

# 초정밀 직선, 회전운동 전달용 고진공 피드스루 설계 Design of Vacuum Feedthrough for a Precise Linear and Rotary Motion

\*김경호<sup>1</sup>, 박천홍<sup>1</sup>, 이창우<sup>1</sup>

\*G. Khim(gyungho@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, C. H. Park<sup>1</sup>, C. W. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 초정밀기계시스템연구실

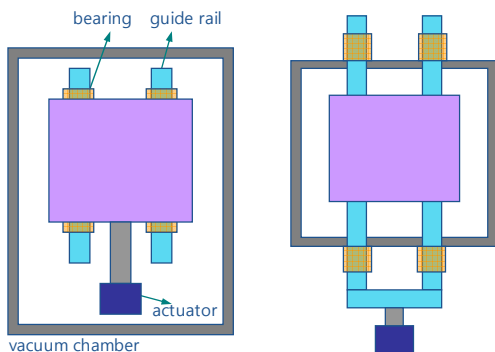
Key words : Vacuum, Linear motion, Rotary motion, Feedthrough, Air bearing

## 1. 서론

진공환경에서 정밀이송은 대부분 기존 대기환경에서 사용하던 형태의 이송테이블을 진공챔버 내부에 넣어 구성하고, 대기환경과의 차이에서 오는 문제점들을 추가로 고려하는 경우가 많다(그림 1(a)). 즉, 목표로 하는 진공도를 맞추기 위해 기체방출(outgas)이 적은 재료를 이용하고 특수 표면처리를 하게 된다. 또한 베어링과, 모터, 엔코더 등도 진공과 호환되는 부품을 사용해야 하며 윤활 및 발열특성 등도 진공이라는 특수환경에 적용할 수 있도록 고려되어야 한다. 구름베어링의 경우 진공에서 윤활제가 기화되지 않도록 증기압이 낮은 진공용 윤활제를 사용해야 하지만 진공용 윤활제는 점성이 크기 때문에 대기환경에서와 같은 정밀도 달성에 어려움이 있다. 또한 진공챔버 내부는 공기가 없기 때문에 모터에 의한 열발생시 대류에 의한 열 방출을 기대할 수 없다. 초정밀 구동이 필요하여 공기베어링을 적용한 경우 차동배기(differential exhaust) 방법을 이용하여 진공도에서는 충분히 만족할만한 결과를 얻을 수 있으나<sup>1</sup>, 역설적으로 차동배기에 필요한 벨로즈(bellows)가 정밀도 달성에 악영향을 미치기도 한다. 고진공도를 달성하기 위해서는 큰 직경의 벨로즈를 사용해야 하지만 이에 비례하여 구동저항은 커지기 때문이다.

위와 같은 문제점들을 극복하기 위한 방법으로 구동부가 진공챔버 외부에 존재하는 시스템이 등장하였다<sup>2</sup>. 그림 1(b)와 같이 진공챔버 외부에 베어링 및 모터가 설치되어 부품의 진공호환성 및 윤활, 발열 등에서 좀 더 선택의 폭이 넓어진 것이다. 그러나 이러한 시스템의 경우 진공챔버 외부에서 내부로의 운동전달을 할 수 있는 피드스루(feedthrough)가 반드시 필요하며, 외부의 공기가 챔버 내부로 리크되는 것을 방지할 수 있어야 한다. 이러한 형태의 피드스루로 벨로즈, 자성유체(magnetic fluid)를 이용한 방식이 있다. 벨로즈는 주로 직선운동용으로 사용되며 벨로즈의 압축에 의한 저항이 존재하여 초정밀용으로는 적합하지 않다. 자성유체는 액체 자석을 이용하여 실링(sealing)하는 것으로, 주로 고정된 회전축에 많이 사용된다.

본 논문에서는 초정밀 운동 전달용으로 사용할 수 있는 방법으로, 원통의 실린더가 공기베어링으로 지지되어 직선과 회전운동을 할 수 있으며, 차동배기로 진공도를 유지시키는 방식의 피드스루에 대해 소개하고자 한다.



(a) Interior feeding (b) Exterior feeding  
Fig. 1 Two different types of a vacuum stage

## 2. 초정밀 운동전달용 피드스루 설계

그림 2는 차동배기를 적용한 직선, 회전운동용 피드스루의 구조를 보여주고 있다. 공기베어링(다공질베어링 등)이 저널베어링으로 작용하여 원통형 실린더를 지지하고 있으며, 실린더와 피드스루의 하우징 내경을 10 μm 정도의 아주 작은 간극으로 유지하여 진공챔버 쪽으로 리크되는 공기를 최대한 억제하면서 진공챔버에 도달하기 전에 진공 펌프를 이용하여 순차적으로 배기하는 구조로 되어 있다. 이와 같은 형태는 일반적으로 공기베어링을 진공챔버 내부에서 사용하기 위한 구조와 동일하며, 여기서는 이를 챔버 외부에서 적용한 것이다.

