

# 원판형 분자 드래그펌프 회전자에 대한 압력 측정

권명근<sup>†</sup> · 김도행\* · 황영규\*\*

## The Measurement of Vacuum Pressure for the Rotors of Disk-type Molecular drag Pumps

Kwon, Myoung-Keun, Kim, Do-Haeng and Hwang, Young-Kyu

**Key Words:** Molecular Drag Pump(분자드래그펌프), Vacuum Pressure(진공압력), Compressible Ratio(압축비), Pumping Speed(배기속도)

### Abstract

Turbo-type molecular drag pumps (MDPs) are used in the liquid crystal display (LCD), semiconductor and other thin film industries. Siegbahn (disk-type) molecular drag pumps are used as high-pressure stages in the hybrid-type turbomolecular pumps, where they can operate in the viscous, the transition and the free molecular flow regime. In this study is performed to investigate the pumping characteristics of three-stage disk-type molecular drag pump (DTDP) in the molecular transition flow region. The experiments are measured using five vacuum pressure gauges in the positions for rotors of DTDP. The test is performed with nitrogen gas ( $N_2$ ).

### 기호설명

- $K$  : 압축비  
 $Q$  : 배기유량, sccm or Pa · l/sec  
 $P$  : 펌프의 내부 진공압력, Pa  
 $S_p$  : 펌프의 배기속도, l/sec

### 1. 서론

반도체산업 및 LCD(liquid crystal display) 산업 분야에서 웨이퍼(wafer)와 글라스(glass)의 크기가 커져 가고 있는 추세이다. 이들 산업분야에서는 고정청의 진공 공간이 요구되고 있는데, 이를 위하여 대(大)유량이 요구되는 CVD(chemical vapor deposition), 이온 주입 (ion implantation), 에칭(etching), 스퍼터링(sputtering) 등의 작업공정에 터보형 진공펌프가 많이 이용되고 있다. 이 터보형 진공펌프는 세계적인 반도체 웨이퍼 크기의 증대와 국내 반도체 디스플레이 산업의 제조능력 확대에 따라 많은 양의 수요 증가가 발생하고 있는 상황이다. 국내의 대(大)유량 터보형 고진공펌프 시장의 경우 모두 수입에 의존하고 있으며 국산화는 이루어지지 않고 있는 상황이다. 아직 터보형 고진공펌프에 있어서는 아직은 세계 시장의 상황도 개발단계에 있으며, 현재 국내의 기술수준으로도 충분한 경쟁력이 있다고 판단되므로 본 연구의 의의가 있다고 하겠다.

---

<sup>†</sup> \*회원, 성균관대학교 학원 기계공학과 E-mail : [skukwonk@chol.com](mailto:skukwonk@chol.com) TEL : (031)290-7499  
FAX : (031)290-5889

\*\* 회원, 성균관대학교 기계공학부

---

터보형 진공펌프 중에는 고속으로 회전하는 날개에 의하여 기체분자들이 매우 큰 운동량을 전달받아 연속적으로 진공공간으로부터 출구쪽으로 압축·배기시키는 터보형 드래그펌프가 있다.<sup>(1)</sup>

이러한 터보형 드래그펌프는 기존의 펌핑 시스템에서와 같이 후단펌프가 별도로 필요치 않기 때문에 터보형 드래그펌프는 시스템의 유지보수, 가격, 소음, 배기시간 등 여러 면에서 기존의 펌핑 시스템과 비교할 수 없는 압도적인 우위성을 가지고 있다. 일반적으로 후단펌프는 누설을 방지하기 위하여 오일을 사용하기 때문에 불가피하게 오일의 교환비용 및 오일의 역류에 의한 진공공간의 오염이 문제점으로 지적되고 있어서, 기존의 오일(oil)식 펌프의 대체용으로서 최근 중진공용 무급유식 대(大)유량의 기계식펌프에 대한 필요성이 날로 확대되고 있는 상황에 놓여있다.

