

우주개발과 진공기술의 응용

이상훈 박사

(한국항공우주연구원 우주환경시험부)

1. 서론

누구나 어린 시절 ‘스타워즈’와 같은 SF 영화를 보면서 우주에 대한 막연한 동경을 가졌던 경험이 있을 것이다. 다만, 당시의 영화 속의 이야기는 흥미를 불러 일으킬 뿐 실제 그런 일이 일어 날 것이란 기대가 크지는 않았던 것 같다. 그러나, 최근 몇 년 사이 개봉되고 있는 SF 영화는 더 이상 우주가 상상 속에서만 꿈꿀 수 있는 곳이 아니라고 말한다. ‘인터스텔라’와 ‘마션’ 같은 영화 속 이야기는 곧 인간이 화성으로 혹은 더 먼 제 2의 지구를 찾아 나설 수 있을 것 같은 희망을 보여주고 있다. 그 배경에는 영화가 표현하고 있는 기술과 현재 우주산업 사이의 관계에 있다. 기술과 산업은 동전의 양면과 같아 지속가능한 기술혁신과 산업의 발전을 위해서는 서로 영향을 주고받으면서 창조적 공진화(co-evolution)를 이루며 발전해 나가야 한다. 4차 산업혁명과 우주개발이 그 한 예가 될 수 있을 것이다.

3D 프린팅, ICT, 신소재 기술이 묶여 소형 인공위성 분야의 혁신을 이끌고, 이는 우주발사체 개발과 서비스에도 혁신을 이끌어 내 새로운 비즈니스 기회 창출 가능성을 높이고 있다. 소형위성 648기를 쏘아 올려 저궤도 통신위성군을 구축하여 IoS (Internet of Space)를 구현하고자 하는 원웹(OneWeb) 프로젝트나 Space-X의 ‘스타링크’, 250kg의 위성 500개를 지구 궤도에

에 순차적으로 띄워 지상 영상을 촬영해 공개한다는 ‘어스나우’의 프로젝트와 이를 뒷받침하기 위한 Space-X, 아마존의 회수 로켓 개발이 이를 잘 보여준다. 특히 우주인터넷이 구현은 현재 지상망 중심으로 이루어지고 있는 인터넷과 모바일 통신의 지역적 제약을 획기적으로 극복하고 전 지구적 연결을 더욱 강화시킴으로, 4차 산업혁명의 핵심으로 등장하고 있는 인공지능, 자율주행차, 빅데이터를 통한 초연결사회 구축을 앞당기게 될 것이다. 이처럼 우주를 향한 기술개발은 4차 산업혁명을 이끄는 주변 기술들과 영향을 주고받으면서 기술혁신의 핵심 분야로 부각되고 있다.



그림 1. 어스나우 - 출처 beSUCCESS

우리나라의 경우도 2006년에 이르러 우주개발예산이 3,000억 원을 넘어서고 정부 연구개발 예산 대비 우주예산 비중도 3%에 이르렀고 점차 증가추세에 있다. 특히, 우리나라는 지난 20여 년간 위성개발을 통해 위성개발 수준을 한 단계 높였으며, 현재 우리나라가 고려중인 위성개발계획을 보면 향후 위성수요에 기인한 위성의 숫자는 기하급수적인 증가가 예상된다. 이런 현실에도 불구하고 탑재체 기술을 포함한 핵심부품에 대한 기술자립의 부족과 우주선진국에

대비한 경쟁력 강화는 극복해야 할 과제로 남아 있다[1].

정부에서 발표한 우주개발진흥기본계획은 기술자립, 산업화 역량강화, 우주탐사, 우주개발결과의 활용촉진, 우주개발 기반의 확충, 인력양성 및 인프라 확충, 국제협력 확대 등을 우주개발을 위한 기본 방향으로 제시하고 있다. 앞으로 더욱 확대되는 위성개발 계획을 고려하여 현재 우리에게 부족한 부분을 신중히 검토 후 추진해야 선진국과의 격차를 줄일 수 있을 것이다. 우주환경이라는 특수상황을 고려할 때, 진공산업과 우주개발의 연결 역시 중요한 과제 중 하나이다.

