

희박기체영역에서의 나선형 홈을 가진 원판형 드래그펌프의 배기속도에 관한 실험적 연구

권명근*·양성민*·이승재*·황영규[†]·허중식**

An Experimental Study on Pumping Speed of Disk-Type Drag Pumps for Spiral Channels in Rarefied Gas Flows

Myoung-Keun Kwon, Seoung-Min Yang, Seung-Jae Lee
Young-Kyu Hwang and Joong-Sik Heo

Key Words: Pumping Speed(배기속도), Compression ratio(압축비), Ultimate Pressure(최대도달진공도)

Abstract

Experimental investigations are performed for the rarefied gas flows in a disk-type drag pump (DTDP). The pump considered in this paper consists of grooved spiral channel on rotors and planar stators. The flow-metre method is adopted to calculate the pumping speed. Compression ratio and pumping speeds for the nitrogen gas are measured under the inlet pressure range of 0.001~4 Torr. The maximum of compression ratio was about 3300 for three-stage DTDP, 1000 for two-stage and 100 for single-stage DTDP at zero throughput. The number of stage influences the pumping speed of DPDT

1. 서 론

과학기술의 고도화와 더불어 발전된 진공분야에 대한 연구는 항공우주산업과 반도체산업의 급속한 성장으로 인하여 첨단 산업분야의 진공문제를 해결하는 과정에서 많은 발전을 하였다. 그 활용분야는 반도체산업 및 제조업 분야에서와 같이 고청정 및 대유량(throughput)이 요구되는 경우에 부합되는 펌프로써 터보형 드래그펌프(drag pump)의 활용이 매우 활발하게 사용되고 있는 실정이다.

최근에는 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 연속적으로 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.⁽²⁾ 터보형 드래그펌프는 대유량에 적합할 뿐만 아니라 10^{-6} Torr 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한대의 펌프로도 기체를 압축·배기 할 수 있다.

터보형 드래그펌프는 현재 세계적인 반도체 수요의 증가와 국내 반도체 제조업의 성장에 따라 엄청난 양의 수요 증가가 발생하고 있는 실정이

[†] 성균관대학교 기계공학부

E-mail : ykhwang@yurim.skku.ac.kr

TEL : (031)290-7437 FAX : (031)290-5849

* 성균관대학교 대학원

** 성균관대학교

다. 국내의 대용량 드래그펌프 시장의 경우 전량 수입에 의존하고 있으며 국산화는 전혀 이루어지지 않고 있다. 하지만 터보형 드래그펌프에 있어서는 아직은 세계 시장의 상황도 초기단계에 있으며, 현재 국내의 기술수준으로도 충분한 경쟁력이 있다고 판단되므로 그러한 의미에서 본 연구의 의의는 크다고 하겠다.

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

이번에 수행한 연구에서는 기존연구에서 연구되어진 윗면에만 채널이 있는 로터(one-side channel disk-type rotor ; OSC)와 스테이터(stator)가 단단(單段)으로 구성된 원판형 드래그펌프의 성능해석 결과⁽⁴⁾를 바탕으로 위아래 양쪽면에 채널이 형성되어 있는 로터(both-side channel disk-type rotor ; BSC)와 스테이터를 단단 및 이단(二段)으로 구성한 드래그펌프와 BSC 로터 2단과 OSC 로터 1단이 결합된 3단 원판형 드래그펌프의 단의 수에 따른 성능을 실험적으로 비교·고찰하고자 한다.

기존의 연구에서는 헬리컬 드래그펌프⁽⁴⁾와 단단 OSC 드래그펌프를 수치해석 및 실험적으로 배기특성을 연구하였다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 2단 원판형(BSC), 단단 원판형(OSC, BSC) 두 가지 형태와 3단 원판형(BSC+OSC)등의 진공펌프의 성능을 비교하고자 한다. 펌프의 성능으로 최대압축비, 배기속도(pumping speed)등을 측정하여 단의 수에 따른 원판형 드래그펌프의 성능을 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치의 구성은 Fig. 1, 2에서 보이는 것과 같이 장치를 구성하였다. 장치 구성에는 원판형 드래그펌프와 진공압력 측정용 진공게이지, 후단펌프, 가스(N₂)유량 측정을 위한 유량계(MFC), 펌프부에는 24,000rpm으로 회전하는 모터부분을 제어하기 위한 주파수 변환기를 두어 실험을 수행하였다. 그리고 원판형 드래그

펌프 입구측과 출구측에 각각 피라니 게이지를 설치하였으며, 입구압력이 고진공인 경우에는 이온 게이지를 이용하여 측정하였다.

