

# 원판형 드래그펌프 회전자의 채널이 성능에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

권명근<sup>†</sup>, 이수용\*, 황영규\*\*

## An Experimental Study on the Effect of Performance for Channel of Disk-type Drag Pump Rotors

Myoung-Keun KWON, Soo-Yong LEE and Young-Kyu HWANG

**Key Words:** Disk-type Drag Pump (원판형 드래그펌프), Compression Ratio (압축비), Pumping Speed (배기속도), Throughput (배기유량), Ultimate Pressure (최대도달진공도)

### Abstract

In this study, we are investigated experimentally the pumping characteristics about the pumping channel shapes of disk-type drag pump (DTDP). We are experimented the pumping performance about the rotors which have channel or do not exist. The channel disk-type rotor has spiral channels both upper and lower part, and stator is planar. The planar disk-type rotor hasn't channel and stator has spiral channels both upper and lower part. The flow-meter 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 (channel disk-type rotor), 1000 for four-stage (planar disk-type rotor) and two-stage DTDP (channel disk-type rotor) at zero throughput. The ultimate pressure was  $1.6 \times 10^{-6}$  Torr for three-stage DTDP (channel disk-type rotor),  $2.5 \times 10^{-6}$  Torr for four-stage DTDP (planar disk-type rotor).

### 1. 서 론

최근에는 반도체산업 및 재료산업 분야가 급속도로 발전하고 있는 실정이다. 이들 산업현장에서는 고정청의 진공공간이 요구되고 있는데, 이를 위하여 대(大)유량이 요구되는 CVD(chemical vapor deposition), 이온 주입(ion implantation), 에칭(etching), 스퍼터링(sputtering)등의 작업공정에 터보

형 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.<sup>(1)</sup> 이러한 터보형 드래그펌프는 크게 Holweck 형태인 원통에 나선형 홈이 있는 헬리컬 드래그펌프와 Siegbahn 형태인 원판에

<sup>†</sup> 성균관대학교 대학원

E-mail : skukwonk@chol.com

TEL : (031)290-7499 FAX : (031)290-5849

\* 성균관대학교 대학원

\*\* 성균관대학교 기계공학부

힘이 있는 원판형 드래그펌프로 구분된다.<sup>(2)</sup> 터보형 드래그펌프는 대유량에 적합할 뿐만 아니라  $10^{-6}$  Torr 정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축·배기 할 수 있다.

원판형 드래그펌프(disk-type drag pump, DTDP)에 대하여 Shi등<sup>(3)</sup>은 이론적 및 실험적으로 성능특성을 파악하였다. 그리고 Heo와 Hwang은 DSMC(direct simulation Monte Carlo)법을 이용하여 분자천이영역에서의 원판형 드래그펌프에 대한 성능해석을 수치 해석 및 실험적으로 수행하였다.<sup>(4)-(6)</sup>

본 연구에서는 DTDP 회전자의 채널 유무(有無)에 따른 배기특성을 실험적으로 파악하였다. 서로 다른 두 가지 형상의 원판형 회전자(rotor)에 대하여 실험적으로 펌프의 배기 성능을 파악하였다. 두 가지 형상중 하나는 회전자에는 나선형 채널이 형성 되어 있으며, 고정자(stator)는 평평한 형상으로 구성되어 있다. 다른 형상은 펌프내부의 회전자에는 채널이 없고, 고정자에만 채널이 있는 형상을 하고 있다. 이 두 가지 형상에 대한 펌프의 성능을 실험적으로 비교 하였다. 실험은 DTDP의 출구측 압력변화에 따른 입구측 압력을 측정함으로써 펌프의 성능을 파악하였으며, 압력측정범위는 유량이 없을 때 출구측 압력 범위를 0.001~4Torr로 하였다.

