

2단 원판형 드래그펌프의 배기 성능에 관한 실험적 연구

황영규* · 허중식* · 권명근** · 양성민**

An Experimental Study on the Pumping Performance of the Two-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), Throughput(배기유량), Pumping speed(배기속도)

Abstract

In this paper, the pumping performance of the two-stage disk-type drag pump which works in the outlet pressure range from 3 to 0.001 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 performed. The inlet pressures are measured for various outlet pressures of the test pump. The maximum compression ratios for zero throughput are 1000(two-stage BSC type), 740(helical-type), 90(BSC type) and 85(OSC type), respectively. The ultimate pressure of the two-stage disk-type drag pump is 8.1×10^{-6} Torr.

1. 서론

산업의 발달과 더불어 발전된 진공분야에 대한 연구는 항공 우주 산업과 반도체산업의 급속한 발전으로 첨단 산업화시대에 따른 진공 문제를 해결하는 과정에서 급진적으로 발전하게 되었으며, 그 활용분야는 최근 반도체의 생산과정 및 금속재료와 관련된 산업이 호황을 누리며, 그 필요성은 점점 커지고 있다.

근래에 들어와 진공기술의 비약적인 발전에 따른 과학 및 각종 산업분야에서의 고진공 이용

의 증가와 더불어 오염물질이 전혀 없는 깨끗한 진공공간의 필요성이 대두되고 있으며, 진공을 이용한 연구개발 및 제품의 제조 과정시 이러한 고진공 및 고청정 공간의 생성은 매우 필수적인 요소라고 할 수 있다. 과거 반도체 및 소재산업에 한정되어 있던 산업분야에서 근래에 들어서는 앞서 언급한 산업분야에 더하여 제약, 화학등의 연구시험장비 및 핵융합로 등 첨단미래 산업분야 등에서도 적용되고 있다. 이러한 산업분야의 요구에 의한 진공펌프들의 수요 및 기술의 발달은 괄목할만한 성장을 거두고 있다. 이렇게 성장하는 진공관련 기술중에서도 특히 발생장치인 진공펌프에 대한 관심이 증대되어 가고 있는데 최근 반도체산업 분야 및 제조업 분야에서와 같이 고청정 및 대(大)유량(throughput)이 요구되는 경우에 부합되는 펌프로써 터보형 진공펌프의 활용은 매우 활발한 실정이다. 이러한 터보형 펌프

* 성균관대학교 기계공학부

** 성균관대학교 대학원

는 크게 Holweck 형태인 원통에 나선형 홈이 있는 헬리컬 드래그펌프와 Siegbahn 형태인 원판에 홈이 있는 원판형 드래그펌프로 구분된다.

터보형 드래그 펌프는 대유량에 적합할 뿐만 아니라 10^6 Torr 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축·배기 할 수 있다. 터보형 드래그펌프는 현재 세계적인 반도체 수요의 증가에 따른 국내 반도체 제조업의 성장에 따라 엄청난 양의 수요 증가가 발생하고 있다. 국내의 대용량 드래그펌프 시장의 경우 전량 수입에 의존하고 있으며 국산화는 전혀 이루어지지 않고 있다. 하지만 터보형 펌프에 있어서는 아직은 세계 시장의 상황도 초기단계에 있으며, 현재 국내의 기술수준으로도 충분한 경쟁력이 있다고 판단되므로 그러한 의미에서 본 연구의 의의는 크다고 하겠다.

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 드래그 펌프의 성능해석 결과^[1]를 바탕으로 위아래 양쪽면에 채널이 형성되어 있는 로터(both-side channel disk-type rotor ; BSC)와 스테이터를 단단 및 다단(多段)으로 구성하여 펌프의 성능 해석을 수행하고자 한다.

