

8. 학사논문 지도교수: 박 형 준

- 8-1. 지구저궤도 소형위성의 편대비행 시뮬레이션
(Formation Flight Simulation of Small Satellites in Low Earth Orbit)
- 8-2. 위성 근접운용 연구를 위한 지상시험장치 설계
(Design of Hardware Simulators for Proximity Operations of Satellites)
- 8-3. 큐브위성의 전자기력 도킹 시스템 개발
(Development of an Electromagnetic Docking System for CubeSats)
- 8-4. 우주정거장 자유비행 로봇의 협력수송임무 Gazebo 시뮬레이션
(Gazebo Simulation for Cooperative Transportation Tasks of Free-Flying Robots onboard the International Space Station)

실험실: 우주 모빌리티 및 로보틱스 연구실 (Space Mobility and Robotics Lab.)

연구실 홈페이지: <https://sites.google.com/view/snu-smrl>

교수 연락처: E-mail: hjpark@nmsu.edu

8-1. 지구저궤도 소형위성의 편대비행 시뮬레이션 (Formation Flight Simulation of Small Satellites in Low Earth Orbit)

최근 주목받는 분산형 우주 시스템(Distributed Space System)은 민간과 군사적 목적을 위한 항법, 통신, 원격 감지 및 과학 연구를 위한 새로운 혁신적인 임무들을 만들어 내고 있다. 개별 위성은 종종 크기, 무게 및 전력 제약으로 제한된 임무만을 수행할 수 있으나 소형 위성들을 이용한 편대비행은 우주상의 물체들의 이미징, 지구의 자기장 매핑, 그리고 우주궤도상 서비스 등을 포함한 다양한 우주 임무들에서 그 유용성이 증명되고 있다. 이러한 분산형 우주 시스템은 GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)와 OLEV(Orbit Life Extension Vehicle) 같은 과학 임무에서 구현되었으며 앞으로 우주산업 분야에서 더 많은 개발이 이루어질 것이다. 또한 대규모 위성 성단은 인터넷 및 통신 임무의 일환으로 사용되며, 이는 SpaceX의 Starlink나 OneWeb의 위성군에서 확인할 수 있다.

이러한 분산형 우주 시스템이나 대규모 위성군의 임무에서 정밀한 위치 및 자세 정렬을 수행하는 편대비행은 성공적인 임무 수행을 위해 필수적이며 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 연구에서는 MATLAB/Simulink를 기반으로하는 지구저궤도 소형위성의 편대비행 시뮬레이션 소프트웨어를 업그레이드하고 위치 및 자세 정렬을 위한 시뮬레이션 연구를 수행한다. 또한, 도출된 결과를 NASA의 GMAT(General Mission Analysis Tool)과 비교하여 MATLAB 기반 시뮬레이터의 성능을 검증한다.

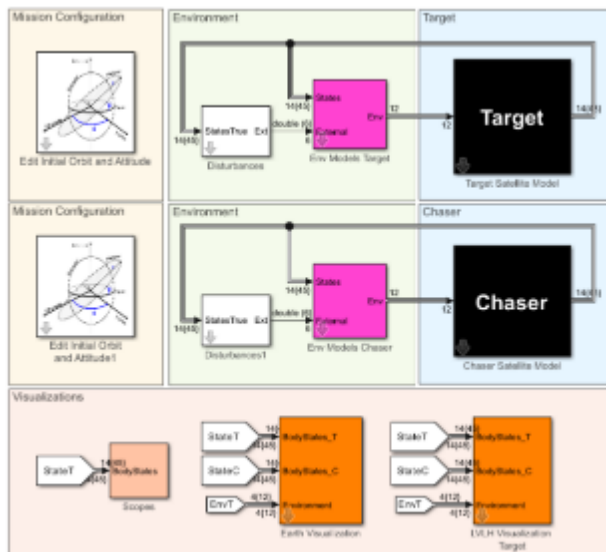


그림 1. MATLAB/Simulink 랑데뷰 및 도킹 시뮬레이터.

