

3단 원판형 드래그펌프의 배기 성능에 관한 실험적 연구

황영규* · 허중식* · 권명근** · 양성민**

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

Young-Kyu Hwang*, Joong-Sik Heo*, Myoung-Keun Kwon** and Seong-Min Yang**

Key Words: Disk-type drag pump(원판형 드래그펌프), Compression ratio(압축비), Pumping speed(배기속도)

ABSTRACT

In this paper, the pumping performance of the three-stage disk-type drag pump which works in the outlet pressure range from 4 to 0.01 Torr is studied experimentally. The rotational speed of the pump is 24,000rpm, and nitrogen is used as a test gas. The pumping characteristics of various drag pumps are investigated. The inlet pressures are measured for various outlet pressures of the test pump. The maximum compression ratios for zero throughput are measured for three-stage, two-stage BSC type, helical-type, one-stage BSC type and one-stage OSC type, respectively.

1. 서 론

과학기술의 고도화와 더불어 발전된 진공분야에 대한 연구는 항공 우주 산업과 반도체산업의 급속한 발전으로 첨단 산업분야의 진공 문제를 해결하는 과정에서 급속히 발전하게 되었으며, 그 활용분야는 최근 반도체의 생산과정 및 금속재료와 관련된 산업이 호황을 누리며, 그 필요성은 점점 증대되어져 가고 있다.

과거에는 반도체 및 소재산업에 한정되어 있던 산업분야에서 근래에 들어서는 제약, 화학등의 연구시험장비 및 핵융합로 등 첨단미래 산업분야에서의 적용 범위가 넓어지고 있다. 이러한 산업분야의 요구에 의한 진공펌프들의 수요 및 기술의 발달은 괄목할만한 성장을 거두고 있다. 이렇게 성장하는 진공관련 기술 중에서도 특히, 발생장치인 진공펌프에 대한 관심이 증대

되어 가고 있는 추세이다. 최근에는 반도체산업 및 재료산업분야에서 고정정 및 대 유량(throughput)이 요구되는 CVD(chemical vapor deposition), 이온주입(ion implantation), 에칭(etching), 스퍼터링(sputtering) 등의 작업공정에 터보형 드래그펌프(drag pump)가 많이 이용되고 있다.

드래그펌프는 고속으로 회전하는 날개에 의해 기체 분자들이 매우 큰 운동량을 전달받아 연속적으로 진공 공간으로부터 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. 최근 일본의 Daikin사⁽²⁾에서는 원통형의 드래그펌프 단독으로써 10^{-9} Torr의 고진공에서부터 1Torr정도까지 배기할 수 있는 펌프를 개발하여 시판하고 있다. 또한 원통형과 원판형을 결합한 드래그펌프를 개발하였으며, 이것은 용량 20l의 용기를 대기압

* 성균관대학교

** 성균관대학교 대학원

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

에서부터 10^{-5} Torr까지 배기하는 데 약 8분 정도 소요된다. Mitsubishi사⁽³⁾에서는 세라믹으로 날개를 제작하여 2500rpm에서 약 280l/s의 펌핑속도를 갖는 원판형의 터보형 펌프를 개발하였다. 터보형 드래그 펌프는 대유량에 적합할 뿐만 아니라 10^{-6} Torr 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축·배기 할 수 있다. 드래그펌프는 출구압력을 상승 시킴으로써 후단펌프로서 오일식이 아닌 다이아프램 펌프와 같은 무급유 기계식 펌프의 사용이 가능하기 때문에 깨끗한 진공공간을 생성할 수 있다는 장점이 있다. 또한 최근 반도체산업에서 웨이퍼(wafer)의 크기가 12inch이상으로 대형화되고 있는 추세여서 생산성을 높이기 위해서는 드래그펌프와 같은 대유량의 펌프가 요구된다.

국내의 대용량 드래그펌프 시장의 경우 전량 수입에 의존하고 있으며 국산화는 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다. 하지만 터보형 펌프에 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⁽⁴⁾은 이론적 및 실험적으로 성능특성을 파악하였다. Heo와 Hwang⁽⁵⁾은 DSMC(direct simulation Monte Carlo)법을 이용하여 분자천이영역에서의 원판형 드래그펌프에 대한 성능을 수치해석적으로 해석하였다.

