

다양한 형상의 우주 그물을 이용한 우주 잔해물 포획 시뮬레이션 비교

류원희^{1*}, 장미¹, 심창훈¹, 박재상¹, 조해성²
충남대학교¹, 전북대학교²

Capture Simulations Using Space-nets with Various Shapes for Space Debris

Won-Hee Ryu^{1*}, Mi Jang¹, Chang-Hoon Sim¹, Jae-Sang Park¹, Haeseong Cho²

Key Words : Space-Net(우주 그물), Space Debris(우주 잔해물), Active Debris Removal(우주 잔해물 능동 제거), Biomimetics(생체모방)

서 론

우주 개발 참여 주체의 다양화와 낮아진 우주 개발 진입 장벽으로 우주 개발은 뉴 스페이스라는 새로운 국면을 맞이하고 있다. 재사용 발사체와 소형 군집 위성을 이용한 우주 개발을 통해 지구 주위의 인공 우주 물체의 수는 급격히 증가하고 있다. 인공 우주 물체의 대부분을 차지하고 있는 우주 잔해물은 그 수가 약 1억 3천만개에 달하고 있으며, 상호간의 충돌로 인해 지속적으로 늘어나고 있다⁽¹⁾. 모든 우주 잔해물에 대하여 추적 및 감시는 불가능하기에 운용중인 우주 정거장 및 인공 위성은 끊임없는 충돌 위험을 받고 있으며, 중대형 크기의 우주 잔해물의 지상 추락 역시 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 한정적인 우주 환경 속 지속적인 우주 개발을 위해서는 우주 잔해물의 제거가 필수적이다. 현재 로봇 팔, 작살 및 그물을 이용한 우주 잔해물 능동 제거 기술(ADR, Active Debris Removal)이 활발히 연구 및 개발되고 있으며⁽²⁾, 실제 우주 환경에서의 시험이 어렵기에 시뮬레이션 연구가 적극적으로 수행되고 있다.

본 연구에서는 우주 잔해물의 우호적/비우호적 운동에 관계없이 포획에 용이한 우주 그물을 사용한 포획 시뮬레이션 연구를 수행한다. 원형 형상의 우주 그물과 생체 모방 기술을 적용한 벌집 격자의 우주 그물을 각각 이용하여 포획 시뮬레이션을 수행 및 비교한다. 포획 대상인 가상의 우주 잔해물은 한 변의 길이가 0.3 m인 정육면체 형상으로 가정하였으며, 강체를 통해 모델링 되었다. 다양한 형상의 우주 그물의 포획 시뮬레이션은 비선형 구조 동역학 해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하였으며, 우주 그물의 형상에 따른 포획 성능 비교를 수행한다.

본 론

우주 그물 및 우주 잔해물 모델링

우주 그물의 형상에 따른 포획 성능 비교를 위해 원형 형상의 우주 그물과 생체 모방 기술을 적용한 육각형 벌집 격자를 지닌 정사각형 우주 그물을 구현하였다 (Fig. 1). 두 종류의 우주 그물은 ABAQUS의 Truss 요소와 Nylon 재료 물성치를 이용하여 모델링한다. 우주 그물의 각 끝단에는 Flying mass arm을 통해 0.5 kg의 Flying mass가 연결되어 있다. Flying mass는 포획 과정에서 우주 그물이 우주 잔해물을 감싸도록 도와주는 역할을 수행하며, 집중 질량을 통해 나타내었다. 질량 30 kg의 우주 잔해물은 한 변의 길이가 0.3 m인 정육면체 형상이며 우주 그물에 비하여 구조 강성이 상당히 높기에 강체로 가정하였다 (Fig. 2).

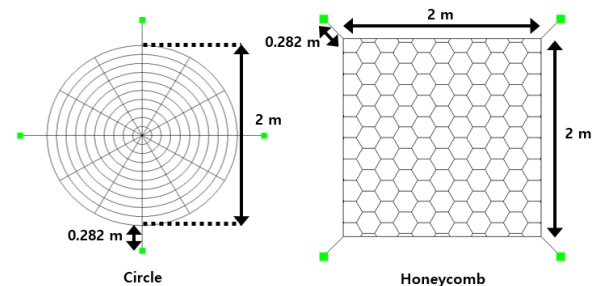


Fig. 1. Space-nets with various shapes

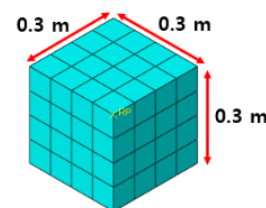


Fig. 2. Space debris

포획 시뮬레이션 기법

본 연구에서는 비선형 구조 동역학 해석 프로그램인 ABAQUS의 외연적 동적 해석 기법을 통해 포획 시뮬레이션을 수행하였다. 우주 그물과 우주 잔해물의 접촉과 우주 그물의 자가 접촉을 고려하기 위해 General contact 기법을 사용하였다. 우주 공간의 미소 중력 및 미소 대기는 고려하지 않으며, 우주 그물의 우주 잔해물 포획 절차 가운데 우주 그물이 사출 후 완전히 전개된 상태에서 우주 잔해물을 포획하는 포획의 단계만을 고려하였다.

