

우주의 실험실-국제우주정거장 가압모듈

글 / 이 주 희 jhl@kari.re.kr , 최 기 혁
한국항공우주연구원 위성운영센터 지상수신관제그룹

1. 서론

International Space Station(ISS, 국제우주정거장)은 미국, 러시아, 유럽연합 11개국, 캐나다, 일본, 브라질 등 세계 16개국이 참여하여 1998년 11월부터 건설을 시작하였으며, 2006년 완공을 목표로 진행중인 최초의 초대형 국제협력 프로그램이다. ISS는 건설 후 평균 10여 년의 운용기간 동안 특수한 환경에서 실험을 수행하고 지구에서 수행할 수 없는 많은 분야의 기술적 발전을 위한 궤도실험실의 역할을 할 것이다. 이러한 실험분야로는 연소과학, 유체물리, 재료과학, 기초물리, 중력을 이용한 생물학 및 생태학, 지구과학, 우주과학, 생물의학, 의학치료, 진보된 인류지원 기술, 생명기술, 상용연구 및 개발 등이 있다. 현재 ISS의 기본 구조물 구축은 거의 마무리가 된 상황이고, 앞으로는 이를 이용한 과학연구 분야 시설에 연구재원이 많이 투입될 것이다. ISS는 무게 약 450톤, 크기 108.5m×88.4m×43.6m(축구장 크기), 부피 1,200 m³ 이며, 지상 350~450km 궤도에서 90분에 한 번씩 지구를 선회하고 있다. ISS의 완성된 예상 모습은 그림 1과 같다. 그리고 ISS의 궤도 경사각은 51.6°로써 남반구와 북반구의 위도 52° 지점까지 관측할 수 있으므로 지표면의 약 85%(인간 거주 지역의 95%)를 관측 가능하도록 지상궤적을 제공하며, 동일 지점을 약 3일에 한 번 끌로 통과한다.

미국을 비롯한 우주개발 선진국들은 ISS 사업을 통하여 우주공간의 과학 및 산업적 활용을 위한 진초기지를 만들어 나가고 있다. ISS에는 미세중력(Microgravity)을 이용한 각종 실험 및 연구를 수행하기 위한 공간으로 총 6개의 Pressurized Module(PM, 가압모듈)이 설치되었거나 설치될 예정이다. 현재 설치되어 있는 PM으로는 2001년 2월 ISS에 부착된 미

국 NASA의 Destiny 실험모듈이 있으며, 향후 미국의 Centrifuge Accommodation Module(CAM), 일본의 Japanese Experiment Module-Pressurized Module (JEM-PM), 유럽연합의 Columbus Module, 러시아의 Research Module 2개 등이 설치될 예정이다.

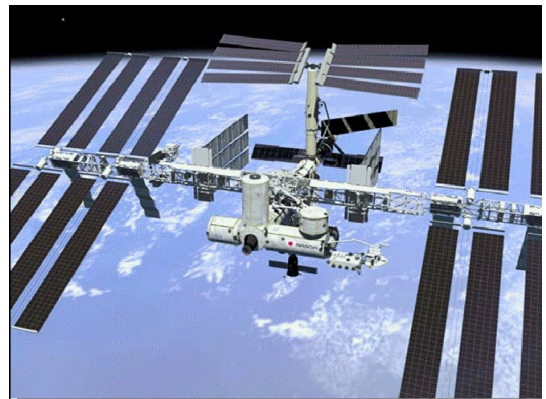


그림 1. ISS의 예상 완성도(NASA 제공)

ISS에 부착된 PM은 지상의 실험실과 동일한 기압, 온도, 습도 등의 환경이 유지되며, 지상과 다른 점은 우주공간의 고유환경인 미세중력이 작용한다는 것이다. PM 내부에서 수행되는 각종 실험에서는 전력, 열제어, 통신, 진공, 배기장치 시스템, 가스(N, CO₂, Ar, He) 등을 이용할 수 있으며, 이를 위해 PM 내부에는 원활하고 효율적인 실험 수행을 위한 규격화된 선반 형태의 International Standard Payload Racks(ISPR, 국제표준 탑재체 랙)가 마련되어 있다. 각국의 PM에 설치된 랙(Rack)의 수는 Destiny에 24개, CAM에 15개, Columbus Module에 16개, JEM-PM에 23개 등 이다.

PM을 이용한 우주 실험기술은 ISS에서 미세중력을 이용한 우주의 산업 및 과학 분야 활용실험에 핵심적인 역할을 담당하게 될 것이다. 현재 PM을 제작하고 있는 미국의 NASA, 일본의 NASDA, 유럽연합의 ESA, 러시아의 RSA 등은 PM 활용에 국제협력을 염두

에 두고 있으므로, 본 기술동향 조사를 통하여 향후 우리의 ISS PM 국제공동 활용 연구에 기여하고자 한다.

