

## 통합지향형 임무운용시스템 분석 및 설계

정옥철\*, 김해동\*\*, 최수진\*\*\*, 정대원\*\*\*\*

### Analysis and Design of the Generic Mission Operations System

Ok-Chul Jung\*, Hae-Dong Kim\*\*, Su-Jin Choi\*\*\*, Dae-Won Chung\*\*\*\*

#### Abstract

This paper represents the analysis and design of the generic mission operations system for next generation satellite mission. In the past, mission operations systems were developed by their own mission requirements respectively. However, these systems have the similar architecture and common functions. Mission operations systems, in general, consist of mission independent module and mission specific module. In this paper, the generic framework for the mission scheduling and automation are introduced and analyzed. Using these generic frameworks, the risk and cost for operations system development can be reduced significantly. And, these frameworks might be used for the core technology in the development of mission operations system in the future.

#### 초 록

본 논문에서는 단일 임무운용 개념에서 벗어나 향후 다수의 위성들을 동시에 직접 제어하거나, 임무가 상이하더라도 주요 핵심시스템을 근간으로 각 위성마다 소요되는 임무운용시스템을 개발함에 있어 개발기간을 획기적으로 줄일 수 있는 차세대 통합형 임무운용시스템 개발을 위한 분석 및 설계결과를 기술하였다. 이를 위해 우주개발선진국들의 통합지향형 임무운용시스템 개발 추세 및 개발 동향을 살펴보고, 각 시스템들의 주요 기능을 수행하는 공통 핵심시스템의 구조도 분석하였으며 설계 결과를 제시하였다.

키워드 : 임무 운용 (Mission Operations), 임무 계획 (Mission Planning), 자동화 (Automation)

#### 1. 서 론

우리나라는 지난 1999년 12월 최초의 다목적 실용위성인 아리랑 1호를 발사하여 약 8년간 성공적으로 임무운용을 완수하였고, 2006년 7월 아리랑 2호 운용을 시작으로 2010년에는 아리랑 5

호를, 2011년에는 아리랑 3호를 운용할 예정이다. 다목적실용위성 시리즈에 대한 관제를 위해 개발된 임무운용시스템들은 그간 각 위성의 임무 특성에 맞추어 단일 임무운용시스템 개념으로 설계되었고 개발 중에 있다.

우주개발 선진국에서는 점점 복잡해지고 다양

접수일(2008년12월17일), 수정일(1차 : 2009년 9월 10일, 2차 : 2009년 9월 25일, 게재 확정일 : 2009년 11월 1일)

\* 위성관제팀/ocjung@kari.re.kr

\*\* 우주과학팀/haedkim@kari.re.kr

\*\*\* 위성관제팀/jin5864@kari.kr

\*\*\*\* 위성관제팀/dwchung@kari.re.kr

해지는 임무들에 대한 운용비용 및 위험도를 줄이고자 관제시스템의 많은 부분들을 자동화 시키고, 지능화시킴으로써 운용자의 숙련도에 의지하는 정도를 줄이고자 하는 추세이다. 특히, 많이 적용되어지고 있는 자동화는 일상적인 임무운용의 내용이 대부분 반복적으로 이루어진다는 점에서 그 적용 범위가 점점 늘어나고 있는 추세이다. 참고문헌 [1]에서는 NASA GSFC 수행하고 있는 임무들 중 자동화 적용 사례 및 향후 자동화 계획들을 정리하고 있는데, 일상적인 위성상태 감시, 위성교신 스케줄 생성, 그리고 명령전송을 자동화 하는 다수의 사례들을 보여주고 있다. 참고문헌 [2, 3]은 각각 SMART-1 위성과 AGILE 위성의 지상국 임무계획시스템에 대한 자동화 적용 개발 계획을 기술하고 있다. 참고문헌 [4]는 아리랑 1호의 임무계획 결과를 명령계획표로 자동 생성시킨 사례를 보여준다. 관제시스템의 구성 중 특히 비행역학 시스템의 경우에는 임무운용 위험도를 고려할 때, 일정 수준 이상의 관련 경험 혹은 지식을 가진 숙련된 운용자가 담당해야만 하는데, 이는 곧 그만큼 타 시스템에 비해 인력비용 측면에서 보다 많은 비용이 소요됨을 의미한다. 따라서 비용을 줄이면서도 동시에 효율적인 관제시스템을 개발하는 추세 속에서 가장 강조가 되는 부분이 비행역학 시스템의 자동화이다. INTEGRAL 위성 및 IRS 위성에 대한 궤도 및 자세결정 시스템의 자동화 [5,6] 사례는 저궤도 위성에 대한 적용이며, 정지궤도 위성 또한 궤도결정 및 궤도제어 시스템을 자동화하여 운영하고 있다[7].

