

터보형 드래그펌프의 배기특성에 관한 실험적 연구

황영규* · 허중식** · 최욱진** · 권명근**

An Experimental Study on the Pumping Performance of Various Turbo-Type Drag Pumps

Y. K. Hwang, J. S. Heo, W. J. Choi, M. K. Kwon

Key Words: Turbo-type drag pump(터보형 드래그펌프), Compression ratio(압축비), Throughput(배기유량), Molecular transition region(분자전이영역)

Abstract

An experimental study on pumping characteristics of various turbo-type drag pumps is performed. The inlet pressures are measured for various outlet pressures of the test pump. The maximum compression ratios for nitrogen are 100,000(Disk-type drag pump+ turbo molecular pump), 10000(Helical-type drag pump+turbo molecular pump), 850 (Helical-type drag pump), 100(disk-type drag pump).

1. 서론

최근 반도체산업 및 제조업 분야에서와 같이 고청정 및 큰 유량(throughput)이 요구되는 경우에 부합되는 펌프로서 터보형 진공펌프의 활용은 매우 활발한 실정이다. 이러한 터보형 펌프는 크게 Holweck 형태인 원통에 나선형 흡이 있는 헬리컬 드래그펌프와 Siegbahn 형태인 원판에 흡이 있는 원판형 드래그펌프로 구분된다. 터보형 펌프는 대유량에 적합할 뿐만 아니라 10^{-6} Torr 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축·배기할 수 있

다.

이와 같은 터보형 펌프는 출구압을 상승시킴으로써 후단펌프로서 오일식이 아닌 다이아프램 펌프와 같은 무급유 기계식 펌프의 사용이 가능하기 때문에 깨끗한 진공공간을 생성할 수 있고, 펌핑 시스템을 단순화 시킬 수 있어서 유지·보수 면에서도 유리한 점이 있다. 또한, 고진공 펌프에서 루츠(Roots) 진공펌프의 작동 영역에서까지 작동할 수 있는 펌프로 개발되고 있으며 그 적용범위가 확대되고 있다. 일본의 Daikin社에서는 헬리컬 드래그펌프 단독으로 10^{-8} Torr의 고진공에서 5 Torr 정도의 압력까지 작동할 수 있는 터보형 펌프를 개발하여 시판하고 있으며, Osaka社에서도 20,000 rpm에서 400 l/s의 매우 큰 펌핑속도를 가지며 최대 15 Torr에서 작동할 수 있는 원통형 드래그펌프를 제작, 시판하고 있다. 이러한 드래그펌프는 대유

* 성균관대학교 기계공학부

** 성균관대학교 대학원

량 능력을 지닌 동시에 기밀유지용으로서 오일을 전혀 이용하지 않기 때문에 단독으로 증진공에서 부터 직접 대기로 기체를 배출하는 증진공용 무급유 터보펌프로써도 그 활용이 매우 기대된다.

본 연구에서는 이러한 터보형 드래그펌프의 4가지 종류에 대한 실험적인 연구를 통하여 상호간의 배기특성에 관한 비교를 수행하였다. 터보형 진공펌프의 국내의 열악한 기술환경을 감안하면 터보형 진공펌프의 대표적인 4가지 종류에 대한 연구를 수행한 것은 의미가 크다 하겠다. 특히 세계시장에서도 대용량형 드래그펌프의 기술이 초기단계에 머물고 있는 시점에서 지속적인 연구와 기술개발을 이룩한다면 세계적인 경쟁력을 갖출 수 있을거라는 의미에서 본 연구의 의의는 크다고 하겠다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험장치는 성능해석을 수행할 터보형 드래그펌프와 진공압 측정용 진공계이지, 후단펌프, 가스 유량측정을 위한 유량계, 펌프의 모터부분을 제어하기 위한 주파수 변환기 등으로 구성되어 있으며, 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 도시하였다.