현재 우리나라 진공산업은 반도체와 디스플레이 분야에 집중이 되어 있고, 이 또한 생산장비는 수입에 의존하고 최종 제품의 생산 실적에만 초점을 맞추어 왔다[2]. 우주개발에 이용되고 있는 진공관련 장비들도 이와 유사한 상황으로 이를 극복하기 위하여 현황과 발전방향에 대해 살펴보고자 한다.

2. 우주 진공환경과 인공위성

일반적으로 산업에서 통용되고 있는 진공이란 공간의 기체압력이 대기압보다 낮은 상태, 즉 분자밀도가 약 2.5×10^{19} 분자/cm³ 보다 적은 상태를 의미하며, 극청정 환경 제공, 단열효과, 입자의 장거리 비행가능, 증발과 승화작용, 안정된 플라즈마를 유지, 생화학 반응 억제, 우주환경 제공 등의 특성으로 인해 오늘날 전 산업분야 및 과학기술 분야에 응용이 되고 있다. 인공위성을 비롯한 각종 우주비행체가 임무를 수행하고 있는 우주공간은 크게 진공환경으로 정의되

어진다. 그림 2와 같이 진공은 지상에서 200 km 이상의 고도에 도달하게 되면 고진공 상태인 10^{-5} Pa 이하로 내려간다. 달과 지구의 중간에서는 $\sim 10^{-7}$ Pa, 태양과 지구의 중간에서는 $\sim 10^{-10}$ Pa, 은하계의 끝에서는 $\sim 10^{-14}$ Pa 정도라고 일컬어진다.

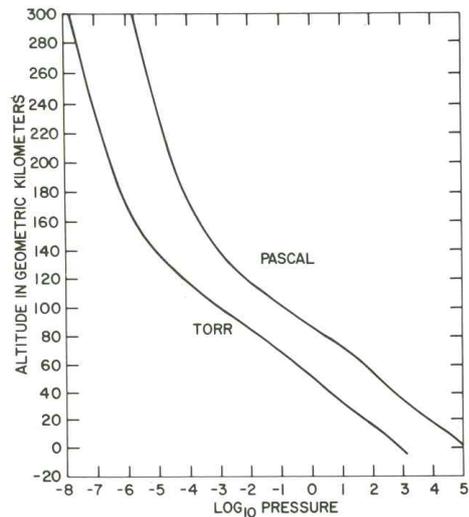


그림 2. Relation between the atmospheric pressure and the geometric altitude[3]

고진공은 우주 환경 중에서도 위성체 설계에 고려해야 하는 첫 번째 물성치이다. 주요 위성체 설계 특성과 기술은 진공이 전기, 기계 및 열 시스템에 미치는 영향에 의존한다. 특히, 재료의 선택은 각 재료의 진공 특성에 따른다. 따라서, 지상에서 흔히 이용하는 많은 재료들은 상대적으로 요구조건이 완화된 위성에서조차도 적용이 쉽지 않다. 대부분의 재료는 진공 환경 하에서 어느 정도는 분출(outgassing)을 한다. 금속은 보통 지상에서 머무는 동안에 가스나 증기가 흡수된 외부층이 존재하지만, 일단 우주 궤도에 오르게 되면 이들 가스나 증기는 외부로 분출된다. 휘발성 복합물질로 구

성된 폴리머(polymer)와 다른 물질들은 초기 질량의 상당 부분을 잃으면서 진공 환경 하에서 분출하게 된다. 그래파이트-에폭시(graphite-epoxy) 및 다른 복합재료와 같은 일부 휘발성 재료들은 흡수성(hygroscopic)이 있기 때문에 지상에서는 공기로부터 상당한 양의 수분을 흡수한다. 그러나 위성이 궤도에 오르게 되면 이 수분은 일정한 기간에 걸쳐 분출된다.