터보형 분자 드래그펌프 ( molecular drag pump; MDP)는 크게 Holweck 형태인 원통에 나선형 홈이 있는 헬리컬 드래그펌프 ( helical-type drag pump; HTDP ) 와 Siegbahn 형태인 원판에 홈이 있는 원판형 드래그펌프 ( disk-type drag pump; DTDP ) 로 구분된다.<sup>(2)</sup> 터보형 드래그펌프는 대유량에 적합할 뿐만 아니라 약  $10^9\text{Pa}$  정도의 고진공으로부터 대기압까지 한 대의 펌프로도 기체를 압축·배기 할 수 있는 성능을 가지고 있다. HTDP와 한 개로의 로터로 구성된 DTDP에 대하여 Hwang과 Heo<sup>(3,4)</sup>는 이론적 및 실험적으로 성능특성을 파악하였으며, 그리고 그들은 DSMC (direct simulation Monte Carlo)법을 이용하여 분자천이영역에서 성능해석을 수치해석 및 실험적으로 수행하였다.

Tu 등<sup>(5)</sup>은 터보형 원판형 드래그펌프에 대한 성능을 향상시키기 위하여 기존의 모델과는 달리 회전익과 고정익에 나선 채널을 만들어 이론 및 실험적 연구를 동시에 수행하였다.

Kwon과 Hwang 등<sup>(6)</sup>은 원판형 드래그펌프의 회전자의 증가에 따른 배기성능을 실험적으로 연구하였다. 또한, 원판형 드래그펌프 내부 회전익과 고정익 사이의 간극이 배기성능 미치는 영향에 대하여 DSMC법을 이용하여 수치모사 하였다.<sup>(7,8)</sup> 그리고 또한 이들은 세 가지 형상의 분자 드래그펌프 성능에 대하여 실험적으로 연구를 하

였는데 로터의 형상이 복잡한 복합형 분자드래그펌프(compound molecular drag pump)로 갈수록 높은 배기압축비와 높은 진공도를 얻을 수 있음을 실험적으로 연구하였다.<sup>(9)</sup>

본 연구에서는 사용된 원판형 드래그펌프의 경우 선행연구<sup>(7,8)</sup>에서 얻어진 간극을 사용하여 배기성능을 측정하였다.

본 연구는 회전자(rotor)가 세 개로 구성되어있는 DTDP의 대하여 배기성능을 실험적으로 연구하였는데, 각각의 회전자의 위치에서의 진공압력을 측정하였다. 각각 세 개의 회전자에서의 압력 측정을 통하여 실제 DTDP 유로구조에서의 압력 특성들을 살펴보고자 하였다. 펌프의 성능실험은 펌프 출구압력( $P_6$ ) 변화에 따른 펌프 케이싱 벽면 주위로 부착한 다섯 군데 위치에서의 압력 ( $P_1 \sim P_5$ ) 변화를 측정하여 펌프내부의 압력변화를 파악하고자하였다. 압력측정범위는 일정 유량 변화에 따른 유입유량이 없을 때 펌프 출구부  $P_6$  범위가  $0.2 \sim 533 \text{ Pa}$ 일 때  $P_1 \sim P_5$  값들의 변화를 측정하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

테스트펌프 입구부와 출구부에는 각각 피라니게이지를 설치하였으며, 펌프 입구측(챔버)의 압력이 고진공인 경우에는 이온게이지를 이용하여 압력을 측정하였다.

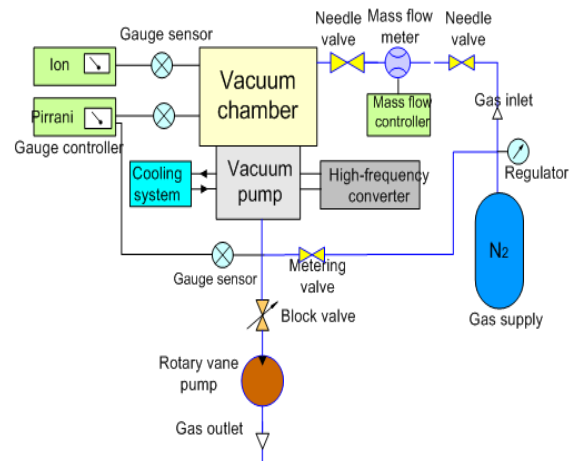
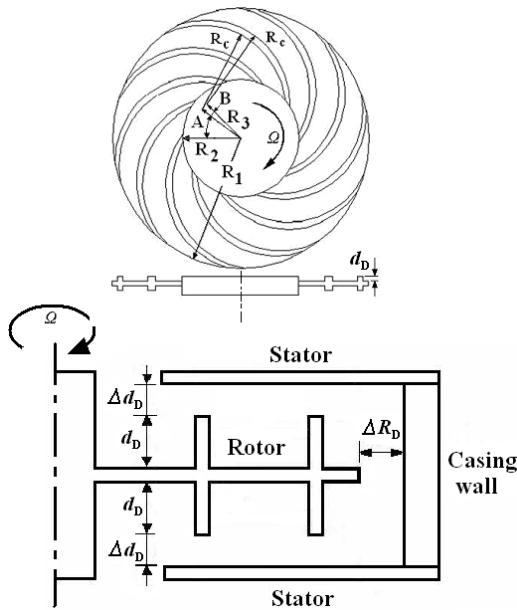


Fig. 1 The layout of the experimental apparatus.



