

원판형 드래그펌프 채널형상의 성능에 미치는 영향

권명근[†] · 이승재* · 황영규**

The Effect on Performance of Disk-type Drag Pump Channel-type

Myoung-Keun KWON[†], Seung-Jae LEE* and Young-Kyu HWANG**

Key Words: Disk-type Drag Pump(원판형 드래그펌프), Compression Ratio(압축비), DSMC(직접 모사법),

Abstract

The pumping characteristics of a disk-type drag pump (DTDP) from free molecular flow region to the slip flow region are calculated by the direct simulation Monte Carlo (DSMC) method. In this study, the pumping performance is studied numerically for several channel depths. The interaction between molecules is modeled by variable hard-sphere (VHS). The no time counter method is used as a collision sampling technique. The clearance between rotor and stator is considered an effect on performance. Spiral channels are cut on both upper and lower sides of rotating disks, and stationary disks are planar. A three-dimensional DSMC method for the analysis of steady rarefied flows in a single-stage DTDP has been developed. Velocity and density fields were obtained by the DSMC simulation in the rotor. The present experimental data in the outlet pressure range of $7.5 \times 10^{-3} \sim 4$ Torr were compared with the DSMC results in the single-stage DTDP. Comparison between the experimental data and DSMC results showed good agreement.

1. 서 론

최근에 반도체산업 및 재료산업 분야에서 고청정 및 대유량이 요구되는 CVD(chemical vapor deposition), 이온주입(ion implantation), 에칭(etching), 스퍼터링(sputtering)등의 작업공정에 터보형 드래그펌프가 많이 이용되고 있다.

드래그펌프는 고속으로 회전하는 날개에 의해 기체분자들이 매우 큰 운동량을 전달받아 연속적

으로 진공공간으로부터 출구측으로 압축·배기되게 하는 펌프이다.⁽¹⁾ 이러한 터보형 드래그펌프는 크게 Holweck 형태인 원통에 나선형 홈이 있는 헬리컬 드래그펌프와 Siegbahn 형태인 원판에 홈이 있는 원판형 드래그펌프로 구분된다. 터보형 드래그펌프는 대유량에 적합할 뿐만 아니라 10^{-6} Torr 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축하여 배기 할 수 있다.

터보형 드래그펌프는 현재 전 세계적으로 반도체 수요의 증가와 국내 반도체 제조업의 성장에 따라 엄청난 양의 수요가 증가하고 있는 상황이다. 그러나 국내의 터보형 드래그펌프의 생산은 전무하며, 전량 수입을 하고 있는 실정이다. 그래도 아직은 터보형 드래그펌프의 세계시장도 초기단계이며, 현재 국내수준으로도 충분한 경쟁력이 있다고 판단된다. 이런 의미에서 본 연구의

[†] 성균관대학교 대학원

E-mail : skukwonk@chollian.net

TEL : (031)290-7499 FAX : (031)290-5849

* 성균관대학교 대학원

** 성균관대학교 기계공학부 교수

의의가 크다고 하겠다.

원판형 드래그펌프에 대하여 Shi등⁽²⁾은 이론적 및 실험적으로 성능특성을 파악하였다. Heo와 Hwang^{(3),(4)}은 DSMC(direct simulation Monte Carlo)법을 이용하여 분자천이영역에서의 원판형 드래그펌프에 대한 성능해석을 수치해석적으로 수행하였다.

본 연구에서는 채널형상의 성능 영향중 Fig. 1과 같은 형상의 원판형 로터와 평평한 스테이터 사이의 간극에 따른 성능에 미치는 영향을 살펴보고자 하며, 속도벡터와 압력분포 등의 원판형 드래그펌프의 성능을 파악하고자 한다.

