

컴퓨터 시뮬레이션을 터보 분자 펌프 동작 특성 해석

Characterization of turbo molecular pump design by a computational simulation

주정훈^{a,b*}

^{a*}군산대학교 신소재공학과(E-mail:jhjoo@kunsan.ac.kr), ^b군산대학교 플라즈마 융합공학대학원

초 록: 터보 분자 펌프는 수 만 rpm의 고속으로 회전하여 분자 유동 영역에서 효율적으로 기체를 배기하는 특성을 가지고 있지만 실제 플라즈마 공정에서는 챔버의 압력이 수 mTorr이상이므로 점성 유동 영역이나 전이 유동 영역에 해당한다. 따라서 터보 분자 펌프의 rotor, blade, stator 등의 설계가 점성 유동 영역에서 반응성 가스 및 플라즈마 특성에 의해서 어떤 영향을 받는지 수치 모델을 통하여 해석을 시도하였다.

1. 서론

터보 분자 펌프는 좁은 간격을 갖는 rotor blade 및 stator를 수차 해석이 가능하도록 기하구조 모델을 만드는 작업이 매우 중요하다. 기계 공학에서 접근하는 경우에는 고체 부분만 격자를 생성하여 계산하므로 훨씬 간단하다. 전산 유체 모델은 다수의 비선형적인 미분 방정식들을 기본으로 한다. 입자 수 보존식, 드리프트-확산식, 에너지 보존 균형식이 다. 전자에 대해서 외부의 전원으로부터 전력 흡수를 고려하고, 기상에서 일어나는 전자 참여 반응은 비활성 원자 기체의 경우 이온화 및 여기 반응만 고려하면 되지만 반응성 분자 가스의 경우 다양한 해리 반응들을 고려하여야 하므로 확산 계수, 열역학 상수가 최대한 정확하게 구해져야 한다. 이 때 장치의 기하적 구조가 전기장의 분포 및 하전, 중성 입자들의 공간적 분포에 영향을 미친다. 본 연구에서는 다중 세트를 갖는 rotor - stator 구조를 구현하고 기본적인 유동 특성을 점성 유동 영역인 10 mTorr에서 파악하고 플라즈마에서 입사되는 이온과 라디칼의 거동에 대해서 모델링 하였다.

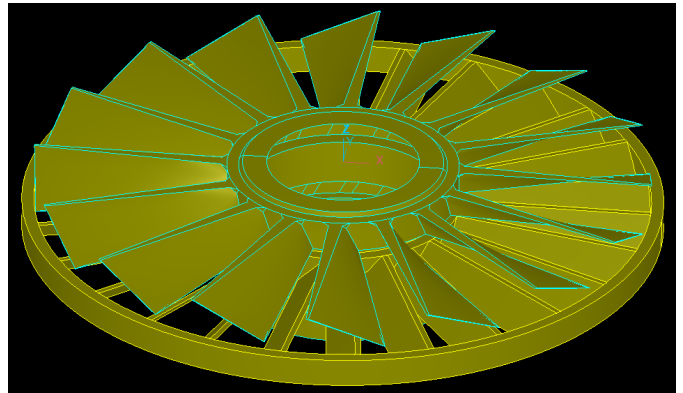


Fig. 1 터보 분자 펌프의 수치 모델

2. 본론

기하적 구조 작성 및 해석은 ESI사의 CFD-ACE+를 사용하였다. 플라즈마 방정식의 경우에는 전위를 계산하는 Poisson 방정식을 풀지 않고 플라즈마의 중성 조건을 적용하여 간략화하는 방법을 택하였다. 이는 플라즈마의 특징 가운데 하나인 전 공간에서의 준중성 조건(양의 전하와 음의 전하가 균형을 이루는 조건)을 적용하여 수식을 간략화 한 것이다. 플라즈마 공정에 사용되는 터보 분자 펌프의 경우 blade의 재료로 가벼운 알루미늄 합금을 사용하고 표면은 부동태 피막 처리나 부식성 가스에 안정적인 물질질을 코팅하여 사용한다. 기계식 베어링을 사용하는 경우에는 rotor module이 전기적으로 접지된 상태에 있으나 자기 부상식 터보 분자 펌프의 경우에는 전기적으로 부동 상태에 있다. 이 경우 이온들이 rotor module의 표면에서 전하를 받아서 재결합 할 확률이 떨어진다. 지속적인 플라즈마 노출 상태가 가져오는 rotor module의 하전 상태에 대해서 계산하였고 이를 근거로 아킹이 발생할 확률에 대해서 분석하였다.

3. 결론

플라즈마 공정에 사용되는 터보 분자 펌프의 기본적인 점성 유동 특성을 분석하고 플라즈마 영역에서 유입되는 이온과 들뜬 상태의 라디칼의 거동에 대해서 플라즈마 유체 모델을 준중성 조건하에서 간략화 하여 적용하였다. Rotor blade와 stator blade의 1 set에 대해서 모델 계산을 시행한 결과 표면에서 금속의 일반적인 경우와 같이 100% 전하 교환 재결합이 일어난다고 가정했을 때 1 set를 지나면 이온의 농도는 1 order 정도 감소하는 것으로 나타났다.