(a)



(b)

Fig. 2 (a) DTDP, (b) geometry of DTDP.

Table 1 Dimensions of DTDP rotors

Geometry parameters	Symbols	Dimensions
outer radius	$R_1$	86 mm
inner radius	$R_2$	39 mm
depth of channel ( first stage)	$d_D$	5 mm
depth of channel (second & third stage)		3 mm
vertical clearance between rotor and stator	$\Delta d_D$	0.5 mm
radial clearance between rotor and casing wall	$\Delta R_D$	1 mm
angle of channel inlet	$A$	$36^\circ$
angle of channel wall	$B$	$8^\circ$
radius of channel	$R_C$	56 mm
radius of channel center	$R_3$	32 mm
length of channel	$L_D$	218 mm
number of grooves	$N_D$	10

후단 펌프로는 970 l/min의 성능을 갖는 우수진공(주)의 2단 로터리펌프(rotary vane pump)를 사용하였다. 그리고,  $P_6$ 의 조절을 위하여 테스트펌프의 출구부에 Fig. 1에서 보는 것과 같이 미터링밸브(metering valve)를 조절하여 배기속도(pumping speed)를 측정하여 펌프의 성능에 대한 기초 자료를 얻을 수 있었다. 그리고, 테스트 펌프는 로터리 펌프의 안정적인 작동을 위해서는 펌프 모터부의 지나친 과열과 냉각을 막는 적절한 냉각 시스템이 필요하며, 실험에서는 물을 이용한 수냉식 냉각방법을 채택하였다.

실험에 사용된 DTDP의 사진을 Fig. 2(a)에 나타내었다. 드래그펌프에 사용된 로터의 기하학적 구조를 Fig. 2(b)에서 보여주고 있으며, 상세한 기하학적제원은 Tables 1에서 나타내었다.

## 2.2 실험 방법

테스트 복합분자펌프는  $P_6 \geq 1000$  Pa 되면 열의 발생이 매우 커지게 되는 것을 관찰하였으며, 본 연구에서는  $0.2 \leq P_6 \leq 533$  Pa의 범위로 제한하여 실험을 수행하였다. 실험은 먼저 후단 펌프를 가동시켜 펌프내부의 압력이 복합형 진공펌프가 작동할 수 있는 조건이 되도록 충분히 배기를 한다. 작동요구조건에 맞는 1 Pa이하의 진공도가 유지되면 테스트펌프 및 펌프에 부착된 냉각시스템을 작동시킨다. 시스템이 정상적인 온도( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ )와 작동압력에 도달하면 테스트 기체( $\text{N}_2$ )를 주입하여 작동기체에 따른 성능 테스트를 수행하였다.

본 연구에서는 테스트 기체를 질소( $\text{N}_2$ )사용하였으며, 유입기체의 유량조절은 유량계(MFC, Aera co.)와 리크 밸브(variable leak valve)을 이용하여 제어하였다. 요구하는 압력에 도달하였을 경우  $P_2$ 변화에 따른  $P_1$ 변화 등을 측정하여 원하는 실험결과를 얻을 수 있었고, 최종적으로 배기속도를 측정하여 펌프의 성능을 종합적으로 파악하여 보았다.

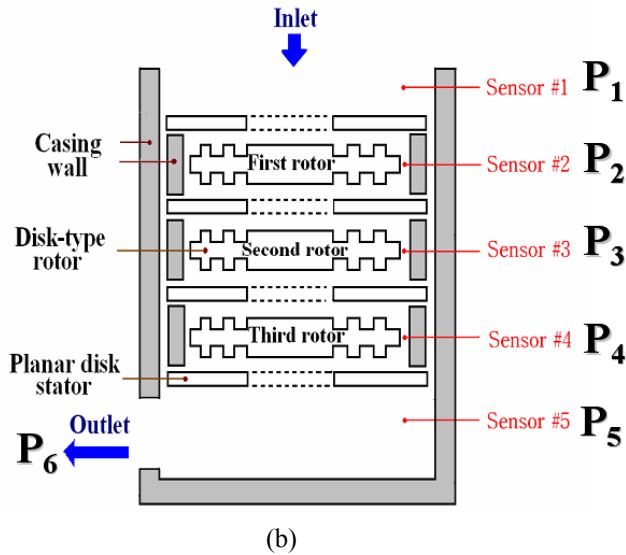
## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 질량유량에 대한 배기성능