터보형 진공펌프 내의 모터는 24000rpm으로 회전하는 고주파 모터로서 입력전압은 3상 380V, 1.5kW의 용량을 가지고 있다.

본 연구에서는 원판형 type^[2], 헬리컬 type^[3], 원판형+TMP(상용제품, K社), 헬리컬+TMP 등 네가지 형태의 진공펌프를 실험하여 성능을 비교하였다. 새롭게 취부되는 TMP로터의 구체적인 형상과 제원은 Fig. 2와 Table. 1에 각각 나타내었다.

로터는 고정도 볼 베어링(high precision ball bearing)을 상부와 하부에 각각 사용하여 로터의 고속회전을 지지하도록 하였다. 로터의 고속회전으로 인한 모터의 과열을 방지하기 위하여 펌프내부로 냉각수가 흐르도록 하였으며, 시스템의 온도는 22±3℃로 유지시켰다. 원판형과 헬리컬 드래그펌프에 대한 성능특성은 이미 논문을 통해 밝힌바 있다.^{[2][3]} 본 실험에서 펌프의 압축특성을 파악하기 위해서 입·출구

압을 측정하였다. 이를 위해 펌프 입구측과 출

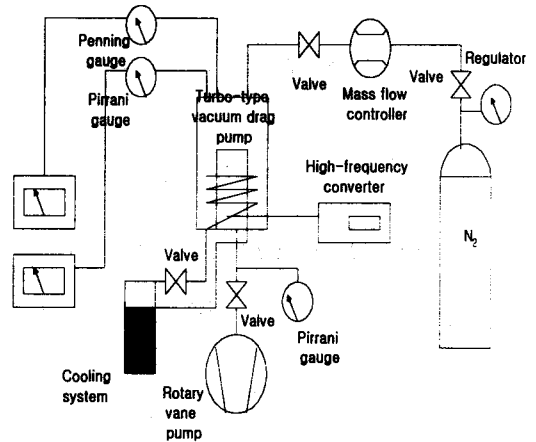


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

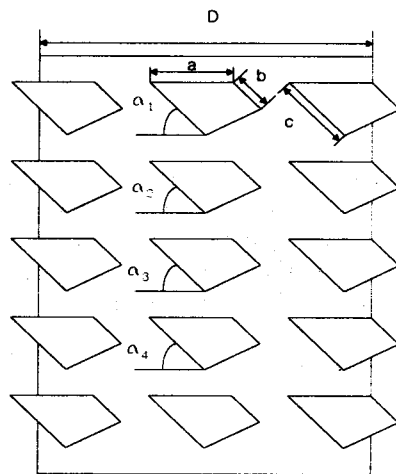


Fig. 2 Schematic diagram of TMP rotor.

구측에 각각 피라니계이지(GP-2ARY, ULVAC JAPAN Ltd.)를 설치하였으며, 입구압이 낮은 경우에는 페닝 계이지(CT-3PM, DIAVAC LIMITED)를 이용하였다.

일정한 압력으로 펌프입구부로 유입되도록 하였다. 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 설치하였다.

Table. 1 Geometrical parameter of TMP rotor

Subject	Symbol	Dimension
Diameter	D	168.6mm
Blade angle	α_1	37.5°
	α_2	36°
	α_3	34.6°
	α_4	22.5°
Blade height	a	36.6
Chord length at root	b	6.6mm
Chord length at tip	c	12.3mm

2.2 실험방법

실험용 진공펌프는 Fig. 1에 나타낸 로터리 펌프와 같은 별도의 후단 배기 시스템을 필요로 한다. 펌프의 안정적인 작동을 위해서는 지나친 과열과 냉각을 막는 적절한 냉각 시스템과, 고속회전으로 인한 고경도 볼 베어링의 윤활도 중요한 문제이다. 펌프의 출구압력이 10Torr 가까이 되면 열 발생이 매우 커지게 됨을 관찰하였으며, 본 연구에서는 압력범위를 0.002~4Torr로 제한하였다. 또한 드래그펌프는 고속회전을 하므로 작동하는 동안 충격이 방지되어야 한다.

