

터보형 원판형 드래그펌프의 배기특성에 관한 실험적 연구

황영규*·허중식**·권명근***·이승재***

An Experimental Study on the Pumping Performance of the Turbo-Type Disk-Type Drag Pump

Young-Kyu Hwang*, Joong-Sik Heo**, Myoung-Keun Kwon***, Seung-Jae Lee***

Key Words : Drag pump(드래그 펌프), Compression ratio(압축비), Pumping speed(배기속도), Ultimate pressure(최대도달진공도)

Abstract

In this paper, the pumping performance of the disk-type drag pump which works in the outlet pressure range from 4 to 0.001 Torr is studied experimentally. The pumping characteristics of various drag pumps are performed. The inlet pressures are measured for various outlet pressures of the test pump. The flow-meter method is adopted to calculate the pumping speed. Compression ratios and pumping speeds for the nitrogen gas are measured. The present experimental data show the leak-limited value of the compression ratio in the molecular transition region. The rotational speed of the pump is 24,000rpm. The inlet pressures are measured for various outlet pressures of the test pump. The ultimate pressures for zero throughput are measured for three-stage, two-stage and single-stage disk-type, respectively.

1. 서론

최근에는 반도체산업 및 재료산업 분야가 급속도로 발전하고 있는 실정이다. 이들 산업현장에서는 고정칭의 진공공간이 요구되고 있는데, 이를 위하여 대(大)유량이 요구되는 CVD(chemical vapor deposition), 이온 주입(ion implantation), 에칭(etching), 스퍼터링(sputtering) 등의 작업공정에 터보형 드래그펌프가 많이 이용되고 있다. 이 터보형 드래그펌프는 현재 세계적인 반도체 수요의 증가와 국내 반도체 제조업의 성장에 따라 엄청난 양의 수요 증가가 발생하고 있는 실정이다. 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 배경이 있다고 하겠다.

드래그펌프는 고속으로 회전하는 날개에 의하여 기체분자들이 매우 큰 운동량을 전달받아 연속적으로 진공공간으로부터 출구측으로 압축배기되는 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 한 대의 펌프로도 기체를 압축배기 할 수 있다.

원판형 드래그펌프에 대하여 Shi^[3]은 이론적 및 실험적으로

성능특성을 파악하였다. 그리고 Heo와 Hwang^[4]은 DSMC(direct simulation Monte Carlo)법을 이용하여 분자천이영역에서의 원판형 드래그펌프에 대한 성능해석을 수치 해석적으로 수행하였다.

본 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^[5]를 바탕으로 위아래 양쪽면에 채널이 형성되어 있는 로터(both-side channel disk-type rotor ; BSC)와 평판형 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·고찰 하였다.

각각의 펌프성능은 최대 도달진공도, 최대압축비, 유량변화에 따른 입구압력변화, 배기속도(pumping speed)등을 측정하여 터보형 원판형 드래그펌프의 성능을 파악하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 실험장치구성에는 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, 입구측(챔버)압력이 고진공인 경우에는 이온계이지를 이용하여 압력을 측정하였다. 후단 펌프로는 2단 로터리 펌프(rotary vane pump)를 사용하였다. 그리고, 출구압력의 조절을 위하여 드래그펌프의 출구측에 Fig. 1에서 보는 것과 같이 미터링 밸브를 설치하여 출구측의 압력조절이 용이하도록 하였다. 실험에 사용된 기체인 질소는 가스탱크로부터 미터링 밸브쪽으