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⁽⁷⁾를 바탕으로 위아래 양측면에 채널이 형성되어 있는 로터(both-side channel disk-type rotor ; BSC)와 스테이터를 단단 및 이단(二段)으로 구성하여 펌프의 성능 해석을 수행결과와 BSC 로터 2단과 OSC 로터 1단이 결합된 3단 원판형 드래그펌프의 단의 수에 따른 성능을 실험적으로 파악하고자 한다.

기존의 연구에서는 헬리컬 드래그펌프⁽⁶⁾와 단단 OSC 드래그펌프를 수치해석 및 실험적으로 배기특성을 연구하였다.⁽⁷⁾ 본 연구에서는 기존의 수행되어 왔던 실험의 조건에 챔버를 구성하여 실험적 해석을 수행하고자 한다.

본 연구에서는 2단 원판형(BSC), 단단 원판형(OSC⁽⁷⁾, BSC) 두 가지 형태와 헬리컬 type⁽⁸⁾ 등 네 가지 형태의 진공펌프와 성능을 비교하고자

하며, 제작된 3단 원판형 드래그펌프의 최대압축비, 유량변화에 따른 입구압 변화, 배기속도(pumping speed)등을 측정하여 펌프의 성능을 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치의 구성은 성능해석을 수행할 3단 원판형 드래그펌프와 진공압 측정용 진공계이지, 후단펌프, 가스유량 측정용 유량계(MFC), 펌프의 24,000rpm으로 회전하는 모터부분을 제어하기 위한 주파수 변환기 등으로 구성하여 실험을 수행하였다. 본 연구에 사용된 원판형 드래그펌프의 로터(BSC)의 기하학적인 형상을 Fig.1에 도시하였다.

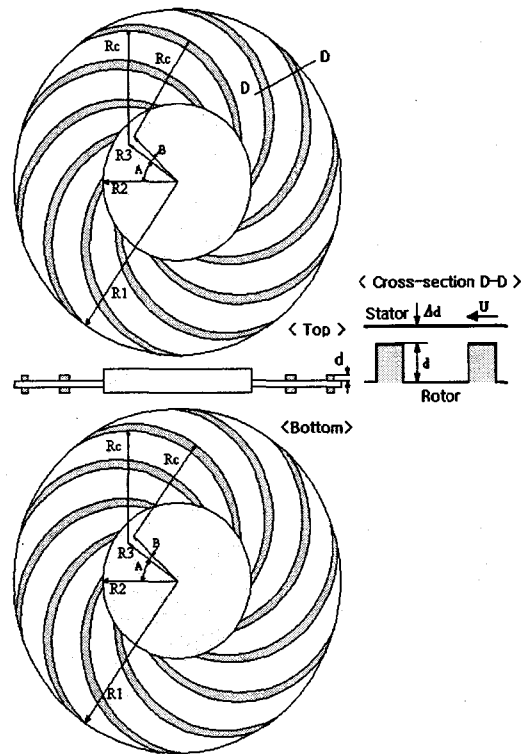


Fig. 1 Three-stage disk-type drag pump rotor.

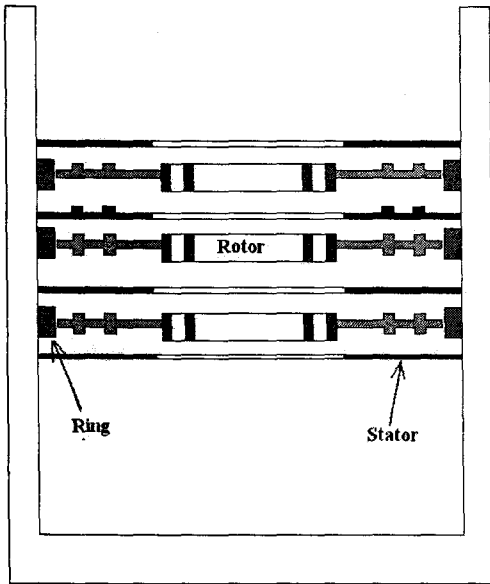


Fig. 2 Schematic diagram of Three-stage disk-type drag pump.

세 단의 로터는 앞의 Fig. 1에서 보는 것과 같은 형상으로 되어 있으며, 아래 두 단은 양쪽면에 채널이 형성된 BSC형 로터이며, 나머지 한 단은 윗면에만 채널이 형성된 OSC형 로터이다. 로터의 상·하부에는 스테이터가 구성되어 있으며, 각각의 스테이터와 로터사이의 간극은 각각 0.5mm하였으며, 자세한 기하학적 치수는 Table. 1에 나타내었다. 스테이터는 펌프의 케이싱 내측

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

의 스페이서링(spacer ring)에 의해 고정되게 하였으며, 이를 Fig. 2에 나타내었다.