이렇게 수분이나 다른 오염물질을 방출하는 재료는 여러 가지 이유로 위성체 부품으로 사용하는데 문제가 있을 수 있다. 전술한 바와 같이, 폴리머 또는 휘발성 재료들은 분출이 기본 재료 물성치에 중대한 변화를 유발할 수 있다. 물성치 변화가 없다고 하더라도 구조물의 변형이 발생할 가능성 또한 존재한다. 복합재료는 높은 강성 대 무게 비 및 낮은 열팽창계수 때문에 위성체 재료로 선택이 된다. 특히, 구조 정렬이 중요한 곳에서 사용되는데, 분출로 인해 구조물에 변형이 발생한다면 심각한 위치 오차를 유발할 가능성이 존재하는 것이다. 아울러 우주의 열복사 환경 하에서 위성의 표면이 가열과 냉각을 반복하는 동안 분출된 증기는 위성체 다른 주요 부품에 재응축되어 원활한 기능수행에 저해요인이 된다. 특히 이차면경 및 광학렌즈 등을 오염시킴으로써 위성체 본연의 임무수행 실패라는 결과를 초래할 수도 있다[4-5].

우주에서 임무를 수행하게 되는 우주비행체의 부품에 대한 오염 검증에 사용되는 변수로는 먼저 휘발성 물질의 응축포집량(CVCM : Collected Volatile Condensable Material)을 들 수 있다. 또 다른 변수로 진공상태에 노출된 재료의 탈기체 특성을 판단하는 TML(Total Mass Loss)을 들 수

있다. TML이란 일정하게 주어진 시간 동안 일정온도와 진공도로 유지된 시료에서 탈기에 의해 줄어든 질량의 초기질량에 대한 백분율을 말한다. 각 재료에 대한 선별기준은 사용자의 요구에 따르지만 일반적으로 TML 값이 1.0% 이상, CVCM 0.1% 이상이면 위성체 부품으로는 적당하지 않다.

인공위성에 사용되는 재료에 대한 CVCM 및 TML 값이 기준 이하임을 확인하였다고 하나, 재료를 이용하여 위성의 부품을 제작하게 될 때 제작과정 상에서 수분을 비롯한 접착재료 혹은 용접 등의 과정을 통해 다른 오염물질이 포함되어 질 수 있다. 이들에 대한 초기 분출 및 분출량 확인을 위해 지상에서 고온과 고진공 상태를 모사하여 오염물질의 방출 및 근원을 검출할 수 있는 진공 베이크아웃 시험 수행이 필수적이다 [6].

위성이 임무기간 동안 겪게 되는 환경은 고진공 외에 미세 지구중력(거의 중력이 없는 상태), 여러 종류의 복사(지구 자기장에 갇혀 있는 전자와 양성자, 태양으로부터의 복사, 왕성한 우주 복사 등), 태양의 위치에 따른 격심한 온도차, 열 복사원과 싱크온도, 미세운석, 그리고 우주파편 등으로 특징 지워진다. 이들 환경은 고도, 계절, 시간, 태양 주기 및 궤도에 따라 변하게 되며, 실제 위성의 설계, 시험 및 성공적인 발사 후 운용, 성능, 수명 등에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

인공위성을 개발하는데 있어서 열제어계는 인공위성이 임무기간 내에 모든 열환경에서 모든 위성체 부품들이 각기 허용되는 온도 및 온도 구배 내에서 유지되도록 열전달을 제어하는 역할을 수행하게 된다. 위성의 온도를 제어하는 방법에는 초고주파 RF

컴포넌트와 같이 많은 열을 발생시키는 내부 탑재체의 배열과 위성체 구조물 및 표면의 열광학적 물성치를 잘 조절하여 전도 및 복사 열전달 만으로 원하는 온도 분포를 얻으려는 수동형 열제어법(passive thermal control)과 보다 효과적인 온도 조절을 위하여 히트 파이프나 접착식 히터와 같은 각종 부수 장치를 사용하는 능동형 열제어법(active thermal control)이 있다. 두 방법을 통해 온도 마진을 갖는 범위 내에서 각 부품들의 작동 온도를 결정하게 되고, 개발 단계에서 온도 마진을 줄여 나간다. 또한 이러한 온도 마진을 검증하기 위해서 반드시 지상에서 검증 시험을 거쳐야 하며, 열진공 및 열평형 시험을 통해 열설계 검증을 수행하게 된다.