실린더는 공기베어링으로 지지되므로 마찰이 거의 없어 외부에 위치한 구동시스템에 의해 정밀한 직선 및 회전 이송이 가능하다. 단, 목표로 하는 구동대상이 실린더 하나가 아니라 그림 1(b)과 같은 이송테이블이라면 직선과 회전의 동시구동은 불가능하다.

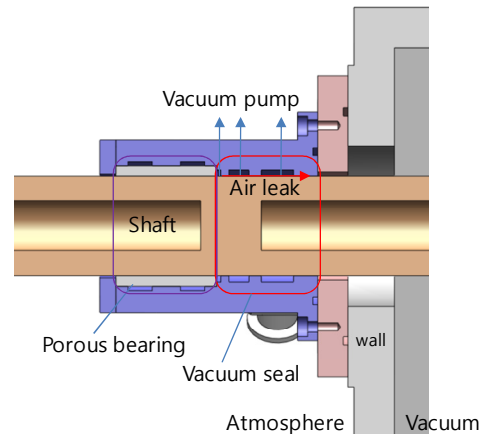


Fig. 2 Structure of vacuum feedthrough

그림 3은 초정밀 운동 전달용 피드스루의 외관을 보여주고 있으며, 배기를 위한 포트를 확인할 수 있다.

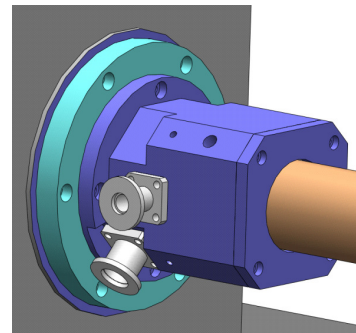


Fig. 3 Exterior view of vacuum feedthrough

그림 2와 같은 피드스루를 사용시에 진공 특성을 알아보기 위해 다음과 같은 조건하에서 공기누출량과 챔버 진공도를 이론적으로 분석해 보았다.

- 다공질 공기베어링 패드 내부직경 50mm, 두께 5 mm
- 공급압력 : 0.4 MPa
- 실린더 직경 : 50 mm
- 시일(seal)부의 전체 길이 : 50 mm
- 배기단계 3 차(1 차:자연배기, 2,3 차:펌프이용 강제배기)
- 베어링 및 seal 간극 : 10  $\mu$ m

표 1 은 시일부의 전체길이( $\sum(d_i+l_i)=50$  mm,  $i=1,2,3$ ) 내에서 각 배기관의 직경 및 세부 시일의 길이를 배분하기 위하여 최적화 한 결과를 보여준다. 배기성능은 배기관의 직경이 클수록, 세부 시일의 길이가 증가할수록 향상되지만 시일부의 전체길이가 제한되어 있으므로 최적화를 통해 배분을 하였다<sup>3</sup>. 여기서  $d_i, l_i$ 는 각각  $i$  번째 배기포트의 직경과 시일 길이를 의미한다.

그림 4 는 표 1 의 최적조건하에서 550 l/s 용량의 터보 분자펌프를 챔버에 연결하여 배기하였을 때 예측된 챔버의 진공도를 최적화 과정에 따라 보여주고 있다. 최종적으로  $2.7 \times 10^{-5}$  Pa 의 진공도를 보이고 있어 진공도 측면에서는 피드스루 사용에 문제가 없음을 알 수 있다.

Table 1 Result of optimal design

변수	$d_1$	$l_1$	$d_2$	$l_2$	$d_3$	$l_3$
치수 (mm)	1.1	3.6	11.7	7.4	17.7	8.5

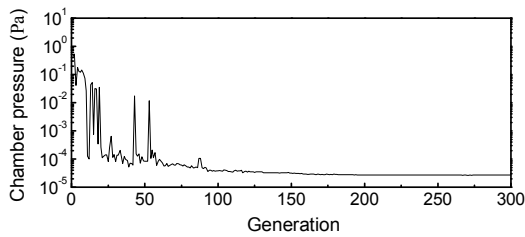


Fig. 4 Vacuum level after optimization

그림 5 는 진공도에 있어 가장 큰 영향을 미치는 시일 간극에 의한 영향을 보여주는 것으로, 시일의 간극차이 2~3 배에 따라 공기 누출량 및 챔버 진공도는 수백 배 이상 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 따라서 피드스루 설계시 간극을 10  $\mu$ m 로 하더라도 실제 가공시 이를 만족하지 못하면 Table 1 의 최적설계의 의미가 없어질 뿐만 아니라 목표로 하는 진공도 달성에도 어려움이 발생한다.