2. PM 종류 및 시스템 개요

2.1 Destiny & CAM

미국의 내부 가압모듈 실험실인 Destiny는 미세 중력을 이용한 각종 실험이 수행되는 곳이다. 2001년 2월 우주왕복선 아틀란티스(Atlantis)에 의해 ISS로 옮겨져 설치되었으며, ISS 최초의 연구모듈이다. Destiny의 내부는 24개의 랙을 설치할 수 있도록 설비가 되어 있다. 랙은 각종 실험을 위한 탑재체 하드웨어의 효과적인 조립 및 교체를 위해 설치되었다. 이 중에서 13개는 ISPR 연구 랙이며, 나머지 11개는 ISS 시스템 제어와 같은 용도로 사용한다. 또한 Destiny 모듈에는 지구관측을 위해 매우 높은 광학적 성능을 가진 Window Observational Research Facility(WORF)라는 원형창과 랙도 설치되어 있다. 다음의 그림 2와 3은 Destiny 실험모듈과 랙의 모습을 보여주며, 표 1에는 Destiny의 제원에 대하여 정리하였다.



그림 2. ISS에 설치된 Destiny 실험모듈(NASA 제공)

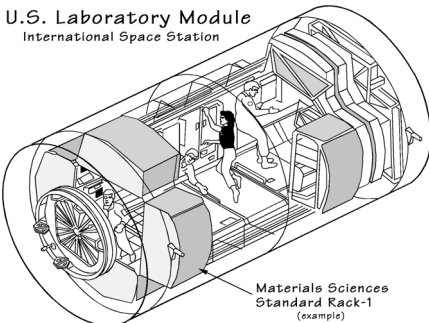


그림 3. Destiny 실험모듈 내부의 랙 시설(NASA 제공)

표 1. Destiny와 CAM 실험모듈 제원

항 목	Destiny	CAM
외부 길이	8.5m	8.3m
외부 직경	4.3m	4.4m
무게(전체 시스템 포함 무게)	14,515kg (26,771kg)	10,000kg (14,352kg)
랙(Rack) 시설	24개(13개는 ISPR)	15개(4개는 ISPR)
도킹 포트(Docking Port)	2곳 (Node 1, Node 2에 연결)	1곳 (Node 2에 연결)
설치시기	2001. 2	2006. 4(계획)

Centrifuge Accommodation Module(CAM)은 일본이 제작하고 미국이 소유하는 모듈로써 국제적인 중력생물학 연구, 즉 생물의 중력 및 미세중력하에서의 영향 연구를 위해 ISS에 설치할 예정이다. 당초 계획은 2006년 4월쯤 ISS에 설치할 예정이었으나, 컬럼비아(Columbia) 우주왕복선의 사고여파로 지연이 예상된다. 그림 4와 같이 CAM에는 2.5m 직경의 원심분리기가 있으며, 이것은 중력생물학 연구에 핵심적인 역할을 하게 된다. 총 15개의 랙이 설치될 수 있으며, 이 중 4개는 연구용 랙을 설치할 수 있다. 또한, Life Sciences Glovebox(LSG), 2개의 Habitat Holding Racks, Cryo-Freezer 등의 시설이 포함되며, 9개의 수동식 저장 랙이 제공된다. 이들 랙 중 1개는 시스템 랙으로 사용하고, 나머지 8개는 사용자들의 임무에 요구되는 적재물을 넣는 공간으로 사용한다. 위의 표 1에는 CAM의 제원에 대하여 정리하였다.

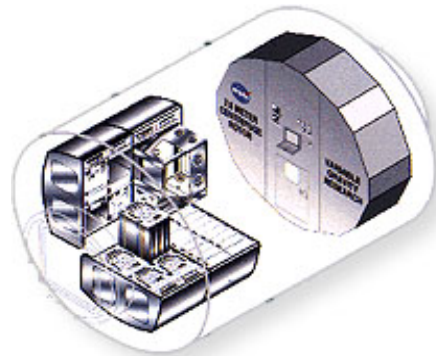


그림 4. CAM 실험모듈(NASA 제공)

Destiny와 CAM에 설치될 랙은 대략 1.8m(높이)× 1.0m(폭)의 크기와 약 545kg의 무게를 가지

며, 외부는 흑연 합성물질의 재질로 만들었다. 각각의 랙은 새로운 실험이나 수리를 위해 언제든지 교체 가능하다.

2.2 JEM-PM

일본실험모듈(JEM; Japanese Experiment Module, 일본어로 Kibo, 희망이라는 뜻)은 최대 4명의 ISS 거주 우주인이 오랜 시간동안 연구를 수행할 수 있도록 실린더 형태로 제작한 일본 최초의 유인급 우주시설이다. JEM은 가압모듈 실험실인 JEM-PM, 외부 탑재체 부착 실험 시설인 JEM-Exposed Facility(EF), 가압모듈 실험 물품 보관 모듈(ELM-PS), 외부 랙 탑재 실험 모듈(ELM-ES), 로봇 팔(JEM-RMS) 등 5개 부분으로 구성된다.