본 연구는 회전자(rotor)가 세 개로 구성되어있는 DTDP의 대하여 배기성능을 실험적으로 연구



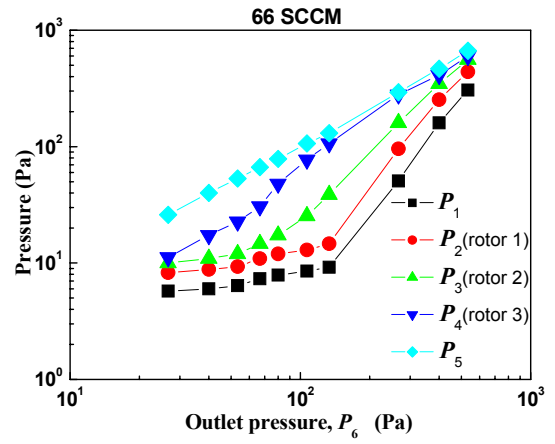
(a)



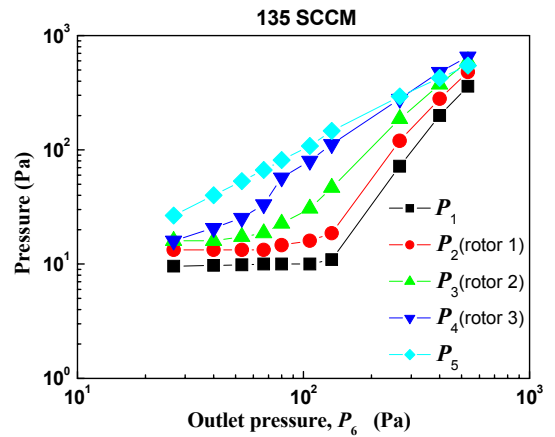
(b)

**Fig. 3** Test pump: (a) photo of DTDP  
(b) cross-section of DTDP.

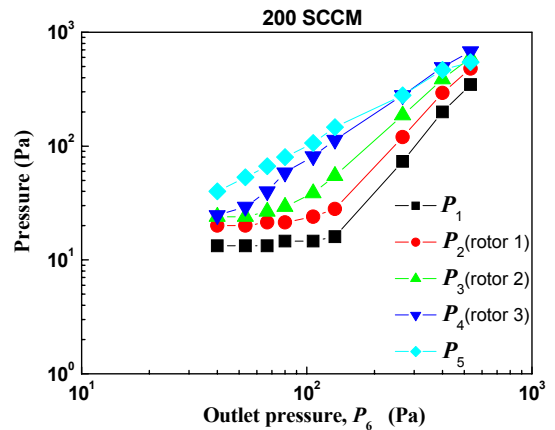
하였는데, 회전자 각각의 위치에서 진공압력을 측정하였다. 각각의 회전자위치에서의 압력을 측정하였다. 진공압력 측정용 압력 게이지를 **Fig. 3(a)**처럼 펌프 케이싱 주변에 부착하였으며, 그것에 대한 압력게이지의 측정위치에 대한 자세하게 **Fig. 3(b)**처럼  $P_1 \sim P_5$  값들의 측정할 수 있게 하였으며, 이것들 2번 센서는 맨 위의 상단의 회전자주변의 압력  $P_2$  값을 측정하며, 3번 센서는 세 개의 회전자중 가운데 위치에 있는 회전자 주위의 압력  $P_3$  값을 측정한다. 그리고 압력



(a)



(b)



(c)

**Fig. 4** Vacuum pressure ( $P_1 \sim P_5$ ) vs. outlet pressure  $P_6$  for  $66 \leq Q \leq 10$ : (a)  $Q = 66$  sccm, (b)  $Q = 135$  sccm, and (c)  $Q = 200$  sccm

$P_4$  값은 세 개의 회전자중 가장 밑에 위치한 회전자주위의 압력 값을 나타내게 된다.

