

## 다층 Panel Cryoarray를 갖는 Cryopump의 Pumping 특성해석

이진원 · 이영규 · 최현오\*

포항공과대학 기계공학과, \*한국기계연구원  
(1992년 7월 9일 접수)

### Analysis of Pumping Characteristics for Cryopump with Multipanel Cryoarray

J.W. Lee, Y.K. Lee and H.O. Choi\*

*Department of Mechanical Engineering, Pohang Institute of Science & Technology*  
*\*Korea Institute of Machinery and Metals*  
(Received July 9, 1992)

**요 약**— 다층 panel형 cryoarray를 갖는 원통형 cryopump의 정적 pumping 특성을 view factor를 이용한 수치적 방법으로 해석하였다. 해석모델은 단순 원판을 기본으로 하고, 여기에 상향 및 하향의 skirt를 부착한 실질적 array를 대상으로 하였으며, 형상, 크기 및 panel 갯수를 변화시키면서 array 전체의 총 pumping 효율과 array 내의 pumping 속도분포를 모두 구하였다. 다층 panel array에서도 single panel의 경우와 같이 type III 개스(He, H<sub>2</sub>)에 있어서는 pumping 효율을 최대로 하는 최적의 크기가 있으며, panel 수효가 증가하면 pumping 속도는 약간만 증가하나 총 pumping 용량은 이에 비례하여 증가한다. Skirt의 각도를 상향으로 변화시키면 type III 개스의 상대적 pumping속도가 증가되며 type II 개스에 의한 cryosorbent의 오염도는 대략 10% 정도이다.

**Abstract**— Static pumping characteristics of cryopumps with multipanel cryoarray are analysed using the view factor method. Models for analysis are disks with skirts of varying angles, and the shape, size and the number of panels are the parameters varied. Not only the total pumping efficiency but also the distribution of pumping speed in the array is considered. Results show that there exists an optimum array size maximizing the pumping of type III gases (He, H<sub>2</sub>), and the addition of more panels increases the capacity in proportion but the pumping speed only slightly. Changing the skirt angle upward increases the relative pumping of type III gases, and the contamination on the cryosorbent by the type II gases is in the order of 10%.

### 1. 서 론

Cryopump는 저온으로 유지되는 냉각판에 충돌하는 기체를 응축이나 흡착 등의 방법에 의하여 제거하는 것으로서, 설계의 목표는 pump 입구를 통하여 pump로 들어오는 기체분자가 pumping surface와 충돌하는 확률 및 충돌한 기체분자가 표면에 부착될

확률을 높이는 것이라 할 수 있다. 다만 cryopump는 capture pump이므로 pumping element가 포화상태에 가까와질수록 pumping 속도가 감소하고 따라서 평형압력이 증가되므로, pumping speed가 일정치 이하로 떨어지면 pump를 정지시키고 pumping element를 재생하여야 한다. Pump의 이용율을 높이기 위해서는 한 재생주기 동안의 total pumping capa-

city를 최대로 하도록 하여야 하는데, 저진공이 아닌 고진공/극고진공용 cryopump에서는 대개의 경우 cryo-condensation panel 보다는 cryosorption element에서 포화가 시작되게 되며, 따라서 가급적 sorption element에는 condensation에 의해 제거가 가능한 type II 개스는 충돌하지 않고 type III 개스만이 충돌하도록 하며[1], 동시에 sorption element가 균일하게 pumping 하도록 하여야만 capacity를 극대화할 수 있다. Pumping surface와의 충돌확률은 cryo-array의 형상에 따라 결정되며, 표면부착 확률은 표면온도 및 표면의 성질에 따라 결정된다. 이 경우 pump 전체의 pumping speed는 cryoarray의 충돌확률과 sticking coefficient의 곱으로 나타낼 수 있고, cryoarray의 충돌확률 특성은 그 기하학적 형상과 pump body내의 위치, 표면특성 등에 의해 달라지게 된다. 특히 상업용 cryopump는 거의 다 원통형 대칭 구조를 가지고 있는 관계로, 이론적 해석이 거의 불가능하며 따라서 복잡한 Monte Carlo 방법만이 이용되어 왔으나, 최근 Monte Carlo 방법과 정확도가 거의 같으면서도 해석이 훨씬 용이한 계산법이 성공적으로 개발되어 cryoarray의 성능해석이 가능케 되었다[1-2]. 이 방법은 이미 가장 간단한 cryoarray 구조로서 원통형 대칭구조의 single panel array에 대한 pumping 특성해석에 응용되어 cryoarray의 기하학적 형상에 pumping speed를 최대로 하는 최적 설계가 존재함을 밝혔으며[1], 본 연구에서는 single panel array의 결과를 토대로 하여 실질적인 multi panel array의 pumping 특성을 해석하였다. Array의 형상, 크기 및 panel 수효를 변수로 하여, 이들의 변화에 따른 total pumping speed와 array 각 위치의 pumping 균일도를 구하여 앞으로 cryoarray 설계의 최적화를 위한 기초 자료로 삼고자 한다.

