

# 모멘텀 휠의 내부 진공 유지를 위한 커넥터 밀봉방법 개발

전동익\* · 공성철\* · 오화석\*\* · 이승우<sup>†</sup>

## Development of Connector Sealing Method for Maintaining of Vacuum in the Momentum Wheel

Dong-Ik Cheon\* · Sung-Chul Gong\* · Hwa-Suk Oh\*\* · Seung-Wu Lee<sup>†</sup>

### ABSTRACT

In general, we utilize momentum wheel to control spacecraft. It needs vacuum test to analyze the effect of space environments. The conventional vacuum connector which is composed of steel has problems for test with built in momentum wheel because of weight, thermal expansion, etc. We suggest possibility to manufacture the vacuum connector using aluminum mount, epoxy and industrial D-Sub considering cost, weight. We verify the performance through vacuum test.

Key Words: Vacuum Connector(진공 커넥터), Momentum Wheel(모멘텀휠), Epoxy(에폭시), D-Sub, Sealing(밀봉)

### 1. 서 론

모멘텀 휠은 위성의 자세 제어에 사용되는 장치이다. 모멘텀 휠의 지상 테스트 시 작동환경을 고려하여 진공 환경에서 수행하여야 한다. 모멘텀 휠을 진공으로 만드는 데에는 모멘텀 휠보다 큰 진공챔버 내에 실험체를 넣어 전체를 진공상태로 만들어서 실험하는 방법이 있고, 모멘텀 휠 case를 sealing하여 챔버에 연결하고 pumping 후 모멘텀 휠 내부만 진공으로 만드는 방법이 있다. 전자의 경우 큰 진공챔버와 해당 진공환경에 측정장치를 구비한 실험환경이 구축되어야 하는 단점이 있는 반면 후자의 경우 소

형챔버만 보유하고 있어도 실험이 가능하며, 다양한 실험을 대기 환경에서 수행 가능하다. 이 경우 모멘텀 휠의 내부를 진공으로 유지시키며 외부의 케이블을 연결하기 위한 진공 커넥터와 sealing구조가 필요하다. 진공 커넥터는 국내외 몇 개의 업체에서 개발 및 판매를 하고 있다. 그러나 그 대부분이 매우 고가이고 스틸계열 재질로 제작된 것으로서 경량화를 위해 알루미늄 재질로 제작된 모멘텀 휠에 사용 시 구조, 열 문제 등을 발생시킬 수 있다. 그러므로 진공 커넥터를 모멘텀 휠과 같은 재질로 제작할 필요가 있다.

본 연구에서는 마운트를 알루미늄으로 제작하였고 산업용 D-Sub를 사용하였다. 그러나 이 사용품은 핀 연결부위에 sealing이 되지 않은 것으로 sealing이 이번 연구에서 가장 중요한 부분이다. 이를 위해 접착제 또는 밀봉재를 사용

\* 학생회원, 한국항공대학교 항공우주공학전공  
연락처, E-mail: lionchun@kau.ac.kr

\*\* 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

<sup>†</sup> 정회원, 항공우주연구원 위성시험실

할 수 있으나 본 연구에서는 비교적 구하기 쉽고 사용하기 쉬운 에폭시(Epoxy)를 밀봉재로 선택하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 진공 커넥터

#### 2.1.1 진공커넥터의 형상

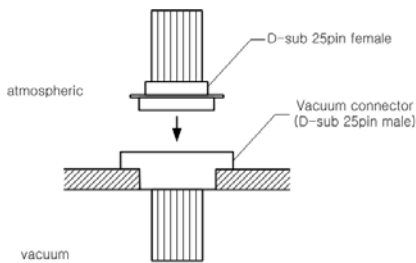


Fig. 1 Vacuum Connector Concept

진공 커넥터는 지상 외부의 대기압 환경과 모넨텀 휠 내부의 진공 환경사이에 진공 손실 없이 케이블을 연결하기 위한 장치를 말한다. Fig. 1과 같이 진공 커넥터에 D-Sub가 장착되어 외부에 D-Sub 암컷을 연결할 수 있게 한 것이다.

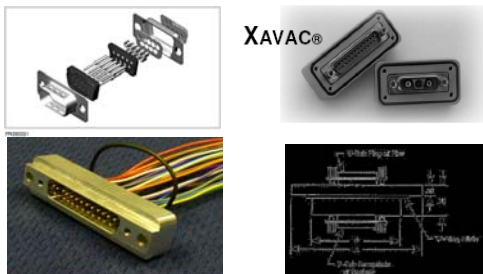


Fig. 2 Vacuum Connector Products

진공 커넥터는 Fig. 2와 같이 많은 개발이 이루어 졌지만 기존의 진공 커넥터는 스틸재질로 제작한 것이 대부분이다. 특히 국내에서의 알루미늄

제품은 전무하다.

