

진공펌프 배기속도 측정방식에 따른 구조적 오차 및 보정

인상렬*

한국원자력연구원 핵융합공학기술개발부, 대전 305-353

(2011년 8월 4일 받음, 2011년 8월 30일 수정, 2011년 10월 5일 확정)

진공펌프의 운전성능을 나타내는 가장 중요한 지표 중의 하나인 배기속도 측정에 관해서는 많은 연구를 통해 정립된 이론에 따라 표준장치와 측정절차에 대한 규격이 만들어지고 널리 활용되고 있다. 그러나 실제 펌프 배기속도 측정 시 이상적인 조건에 비해 변형이 불가피할 때가 있고 그 영향을 간과하면 큰 측정오차를 유발할 수 있다. 본 논문에서는 배기속도를 측정하기 위한 이상적인 또는 실용적인 다양한 방안들이 가지는 물리적 특징과 구조적 오차에 대해 분석하고 보정 식들을 제시했다.

주제어 : 진공펌프, 배기속도, 표준용기, 측정오차, 보정

I. 서 론

진공펌프의 성능을 나타내는 여러 파라미터가 있지만 가장 중요한 성능지표는 역시 배기속도라고 할 수 있다. 배기속도는 물리적으로 체적유량(volume flow rate, L/s, L/min 또는 m³/hr) 즉 단위시간당 펌프 흡기구에 들어오는 기체의 체적을 가리킨다. 펌프 흡기구 단면을 지나가는 체적을 직접 측정하는 것은 사실상 불가능하므로 진공 전문가들은 흡기구로 들어가는 기체 유량(flow rate, mbar · L/s 또는 Pa · m³/s)과 흡기구 압력(mbar 또는 Pa)을 측정한 후 유량을 압력으로 나누어 주는 방식으로 배기속도를 측정한다. 유량은 표면 기체 방출을 고려하더라도 실용적인 측면에서 보면 위치에 상관없이 불변하는 값으로 볼 수 있어서 유량을 어떻게 정밀하게 잴 것인가 하는 방법만 확보하고 있으면 편리한 위치에서 측정하면 된다.

유량을 정밀하게 측정하거나 조절할 수 있다는 전제하에서 남는 것은 결국 정확한 압력측정이다. 이것은 압력 측정 기기의 정확도를 말하는 것이 아니라 필요한 특정위치 즉 흡기구에서 압력을 정확하게 알아야 한다는 뜻이다. 압력을 정밀하게 측정하는 방식은 확립되어 있지만 막상 어디서 측정하는 것이 옳은가 하는 것은 의외로 쉽지 않다 [1]. 펌프의 배기속도를 측정하는 상황을 몇 가지로 가정해 보면, 규격에 입각한 표준용기에 달아 정식으로 재는 것 [1-3], 게이지가 부착된 마구리판을 달고 간이로 재는 것,

펌프가 사용되고 있는 시스템 현장에서 재는 것이 있을 수 있고 펌프가 달려 있는 상태로 직접 용기에 달거나, 도관 또는 어댑터 및 밸브를 통해 달리는 경우가 있다.

앞에서 펌프 배기속도 계산 시 사용하는 흡기구 압력이란 엄밀히 말하면 흡기구를 바라보는 방향으로 가해지는 압력을 말하는데 이는 진공계를 펌프 흡기구 면에서 상류를 향하도록 놓을 때 얻을 수 있는 값으로 설치도 힘들고 진공계가 흐름에 직접 영향을 미치므로 막상 실행하는 것은 어렵다(Fig. 1). 표준용기의 구조는 진공계를 기체 흐름을 방해하지 않는 특정 위치에 달 때 마치 흡기구 면에 놓인 것처럼 흡기구 압력을 정확하게 측정할 수 있도록 고안된 것이지만 때에 따라서는 표준용기를 사용하기 어렵거나, 여러 변형된 측정 방식을 사용할 수밖에 없는 상황이 만들어지고 아무런 조치를 취하지 않으면 큰 측정오차를 유발할 수도 있으므로, 상황에 따라 어떤 보정을 거치면 올바른 배기속도 값을 구할 수 있는지 검토해 볼 필요가 있다.