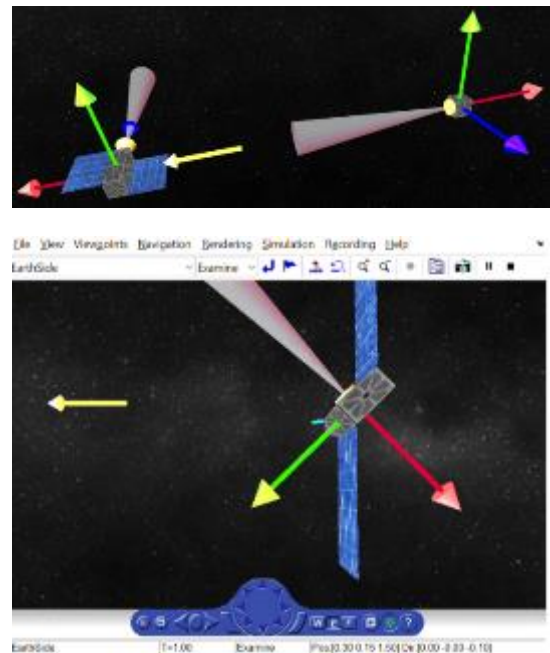


그림 2. 편대비행 및 단독비행 시뮬레이션 예시.

8-2. 위성 근접운용 연구를 위한 지상시험장치 설계 (Design of Hardware Simulators for Proximity Operations of Satellites)

우주 시스템의 발전으로 인해 다양한 궤도상서비스와 우주 조립 미션들이 가능해지고 있다. 예를 들어, 운영 중인 위성의 연료 보충, 복잡한 물체의 우주내 조립, 손상된 우주 시스템의 정비, 그리고 여러 소형 우주 시스템을 활용한 우주 폐기물 제거 등이 가까운 미래에 현실화 될 것이다. 정교하고 중요한 궤도상 서비스와 우주 조립 임무에 더 많은 우주 시스템들이 사용될수록, 효율적이며 높은 정확성을 가진 자율 근접운용 및 도킹 능력의 중요성이 증가하고 있다.

무인 운영 환경에서 궤도상 서비스를 수행하는 위성의 안전한 작업을 위해, 위성의 근접운용 알고리즘의 성능이 사전에 정의된 성능 요구 사항을 충족하는지 검증되어야 한다. 이를 위해 지상시험이 수행되며 주로 air-bearing 시험장치들이 근접운용 알고리즘을 검증하기 위한 동적 환경을 제공한다. 주로 air-bearing 장치를 장착한 위성 모사 로봇들이 대리석 정반 위에서 마찰이 없고 낮은 잔류 가속도 모사 환경 하에 운영된다. 이러한 근접운용을 위한 지상시험장치는 소프트웨어 시뮬레이션 환경에서 사실적으로 재현하기 어려운 다양한 하드웨어 현상을 포함하여 실제 우주 임무 이전에 end-to-end 시스템 수준의 검증을 가능하게 한다.

본 연구에서는 지상시험장치의 일부분인 위성 모사 로봇을 설계하고 제작한다. 6U 및 12U 큐브위성의 크기를 가지는 위성 모사 로봇을 설계하고 3D 프린팅을 이용하여 구조를 제작한다. 또한 로봇의 운용에 필요한 공기탱크, 추력기, 온보드 컴퓨터, 센서 등의 하드웨어를 조립하고 간단한 성능 검증 시험을 수행한다.