본 연구는 Positronic Industries 사의 XAVAC series를 참고로 하여 진행하였다. 이 모델은 Fig. 3과 같은 형상이며 특성은 Table 1과 같다. [1]

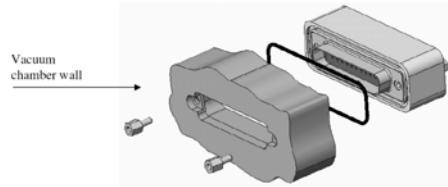


Fig. 3 XAVAC series of Positronic Industries

Table 1. Model of Positronic Industries's Specification

Material	Helium Leak Rate	Temperature Range
Aluminum	< $5 \cdot 10^{-9}$ mbar.l/s under $1.5 \cdot 10^{-2}$ mbar	-40 to +125°C

기존의 진공 커넥터 제품들은 D-Sub 내부를 sealing 하여 특수하게 제작했기 때문에 O-Ring 하나만으로 진공 커넥터의 역할 수행이 가능하나 보급형 D-Sub제품을 이용하여 제작하기 위해서는 O-Ring외에도 진공 커넥터 아래에 전체적으로 sealing을 해줄 필요가 있다.

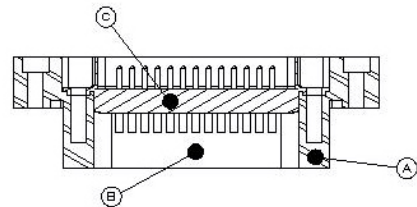


Fig. 4 Cross Section of MWA Vacuum Connector

본 연구에서는 진공 커넥터의 Fig. 4 A 부분의 마운트를 알루미늄 재질로 제작하였고 Fig. 4 C 와 같이 D-Sub 를 장착하였다. 케이블을

D-Sub의 아래쪽으로 빼어낸 후 Fig. 4의 B지점을 예폭시로 sealing하는 방식을 사용하였다.

### 2.1.2 진공 커넥터의 제작

예폭시의 조밀도를 높이기 위해 진공챔버에 연결하여 진공펌프로 예폭시를 흡착하는 방식을 사용하였다. 예폭시를 완전히 굳힌 후에 케이블 사이로 진공이 누설되는 것을 방지하기 위해 케이블의 반대편을 D-Sub 암컷으로 연결한 뒤 예폭시로 누설될 수 있는 부분을 sealing하여 Fig. 5 과 같은 진공 커넥터를 완성하였다. 완성된 진공 커넥터의 무게는 115g이며, 크기는 73×83×22 mm 이다. 완성된 진공 커넥터의 밀봉 진단을 위해 Fig. 6과 같이 컴프레서를 사용하여 수중에서 가압 테스트(10기압)를 수행하여 누설 여부를 1차 확인하는 과정을 거쳤다.



Fig. 5 Complete Unit of Vacuum Connector

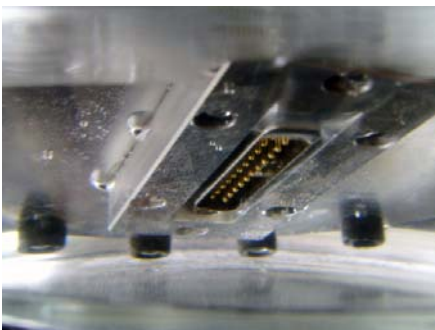


Fig. 6 Pressurization Test (Underwater)

## 2.2 실험

진공 커넥터의 누설 정도를 테스트하기 위해 Fig. 7, Fig. 8과 같이 실험용 압력용기에 진공 커넥터를 장착하고 진공챔버에 연결하였다. 진공챔버와 압력용기에 각각 압력센서를 장착하여 DAQ보드를 이용해 압력값을 측정할 수 있게 하였다. 진공챔버의 진공펌프를 가동하여 실험한 결과를 진공 커넥터를 장착하지 않았을 때와 비교하여 sealing의 정도를 판단하였다.

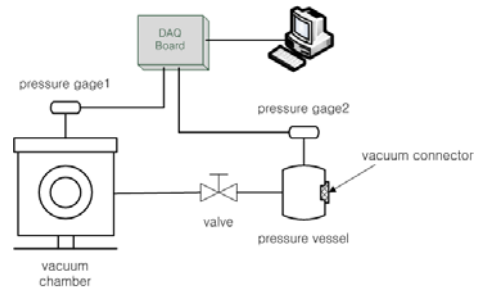


Fig. 7 Vacuum Connector Test Concept



Fig. 8 Vacuum Connector Test Bench

실험 환경은 Table 2에서 나타낸 바와 같고 실험에 사용된 압력용기의 형상은 Fig. 9와 같다.