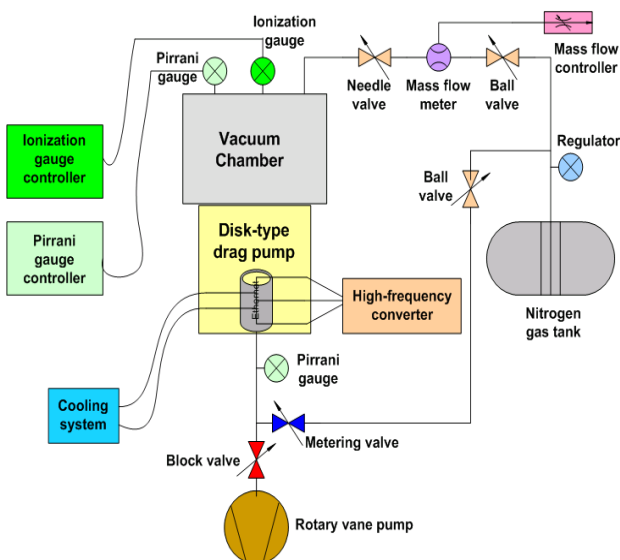


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

각각의 두 가지 형태의 드래그펌프에 대한 최대 도달진공도, 최대압축비를 측정하여 배기 능력을 비교하였으며, 질소( $N_2$ ) 유량에 대한 펌프의 성능도 비교하였다. 최종적으로 배기속도를 측정하여 펌프의 각각의 펌프 성능을 상호 비교·고찰하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

본 연구에 사용된 실험장치구성에는 원판형 드래그펌프와 진공압력 측정용 진공게이지, 후단펌프, 가스( $N_2$ )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 이온게이지와 페닝게이지를 이용하여 압력을 측정하였다. 후단 펌프로는 970L/min의 성능을 갖는 2단 로터리펌프(rotary vane pump)를 사용하였다. 그리고, 출구압력의 조절을 위하여 DTDP의 출구측에 Fig. 1에서 보는 것과 같이 미터링 밸브를 설치하여 출구측의 압력조절이 용이하도록 하였다. 실험에 사용된 기체인 질소는 가스탱크로부터 미터링 밸브쪽으로 유입시켜 출구압력을 조절하도록 하였다. 그리고 실험용 DTDP는 로터리 펌프의 안정적인 작동을 위해서는 지나친 과열과 냉각을 막는 적절한 냉각 시스템이 필요하여 물을 이용한 수냉식 냉각방법을 채택하여 실험을 수행하였다.

회전자에 나선형 유로(spiral channel)가 있는 DTDP 내부 회전자의 기하학적인 형상에 대한 제원을 Fig. 2와 Table 1에 나타내었다. 마찬가지로 회전자에는 유로가 없고 고정자에만 유로가 있는 DTDP의 고정자에 대한 기하학적 형상의 제원도 같게 구성되어 있다. 실험은 Fig. 3과 4 처럼 구성된 DTDP의 성능실험을 수행하였다. 회전자수가 3단으로 구성된 DTDP의 경우는 3단중 아래의 2단은 윗면과 아랫면에 나선형 유로가 되어있는 경우와 한 개의 회전자는 윗면에만 난

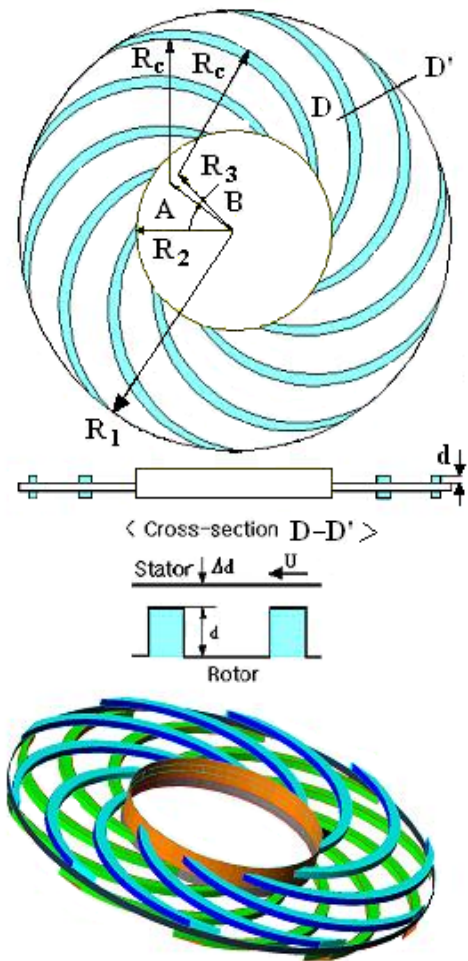


Fig. 2 Geometry of a channel disk-type rotor.

