

국제우주정거장 범용 데이터인터페이스 시뮬레이터 설계 및 검증

김종우^{1†}, 서석배¹, 김경태²
¹한국항공우주연구원 위성운영센터
²한남대학교 정보통신학과

DESIGN AND REALIZATION OF UNIVERSAL DATA INTERFACE SIMULATOR FOR INTERNATIONAL SPACE STATION

Jong-Woo Kim^{1†}, Suk-bae Seo¹, Kyung-Tae Kim²

¹Satellite Mission Operation Department, Korea Aerospace Research Institute

²Department of Electronics & Information Communication Engineering, Hannam University

E-mail: jongwoo@kari.re.kr

(Received October 13, 2004; Accepted February 3, 2005)

요 약

현재 추진 중인 국제우주정거장 우주실험장비 개발에 대비하여 한국항공우주연구원에서는 우주 활용을 위한 데이터인터페이스를 조사/분석 하였고, 이를 국제우주정거장 (ISS; International Space Station)의 데이터인터페이스 시뮬레이터에 적용하여 설계 및 제작을 완료하였다. 본 논문에서는 우주활용을 위한 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터 개발의 설계/구현에 관한 내용을 설명한다. 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터는 실험장비, 탑재체, 주거 시설 등 국제우주정거장으로 데이터를 송수신하는 장치에 대한 모의 실험을 위한 장비로 범용적인 유인 우주 실험장비를 개발하는데 활용하기 장비이다. 또한 추후 탑재모듈 개발 시 GSE (Ground Station Equipment) 개발을 위한 초기연구로써의 의의도 있으며, 향후 개발될 우주실험 장비의 국제우주정거장과의 호환성 시험에도 활용 가능하다.

ABSTRACT

KARI studied data interface of Space Applications for developing Space Experimental Instrument in International Space Station, designed, and manufactured the UDIS (International Sapce Station Universal Data Interface simulator) according to requirements of the data interface. This paper explains the design and implementation of UDIS for space application. UDIS is the instrument which simulate to interface the data from ISS to experiment module, payload and habitation module and use the development of a experiment system in the space. This simulator will be used to the GSE (Ground Support Equipment) for test of experiment system. By realization of the simulator, we ensure data interface skills for a manned-space data communication system.

Keywords: international space station, data interface simulator

[†]corresponding author

1. 서 론

국제우주정거장은 지구상에서는 수행할 수 없는 과학적인 연구들을 수행하기 위해 건설되는 우주 실험실로써, 생태학, 화학, 물리학, 생리학, 의학 등의 분야에서 세계적인 연구들이 수행되고 있다. 현재 추진 중인 국제우주정거장에 참여하기 기초연구차원에서 우주실험장비와 국제우주정거장과의 요구사항 등을 분석한 후 실험장비 개발에 앞서 한국항공우주연구원에서는 유인 우주급 장비 개발 시 필요한 여러 가지 데이터인터페이스를 조사/분석하였고, 국제우주정거장과 탑재체 간의 명령과 데이터 송수신에 방식을 연구하였다. 국제우주정거장에서는 우주 실험 장비와의 인터페이스로 구조적인 면으로는 기계적인 면, 전기적인 면으로 나뉘고, 사용 측면에서는 우주 실험 랙과 관련 우주 실험용 장비, 우주왕복선과의 인터페이스 등으로 분류할 수 있다. 이 중에서 전기적인 면이면서 우주 실험용 랙, 관련 우주 실험장비와의 인터페이스 중에서 데이터 인터페이스만을 위한 시뮬레이터를 개발하는게 본 논문의 목적이다. 데이터 시뮬레이터 개발을 위해서는 데이터 링크, 데이터 포맷, 데이터 종류 등에 대한 연구는 참고문헌을 참조하고, 본 논문에서는 요구사항 분석에 의한 시뮬레이터 설계 및 구현, 시험, 검증에 대한 연구만을 기술한다.