2. 해석모델과 실험장치 및 방법

2.1 해석모델

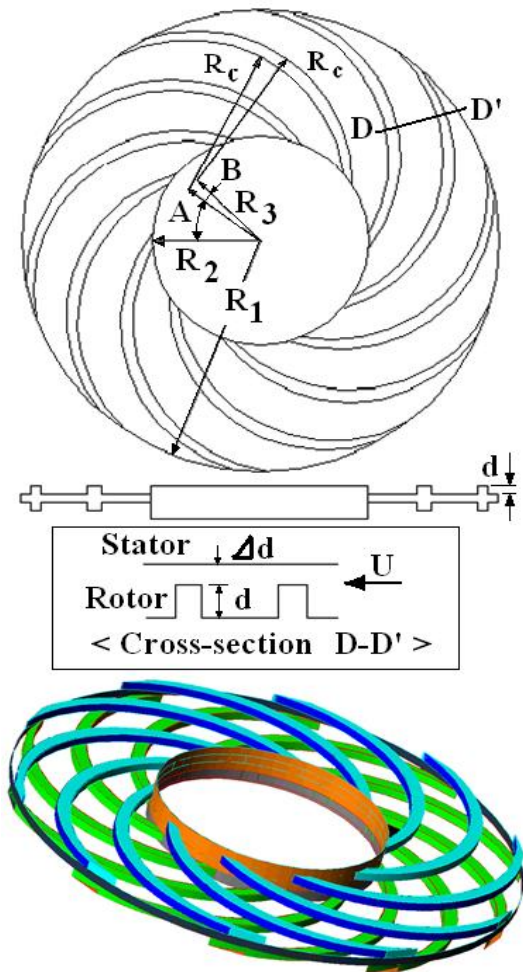


Fig. 1 Geometry of a disk-type rotor

Table 1 Geometrical parameter of rotor.

outer radius	R_1	86 mm
inner radius	R_2	39 mm
clearance	Δd	0.1, 0.3, 0.7 mm
depth of channel	d	3 mm
angle of channel inlet	A	36°
angle of channel wall	B	8°
radius of channel	R_c	56mm
radius of channel center	R_3	32mm

본 연구에 사용된 원판형 드래그펌프의 로터에 대한 기하학적 형상과 재원을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

본 연구의 원판형 로터채널에 대한 해석모델의 형상을 아래 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2는 전체 회전자의 회전유동이 일어나는 유동채널 중 실제 해석에 사용되는 유동의 격자를 나타낸 것이다. 해석에 사용된 격자구조는 크게 5개 부분으로 나누어 수치해석을 수행하게 된다. 본 연구에 사용된 원판형 로터의 구조가 윗면과 아랫에 각각 나선형 채널이 있다. 우선 블록1은 로터의 유동의 유입부이며, 블록5는 로터의 유동의 출구쪽이다. 블록2는 로터의 윗면에 형성된 유동채널이며, 블록4는 로터의 아랫면에 형성된 유동채널이 된다. 그리고 블록3은 로터와 펌프의 케이싱벽사이의 간극부분의 격자를 나타내고 있다.

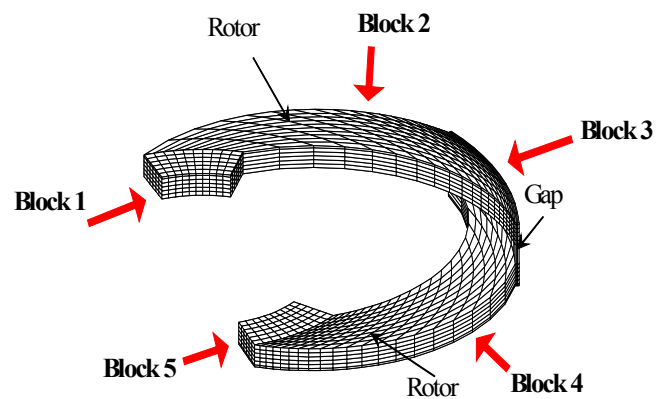


Fig. 2 Computational grid model for a single channel of disk-type drag pump

2.2 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치의 구성은 Fig. 3, 에서 보이는 것과 같이 장치를 구성하여 성능실험을 수행하였다. 장치구성에는 원판형 드래그펌프와 진공압력 측정용 진공계이지, 후단펌프, 가스(N₂)유량 측정을 위한 유량계(MFC), 펌프부에는 24,000rpm으로 회전하는 모터부분을 제어하기 위한 주파수 변환기를 두어 실험을 수행하였다. 그리고 원판형 드래그펌프 입구측과 출구측에 각각 피라니 게이지를 설치하였으며, 입구압력이 고진공인 경우에는 이온 게이지를 이용하여 측정하였다.