## 2. Pumping Speed 해석방법

### 2.1. 기존의 해석법

Pump의 pumping speed는 pump 입구면의 orifice conductance에 pumping coefficient 즉 capture coefficient를 곱한 양이므로, pumping speed 추정은 이 pumping coefficient 계산으로 귀결된다. 지금까지의 대부분의 계산은 Monte Carlo 방법에 의하여 수행되어 왔다. Monte Carlo 방법에 의한 pumping coeffi-

cient 계산에 있어서는 일정법칙에 의하여 공급되는 기체분자의 궤적을 개스가 cryopanel에 잡히거나 아니면 다시 입구로 돌아올 때까지 계속 추적하는 것으로서, 정확한 계산결과를 위해서는 충분히 많은 수의 개스 분자를 사용해야 하고 따라서 pump 내부의 geometry가 복잡해 질수록 작업이 복잡해지고 계산 시간이 증가하게 되어 사용에 어려움이 있으며, 또한 계산 도중에 표면의 부착계수를 변화시킬 수 없으므로 동적계산에는 쓰이기 어렵다. 이러한 단점을 극복하기 위해, pump를 transmission probability가 알려진 몇 개의 component로 나누고 pump 전체의 통과확률은 이들 component의 직렬조합에 대하여 Oatley의 근사식[3]을 사용하여 구하는 방법도 사용되었으나[4], 이 방법이 정확한 결과를 주기 위해 필요한 각 component의 입출구면에서 기체의 flux가 균일해야 한다는 조건이 실제 cryopump 내에서는 전혀 적용될 수 없고, 또한 내부 구조가 간단하지 않기 때문에 많은 오차를 유발한다[2]. 또한 cryopump에 이 방법을 적용할 경우에 transmission probability가 기존의 data에 없는 component가 생길 수 있으며, 이 때에는 부분적으로 Monte Carlo 방법을 이용하여 이를 계산해야만 하는 번거로움이 있고, 특히 array내의 pumping 분포계산이 전혀 불가능하다는 단점이 있어, pump 설계의 최적화에는 부적합하다.

### 2.2. View Factor를 이용한 해석법

J.W. Lee and Y.K. Lee에 의해 제안된 view factor 해석법[1, 2]에서는 cryopump 내부를 N개의 면적요소로 이루어진 밀폐공간으로 생각하고, 각 면적요소 상에서 온도와 sticking coefficient, 표면조건 그리고 분자유속이 일정하다는 조건을 이용하여 각 면적요소로의 분자유속에 관한 대수 연립방정식을 얻는다. 각 면적요소에서의 molecular flux balance를 생각하면, 각 면적요소가 diffuse 하다는 가정으로부터 그 면적요소에 들어오는 molecular flux  $n_i$ 는 둘레의 모든 면적요소에서 나가는 molecular flux  $n_o$ 에 view factor를 곱한 양의 합으로 기술되고,  $n_o$ 는 그 면 자신에서 자연방출되는 양과 다른 면에서 들어온 양 중 반사되어 나가는 양의 합으로 기술되므로, 면적요소 개수에 해당하는 N개의 다음과 같은 연립방정식을 만들 수 있다.

$$\sum_{j=1}^N [\delta_{kj} - (1 - f_k)F_{kj}]n_{o,j} = n_{e,k} \quad (k=1 \sim N) \quad (1)$$

여기에서,  $n_o$ 는 단위 면적당 outgoing molecular flux,  $n_{e,k}$ 는 k면으로부터의 source introduction에 의한 자진방출 분자유속(self emitting molecular flux),  $f_k$ 는 면적요소 k의 sticking coefficient,  $F_{kj}$ 는 면적요소 k에서 면적요소 j로의 view factor이다. 위 식을 풀어 각 면적요소에서의  $n_o$ 를 구하고 그 면적요소의 molecular flux balance로부터 정미분자유속(net molecular flux)을 구할 수 있으므로, 입구면에 해당하는 면적요소가 k개, cryopanel에 해당하는 면적요소가 m개인 cryopump의 pumping probability(capture probability)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Pr = \frac{\sum_{l=1}^m n_l A_l}{\sum_{j=1}^k n_{e,j} A_j} \quad (2)$$

여기서  $n_l$ 와  $A_l$ 의 면적요소 l의 단위면적당 정미분자유속 및 면적이다. 위의 계산에서 필요한 view factor는 각 면적요소에서 3000~5000개의 입자를 발생시켜 계산하였으며, 이 때 각 입자는 방사조건을 만족할 수 있도록 방위각  $\phi$ 와 면에 수직한 방향에 대한 편각  $\theta$ 를 다음과 같이 선택하였다[5].

$$\begin{aligned} \phi &= 2\pi R_1 \\ \theta &= \arccosine(\sqrt{R_2}) \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서  $R_1$ 과  $R_2$ 는 랜덤(random)수이다. 이 방법의 정확성과 유용성은 참고문헌[1, 2]에 기술되어 있다.

### 2.3. 해석모델

해석모델은 오늘날 상업적으로 가장 널리 쓰이는 2단 helium gas refrigerator를 이용한 8" cryopump를 택하였다(그림 1). 정상상태시의 baffle과 radiation shield는 보통 50~100 K 정도로 유지되고 cryopanel은 10~20 K로 유지되므로, 물분자(H<sub>2</sub>O)와 일산화탄소(CO) 같이 70 K에서 극고진공 범위의 평형압력을 갖는 기체(type I)는 baffle면에 부딪히면 응축되어 버리기 때문에 본 연구에서는 고려하지 않았다. N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar과 CH<sub>4</sub> 등은 baffle에 응축되지 못하고 cryopanel에 부딪히는 경우에만 응축되며(type II), He,

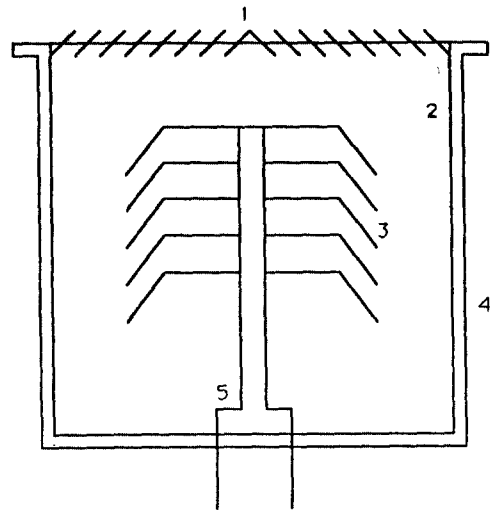


그림 1. 해석모델: 1. baffle, 2. radiation shield, 3. cryo-array, 4. pump body, 5. cold head.