본 논문에서는 단일 임무운용 개념에서 벗어나 향후 다수의 위성들을 동시에 직접 제어하거나, 임무가 상이하더라도 주요 핵심시스템을 근간으로 각 위성마다 소요되는 임무운용시스템을 개발함에 있어 개발기간을 획기적으로 줄일 수 있는 ‘차세대 통합형 임무운용시스템’ 개발을 위한 분석 및 설계결과를 기술하였다. 이를 위해 우주개발선진국들의 통합지향형 임무운용시스템 개발 추세 및 개발 동향을 살펴보고, 각 시스템들의 주요 기능을 수행하는 공통 핵심시스템의 구조도 분석하였다.

## 2. 통합 지향형 임무운용시스템

통합지향형 임무운용시스템이란 공통의 핵심 기능들을 공유하고 각 위성 임무에 따라 요구되는 부가적인 기능들을 접목(Add-on) 방식 또는 모듈 (Module) 방식으로 적용함으로써 서로 다른 임무특성을 가지는 다수의 위성들을 동시에 운용하거나 개발비용을 줄일 수 있는 가변구조 (Flexibility)를 가진 시스템을 의미한다. 우선 임무운용시스템은 그림 1과 같이 위성체와 탑재체를 운용하는 관제시스템과 데이터를 수신, 저장, 및 처리하는 수신처리시스템으로 크게 나눌 수 있다.

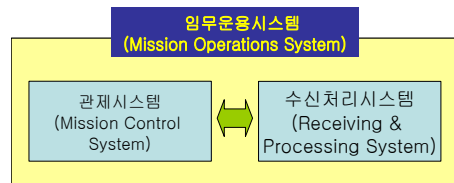


그림 1. 위성 임무운용시스템

단일 임무운용을 목표로 개발되는 기존 임무운용시스템의 관제시스템은 운용하고자 하는 위성의 종류 및 개수에 비례하여 증가되므로 복잡하고, 각각에 대한 개발기간 및 개발비용이 필요한 반면, 통합지향형 임무운용시스템의 관제시스템의 경우 위성 임무특성에 따라 요구되는 기능들만 개발 또는 수정, 적용함으로써 개발기간 및 개발비용 감소 뿐 만 아니라 임무운용 효율성 및 안정성을 높일 수 있다. 예를 들어, 단일 임무 중심형 관제시스템의 경우 각 위성 마다 서로 다른 관제시스템을 개발하게 되지만, 통합 임무지향형 관제시스템의 경우 그림 2에서 보는 바와 같이 위성(S/C #1,2,3)에 따라 요구되는 임무계획시스템의 기능이 상이한 부분에 대해서만 부분 수정 혹은 모듈 적용을 통해 기존 임무계획시스템의 핵심 기능을 그대로 이용할 수 있다. 특히, 비행역학시스템의 경우 위성의 종류 및 임무특성이 다르더라도 공유할 수 있는 기능들이 많으므로 위성 1(S/C #1)과 위성2(S/C #2)의 경우 기존

비행역학시스템을 그대로 공동 이용하며, 위성 3(S/C #3)에 대해서만 필요한 기능을 추가하고 나머지 기능들은 기존 비행역학시스템을 이용할 수 있으므로 개발기간 및 개발비용을 크게 감소시킬 수 있다. 이러한 시스템의 가장 큰 특성은 '다중(Multi), 복합(Complex) 임무운용'이 가능하다는 것이다.