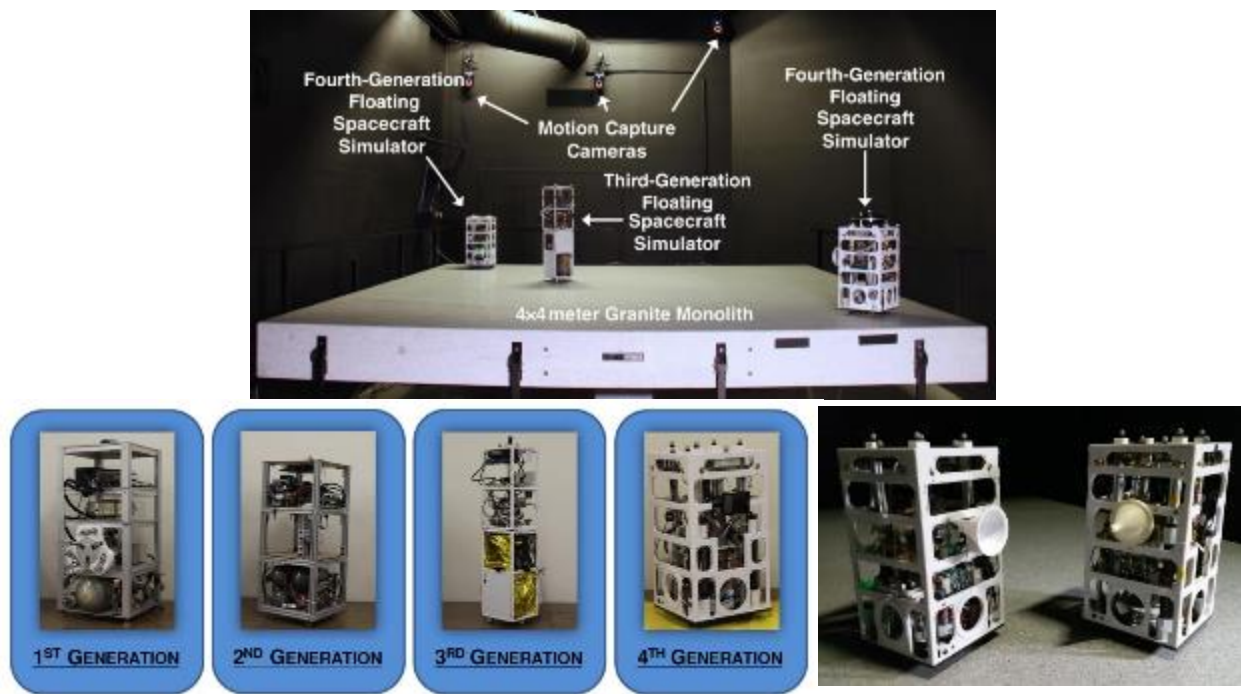


그림 1. 미국 해군 대학원의 위성 근접운용 지상시험장치.

8-3. 큐브위성의 전자기력 도킹 시스템 개발 (Development of an Electromagnetic Docking System for CubeSats)

최근 자율 랑데뷰 및 도킹을 포함하는 위성 근접운용 관련 기술을 향상시키고 고도화 하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 전자기력 도킹 시스템은 전자기장을 이용하여 두 위성을 끌어당겨 도킹하는 방식으로 이 시스템의 자동 조정 및 자기 인력적 특성으로 인해 자율 위성 운용에 이상적인 후보로 여겨지고 있다. 이러한 전자기력 도킹 매커니즘은 정밀 추진기와 유도 시스템의 필요성을 현저히 줄이며 최종 도킹 접근 단계에서 추진제 사용을 크게 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 위성의 센서와 민감한 광학 측정 장비에 추진기 Plume으로 인한 표면 오염의 위험을 줄일 수 있다.

그러나 전자기력 도킹 시스템은 자기력에서 발생하는 비선형성을 다룰 수 있는 제어 시스템이 필요하며 잘못된 제어는 우주선 간의 충돌과 손상을 초래할 수 있다. 이를 방지하기 위해 최종 도킹 접근 시에는 우주선의 접근 속도를 원하는 목표 접근 속도로 조절하며, 도킹 직전에는 목표로 하는 안전한 최종 접촉 속도에 도달해야한다. 본 연구에서는 지구 궤도 임무 혹은 지구-달 궤도 임무에서 사용할 전자기력 도킹 시스템을 설계 및 개발한다. MATLAB/Simulink를 활용한 시뮬레이션 환경에서 전자기력 도킹 시스템을 위한 비선형 제어기를 설계하고 검증한다. 또한, 큐브위성용 프로토타입 전자기력 도킹 시스템을 개발하여 시스템과 비선형 제어기의 성능을 지상시험장치에서 검증한다.

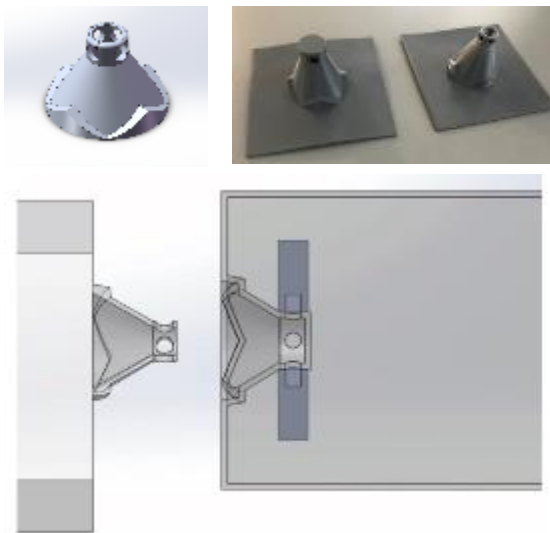


그림 1. 큐브위성의 도킹 매커니즘 예시.



그림 2. 전자기력 도킹 시스템 테스트.