기존의 연구에서는 헬리컬 드래그펌프^[2]와 단단 OSC 드래그펌프를 수치해석 및 실험적으로 배기특성을 연구하였다.^[3] 본 연구에서는 기존의 수행되어 왔던 실험의 조건에 진공 챔버를 제작하여 실험적 해석을 수행하고자 한다. 앞서 언급된 형상(BSC)에 대하여 먼저 실험적 연구를 수행하여 상호결과의 연관성 및 차이점을 분석하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 이런 조건에서 제시된 결과를 근거로 이미 제작된 드래그펌프의 로터 및 스테이터를 이용하여 최대압축비, 최대 도달압력, 유량변화에 따른 입구압 변화 등을 측정하여 기존의 연구결과와 비교를 통한 배기 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험의 실험장치의 구성은 성능해석을 수

행할 2단 원판형 드래그펌프와 진공압 측정용 진공게이지, 후단펌프, 가스 유량측정을 위한 유량계, 펌프의 모터부분을 제어하기 위한 주파수 변환기 등으로 구성하였다. 진공펌프 내의 모터는 24000rpm으로 회전하는 고주파 모터로서 입력전압은 3상 380V, 1.5kW의 용량을 가지고 있다.

본 연구에서는 2단 원판형(BSC), 단단 원판형(OSC^[1], BSC) 두 가지 형태와 헬리컬 type^[2] 등 네 가지 형태의 진공펌프를 실험하여 성능을 비교하였다.

로터는 고정도 볼 베어링(high precision ball bearing)을 상부와 하부에 각각 사용하여 로터의 고속회전을 지지하도록 하였다. 로터의 고속회전으로 인한 모터의 과열을 방지하기 위하여 펌프 내부로 냉각수가 흐르도록 하였으며, 시스템의 온도는 $22 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 유지시켰다.

본 연구에 사용된 2단 원판형 드래그펌프에 사용된 로터(BSC)의 기하학적인 형상을 Fig.1에 도시하였다.

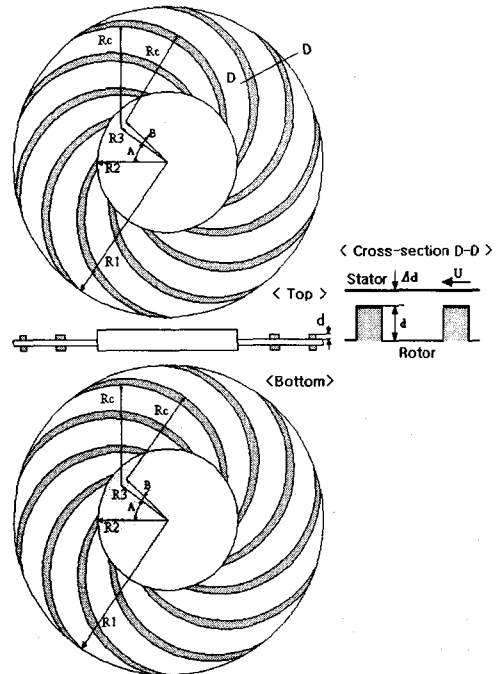


Fig. 1 Two-stage disk-type drag pump rotor(BSC disk-type rotor).

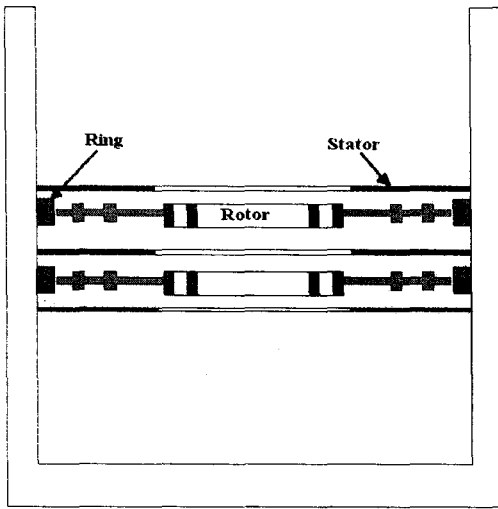


Fig. 2 Schematic diagram of two-stage disk-type drag pump.

로터의 상·하부에는 평판의 스테이터가 구성 되어 있으며, 각각의 스테이터와 로터 사이의 간격은 각각 0.5mm하였으며, 자세한 기하학적 치수는 Table. 1에 나타내었다. 스테이터는 펌프의 케이싱 내측의 스페이서링(spacer ring)에 의해 고정되게 하였으며, 이를 Fig. 2에 나타내었다.