Ne, H<sub>2</sub> 개스는 cryopanel에 응축하지 않기 때문에 cryopanel 밀면의 sorption element에 의해서 제거해야만 한다(type III). Type II 개스는 cryopanel 앞뒷면 모두에서 응축되므로 cryopanel 윗면과 아랫면의 sticking coefficient를 각각  $f_o$ ,  $f_i$ 라 하고, type III 개스는 panel 밀면의 sorption element에 도달한 경우에만  $f_i$  비율만큼 잡힌다고 가정하였고, 특별한 언급이 없는 한 type II 개스의  $f_o$ ,  $f_i$ 는 1.0, type III 개스의  $f_i$ 는 1.0이다. 지금까지 사용되어온 baffle의 형상에 따른 conductance에 대해서는 많은 연구가 되어 있는 상태이므로 본 연구에서는 baffle을 통과한 기체가 isotropic 하다고 가정하여 baffle면을 개스의 입구로 하고 높이와 직경이 20 cm인 실린더를 radiation shield로 취하였고, cryopanel 각 지점의 local deposition  $Pr^*$ 는 baffle을 지난 cryopump 입구 전 면적을 통하여 단위시간당 1.0이라는 양을 통과시켰을 때 단위면적당, 단위시간당 cryopanel 임의의 표면에 도달하는 양으로 정의하였다. 해석에 사용된 cryopanel은 상업용 pump 및 특허자료[6-8]들을 종합 분석하여 그림 2와 같이 결정하였다. 기존의 array들은 거의 모두가 원판끝에 원뿔대형의 skirt를 부착한 형태를 취하고 있으므로, 해석모델은 우선 제일 간단한 disk(원판)형을 기본으로 하고(모델 1), 상업용 cryopump에서 볼 수 있는 바와 같이 아래를 향하는 일정각도의 skirt를 다단으로 붙인것과(모델 2), 위쪽으

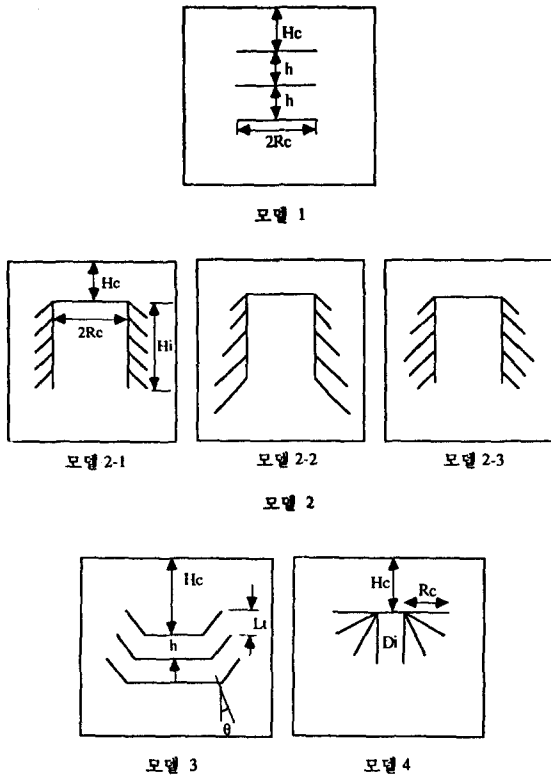


그림 2. 다층 cryopand 해석모델.

로 향하는 일정각도의 skirt를 다단으로 붙인것(모델 3), 그리고 각기 다른 각도의 skirt를 일정점에 부착한 것(모델 4)으로 나누었다. 그림 2의 모델 1은 3개의 원판 모양의 cryopanel을 등간격으로 위치시킨 것으로 sorption element는 각 원판 밑면에 부착하였다. 모델 2는 윗면이 막힌 실린더 모양의 panel 밑면에 띠모양의 skirt가 붙은 형태이며 skirt 길이에 따라서 그림과 같이 3가지로 분류하였다. 띠모양의 skirt 각도는 모두 45°이고 skirt 사이는 모두 등간격이다. 모델 2-1의 skirt 높이는 2 cm로 모두 같고, 모델 2-2는 첫번째 2 cm에서 마지막은 4 cm로 점진적으로 증가하며, 모델 2-3은 첫번째 2 cm에서 3번째 4 cm까지 증가하다가 다시 2 cm로 감소하는 형태이다. Sorption element는 모든 skirt 밑면과 실린더 안쪽면과 바깥면에 부착되었다. 모델 3은 크기가 다른 접시 형태를 크기 순서로 배치한 형태이다. Sorption element는 각 접시 형태의 원판 밑면에만 부착하였고 최하단 밑면접시를 제외하고는 radiation shield와 충돌한 가스분자가

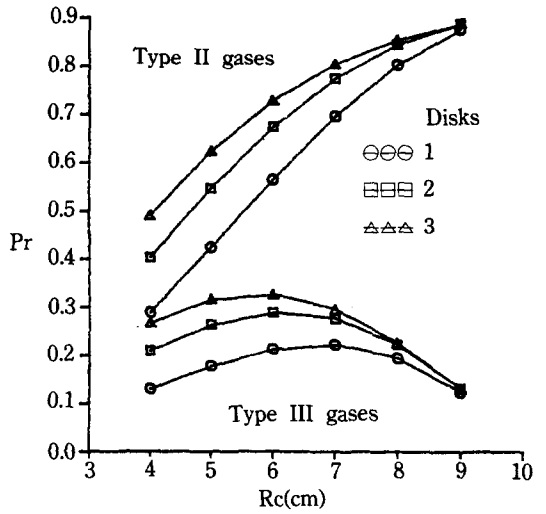


그림 3. 원판형 array의 총 pumping 확률(원판간격 3 cm).