국제우주정거장에서 요구하는 데이터 인터페이스 요구사항을 분석 후 시뮬레이터 하드웨어와 시뮬레이터의 기본적인 사항에 대한 개념설계를 하였다. 본 논문에서는 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터 개념설계를 바탕으로 각 모듈별 소프트웨어를 상세히 설계하고 구현된 시뮬레이터에서 실험을 통하여 설계결과를 검증하였다. 본 논문을 통해 개발된 시뮬레이터는 우리의 미개척분야인 유인급 우주 기술을 습득할 수 있는 계기를 마련했으며, 시뮬레이터 개발을 통해 국제우주정거장에 대한 데이터 처리 과정에 연구, 우주 실험장비에 요구되는 데이터 처리 과정, 하드웨어 등에 대한 연구가 이루어져 있으므로 국제우주정거장용 우주 실험장비 개발에 요구되는 기계적인 인터페이스 요구사항을 고려한 부분만 보완 된다면 현재 추진 중인 우주 실험 장비 개발의 필수적인 요구사항은 모두 만족하는 시뮬레이터로 개발 가능하며, 지상시험장비로의 활용도 기대할 수 있다.

2. 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터 설계 및 구현

국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터 하드웨어는 시뮬레이터 커널 모듈(UDIS:Universal Data Interface Simulator), 국제우주정거장 모듈, 탑재체 모듈로 구성된다. 탑재체 모듈은 1553B를 통해 저속으로 원격측정데이터, 원격명령데이터를 국제우주정거장 모듈에 송수신하며, 탑재체 모듈의 과학데이터는 FDDI를 통해 고속으로 국제우주정거장 모듈로 전송된다(Suffredini 1999a,b). 그리고 탑재체내의 데이터 포맷은 탑재체 고유의 포맷으로 전송되지만 국제우주정거장과의 전송을 위해서는 CCSDS 포맷으로 변환하여 전송되어야 한다. 그림 1은 설계된 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터의 데이터 포맷과 통신방식에 대한 설명을 도식화 하였으며, 표 1은 각 모듈별 기능을 요약하였다.

2.1 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터 하드웨어 설계

그림 1과 같은 데이터 인터페이스 시뮬레이터를 구현하려면 3대 이상의 PC와 통신카드가 요구된다. 본 시뮬레이터의 설계, 구현의 목적은 그림 1에서 시뮬레이터 커널과 데이터 처리 과정을 검증하기 위해서 부수적으로 요구되는 국제우주정거장 모듈, 탑재체 모듈이 필요하다. 따라서 본 논문에

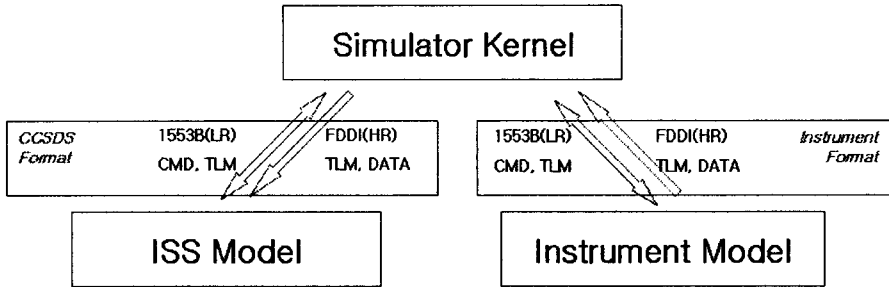


그림 1. 국제우주정거장 데이터인터페이스 모델.

표 1. 국제우주정거장의 모듈별 구성 및 기능.

모듈	기능
시뮬레이터 커널 (UDIS)	<ul style="list-style-type: none"> · Command/Telemetry 처리 · 1553B 제어 · FDDI 제어 · Simulator 제어 & 조정: 초기화, 수행, 정지 및 일시정지 명령 수행 결과 · Command/Telemetry 데이터의 저장 및 유지관리
탑재체	<ul style="list-style-type: none"> · 시뮬레이션 데이터 디스플레이 & 분석 · 전력, 열 제어 상태 처리 모델링: CMD/TLM 데이터 수집 모델링 · 1553B 원격 접속 · FDDI 원격 접속
국제 우주정거장	<ul style="list-style-type: none"> · 고속데이터인터페이스모듈 <ul style="list-style-type: none"> - FDDI 접속 - Instrument 데이터 수신 & 저장 - 저장 데이터 디스플레이 · 저속데이터인터페이스모듈 <ul style="list-style-type: none"> - 1553B 버스제어 접속 - Command/Telemetry 디스플레이 - Command/Telemetry 생성 & 전송

