

## [I-5]

# KSTAR 중성입자빔 수송라인 해석

임기환, 권경훈, 조승연, 김진춘\*\*

기초과학지원연구소, \*\*2621 Crisie Lane, Escondido, California 92025, U.S.A.

KSTAR (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research) 핵융합 토카막 실험 장치<sup>(1)</sup>의 플라즈마 가열을 위한 수소 중성입자빔 수송라인 내에 설치되는 collimator에 가해지는 열속 및 플라즈마에 전달되는 빔의 통과율을 해석하였다. 43 cm × 12 cm 크기의 이온원으로부터 방출되는 이온빔의 공간적 분산은 기본적으로는 Gaussian 분산(수직 방향으로 1.2°, 수평 방향으로 0.5°)의 형태를 가지지만 이온 가속 전장의 공간적 불균일로 인해 Gaussian 분산에서 다소 벗어나는 형태를 띠게 되는데, 이의 영향을 고려할 수 있는 수학적 모델을 정립하였다.<sup>(2)</sup>

해석에 고려된 요소들은 다음과 같다. 이온원을 수많은 점원의 집합으로 가정하여 각각의 점원으로부터 주어진 공간적 분산을 가지는 이온들이 방출되는 것으로 가정하였으며, 방출된 이온은 중성화 과정을 거쳐 40%의 이온만이 중성입자화되며, 중성화되지 않은 60%의 이온들은 bending magnet에서 ion dump로 유도되어 사라지며, 나머지 중성입자들은 직진 운동을 하게 된다. 빔 진행 도중 빔 중앙에서 크게 벗어나는 일부 중성입자들은 여러 겹으로 존재하는 빔 collimator에 의해 단계적으로 제거되며, 일부 중성입자들은 잔류 수소 기체에 의한 재이온화<sup>(3)</sup> 과정을 거치기도 한다. 여기서는 정립된 수학적 모델을 이용하여 이들 collimator에서 제거되는 양 및 재이온화 손실들을 고려하여 최종적으로 플라즈마에 입사되는 중성입자 빔을 계산하였다. 한편, 빔 수송라인 설치시에 발생할 수 있는 설치 오차를 이온원 설치시의 오차와 빔 collimator 설치상의 오차로 구분하여 이들에 의한 영향도 계산하였다.

Gaussian 분산을 가정하였을 경우, 이온원에 가장 근접하여 설치되는 collimator에 가해지는 수직성분의 열속은 9.7 kW/cm<sup>2</sup>로 계산되었다. 이 열속을 제어 가능한 수준으로 낮추기 위해서 collimator는 빔라인과 거의 나란하게 설치될 것이다. 빔의 통과율은 약 33%로서 하나의 이온원에서 방출된 7.8 MW 중 2.5 MW만이 플라즈마에 전달되는 것을 알 수 있었다. Non-Gaussian 분산의 경우, 최대 열속은 9.1 kW/cm<sup>2</sup>로 다소 낮아졌으나, 빔통과율은 28% 정도로 더욱 낮아졌다. 설치상의 오차에 의한 영향을 살펴 보면, 이온원이 1° 정도 기울어지게 설치된다면 collimator에 가해지는 최대 열속 및 빔통과율은 약 15 kW/cm<sup>2</sup>, 16.6% 정도로 나타나 매우 심각한 결과를 초래함을 알 수 있었다. 이에 비해 collimator 설치상의 오차의 영향은 이보다 훨씬 작아 5 mm 오차가 발생했을 경우에도 최대 열속은 12 kW/cm<sup>2</sup>까지 증가했으나, 빔 통과율의 변화는 거의 없었다.

[참고문헌]

1. D.I. Choi, G.S. Lee et al., "The KSTAR Tokamak", Proceedings for the 17th IEEE/NPSS Symposium on Fusion Engineering, pp. 215-220, San Diego, U.S.A., Oct. 5, 1997
2. J. Kim and J.H. Whealton, "Beam Intensity Distributions in Neutral Beam Injection Systems", Nuclear Instruments and Methods **141**, 187 (1977)
3. J. Kim and H.H. Haselton, "Analysis of particle species evolution in neutral-beam injection lines", J. of Applied Physics **50**, 3802-3807 (1979)