직접 sorption element로 입사하는 것을 방지하기 위해서 각 접시 옆면 끝을 일직선상에 일치시켰다. 모델 4는 cryogenerator head를 둘러싸는 실린더에 실린더 옆면으로부터 30°, 60°, 90° cone 형태의 skirt를 붙인 형태이다. Sorption element는 실린더 내부와 외부 그리고 각 skirt의 밑면에 부착되었다.

Pump의 직경과 높이는 모두 20 cm로 고정하고 펌프입구에서 cryopanel 사이의 거리를 특별한 언급이 없는 경우 모든 모델에 대해서 2 cm로 고정하였다.

### 3. Array 형상별 Pumping 특성

#### 3.1. 모델 1(원판형 Array)

Cryopump array로서 가장 간단한 형태는 단순 원판이라 생각할 수 있다. 상업화된, 또는 기타의 모든 array는 원판의 끝부분에 약간의 변형을 가한 것으로 생각할 수 있으므로, 다른 실용적 array들의 성능판단의 기준으로서 단순원판형 array의 특성을 먼저 해석하였다. 먼저 array의 크기, 배치 또는 기체 종류에 상관없이 array가 baffle에 가깝게 설치될수록 pumping 효율은 증가한다[1]. Array의 윗면과 아랫면 모두에서 pumping되는 type II 개스의 경우에는 원판의 크기가 증가할수록 pumping 속도가 증가하나 (증가율은 크기에 따라 둔화되지만), array의 아랫면에서만 pumping되는 type III 개스의 경우에는 pump-

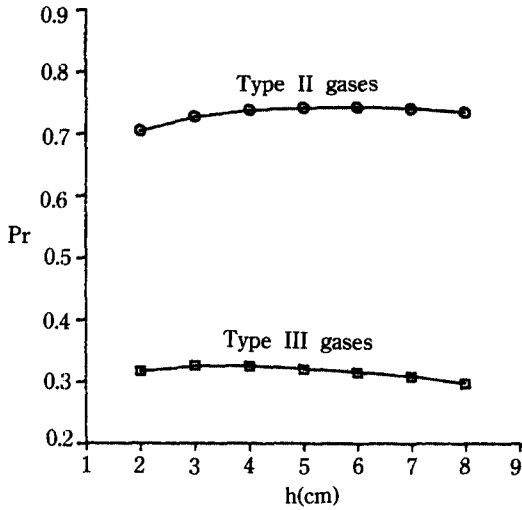


그림 4. 원판형 array에서 원판 간격에 의한 pumping 확률의 영향(원판직경 12 cm).

ing 효율을 최대로 하는 원판의 최적크기가 존재한다(그림3). 이 최적크기는 원판의 크기가 1장 일 때는 pump 크기의 70% 정도이고 원판의 수효가 늘어날 수록 약간씩 감소하여 원판 3장의 array에서는 직경의 60% 정도로 되며, 이는 기존의 결과[1]와 일치되는 결과이다. 원판의 수효가 증가하면 type II, type III 개스 모두의 경우에 pumping 속도가 증가하게 되나, 그 증가율은 원판 수효의 증가에 따라 감소한다. 최적직경을 갖는 원판의 경우를 예로 들면, 단일원판 일 때의 pumping 속도에 비하여, 원판 수효가 2로 증가했을 때 type II 개스는 20%, type III는 40%만이 증가하고, 원판의 수효가 3일 때는 type II 개스는 40%, type III 개스는 60%만이 증가된다. 전체적으로 type II 개스의 pumping 효율이 type III 개스의 pumping 효율보다 2~2.5배 높다. 이것은 대표적으로 Ar(type II)과 H<sub>2</sub>(type III)를 비교했을 때 H<sub>2</sub>의 pumping 속도가 Ar보다 1.5~2배 정도 높음을 의미한다.

원판 사이의 간격은 pumping 특성에 거의 영향이 없는 것으로 나타났으며, 다만 type III 개스인 경우에 원판 직경의 1/4 정도의 간격에서 pumping 속도가 최대가 되는 것으로 보이나 그 차이는 실질적으로 무시할 만하다(그림 4).