3. 우주개발과 진공장비

1) 베이크아웃 챔버

베이크아웃이란 고진공상태(10^{-3} Pa 이하로 정의)에서 위성에 사용되는 각종 탑재물을 규정된 고온으로 장시간 처리, 표면에 붙어 있는 오염물질을 제거함으로써 위성체가 우주 열환경 하에서 임무를 수행하는 동안 성능을 제대로 발휘하게 하기 위한 절차이다.

대표적으로 한국항공우주연구원에는 베이크아웃 시험의 수행을 위해 직경 1.8 m, 길이 2.0 m의 원통형 진공용기로 구성된 전용 챔버를 보유하고 있다 [그림 3]. 베이크아웃 시험을 위해서는 진공용기 내부를 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 용량의 드라이 펌프와 부스터 펌프를 이용하여 5.0 Pa의 저진공을 형성하고, 각 6,900 L/s (water 기준) 용량의 저온펌프 2대를 이용하여 5.0×10^{-3} Pa 이

하의 고진공을 생성하게 된다. 오염물질 제거를 위하여 세라믹 재질로 된 히터를 30° 간격으로 총 48개를 설치하여 챔버 내부를 고온으로 모사한다. 챔버 내부 및 시편의 온도 측정을 위하여 T-형 열전대를 사용하였고, 챔버 내의 진공은 컨벡트론 게이지와 이온 게이지를 사용하여 각각 저진공과 고진공을 측정한다. 또한 시편에서 분출되는 오염물질의 정량적인 측정을 수행하는 TQCM과 오염물질의 종류 및 각 종류에 대한 분압을 측정하는 RGA가 장착되어 있다.



그림 3. 베이크 아웃 챔버

2) 열진공챔버

우주환경은 고진공 환경과 태양 복사열에 의한 고온 환경 및 극저온이 반복되는 가혹한 환경으로 특징지어 진다. 위성체는 지상에서 발사되어 우주궤도에 진입한 순간부터 가혹한 우주환경에 노출되어 위성체의 주요 부품에 기능장애가 발생한다면 결국 임무의 실패로 이어지기도 한다. 따라서 위성체는 지상에서 우주환경시험을 거쳐 기능 및 작동상태를 점검해야 한다.

우주환경을 모사하기 위해서는 실제 우주에서의 진공도(10^{-11} Pa 이하) 및 온도조건 ($3 \sim 4$ K)을 동일하게 재현해야만 하나, 지상에서 완벽한 우주환경의 모사는 불가능하다. 진공도에 의한 열전달 해석 영향을

살펴보면, 가스에 의한 열전달은 방사율(emissivity)이 비이상적으로 작지 않을 경우 압력이 10^{-3} Pa 이하일 경우에는 무시할 수 있으므로 저온펌프(Cryopump)와 고무링(O-ring)으로 충분히 유지가 가능한 10^{-4} Pa 사이가 많이 이용된다.

절대 온도 4 K 역시 모사가 쉽지는 않다. 값비싼 액체헬륨을 이용한다면 어느 정도 모사는 가능할 수 있으나, 너무 비효율적인 방법이다. 따라서 비록 온도는 다소 높지만 값싸게 흔히 얻을 수 있는 액체질소를 이용하여 100 K 정도에서 시험을 수행한다. 시험 대상체에 비해 일반적으로 0.9 이상의 방사율을 갖는 대상체 면적의 3 ~ 10배 정도의 흑체를 보유한 실험장치라면 위성체가 실제 겪게 되는 온도 환경을 모사할 수 있는 장치로 대신할 수 있다.

인공위성의 부품 및 시스템에 대한 열진공시험은 통상 열진공챔버(Thermal Vacuum Chamber 혹은 Space Simulation Chamber)라 불리는 장비를 이용하게 된다 [그림 4].