2.2 실험방법

드래그펌프는 출구압력이 10Torr 가까이 되면 열발생이 매우 커지게 됨을 관찰하였으며, 본 연구에서는 압력범위를 0.01~4Torr로 제한하여 실험을 실시하였다.

실험은 먼저 후단펌프를 가동시켜 펌프내부의 압력이 드래그펌프가 작동할 수 있는 조건이 되도록 충분히 배기한다. 작동요구조건에 맞는 10⁻² Torr이하의 진공도가 유지되면 드래그펌프 및 펌프에 부착된 냉각시스템을 구동시킨다. 시스템이 정상적인 작동온도와 일정한 압력이 얻어지면 테스트가스를 주입한다.

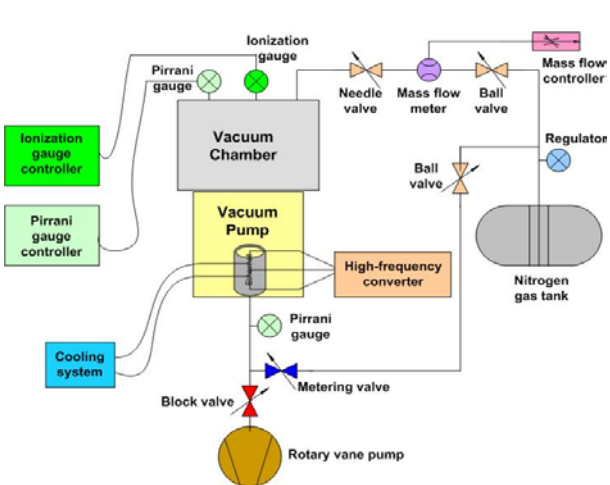


Fig. 3 Schematic diagram of the experimental apparatus.

본 연구에서는 테스트 기체로 질소(N₂)를 사용하였으며, 유입기체의 유량조절은 유량계(MFC)와 리크밸브(variable leak valve)를 이용하여 제어하였다. 출구압력은 메틸링 밸브를 이용하여 조절하였으며, 요구하는 압력에 도달하였을 경우 출구압력변화에 따른 입구압력 즉, 챔버의 압력값을 측정하였다.

3. 해석 결과

3.1 실험결과와 수치해석결과 비교

본 연구에서는 Fig. 1의 구조를 가진 로터를 제작하여 펌프내부의 로터로 사용하여 실험을 수행하였다. 원판형 로터의 회전 유동장에서 유량변화에 따른 압력차를 Fig. 4에 나타내었으며, 수치해석결과와 비교하였다.

회전되는 로터주변 유동장내에 유량(Q)이 증가할수록 출구측압력과 입구측압력의 압력차 ($P_2 - P_1 = \Delta P$)가 작아짐을 확인할 수 있는데, 이는 유량증가에 따른 압축비의 감소를 의미하는데 수치해석결과와 실험결과의 경향이 잘 일치함을 확인할 수 있다. 고속으로 회전하며 수백 배의 압력차를 보이는 곳에서는 DSMC법이 유용하다고 볼 수 있다.