일정량의 질소기체를 각각 66, 135 그리고 200sccm 을 펌프 입구로 유입시켜 주었을 때 펌프 출구압력 값  $P_6$  변화에 대한  $P_1 \sim P_5$  위치의 압력 값들의 변화를 측정된 것을 Fig. 4에 나타내고 있다. 유량이 증가할수록 같은  $P_6$  값의 변화에 대하여 Fig. 4(a) 보다는 Fig. 4(c)의  $P_1 \sim P_5$  압력 값들이 높은 압력을 나타내고 있다. 출구압력 변화가  $133 \leq P_6 \leq 533$  Pa에서는  $P_3, P_4$  그리고  $P_5$  값들은 높은 압력구배를 가지고 변화하고 있지만,  $P_1$ 와  $P_2$  값은 적은 압력구배를 나타내고 있는데 이것은 펌프 출구부에 가까워짐에 따라서 펌프출구로 배출되었던 기체분자들의 역류에 의한 영향을 많이 받고 있는 것으로 판단되어 진다.

질소기체 유량을 각각 66, 135 그리고 200sccm 을 펌프 입구로 유입시켜 주었을 때 펌프출구 압력 값  $P_6$  변화에 대한  $P_1 \sim P_5$  위치에서의 압축비의 변화를 측정된 것을 Fig. 5에 나타내고 있다. 각각 회전자에서의 유량 변화에 대한 압축비 변화를 보면 유량이 증가 할수록 낮아지고 있다.

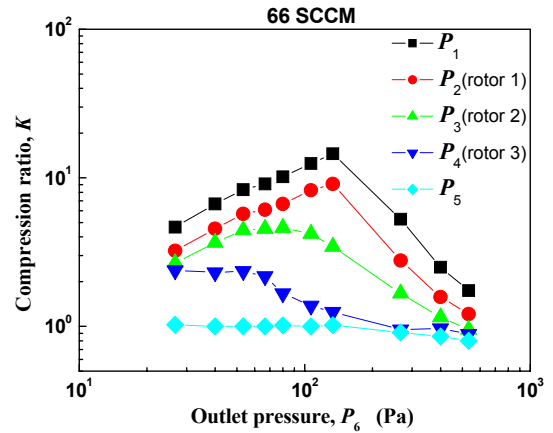
### 3.2 배기속도에 대한 성능 비교

질량 유량  $Q = 66$  와 135sccm을 유입시켰을 때 각각의 압축비도를 Fig. 7에 나타내었다. 유량의 영향으로 세 가지 형태의 펌프들이 모두 100 이하의 압축비성을 보이고 있다. 회전자 위치에 따라 가장 높은 압축비가 두 배씩 높아 지는 규칙성을 볼 수 있다. 이것은 회전자 위치에 따른 성능영향에 대한 어떤 규칙성을 보여주는 것이다.

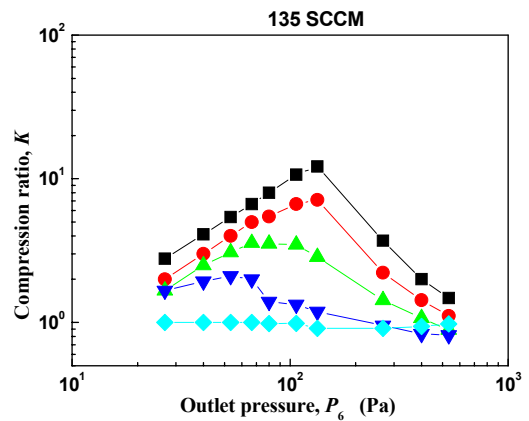
### 3.2 배기속도와 Throughput

같은 질량유량에 대하여 세 개의 회전자 중 가장 위쪽에 위치한 회전자가 낮은 압력을 나타내는 것을 Fig. 6 에 나타내고 있다.