Table 2 Test Environments

Vacuum of Chamber	Volume of Vessel
$2 \times 10^{-6}$ Torr	0.162 l



Fig. 9 Pressure Vessel

먼저 실험의 결과를 대조하기 위한 비교군으로 진공 커넥터를 제외한 기존 압력용기만으로 실험을 하였다. 그 결과 Fig. 10과 같이 진공 챔버보다 진공을 잘 유지하고 있는 것을 볼 수 있으며 대기압에서 누설률이  $9.315E-13$  mbar.l/s가 되어 이 압력용기가 실험에 적정함을 보였다.

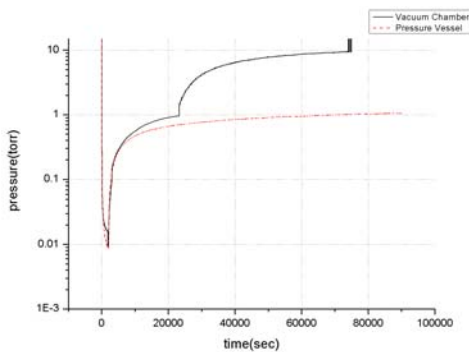


Fig. 10 Reference Data Graph

에폭시의 sealing효과를 검증하고 기존의 D-Sub 커넥터의 누설정도를 파악하기 위해서 sealing처리를 하지 않고 실험을 수행 하였다. 그 결과 Fig. 11에서 볼 수 있듯이 sealing이 되지 않은 D-Sub만으로는 내부를 진공으로 유지할 수 없음을 확인했다.

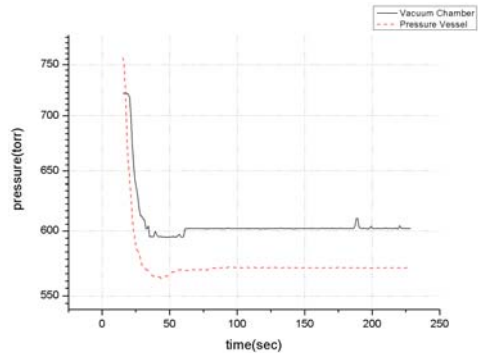


Fig. 11 Not sealing Vacuum Connector

Sealing에 사용될 에폭시는 조밀도가 우수한 진공에폭시와 마운트에의 접착력과 강도가 뛰어난 스틸용 에폭시를 선정하였다. 위 두 가지의 에폭시로 sealing을 한 후 실험 하여 결과를 비교 하였다.

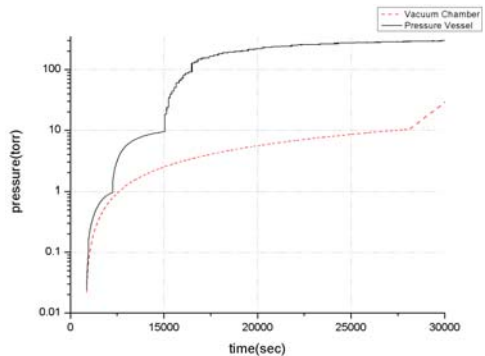


Fig. 12 Steel Epoxy Test Graph

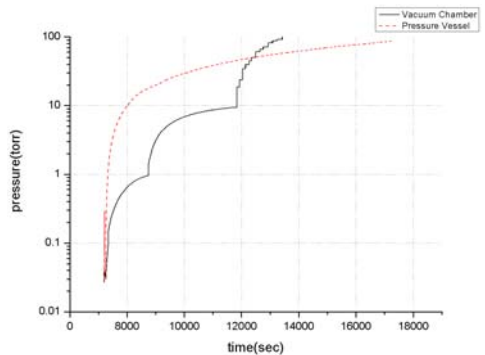


Fig. 13 Vacuum Epoxy Test Graph

스틸용 에폭시는 비교적 sealing이 잘 이루어지는 것을 확인할 수 있으나 반복하여 실험을 한 결과 진공이 깨지는 현상을 보였다. 진공용 에폭시의 경우 반복실험을 해도 진공이 깨어지는 않으나 스틸용 에폭시보다 오히려 진공이 유지되지 않았다. 이는 각 에폭시의 특성에 기인하는 것으로 추정된다. 효과적인 sealing과 내구성이 모두 필수적이다. 두 종류의 에폭시를 함께 적용하면 기대한 결과가 나올 것으로 예상되어 스틸용 에폭시로 먼저 sealing을 하고 그 위에 진공용 에폭시로 2차적으로 sealing을 하여 실험을 수행하였다. 사용된 스틸용 에폭시와 진공용 에폭시의 특성은 Table 3과 Table 4에 나타내었다. [2, 3]

