 전파해 나가는 저주파 전자기장을 지칭해 왔다. 이온화된 개스에서 이러한 전자기장은 전자 공명 주파수(electron cyclotron frequency)와 이온 공명 주파수(ion cyclotron frequency) 사이의 주파수로 전파하며 전리층(ionosphere)을 통과하며 발생하는 가청 주파수 영역대의 음조가 강해지는 현상에 의해 low-frequency whistler라고도 불린다.

Helicon wave plasma는 Boswell<sup>(1)</sup>에 의해 처음 발생된 후, 높은 이온화율(~100%)로 인해 많은 연구가 이루어져 왔다. 1985년에 Chen은 helicon plasma의 높은 이온화율을 설명하기 위해 Landau damping을 제시하였다.<sup>(2)</sup> 이러한 설명은 1997년에 Shamrai에 의해 TG mode가 도입되기 전까지 직접적인 실험결과 없이 helicon plasma 발생의 mechanism으로 받아들여졌다. Shamrai의 이론에 의하면 정전기파(electrostatic wave)는 plasma의 표면(surface)에서 강하게 감쇄되어 energy를 전달하게 된다. Cho는 radial density 분포가 외각보다 중심이 높을 경우 TG wave의 power 전달이 중심에서 일어날 수 있음을 계산하였다.

Helicon plasma의 특성은 높은 이온화율에 의한 높은 밀도( $\geq 10^{12} \text{cm}^{-3}$ ), 1-2 kW의 rf power에서 상대적으로 낮은 전자 온도( $\approx 4 \text{ eV}$ ),  $\omega_{ci} \ll \omega_{LH} < \omega \ll \omega_{ce} \ll \omega_{pe}$  영역대의 주파수, 자기장 50-1200 Gauss, 압력 1-10 mTorr로 특징지을 수 있다. 이러한 외부변수들의 조건에 따라 helicon plasma는 여러 종류의 mode로 존재한다. Degeling은 이러한 mode의 변화를 capacitive mode, inductive mode, 그리고 helicon mode(wave mode)의 세 가지 부분으로 구분하였다.

Helicon plasma가 갖는 높은 이온화율은 여러 가지 응용으로의 가능성을 가지고 있다. 그 예로 plasma processing, plasma wave에 의한 입자 가속, 그리고 가스 레이저 활성 매질 발생 등이 있다. 특히 plasma processing의 경우 helicon plasma는 높은 밀도, 비교적 낮은 자기장, remote operation등이 가능하다는 점에서 현재 연구가 활발히 진행되고 있다. 상업용으로도 PMT와 Lucas Signatone Corp.에서 helicon source가 제작되었다. 또한 높은 해리율을 이용하여 저유전 물질인 SiOF의 증착에도 적용되고 있다. 이 이외에도 다수의 연구결과들이 발표되었다.

### [참고문헌]

- (1) R. W. Boswell, "Plasma production using a standing helicon wave" Phys. Lett. A vol. 33, pp. 457-458, (1970)
- (2) F. F. Chen, "Landau damping of helicon wave", Australian Nation Univ. Report Anu-PRL IR 85/12 (1985)
- (3) K. P. Shamrai, V. P. Pavlenko, and V. B. Taranov, "Excitation, conversion and damping of waves in a helicon plasma source driven by an m=0 antenna", Plasma Phys. control. Fusion, vol. 39, pp. 505-529 (1997)