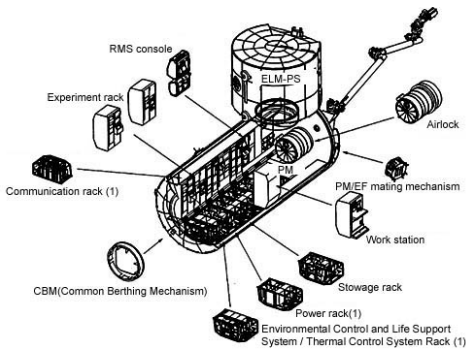


그림 5. JEM-PM의 주요 부분(NASA 제공)

JEM-PM은 우주의학, 생명과학, 재료과학, 생명공학 등과 같은 연구를 하기 위한 실험실이다. 또한, JEM-PM은 외부로부터 장비를 들여올 때 실험실 내부를 감압시키지 않고도 Airlock Chamber를 통하여 들여올 수 있는 기능을 가지고 있다. 그림 5와 같이 JEM-PM에는 총 23개의 랙을 설치할 수 있으며, 연구용 탑재체를 위한 10개의 ISPR를 제공한다. JEM-PM은 2004년 5월 발사 예정이며, 표 2에는 주요 제원을 정리하였다.

표 2. JEM-PM 실험모듈 제원

항 목	
외부 길이	11.2m
외부 직경	4.4m
무게 (전체 시스템 포함 무게)	15,900kg (43,566kg)
랙(Rack) 시설	23개(10개는 ISPR)
도킹 포트(Docking Port)	1곳(Node 2에 연결)
설치시기	2004. 5(계획)

JEM-PM 내부는 지상에서와 같은 공기조성을 유지하고, 압력도 1기압으로 유지된다. 그리고 온도(18.3~26.7℃)와 습도(25~70%)도 탑승하는 우주인이 안전하고 쾌적하게 작업할 수 있도록 설정되어 우주복을 입을 필요 없이 평상복 차림으로 실험을 할 수 있다. JEM-PM에는 실험 장치를 수납하는 랙, 실험 재료를 저온 냉동저장 하는 랙이 있으며, 로봇 팔을 내부에서 조작하기 위한 장치도 갖추고 있다. 또한 우주인이 다치지 않도록 위험 가능성이 있는 부분의 예리한 곳을 없애고, 내부에서 밖을 볼 수 있도록 작은 창을 만드는 등 우주인의 안전(Safety)에 세심한 배려를 하여 JEM-PM을 제작하였다.

2.3 Columbus Module

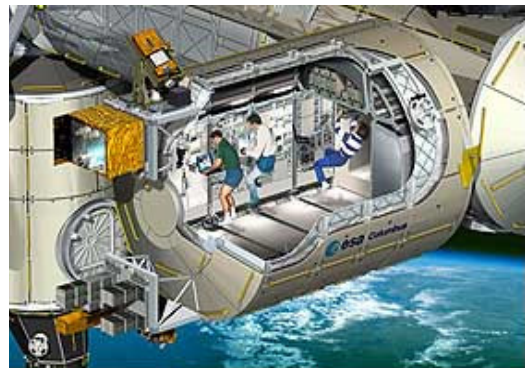


그림 6. Columbus Module(ESA 제공)

Columbus 모듈은 유럽우주기구(ESA)가 제작하여 2004년 10월 ISS에 설치할 예정이다. 이 모듈의 내부에는 총 16개의 랙을 설치할 수 있으며, 연구 탑재체를 위한 10개의 ISPR를 제공한다. 10개의 랙 중에서 NASA-ESA 협약에 따라 5개를 NASA에 제공한다. 비용절감을 위하여 Columbus 모듈의 설계는 이탈리아의 수송모듈인 Multi-Purpose Logistics Module(MPLM)에 기초하여 제작할 것이다. Columbus 모듈에서는 재료과학, 유체과학, 생명과학, 신기술 개발 등 ESA에서 결정한 과학적 목적의 실험을 수행하게 될 것이다. Columbus 프로그램을 위한 미세중력 시설의 한 부분으로서 ESA는 재료과학, 유체과학, 생물학, 인간 생리학 등의 연구를 위하여 유럽의 과학자들에게 제공할 5개의 다중사용자 실험실을 개발하고 있다. 이런 시설들은 명목상 ESA의 Columbus 모듈에 속해있지만, 미국과 같은 다른 국제 파트너에 속한 모듈의 시설들과 교환 사용할 것으로 예상된다. 그림

6은 제작될 Columbus 모듈의 상상도이며, 표 3에 모듈의 제원에 대해서 정리하였다.