서 핵심인 시뮬레이터 커널은 독립적인 PC 시스템으로 구현하고 나머지는 시뮬레이션 모듈(국제우주정거장, 탑재체)은 별도의 PC에 소프트웨어적으로 구현하여 시뮬레이터의 기능을 실험하고 검증한다. 그림 2a는 2개의 탑재체 모델의 경우 전체 시스템의 구성으로 4대의 PC와 4조의 통신카드가 필요하고, 그림 2b는 시뮬레이터 커널모듈을 제외한 나머지 모듈은 한 대의 하드웨어에 소프트웨어적으로 구현한 것으로 2대의 PC와 1조의 데이터통신카드로 4개의 PC로 구성된 시스템과 같은 효과를 얻을 수 있게 본 논문에서는 제안하고 구현한다.

2.2 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터 소프트웨어 설계

국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터의 개념설계에서 전체적인 구성, 각 모듈의 기본 동작, 패킷방식, 통신방식 등이 정의되었다. 소프트웨어 설계에서는 CMD(Command, 원격명령)와

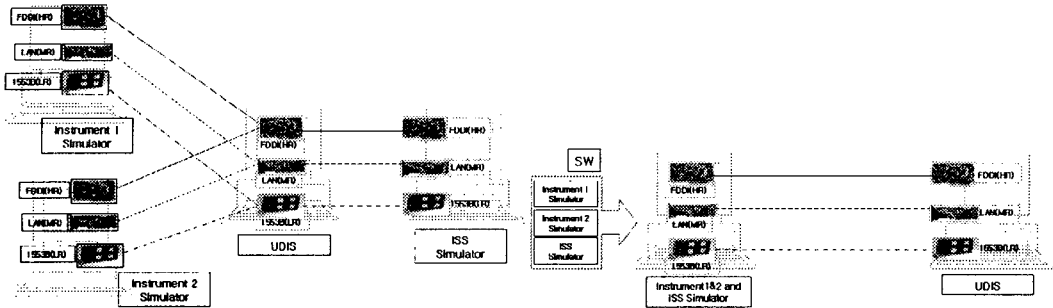


그림 2. 시뮬레이터 하드웨어 구성.

표 2. 국제우주정거장 모듈 구성.

구분	기능
Date & Time	국제우주정거장 시뮬레이터의 날짜 및 시간
COM Status	1553B, FDDI 통신 상태 (Active/Idle)
CMD Send	국제우주정거장에서 보낼 명령들
Power to Instrument	탑재체로 공급하는 전원
Message	국제우주정거장에서 일어나는 이벤트에 관한 로그
Base Directory for Buffer	국제우주정거장의 버퍼가 위치하는 기본적인 디렉터리

TLM(Telemetry, 원격측정) 전송, CMD/TLM 처리 등 국제우주정거장 데이터인터페이스 시뮬레이터의 동작을 위한 세부사항을 운영 개념이나 요구사항에 따라 설계하고 구현하였다(김종우 등 2003a,b).

2.2.1 모듈별 상세설계

2.2.1.1 국제우주정거장 모듈

국제우주정거장 모듈은 시뮬레이터 커널을 통하여 탑재체 모듈로 CMD를 전송하고, TLM와DATA를 시뮬레이터 커널을 통하여 수신, 처리, 저장하는 기능을 가진다. 상세한 구성과 설명은 표 2와 같다.

2.2.1.2 시뮬레이터 커널 모듈(UDIS)

시뮬레이터 커널은 국제우주정거장에서부터 수신된 명령을 해당 탑재체로 전달하고, 각 탑재체가 전송하는 TLM 및 데이터를 저장 및 전송하는 기능, 통신카드 상태분석, 데이터 포맷 변환 기능, 전체 시뮬레이터 통제 기능을 가진다. 상세한 구성과 설명은 표 3과 같다.

2.2.1.3 탑재체(Instrument) 모듈

탑재체는 우주 실험의 특정데이터를 수집하는 기능을 가지며, 탑재체 동작을 위한 명령은 국제우주정거장에서 시뮬레이터 커널을 통하여 전달되며 현재 상태를 TLM로 시뮬레이터 커널/국제우주정거장으로 전송하는 기능을 포함한다. 상세한 구성과 설명은 표 4와 같다.

표 3. 시뮬레이터 커널 모듈 구성 및 기능.