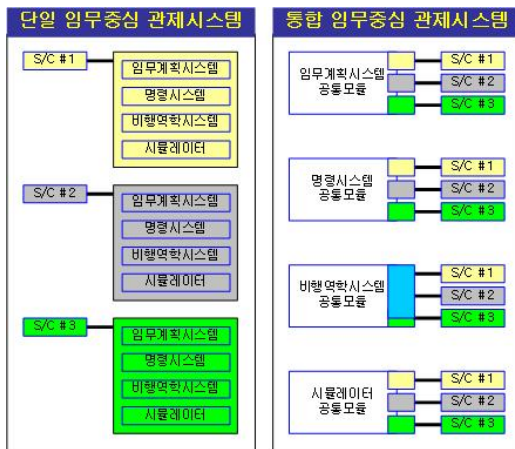


그림 2. 단일형 및 통합형 임무운용시스템 구성

다수의 인공위성의 임무운용이 필요함에 따라 이를 통합적으로 운용 및 관리 할 수 있는 시스템이 필요하다. 위성마다 용도는 다를 수 있지만, 기본적인 운용 절차는 상당부분 유사할 수 있고, 다수의 인공위성을 수행 임무에 따라 분류하여 관리할 수 있다. 만약 이러한 관제 시스템을 각각의 위성에 적합하도록 개발하려고 한다면, 위성 개수에 해당하는 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어 자원이 필요하며 각각에 대한 운용 및 관리가 요구된다고 할 수 있다. 이는 곧 개발 및 운용에 소요되는 비용을 증가시키므로 차세대 임무운용시스템의 개발 방향으로 채택하기에는 한계가 있다. 하지만 위성운용에 필요한 공통적인 부분을 도출하여 하나의 프레임워크로 구성한다면 임무와는 독립적인 사항은 재활용하고, 임무에 따라 달라지는 부분만을 별도로 개발함으로써 통합화 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 그림 3과 같이 통합지향형 임무운용 핵심시스템을 임

무계획시스템 및 자동화시스템으로 정의하여 분석 및 설계를 수행하였다.



그림 3. 통합지향형 임무운용 핵심시스템

### 3. 시스템 분석 및 해외 사례

#### 3.1 SCOS-2000

위성에 원격명령을 전송하고 원격측정데이터를 수신하는 운영 시스템은 위성-지상국 간의 인터페이스 정의에 따라 달라지지만, 대부분의 기본 기능은 유사하다. 본 논문에서는 SCOS-2000을 이용한 다중위성 관제 개념을 분석하였다.

SCOS-2000은 유럽우주청(ESA)의 통합 임무운용시스템이다. 초기에는 유럽우주청의 위성운영 임무를 지원하기 위해 개발되었지만, 현재는 단독적인 소프트웨어로 발전되었고, 우주관련 연구분야와 우주기술에 라이선스가 부여된 바 있다. SCOS-2000은 지난 30년 동안 유럽우주운영센터(ESOC)에서 축적된 위성 관제 기술을 기반으로 만들어 졌다. SCOS-2000은 다음과 같은 기능을 제공한다[8].

- 시스템 프로세스 모니터링 및 제어 기능
- 시스템 정적/동적 설정 관리 기능
- 사용자 및 이벤트 관리 기능
- 이중화 관리 기능
- 파일 및 데이터베이스 관리 기능

- 텔레메트리 수신 및 처리 기능
- 텔레메트리 모니터링 및 가시화 기능
- 원격명령 모델링, 수정, 검증 및 인코딩
- 원격명령 생성 및 검증 기능
- 위성 탑재 소프트웨어 이미지 관리 기능

SCOS-2000은 계층구조 모델을 기반으로 구성되어있다. 상위 계층은 어플리케이션 코드를 포함하고 있는 반면, 하위 계층은 기본적인 기능과 Generic 메커니즘을 포함하고 있다. 그리고 중간 계층은 모니터링 및 원격명령 모델들을 정의하고 있다. 그림 4는 SCOS-2000의 다중위성 지원을 위한 아키텍처 구성 예를 보여주고 있다.