표 3. Columbus 모듈 제원

항 목	
외부 길이	6.5m
외부 직경	4.5m
무게 (전체 시스템 포함 무게)	12,400kg (16,568kg)
랙(Rack) 시설	16개(10개는 ISPR)
도킹 포트(Docking Port)	1곳(Node 2에 연결)
설치시기	2004. 10(계획)

2.4 Research Module

러시아는 ISS에 제어모듈인 자르야와 주거 서비스 모듈인 즘베즈다를 설치하였으며, 2005년 8월과 2006년 3월 2차례에 걸쳐 연구용 모듈인 Research Module 1과 2를 ISS에 설치할 예정이다. 본 모듈에는 러시아 연구자들에 의해 연구용 탑재체가 설치될 것이며, ISS의 다른 부분과는 별도의 전력, 데이터 전송 시스템을 갖추게 된다.

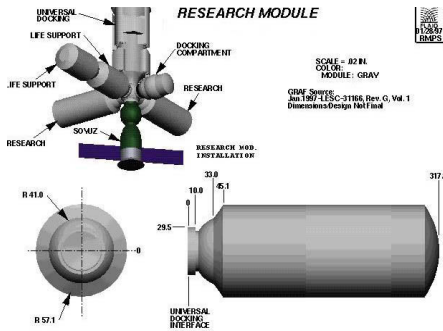


그림 7. Research Module(NASA 제공)

그림 7에서 보듯이 연구모듈은 러시아의 Universal Docking Module(UDM)에 연결된다. 러시아 연구모듈은 현재 러시아의 ISS 건설 재정악화로 인하여 건설에 많은 어려움이 따르고 있다. 따라서 현재의 계획보다 실제 건설 시기는 더 늦어질 것(2008년 이후)으로 예측되고 실험계획도 잘 알려져 있지 않다. 그러나 ISS 상에 건설되는 다른 나라들의 연구시설과 크게 다르지는 않을 것으로 보인다. 단, 러시아 연구모듈에는 일반적인 ISPR을 설치하지 않을 것이다.

3. PM을 이용한 각국의 우주 실험기술 현황

ISS의 건설은 우주공간의 과학 및 산업적 활용을

통하여 인류의 과학적 발전과 복지증진에 목표를 두고 있다. 이를 위하여 ISS의 PM은 국제 공동의 과학 및 산업 활용 연구를 위한 기반 플랫폼(Platform)으로서의 역할을 한다. ISS의 PM을 통해서 첫째로 물리, 화학, 생물학적 시스템에 대한 중력의 영향 연구를 수행하는 실험시설을 제공한다. 둘째로 새로운 기술과 인간의 우주탐험을 위하여 개선된 실험공간을 제공한다. 셋째로 우주의 연구와 개발을 위한 상업적 플랫폼의 역할을 하는 공간을 제공한다. 이러한 역할을 수행할 PM을 이용하여 우리는 기초 생물학, 물리학(재료과학, 바이오 기술, 기초 물리, 유체 물리, 연소 등), 생의학, 진보된 인류생명 지원 기술, 지구과학, 우주과학 등과 같은 분야의 연구 및 실험을 수행할 수 있다. 현재 미국을 비롯하여 ISS 사업을 수행하는 모든 국가들은 연구의 효율성을 높이기 위하여 연구수행 단계를 만들고, 각 기간별로 공동의 연구 주제를 정하여 실험을 수행해 나가고 있다. 각 단계의 평균 기간은 4개월 정도이며 ISS에 거주하는 승무원들의 교체시기와 비행계획에 따라 단계를 결정한다. 2000년 11월부터 2003년 4월까지 총 6단계의 실험을 완료하였으며, 현재는 7단계의 연구를 수행중에 있다. 예를 들면, 그림 8에서와 같이 각 단계마다 한 가지 중요 주제에 대해서 초점을 맞추어 실험을 수행한다.

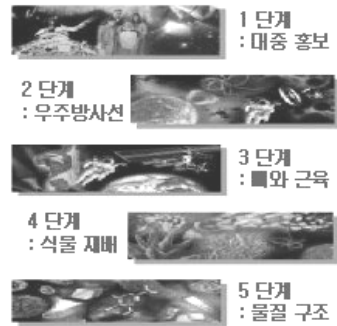


그림 8. 각 단계별 수행 실험주제 예시

1단계에서는 ISS PM을 이용한 우주실험의 필요성을 일반 대중에게 홍보, 2단계에서는 우주에서 생활하는 승무원들의 우주 방사선 노출에 대한 연구, 3단계는 우주에서 인간의 뼈와 근육에 대한 연구, 4단계는 우주에서의 식물재배, 5단계는 물질구조에 대한 연구에 초점을 맞추어 실험을 수행하였다. 미국 NASA의 경우, 이와 같은 연구를 수행하기 위해서 각 기관이나 개인은 정기적으로 실시되는

과제공모(Announcement of Opportunity; AO)에 응모하여 선정되어야 한다.