구분	기능
Date & Time	UDIS의 날짜 및 시간
Operation Mode	UDIS의 운영모드(Normal/Survival)
Power from ISS	국제우주정거장으로부터 오는 전원의 크기
Heater Status	내부에 설치된 2개 히터의 상태(On/Off)
Temperature	국제우주정거장 외부 온도(°C)
Comm. Staus	1553B, FDDI 통신 상태(Active/Idle)
CMDs from ISS	국제우주정거장으로부터 받은 명령에 관 로그
L CMDs to Instrument	탑재체로 보낸 명령에 관한 로그
o TLMs to ISS	국제우주정거장으로 보낸 TLM에 관한 로그
g TLMs from Instrument	탑재체로부터 받은 TLM에 관한 로그
s Data to ISS	국제 우주정거장으로 보낸 데이터에 대한 로그
Data from Instrument	탑재체로부터 받은 데이터에 대한 로그
Total Status Viewer	UDIS에서 보내는 명령과 탑재체로부터 오는 명령과 데이터의 상태를 보여주는 GUI
Received Data	탑재체로부터 받은 데이터 디스플레이
Base Directory for Buffer	UDIS의 버퍼가 위치하는 기본적인 디렉터리

표 4. 탑재체 모듈 구성 및 기능.

구분	기능
Date & Time	국제우주정거장 시뮬레이터의 날짜 및 시간
Temperature	탑재체의 측정온도(°C)
COM Status	1553B, FDDI 통신 상태(Active/Idle)
Power status	탑재체, 히터의 전원공급 상태(On/Off)
Latest CMD	국제우주정거장으로부터 수신한 최근 명령의 로그
Message	국제우주정거장에서 일어나는 이벤트에 관한 로그
Base Directory for Buffer	탑재체 CMD의 버퍼가 위치하는 기본적인 디렉터리

2.2.2 모듈별간 CMD, TLM, 데이터 전송 흐름

그림 3은 시뮬레이터 구성 모듈의 인터페이스 개념을 나타낸 것으로 각각의 모듈은 필요에 따라 버퍼(CMD, TLM, 과학데이터)를 가지고 있다. 국제우주정거장 모듈에서 탑재체 모듈로 명령을 출 때는 탑재체 모듈의 CMD 버퍼에 명령 데이터를 보내고, (모든 모듈은 아주 짧은 주기로 버퍼를 감시 하고 있다가) 탑재체 모듈에서는 CMD가 버퍼에 들어오는 즉시 처리하는 방식이다. TLM나 데이터 도 마찬가지로 방식으로 구현되지만, CMD와 TLM은 1553B(저속, 1Mbps)로 데이터는 FDDI 방식(고속, 100Mbps)으로 통신이 이루어지는 차이만 갖는다. 각 버퍼의 기능과 필요 모듈을 표 5에 정리하였다. 각 모듈사이에서 시뮬레이터 커널은 그림 1과 같이 CCSDS 또는 탑재체 포맷으로 변환하는 기능을 가진다.

본 시뮬레이터에 사용된 CMD, TLM, DATA 처리는 1553B, ethernet, FDDI 통신방식에 관계없이 시뮬레이터의 고유기능에 대한 모듈은 처리 가능하게 설계되고 구현되었다.

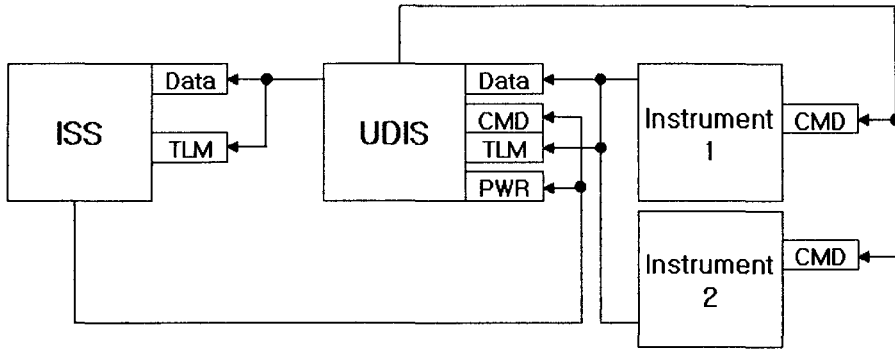


그림 3. 시뮬레이터 구성 모듈의 인터페이스 개념도.