Table 1 Geometrical parameter of the rotor.

outer radius	$R_1$	86 mm
inner radius	$R_2$	39 mm
clearance	$\Delta d$	0.5 mm
depth of channel	$d$	3 mm
angle of channel inlet	$A$	$36^\circ$
angle of channel wall	$B$	$8^\circ$
radius of channel	$R_c$	56mm
radius of channel center	$R_3$	32mm

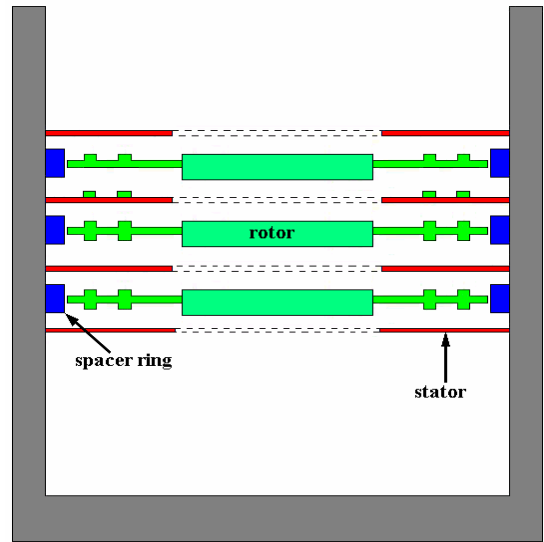


Fig. 3 Cross-section of the three-stage DTDP (channel disk-type rotor).

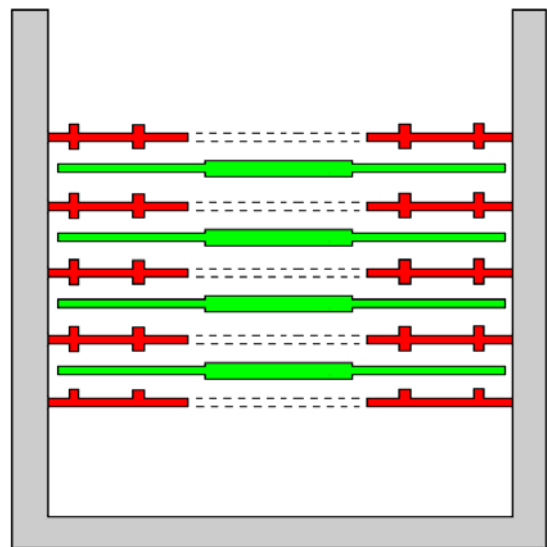


Fig. 4 Cross-section of the four-stage DTDP(planar disk-type rotor).

선형 유로가 있는 3단으로 DTDP실험을 수행하였으며, 그리고 회전자에는 유로가 없고 고정자에 나선형 유로가 있는 회전자가 4단인 DTDP에 대하여 성능실험을 수행하였다.

### 2.2 실험 방법

드래그펌프는 출구압력이 10Torr 이상되면 열 발생이 매우 커지게 됨을 관찰하였으며, 본 연구에서는 압력범위를 0.001~4Torr로 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 작동온도( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ )와 일정한 압력이 얻어지면 테스트용 가스( $\text{N}_2$ )를 주입한다.