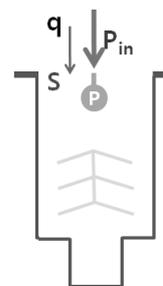


Figure 1. Ideal scheme for measuring incoming pressure.

* [전자우편] srin@kaeri.re.kr

본 논문에서는 배기속도를 측정하기 위한 이상적인 또는 실용적인 다양한 방안들이 가지는 물리적 특징과 구조적 오차에 대해 분석하고 보정 식들을 구했다.

II. 배기속도 측정

앞서 언급한 대로 진공펌프의 배기속도는 흡기구로 들어가는 유량 q 를 흡기구 압력 P_{in} 으로 나누어 주면 구해진다. 즉 $S=q/P_{in}$ 이다. S 는 펌프의 배기방식과 구조 및 운전 상태에 따라 특정 펌프가 나타내는 고유의 성능으로 펌프 흡기구의 오리피스 컨덕턴스 C_o 와 펌프 배기확률 α 의 곱으로 정의된다. 즉 $S=\alpha C_o$ 로 표현된다. 이제 유량을 알고 있다는 전제 아래 흡기구 압력을 측정하는 데 사용될 수 있는 여러 방안들에 대해 자세히 살펴보자.

1. 무한대 측정용기

일반적으로 용기 안에 들어있는 기체분자들은 등방적으로 움직이고 압력도 등방적이다. 그러나 잘 알려진 대로 도관이나 용기에서 기체의 흐름이 있다면 압력은 등방성을 유지할 수 없다 [1,4]. 흐름은 불균일한 압력이 있어야만 들어 지기 때문이다. 흐름이 향하는 방향과 그 반대 방향으로 압력 차이($P_{\downarrow}-P_{\uparrow}$)가 생기는 것은 필연적이며 그 크기는 흐름의 양과 직접적인 비례관계를 가진다. 이때 비례상수는 오리피스 컨덕턴스다. 즉 $q=C_o(P_{\downarrow}-P_{\uparrow})$ 로 표현된다. 이처럼 압력에 방향성이 있다면 압력 측정 위치와 함께 진공계의 부착방향도 중요한 의미를 갖는다.

이제 무한대 용기가 있다고 가정하면 기체 흐름이 있는 경우라도 압력은 항상 등방성을 유지하고($q=C_o(P_{\downarrow}-P_{\uparrow})$ 에서 $C_o=\infty \rightarrow P_{\downarrow}-P_{\uparrow}=0$) 진공계는 어느 곳에 어떤 방향으로 달아도 같은 압력을 나타내므로 문제가 되지 않는다.

따라서 Fig. 2처럼 진공펌프를 무한대 용기에 단다면 용기 어느 곳에서든 펌프 흡기구와 같은 압력을 측정할 수 있으므로($P=P_{in}$) 펌프 배기속도는 측정압력 P 에서 바로 정확하게 계산이 가능하다.

$$S = \frac{q}{P_{in}} = \frac{q}{P} \equiv S_m \quad (1)$$

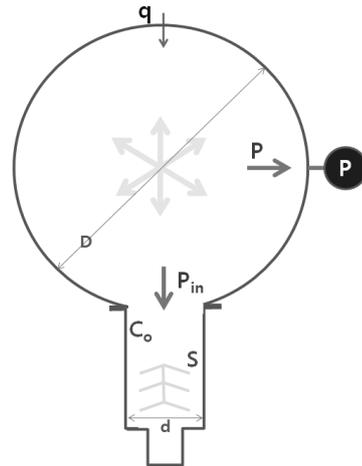


Figure 2. Pumping speed can be measured using a vacuum gauge installed on any location in infinite test dome ($D \gg d$), because $P=P_{in}$ everywhere.

2. 표준용기

무한대 용기 또는 펌프에 비해 매우 큰($D \gg d$) 용기를 측정용기로 사용하는 것이 배기속도 측정의 가장 이상적인 방안이고 때로는 이런 조건을 만족하는 시스템이 있을 수 있지만 일반적으로 실행하는 것은 어렵다. 실용적인 해결책으로 펌프 흡기구와 유사한 직경을 가지는 용기를 사용하면서 배기속도를 정확하게 측정할 수 있도록 고안된 것이 표준용기다. 표준용기는 기본적으로 펌프 흡기구와 같은 단면에 직경의 1.5배 길이를 가지는 원통형 용기로 진공계는 흡기구 면에서 반경만큼 떨어진 곳에 부착하고 기체는 용기 천정을 향해 입사된다 [3].