펌프 입구측과 출구측에 각각 피라니 게이지(GP-2ARY, ULVAC JAPAN Ltd.)를 설치하였으며, 입구압이 고진공인 경우에는 이온 게이지(SENTORR, VARIAN USA)를 이용하여 측정하였다. 후단펌프는 최대도달압력 5×10^{-4} Torr, 펌핑속도 960l/min의 2단 로터리펌프(rotary vane pump)를 사용하였다. 그리고, 출구압력의 조절을 위하여 로터리펌프의 입구부에 블록밸브(block valve)를 설치하여 압력을 조절하였다. 실험용 진공펌프는 로터리 펌프와 같은 별도의 후단 배기 시스템과 펌프의 안정적인 작동을 위해서는 지나친 과열과 냉각을 막는 적절한 냉각 시스템이 필요로 한다.

2.2 실험방법

펌프의 출구압력이 10Torr 가까이 되면 열 발생이 매우 커지게 됨을 관찰하였으며, 본 연구에서는 압력범위를 0.01~4Torr로 제한하였다. 또한 드래그펌프는 고속회전을 하므로 작동하는 동안 충격이 방지되어야 한다.

먼저 후단펌프를 가동시켜 펌프내부의 압력이 드래그펌프가 작동할 수 있는 여건이 되도록 충분히 배기 한다. 작동조건에 맞는 진공도에 도달 되면 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 블록밸브를 이용하여 조절하였으며, 요구하는 압력에 도달하였을 경우 후단압 변화에 따른 챔버측에서의 압력값을 측정하였다. 또한 후단측의 밸브의 개방을 통하여 유량변화에 따른 입구측 압력변화 등을 측정하여 원하는 실험결과를 얻을 수 있었다.

3. 결과

본 연구에서는 원판형의 로터를 가진 3단 원판형 드래그펌프의 배기 특성에 관해 로터와 스테이터를 직접 제작하여 성능실험을 수행하였으며, 펌프의 최대압축비, 유량변화에 따른 입구 압력 변화, 배기속도 등의 성능 실험을 하여 기존의 연구결과와 비교·검토하여 펌프의 성능을 실험적으로 해석하여 보았다.

3.1 유량이 없을 때의 성능비교

유량이 없을 때(OSCCM) 3단 원판형 드래그펌프의 입구측의 압력이 진구간에서 다른 형태의 진공펌프들보다 압력이 낮게 Fig. 3 나타내고 있다. 특히, 출구 압력이 4Torr에서 2 Torr 사이의 구간에서는 입구 압력이 급격히 낮아지고 있음을 알 수 있고, 출구 압력이 1Torr에서 0.01Torr 사이의 구간에서는 입구 압력이 선형적으로 낮아지고 있음을 Fig. 3에 나타내고 있다.

유량이 없을 때 출구 압력변화에 따른 압축비(compression ratio)을 Fig. 4에서 나타내고 있다. 출구 압력이 0.4Torr 일 때 3100정도의 최대압축비로 3단 원판형 드래그펌프의 성능이 우수함을 알 수 있다. 그리고, 앞에서 입구 압력(inlet pressure)이 선형적으로 낮아지고 있던 구간(0.04~0.4Torr)에서 일정한 선형적인 압축비

를 보이는 구간이 형성되어 있는 것을 보여주고 있다.

3.2 유량 변화에 따른 성능 비교

3단 원판형(BSC+OSC), 2단 원판형(BSC) 드래그펌프, 단단 원판형(BSC type 과 OSC type)드래그펌프⁽⁷⁾ 그리고 helical-type 드래그펌프⁽⁸⁾에 대하여 펌프의 최대압축비, 유량변화에 따른 입구 압력 변화와 배기 특성을 기존의 연구결과와 비교·검토하여 성능의 장단점 및 특성을 실험적으로 해석하여 보았다.

유량이 66SCCM 일 때 출구 압력변화에 따른 입구압력의 변화는 Fig. 5에 나타내고 있는데, 0.6~4Torr 구간에서는 다른 형태보다는 제일 낮은 압력을 나타내고 있다.

압축비를 비교해보면 Fig. 6에서 보는 것과 같이 전 영역에서 높은 압축비를 보이고 있으며, 상대적으로 다른 형태의 펌프들 보다 2배 이상의 압축비 성능을 보이고 있다. 원판형 드래그펌프의 경우 단의 수에 따라 최대 압축비가 배로 증가하고 있음을 알 수 있다.