본 연구에서는 테스트 기체를 질소( $\text{N}_2$ )사용하였으며, 유입기체의 유량조절은 유량계(MFC)와 리크밸브(variable leak valve)을 이용하여 제어하였다. 출구압력은 미터링 밸브를 이용하여 조절하였으며, 요구하는 압력에 도달하였을 경우 출구 압력변화에 따른 입구압력변화 등을 측정하여 원하는 실험결과를 얻을 수 있었고, 최종적으로 배기속도를 측정하여 DTDP의 성능을 종합적으로 파악하여 보았다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 최대도달 진공도 및 최대압축비

본 연구에서는 DTDP의 회전하는 회전자에 유로의 유무(有無)가 펌프의 성능에 어떤 영향이 있는지를 실험적으로 수행하였다. 우선 최대도달 진공도는 Fig. 5에서 채널이 있는 회전자를 가진 3단 DTDP는 출구압력이  $10^{-3}$ Torr 일 때  $1.6\times 10^{-6}$ Torr 나타내고 있고, 채널이 없는 회전자를 가진 DTDP는  $2.5\times 10^{-6}$  Torr를 나타내고 있다.

최대 압축비의 경우 Fig. 6에서 채널이 있는 회전자를 가진 3단 DTDP의 경우 3300정도의 높은 압축비를 보이고 있으며, 반면에 채널이 없는 회전자를 가진 DTDP의 경우는 1000정도의 압축성능을 보이고 있다. 이는 Shi<sup>(3)</sup>가 주장한 채널이 회전자에 있으면 성능에 유리하다는 것을 잘 나타내주고 있다. 출구압력이 1~4Torr 사이의 구간에서는 압축비가 급격히 증가하는데 이는 후단펌프로 사용되는 로터리 펌프의 영향으로 인한 영향으로 판단된다.

#### 3.2 유량에 따른 성능

유량에 대한 성능영향에서는 질소기체를 66, 135 그리고 200SCCM을 주었을 때 각각에 대한 출구압력에 대한 입구압력을 비교하였으며, 각각 유량에 대한 압축비를 구하여 보았다.

유량이 66 SCCM 인 경우 Fig. 7에서 보면

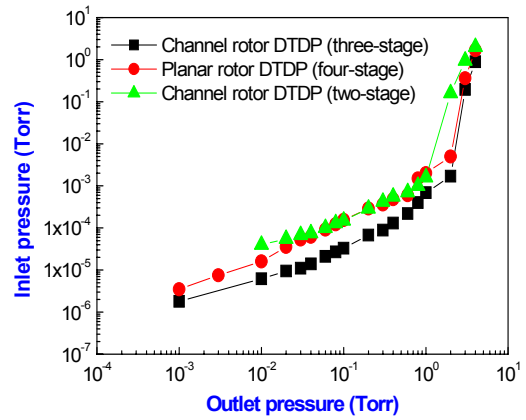


Fig. 5 Comparison of inlet pressure of the DTDPs at 0 SCCM.

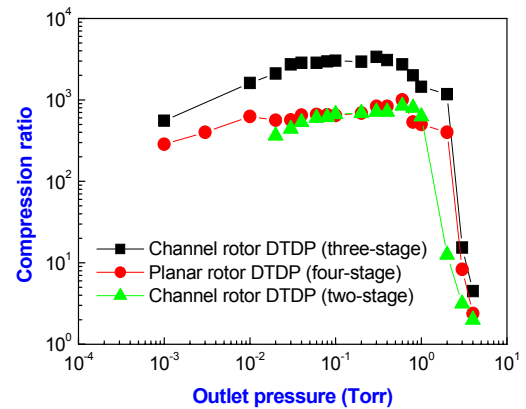


Fig. 6 Comparison of compression ratio of the DTDPs at 0 SCCM.

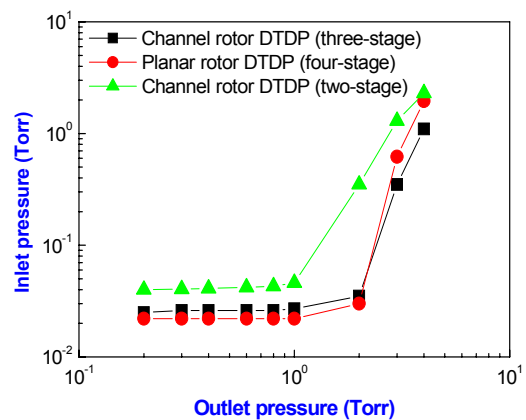


Fig. 7 Comparison of inlet pressure of the DTDPs at 66 SCCM.

