우주탐사와 종이접기

(전문)누구나 어린 시절 종이 한 장을 접어 학을 만들거나 비행기를 날려본 기억이 있을 것입니다. 단순한 종이가 접히는 순간 전혀 다른 모습으로 변하는 경험은 신기하면서도 즐거운 추억으로 남아 있습니다. 그렇게 친숙한 종이접기가 이제는 놀이를 넘어, 인류의 우주 탐사를 이끄는 최첨단 기술로 진화하고 있습니다. 접는 기술은 일상 속의 우산이나 접이식 가구에서부터 인공위성의 태양광 패널, 우주 돛, 전개형 안테나와 같은 우주 구조물에 이르기까지 폭넓게 활용되는 중요한 설계 기법입니다.

이번 우주과학탐사 인사이드에서는 "우주 탐사와 종이접기"를 주제로, 종이접기 공학을 통해 다양한 우주 시스템을 개발하고 있는 KAIST 이대영 교수와의 인터뷰를 마련했습니다. 종이접기에서 영감을 얻은 혁신 기술들이 어떻게 우주 환경에서 활용되고 있는지, 그리고 미래에는 어떤 비전을 그리고 있는지 살펴봅니다.

▶ 교수님의 주요 연구 분야와 연구 그룹에 대한 간략한 소개 부탁드립니다.

저는 현재 KAIST 항공우주공학과에서 종이접기 공학(Origami Engineering) 설계 기법을 바탕으로 로봇 및 항공우주 시스템을 연구하고 있습니다. 여기서 말하는 종이접기 공학은 실제 종이를 사용하는 것이 아니라, 접고 펼치는 원리와 기하학적 구조를 공학적으로 응용하는 분야를 의미합니다. 얇은 구조물을 접어 작은 부피로 만들었다가 다시 크게 펼쳐 활용하는 방법은, 로켓에 실을 수 있는 공간이 매우 한정적인 우주 기술 분야에서 특히 유용합니다. 멀리 여행을 갈 때 짐을 접어 가방 안에 최대한 효율적으로 넣는 것과 마찬가지로, 인류가 지구를 넘어 더 먼 우주로 나아가기 위해서는 우주 구조물 또한 작게 접어 로켓에 실은 뒤, 필요한 시점에 우주 공간에서 펼쳐야 하는 것입니다.

또한 종이접기 공학은 단순히 형상을 변화시키는 데 그치지 않고, 재료의 변형과 기하 구조를 결합해 새로운 기능을 구현할 수 있다는 특징이 있습니다. 예를 들어, 접힘 구조와 탄성을 활용하면 충격을 흡수하거나 진동을 완화하는 완충 장치를 만들 수 있고, 열이나 습도 같은 외부 환경에 따라 스스로 모양이 바뀌는 구조도 설계할 수 있습니다. 이처럼 접는 원리와 소재 특성을 함께 고려하면, 단순한

구조적 변화 이상으로 독창적인 기능을 갖춘 시스템을 구현할 수 있습니다. 이러한 접근을 기반으로 저희 연구실은 달 탐사용 전개형 바퀴, 우주 쓰레기 제거를 위한 나선 직조 구조의 로봇손, 전개형 위성 안테나와 태양광 패널, 자가 전개형 우주 거주지 구조물 등 다양한 주제를 다루고 있습니다. 이러한 연구는 기계공학, 재료공학, 수학, 우주공학을 아우르는 다학제적 협력 속에서 진행되고 있으며, 석·박사 과정 학생들과 함께 활발히 연구를 이어가고 있습니다. 또한 한국항공우주연구원, 한국천문연구원, 무인탐사연구소 등 국내 기관과 긴밀히 협력하고 있습니다. 저희의 목표는 종이 한 장을 접듯 단순하면서도 강력한 구조적 해법을 통해, 우주 탐사의 다양한 난제를 해결하는 것입니다.