Array상의 국소적 pumping 분포를 조금 더 자세히 살펴보면, 먼저 제일 윗단의 경우, 윗면과 아랫면에 type II와 type III 개스 모두 상당히 균일하게

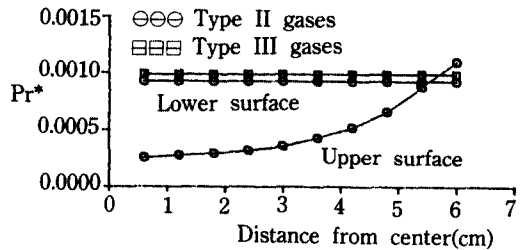
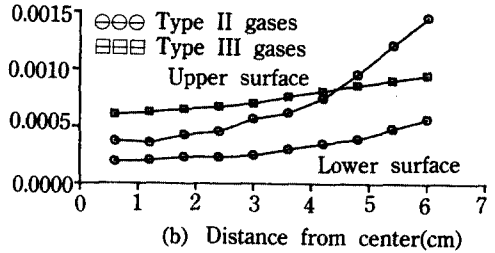
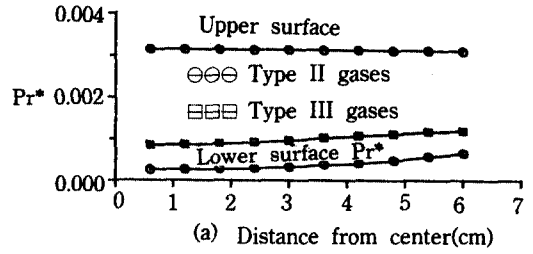


그림 5. 원판형 array의 국소 pumping 속도분포(Rc=6 cm, h=3 cm).

(a) 상단, (b) 가운데 단, (c) 하단

pumping이 이루어진다(그림 5(a)). 윗단에 국한할 때 type III의 pumping 확률은 type II의 20~25% 수준으로서, pump 전체의 평균(40~50%)에 비해 1/2에 해당한다. 아랫면 cryosorbent의 오염확률(type III 개스 pumping 속도에 대한 type II 개스 pumping 속도)은 Ar과 H<sub>2</sub>를 기준으로 할 때(평균속도비 1:√20) 5%정도의 수준으로서, 허용할 만하다. 가운데 단과 제일하단에 대해서도 마찬가지로 해석이 가능하며(그림 5(b), 5(c)), 이 세단의 결과를 종합해 보면 type III 개스는 3단에 거의 균일하게 pumping이 되고, type II 개스는 각단별 및 상하면 별로 심한 불균일을 보이는데, 가운데 단과 하단은 상단에 비해 각각 1/2과 1/3 정도의 pumping을 수행한다.

### 3.2. 모델 2(하향 Skirt)

3가지 type 모두 baffle과 panel 사이의 간격이 줄어들수록 type II, type III 개스 모두 pumping 효율이

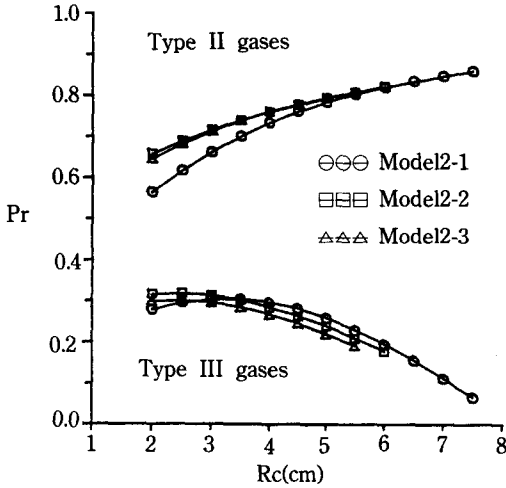


그림 6. 모델 2 array의 총 pumping 특성-직경의 영향 ( $H_i=10$  cm,  $n=5$ ).

증가한다. Type II 개스의 경우에는 panel 반경  $R_c$ 가 커질수록 pumping 효율이 커지고, 같은 panel 반경  $R_c$ 에서 모델 2-2와 모델 2-3은 모델 2-1에 비하여 유효반경이 증가한 효과가 있으므로 모델 2-1과 비교하여 높은 pumping 효율을 나타내는 경향이 single panel과 같으며, 전체적인 pumping 효율도 single panel과 거의 같다. Type III 개스의 경우, 모델 2-1에서는 single panel과 같이 최적유효직경( $\sim 60\%$ )이 잘 정의되지만 모델 2-2와 모델 2-3에서는 불균일한 skirt 길이 등으로 인하여 최적치가 뚜렷이 보이지 않으며, 5단에 대한 전체적인 pumping 효율도 single panel 경우의 2배 정도이다(그림 6). 각 skirt 윗면의 type II 개스 국소 pumping 속도분포는 3가지 모델 모두 skirt 끝단으로 갈수록 급격하게 증가하는 경향을 보이지만 모델 2-2와 모델 2-3는 하단으로 갈수록 띠 길이가 길어져 다량 응축 후에도 skirt 사이의 입구가 막히지 않는 장점이 있고, 대부분의 pumping이 상위 2개단에서 이루어지기 때문에 모델 2-2와 모델 2-3은 거의 같은 pumping 특성을 나타낸다(그림 7(a)). Skirt 밑면의 type II 오염 정도는 모델 2-1의 첫번째 skirt 밑면을 제외하고는 대체로 skirt 윗면의 1/10 정도의 적은양이 거의 균일한 분포를 취하고 있다(그림 7(b)). Skirt 밑면에서만 pumping 되는 type III 개스 역시 3가지 모델 모두 skirt의 panel 끝부분으로 갈수록 pumping 양은 급격하게 증가하고 그 양은 하단 panel로 갈수록 줄다가 5번째 panel에서 다시 증가하는