현재 ISS 사업 참여국가 중 PM 실험모듈을 개발하는 나라는 미국, 일본, 유럽연합, 러시아 등이며, 각 국가는 자국에 필요한 내부 장비를 자체 개발하거나 국가간 협력을 통한 공동 개발을 하고 있다. 따라서 각국에서 어떤 장비를 개발하고, 어떤 실험을 수행하고자 하는지 알아볼 필요성이 있다. 또한 PM을 이용한 우주에서의 실험을 성공적으로 수행하기 위해서는 실험에 대한 치밀한 사전계획과 실험 장비를 효과적으로 운용할 수 있는 준비가 필요하다. 이에 따라 PM 내부에 실험수행을 위한 37개의 ISPR을 설치하였으며, 랙을 이용하지 않는 실험을 위한 별도의 시설도 마련하였다. PM별로 Destiny에 13개, CAM에 4개, Columbus와 JEM-PM에 각각 10개씩의 ISPR을 설치할 예정이다. 러시아의 경우는 ISPR을 사용하지 않고 모듈에 별도의 시설을 사용할 예정이다. ISPR은 체적 1.6m³, 무게 104kg으로서 700kg의 탑재물을 설치할 수 있다. 그림 9에는 미국의 Destiny 실험모듈에 설치된 일반 랙과 ISPR의 배치를 예로 나타낸 것이다.

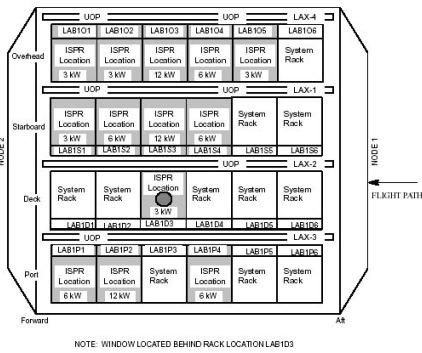


그림 9. Destiny 내부의 일반 랙 및 ISPR 배치

위에서 살펴본 바와 같이 ISS의 PM 제작을 통한 우주실험에 참여하는 국가들은 우주에서의 상황을 고려하여 실험의 효율성을 강조한 장비를 개발하고 있는 상태이다. 즉, ISPR과 같은 규격화된 장비를 이용하여 실험을 수행함으로써 실험에 참여하는 우주인 승무원들의 업무시간을 줄이고 정확한 실험결과를 얻고자 노력하고 있다.

3.1 NASA의 우주 실험

ISS의 PM 실험모듈 내에는 각 모듈별로 미세중력 우주환경을 이용한 실험수행을 위하여 표준화된

랙 탑재체 시설이 설치되어 있다.

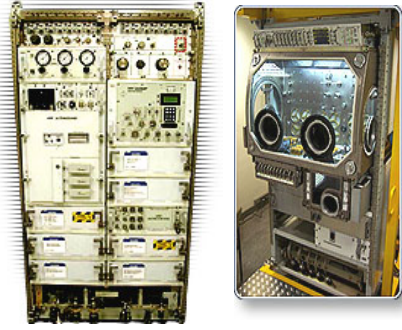


그림 10. ISPR인 HRF(왼쪽) 및 MSG(오른쪽)

이에 대한 관리는 NASA Johnson Space Center(JSC)의 Payload Office에서 하며, NASA 산하 관련 연구기관과 국제협력 파트너들에 의해 제작되고 있다. 그림 10에는 NASA의 여러 실험 장비들 중에서 인간의 신체에 대한 미세중력의 영향을 연구하는 Human Research Facility(HRF)와 밀폐된 공간에서 승무원의 조작에 의해 미세중력의 화학적, 생물학적 영향 연구를 수행하는 Microgravity Sciences Glovebox(MSG)의 외형을 보여준다. 표 4에는 현재 미국의 주도하에 개발되었거나 개발 예정인 랙 형태의 주요 장비와 연구 분야에 대해서 정리하였다.