Fig. 3과 같은 표준용기에서 진공계가 달려 있는 위치에

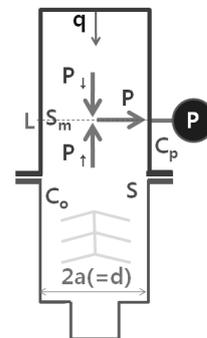


Figure 3. Standard test dome installed on the pump. Measured pressure is the average of downward and upward pressures.

서 방향에 따라 압력은 다음과 같이 표현할 수 있다. 이때 흐름에 수직방향으로 달려 있는 진공계에 미치는 압력은 아래 및 위로 향하는 압력의 평균이다.

$$P_{\downarrow} = \frac{q}{S} + \frac{q}{C_p} \quad (2)$$

$$P_{\uparrow} = P_{\downarrow} - \frac{q}{C_o}$$

$$P = \frac{P_{\downarrow} + P_{\uparrow}}{2} = \frac{q}{S} + \frac{q}{C_p} - \frac{q}{2C_o} = \frac{q}{S_m}$$

이때 C_p 는 펌프 흡기구에서 진공 계까지 도관 컨덕턴스다.

따라서 측정된 배기속도 S_m 이 구하려고 하는 펌프의 배기속도 S 와 같아지려면 $q/C_p = q/2C_o$ 또는 $(q/C_p + q/C_o) = q/\beta C_o = 3q/2C_o$, 즉 $\beta = 2/3$ 가 성립하면 되고 다음 식이 만들어진다. β 는 흡기구 면에서 진공계 부착 위치 L 까지 도관의 통과확률이다 [4].

$$\beta(\delta) = \frac{56 + 8\delta}{56 + 36\delta + 3\delta^2} = \frac{2}{3} \rightarrow \delta = \frac{L}{a} = 1.195 \quad (3)$$

표준용기에서 진공계를 흡기구에서 $L=a$ 만큼 떨어진 곳에 달도록 규격을 만든 것은 앞 식에서 구한 해의 근사치임을 알 수 있다. 진공계가 약간 하류에 달리는 만큼 압력 값이 조금 낮아지고 이는 배기속도 계산 값을 소폭 증가시킨다. 이때 배기속도 계산 값이 가지는 오차를 구하기 위해 $S_m - S$ 또는 S_m/S 를 구해보면 다음과 같다.

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{S_m} = \frac{1}{C_o} \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{\beta(1)} \right) \equiv \frac{\lambda}{C_o} \rightarrow \quad (4)$$

$$S = \frac{S_m}{1 + \lambda S_m / C_o} = \alpha C_o$$

$$S_m = \frac{S}{1 - \lambda S / C_o} = \frac{\alpha C_o}{1 - \alpha \lambda}$$

$$S_m - S = \frac{\lambda S_m^2}{C_o + \lambda S_m} = \frac{\alpha^2 \lambda C_o}{1 - \alpha \lambda}$$

$$\frac{S_m}{S} = \frac{1}{1 - \alpha \lambda}$$

이 식에서 진공계가 제 자리에 있었다면 $\lambda=0$ 이고 $S_m=S$ 가 되었겠지만, 지금은 $\lambda=3/2 - 1/\beta(1) = 0.01563$ 이다.

이 식을 펌프의 배기확률 α 에 관해 그래프로 그리면 Fig.

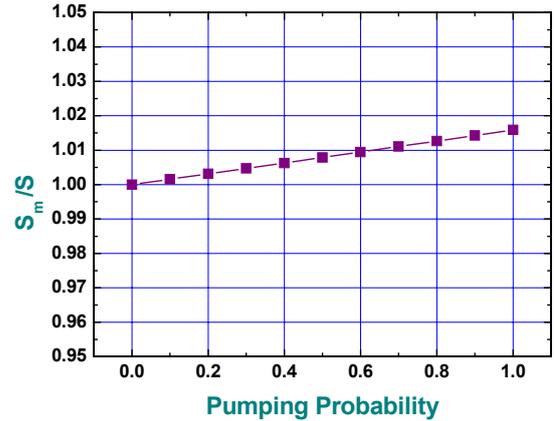


Figure 4. Ratio of measured and original pumping speeds as a function of the pumping probability.