출구압력이 1Torr 이하에서는 입구압력이 더 이상 낮아지지 않고 있다. 같은 유량일 때 압축비를 살펴보면 3단과 4단의 경우 출구압력이 2Torr 일때 각각 50과 60정도의 압축비를 Fig. 8에 보이고 있다. 유량일 있을 때는 전체 유로의 길이가 회전자에 유로가 없는 4단으로 구성된 경우가 로터의 수가 하나 더 있기 때문에 배기되는 기체분자의 역류가 상대적으로 3단으로 구성된 경우보다 적기 때문에 높은 압축비와 낮은 입구압력을 나타내고 있다.

마찬가지로, Fig. 9~12의 결과에서도 비슷한 경향을 보이고 있다.

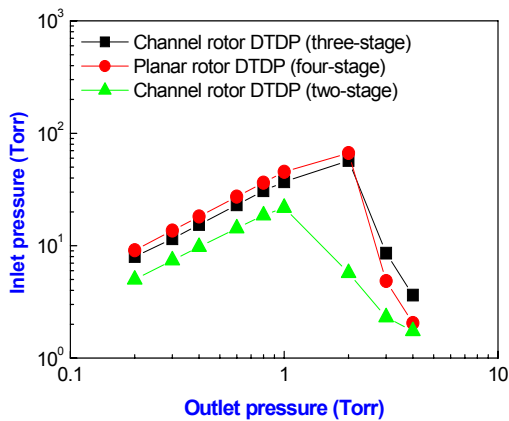


Fig. 8 Comparison of compression ratio of the DTDPs at 66 SCCM.

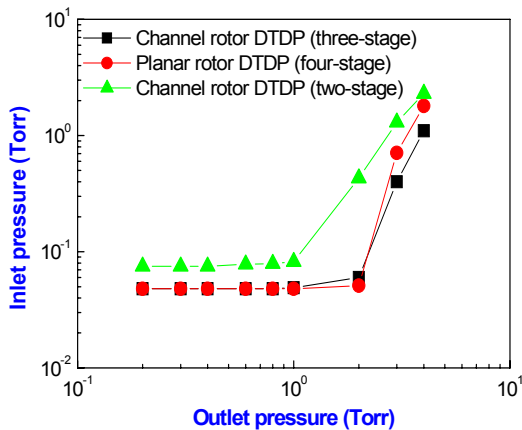


Fig. 9 Comparison of inlet pressure of the DTDPs at 135 SCCM.

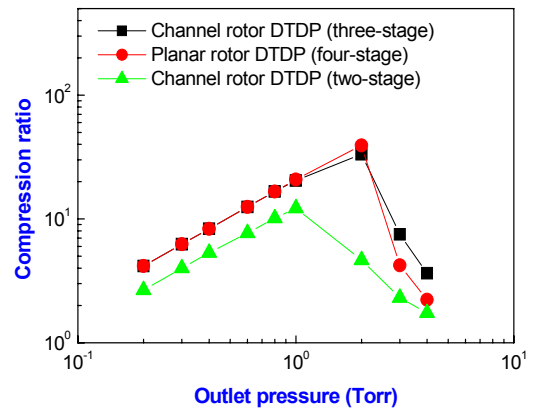


Fig. 10 Comparison of compression ratio of the DTDPs at 135 SCCM.

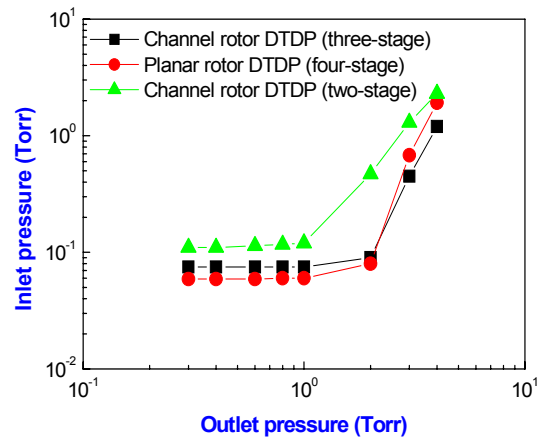


Fig. 11 Comparison of inlet pressure of the DTDPs at 200 SCCM.