먼저 후단펌프를 가동시켜 펌프내부의 압력이 드래그펌프가 작동할 수 있는 여건이 되도록 충분히 배기한다. 작동조건에 맞는 진공도에 도달되면 드래그펌프 및 펌프에 부착된 냉각시스템을 구동시킨다. 드래그펌프의 시동 및 정지시간은 각각 5분여가 소요된다. 시스템이 정상적인 작동온도와 일정한 압력이 얻어지면 테스트가스를 주입한다. 본 연구에서는 테스트가스로 질소(N_2)를 사용하였으며, 유입가스의 유량조절은 유량계와 리크밸브(variable leak valve)를 이용하여 제어하였다. 출구압력은 블록밸브를 이용하여 조절하였으며, 요구하는 압력에 도달하였을 경우 입구압, 로터리압 스테이터에서의 압력값을 측정하였다. 또한 후단압을 고정하고 유량을 변화시켜 전단압의 압력변

화등을 측정하여 원하는 실험결과를 얻을 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 헬리컬, 원판형, 헬리컬+TMP, 원판형+TMP 형태의 터보형 진공펌프에 대한 배기특성을 실험을 통하여 파악하였다.

유량이 없을 경우 출구압력에 따른 입구압 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 최대도달압력은 원판형+TMP 형태의 펌프가 가장 진공도가 높게 도달함을 알 수 있었고 다음에 헬리컬+TMP, 헬리컬, 원판형 순서로 최대도달진공도가 높음을 알 수 있었다. 여기서, TMP를 부착한 형태의 복합분자펌프가 역시 최대도달진공도가 높음을 알 수 있었고 자체 제작한 헬리컬드래그펌프의 도달압력이 복합분자펌프(원판형+TMP, 헬리컬+TMP)의 제품에 가까운 압력까지 도달함을 알 수 있었다. 하지만, 1Torr 이상시에 압력이 거의 최대도달압력에 가깝게 떨어지는 복합분자펌프에 비해서 후단압이 높을 경우 도달압력이 상대적으로 낮으므로 압축성능엔 차이가 있음을 알 수 있다.

도달압력에서와 같이 압축비 성능의 결과 역시 Fig. 4에서 보듯이 드래그펌프에서 복합형태로 갈수록 급격하게 커짐을 알 수 있었다. 여기서 알 수 있는 것은 최종적인 도달압력은 비슷하지만 역시 후단압이 높을 경우 복합분자펌프(상용 제품, 원판형+TMP)가 자체 제작한 복합분자펌프(헬리컬+TMP)보다 압축비가 뛰어나게 높음을 알 수 있었다. 그리고, 드래그펌프에서 복합분자펌프형태로 갈수록 압축비는 점차 우상향 방향에 최대압축비가 나타남을 알 수 있었다.

200SCCM의 유량을 가해주었을 경우에 입구압 변화 결과를 Fig. 5에서 보여주고 있다. 이 그래프에서는 약간의 놀라운 사실을 발견할 수 있는데 기존제품인 원판형+TMP type의 펌프가 헬리컬+TMP형태의 펌프에 비해 전단압력이 높은 결과가 나타났다. 이 같은 현상이 발생한 것은 두가지 원인을 들 수 있다. 두 종류의 펌프에서 가동모터의 성능에 차이가 있어 유량에 대한 부하가 심하게 미치는 것이 첫 번째 원인이고, 구조적으로 원판형태의 펌프가 헬리

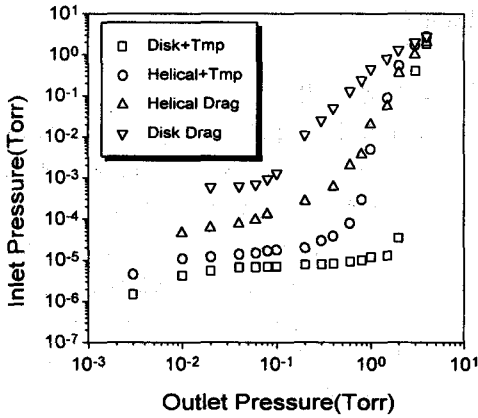


Fig. 3 Comparison of inlet pressure for the vacuum pumps at 0 SCCM.