그림 4. 열진공챔버

내직경 1 m, 길이 1.5 m의 진공용기로 구성이 되어 로터리 및 부스터 펌프로 구성된 저진공 펌프시스템으로 5.0×10^{-1} Pa

의 저진공을 형성하고, 저온펌프를 이용하여 5.0×10^{-3} Pa 이하의 고진공을 생성한다. 위성체 시험을 위한 진공조건이 만족되면 챔버 내부 쉬라우드를 통해 흐르는 GN2의 온도에 따라 100 °C 에서 -150 °C 사이의 온도 환경을 모사함으로써 지상에서 최대한 우주환경에 근접한 환경을 제공할 수 있다.

4. 국내의 장비 현황과 전망

1) 국외

위성 및 우주과학기술은 위성 TV, GPS, 위성을 이용한 재난방송, 원격의료, 군사정보, 및 지리정보 취득 등 광범위하게 활용되고 있다. 아울러, 지속적으로 부가가치 창출의 가능성이 높아짐에 따라 기존 국가 주도적으로 개발되어 왔던 위성 및 우주산업은 미국의 Space-X사나 Telenor 등 민간기업으로 그 영역이 확대되고 있다. 그러나 아직까지는 정부 수요가 대부분을 차지하고 있는 실정으로, 세계 각국의 우주분야 투자와 정책은 우주산업의 발전에 큰 영향을 미치고 있다.

미국은 세계 우주개발 투자액의 3/4을 차지할 만큼 막대한 예산을 우주개발에 투자하고 있으며, 2004년부터 2009년 사이 지속적으로 7%의 성장세를 보여왔다. 특히 2001년 911 사태 이후 미국의 국방우주분야 투자가 증가하기 시작했다.

전통적으로 우주산업 및 각종 우주개발의 선두에 서 왔던 미국은 관련된 장비 산업도 함께 발전해 왔음을 알 수 있고, 여러 우주개발 산하 기관 및 민간기업에 관련 장비들이 넓게 분포되어 있다. NASA Plum Brook의 Space Power Facility와 같은 초대형 진공챔버를 비롯하여 JPL, MSFC와

같은 연구기관의 진공챔버와 Boeing, Loral, Lockheed Martin과 같은 민간기업에도 많은 진공챔버들이 설치되어 운영 중이다. 신규 제작 보다는 노후된 진공 펌프의 교체와 같은 유지보수 수요도 많지만, 항법위성, 달탐사를 비롯하여 행성탐사 및 각종 우주탐사 등의 프로젝트가 진행되는 만큼 신규 시험 시설의 구축 수요는 꾸준할 것으로 보인다.



그림 7. ESTEC의 열진공챔버

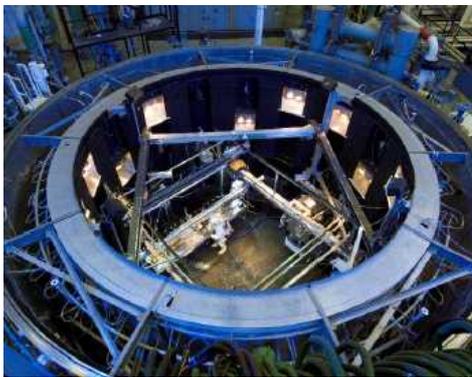


그림 5. NASA JSC의 열진공 챔버 B

러시아 연방우주청 관할 하에 있으며 대표적인 우주환경 시험기관 중 하나인 "NITs-RKP"는 1948년 러시아 최초의 시험기관으로 선정한 곳으로, 이후 미사일 비행시험을 시작으로 65년간 60,000개 이상의 엔진 개발을 하였고, 140대가 넘는 우주선과 3대의 우주왕복선 '부란'을 시험 개발하였다.



그림 6. GRC Plum Brook - Space Power Facility



그림 8. NITs-RKP의 열진공챔버

유럽 18개국을 회원국으로 둔 ESA 본부는 프랑스 파리에 있으며, 네덜란드의 ESTEC, 프랑스의 INTESPACE, 독일의 iABG 등 각국에 전문시험센터를 두고 있다.

