

Cryopump Sorption Element의 Saturation에 따른 Pumping Speed 저하 계산

이진원, 이영규
포항공과대학 기계공학과

1. 서론

Cryopump나 sorption pump 또는 NEG pump와 같은 capture pump들은 pumping element들이 gas를 pumping 할수 있는 최대 용량이 한정되어 있으며, gas를 pumping 해 감에 따라 pumping 효율이 점점 감소하게 된다. 이제까지 pumping element의 pumping speed 계산은 모두 static 한 계산으로서 pumping efficiency 또는 sticking coefficient가 일정한 값을 갖는다고 가정 하였으나, 실제로 cryopump 등에서는 pumping element가 불균일하게 pumping을 수행하고 있으므로, pumping이 진행됨에 따라 초기 pumping이 잘된곳은 일찍 saturated되어 sticking coefficient가 급격히 떨어지지만, 초기 pumping이 잘 안되는 지점은 계속 높은 sticking coefficient를 유지하게 되어 결국 pumping element 전체가 균일한 pumping을 하게되는 쪽으로 진행된다. 본 연구에서는 pumping 양에 따라 변하는 sticking coefficient 모델을 이용하여 cryopump의 sorption element의 pumping speed가 시간에 따라 어떻게 감소하는가를 계산하였다.

2. 계산방법

계산모델은 가장 일반적인 원통형의 cryopump를 택하여, 내부 cryoarray를 설치하고 pumping array를 작은 크기의 element로 나눈다. 초기의 sticking coefficient는 모두 1.0으로 가정하고 pump 내부의 평균압력과 온도가 일정하게 유지되는 상태에서 시간에 따른 pumping speed를 계산한다. 일정시간 Δt 동안 pumping을 진행시킨 후 pumping된 양과 최대용량의 비로서 정의된 saturation 정도 S에 따라 몇가지 sticking coefficient 모델에 의해 sticking coefficient를 변화 시킨다. 이와같은 과정을 계속 반복해 나가면서, 시간에 따라 각 element가 saturate되는 정도와 total pumping speed의 변화를 고찰하였다. Pumping speed의 계산은 이제까지 cryopump의 정적성능 계산에 성공적으로 적용되었던 view factor 법을 사용하였다[1]. 사용된 sticking coefficient model은 다음의 3가지이다.

$$f = 1/0 : \text{unsaturated / saturated} \quad (1)$$

$$1-s : s = \text{degree of saturation} \quad (2)$$

$$1-0.5(\cos(\pi(s+1))+1) \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

대표적인 조건하에서의 pumping speed의 감소 경향은 그림에 보인 바와 같다. 대체로 saturation 정도에 따라 sticking coefficient가 급히 변하는 모델을 이용하면 pumping speed의 변화도 급격한 경향을 나타낸다. 가장 급격한 모델 (1)의 경우 pumping speed도 급격한 변화를 보여 진공 chamber pressure의 측정으로부터 regeneration 시기를 예측할수 있으며, 이 경우에 전체 array 중 60%가 saturated된 시점으로부터 pumping speed가 급격히 감소한다. Sorbent의 국부적 saturation을 고려하지 않고 전체 최대용량 만을 고려하면 예제의 경우 약 5000 min 까지 정상 작동하는 것으로 나타나지만, 모델(1)의 포화를 고려하면 이때 까지 총 용량의 80%만 이용되었으며 pumping speed는 60% 정도로 감소되어 있다. 보다 합리적으로 생각되는 모델(3)에 의하면 50% 정도까지 감소한다.

재생까지의 시간을 pumping speed 가 초기치의 얼마 이하로 떨어질 때까지로 정의하였을 경우에, 이 재생주기는 대략 sorbent의 양에 따라 증가하고 기체 분자량의 제곱근과 작동압력의 곱에 따라 감소하나 선형적 관계는 아니며, 이는 sticking coefficient가 pumping양에 따라 좌우되고, pumping speed는 각 면적요소의 sticking coefficient에 따라 좌우되기 때문이다. 관계가 선형적으로 가정하여도 무방할 경우에는 하나의 universal curve가 얻어진다.

4. 결론

Cryopump sorption element의 시간에 따른 sticking coefficient 변화를 고려한 cryopumping speed의 시간 변화를 view factor method를 이용하여 성공적으로 계산하였다. 이와 같은 dynamic simulation이 Monte Carlo로는 불가능하나 view factor 법으로는 쉽게 수행될수 있음을 보였으며, sorbent의 saturation에 의한 sticking coefficient 변화 모델에 따라 다른 변화를 보였으므로, sorbent 종류에 따른 최적모델의 선정이 요구된다. 재생주기는 작동압력, sorbent의 양 및 기체 분자량에 따라 선형적으로 변화하지 않아 universal curve는 얻을 수 없었다.

참고문헌

[1]. J.W.Lee and Y.K.Lee, *Vacuum* 42(8/9), (1991).