4와 같다. 배기확률이 크면 배기속도가 크고 상대적으로 유량이 증가하므로 같은 진공계 위치 차이에 해당하는 압력차가 커진다. 오차는 최대 1.5% 정도로 크지 않다. 더군다나 진공계 포트가 유한한 폭을 가지면서 발생하는 오차가 있으므로 위치에 따른 오차의 영향은 상대적으로 더 줄어든다 [1].

3. 표준용기 보다 직경이 작은 펌프

진공펌프는 배기방식과 구조를 떠나 펌프의 크기 곧 흡기구 직경이 천차만별이다. 각 직경에 맞는 표준용기를 일일이 마련하는 것은 매우 번거롭고 비경제적일 뿐만 아니라 사실 비실용적이기도 하다. 펌프 흡기구보다 직경이 작은 표준용기를 사용하는 것은 곤란하다는 것이 물리적으로 명백하지만 펌프 흡기구 보다 직경이 더 큰 표준용기를 활용하는 것은 규격 상으로도 허용된다 [2].

Fig. 5처럼 보다 큰 표준용기와 펌프가 직결되어 있을

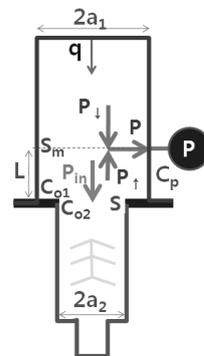


Figure 5. Larger test dome installed on the pump with an abrupt change in the cross-section.

때 측정 위치에서 압력은 앞서 사용되었던 식 (2)와 동일하게 표현된다. 단지 펌프 흡기구 크기와 상관없이 표준용기 단면의 오리피스 컨덕턴스 C_{o1} 이 사용된다. 따라서 펌프 흡기구의 크기가 적절한 진공계 위치 결정에 영향을 미치지 않으며 역시 식 (3), 즉 $L=1.195a$ 가 성립해야 한다.

실제 진공계 위치를 $L=a$ 로 하는 것에 따른 오차에는 펌프 흡기구 직경이 영향을 미치는데 식 (4)는 다음처럼 약간 변형이 필요하다. C_{o2} 는 펌프 흡기구 오리피스 컨덕턴스다.

$$\frac{1}{S} - \frac{1}{S_m} = \frac{\lambda}{C_{o1}} \rightarrow \quad (5)$$

$$S = \frac{S_m}{1 + \lambda S_m / C_{o1}} = \alpha C_{o2}$$

$$S_m = \frac{S}{1 - \lambda S / C_{o1}} = \frac{\alpha C_{o2}}{1 - \alpha \lambda (C_{o2} / C_{o1})}$$

$$S_m - S = \frac{\lambda S_m^2}{C_{o1} + \lambda S_m} = \frac{\alpha^2 C_{o2} \lambda (C_{o2} / C_{o1})}{1 - \alpha \lambda (C_{o2} / C_{o1})}$$

$$\frac{S_m}{S} = \frac{1}{1 - \alpha \lambda (C_{o2} / C_{o1})} = \frac{1}{1 - \alpha \lambda (a_2 / a_1)^2}$$

식 (5)을 표준용기와 펌프 흡기구 직경비 및 펌프 배기확률에 관해 그래프를 그리면 Fig. 6과 같다. 펌프 배기확률이 커질 때 측정오차가 커지는 경향은 앞서와 마찬가지로이지만 펌프 배기확률의 영향은 펌프 흡기구 단면이 작으면 그만큼 작아진다.