포획 시뮬레이션 결과

Fig. 3과 4는 우주 그물의 우주 잔해물 포획 시뮬레이션 결과를 보여준다. 직선 병진 운동을 하는 우주 잔해물과 우주 그물 사이의 상대 속도는 6 m/s이다. 원형 우주 그물은 우주 잔해물과의 초기 충돌 이후 Flying mass의 교차가 발생하였으나 우주 그물의 꼬임이 발생하지 않았다 (Fig. 3). 그로 인하여 시뮬레이션 종료 시점 (5 s) 이전에 우주 그물과 우주 잔해물이 분리되며 포획에 실패하였다. Fig. 4는 벌집 구조 격자의 우주 그물의 포획 시뮬레이션 결과를 보여준다. 우주 그물과 우주 잔해물의 충돌 이후 우주 그물의 대각선 방향의 변형이 크게 발생하였다. 우주 그물의 변형을 통해 Flying mass가 교차하며 꼬임이 생성되었고, 우주 그물이 우주 잔해물을 완전히 감싸는 것을 확인하였다. 이후 시뮬레이션 종료 시점까지 우주 그물의 꼬임이 풀리지 않으며 우주 잔해물 포획에 성공하였다.

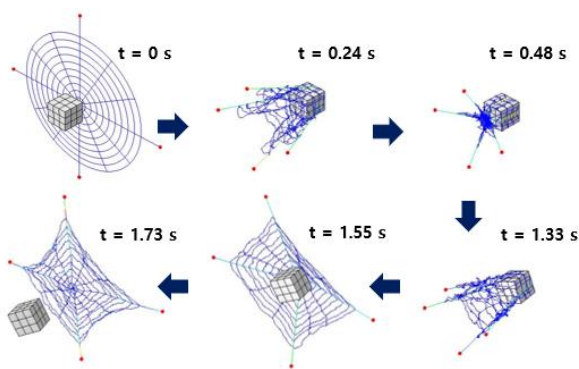


Fig. 3. Capture simulation using circular space-net

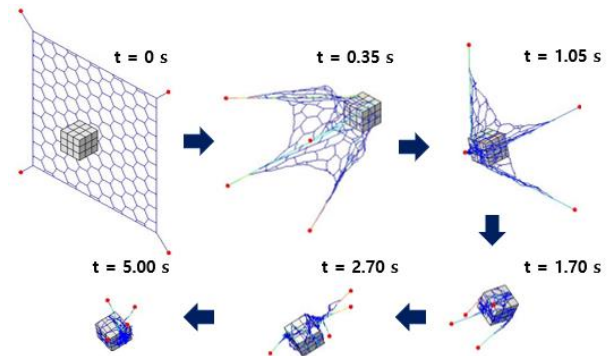


Fig. 4. Capture simulation using honeycomb structure space-net

결론

본 연구에서는 비선형 구조 동역학 해석 프로그램인 ABAQUS의 외연적 동적 해석 기법을 이용하여 두 종류의 우주 그물의 우주 잔해물 포획 시뮬레이션을 수행하였다. 우주 그물의 형상에 따른 포획 성능 비교를 위하여 원형 형상의 우주 그물과 생체 모방 기술을 적용한 벌집 격자의 우주 그물을 각각 고려하였다. 원형 우주 그물의 경우 Flying mass의 교차를 통한 꼬임이 발생하지 않아 우주 잔해물 포획에 적합하지 않음을 확인하였다. 벌집 구조 격자의 우주 그물은 대각선 방향의 변형을 통해 우주 그물의 꼬임이 원활히 발생하여 포획에 성공하였다.

후기

본 논문은 2023년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 스페이스챌린지사업(NRF-2022M1A3B8076744)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- 1) ESA Space Debris Office, "ESA's Annual Space Environment Report 2022," no.6, 2022.
- 2) Shan, M., Guo, J., and Gill, E., "Review and Comparison of Active Space Debris Capturing and Removal Methods," Progress in Aerospace Sciences, Vol. 80, 2016, pp. 18~32.