* 성균관대학교 기계공학부 ykhwang@yurim.skku.ac.kr

** 성균관대학교

*** 성균관대학교 대학원, skukwonk@chollian.net

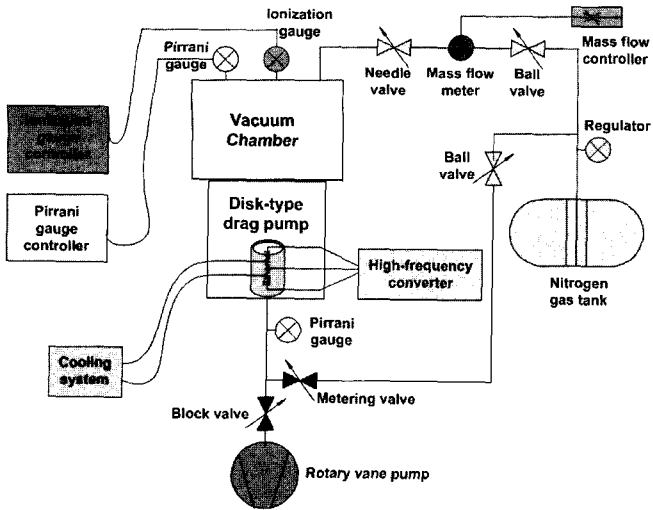


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

로 유입시켜 출구압력을 조절하도록 하였다. 그리고 실험용 드래그펌프는 로터리 펌프의 안정적인 작동을 위해서는 지나친 과열과 냉각을 막는 적절한 냉각 시스템이 필요하여 물을 이용한 수냉식 냉각방법을 채택하여 실험을 수행하였다.

원판형 드래그펌프 로터(BSC)의 기하학적인 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 2단 원판형 드래그펌프의 경우 Fig. 2와 3에서와 같이 양쪽 면에 채널이 형성된 BSC형 로터와 평평한 스테이터를 각각 2단으로 구성하여 성능실험을 수행하였고, 3단 원판형 드래그펌프의 경우는 3단중 아래의 2단은 BSC형 로터와 평평한 스테이터를 각각 구성한 후 나머지 상부의 한 개의 단은 윗면에만 채널이 형성된 OSC형 로터와 마찬가지로 윗면에만 채널이 형성된 스테이터를 사용하여 3단을 구성하여 실험을 수행하였다.

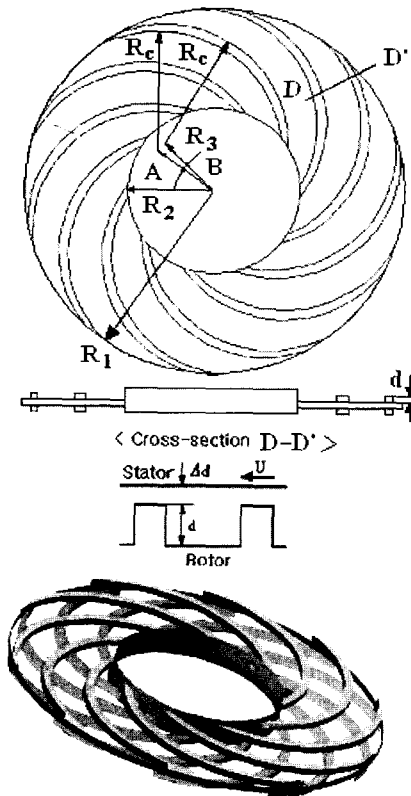


Fig. 2 Geometry of a BSC rotor.

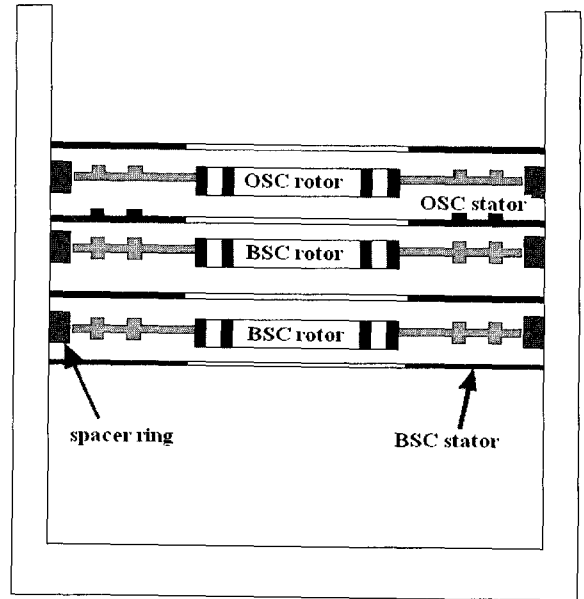


Fig. 3 Schematic diagram of the three-stage disk-type drag pump.