유량이 200SCCM 일 때 출구 압력변화에 따른 입구 압력의 변화는 Fig. 7에 나타내고 있는데, 대부분의 진공 펌프가 급격한 압력의 변화가 보이지는 않고 있다. 3단 원판형 드래그펌프의 성능이 제일 낮은 압력을 나타내고 있으며, 1~4

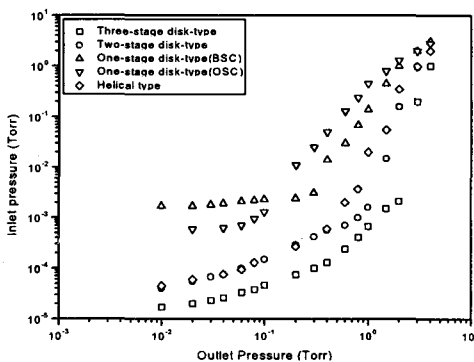


Fig. 3 Comparison of inlet pressure of the vacuum pumps (three-stage, two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC isk-type and helical-type) at zero throughput.

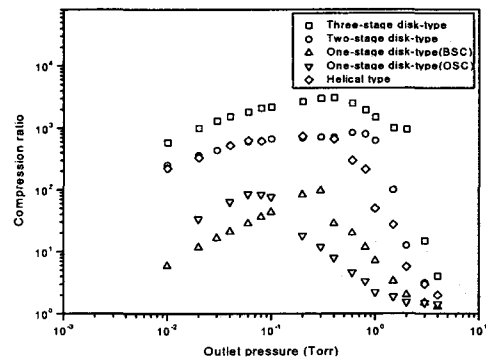


Fig. 4 Comparison of compression ratio of the vacuum pumps(three-stage, two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at zero throughput.

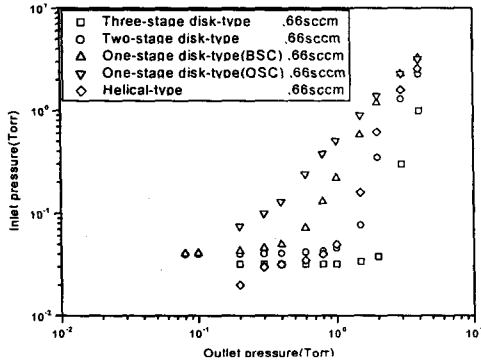


Fig. 5 Comparison of inlet pressure of the vacuum pumps (three-stage, two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at 66 SCCM.

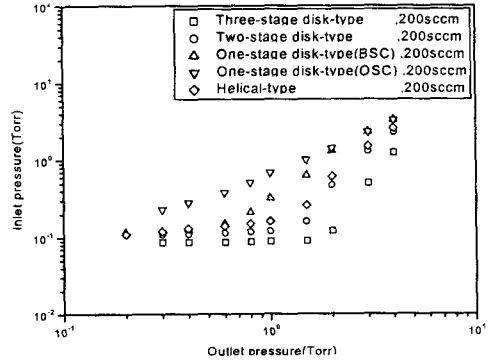


Fig. 7 Comparison of inlet pressure of the vacuum pumps (three-stage, two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at 200 SCCM.

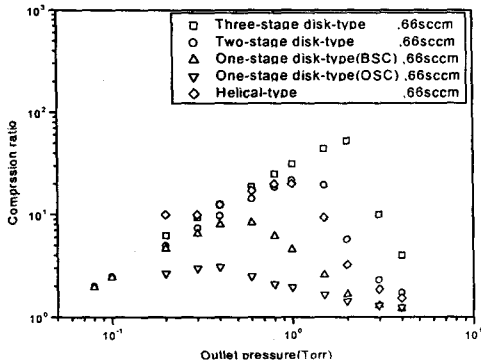


Fig. 6 Comparison of compression ratio of the vacuum pumps (three-stage, two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at 66 SCCM.

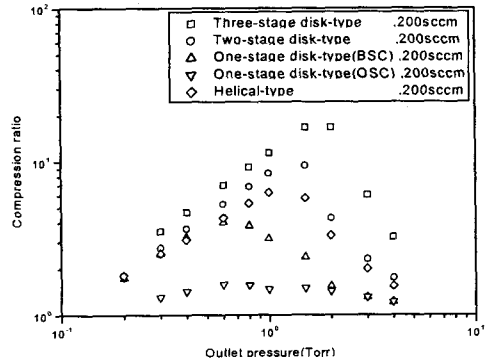


Fig. 8 Comparison of compression ratio of the vacuum pumps (three-stage, two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at 200 SCCM.