8-4. 우주정거장 자유비행 로봇의 협력수송임무 Gazebo 시뮬레이션 (Gazebo Simulation for Cooperative Transportation Tasks of Free-Flying Robots onboard the International Space Station)

미래에 국제우주정거장 내에서 우주비행사들의 임무를 보조할 목적으로 위해 자유비행 로봇들이 개발되고 있다. SPHERES, Int-Ball, CIMONISS 및 Astrobees는 국제우주정거장에서 이미 사용되고 있는 자유비행 로봇들이다. 우주정거장 시스템의 모니터링과 유지 보수 도구로서, 자유비행 로봇들은 다양한 하드웨어와 소프트웨어를 통합할 수 있도록 모듈식 기반으로 설계되었다. 따라서 자유비행 로봇들은 지상 제어 센터에서 우주정거장 내부를 수동으로 관찰하는 이상적인 플랫폼이며, 자율적인 센서 데이터 수집과 우주정거장 상태 조사, 그리고 장기간의 우주비행 임무 동안 인간과 로봇의 상호작용 임무에 적합하다.

NASA의 Astrobees 프로젝트는 국제우주정거장에서 작동 가능한 세 개의 자유비행 로봇으로 구성되어 있다. Astrobees는 정육면체 모양의 로봇으로, 우주비행사의 감독이나 개입 없이 각 방향으로 이동하고 어떤 축 주위로도 움직일 수 있다. 이 로봇은 비전 기반 항법과 팬 기반 추진 시스템을 바탕으로 하여 상부 후방 공간에 국제우주정거장의 수납대와 물체를 잡기 위한 로봇팔 조작기를 장착하고 있다. 로봇팔은 두 개의 관절과 두 개의 링크로 구성되어 있고 사용하지 않을 때는 상단 페이로드 공간에 수납되며, 관절을 통해 로봇팔을 펴고 움직여 물체를 잡을 수 있다. 본 연구에서는 두 대의 Astrobees 로봇을 이용하여 물체를 효율적으로 협력수송하는 방법을 개발하고 Gazebo를 이용하여 개발된 방법을 시뮬레이션 한다.

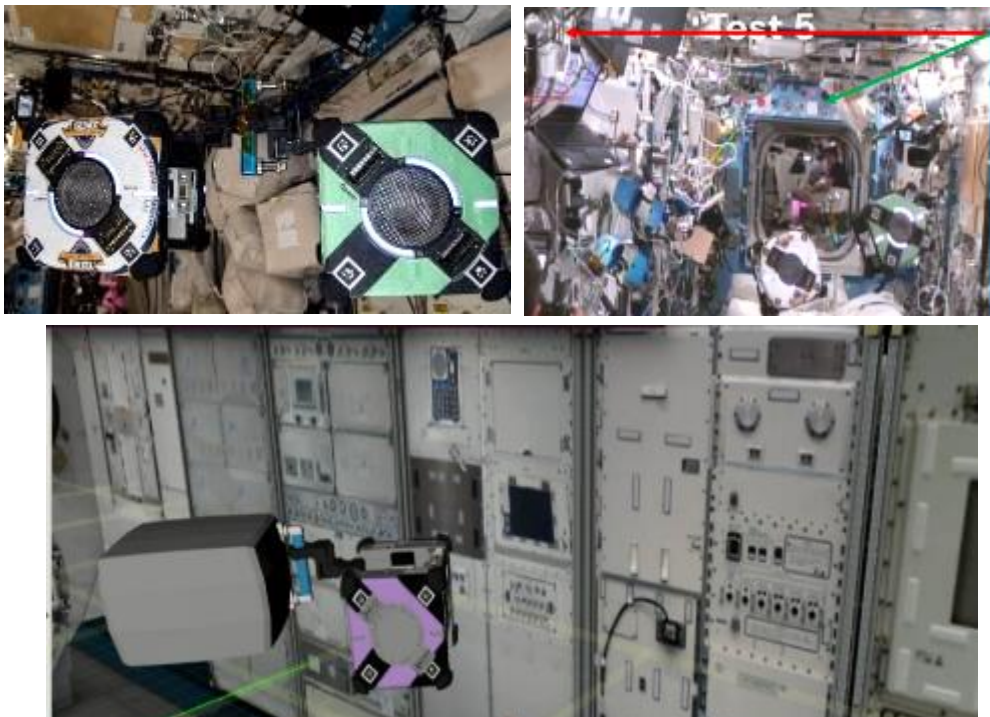


그림 1. 국제우주정거장에서 테스트 중인 Astrobees 로봇과 Gazebo 시뮬레이션.