그렇다면 지금까지의 논의 결과에 따라 표준용기에 보다 작은 펌프를 달아서 배기속도를 측정할 때 과연 아무 문제가 없는 것일까? 사실 그렇지 않다. 해석적으로는 표현이 불가능하지만 단면이 다른 두 도관이 바로 연결되어 갑

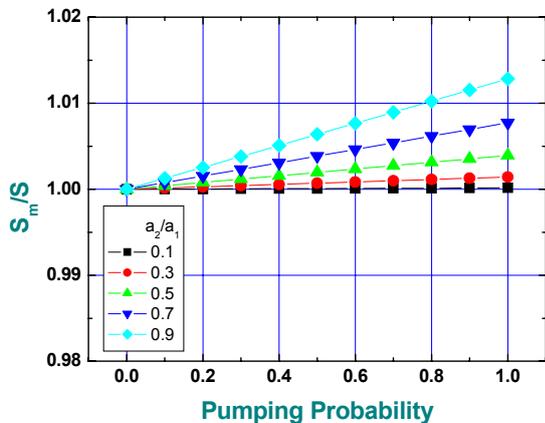


Figure 6. Ratio of measured and original pumping speeds as a function of the pumping probability.

자기 단면에 불연속적인 변화가 생기는 곳에서는 소위 그림자 효과가 발생한다 [5]. 두 도관이 연결될 때 생기는 큰 용기의 모서리 부위에서 그림자가 생기는 것처럼 도관의 실효길이가 짧아져 컨덕턴스가 증가하는 현상을 말한다. 몬테카를로 계산결과를 보면 연결 부위에서 단면의 차이가 거의 없거나 많이 차이가 나면 그림자 효과는 줄어들고 직경비가 0.8 근처일 때 커져서 컨덕턴스가 약 5% 정도까지 증가한다. 만일 이것을 간과한다면 배기속도를 과대평가하는 결과를 낳는다.

이런 단면의 불연속적인 변화가 만드는 그림자 효과를 배제하려면 단면을 연속적으로 변화시키는 것이 필요하고 이런 목적으로 원추형 연결도관을 사용할 수 있다(Fig. 7). 원추형 도관은 컨덕턴스를 해석적으로 나타낼 수 있으므로 이를 보정해 주는 데 문제가 없다.

4. 원추형 연결도관

Fig. 8과 같이 표준용기에 원추형 연결도관을 통해 펌프를 달았을 때 측정된 배기속도는 원추 도관 입구에서 느끼는 배기속도와 같다. 따라서 원추 도관의 컨덕턴스를 보정해 주면 실제 펌프의 배기속도를 쉽게 구할 수 있다.



Figure 7. Two methods for connecting two components with different cross-sections.

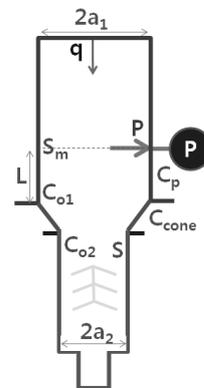


Figure 8. Larger test dome installed on the pump through a cone adaptor.

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_m} - \frac{1}{C_{cone}} \rightarrow$$

$$S = \frac{C_{cone} S_m}{C_{cone} - S_m}$$

$$S_m - S = \frac{S_m^2}{C_{cone} - S_m}$$
(6)

참고로 원추 도관의 컨덕턴스는 다음과 같이 구할 수 있다 [4]. 원추각은 보통 45도를 많이 사용한다.

$$C_{cone} = C_{o1} \left(1 + \frac{\delta \tan \theta}{2} \right)^2 \left(\frac{56 + 8\delta}{28\delta + 3\delta^2} \right)$$

$$= C_{o1} \left(1 + \frac{\delta}{2} \right)^2 \left(\frac{56 + 8\delta}{28\delta + 3\delta^2} \right)$$

$$\theta(\text{cone ang.}) = -45^\circ, \delta = 2(a_1 - a_2)/(a_1 + a_2)$$
(7)

실제 어느 정도 보정이 필요한지 알아보기 위해 식 (7)을 이용해서 원추의 컨덕턴스를 오리피스 컨덕턴스에 대한 비로 나타내면 Fig. 9와 같은 그래프를 얻을 수 있다.

그림에 의하면 펌프의 단면이 작아지면 원추 도관의 컨덕턴스가 줄어들지만 펌프 흡기구 오리피스 컨덕턴스에 비해서는 늘 4배 이상 큰 값을 가진다. 펌프 흡기구 오리피스 컨덕턴스가 펌프 배기속도의 2배(배기확률이 0.5) 정도라고 보면 컨덕턴스 보정 값은 펌프 배기속도의 최대 14%에 이르므로 보정이 필수적이라고 할 수 있다.