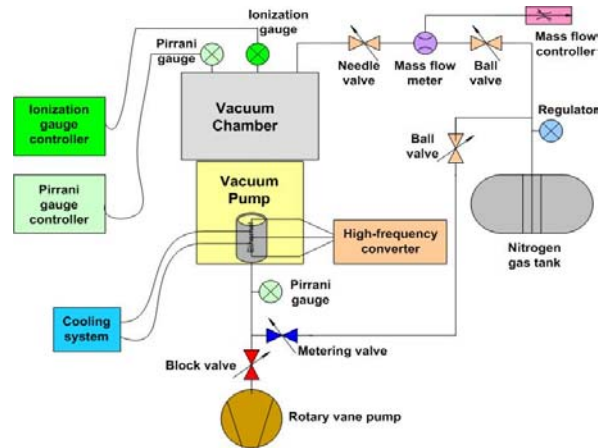


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

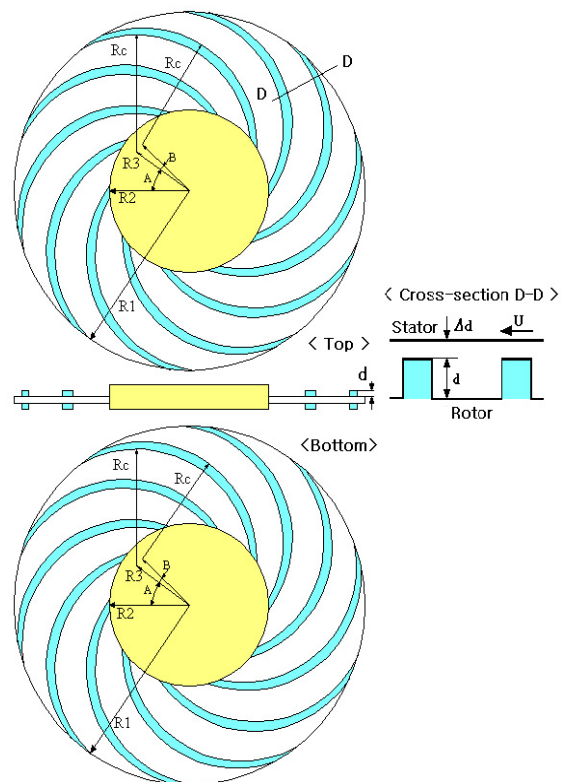


Fig. 2 BSC disk-type drag pump rotor.

Table. 1 Geometrical parameter of disk-type drag pump rotor (BSC & OSC disk-typerotor).

outer radius	R_1	86 mm
inner radius	R_2	39 mm
clearance	Δd	0.5 mm
depth of channel (BSC)	d	3 mm
depth of channel (OSC)		5 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

드래그펌프 로터(BSC)의 기하학적인 형상과 제원을 Fig. 2와 Table. 1에 각각 나타내었다.

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 배기 한다. 작동요구조건에 맞는 10^{-2} Torr이하의 진공도가 유지되면 드래그펌프 및 펌프에 부착된 냉각시스템을 구동시킨다. 시스템이 정상적인 작동온도와 일정한 압력이 얻어지면 테스트가스를 주입한다.

본 연구에서는 테스트 기체로 질소(N_2)를 사용하였으며, 유입기체의 유량조절은 유량계(MFC)와 리크밸브(variable leak valve)를 이용하여 제어하였다. 출구압력은 메탈링 밸브를 이용하여 조절하였으며, 요구하는 압력에 도달하였을 경우 출구압력변화에 따른 입구압력 즉, 챔버의 압력값을 측정하였다. 또한 유량변화(66SCCM, 135SCCM)에 따른 입구압력변화 등을 측정하여 원하는 실험결과를 얻을 수 있었고, 최종적으로 배기속도를 측정하여 원판형 드래그펌프의 성능을 종합적으로 파악해보았다.

3. 실험 결과

3.1 최대도달 진공도와 압축비

본 연구에서는 원판형 드래그펌프의 단의 수에 따른 배기특성을 실험적으로 고찰해보았다. 로터

와 스테이터를 직접 제작하여 성능실험을 수행하였으며, 펌프의 최대압축비, 유량변화에 따른 입구압력변화, 배기속도 등의 측정을 하여 기존의 연구결과와 비교·고찰하여 펌프의 성능을 실험적으로 해석하여 보았다.

유량이 없을 때(0SCCM) 단의 수가 많아질수록 출구압력변화에 따른 입구압력이 전구간에서 낮음을 Fig. 3에 나타내고 있다. 출구압력이 4Torr에서 2Torr사이의 구간에서는 입구압력이 대부분 급격히 낮아지고 있으며, 출구압력이 0.1 Torr이하의 구간에서는 3단과 2단으로 구성된

