

진공펌프 시스템을 이용한 고도모의 시험장치 설계

홍윤기* · 이정민* · 나재정* · 현동기** · 김경수** · 박상훈**

High Altitude Simulating Test Facility Design Using Vacuum Pump System

Yun Ky Hong*[†] · Jung Min Lee* · Jae Jung Na* · Dong Ki Hyun** · Kyeong Su Kim** · Sang Hun Park**

ABSTRACT

In this research, a high altitude simulating test facility is designed using vacuum pump system composed of roots pumps and screw pumps. Air flow rate and chamber pressure are 1 kg/s and 2500 Pa, respectively. To design the test facility, experimental tests using certain pump combinations are performed for air injection of the order of hundreds of g/s. From the tests, it is found that 11 roots pumps and 33 screw pumps are required for the considered test facility. Test results are compared with theoretically estimated values. However, intake capacity theoretically estimated is found to be 20 percent larger than test results. This is thought because of higher pressure difference of roots pump for test conditions. Therefore, if more screw pumps are added for the considered pump system, it would be possible to lower the vacuum level of test chamber.

초 록

본 연구에서는 루츠 펌프와 스크류 펌프를 이용한 진공 펌프 시스템을 이용해, 1 kg/s의 공기가 공급되는 시험장치에서 챔버 내의 압력을 2500 Pa로 유지할 수 있는 고도모의 시험장치를 설계하였다. 설계를 위해, 저유량의 공기 공급 조건에서, 소정의 펌프 조합을 이용해 실험을 수행하였다. 이를 통해, 1 kg/s급의 유량이 공급되는 시험장치를 위해서는 11대의 루츠 펌프와 33대의 스크류 펌프가 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 실험 결과를 이론 예측 결과와 비교하였다. 하지만, 이론적으로 예측한 흡입 유량은 실험 결과보다 20 %에 가깝게 많게 나왔다. 이는 조합 실험시, 루츠 펌프 전후단에 걸리는 차압이 높아서 발생한 것으로 여겨진다. 따라서 앞에서 제시한 것보다 더 많은 스크류 펌프를 설치할 경우, 보다 높은 진공도를 가지는 시스템의 구축이 가능해질 것으로 판단된다.

Key Words: **High Altitude Test Facility**(고도 모의 시험장치), **Roots Pump**(루츠 펌프), **Screw Pump**(스크류 펌프)

1. 서 론

고고도 비행체의 지상 시험을 위해서는 비행 환경을 모의할 수 있는 시험 장치가 필요하다. 고도 모의를 위해 풍동 등에서 많이 이용되는 장치가 이젝터와 진공 펌프다. 이젝터는 대유량의 작동 가스에 보다 유리하고, 가스의 종류에 상관없이 적용가능하다는 장점이 있다. 이에 비해 진공 펌프를 이용한 고도 모의 시스템의 경우, 작동 기체에 제한이 있지만, 고진공에 유리하고, 운용이 편리하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 루츠 펌프와 스크류 펌프 조합을 이용한 진공 펌프 시스템을 이용해 고도 모의를 위한 시험장치를 설계하였다.

2. 고도 모의 조건

본 연구에서는 초당 1kg의 공기가 공급되는 시험 장치에서 챔버 내의 진공도를 18.75 torr로 만들어 줄 수 있는 시험장치를 설계하고자 한다. 이를 위해 진공펌프에서 흡입해야 하는 흡입 유량은 아래와 같이 계산된다.

$$1 \text{ kg/s} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \div 1.2754 \text{ kg/m}^3 \times \frac{760 \text{ torr}}{20 \text{ torr}} \times \frac{300 \text{ K}}{273 \text{ K}} = 125,700 \text{ m}^3/\text{hr}$$

3. 진공 펌프 선정



Fig. 1 Aerzen Gmb 16.13HV (Booster pump) [1]

100,00 m³/hr가 넘는 유량의 흡입을 위해 루츠 펌프와 스크류 펌프를 이용한 진공펌프 시스템을 구성하였다.

최대 용량을 가진 진공 펌프를 선정하고자 하였으며, 이에 따라 선정된 루츠 펌프는 Aerzen사의 Gmb 16.13HV 이고, 이 장비의 형태 및 사양은 그림 1 및 표 1과 같다. 표 1에서 ΔP_{max}는 펌프 전후단의 차압을 가리킨다. 참고로, Aerzen pump의 성능 보증 최대 차압은 75 mbar이다 [1].