5. 게이트 밸브의 영향

게이트 밸브(GV)는 진공 시스템 구성에 있어서 빠질 수

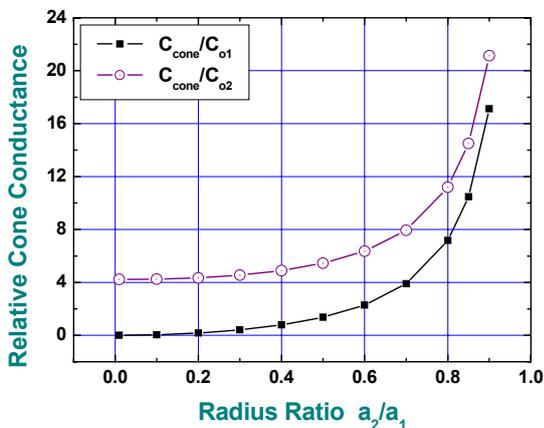


Figure 9. Relative cone conductance as a function of the radius ratio of two cone entrances.

없는 중요한 부품 중 하나로 공간을 구획하여 필요에 따라 자유롭게 진공 상태와 대기 개방 상태가 공존하도록 만들어 주며 진공펌프와 같은 주요 기기들의 탈착 및 교체를 용이하게 해 준다. 게이트 밸브는 밸브가 차지하는 길이가 가장 짧은 밸브중 하나이면서 닫힌 상태에서는 마치 마구리 플랜지로 막은 것처럼 완벽한 차단이 가능하고 열린 상태에서는 저항이 최소화되도록 고안되어 있다.

밸브는 모두 내부 구조가 복잡하여 컨덕턴스를 계산하는 것이 쉽지 않으므로 실험을 통해 구하는 것이 최상이지만 이 또한 특별한 설비를 갖추어야 하므로 보통 상품설명서에는 추산 값들이 제시되어 있다. 게이트 밸브는 밸브 통로 중 세 면이 플랜지 규격에 해당하는 가상 도관에 근접해 있고 다른 한 면은 밸브 디스크 뭉치와 이송 및 기타 구조물들이 거의 채우고 있어서 이를 가상 도관으로 가정하고 컨덕턴스를 추산하는 것도 허용될 수 있다고 생각한다(Fig. 10). 이때 밸브 입구 오리피스 컨덕턴스는 넣지 말고 도관의 컨덕턴스만 고려해야 한다. 컨덕턴스 계산 시 다음 식을 사용할 수 있다 [4]. 변수는 모두 밸브 제원에서 구할 수 있는 값들이다.

$$C_{valve} = C_o \frac{14 + 4L/d}{14L/d + 3(L/d)^2}$$
(8)

참고로 게이트 밸브는 보통 형상비 L/d가 2.4 (소형)~0.2 (대형) 정도이고, 이때 C_{valve} 는 $0.46C_o$ (소형)~ $5C_o$ (대형) 정도가 된다. 소형 밸브는 말할 것도 없고 대형 밸브도 배기확률이 0.5일 때 오차가 10%를 상회하므로 컨덕턴스 보정이 필요함을 알 수 있다. 밸브에 직선 연결도관이 붙는

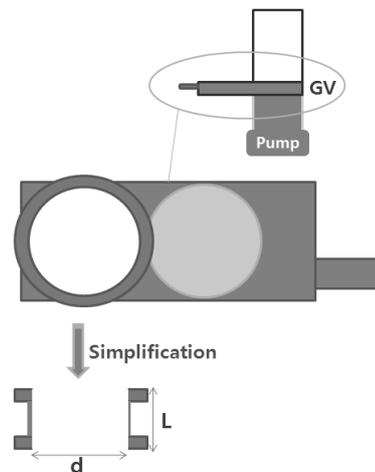


Figure 10. Gate valve can be considered as a short pipe.

다면 L은 밸브 및 도관의 전체 길이가 된다.

이제 최종적으로 식 (6)과 유사하게 다음 식이 성립한다. S_v 는 게이트 밸브 흡기구 배기속도로 측정 배기속도와 같거나($S_v=S_m$) 원추 도관 컨덕턴스를 보정한 값($S_v=C_{cone}S_m/(C_{cone}-S_m)$)을 의미한다.