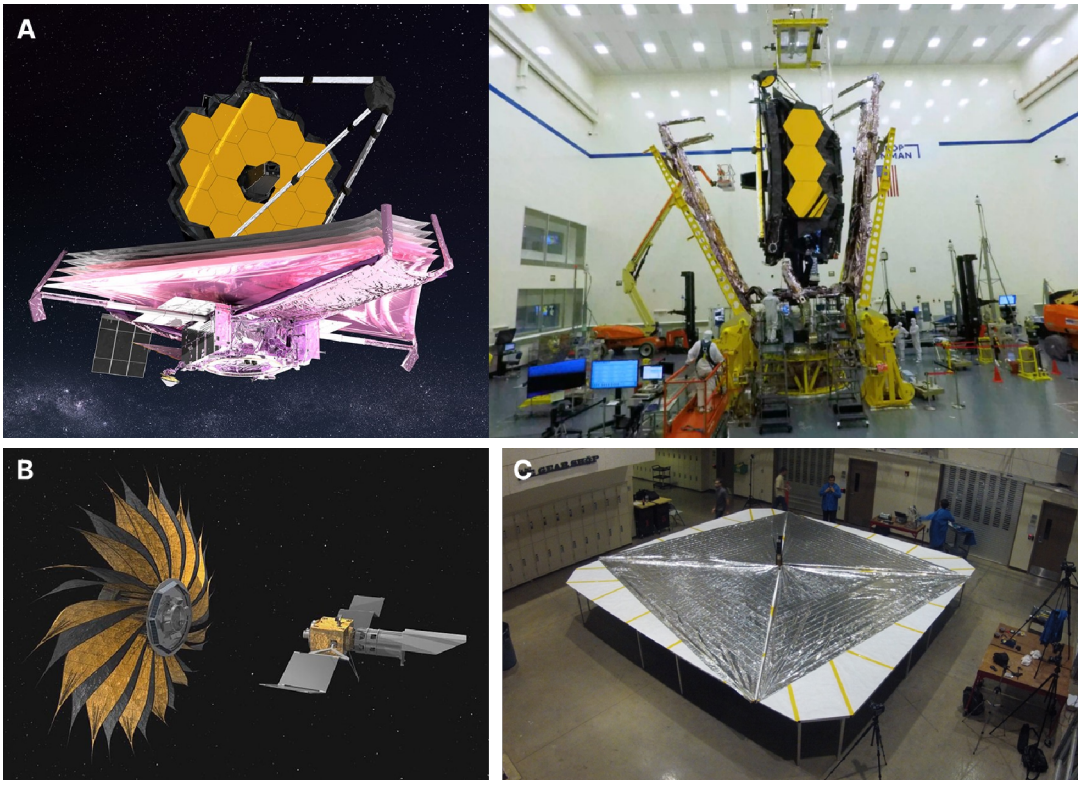
KAIST 항공우주공학과 항공우주 및 메커니즘 연구실

▶ 최근 종이접기 공학을 활용한 우주 탐사 연구가 세계적으로 활발합니다. 어떤 흐름이 있는지 소개해 주실 수 있을까요?

가장 상징적인 사례가 제임스 웹 우주망원경(JWST)입니다. 제임스 웹은 로켓 크기에 맞추기 위해 지름 6.5m의 주경을 18개의 육각형 거울로 나누어 접은 상태로 발사했고, 궤도에서 꽃잎처럼 펼쳐져 완전한 망원경이 되었습니다. 더 극적인 것은 태양 차단막(sunshield) 전개 과정입니다. 테니스코트 크기(약 22m × 12m)에 달하는 5겹의 초박막 필름을 순차적으로 전개하기 위해 140여 개의 릴리즈 메커니즘, 70개의 힌지, 400개 이상의 풀리, 90여 개의 케이블, 8개의 전개 모터가 동원되었습니다. 막을 풀어주는 장치만도 107개에 이르렀습니다. 50개가 넘는 주요 전개 단계와 300개 이상의 단일 고장점(single points of failure)을

모두 성공적으로 통과해야 했고, 단 하나의 문제만 발생해도 임무 전체가 실패로 이어질 수 있었습니다. 그야말로 "우주에서 가장 복잡한 종이접기"였던 셈입니다.