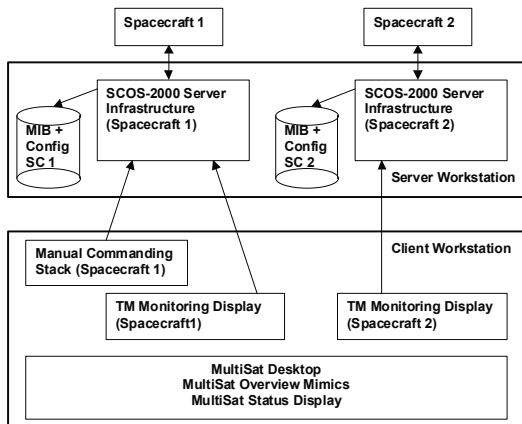


그림 4. SCOS-2000 Mutsat Architecture

SCOS-2000은 위성이 새로 개발되더라도 임무 운영시스템을 별도로 개발하는 것이 아니라 기본 프레임워크에 모듈을 추가하는 형태로 구현 가능하므로 개발 비용 및 위험도 측면에서 매우 유리하다.

### 3.2 STK Scheduler

임무계획시스템은 위성에서 수행할 일련의 임무를 지상국에서 계획하는 소프트웨어로 사용자로부터 접수된 요청과 현재 위성의 궤도 및 상태 등을 고려하여 상호 충돌 없는 최적의 임무를 수립하는 시스템이다. 현재까지 이러한 임무계획시

스템은 각각의 위성의 임무특성에 맞추어 개발되어 운용되는 것이 일반적이나 최근 들어서는 여러 기의 위성을 동시에 지원할 수 있는 통합형 임무계획시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한, 일부 우주선진국에서는 통합형 임무계획시스템을 개발하여 실제 운용하고 있다. 본 논문에서는 범용으로 사용 가능한 임무계획 상용 툴인 STK(Satellite Tool Kit) Scheduler의 기능을 살펴보았다[9]. STK Scheduler에서는 리소스(Resource) 및 태스크(Task)를 사용자가 여러 파라미터를 통해 정의할 수 있으며, 다양한 스케줄링 알고리즘을 선택적으로 적용 가능하다. 또한, 간트(Gantt) 차트나 STK Viewer를 연동하여 시간에 따른 위성의 임무를 쉽게 파악할 수 있다. STK Scheduler에서 제공되는 기능은 다음과 같다.

- 최적화 스케줄 솔루션 제공
- 다중 스케줄링 알고리즘 제공
- 리소스 및 태스크 정의 기능 제공
- 제한조건 정의 및 점검
- 자동화 및 통합화 지원
- 단일 또는 복수의 위성에 모두 적용 가능함
- STK와 연계하여 2D/3D 디스플레이 제공

즉, 이 시스템은 단일 모듈로 구성되며 특정 위성에 국한되어 특성화되기 보다는 일반적인 위성의 임무스케줄에 필요한 기능들을 통합적으로 관리하고 운용할 수 있도록 설계하였으며, 태스크 및 리소스 관계를 보다 일반화시켜 다중임무에 적용할 수 있도록 고려하고 있다.

## 4. 시스템 설계

### 4.1 차세대 임무계획시스템 설계

본 연구에서 수행한 우주개발 선진국의 사례 조사와 함께 현재 운영 중인 다목적실용위성 1, 2호의 임무분석 및 계획시스템(MAPS, Mission Analysis and Planning System)의 분석을 통하여 차세대 임무계획시스템의 설계를 실시하였다. 설계의 기본방향은 우주개발 선진국의 모델을 많이

참고를 하되 지금까지 개발하고 운영해온 다목적 실용위성 관제시스템의 검증된 기능은 최대한 활용하는 것이다. 통합형 임무계획시스템의 가장 큰 특징은 임무계획에 필요한 핵심 모듈과 대부분의 기능 및 데이터를 중앙에 배치함으로써 서로 다른 위성에 대하여 이 기능들을 조합하고 신규 기능을 추가하여 각각의 위성에 적합한 환경을 만드는 것이다.