회전하는 로터의 상하부에는 스테이터가 구성되어 있으며, 스테이터와 로터사이의 간극은 각각 0.5mm로 하였으며, 자세한 기하학적 치수는 Table I에 나타내었다.

2.2 실험 방법

드래그펌프는 출구압력이 10Torr 가까이 되면 열발생이 매우 커지게 됨을 관찰하였으며, 본 연구에서는 압력범위를 0.001~4 Torr로 제한하여 실험을 수행하였다.

실험은 먼저 후단 펌프를 가동시켜 펌프내부의 압력이 드래그펌프가 작동할 수 있는 조건이 되도록 충분히 배기를 한다. 작동요구조건에 맞는 10^{-2} Torr이하의 진공도가 유지되면 드래그펌프 및 펌프에 부착된 냉각시스템을 작동시킨다. 시스템이 정상적인 작동온도와 일정한 압력이 얻어지면 테스트용 가스(N_2)를 주입한다.

본 연구에서는 테스트 기체를 질소(N_2)사용하였으며, 유입 기체의 유량조절은 유량계(MFC)와 리크밸브(variable leak valve)을 이용하여 제어하였다. 출구압력은 미터링 밸브를 이용하여 조절하였으며, 요구하는 압력에 도달하였을 경우 출구압력 변화에 따른 입구압력변화 등을 측정하여 원하는 실험결과를 얻을 수 있었고, 최종적으로 배기속도를 측정하여 원판형 드래그펌프의 성능을 종합적으로 파악하여 보았다.

Table I. Geometrical parameter of a disk-type rotor.

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

3. 결과 및 고찰

3.1 유량이 없을때의 성능고찰

유량이 없을 때(OSCCM) 단의 수가 많아질수록 출구압력변화에 따른 입구압력이 전구간에서 낮음을 Fig. 5에 나타내고 있다. 출구압력이 4Torr에서 1Torr사이의 구간에서는 입구압력이 대부분 급격히 낮아지고 있으며, 출구압력이 0.1Torr이하의 구간에서는 3단과 2단으로 구성된 단단 원판형 드래그펌프의 입구압력이 선형적으로 낮아지고 있다. 특히, 3단원판형 드래그펌프의 경우 출구압력이 0.0017Torr일 때 입구(챔버내부)압력이 1.7×10^{-6} Torr의 최대도달진공도가 측정되었다. 이 최대도달진공도는 배기를 72시간정도 연속적으로 배기를 실시한 결과 값이다.

출구압력변화에 따른 압축비를 Fig. 5에서 나타내고 있다. 3단의 압축비가 출구압력이 0.3Torr일 때 3400정도의 최대압축비로 다른 나머지 2단 과 단단형 보다 높았다. 그리고 단의 수가 많은 2, 3단의 다단의 경우 출구압력이 낮아질수록 압축비가 일정해지는 경향을 보이고 있다. 이는 상부의 한 개의 단은 배기성능을 수행하고 있으며, 나머지 하부의 단들은 압축역할을 수행하기 때문에 단단형 보다는 효율적으로 펌핑이 이루어지기 때문이다. 단 단형은 한 개의 단이 배기와 압축을 동시 수행하기 때문에 상대적으로 단단 보다는 낮은 압축성능을 보이고 있다.

3.1 유량이 있을때의 성능고찰

유량(N_2 기체) 200SCCM을 펌프의 입구쪽 즉, 챔버 내부로 유입시켰을 때 출구압력에 대한 입구압력의 변화를 Fig. 6에서 보이고 있다. 2단과 3단 원판형 드래그펌프의 경우 4Torr에서 2Torr로 출구압력이 낮아질 때 입구압력이 가장 큰 기울기를 가지며 낮아지고 있다. 단단 BSC형의 경우도 어느 정도의 큰 기울기를 가지며 입구압력이 낮아지고 있다. 반면에 단단 OSC형의 경우는 완만한 기울기로 입구압력이 낮아지고 있는 것으로 보아 한계 성능에 도달하여 펌핑이 잘 이루어지고 있지 않다. 전체적으로 4가지 형태 펌프들의 성능이 유량이 없을 때 보다는 입구압력이 높음을 알 수 있다.