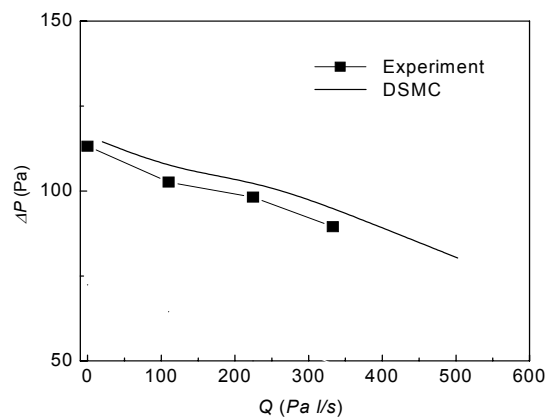


Fig. 4 Pressure difference vs throughput for disk-type drag pump

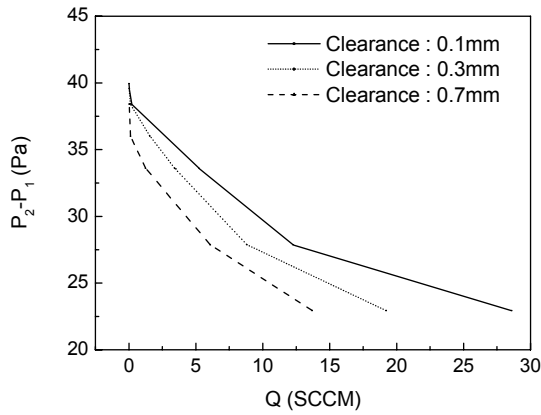


Fig. 5 Pressure difference vs throughput for disk-type drag pump at various clearance between rotor and stator (channel depth : 3mm).

3.2 간극에 따른 수치해석결과

터보형 드래그펌프의 원판형 로터과 평평한 스테이터 사이의 간극(Fig. 3의 Δd)의 크기 ($\Delta d = 0.1, 0.3, 0.7\text{mm}$)에 따라서 펌프의 성능을 DSMC법을 이용한 수치해석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 유량이 0SCCM일 때는 간극에 대한 영향이 거의 없는 것으로 나오고 있지만, 유량이 있을 때는 성능의 큰 차이를 보이고 있다. 특히, 간극이 넓어질수록 유량에 대한 성능이 작아짐을 확인할 수 있다. 압력차($P_2 - P_1$)가 23Pa일 때 간극이 0.1mm인 경우는 유량 28SCCM정도 되지만, 간극이 0.7mm인 경우는 14SCCM정도로 두 배의 배기유량 성능차이를 보이고 있다. 이 처럼 터보형 진공펌프에서 회전익과 고정익 사이의 간극은 펌프 성능에 매우 중요한 요소 중에 하나이며, 이 영향이 수치해석 결과로 잘 설명되어지고 있다.

채널 간극(Δd)과 높이(d)의 비를 무차원하여 드래그펌프의 최대 압축비를 Fig. 6에 나타내었다. 채널 간극 대 높이의 비($\Delta d/d$)가 작을 경우 즉, 채널의 간극이 작을수록 높은 압축비를 나타내고 있는데, 간극 대 높이 비가 0.06일때는 압

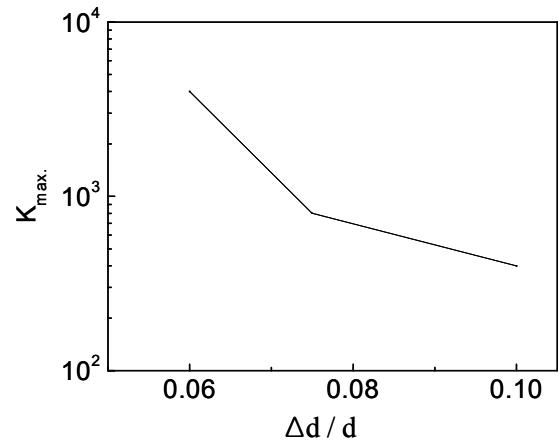


Fig. 6 Comparison of compression ratio for channel depth size

축비가 1400정도 나타내고 있으며, 0.1인 경우는 400정도로 간극에 대한 영향이 잘 나타나 있다.

로터 채널중 하나의 채널에 대한 유동장의 수치해석결과를 Fig. 7과 8 각각에 나타내었다. Fig. 7은 로터와 스테이터 사이의 간극이 각각 0.1mm, 0.3mm, 0.7mm 일 때 각각의 유동장의 속도 벡터를 나타낸 것이다. 유동장의 입구측(Fig. 2의 회전익 윗면의 채널)에서 보면 압력면(PS; pressure surface) 쪽에서 분자들이 일정한 속도를 가지고 흡입면(SS; suction surface) 쪽으로 무난하게 잘 빠져나감을 볼 수 있다. Fig. 2의 블록 3부분(radial gap)인 로터와 펌프의 케이싱 벽면과의 간극사이로 많은 수의 분자들이 모여 로터 아래 부분의 채널로 유출됨을 볼 수 있다. 로터 아래 부분의 유동장을 보면 흡입면(SS; suction surface) 쪽에서 분자들이 빠른 속도를 가지고 압력면(PS; pressure surface)으로 유출되고 있다. 세 가지 간극에 대한 유동장에 대한 속도 벡터를 살펴본 결과 분자들이 막힘 없이 흡입에서 유출까지 빠른 속도벡터를 가지고 이동하고 있음을 알 수 있다.