일본은 위성을 자력으로 발사한 세계에서 네 번째 국가가 되며, 일본의 우주과학은 이후 급속히 발전 하였다. 일본의 우주개발 정책은 최첨단 기술 개발에 중점을 두던 방식에서 '신뢰성'과 '경제성'을 중시하는 방향으로 전환되고 있으며, JAXA의 Tsukuba 우주센터를 중심으로 미쯔비시중공업과 기타 많은 기업이 활발하게 참여하고 있다.



그림 9. 일본 JAXA 13m 열진공챔버

이상의 국가들은 이미 정치, 사회, 경제적
으로 선진국의 위치를 선점하고 있는 국가
들로 우주/항공 분야에서도 놀라운 성과를
이루어 내고 있다. 그러나 향후 세계는 우
주개발에 관하여 더 이상 일부 선진국에 국
한된 기술로 발전하지는 않을 것이다. 어떤
국가가 우주개발 활동을 시작할 때에는 정
치적 목적, 경제적 목적, 지리적 목적, 기술
의 진보 등을 이루고자 함이다. 구체적으로
정치적 목적은 국가의 역량을 대외에 알리
고, 우주개발 분야에서 국제적인 지위를 얻
고, 국민의 자부심을 증대하는 것이다. 나
아가 해당 지역공동체와 국제적 수준에서의
협력강화도 포함한다. 또한, 우주 관련 기술
의 역량을 확보함으로써 우주 관련 영역 내
외부로 산업적 기반을 닦을 수 있고, 세계
우주시장에서 점유율을 확보할 수 있다. 나
아가 우주 관련 지식의 축적과 교육훈련 증
진, 위성의 운용과 활용을 통해서도 국가의
안보와 경제발전에 추가적인 기여를 할 수
있기도 하다. 이러한 여러 가지 이유로 최
근 남아메리카, 중동 및 동남아시아의 여러
국가들이 경쟁적으로 우주개발에 뛰어 들고
있고, 관련 장비 산업의 수요도 꾸준히 증
가할 것으로 전망이 된다.

2) 국내

국내에서는 다양한 정부기관, 출연연구소
및 기업체에서 우주산업에 종사하고 있는
것으로 나타난다. 그러나 우주개발에 소요
되는 각종 시설 및 장비의 경우 고가의 신뢰
성을 요구하는 장비들로 아직까지는 일부
기관에서만 운영되고 있는 현실로서, 우주
개발 관련 시장 형성에 어려움이 따르고 있
다. 대표적으로 우주개발을 위한 각종 진공
관련 장비를 보유한 곳은 한국항공우주연구
원이 있다. 앞에서 살펴 본 바와 같이 한국
항공우주연구원에는 bake-out 챔버를 비롯
하여 직경 0.7 m, 1.0 m 및 3.6 m 급의
열진공챔버를 보유하여 우리나라 인공위성
개발의 역사를 함께 해왔다.



(a) 직경 0.7 m (b) 직경 1.0 m



(c) 직경 3.6 m

그림 10. 한국항공우주연구원 열진공챔버

위성 개발 초기 기술력의 부족으로 이러
한 장비들의 대부분은 해외에서 직접 수입
해서 구축함으로써 국내 진공산업과의 연관성
을 찾기는 어려웠고, 구축된 장비에 대한

유지보수 문제로 펌핑 시스템의 교체 및 각종 진공관련 소모품류만 국내에서 조달하여 사용하고 있는 실정이다. 그러나, 점차 대형화 및 고기능화되어 가는 위성의 개발을 위해서 대형열진공챔버의 필요성이 대두되었고, 독자적으로 정지궤도 위성과 같은 대형 위성체의 시험에 사용하기 위한 유효제원 $\phi 8 \text{ m} \times \text{L}10 \text{ m}$ 급의 대형열진공챔버의 국산화 제작을 이루었다. 뿐만 아니라 위성 광학카메라의 국산화 개발을 위한 $\phi 4 \text{ m} \times \text{L}10 \text{ m}$ 의 mail box 형의 전용 열진공챔버 역시 국내 기술로 구축되었다.