표 5. 각 모듈별 버퍼 및 기능.

Buffer	Instruction	Application		
		ISS	UDIS	Inst.
CMD	수행할 명령어를 전송하는 버퍼로, 국제우주정거장 모듈은 명령 전송만 하므로 가지고 있지 않다.		✓	✓
TLM	TLM을 전송하는 버퍼로, 탑재체 모듈은 가지고 있지 않다.	✓	✓	
DATA	Data를 전송하는 버퍼로, 생성된 데이터를 시뮬레이터 커널로 전송하므로 탑재체에는 없다.	✓	✓	

2.2.3 환경변화 모델링

본 논문에서는 탑재체가 국제우주정거장 외부에 설치되는 것을 가정하여 구현하였다. 따라서 국제우주정거장의 궤도에 따라 온도 변화, 방사선 노출변화, 자세변화 등이 탑재체에 영향을 줄 것이다. 본 시뮬레이터는 이런 변화 중에서 궤도변화에 의한 외부 온도 변화만을 고려하고 그에 따른 탑재체 내의 히터의 동작, 전력분배 등을 모델링 하였다. 탑재체의 동작을 위해서 우주외부 온도는 9분을 주기로 우주환경을 고려하여 시뮬레이션 하였으며, 우주 온도 변화에서 최고 값, 최저 값, 주기, 변화량을 설정할 수 있다. 탑재체 동작 전원은 국제우주정거장에서부터 공급되므로 자체전원에 대한 전원모델은 고려할 필요가 없으며, 국제우주정거장과 탑재체의 전력분배 요구사항에 따라 비상운영 모드로의 변경 가능만을 고려하였다. 정상시는 110V의 전원이 공급되고 국제우주정거장 전원의 정상적인 공급이 아니라고 판단하기 위하여 50V로 전원을 낮추어 공급하여 저전력 공급여부를 모니터링하여 필요한 조치를 자동으로 수행하도록 설계하였다. 국제우주정거장에서부터 정상전압이 공급되지 않으면 탑재체는 전원공급을 체크하여 자동으로 비상 모드로 전환되고 비상모드의 조치 사항을 처리하게 된다. 각각의 탑재체 모듈에 국제우주정거장에서 비상모드 CMD를 전송하여 탑재체가 비상모드로 전환 가능한 기능도 설계하였다.

2.3 소프트웨어 구현

본 시뮬레이터의 국제우주정거장 모듈, 시뮬레이터 커널, 탑재체 모듈에 대한 설계를 소프트웨어로 구현하기 위해서 각 클래스와 클래스 간의 상관관계를 정의하였다. 정의된 클래스와 상관관계는

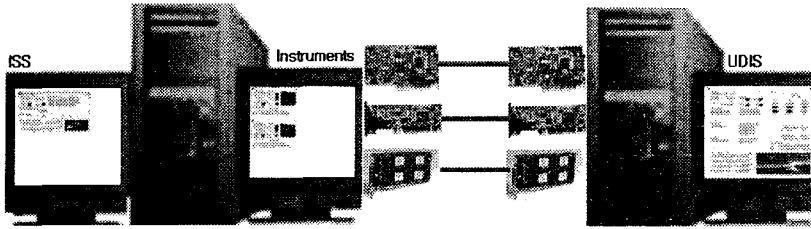


그림 6. 두 대의 PC에서 시스템 구현.

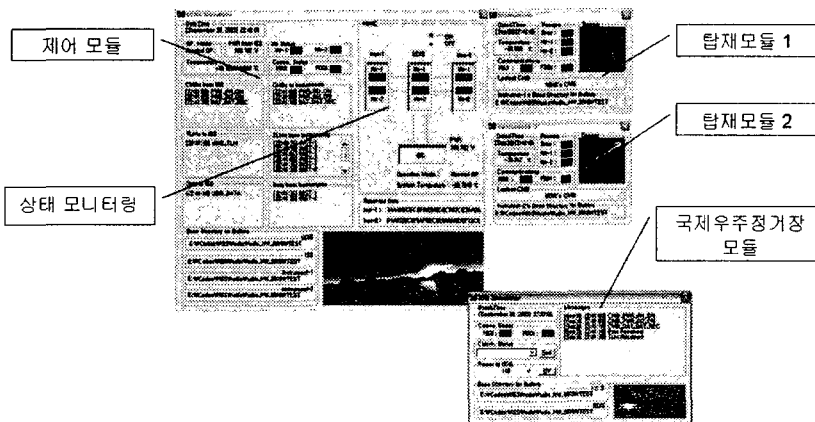


그림 7. 시뮬레이터 사용자 인터페이스.