표 4. PM 내부에 설치될 주요 실험 장비와 연구 분야(미국)

장비	장비 형태(랙 번호), 연구 기능	개발 기관	설치 위치
HRF	Rack 형태(2), 인체에 대한 미세중력의 영향연구	NASA	Columbus
GBF	Rack 형태(3), 생물에 대한 중력의 영향 연구	NASA	CAM
BRF	Rack 형태(1), 단백질 결정/세포 배양 및 생화학 연구	NASA	JEM-PM
MSRF	Rack 형태(3), 재료과학 및 재료처리 과정 조사	NASA/ESA	Destiny
FCF	Rack 형태(3), 연소과학 및 유체물리 조사	NASA	Destiny
MSG	Rack 형태(1), 미세중력에서 화학적/생물학적 연구	NASA/ESA	Columbus
XCF	Rack 형태(1), 단일 결정성장 및 구조 결정	NASA	Destiny
AHSTF	Rack 형태(1), 인간의 우주공간 장기 체류 지원기술 시험	NASA	JEM
WORF	Rack 형태(1), 지구관측	NASA	Destiny
APCF	Sub-Rack 형태, 온도제어 가능상태에서 단백질 결정 연구	ESA/NASA	Columbus
EMCS	Sub-Rack 형태, 중력변화에 따른 식물성장 및 개발 연구	ESA/NASA	Destiny

이와 같이, 미국의 NASA가 수행하는 PM 실험의 경우 대부분 인간을 비롯한 생물체와 우주환경(미세중력, 우주방사선 등)과의 상호관계에 대한 의학 및 물리화학적 연구에 초점을 맞추고 실험을 수행하고 있다.

3.2 ESA의 우주 실험

유럽 ESA의 경우, Columbus 모듈에서 우주실험은 10개의 ISPR(총 16개의 랙) 중 자원분배 협약에 따라 ESA가 사용할 수 있는 5개의 ISPR 활용에 근거를 두고 있다. 따라서 다음과 같은 5종류의 실험 장비(Biolab, Fluid Science Laboratory, European Physiology Modules, European Drawer Rack, European Stowage Rack)를 실험모듈 내에 설치하고 관련 실험을 수행할 예정이다.

Biolab은 작은 식물이나 무척추 동물, 미생물, 동물 세포, 세포 조직 등과 같은 생물학적 연구를 지원하는 단일 랙 다중사용자 시설이다. 이것은 실험대상물의 가속도를 제어할 수 있는 원심분리기를 장착한 인큐베이터를 포함한다. Fluid Science Lab(FSL)은 미세중력에서 유체의 동적 현상을 연구하기 위한 단일 랙 다중사용자 시설이다. FSL은 기포 형성과 성장, 응결현상, 열물리학적 변수, 지향성 응고 등의 연구에 사용된다. European Physiology Modules(EPM)은 다양한 종류의 생리학 실험을 지원하기 위하여 모듈 설계 개념으로 제작한다. EPM을 통해 호흡기와 심장혈관의 상태, 근골격 시스템, 호르몬과 체액의 이동과 같은 신진대사 기능, 신경과학 등의 생리학적인 연구를 할 수 있다. European Drawer Rack(EDR)은 7개까지 독립적으로 운용 가능한 하위 랙(Sub-rack) 탑재체를 설치할 수 있도록 설계한 랙이다. EDR은 44×25×56cm 크기의 Middeck Locker나 38×32×57cm 크기의 Standard Experiment Drawer(SED)를 선택적으로 설치할 수 있다. European Stowage Rack(ESR)은 SED나 Middeck Locker 내의 탑재체 장비와 샘플을 보관할 수 있도록 디자인 된 모듈형태의 랙이다. ESR 내에 보관되는 물품에는 전력, 데이터 전송, 열제어 등의 인터페이스가 제공되지 않는다. 그림 11에는 Columbus 모듈에 장착될 장비 중에 ISPR인 Biolab과 FSL의 외형을 나타내었다.



그림 11. ISPR인 Biolab(왼쪽) 및 FSL(오른쪽)

유럽 ESA의 경우는 PM을 활용한 연구 분야로 생명과학과 유체물리 분야에 연구의 초점을 맞추고 있으며, 이에 필요한 지원 장비도 ISPR로 개발하고 있다.

3.3 NASDA의 우주 실험

일본 NASDA에서 개발하는 JEM-PM에는 전체 23개의 랙을 설치할 수 있으며, 이 중에서 ISPR은 10개 이다. 10개의 ISPR은 미국 NASA와의 자원분배 협약에 따라 5개만을 NASDA가 사용하게 된다.

NASDA의 JEM-PM에서 사용하는 ISPR은 재료과학 분야에서 3개를 사용하고, 2개는 생명과학 분야의 랙으로 사용한다. 여기에 사용될 좀 더 작은 단위의 하위 랙으로써 많은 수의 다중사용자 연구장비가 개발되었다. 그림 12는 그 중 생명과학 분야에서 사용될 Clean Bench(CB)와 마랑고니(Marangoni) 대류, 기포생성과 같은 유체물리 분야의 실험 장비인 Fluid Physics Experiment Facility(FPEF) 장비를 보여준다. 또한 다음의 표 5에는 5개의 ISPR에서 사용할 실험 장비와 연구 분야에 대해서 정리하였다.