Table 1. Aerzen Gmb 16.13HV Booster Pump Specification (V-belt drive, 60Hz) [1]

normal speed	pressure difference ΔP _{max} , mbar	65
	max. speed, rpm	1500
	motor power, kW	24.5
	theoretical intake volume, m ³ /hr	9750
higher speed	pressure difference ΔP _{max} , mbar	65/53
	max. speed, rpm	2000/2350
	motor power, kW	33.5
	theoretical intake volume, m ³ /hr	13000/15250



Fig. 2 Dongbang DBVP2700 [2]

* 국방과학연구소 4-5-4

** 비즈로테크

† 교신저자, E-mail: shinehyk@gmail.com

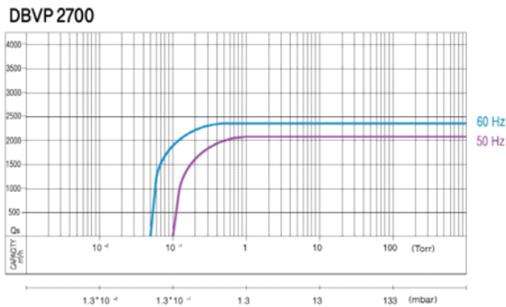


Fig. 3 Performance curve for Dongbang DBVP2700 [2]

앞의 루츠 펌프와 함께 구성될 스크류 펌프로 동방 플랜텍사의 DBVP2700을 선정하였으며, 이 장비의 형상 및 사양이 그림 2, 3과 같다. 펌프의 구동을 위해서는 55 kW(60Hz)의 모터가 필요하고 정격속도는 1800 rpm이다 [2].

4. 진공 펌프 조합 시험

앞에서 선정한 진공 펌프의 일정 조합에 대해, 저유량의 공기 공급시 획득 가능한 진공도를 시험을 통해 확인해 보았다.

4.1. 시험 조건

앞의 표 1에서 제시되었듯이, 부스터 펌프의 성능표에 제시한 모터의 기준은 33.5 kW이다. 하지만, 본 시험에서는 모터에 걸리는 과부하 해결을 위해 55 kW 모터를 이용하였다. 이와 관련해서는 추후 Aerzen사로부터의 확인이 필요하다.

초기 시험시에는 인버터를 사용해 rpm을 조절하며 펌프를 구동하였다. 하지만, 흡입 유량의 증가를 위해, 즉, 부스터의 효율 증가를 위해, 인버터를 이용한 rpm의 조절없이, V-belt pulley를 이용해 펌프를 구동하는 방식으로 변경하였다. 시험시 모터는 2280 rpm에서 구동되었다. (부스터 펌프는 2400 rpm까지 구동가능하다 [1]).

4.2 조합 시험

두 가지 시험 조건에서 시험을 수행하였다. 먼저, 앞에서 제시한 동방 플랜텍사의 펌프 2대와 Aerzen 사의 펌프 1대를 조합해 시험을 수행하였다. 다음으로는 동방

플랜텍 사의 펌프 2대와 동방 플랜텍 펌프 1대와 유사한 성능을 가질 것으로 보이는 Osaka사 펌프 3대(각각 8000 m³/hr의 흡입 용량 가지고 있음)와 Aerzen사의 펌프 1대를 조합해 시험을 수행하였다. 즉, 이 조합을 이용해, 동방 플랜텍사의 펌프 3대와 Aerzen사의 펌프 1대의 조합이 가져오는 성능을 예측할 수 있다. 시험 결과가 표 2와 같다. 표 2에서는 각각의 공급 유량에 따른 흡입 유량 및 booster 펌프와 backing 펌프의 유량비를 가리키는 실압축비를 확인할 수 있다.

위의 표에서 booster 펌프 1대와 backing 펌프 2대 조합시, 60 g/s일 때, 흡입 유량이 10,000 m³/hr밖에 되지 않는 것을 확인할 수 있다. 1대의 booster pump와 3대의 backing 펌프 조합을 보면, 최대 흡입 유량이 11,500 m³/hr에 달한다. 이를 통해, 2대의 backing 펌프보다 3대의 backing 펌프를 조합하였을 때 더 많은 유량의 흡입이 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

표를 통해, 공급 유량이 커지면, 흡입유량이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다. booster 펌프의 정격 전류는 110 A이다. 하지만, 공급 유량이 200 g/s일 경우에는 펌프에 과도한 부하가 걸려 모터에 정격 전류 이상의 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다. 이는 갑작스러운 대용량 기체의 공급으로 인해 부스터 펌프가 작동할 수 없는 진공도가 챔버 내에 형성되었기 때문인 것으로 보인다. 이 또한 앞에서와 마찬가지로, backing 펌프의 용량이 부족하기 때문에 발생하는 현상이다.

이와 같이, backing 펌프의 용량이 부족해 booster 펌프가 제 성능을 발휘하지 못하면, 이는 booster 펌프 전후단의 높은 차압으로 나타나게 된다. 앞에서도 언급하였듯이, Aerzen booster 펌프의 최대 차압은 75 mbar이다 [1]. 이와 관련되서는 뒤의 이론 예측 성능 곡선을 통해서 다시 살펴보도록 하겠다.