채널내부 유동장의 압력분포를 Fig. 10에 나타내었다. 세 가지 간극 중 0.1과 0.3mm인 경우는 흡입쪽인 윗면의 채널에는 분자들이 배기되었고, 아래쪽 채널쪽에만 분자들의 압력분포만 형성되어 배기되고 있음을 나타내고 있다. 반면에

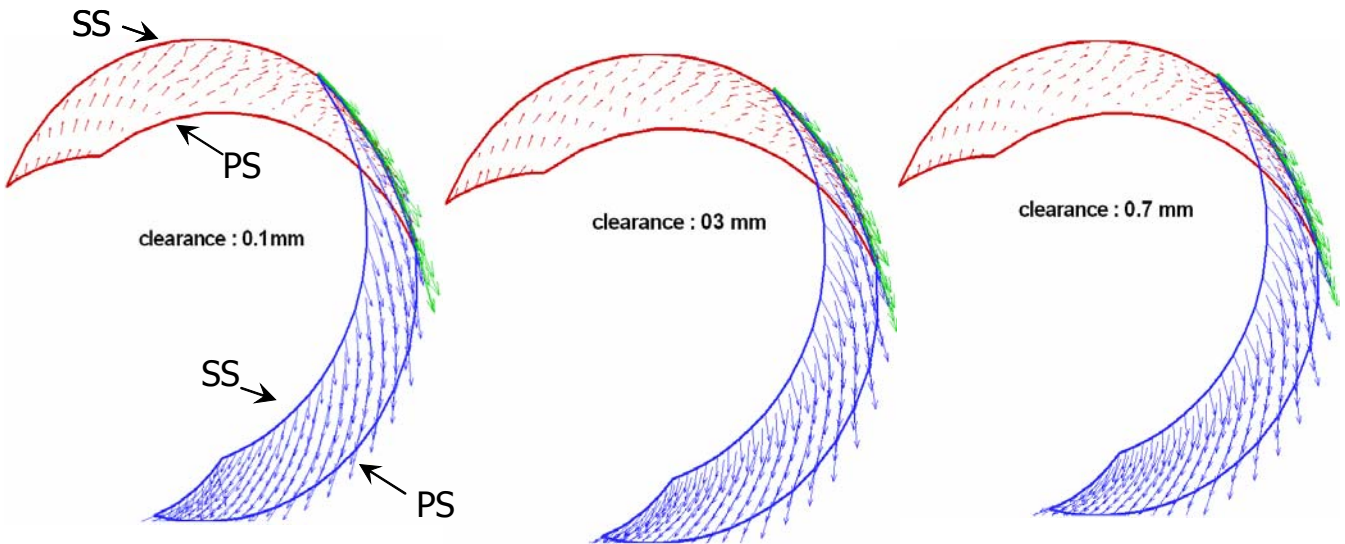


Fig. 7 Flow fields for steady computations : velocity vectors.