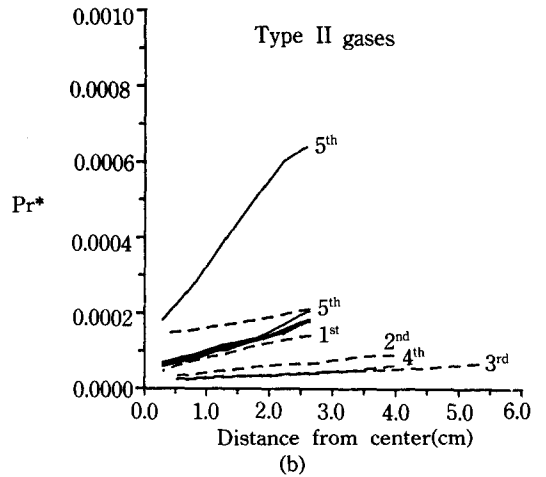
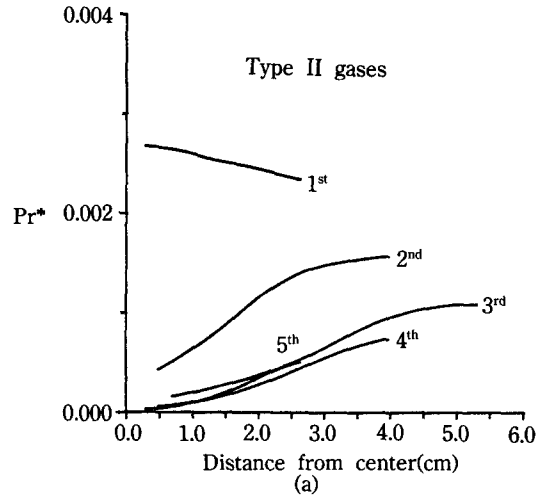


그림 7. 모델 2-3의 type II 개스 국소 pumping 속도분포.

(x: 실린더와 skirt 접촉지점으로부터의 거리)  
(a) 윗면( $R_c=3$  cm), (b) 밑면( $R_c=3$  cm); (---) 모델 2-3, (—) 모델 2-1.

경향을 나타낸다. 모델 2-2나 모델 2-3이 모델 2-1에 비하여 첫번째 skirt를 제외하고는 대체로 낮은 speed를 나타낸다(그림 8(a), 8(b)). 모델 2-2는 모델 2-3과 비교할 때 총 array 면적이 넓으면서 pumping 효율도 높으므로 모델 2-3에 비해 우수한 모델이라 할 수 있으며, 모델 2-1과 비교하면 type II 개스에 대해서는 speed도 크고 총 용량도 크나 type III 개스에 대해서는 pumping 용량은 큰 대신 균일도가 떨어지는 단점이 있다.

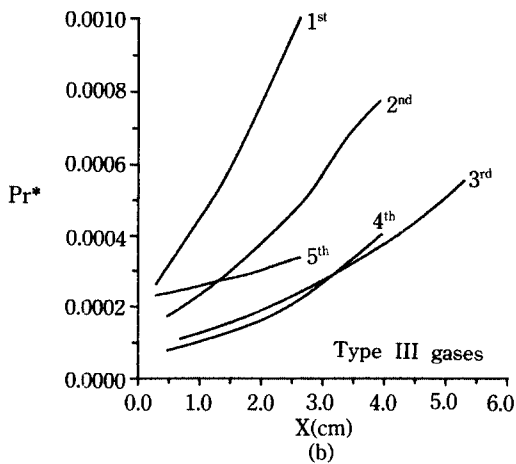
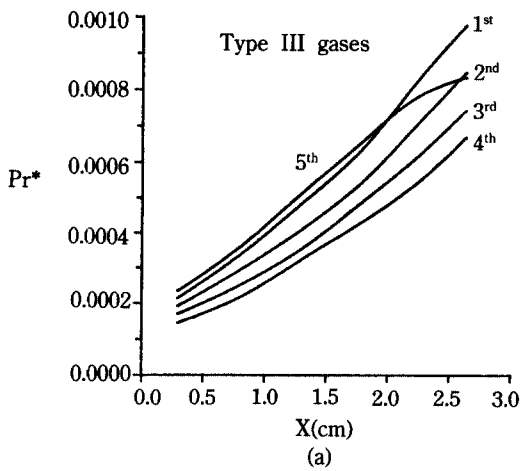


그림 8. 모델 2 array의 skirt 밀면 국소 pumping 속도 분포: Type III 개스  
(x: 실린더와 skirt 접촉지점으로부터의 거리,  $R_c=3\text{ cm}$ )  
(a) 모델 2-1, (b) 모델 2-3.

3.3. 모델 3(상향 Skirt)

이 모델은 앞에서 서술한 바와 같이 shield를 경유하여 sorption element로 직접가는 분자는 없기 때문에, type III 개스가 주된 pumping 개스일 경우 type II 개스의 contamination 없이 오랫동안 지속할 수 있어 재생주기를 길게 할 수 있는 특징이 있는 반면, 상단 skirt가 위로 벌려져 있기 때문에 baffle과 상단 skirt 사이의 거리가 짧아 type II 개스의 경우 큰 pumping 속도를 유지하지만 type III 개스의 경우는 상단 윗면에 충돌한 개스는 다시 입구로 되돌아 오는 확률이 많아 pumping 효율은 다른 효율에 비해

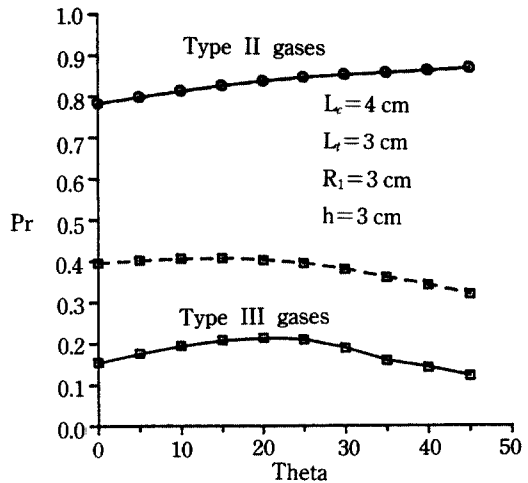


그림 9. 모델 3 array의 총 pumping 확률(--- sorption element가 밀면 전체에 부착된 경우, — 원판 밀면에만 부착된 경우).