유량이 200SCCM일 때 출구압력 변화에 따른 압축비의 변화를 Fig. 7에서 나타내고 있다. 앞서 결과에서 3단의 경우 최대압축비가 3400이였지만, 유량이 200SCCM일 때는 최대압축비가 겨우 20정도 밖에 되지 않고 있다. 나머지 2단과 단단 BSC도 마찬가지로 각각 9와 4정도의 낮은 압축비를 보이고 있으며, 단단 OSC는 압축이 거의 이루어지지 않고 있음을 확인 할 수 있다. 앞선 결과 그래프 Fig. 5에서와 마찬가지로 Fig. 7에서 보면 단단으로 구성된 2, 3단의 경우가 단단형 보다는 입구압력과 압축비 면에서 더 나은 성능을 보이고 있다. 그리고 로터와 스테이터가 모두 윗면에만 채널이 형성된 단단 OSC 보다는 스테이터는 평판이고 로터의 윗면과 아랫면에 채널이 형성된 단단 BSC의 경우가 성능면에서 더 유리함을 유량이 있을 때의 실험을 통해 확인 할 수가 있다.

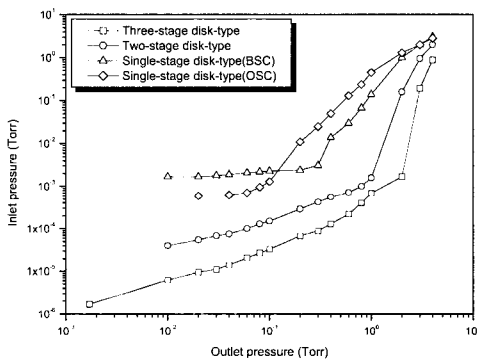


Fig. 4 Comparison of inlet pressure of the vacuum pumps at zero throughput.

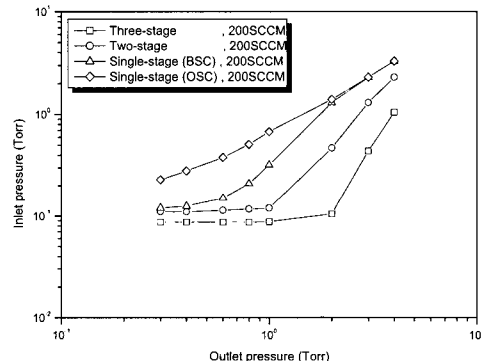


Fig. 6 Comparison of inlet pressure of the vacuum pumps at 200 SCCM.

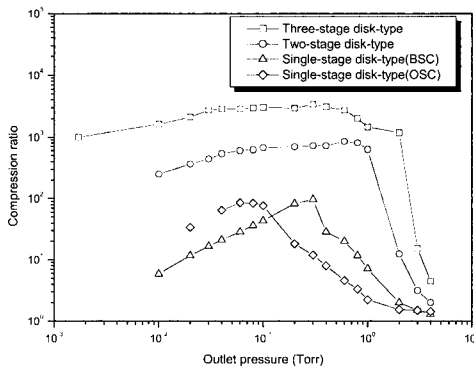


Fig. 5 Comparison of compression ratio of the vacuum pumps at zero throughput.

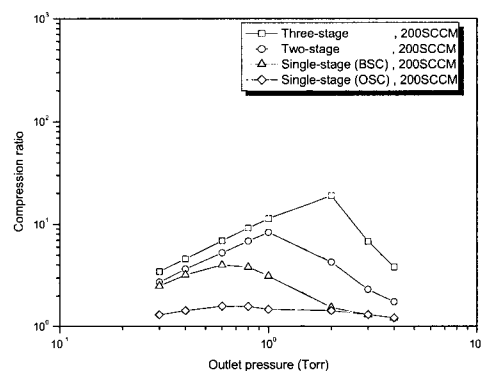


Fig. 7 Comparison of compression ratio of the vacuum pumps at 200 SCCM.