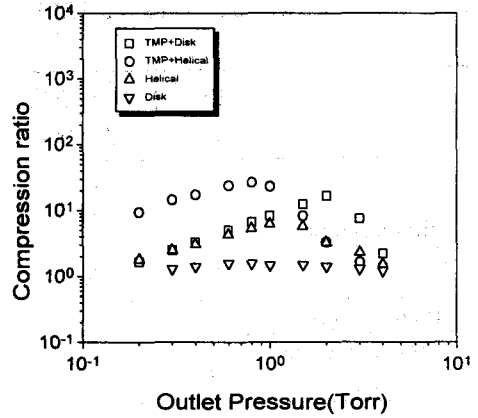


Fig. 6 Comparison of compression ratio for the vacuum pumps at 200 SCCM.

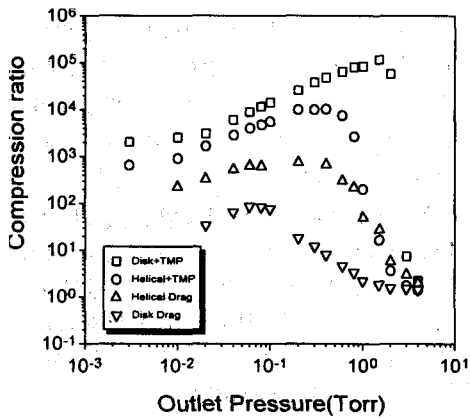


Fig. 4 Comparison of compression ratio for the vacuum pumps at 0 SCCM.

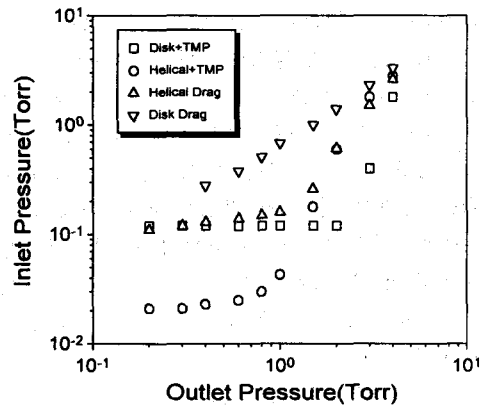


Fig. 5 Comparison of inlet pressure for the vacuum pumps at Q=200 SCCM.

컬 형태의 드래그펌프 보다 유량에 대해서 성능저하가 더 심한 것이 아닌가 하는 것이 또 하나의 이유이다. 또한, 두가지 모두가 그 성능에 영향을 미칠 수도 있을 것이다.

200SCCM에 대한 압축비선도인 Fig. 6에서 압축비가 헬리컬+TMP 형태의 펌프가 원판형+TMP 형태의 펌프보다 더욱 성능이 좋음을 알 수 있다.

그리고, 원판형태의 펌프는 200SCCM상태에서 거의 압축이 일어나지 못함을 알 수 있었

다. 이것은 원판형태가 구조적으로 헬리컬 형태보다 유량에 대한 처리능력이 작은 것이라 여겨진다. 또한, 직접 유량을 주입할 경우에 과부하가 많이 걸리는 것도 이런 이유에서라고 생각되어진다.

유량이 증가할 경우 출구압이 2.0, 0.8 Torr에 대한 입구압의 측정결과를 Fig. 7, 8에 도시하였다.