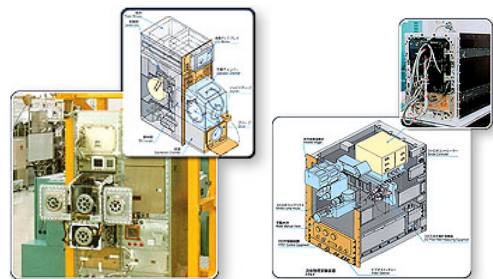


그림 12. CB(왼쪽)와 FPEF(오른쪽)

표 5. JEM-PM 장착 실험장비 및 연구 분야(일본)

장비	연구 분야
GHF	재료과학(결정성장과 같은 실험 수행)
AFEX	재료과학(미세중력에서 X-선 촬영을 통한 실험)
ELF	재료과학(정전기적 부양을 통한 재료처리 실험)
ITF	재료과학(등온상태에서 물질의 응결/확산 실험)
CBEF	생명과학(작은 동식물/세포 조직/미생물 등의 연구)
CB	생명과학(재료의 무균실험을 위한 작업공간 제공)
FPEF	유체물리(마랑고니 대류/기포형성/열전달 등 실험)
SPCF	생명과학(용액/단백질 결정성장 실험)
IPU	FPEF와 SPCF의 실험 영상/데이터 처리
MELFI	-68℃ 이하로 실험 샘플 저장 장치
AAEF	미세중력에서 해수와 담수의 생물체 실험 시설

위와 같이 일본 NASDA의 JEM-PM 내에서의 주요 연구 분야로는 재료과학 및 생명과학 분야가 대표적이다. 재료과학 분야에서는 새로운 재료의 창출을 위하여 부양기술을 이용한 새로운 재료의 실험, 정보기술 고도화에 기여하는 반도체 기반재료의 창출 및 반도체 결정의 제조 실험, 새로운 재료의 입자결정 실험(미세중력 환경에서 미립자의 패턴형성, 미립자에서 Nano 구조체 구성 입자 결정 실험 등), 재료의 물성 데이터 취득 및 데이터베이스 작성 등에 관한 실험을 계획하고 있다. 또한 생명과학 분야에서는 우주환경을 이용한 생명의 본질현상을 탐구하고 생명 및 바이오 기술에 대한 연구를 위하여 미세중력을 이용한 우주의학 연구 실험(예, 미세중력에서 간세포 배양을 통해 재생의료를 위한 장기의 재생원리 연구), 미세중력 환경에서 생체고분자(단백질, 핵산) 상호작용의 연구 실험, 미세중력을 이용한 고품질 단백질 결정 생성 등의 연구 실험을 계획하고 있다.

4. 결론

ISS의 PM은 지상과는 다른 미세중력 환경을 이용한 우주의 실험실 역할을 하는 곳이다. PM을 이용한 우주실험 분야는 크게 미세중력을 이용한 기초과학 실험, 생명과학 및 우주의학 실험, 응용 물리 연구를 통한 산업활용 실험(특히, 신재료 연구실험) 등으로 분류할 수 있다. 현재 ISS에 참여하고 있는 국가들의 동향을 보면 우주에서의 실험이라는 특수 환경을 고려하여 PM내 실험의 효율성을 강조 (ISPR과 같은 표준화된 장비의 이용)하고 있으며,

기초 연구를 통한 실험결과와 자국 산업으로의 응용을 우선시 하고 있다. 미국 NASA, 유럽 ESA, 일본 NASDA 등은 자국이 개발하는 PM 내에서 미세중력 환경을 이용한 재료과학, 생명과학, 의학 분야에 집중적인 실험 및 연구를 계획하고 있다. 러시아의 경우는 실험 내용이 잘 알려져 있지 않고 모듈 건설도 많이 늦어질 전망이다. 또한 향후 PM에서의 실험은 생명과학, 우주의학, 재료과학 등이 주류를 이룰 것으로 보이며, 이에 따라서 우리도 국제공동연구를 통하여 PM을 우주의 실험실로써 활용하기 위한 준비를 지금부터 ISS 참여 국가들의 연구 및 기술 동향에 맞추어 해야 한다고 본다.