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_v} - \frac{1}{C_{valve}} \rightarrow \quad (9)$$

$$S = \frac{C_{valve}S_v}{C_{valve} - S_v}$$

$$S_v - S = -\frac{S_v^2}{C_{valve} - S_v}$$

만일 원추 도관과 밸브의 컨덕턴스를 동시에 고려한다면 다음 식을 사용하면 된다.

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_m} - \frac{1}{C_{cone}} - \frac{1}{C_{valve}} \rightarrow \quad (10)$$

$$S = \frac{C_{cone}C_{valve}S_m}{C_{cone}C_{valve} - S_m(C_{cone} + C_{valve})}$$

$$S_m - S = -\frac{S_m^2(C_{cone} + C_{valve})}{C_{cone}C_{valve} - S_m(C_{cone} + C_{valve})}$$

6. Blank dome

펌프 흡기구에 따로 측정용기를 연결하지 않고 진공계와 기체 도입구만 설치한 단순 마구리판을 달아 배기속도를 측정할 수도 있다(Fig. 11). 기체분자가 충분히 등방성을 가지도록 하고 도입된 기체분자가 진공계에 직접 입사하지 않도록 조치한다면 일단 배기속도 측정의 기본 틀은 마련되었다고 할 수 있다.

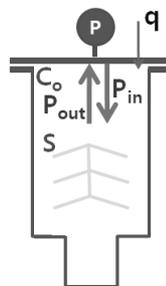


Figure 11. Blank dome equipped with a gauge and a gas port can be used for measuring the pumping speed.

지금까지 다른 배기속도 측정 방식들과 달리 흡기구면에서 펌프를 바라보면서 압력을 측정하므로 가장 낮은 압력 값을 가지게 되고 이는 과도한 배기속도 값을 제공할 것으로 예상된다. 진공계에서 측정되는 압력은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{out} = \frac{q}{S} - \frac{q}{C_o} = \frac{q}{S_m} \quad (11)$$

따라서 펌프의 배기속도는 측정되는 배기속도와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$S = \frac{S_m C_o}{S_m + C_o} \quad (12)$$

$S = \alpha C_o$ 으로 정의되므로 식 (11) 또는 (12)에서 다음 식을 얻는다.

$$S_m = \frac{S C_o}{C_o - S} = C_o \frac{\alpha}{1 - \alpha} \rightarrow \quad (13)$$

$$S_m - S = \frac{S_m^2}{S_m + C_o} = C_o \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}$$

$$\frac{S_m}{S} = \frac{1}{1 - \alpha}$$

이 식들을 펌프 배기확률에 대해 그래프로 그리면 Fig. 12와 같다. 이 방식에서 측정 배기속도와 펌프 배기속도는

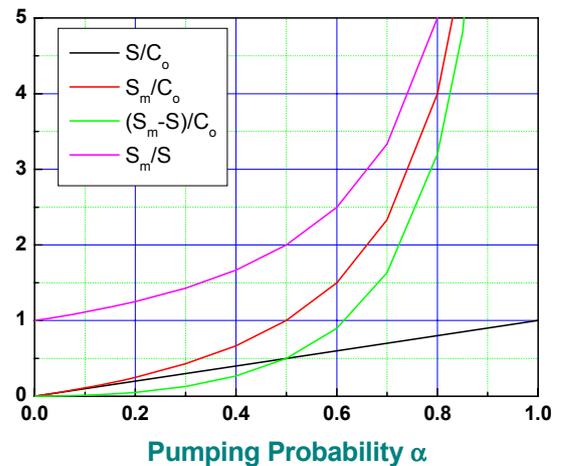


Figure 12. Variation of measured and original pumping speeds, and difference between two values.

매우 큰 차이를 보이는데 배기확률이 0.5라면 그 차이는 100%에 이르고 배기확률이 더 커지면 점점 더 발산한다. 이 방식이야말로 정확한 배기속도 측정이 올바른 보정에 달려 있다고 말할 수 있다.