본 실험에서 2단 원판형 드래그펌프의 압축특성을 파악하기 위해서 입·출구압을 측정하였다. 이를 위해 펌프 입구측과 출구측에 각각 피라니게이지(GP-2ARY, ULVAC JAPAN Ltd.)를 설치하였으며, 입구압이 고진공인 경우에는 이온 게이지(SENTORR, VARIAN USA)를 이용하여 측정하였다.

Table. 1 Geometrical parameter of two-stage disk-type drag pump rotor (BSC disk-type rotor).

outer radius	R_1	86 mm
inner radius	R_2	39 mm
clearance	Δd	0.5 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

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.

2.2 실험방법

실험용 진공펌프는 로터리 펌프와 같은 별도의 후단 배기 시스템과 펌프의 안정적인 작동을 위해서는 지나친 과열과 냉각을 막는 적절한 냉각 시스템이 필요로 한다. 펌프의 출구압력이 10Torr 가까이 되면 열 발생이 매우 커지게 됨을 관찰하였으며, 본 연구에서는 압력범위를 0.001~3Torr로 제한하였다. 또한 드래그 펌프는 고속회전을 하므로 작동하는 동안 충격이 방지되어야 한다.

먼저 후단펌프를 가동시켜 펌프내부의 압력이 드래그펌프가 작동할 수 있는 여건이 되도록 충분히 배기 한다. 작동조건에 맞는 진공도에 도달되면 드래그펌프 및 펌프에 부착된 냉각시스템을 구동시킨다. 시스템이 정상적인 작동온도와 일정한 압력이 얻어지면 테스트가스를 주입한다. 본 연구에서는 테스트기체로 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 입구압에서의 압력값을 측정하였다. 또한 후단측의 밸브의 개방을 통하여 유량(200sccm)에 따른 입구측 압력변화 등을 측정하여 원하는 실험결과를 얻을 수 있었다.

3. 결과

3.1 2단 원판형 드래그펌프 성능결과

본 연구에서는 원판형의 로터를 가진 2단 원판형 드래그펌프의 배기특성에 관해 로터와 스테이터를 직접 제작하여 성능실험을 수행하였으며, 펌프의 최대압축비, 최대도달진공도, 유량변화에

다른 입구압력변화 등의 배기 특성을 실험으로 측정하여 기존의 연구결과와 비교·검토하여 펌프의 성능을 실험적으로 해석하여 보았다.

유량이 없을 때(OSCCM) 2단 원판형 드래그 펌프의 입구측의 최대도달 진공도(ultimate pressure)는 출구압력(outlet pressure, 후단압)이 0.001 Torr 일 때 8.1×10^{-6} Torr에 도달함을 알 수 있다. 출구압력이 3 Torr에서 1 Torr 사이의 구간에서는 입구 압력이 급격히 낮아지고 있음을 알 수 있고, 출구압력이 1 Torr에서 0.003 Torr 사이의 구간에서는 입구압력이 선형적으로 낮아지고 있음을 Fig. 3에 나타내고 있다.

유량이 없을 때 출구압력 변화에 따른 압축비(compression ratio)을 Fig. 4에서 나타내고 있다.

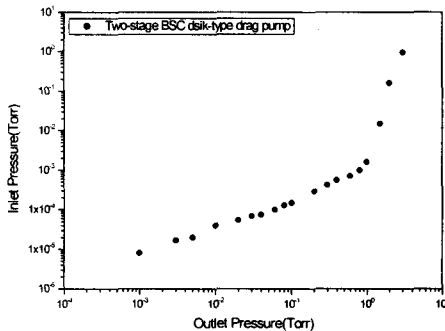


Fig. 3 Inlet pressure vs outlet pressure at zero throughput of two-stage BSC disk-type drag pump.

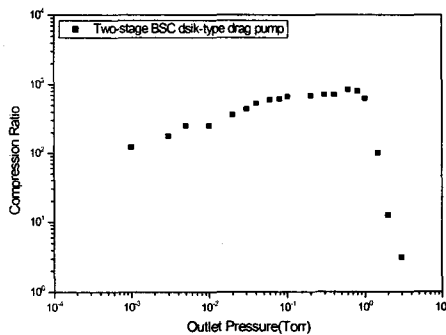


Fig. 4 Compression ratio vs outle pressure at zero throughput of two-stage BSC disk-type drag pump.