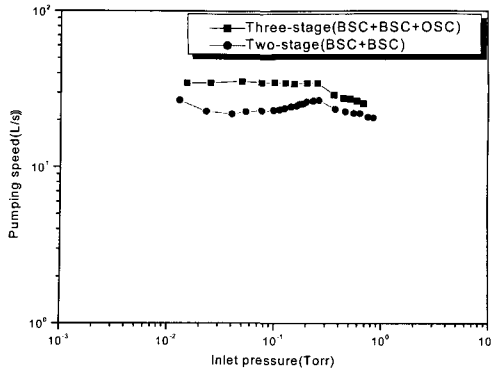


Fig. 8 Pumping speed vs inlet pressure.

3.3 배기속도

펌프의 성능을 한눈에 파악 할 수 있는 것이 바로 배기 속도이다. 위의 Fig. 8은 2단과 3단의 입구압력에 따른 배기속도를 나타낸 것이다. 그래프에서 보는것과 같이 3단 원판형 드래그펌프의 경우 입구압력이 낮아질수록 특히 0.3Torr이하에서는 약 35L/s의 거의 일정한 배기속도를 보이고 있다. 그리고 2단 원판형 드래그펌프의 배기속도를 살펴보면 약 25L/s의 배기속도를 갖고 있는데, 입구압력이 낮아짐에 따라 배기속도가 줄어들었다가 다시 높아지는 불안정한 배기속도를 갖는 곡선을 보이고 있다. 3단의 경우 하부의 2개의 단이 동시에 같이 압축을 하고 있으므로 2단 원판형 보다는 안정된 배기성능이 나타나고 있는 것이다.

3. 결론

본 연구에서는 원판형 드래그펌프에 있어서 원판의 단의 수에 터보형 원판형 드래그펌프의 성능을 비교 및 고찰을 할 수 있었다. 원판형 드래그펌프의 경우 단의 수가 증가함에 따라 드래그펌프의 성능이 향상되는 것과 안정된 배기성능이 나타나는 것을 실험결과를 통하여 확인 할 수가 있었다.

배기속도는 3단이 2단 보다는 성능면에서 상당히 안정된 결과 그래프를 보여 주었으며, 향후 4단 이상으로 구성하였을 때와 3단을 모두 BSC 형태의 원판형 로터를 사용하였을 때 단의 수에 따른 원판형 드래그펌프의 배기특성을 미리 파악 할 수 있는 기초적인 자료를 얻을 수 있었다.

그리고 원판의 단의 수가 증가함에 따라 어떤 성능을 보일지 예측할 수 있는 자료를 얻을 수 있었다. 그리고 향후 지속적인 연구가 계속 진행되어야 더 많은 펌핑 메카니즘을 찾을 수 있을 것으로 사료되어 진다.

후 기

이 논문은 한국과학재단의 2000년 목적기초연구사업(R05-2000-000-00311-0) 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Hablani, M. H., In *Vacuum Science and Technology: Pioneers of 20th Century*, edited by P. A. Redhead(AIP, New York) (1994), pp. 126-132.
- [2] Hablani, M. H., *High Vacuum Technology(A Practical Guide)*, Marcel dekker, Inc. (1990).
- [3] Shi, L., Wang, X. Z., Zhu, Y. and Pang, S. J., "Design of Disk Molecular Pumps for Hybrid Molecular Pumps," *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 11, No. 2 (1993), pp. 426-431.
- [4] Heo, J. S. and Hwang, Y. K., "Molecular Transition and Slip Flows in the Pumping Channels of Drag Pumps", *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 18, No. 3. (2000), pp. 1025-1034.
- [5] Heo, J. S. and Hwang, Y. K., "Spiral Channel Flows in a Disk-type Drag Pump", *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 19, No. 2 (2001), pp. 656-661.
- [6] 황영규, 허중식, 최욱진, "원판형 드래그펌프의 배기특성에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B (1999), pp. 476-481.