통합형 임무계획시스템은 서로 다른 임무 특성을 가지더라도 임무계획을 수행함에 있어 기본적으로 필요한 기능들과 위성임무에 따라 추가되거나 수정이 필요한 기능들을 쉽게 접목할 수 있는 외부 인터페이스로 구성된다. 임무계획시스템은 태스크, 리소스, 제한조건 등을 정의할 수 있어야 하며, 각 태스크들을 충돌 없이 스케줄링하는 기능이 필요하다. 여기서 리소스는 위성운영에 관련한 위성, 관제소, 지상안테나, 네트워크 등을 나타내며, 리소스 가용도(Availability) 및 제한조건은 임무계획 결과에 직접적으로 연관되는 요소이다. 임무계획이 완료되면 결과를 확인하고 검증하기 위해 태스크, 리소스 등을 살펴볼 수 있는 차트 기능이 필요하다. 통합형 임무계획시스템에 필수기능은 다음과 같다.

- 패스계획: 다중위성 임무계획을 위하여 다중위성 임무 월간, 주간, 일간 계획, 그리고 위성 패스에 따라 임무를 설정
- 스케줄링: 그래픽 디스플레이를 통한 임무배치가 가능하고, 위성별 또는 임무별 제한조건 및 연계조건을 사용자가 정의
- 임무계획: 스케줄링의 충돌을 검출하고 위성별 또는 임무별 계획을 조정 가능하며, 임무계획 시뮬레이션을 수행하여 검증
- 통합명령처리: 임무계획요청과일을 통합하여 일반화된 임무계획과일로 변환하고, 위성운영시스템에 전송할 수 있는 통합 명령으로 변환 및 검증, 충돌 검출
- 외부계산 프로그램 연동: 각 위성임무 특성에 따라 필요한 타 서브시스템 혹은 타 모듈과의 연결을 쉽게 할 수 있도록 인터페이스를 구성하고 연동하여 필요한 계산을 수행

앞에서 설명한 통합지향형 임무계획시스템의 내/외부 구성을 그림 4에 나타내었다.

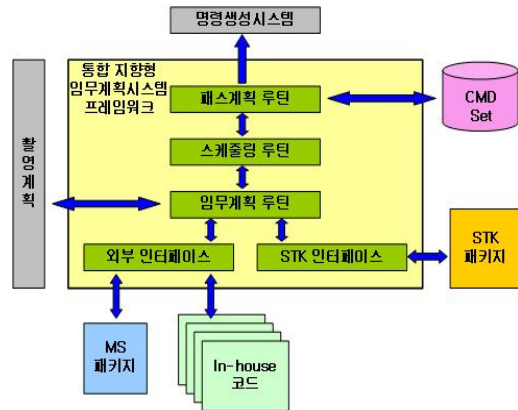


그림 5. 통합지향형 임무계획시스템 구조

#### 4.1 차세대 자동화시스템 설계

위성의 임무운영은 궤도 및 임무 특성에 따라 다소 달라질 수 있으나 24시간 상시 운용이 기본이며, 그 중 일부는 일상적으로 반복되는 업무로 구분할 수 있다. 특히, 반복되는 업무에 대해서는 수행절차를 명확히 정의하여 자동화할 경우 발생 가능한 인적오류를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 해당 업무에 투입되는 인력을 현저하게 줄일 수 있다는 장점이 있다. 즉, 임무운용 자동화를 통해 위성 운영의 안정성 및 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 이러한 자동화 개념은 다목적실용위성 비행역학 분야에 적용되어 매우 성공적으로 운용되고 있다[10]. 또한, 향후 여러 기의 위성을 동시에 운용해야 함을 고려할 때 점차 다양한 분야로 확장해야 할 것으로 판단된다.

차세대 자동화 시스템의 설계를 위해 위성으로부터 수신한 원격측정데이터를 처리하여 각 시스템 혹은 외부에서 필요로 하는 데이터를 추출하여 전송하는 기능을 위주로 자동화 구성을 살펴보았다. 자동화 시스템은 여러 응용 프로그램과의 인터페이스를 제공하고 작업제어절차(Job Control Procedure)를 이용하여 여러 응용프로그램의 실행을 제어할 수 있는 기능을 갖으며, 상세한 기능은 다음과 같다.

