

## 중성입자 빔 가열장치(NBI-1) 열량계의 열수력학적 설계

윤병주, 김범렬, 김태성

한국원자력연구원 핵융합공학기술개발센터

현재 한국원자력연구원 핵융합공학기술개발센터에서 가동 중인 중성입자 빔 Test stand(NBTS) 운전경험을 바탕으로 최대중성입자 빔 출력 8MW, 300sec 에너지를 흡수할 수 있는 3개의 채널을 가진 형태의 열량계를 새로 제작해야한다. 이 열량계 설계를 위한 항목들로서는 먼저 1개의 열량계에 대한 최대 빔 출력(neutral beam;3.38MW)을 BTR코드를 이용하여 발산각 0.8°를 기준으로 정의하였고 그 최대 출력에 따른 설계조건을 고려하여 열량계 vee 각도(15°)를 결정하였고 발산각 1.2°를 기준으로 열량계의 입구크기(0.25cm×0.75cm)를 결정하였다.

중성입자 빔 출력 8MW, 300sec의 큰 에너지를 감당해내기 위해 열량계의 필요부품인 열흡수체 설계가 필수적이다. 이 열흡수체는 JET에서 이미 이온덱프나 열량계로 그 성능이 입증된 Hypervapotron을 채택하였으며 NBTS에서 사용한 경험도 있다. 열흡수체인 Hypervapotron 설계를 위해 먼저 중성입자 빔 3.38MW 출력을 감당할 수 있는 유량(81.9 L/s)을 냉각수의 최대상승온도 50°C기준으로 계산하였고 Hypervapotron 채널치수와 냉각수 순환 구조(순환, 비순환)를 고려한 네 가지의 경우에 대한 중요 변수인 유속, 레이놀즈 수, 열전달계수, 압손(drop)을 고려하여 냉각수 순환 구조와 채널 단면이 6 × 75(mm)로 선택되었다.

앞에는 수력학적 측면을 쳐다보았고 최대 열밀도(5.21KW/cm<sup>2</sup>; 발산각 0.8°기준)에 대한 Hypervapoton 의 두께방향으로 정상상태와 과도상태 경우에 열전달 현상을 쳐다보았다. 정상상태(Hypervapoton에 수직으로 미치는 열밀도; 5.21KW/cm<sup>2</sup>)에서 온도분포가 70 ~ 208°C로서 빔이 맞는 표면이 가장 높다. 재료의 녹는점이 1080°C이므로 충분한 안전성을 확보하고 있다. 아울러 빔 조사면 두께에 따른 온도분포를 계산한 결과를 살펴보면 두께가 얇을수록 표면온도가 덜 올라가고 두꺼울수록 표면온도가 더 올라가므로 내구적 강도를 고려해서 빔 조사면 두께를 5mm로 하였다.

NBI-1 열량계는 한 채널에 10개씩 세 채널이어서 30개의 Hypervapoton과 위·아래 마감판 6개, 뒤편 잠열판 1개, 아래 보호판 6개 그리고 빔 전면 스크레이퍼 4개로 배관라인이 구성되며 총 47개 배관으로 구성되고 총 유량은 103.12 L/sec가 필요하다. 열량계는 무게가 1.8ton 이고 상하로 이동할 수 있는 구동시스템이 설치되고 온도를 측정할 수 있는 열전대 시스템이 설치된다.