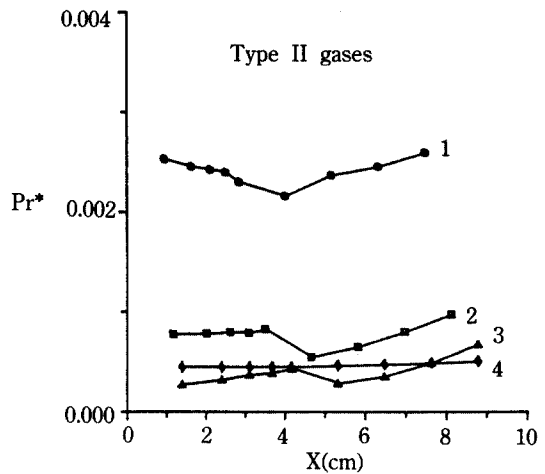


그림 10. 모델 3 array 윗면의 국소 pumping 속도분포 ( $\theta=45^\circ$ ).  
(x: 중심으로부터 panel을 따른 거리, 1~4는 위로부터의 panel 순서).

30% 정도 적은 값을 보인다. 각 panel 끝단의 skirt 부분까지 sorption element를 붙이면, 물론 그 부분의 type II 개스의 오염은 있지만, type III 개스의 초기 pumping 속도는 2배로 향상시킬 수 있다(그림 9).

Sorption element가 원판 밀면에만 부착된 경우에 type III 개스의 국소적 pumping 속도는 거의 균일한 분포를 보이고 절대적인 양은 다른 모델의 경우보다 큰 값을 나타내지만, sorption element를 skirt 밀면

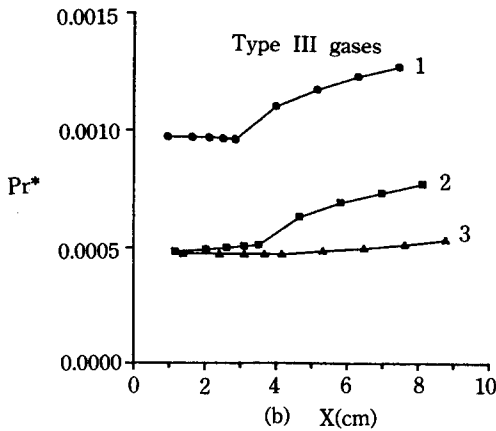
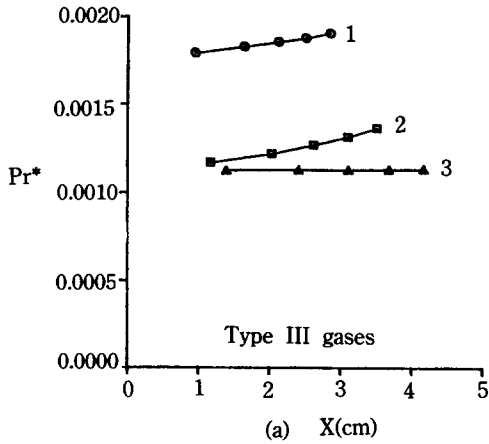


그림 11. 모델 3 array의 각 원판 panel 밀면의 국소 pumping 속도분포; 1. 첫번째 panel, 2. 두번째 panel, 3. 세번째 panel.  
(a) 원판 밀에만 sorption element를 붙인 경우 ( $\theta=20^\circ$ ), (b) sorption element가 panel 밀면 전체의 부착된 경우( $\theta=15^\circ$ )

까지 붙일 경우 이 절대적인 양은 오히려 반정도까지 줄며, 이 때 이 부분의 type II 개스에 의한 오염 정도는 최상단의 띠를 제외하고는 다른 모델과 비슷한 정도이다. Type III 개스의 국소 pumping 속도도 대체로 일정한 분포를 보이고 있으므로(그림 10-11) type III 개스가 주된 부하인 경우 이 모델이 다른 모델보다 우수하다.

3.4. 모델 4(방사형 Array)

이 모델의 변수로는 baffle과 panel 사이의 거리 Hc, panel 실린더 직경 Di 그리고 skirt 길이 Rc가 있다. 이 변수 중 Di의 영향은  $Rc+Di/2$  즉 L이 일정한

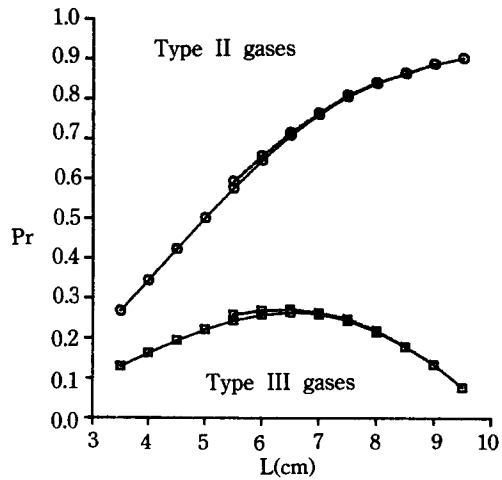


그림 12. 모델 4 array의 총 pumping 확률(--- Di=0 cm, — Di=4 cm).