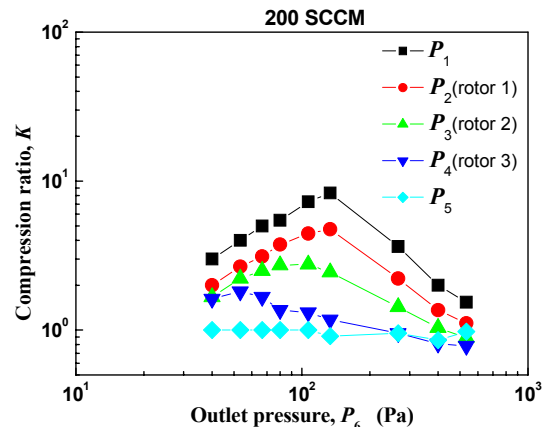
배기속도( $S_p = Q / P$ )는 Fig. 7에 세 개의 회전자 위치에서 나타낸 것이다. 상단 1번 회전자에서 가장 높은 배기속도를 나타내고 있으며, 3번 회전자에서 가장 낮은 배기속도를 나타내고 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Compression ratio vs. outlet pressure  $P_6$  for  $66 \leq Q \leq 10$ : (a)  $Q = 66$  sccm, (b)  $Q = 135$  sccm, and (c)  $Q = 200$  sccm

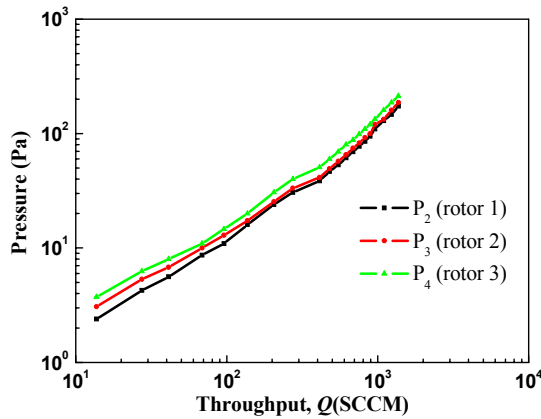


Fig. 6 Throughput  $Q$  vs. vacuum pressure ( $P_2 \sim P_4$ )

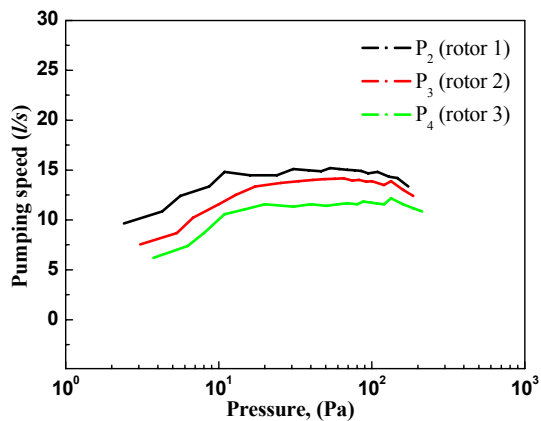


Fig. 7 Pumping speed  $S_p$  vs. Inlet pressure  $P_1$ .

#### 4. 결론

본 연구에서는 다단 원판형 분자드래그펌프의 다단의 원판 회전자의 위치에 따른 배기성능을 살펴보고자 하였다. 각각의 회전자에서의 압력값과 압축비가 다르게 나타남을 확인 할 수 있었다. 그리고 배기속도 또한, 세 가지 회전자 위치에 따라 차이가 남을 확인 할 수 있었는데 이것은 기체분자의 유로가 입구에서 출구로 갈수록 역류라는 물리적인 서로 차이가 나는 상황이 전개되는 것으로 판단되어진다.

#### 후 기

이 논문은 2005년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구 (KRF-2005-202-D00074)이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (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) Hablani, M. H., 1990, *High Vacuum Technology(A Practical Guide)*, Marcel dekker, Inc.
- (3) 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.
- (4) 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.
- (5) Tu, J. Y., Zhu, Y. and Wang, X. Z., 1990, "A New Design for the Disk-Type Molecular Pump", *J. Vac. Sci. Technol. A*, Vol. 8, No. 5, pp. 3870~3873.
- (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.
- (7) Kwon, M. K. and Hwang, Y. K., 2004, "A study on the pumping performance of the disk-type drag pumps for spiral channel in rarefied gas flow", *Vacuum*, Vol. 76, pp. 63~71.
- (8) Kwon, M. K. and Hwang, Y. K., 2004, "Effect of Vertical Clearance Between a Rotor and Stator of a Disk-type Drag Pump on the Performance", *Journal of KSME B*, Vol. 28, No. 12, pp. 1501~1510.
- (9) Kwon, M. K. and Hwang, Y. K., 2006, "An Experimental Study on the Pumping Performance of Molecular Drag Pumps", *Journal Mechanical Science and Technology (KSME Int. J.)*, Vol. 20, No. 9, pp. 1483~1491.