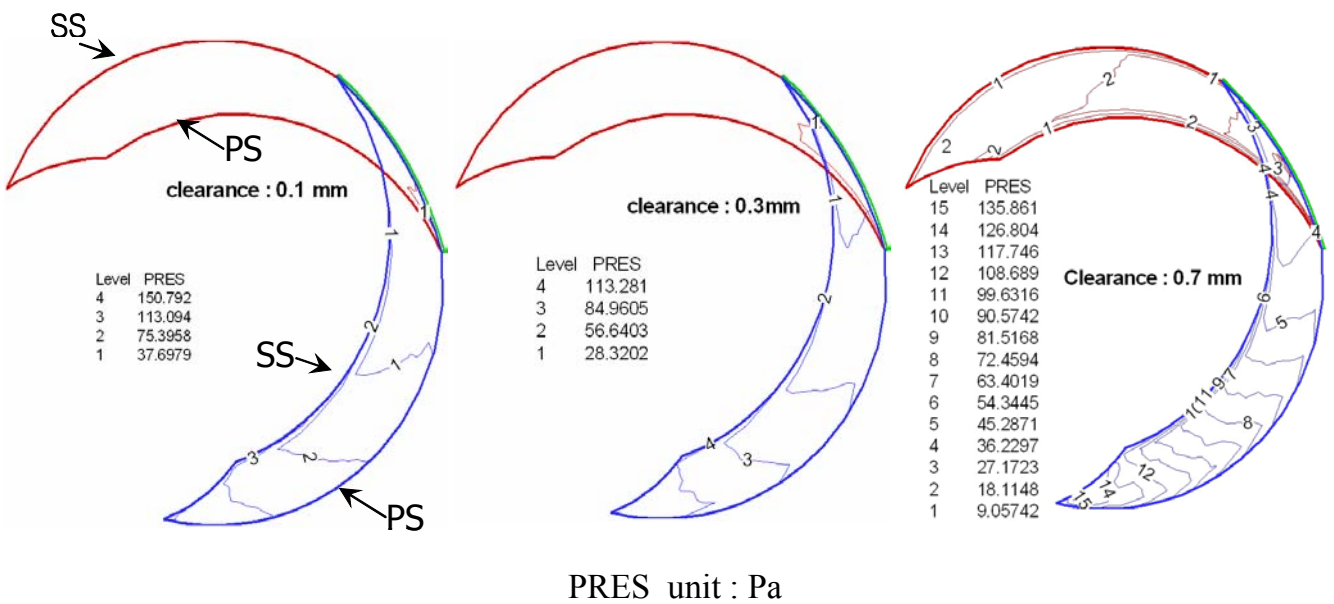


Fig. 8 Flow fields for steady computations : pressure contours.

간극이 0.7mm인 경우는 회전익의 위, 아래채널의 모든 지점에서 압력분포를 보이고 있는데 이는 간극이 넓어짐에 따라 배기된 분자들이 넓은 간극틈 사이로 다시 역류하기 때문에 전 영역에서 압력분포를 나타내고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 원판형 드래그펌프의 로터와 스테이터 사이의 간극에 대한 성능영향을 수치해석적으로 살펴보았다. 간극이 작을수록 펌프내부의 유동 채널에서 역류가 적게 일어남을 수치해석결과(Fig. 8 참조)를 통하여 확인할 수 있었다. 따라서 원판형 드래그펌프의 로터와 스테이터 사이의 간극이 작을수록 펌핑 성능은 좋아질 것으로 예상된다.

간극대 채널높이비($\Delta d/d$)에 따른 최대압축비를 나타낸 수치해석결과인 Fig. 6에서 보면, 많은 점을 수치해석결과 값으로 나타내지는 못했다. 향후 더 많은 점들에 대한 계산을 수행하여 좀더 정확한 경향의 최대압축비값을 구해야 될 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-D00098).

참고문헌

- (1) Hablani, M. H., 1994, In Vacuum science and technology: pioneers of 20th century, edited by P. A. Redhead (AIP, New York).
- (2) Shi, L., Wang, X. Z., Zhu, Y. and Pang, S. J., 1993, "Design of Disk Molecular Pumps for Hybrid Molecular Pumps," *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 11, No. 2, pp. 426-431.
- (3) Heo, J. S. and Hwang, Y. K., 2002, Performance characteristics of single-stage disk-type drag pump, *J. Vacuum Science and Technology*, Vol. 20, No. 5, pp. 1621-1631.
- (4) Heo, J. S. and Hwang, Y. K., 2000, "Molecular Transition and Slip Flows in the Pumping Channels of Drag Pumps", *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 18, No. 3, pp. 1025-1034.