향으로 나타내었다(서석배 등 2003a).

3. 시험 및 검증

그림 6은 그림 1에서 설명한 시뮬레이터의 실제 구현 결과 그림이며, 그림 7은 시뮬레이터의 처리 결과를 모니터링 하기 위한 사용자 인터페이스를 나타낸다. 그림 6에서 좌측 PC에 국제우주정거장 모듈과 탑재체 모듈이 구현되어 있으며, 우측 PC에 시뮬레이터 커널 모듈이 구현되었다. 두 대의 PC는 1553B, LAN, FDDI 통신카드를 통하여 통신된다. 개발된 시뮬레이터를 검증하기 위해서는 크게 데이터 포맷 생성, 변환 및 전송, 국제우주정거장과 탑재체를 모델링하여 동작할 때 CMD, TLM, DATA 생성, 전송되는 데이터 베이스 검증으로 나눌 수 있다.

데이터 생성, 변환 및 전송에 대한 검증은 그림 5와 같은 과정을 수행하는지를 데이터 포맷의 비트변환을 통하여 검증하였으며, 그에 대한 검증 결과의 예는 그림 8과 같다. 그림 8은 CCSD CMD가 생성되는 과정을 검증하기 위한 그림으로 보내고자 하는 CMD를 입력하면 CCSDS 포맷 변환을 하여 CCSDS 포맷으로 CMD가 생성되는 과정을 비트별로 비교하여 CCSDS 포맷으로 생성되었는지를 검증하였다. 이런 과정은 데이터 베이스에 저장된 모든 CMD, TLM를 검증하였으며, 시플레이

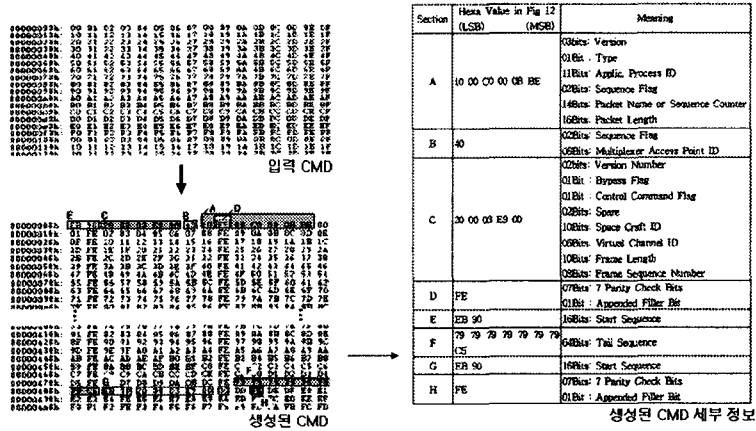


그림 8. CCSDS CMD생성 및 비트별 검증 결과.

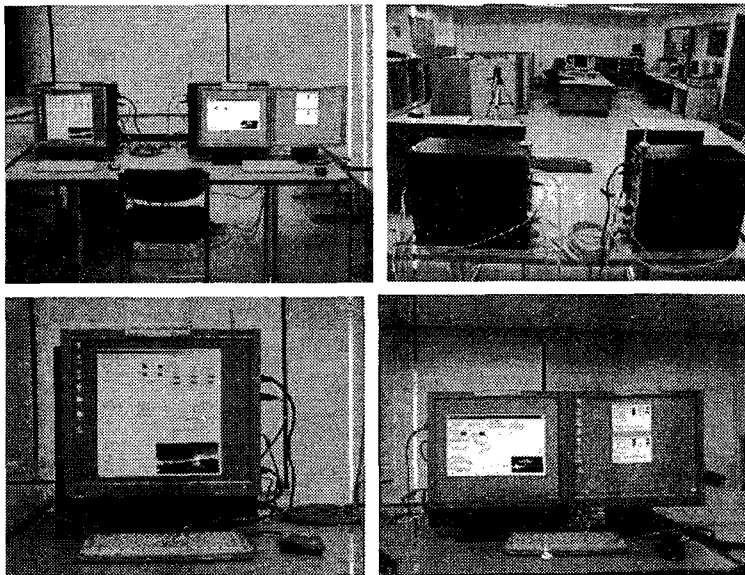


그림 9. 완성된 시뮬레이터.