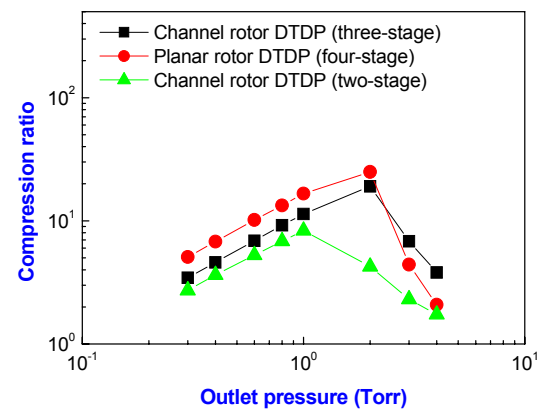


Fig. 12 Comparison of compression ratio of the DTDPs at 66 SCCM.

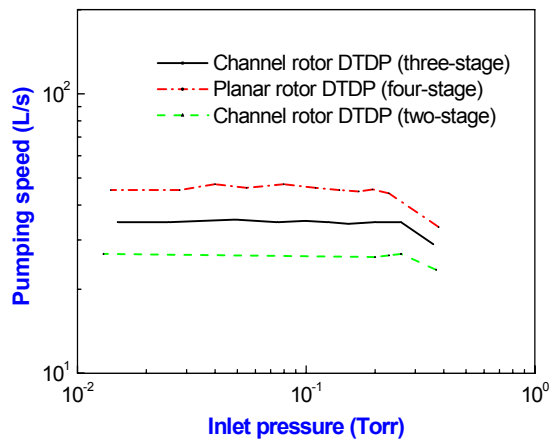


Fig. 13 Pumping speed vs. inlet pressure.

### 3.3 배기속도 비교

배기속도는 Fig. 13에서 보는 것과 같이 3단 원판형 드래그펌프의 경우 입구압력이 낮아질수록 특히 입구압력이 0.25Torr이하에서는 약 35 L/s의 일정하고 안정된 성능을 보이고 있다. 그리고 4단 원판형 드래그펌프의 배기속도를 살펴보면 약 45 L/s의 배기속도를 갖고 있다. 입구압력이 0.25Torr 이하에서는 일정한 배기속도를 갖는 곡선들을 보이고 있다. 단의 수가 많을수록 배기속도도 커지고 있음을 볼 수 있다.

## 4. 결 론

원판형 드래그펌프 회전자의 채널 유무에 따른 성능을 실험적으로 파악하였다. 최대도달 진공도는 3단으로 구성되어 회전자에 유로가 있는 경우가  $1.6 \times 10^{-6}$  Torr 이었고, 회전자에 유로가 없는 경우는  $2.5 \times 10^{-6}$  Torr를 나타냈다. 최대압축비는 유로가 있는 회전자의 원판형 드래그펌프가 3300정도였으며, 유로 없는 회전자로 구성된 원판형 드래그펌프는 1000정도로 3배의 압축성능을 보였다. 회전자에 채널이 없는 경우가 더 높은 압축비를 가지는데 이는 회전원판의 수가 많아 유로의 길이가 상대적으로 길어 유량에 대한 역류가 적기 때문인데 원판수가 증가할수록 간극의 역할도 펌프의 성능에 중요한 원인이 되는 것으로 사료된다.

향후 4단 이상의 다단 원판형 드래그펌프 설계 시 회전자에만 유로가 있는 경우 원판형 드래그펌프의 배기성능예측 기초자료를 얻을 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-041-D20098).

## 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.
- (5) Heo, J. S. and Hwang, Y. K., 2001, "Spiral Channel Flows in a Disk-type Drag Pump", *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 19, No. 2, pp. 656-661.
- (6) Kwon, M. K., Heo, J. S. and Hwang, Y. K., 2003, "An Experimental Study on the Pumping Performance of the Multi-stage Disk-type Drag Pump", *Journal of the Korean Vacuum Society*, Vol. 12, No. 2, pp. 79-85.