Table 3. Steel Epoxy Specification

압축강도	1.061kg <sup>f</sup> /cm <sup>2</sup> (KSM 5333)
인장강도	352kg <sup>f</sup> /cm <sup>2</sup> (KSM 6518)
접착강도	222kg <sup>f</sup> /cm <sup>2</sup> (KSM 3734)
경도	HRR112kg <sup>f</sup> /cm <sup>2</sup> (KSM 3037)
내열온도	230℃~480℃ (간접열)
수압시험	10m/m 구멍에 5m/m로 도포 후 200kg <sup>f</sup> /cm <sup>2</sup> 의 수압에 이상없음

Table 4. Vacuum Epoxy Specification

Vapor pressure	Less than 0.1 mmHg at 20℃
Boiling point	Greater than 260.2℃
Specific gravity	1.15
Vapor density	5
Evaporation rate	<0.01
VOC content	<0.40% (estimated)
CTE, ASTM D 696	86×10 <sup>-6</sup> in/in/℃
Hardness, Shore D	80
Thermal Conductivity	5.0×10 <sup>-4</sup> cal×m/cm <sup>2</sup> ×secs×℃
Share Strength 24Hour@25℃	2000psi

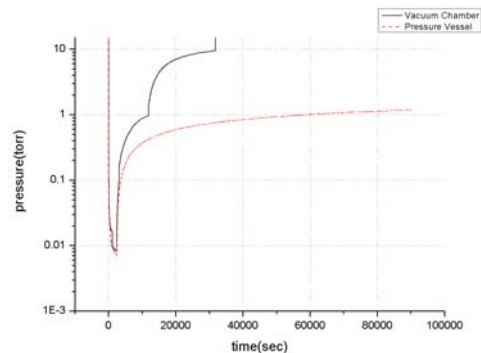


Fig. 14 Steel Epoxy &amp; Vacuum Epoxy Test Graph

실험을 수행한 결과 Fig. 14과 같이 압력이 10Torr이하로 24시간 이상 유지되는 것을 볼 수 있다. 누설률은 1.26E-12 mbar.l/s로 비교군 Fig. 9 와 비교하여도 크게 차이가 없어 진공 커넥터 부분에서의 진공 누설은 극소량임을 알 수 있다. 본 연구에서 참고한 제품 Positronic Industries 사의 XAVAC series 과 비교에도 큰 차이를 보이지 않아 진공성능에서도 원하는 만큼의 결과를 얻었음을 확인했다.

Table 5. Leakage Rate

Reference	9.315E-13 mbar.l/s
Steel Epoxy Test	1.304E-10 mbar.l/s
Vacuum Epoxy Test	1.686E-9 mbar.l/s
Steel Epoxy & Vacuum Epoxy Test	1.26E-12 mbar.l/s

### 3. 결 론

모멘텀 휠과 같이 우주 환경에서 제 기능을 수행하기 위해서는 진공 환경에서의 신뢰성이 절대 필요하다. 국내에서 알루미늄 우주체의 구성체를 지상에서 진공환경에서 테스트하기 위해서 그 실험체보다 큰 진공챔버가 있는 곳에서 실험을 하거나 외산 진공커넥터를 구입하여 실험을 해왔다.

진공 커넥터의 연구 개발에서 여러 차례의 실

험을 수행하였고 많은 시행착오를 겪었다. 연구 결과, 비교적 적은 비용으로 제작한 진공 커넥터가 모멘텀 휠의 내부를 진공환경으로 만들어 줄 수 있고 또 유지할 수 있을 만큼 sealing이 잘 이루어지고 있음을 확인하였다.

이를 통해서 모멘텀 휠뿐만 아니라 다른 알루미늄 우주체의 구성체도 적은 비용으로 진공실험을 진행할 수 있을 것이다. 향후 보다 확실하고 더 높은 성능의 진공 커넥터를 제작하기 위해서는 이번 연구에서 사용된 에폭시 외에 다양한 종류의 에폭시를 확보하여 추가적인 실험의 수행이 이루어져야 할 것이다. 이 때, 에폭시가 열에 수축·이완하기 때문에 에폭시의 열팽창계수 및 허용온도를 고려하여 진공 커넥터의 마운트의 재질과 맞추어 준다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

## 후 기

본 연구는 중형위성급 제어모멘트자이로(CMG) 성능검증모델 개발 과제와 관련하여 진행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] [www.connectpositronic.com](http://www.connectpositronic.com), Positronic Industries.
- [2] [www.atometal.com](http://www.atometal.com), Atometal.
- [3] [www.loctite.com](http://www.loctite.com), Loctite.