Table 2. Vacuum Pump test

flow rate (g/s)	Test #1 (Gmb 16.13HV & 2XDBVP2700)				Test #2 (Gmb 16.13HV & 2XDBVP2700 + 3XOSAKA)			
	진공도 (torr)	전류 (A)	흡입 유량 (m ³ / hr)	실압 축비	진공도 (torr)	전류 (A)	흡입 유량 (m ³ / hr)	실압 축비
60	13.9	49	10,024	2.18:1	12.1	36	11,516	2.50:1
120	28.9	88	9,643	2.10:1	24.5	47	11,375	2.47:1
200	50.1	152	9,271	2.02:2	40.5	65	11,468	2.49:1

위의 실험으로부터 1대의 booster pump와 3대의 backing pump 조합을 기준으로 본 시험에서 구축하고자 하는 진공펌프 시스템을 구성해보았다. 총 흡입 용량은 앞에서 언급하였듯이, 125,700 m³/hr이다. 1 세트의 흡입 용량을 11,453 m³/hr라 하면, 총 10.98 set, 즉 11 set의 펌프 시스템이 필요한 것을 확인할 수 있다.

현재 실험시, 루츠 pump는 2280 rpm에서 구동되었다. 일반적으로 루츠 pump의 rpm을 높일 경우, 모터 전후의 차압은 낮아지는 대신 더 많은 유량의 흡입이 가능하다. 따라서, 향후, 시스템 구성시, roots pump의 rpm을 최대값까지 올릴 경우, 더 많은 흡입 유량이 가능해지고, 진공도도 높아질 수 있을 것으로 여겨진다.

5. 이론 진공 펌프 시스템 성능 예측

그림 4와 5에 앞에서 시험한 조건에 대한 이론적 진공도 계산 결과를 도시하였다. 이 두 그림 모두, Aerzen 펌프를 75 mbar의 차압 조건 및 2300 rpm에서 가동했을 때 예측된 결과이다 [1].

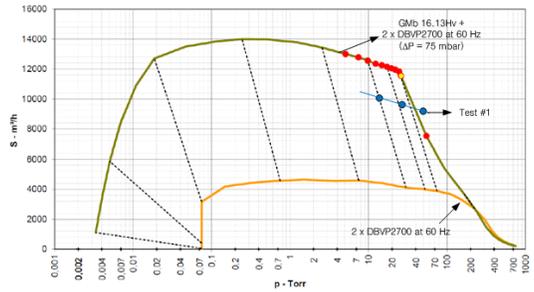


Fig. 4 Performance curve for test #1 condition [2]

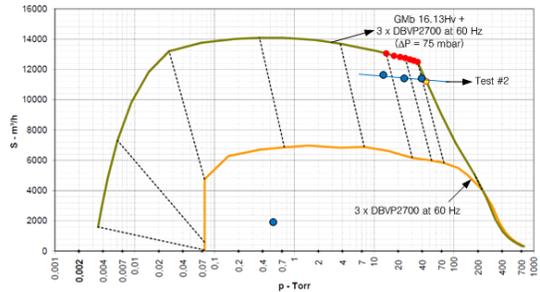


Fig. 5 Performance curve for test #2 condition [2]

그림에서 알 수 있듯이, 두 그림 모두에서 해석 결과와 실험 결과가 20 % 이상 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 Aerzen 펌프 전후단에 걸리는 차압이 실험시 더 많이 걸리기 때문에 발생한 것으로 여겨진다. 이를 증명하기 위해, booster 펌프 전후단에 걸리는 차압을 확인하고, 보다 많은 backing 펌프 조합을 이용한 시험이 필요할 것으로 여겨진다.

만약, 추가 실험을 통해, 75 mbar보다 높은 차압이 걸린 것이 확인된다면, 향후, 시스템 구성시에는 booster 펌프보다 가격 경쟁력이 있는 backing 펌프의 수량을 늘림으로써, 차압을 낮출 수 있을 것으로 여겨진다. 이를 통해, 더 높은 흡입 유량을 가진 시험 장치를 구성할 수 있다.

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 1 kg/s의 유량이 공급되는 시험장치에서 챔버 내부의 압력을 2500 Pa까지 낮출 수 있는 고도 모의 시험장치 구성을 위해 진공펌프 시스템을 이용하는 시스템을 설계하였다. 진공 펌프 시스템의 구성을 위해서는 roots pump와 screw pump의 조합을 이용하였다. 현재 보유중인 시험 장치에서 이들의 일부 조합을 통해 실험을 수행해보았고, 이를 통해 진공 시스템을 설계하였다.

이론적인 해석을 통해, 실험 결과를 검증하였다. 이론

치와 실험치는 20%가까운 흡입 유량의 차이를 보여주었다. 이러한 차이는 펌프에 걸리는 차압이 실험시 과도해서 발생한 것으로 여겨진다. 향후 연구에서는 이를 확인하기 위해, booster 펌프에 걸리는 차압 측정과 더 많은 backing 펌프 조합을 이용한 실험이 필요할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

1. Aerzen(<http://www.aerzen.com>) 기술 자료
2. 동방플랜텍, <http://dbvacuum.co.kr>