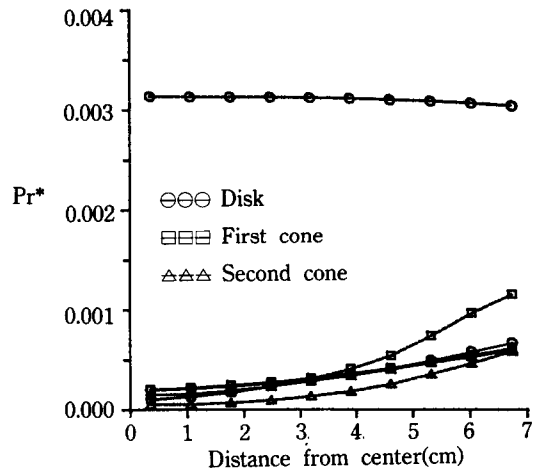


그림 13. 모델 4 array의 type II 개스 국소 pumping 속도분포(Di=0, Rc=6.5 cm) (--- 윗면, — 밀면).

경우 type II, type III 개스 모두 Di가 작을수록 pumping 효율이 약간은 증가하나 거의 무시할 수 있는 정도의 효과를 나타내며, 다른 모델과 마찬가지로 type II 개스의 경우는 L이 증가할수록 pumping 효율이 증가하고, type III 개스의 경우는 pump 직경이 65% 정도의 값에서 최대의 pumping 효율을 갖는다(그림 12). 국소 pumping 속도분포는 최상단 원판 윗면에서의 type II 개스의 경우는 매우 균일하게 되어 있으나, 이외의 면에서는 type II와 type III 개스 모두 중심에서 가장 낮고 가장자리로 갈수록 증가한다(그림



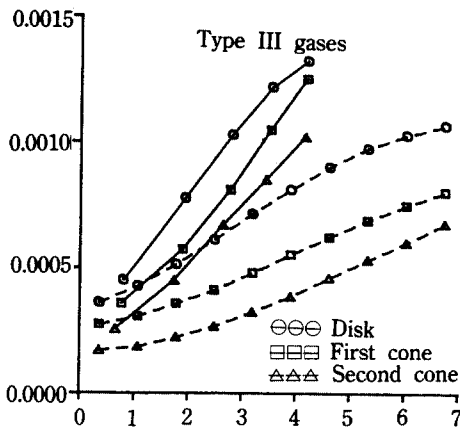


그림 14. 모델 4 array의 type III 개스 국소 pumping 속도분포( $D_i + R_c = 6.5$  cm)  
(---  $D_i = 0$ , —  $D_i = 4$  cm).

13, 14).

#### 4. 결 론

지금까지 여러 종류의 대표적인 cryoarray에 대한 pumping 특성계산 결과를 보면, type II 개스의 pumping speed에 있어서는 array 종류에 따라서 거의 차이가 없고, 주로 제일 전면 array의 단면적에 의해 좌우된다고 볼 수 있다. 따라서 type II 개스가 90% 이상을 이루는 pumping의 경우에는 multi panel이 아닌 single panel로서도 원하는 pumping speed를 얻을 수 있으며, 또한 가급적 큰 직경의 array를 이용하는 것이 바람직하다.

Type III 개스가 상당량 존재할 경우에는 array의 기하학적 형상에 관계없이 array의 직경을 pump body 직경의 60% 정도로 유지하는 것이 type III 개스의 pumping에 가장 유리하며, array가 cap 모양에서 single disk, 그리고 cup 모양으로 바뀌면서, 즉 중앙 disk에 부착된 skirt가 상단을 향할수록 type II

개스에 대한 type III 개스의 pumping speed가 상대적으로 증가한다. 따라서 type II 개스와 type III 개스의 상대적인 속도에 의하여 array의 기본형상이 결정되며, multi panel의 수효는 역시 type III 개스의 total capacity에 의해서 결정된다. 대표적으로 Ar과  $H_2$ 를 상대로 생각하면 두 기체의 평균속도가 약 1:4 임을 고려할 때, 대부분의 panel array 형상에서 Ar과  $H_2$ 의 pumping speed를 1:1로 하는 것이 거의 무리없이 가능하며, 모델 3 type의 array에서 밀면을 모두 charcoal로 입혔을 경우에는  $H_2$ 의 pumping speed가 Ar보다 2배 정도 되는 array도 가능하다. Sorption element 상의 pumping 균일도에 있어서도 skirt의 각도가 위로 향하면서 보다 균일해지는 경향이 있으므로 바람직하다. 물론 이 경우 shield로부터 오는 77 K radiation이 charcoal 면상에 직접 떨어질 때 photo induced desorption이 증가하는 현상이 있으나 이 양은 대개의 경우 무시할 만하다.

이상의 결과들은 dynamic effect를 무시한 초기 pumping speed만의 해석에 의한 결과이므로 최적의 설계를 위해서는 dynamic effect에 대한 연구가 수행되어야 한다.

#### 참고문헌

1. J. W. Lee and Y. K. Lee, *Vacuum* **42**, 555 (1991).
2. 이진원, 이영규, 한국진공학회지 **1**(1), 16 (1992).
3. C. W. Oatley, *Br. J. Appl. Phys.* **8**, 15 (1957).
4. X. Tingwei *et al.*, *Vacuum* **39**(6), 543 (1989).
5. M. M. Weiner, J. W. Tindall and L. M. Candell, Paper No. 65-WA/HT-51, ASME, Nov. (1960).
6. M. J. Eacobacci and D. A. Olsen, US Patent No. 4546613 (1985).
7. D. A. Lessard and B. R. Andeen, US Patent No. 4718241 (1988).
8. Kadi, US Patent No. 4530213 (1983) 71.: Bartlett *et al.* US Patent No. 4356701 (1981).
9. K. Ikegami *et al.*, *Vacuum* **38**(2), 99 (1988).