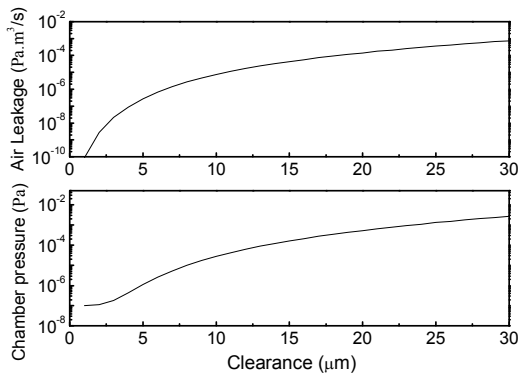


Fig. 5 Variation of Air leakage and chamber pressure with seal clearance

### 3. 초정밀 운동전달용 피드스루의 응용

그림 6 은 이와 같은 초정밀 운동전달용 피드스루의 활용방안으로 원통형 롤에 전자빔을 이용하여 가공하는 장비를 들 수 있다. 전자빔의 동작을 위해서는  $10^{-3}$  Pa 이상의 고진공이 필요하며, 원통형 롤에 직접 가공을 하므로 직선과 회전운동이 동시에 필요하다. 이와 같은 구동을 위한 이송시스템을 진공챔버 내부에 위치시킬 경우에 발생할 수 있는 문제점을 극복하기 위한 방법으로, 가공대상인 롤만 진공챔버 안에 넣고 구동부를 포함한 다른 요소 모두를 진공챔버 외부에 위치시킨다. 이럴 경우 사용되는 모든 부품을 일반 대기용 부품으로 대체할 수 있으며 조작 편의성에서도 상당한 장점을 갖는다. 진공챔버 또한 원통형 롤만 감쌀 수 있을 정도의 부피만 요구되므로 배기 시간 및 비용측면에서도 유리하다. 이는 모든 시스템을 진공환경이 아닌, 필요한 부분만 진공환경으로 유지시켜 주는 국소진공<sup>4</sup>의 개념으로 볼 수 있다.

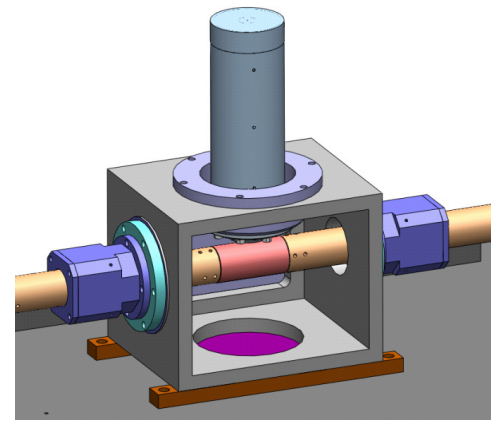


Fig. 6 Application of vacuum feedthrough

### 4. 결론

구동부가 진공챔버 외부에 위치하면서도 정밀도 및 진공도 측면에서 단점을 가지고 않고, 부품 호환성 및 사용 편의성 등을 향상시킬 수 있는 초정밀 직선, 회전구동이 가능한 진공용 피드스루에 대해 소개하였다. 현재 이를 적용한 전자빔 응용 원통형 롤 가공장비가 제작되고 있으며, 이를 통해 설계된 피드스루의 직선, 회전구동 성능 및 진공도 특성 등을 평가할 예정이다.

### 참고문헌

1. Khim, G., Park, C. H., Lee, H. and Kim, S.-W., "Performance Analysis of a Vacuum-Compatible Air Bearing," J. of KSPE, Vol.23, No.10, pp.103-112, 2006
2. Higuchi, A., Kato, T. and Iwasaki, K., "Slide Apparatus and its Stage Mechanism for use in Vacuum," US Patent No. 6510775, 2003
3. Khim, G., Park, C. H., Lee, H. and Kim, S.-W., "A Vacuum-compatible air bearing: Design analysis and Optimization," Key Engineering Materials, Vol. 339, No. 1, pp. 37-44, 2007
4. Furuki, M., et al., "Electron Beam Recording with a Novel Differential Pumping Head Realizing More than 50 GB/Layer Capacity Disc," Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 42, pp. 759-763, 2003.