- 응용프로그램과의 인터페이스 기능
- 응용프로그램간의 자동처리 조합 기능
- 사용자 정의를 통한 처리 조합 기능
- 프로세스 관리 기능
- 프로세스 동시 처리 기능
- 원격측정데이터 자동처리 기능
- 원격명령데이터 전송/확인 자동 기능
- 처리 결과 리포트 (E-mail, Pager) 기능
- 프로세스 이상 유무 알림(Alarm) 기능

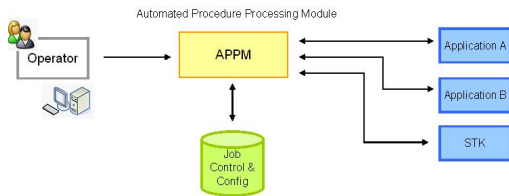


그림 6. 자동화 시스템 구성

#### 4. 결 론

본 논문에서는 여러 기의 위성들을 운용함에 있어 공통적으로 적용될 수 있는 통합형 임무운용시스템의 분석 및 설계 결과를 기술하였다. 이를 위해 우주개발 선진국의 사례를 분석해 본 결과 미국과 유럽 등에서는 위성운영의 안정성 및 효율성을 향상시키기 위해 핵심 운용시스템에 연구가 이미 활발하게 진행되고 있으며, 핵심 운용시스템을 기반으로 하여 각각의 관제 시스템에 맞는 형태로 개발되고 있었다. 또한, 이 시스템들은 상업용의 특화된 관제시스템에서도 활용, 확장 개발되어 사용되고 있다. 분석 결과를 토대로 통합지향형 임무운용시스템의 설계는 임무계획시스템과 자동화 시스템으로 구분하여 요구사항을 도출하여 시스템 개념도, 시스템 구성 등을 정의하였다. 향후에는 본 논문에서 제시한 설계를 토대로 시스템을 구체화 시켜 나갈 예정이다. 개발된 통합지향형 프레임워크를 적용할 경우 위성임무 특성이 다르더라도 최소한의 개발비용으로 단기간에 요구조건을 만족하는 시스템으로 쉽게 확장이 가능할 것으로 예상된다.

#### 참 고 문 헌

1. Hartley, J. B., Hughes, P. M., "Automation of satellite operations: Experiences and future directions at NASA GSFC", Proceedings of SpaceOps 96, Germany, 1996.
2. Heinen, W., Blake, R., Fortuno, J., Camino, O., "SMART-1 Ground operations automation", Proceedings of SpaceOps 06, Italy, 2006.
3. Cerone, M., Pietro, M., D'Amico, F., "Improvements of automation for agile satellite operations", Proceedings of SpaceOps 06, Italy, 2006.
4. 김해동, 최해진, 김은규, "다목적실용위성 1호 임무계획 및 자동명령계획표 생성기 개발", 한국항공우주학회지, 제 30권 1호, 2002, pp. 139-146.
5. Dreger, F., "INTEGRAL-Fully automatic flight dynamics real-time support during the routine science phase", Proceedings of 17th International Symposium on Space Flight Dynamics, Russia, 2003.
6. Venkateswarlu, S., Ramalingam, G., Soma, P., "Automation of orbit and attitude determination functions of indian remote sensing satellite (IRS) missions", Proceedings of SpaceOps 98, 1998.
7. Bellido, E., Molina, M. A., "Flight Dynamics operations automation: Experience on a large fleet of heterogeneous GEO satellites", Proceedings of SpaceOps 06, Italy, 2006.
8. Nestor Peccia, SCOS-2000 ESA's Spacecraft Control for the 21st Century, GSAW 2003.
9. www.agi.com
10. 김해동, 정옥철, 김은규, 방효충, "자동 궤도 운용 시스템 개발", 한국항공우주학회지, 35 권 9호, 2007, pp. 836-842.