그러나 이와 같은 계획과 준비에도 불구하고 PM 수송과 ISS에 필요한 물자 및 승무원 수송을 담당하는 우주왕복선 컬럼비아(Columbia) 호의 사고(2003년 2월 1일) 여파로 현재 미국의 ISS 건설은 사고원인의 규명과 대책마련 전까지 잠정적으로 중단된 상태이다. 컬럼비아호 등 미국 우주왕복선이 ISS 건설과 뿔 수 없는 관계인 것은 ISS 건설에 따른 각종 부품을 우주왕복선이 전담해 실어 나르기 때문이다. 태양전지판, 트러스(Truss), PM과 같은 부피가 큰 시설을 운반할 수 있는 능력은 우주왕복선만이 갖고 있다. 미국 이외에 러시아의 로켓 추진 소유즈(Soyuz) 우주선이 유인 우주비행을 할 수 있으나 승무원의 교체, 수송에만 사용가능해 작업공정에는 별 도움을 주지 못한다. 그나마 러시아 당국의 우주 프로그램 예산부족으로 1년에 2번 이상은 발사가 어렵다. 컬럼비아호 이외에 디스커버리(Discovery), 아틀란티스(Atlantis), 엔데버(Endeavor) 등 3대의 우주왕복선을 갖고 있는 미국 NASA는 이번 사고의 원인이 규명되고 대책이 마련될 때까지 우주왕복선을 발사하지 않기로 결정해 비행이 재개될 때까지는 시간이 걸릴 전망이다. 특히, 올해와 내년은 ISS 건설이 가장 집중적으로 이뤄질 시기로 10여 차례 왕복선 발사가 예정돼 있었기 때문에 타격이 더 크다. 이에 따라, 현재 ISS의 운용을 위한 승무원의 교체 및 보급품 전달은 러시아가 담당하고 있으며 비용증가와 일정지연에 따라 ISS 건설에 많은 어려움이 있는 상태이다. 현재, ISS는 러시아의 알렉산더 칼레리(Alexander Kaleri)와 미국의 마이클 포울(Michael Foale) 우주인에 의해 운영되고 있으며 러시아 우주선들이 우주왕

복선 비행 재개시까지 현재의 ISS 요원 및 물자를 수송할 예정이다. 결과적으로 ISS의 건설을 비롯한 PM의 설치는 우주왕복선의 재가동 시기(2004년 4월~8월 사이로 예상하지만 더 연기될 가능성도 있음)에 따라 다시 본격적으로 시작될 것이며, ISS 조립 완성시기도 2007~2008년으로 1~2년 연장될 것으로 예측된다. 그러므로 현재 건설된 Destiny를 제외하고 유럽연합, 일본, 러시아 등의 PM 건설과 이곳에서의 실험은 적어도 1~2년 연기될 전망이다.

현재 우리나라는 ISS와 관련된 가압모듈 제작 또는 활용에 관여하고 있지 못하지만, 현재 미국 NASA와 함께 준비하고 있는 ISS 프로그램 참여 계획(ISS의 승무원 주거와 관련된 시설 제작)이 순조롭게 진행된다면 이를 바탕으로 2010년 이후에는 외국과의 공동실험 등을 통해 가압모듈의 활용에 참여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 공동실험 대상 및 활용 모듈은 현재 협력 진행상황으로 볼 때 미국 NASA의 Destiny 실험모듈이나 일본의 JEM-PM이 좋을 것으로 판단되지만 더 좋은 아이디어와 가능성이 있다면 러시아나 유럽연합과의 협력도 고려하여 추진해야 한다. 그리고 우리는 ISS PM 활용을 위해 국제협력을 염두에 두고 기술개발 동향 및 연구방향을 파악하여 우리가 참여 가능한 분야에 대한 준비를 ISS 프로그램 참여와 함께 추진하여야 할 것이다.

참고문헌

1. NASA, ISS User's Guide, Washington D.C, NASA HQ, 2001, pp.27-35
2. ESA, ISS European Users Guide, Noordwijk, ESTEC, 2001, pp.23-43
3. International Space Station Payload Information Source, <http://stationpayloads.jsc.nasa.gov>
4. NASA-Space Research, <http://spacereasearch.nasa.gov>
5. ISS & JEM, http://jem3.tksc.nasda.go.jp/iss/index_e.html

약어 정리

NASA 및 ESA 실험장비

AHSTF: Advanced Human Support Technology Facility
 APCF: Advanced Protein Crystallization Facility
 BRF: Biotechnology Research Facility

EMCS: Experimental Modular Cultivation System
 FCF: Fluids and Combustion Facility
 GBF: Gravitational Biology Facility
 HRF: Human Research Facility
 MSG: Microgravity Sciences Glovebox
 MSRF: Materials Science Research Facility
 WORF: Window Observational Research Facility
 XCF: X-ray Crystallography Facility

NASDA 실험장비

AAEF: Aquatic Animal Experiment Facility
 AFEX: Advanced Furnace for microgravity Experiment with X-ray radiography
 CB: Clean Bench
 CBEF: Cell Biology Experiment Facility
 ELF: Electrostatic Levitation Furnace
 FPEF: Fluid Physics Experiment Facility
 GHF: Gradient Heating Furnace
 IPU: Image Processing Unit
 ITF: Isothermal Furnace
 MELFI: Minus Eighty-degree Laboratory Freezer for ISS
 SPCF: Solution/Protein Crystal Growth Facility