원판형+TMP 펌프는 유량에 증가에 따른 과부하에 따라 얻을 수 있는 측정결과가 극히 작

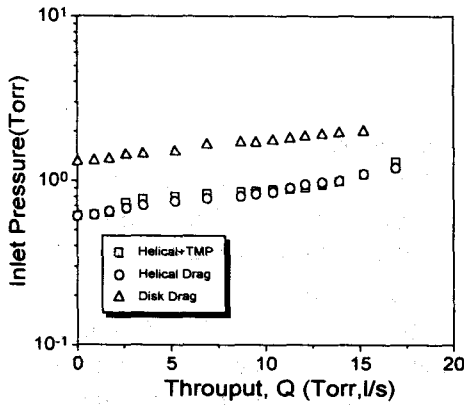


Fig. 7 Comparison of inlet pressure for the vacuum pumps at several throuput ($P_2=2.0$ Torr).

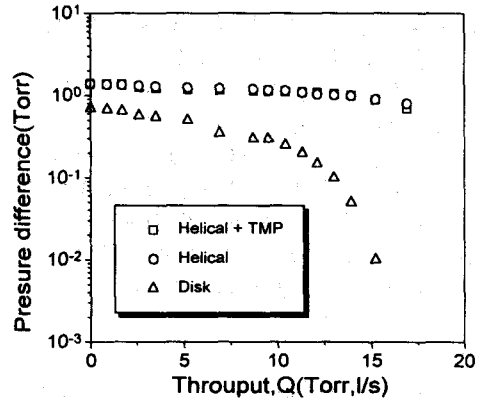


Fig. 9 Comparison of pressure difference for the vacuum pumps at several throuput ($P_2=2.0$ Torr).

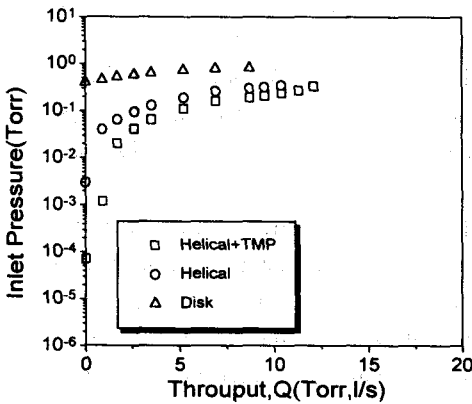


Fig. 8 Comparison of inlet pressure for the vacuum pumps at several throuput ($P_2=0.8$ Torr).

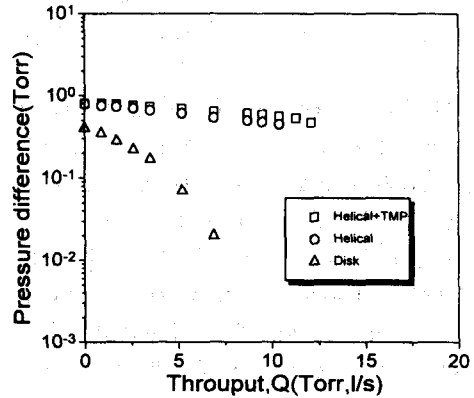


Fig. 10 Comparison of pressure difference for the vacuum pumps at several throuput ($P_2=0.8$ Torr).

아 제외하였다. 여기서 얻어진 결과에서는 전체적으로 배기성능은 헬리컬+TMP 펌프가 헬리컬 드래그펌프와 원판형 펌프보다 성능이 우수함을 알 수 있었다. 하지만, 후단압이 높을 경우 배기성능이 헬리컬+TMP 펌프와 헬리컬 드래그펌프가 거의 유사함을 알 수 있다.

이것은 출구압력이 높아질수록 TMP의 역할이 작아져서 압축에 대한 영향을 거의 주지 못

함을 보여주는 것이라 생각된다.

