

핵융합로 디버터의 대면물질로 사용될 텅스텐의 상압열플라즈마 용사 코팅 공정 최적화 및 코팅질 향상을 위한 해석적 연구

진영길

서울대학교 원자핵공학과 플라즈마응용연구실

핵융합로에서는 디버터의 열부하에 대한 안전성을 고려하기 위해 열전도도 및 열 저항성이 높은 텅스텐이 대면 물질로 고려되고 있으며, 경제적인 측면과 실용성 측면에서 텅스텐블록을 직접 제작하여 사용하는 것보다 텅스텐코팅이 효과적이라는 의견이 지배적이다. 또한 ASDEX Upgrade 에서는 탄소블럭에 텅스텐을 코팅하여 챔버 외벽 및 디버터 영역까지 구성하여 캠페인을 진행하였고, 재료적인 측면에서 안정성을 확인 하였다. 따라서 본 연구에서는 디버터 및 챔버 외벽 등에 대한 대면물질을 구성하기 위해 상압 열플라즈마 제트를 이용하여 고온에서의 용융 및 냉각을 통해 모재에 텅스텐 피막을 적층하는 과정을 수행하고 있다. 기존의 연구를 통해 일부 공정 변수에 대해서는 이미 적정한 범위의 공정조건을 확보하였고, 기공도와 산화도 및 부착력 등의 물성치에 대한 추가적인 향상을 위해 주요 공정 변수에 집중하여 최적의 조건을 탐색하는 과정이 진행 중이다. 이를 위해 출력증가실험의 일환으로서 기존 36kW급 플라즈마 토치 전력을 한 단계 끌어 올려 48kW급 전력까지 단계적으로 상승시킴으로써 이에 따른 물성치 변화를 검증하고 있다. 현재 44kW 급까지 실험이 수행되었으며, 이를 통해 공극률 감소 및 미세구조 변화에 대한 결과를 얻었다. 실제로 토치의 출력을 증가시킴으로서 텅스텐 피막의 물성치가 변화하는 메커니즘은 플라즈마 제트의 중심부 온도 및 축방향 속도에 의해 결정된다. 중심부 온도가 상승하게 될수록 코팅을 위해 분사되는 분말의 용융률은 증가하지만 분말 외벽에 산화텅스텐이 형성될 가능성은 증가하게 되며, 플라즈마 제트의 모재를 향상 축방향 속도가 증가할수록 용융된 분말이 모재에 증착 시 형성하는 형태가 원형에 가깝게 되므로 기공이 감소하는 효과가 발생한다. 특히 용융된 분말의 증착 형태는 모재의 온도 및 분말의 입사속도에 결정적이 영향을 받게 되며, 결국 모재와 분말사이의 습윤성에 의한 분말 분산속도가 분말의 입사속도에 버금갈 경우 분말은 모재 위에서 효과적으로 원형으로 전이하며 적층하게 된다. 이러한 전이 현상은 앞에서 언급한 모재의 온도 등에 의해 결정적으로 영향을 받게 되며, 모재의 온도가 전이온도 이하일 경우 폭과형태에서 원형으로 분말의 증착 형태가 전이하게 된다. 이외에 추가적으로 진행하고 있는 연구는 코팅 전처리에 해당하는 분말 효과이며, 특히 탄화텅스텐 분말을 통한 재료적 auto-shroud 효과와 미세분말을 이용한 분말 표면열속의 증가에 따른 용융률 증가효과를 연구에 포함할 계획이다. 이러한 연구는 열적, 그리고 재료적 해석을 바탕으로 해석적 접근을 통해 이루어진다.