그림 11. 대형열진공챔버($\phi 8 \text{ m} \times \text{L}10 \text{ m}$)



그림 12. 광학열진공챔버($\phi 4 \text{ m} \times \text{L}10 \text{ m}$)

대형 우주환경 모사장비의 국산화 성공은 우리나라의 조선기술의 발전 및 반도체 산업에서 축적된 진공기술의 발전에 힘입은 바가 크다고 볼 수 있으며, 우리나라가 위성개발 기술 수준과 더불어 우주환경 시험

장비 분야에서도 세계적 기술 수준을 갖출게 되었음을 의미하고 있다.

그러나, 열진공챔버를 구성하고 있는 진공 용기 및 구조물을 제외한 각종 진공펌프류의 경우는 대부분이 해외 업체의 제품을 사용함으로써 일부 그 한계점은 존재하는 것으로 볼 수 있다. 열진공챔버 및 우주환경시험을 위한 챔버를 전문으로 제작하는 국내업체는 존재하지 않고 프로젝트 기반으로 운영되고 있으며, 국내 저진공펌프 업체도 다수 있으나, 고가의 인공위성 개발 프로젝트에는 신뢰성이 검증된 외산 제품이 주로 사용되고 있는 실정이다. 표 1은 우주환경모사장치와 관련 진공제품을 나타낸다.

표1. 우주환경모사장치와 관련 진공제품

품명	용도	
진공용기	진공기밀을 위한 용기	
진공 펌프	저진공	챔버 내부 저진공 형성용 Dry & booster pump
	고진공	챔버 내부 고진공 형성용 Cryo-pump
밸브류	각종 게이트 밸브	
Port 및 Feed-thru	게이지 부착 및 각종 전기 단자 연결	
진공 O-ring 류	O-ring 및 가스켓	
진공측정 게이지	내부 진공 측정 (Pirani & Ion gauge)	
측정장치	내부 오염원 정량/정성적 분석	
진공배관	극저온 유체(LN2) 이송용 이중진공배관	

한국항공우주연구원 외 우리나라 인공위성 개발의 역사를 함께 해 온 한국과학기술

원 인공위성연구센터에서도 위성 부품 단위의 열진공시험 및 bake-out 시험 수행을 위한 소형의 열진공챔버를 보유하고 있다. 이 경우, 미국 Thermotron 사의 열챔버 내부에 국내에서 제작된 진공챔버 (400 × 400 × 450mm)를 삽입한 챔버로서, 내부 진공을 위하여 rotary pump와 Diffusion pump의 조합으로 최대 10^{-5} Pa의 진공도를 얻고, $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위를 갖는다. 추가로 국내 기술을 바탕으로 $\phi 2.0\text{ m} \times L2.5\text{ m}$ 규모의 중형 열진공챔버를 운용 중이다.



그림 13. 인공위성연구센터 열진공챔버

최근 우리나라 인공위성의 개발 수준은 세계 10위권 이내로 진입하며 각종 인공위성 소요부품의 국산화 개발에 박차를 가하고 있다. 그 중 관측위성의 최고 핵심 부품이라고 할 수 있는 광학카메라의 국산화 개발도 포함이 되어 있으며, 광학 카메라의 핵심 미러 역시 국산화 개발되고 있다. 위성 부품의 국산화 개발에 있어 시험에 요구되는 각종 장비의 구축은 필수적이다. 한국표준과학연구원 우주광학센터에서는 고해상

도의 인공위성 카메라와 광학부품의 국산화 개발을 위해 최근 국내 VTS Corporation과 함께 광학부품용 열진공챔버의 제작에 성공한 바 있다. 최대 직경 2m 직경의 반사경까지 시험이 가능한 챔버로 mail-box 형태의 모양을 갖는 진공용기로 10^{-5} Pa의 진공도와 $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위를 갖는다.