7. 현장 측정

마지막으로 논의할 배기속도 측정방식은 현장 측정이다. 실험실 또는 산업현장에서 진공시스템에 달린 진공펌프의 운전 상태를 진단한다는 측면에서 펌프를 떼어내지 않고 시스템에 달린 채로 배기속도를 측정할 수 있다. 또 펌프의 고유 배기속도보다 용기가 특정 위치에서 느끼는 유효배기속도 값에 관심이 있다면 유량과 용기압력으로 배기속도를 구하고 보정 없이 사용하면 된다. 이때 압력측정은 유효배기속도를 알기 원하는 지점에서 하고 기체도입은 상류에서 이루어져야 한다. 만일 초기 값과 비교할 목적으로 펌프 배기속도가 필요할 때는 일반적으로 진공용기 치수가 펌프 흡기구에 비해 크므로 용기 압력을 흡기구 압력으로 가정해도 좋다고 생각한다. 필요하다면 앞항에서처럼 밸브 컨덕턴스 또는 밸브 및 연결도관의 전체 컨덕턴스를 계산해서 보정하면 된다.

III. 결 론

진공펌프의 배기속도를 측정하는 여러 가능한 방안들의 특성을 분석하고 오차의 크기를 계산하였으며 어떻게 보정할 것인가에 대해 검토해 보았다. Table 1은 각 방식의 특

징과 측정 배기속도에서 펌프 배기속도를 구하기 위한 보정 항을 정리한 것이다.

표준용기의 사용은 기본적으로 배기속도 측정을 규격화하고 일정한 수준을 유지하게 하지만 여전히 갖가지 오차 요인을 가지고 있다. 또 현장에서는 그때그때마다 표준용기를 활용하는 것이 어려울 수도 있다. 표준용기를 사용하거나 여러 가지 변형된 방안들이 사용되는 어떤 경우라도 무슨 오차 요인이 존재하는지 잘 인식하고 그에 따라 올바른 보정을 하면 큰 오차를 피하고 필요한 배기속도 값을 구할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 한국표준연구원에서 주관하는 “고진공펌프 종합특성평가시스템 설계, 진단 기술 개발” 과제의 지원에 의해 이루어졌음을 밝힌다.

참고문헌

- [1] S. R. In, J. Korean Vacuum Soc. **4**, 1 (1996).
- [2] Vacuum Technology-Standard Methods for Measuring Vacuum-pump Performance-General Description, ISO 21360 (2007).
- [3] S. R. In, J. Korean Vacuum Soc. **19**, 161 (2010).
- [4] 배석희, 인상렬, 정광화, 신용현, 이영백, *진공공학*, 한국경제신문사, 2장 (2000).
- [5] S. R. In, J. Korean Vacuum Soc. **9**, 1 (2000).

Table 1. Summary on characteristics of various schemes for measuring pumping speed.

Method		$\Delta=S_m-S$	Remark
Infinite test chamber		0	Very large sphere Ideal, but unrealistic
Standard test dome	Equal cross-section	$\sim 0 (\lambda S_m^2 / (\lambda S_m + C_0), \lambda=0.01563)$	max, 1.5% larger, error from fixing at L=a
	Abrupt change	~ 0 (max, 5% larger)	Shadow effect
	Cone transition	$S_m^2 / (S_m - C_{cone}) < 0$	C_{cone} compensation
Blank dome		$S_m^2 / (S_m + C_0) > 0$	Pressure compensation
In-situ measurement		$S_{eff} = S_m$	Gas injection at upstream
Gate valve		$S_m^2 / (S_m - C_{valve}) < 0$	C_{valve} compensation

Compensation of Systematic Error of Various Schemes for Measuring Pumping Speed

S. R. In*

Fusion Engineering Development Division, KAERI, Daejeon 305-353

(Received August 4, 2011, Revised August 30, 2011, Accepted October 5, 2011)

Standard devices and procedures for measuring the pumping speed, one of the most important parameters indicating the operation performance of the vacuum pump, have been developed and widely utilized. Though the standard system has a firm theoretical basis, it is, sometimes, inevitable to alter something in the system for a practical purpose compared with ideal conditions, which may lead to a large measurement error. In this paper, characteristics and systematic errors of various ideal or practical schemes for measuring the pumping speed are analyzed, and compensation terms are proposed.

Keywords : Vacuum pump, Pumping speed, Standard dome, Measurement error, Compensation

* [E-mail] srin@kaeri.re.kr