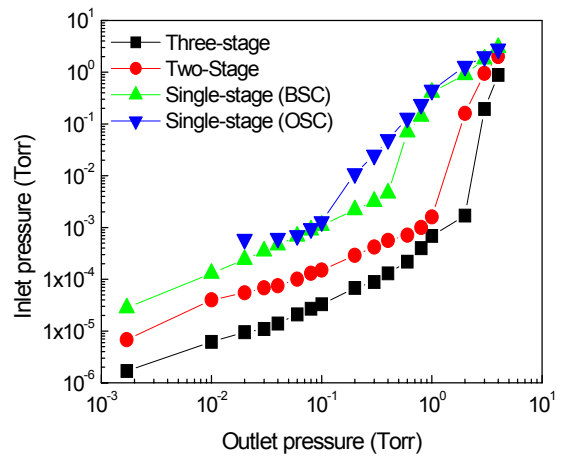


Fig. 3 Comparison of inlet pressure of the DTDPs

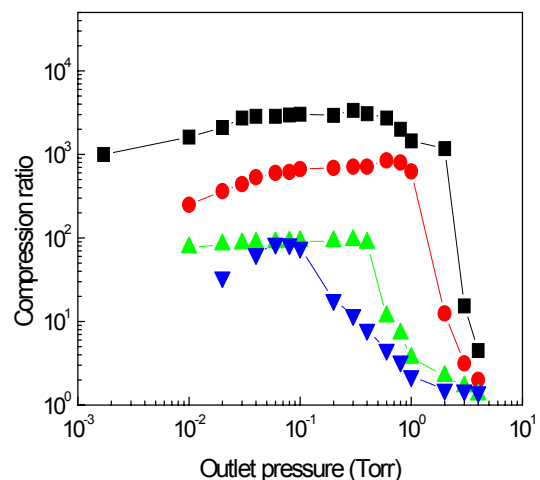


Fig. 4 Comparison of compression ratio of the DTDPs.

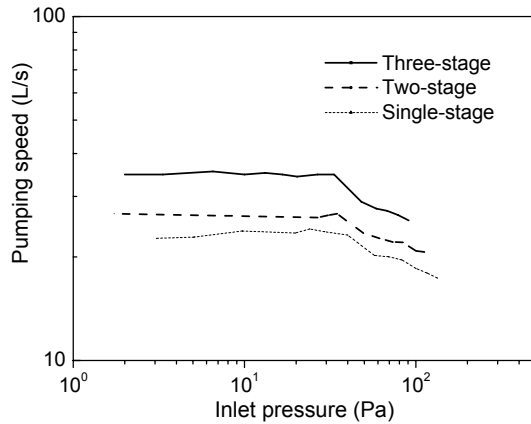


Fig. 5 Pumping speed vs inlet pressure.

원판형 드래그펌프의 입구압력이 선형적으로 낮아지고 있다. 마찬가지로 BSC 로터로 단단으로 구성된 경우도 같은 경향을 보이고 있다.

유량이 없을 때 출구압력변화에 따른 압축비를 Fig. 4에서 나타내고 있다. 출구압력이 0.3Torr 일 때 3400정도로 단의 수가 많은 3단 원판형 드래그 펌프의 압축비가 가장 높았다. 그리고 원판의 단의 수가 많아질수록 압축비가 일정해지는 경향을 확인할 수가 있는데 2단과 3단으로 구성된 경우는 한 단으로 구성된 경우보다 효율적으로 펌핑이 이루어지고 있다. 그것은 단의 수가 증가할수록 압축 능력이 증가하기 때문이다. 그리고, OSC형 단단 원판형 드래그펌프를 제외한 나머지 3단, 2단, BSC 단단형의 경우 출구측 압력이 낮아짐에 따라 어느 정도 안정된 성능을 보이고 있다.

3.2 배기속도

배기속도는 Fig. 5에서 보는 것과 같이 3단 원판형 드래그펌프의 경우 입구압력이 낮아질수록 특히 입구압력이 0.3Torr이하에서는 약 35 L/s의 일정하고 안정된 성능을 보이고 있다. 그리고 2단 원판형 드래그펌프의 배기속도를 살펴보면 약 25 L/s의 배기속도를 갖고 있는데, 입구압력이 낮아짐에 따라 불안정한 배기속도를 갖는 곡선을 보이고 있다. 이는 3단의 경우는 각 단에서 압축이 진행되고 있으며, 결국 단이 많을수록 압축 성능이 안정적으로 이루어지고 있기 때문에 2단 보다는 3단 원판형 드래그펌프의 배기속도가 일정

한 안정적인 곡선을 나타내는 것이다. 단단형의 경우 보다는 2단, 3단의 여러 단의 로터로 구성된 배기속도의 성능이 더 좋음을 관찰할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 원판형 드래그펌프에 있어서 원판의 단의 수에 따른 펌프의 배기속도와 도달 진공도 및 압축비를 비교·고찰 할 수 있었다.

원판형 드래그펌프의 경우 단의 수가 증가함에 따라 드래그펌프의 성능이 향상되는 것과 안정된 배기성능이 나타나는 것을 실험결과를 통하여 확인 할 수가 있었다. 배기속도의 경우 3단이 2단 보다는 성능면에서 상당히 안정된 배기성능을 보여 주었으며, 향후 4단 이상으로 구성하였을 때 단의 수에 따른 원판형 드래그펌프의 배기특성을 미리 파악 할 수 있는 기초적인 자료를 얻을 수 있었다.

후 기

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

참고문헌

- (1) Hablanian, M. H., 1994, In *Vacuum Science and Technology: Pioneers of 20th Century*, edited by P. A. Redhead(AIP, New York), pp. 126-132.
- (2) Hablanian, M. H., 1990, *High Vacuum Technology(A Practical Guide)*, Marcel dekker, Inc.
- (3) 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.
- (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.