출구압력이 0.6 Torr 일 때 1000정도의 최대 압축비를 얻을 수 있었다. 그리고, 앞에서 입구압력(inlet pressure, 전단압)이 선형적으로 낮아지고 있던 구간(0.03~0.8Torr)에서 일정한 압축비를 보이는 구간이 형성되어 있는 것을 보여주고 있다.

3.2 다른 드래그펌프와의 성능 비교

2단 원판형(BSC) 드래그펌프, 단단 원판형(BSC type 과 OSC type^{[1])}드래그펌프 그리고 helical-type 드래그펌프^[2]에 대하여 펌프의 최대 압축비, 최대도달진공도, 유량변화에 따른 입구압력 변화와 배기 특성을 기존의 연구결과와 비교·검토하여 성능의 장단점 및 특성을 실험적으로 해석하여 보았다.

먼저, 유량이 없을 때 네 가지 type에 대한 출구압력 변화에 따른 입구압력 변화를 살펴보게 되면, 단단 BSC 원판형 드래그펌프의 경우 후단압이 0.1Torr이상에서는 같은 단단 형태인 OSC 원판형 드래그펌프 보다 더 낮은 입구압력을 나타내고 있고, 0.1Torr 이하에서는 입구 압력이 서서히 낮아지고 있다. 2단 BSC 원판형 드래그펌프의 경우는 출구압력이 0.3Torr 이상에서는 같은 출구압력일 때 helical-type 드래그펌프보다 더 낮은 입구압력의 성능을 보이고 있고, 출구압력이 0.3Torr 이하에서는 거의 같은 성능을 Fig. 5에서 보이고 있다

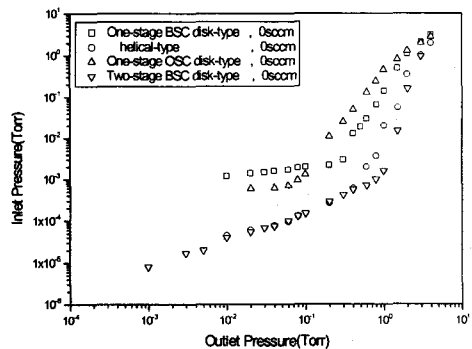


Fig. 5 Comparison of inlet pressure of the vacuum pumps (two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at zero throughput.

압축비를 비교하면 Fig. 6에서 보는 것과 같이 최대압축비는 2단 BSC 원판형 드래그펌프가 1000 정도로 가장 높게 나타나고 있으며, 출구압력이 0.2~0.8 Torr에서는 네 가지 type중 가장 우수한 성능을 보이고 있다. 단단 원판형의 경우 BSC type이 OSC type보다 출구압력이 0.2Torr이상에서는 우수한 압축성능을 보이고 있고, 그 이하에서는 급격히 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다.

유량이 200 SCCM일 때 출구압력 변화에 따른 입구압력의 변화를 Fig. 7에 나타내고 있다.

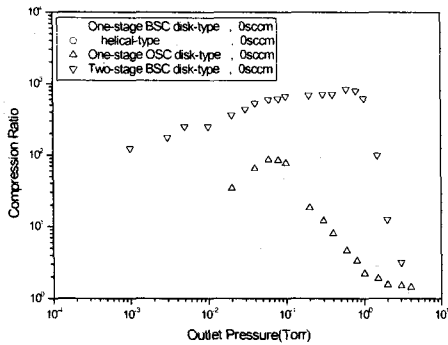


Fig. 6 Comparison of compression ratio of the vacuum pumps(two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at zero throughput.

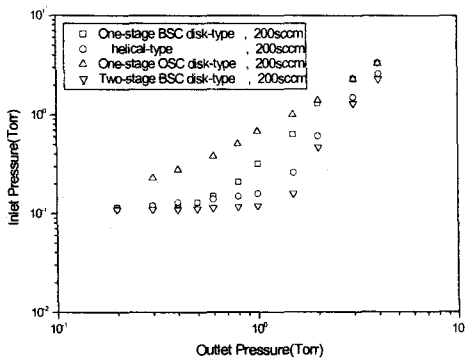


Fig. 7 Comparison of inlet pressure of the vacuum pumps(two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at 200 SCCM.