터 커널에서는 수신된 CMD가 탑재체 포맷으로 변환되어 수행하는지를 그림 8과 같은 과정을 통하여 검증하였다. 그리고 통합적인 데이터베이스 검증을 위해서는 그림 7의 국제우주정거장모듈에서 CMD를 보내면 처리결과에 따라 해당 탑재체모듈의 TLM를 통하여 CMD와 TLM의 처리를 검증할 수 있었다(서석배 등 2003b). 그리고 표 5의 각 모듈 버퍼의 기능을 통하여 데이터 처리 흐름을 검증할 수 있도록 사용자 인터페이스에 나타내고 있다.

탑재체 운영 개념에 따라 탑재체에 저전력공급 체크시에 자동적인 비상모드로의 변화에 대한 결

과도 국제우주정거장에서의 저전력 공급과 비상모드변환 CMD를 통하여 탑재체 모듈의 변환을 검증하였다. 본 시뮬레이터는 데이터 인터페이스요구사항과 일부 운영개념에 따라 만족스런 시뮬레이션이 가능한 것을 데이터 실험, 사용자 인터페이스를 통하여 검증하였다. 그림 9는 완성된 시뮬레이터 사진이다. PC(모듈)간의 통신 인터페이스, 사용자 인터페이스는 위에서 기술한 인터페이스 요구사항에 따라 구현된 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 우주활용을 위한 데이터 인터페이스 시뮬레이터 개발의 설계 및 구현, 시뮬레이터 검증 결과에 관해 기술하였다. 데이터 인터페이스는 우주실험 장비의 데이터를 수집하고 장비의 동작을 위한 명령을 처리하고 장비 상태를 알려주는 원격측정 데이터를 국제우주정거장과 우주 실험 장비를 이어주는 교량 역할을 한다. 데이터 인터페이스 시뮬레이터 개발을 통해서 국제우주정거장 우주실험 장비 개발에 필수 요구사항인 데이터 처리에 관한 연구를 하였으며, 요구사항에 따른 데이터 인터페이스를 실제적인 하드웨어 구현에 앞서 국제우주정거장 데이터 흐름, 실제 운영 개념에 대한 연구를 위하여 시뮬레이터를 통해 구현하고, 데이터 생성, 변환 등의 실험을 통해 검증하였다. 본 시뮬레이터 개발을 통해 유인급 우주 실험장비의 개발에 필요한 장비와의 인터페이스 요구사항에 대한 데이터 포맷, 변환, 전송, 수신처리 등의 기초적인 연구가 되었다고 할 수 있으며, 이런 기술의 확보로 우주실험장비의 설계에 반영하여 장비 개발에 필요한 요소로 활용할 수 있다. 그리고, 국제우주정거장에서 요구하는 사용하는 케이블, 데이터베이스에 대한 요구사항을 반영하여 본 시뮬레이터를 수정, 보완하면 우주실험장비의 호환성 시험, 저장되는 CMD, TLM 데이터베이스 시험 등의 지상시험지원장비(GSE: Ground Support Equipment)로 활용한다면 유용한 활용이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- 김종우, 서석배, 이주희, 임현수, 최기혁, 최해진 2003a, 한국우주과학회보, 12(1), 22
 김종우, 서석배, 이주희, 임현수, 최기혁, 최해진 2003b, 한국우주과학회보, 12(2), 65
 서석배, 김종우, 이주희, 임현수, 최기혁, 최해진 2003a, 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 26, 282
 서석배, 김종우, 최해진 2003b, 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, 26, 374
 Suffredini, M., Cook, G., & Saiidi, M. 1999a, Attached Payload Accommodation Handbook: International Space Station Program (Houston: NASA Johnson Space Center), Chap.4
 Suffredini, M., Cook, G., & Saiidi, M. 1999b, Attached Payload Interface Requirement Document: International Space Station Program (Houston: NASA Johnson Space Center), Chap.3