그림 14. 한국표준연구원 열진공챔버

이상에서 살펴 본 바와 같이 위성 개발 초기 단계의 해외 업체에 의존하던 장비들은 점차적으로 국산화 개발되고 있는 실정으로, 국내 진공시장에는 기회가 될 수도 있다. 최근 국내 위성 수요의 급증으로 인하여 단위 부품 레벨의 환경시험수요는 폭발적으로 증가하고 있는 추세에 있다. 이에 그동안 한국항공우주연구원의 시설에 집중되어 오던 단위 부품 레벨의 환경시험장비, 특히 열진공시험 장비의 확충을 통해 부품 시험비용 감소 및 위성 개발 지연 방지를 도모하고자 경남 진주에 본사를 두고 있는 한국산업기술시험원 산하 '우주부품시험센터' 구축을 진행 중에 있다. 2019년 까지 베이카아웃 챔버와 총 3기의 열진공챔버가 추가 구축되어 위성부품에 대한 시험을 진행할 계획에 있다.



그림 15. 한국산업기술시험원 우주부품시험 센터 조감도 (2019. 중반 완공 예정)

더불어 널리 알려진 바와 같이 2017년 8월 한국건설기술연구원은 미국 NASA 와 MOU 체결을 통해 달 및 행상의 지표탐사 기술 개발을 논의했다. 이미 건설기술연구원에서는 세계 최초, 최대 규모의 지반열진공챔버 건설을 추진 중에 있으며, 2018년 2단계 사업에 착수하고 있다.



그림 16. 지반열진공챔버
(한국건설기술연구원)

그러나, 아직까지는 우주 개발이 국가 주도적으로 진행되고 있는 상황이고, 우주개발에 소요되는 장비의 대부분이 고가로 시험 장비는 일부 기관에 집중될 수 밖에 없는 것도 현실이며, 정부에서는 고가의 시험 장비 경우 중복 투자 없이 효율적 시설 운영을 계획하고 있어 관련 시장 규모는 그다지 크다고 보기 어렵다. 앞서 언급한 바와 같이 시장 규모가 적다 보니 열진공챔버 및

우주환경시험을 위한 챔버를 전문으로 제작하는 국내업체를 쉽게 접하기 어려울 뿐만 아니라 관련 기술의 전파나 연속성도 떨어져 전체적으로 산업화의 길도 어려운 실정이다. 그러나 2018년 2월 발표된 '제 3차 우주개발진흥기본계획'에 따르면 달궤도선을 비롯한 우주탐사 분야, 초소형 및 중형 위성 개발 뿐 아니라 국내 환경에 적합한 한국형 위성항법시스템 구축을 계획하여 향후 5년 내 초기 우주시장 형성을 목표로 하고 있다. 따라서 관련한 진공기술이 소요되는 시험 장비 및 부품의 수요는 꾸준히 증가할 것으로 보인다.

따라서, 산·학·연은 물론이고 정부나 협회의 공통적인 관심과 협력을 통해 당장 피부로 느낄만한 경제적 이익의 창출은 어렵더라도 향후 우주개발을 선진국 수준 또는 이상으로 도약시키고 관련된 진공 산업 전반으로 경쟁력을 확보할 수 있도록 노력이 필요할 것이다.

[Reference]

- [1] 이상률, "아리랑5호의 발사성공과 그 의미", 통신위성과 우주산업, 제20권 제1호, p.12, 2013. 12
- [2] 고중희, '한국진공산업 기술 발전 국제 경쟁력 강화 방안 정책용역 소개', 진공이야기, 2014. 3
- [3] J. F. O'Hanlon, "A User's Guide to Vacuum Technology, 2nd ed.," John Wiley & Sons, Inc., pp. 7, 1989.
- [4] ASTM, "Recommended Practice for QCM Measurement of Spacecraft Molecular Contamination : Draft D," ASTM DOCUMENT :

E21.05-QCM-90.01, December 5, 1995.

[5] P. E. George and H. W. Dursh, "Low Earth Orbit Effects on Organic Composites Flown on The Long Duration Exposure Facility," *Journal of Advanced Materials*, Vol. 25, No. 3, pp. 10-19, 1994.

[6] S. H. Lee, H. J. Seo, G. W. Moon, S. W. Choi, "A Study on the Contamination Measurement of Spacecraft Components under High Vacuum Environment", *J. Korean Vacuum Soc.* 11, (2002), pp.87~96