다음으로 유량의 증가에 따른 입구압력과 후단압력의 압력차이를 Fig. 9, 10에 나타내었다. 유량이 증가함에 따라 급격하게 성능이 변하는 원판형 드래그펌프에 비해 헬리컬 드래그펌프와 헬리컬+TMP 펌프는 상대적으로 유량의 증가에 따른 성능저하가 없어 성능이 우수함을 보여주고 있다. 여기서도, 헬리컬+TMP

펌프와 헬리컬 드래그펌프의 결과를 비교하였을 경우 후단압이 저압인 경우에 헬리컬+TMP 펌프의 성능이 우수하나 후단압이 높은 경우 헬리컬 드래그펌프의 성능이 우수할 경우가 있었고, 이는 앞에 설명한 바와 같이 TMP가 출구압력이 높을수록 그 역할을 제대로 수행하지 못한다고 생각되어 지며 따라서 출구압력이 높은 상태에서 압축비를 높여주기 위해서는 드래그펌프와의 적절한 유로설계를 통하여 배기성능을 좋게 해주어야 될것이라 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 원판형, 헬리컬, TMP+원판형, TMP+헬리컬 형태의 4가지 터보형 진공펌프에 대하여 실험적으로 성능해석을 수행하였다.

유량이 없이 측정된 경우 최대도달압력이 원판형은 5.9×10^{-4} , 헬리컬 1.6×10^{-5} , TMP+헬리컬은 6×10^{-6} , TMP+원판형은 1×10^{-6} Torr가 나타났고 최대압축비는 약 100, 850, 10000, 100000 정도를 나타냈음을 실험으로 알아낼 수 있었다.

유량의 증가에 따라서는 유량이 없을 시보다 압력의 떨어짐이 덜 하였고, 원판형의 펌프가 헬리컬 형태의 펌프보다 성능저하가 심함을 알 수 있었다. 이는 원판형이 유로구조가 헬리컬보다 복잡하여 생기는 결과라 보여진다. 또한, 출구압력이 1 Torr이하로 낮을 때에는 헬리컬+TMP 펌프의 성능이 가장 우수하였으나 1 Torr 이상에서는 헬리컬 드래그펌프와 성능이 거의 유사함을 알 수 있었는데 출구압력이 높을수록 TMP에 의한 압축효과가 별로 없음을 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 성능이 좋은 터보형 드래그펌프를 설계하기 위해서는 출구압력이 높은 상태에서 최대진공도의 성능을 가지게 하는 익렬 및 채널형상을 설계하여야 한다는 사실을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제(1997-001-E00023) 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Hablanian, M. H., 1990, *High Vacuum Technology(A Practical Guide)*, Marcel Dekker, Inc.
- [2] 황영규, 허중식, 최옥진, 1999, "원판형 드래그펌프의 배기특성에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp. 476-481.
- [3] 황영규, 허중식, 우남섭, 최옥진 1999, "분자천이영역에서 헬리컬 드래그펌프의 배기특성에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp. 189-194.
- [4] Mase, M., Gyoubu, I., Nagaoka, T. and Taniyama, M., 1988, "Development of a new type of oil-free turbo vacuum pump," *J. Vac. Sci. Technol.* Vol. 6, No. 4 pp. 2518-2521.
- [5] Tu, J. Y., Zhu, Y. and Wang, X. Z., 1990, "A new design for the disk-type molecular pump," *J. Vac. Sci. Technol.* A8, pp. 3870-3873.
- [6] Levi, G., 1991, "Combination of turbo molecular pumping stages and molecular drag stages," *J. Vac. Sci. Technol.* Vol 10, pp. 2619-2622.
- [7] Duval, P., Raynaud, A., and Saulgeot C., 1987, "The molecular drag pump: principle, characteristics, application," *J. Vac. Sci. Technol.*, Vol. 6, No. 3, pp. 1187-1191.
- [8] Ba, D. C., Pang, S. J., 1992, "Pumping performance of a new type of hybrid molecular pump," *J. Vac. Sci. Technol.*, Vol. 10, No. 5, pp. 3352-3355.