입구측의 도달 진공도는 2단 원판형 드래그펌프가 가장 낮게 나타내고 있다. 출구압력이 0.6Torr 이하에서는 단단형인 BSC type이 helical-type과 같은 도달압력을 나타내고 있다. OSC type은 유량이 증가할 수록 성능의 저하가 심함을 알 수가 있고, helical-type도 마찬가지로 성능의 저하가 심함을 알 수 있다. Fig. 8의 압축비 그래프를 보면 2단 원판형 드래그펌프는 10정도의 압축비로 나머지 세 가지 type의 드래그펌프보다는 높게 나타나고 있다. 유량이 증가하면서 2단 원판형 드래그펌프의 성능(BSC disk-type)이 다른

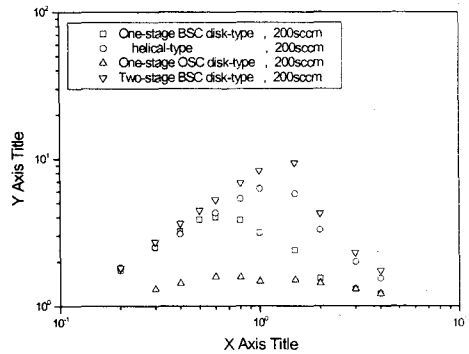


Fig. 8 Comparison of compression ratio of the vacuum pumps(two-stage BSC, one-stage BSC, one-stage OSC disk-type and helical-type) at 200 SCCM.

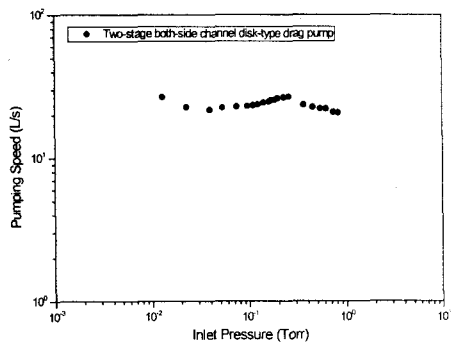


Fig. 9 Pumping speed vs inlet pressure at several volume flow rate of two-stage BSC disk-type drag pump.

세 가지 type의 드래그펌프들 보다 성능이 우수한 것을 알 수가 있었다.

3.3 배기속도(pumping speed)

2단 원판형 드래그 펌프의 배기속도를 살펴보면 Fig. 9에서 보이는 것과 같이 약 25 L/s 의 일정한 배기속도를 갖고 있으며, 입구측의 압력이 낮아짐에 따라 비교적 일정한 배기속도를 갖는 안정된 곡선을 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 2단 원판형 드래그펌프에 대하여 실험적으로 출구압력에 따른 입구압력, 압축비 및 배기속도 파악 할 수 있었다. 최대도달 압력이 8.1×10^{-6} Torr, 최대압축비가 약 1000정도를 나타내었다. 본 연구에서 원판형 로터(BSC)를 가지고 펌프에 챔버를 제작하여 성능을 측정 및 분석을 하였다.

유량이 증가함에 따라 펌프의 성능이 급격히 감소함을 알 수 있었다. 단단 형태의 드래그펌프 보다는 2단 원판형 드래그펌프의 성능이 단의 수가 1단 증가함에 따라 10배 정도의 압축비가 증가함을 확인 할 수 있었고, Throughput의 증가에 따라 2단 원판형 드래그펌프의 성능이 우수함을 알 수 있었다.

향후 2단 이상의 다단 원판형 드래그펌프를 설계시 단의 수에 따른 드래그펌프의 배기특성을 미리 파악 할 수 있는 기초적인 자료를 얻을 수 있었다.

후 기

본 논문은 한국과학재단의 2000년 목적기초 연구사업(R02-2000-00311) 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 황영규, 허중식, 최옥진, 1999, "원판형 드래그펌프의 배기특성에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp. 476~481.
- [2] 허중식, 우남섭, 황영규, 김윤재, 1999, "분자천이영역에서의 헬리컬 드래그펌프의 배기특성, 대한기계학회논문집 B, Vol. 23, No. 12, pp. 1614~1625.
- [3] 황영규, 허중식, 최옥진, 권명근, 2000, "터보형 드래그펌프의 배기특성에 관한 실험적 연구, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 B, pp. 555~560.