Torr사이의 구간에서는 선형적인 기울기를 가지고 압력이 낮아지고 있다. 출구압력 변화에 따른 압축비 변화를 보면, 3단 원판형 드래그펌프가 제일높은 압축비를 보이고 있으며, 원판의 단의 수에 따른 압축비 변화를 Fig. 8에서 살펴보면, 3단 원판형 드래그펌프가 단의 수에 따라라도 압축비가 배로 증가하고 있음을 알 수 있다. 2~4Torr 구간에서는 압축비가 급격히 증가하다가 그 이후로는 선형적으로 낮아지고 있으며, 2Torr에서 1.5Torr사이에서는 20정도의 일정한 압축비를 나타내고 있으며, 성능의 일정성을 보이고 있다.

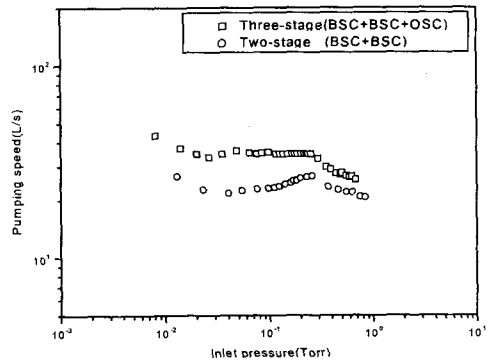


Fig. 9 Pumping speed vs inlet pressure at several volume flow rate.

3.3 배기속도(pumping speed) 비교

배기속도는 Fig. 9에서 보는 것과 같이 3단 원판형 드래그펌프의 경우 약 35 L/s의 성능을 보이고 있으며, 0.06~0.03Torr에서는 일정한 배기속도를 갖는 안정된 성능을 보이고 있다. 그리고 2단 원판형 드래그펌프의 배기속도를 살펴보면 약 25 L/s의 배기속도를 갖고 있으며, 입구측의 압력이 낮아짐에 따라 불안정한 배기속도를 갖는 곡선을 보이고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 원판형 드래그펌프에 있어서 원판의 단의 수에 따른 펌프의 성능을 비교 할 수 있었고, 다른 형태의 펌프와의 성능 비교를 하였다. 원판형 드래그펌프의 경우 단의 수의 증가함에 따라 펌프의 성능은 향상되고 있음을 실험적으로 알 수 있었다. 배기속도의 경우 3단이 2단 보다는 성능면에서 상당히 안정된 성능을 보이고 있다.

향후 3단 이상의 다단 원판형 드래그펌프를 설계시 단의 수에 따른 원판형 드래그펌프의 배기특성을 미리 파악 할 수 있는 기초적인 자료를 얻을 수 있었다. 원판의 단의 수가 증가함에 따라 어떤 성능을 보일지 예측할 수 있는 자료를 얻을 수 있었다.

후 기

이 논문은 2001년도 두뇌한국21(BK21)사업 핵심분

야 사업비와 한국과학재단의 2000년 목적기초연구사업(R02-2000-00311) 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) Hablani, M. H., 1994, In *Vacuum Science and Technology: Pioneers of 20th Century*, edited by P. A. Redhead(AIP, New York), pp. 126-132.
- (2) Dry Pump, VC95-04C, Catalog, DAIKIN.
- (3) Murakami, Y., Abe, T., Ohsawa, H. and Hata, S., 1991, "Development of Turbo-Viscous Pump with Ceramic Rotor Assembly and Oil-Free Driving Unit," *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 9, No. 3, pp. 2053-2057.
- (4) 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.
- (5) 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.
- (6) 황영규, 허중식, 권명근, 2000, "다단 원판형 드래그펌프의 배기특성에 관한 실험적 연구, 공기조화 냉동공학회 동계학술대회 논문집 II, pp. 636-641.
- (7) 황영규, 허중식, 최옥진, 1999, "원판형 드래그펌프의 배기특성에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp. 476-481.
- (8) 허중식, 우남섭, 황영규, 김윤제, 1999, "분자천이영역에서의 헬리컬 드래그펌프의 배기특성", 대한기계학회논문집 B, Vol. 23, No. 12, pp. 1614~1625.