이 밖에도 NASA JPL의 Starshade(별가리개), Planetary Society의 LightSail 2 태양돛, ESA와 JAXA의 접는 안테나와 전개형 구조물 연구 등 종이접기 기반 설계는 이미 다양한 임무에 적용되고 있습니다. 앞으로도 종이접기는 우주 공간의 제약을 극복하는 핵심 방법으로 활용될 것입니다.



우주 속의 종이접기 *– 작은 부피로 발사되어 우주에서 거대한 구조물로 펼쳐지는 기능을 가지는 대표적 사례 (A) 제임스 웹 우주망원경, (B) NASA 스타셰이드, (C) 라이트세일 2 태양돛 (Image Credit: NASA, The Planetary Society)*

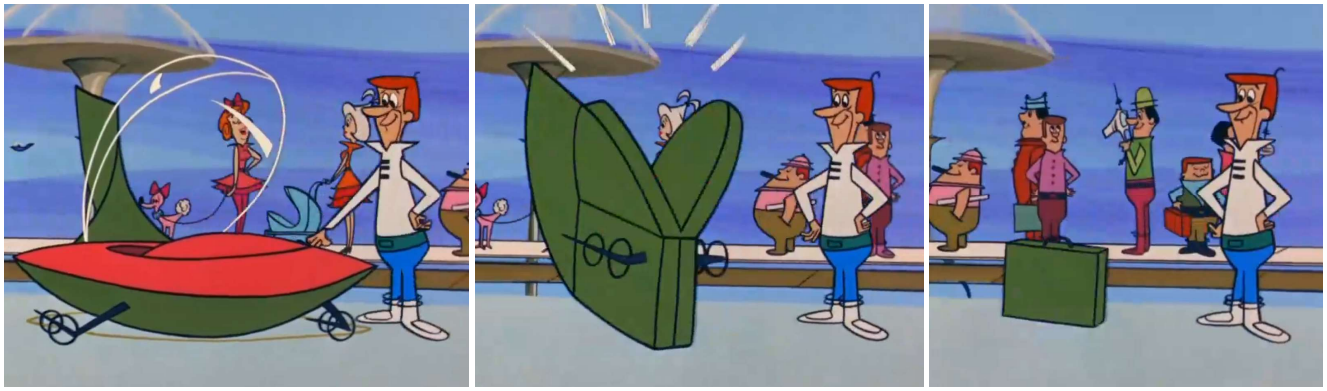
▶ 처음 종이접기 연구를 시작하게 된 계기가 궁금합니다. 어떻게 이런 아이디어를 연구의 주력 분야로 삼게 되셨나요?

사실 처음부터 종이접기를 연구하려 했던 것은 아닙니다. 서울대학교 조규진 교수님 연구실에서 석·박사 과정을 밟았는데, 본격적인 계기는 석사 시절 연구실을 방문한 미공군연구소(AFOSR)의 프로그램 매니저, David Stargel 박사와의 만남이었습니다. 그는 미래 도시를 배경으로 한 애니메이션 한 장면을 보여주었습니다.

주인공이 개인 비행기를 타고 목적지에 도착하자, 비행기가 곧바로 서류가방 크기로 접히는 장면이었습니다. 그는 이렇게 말했습니다.

"이것이 우리가 바라는 미래입니다. 매우 어려울 것이고 어쩌면 영원히 실현되지 못할지도 모릅니다. 그러나 많은 사람들이 원하는 길이라는 것은 확실합니다. 그렇기에 실패와 상관없이 계속 시도할 가치가 있습니다."

이후 연구실은 AFOSR의 지원을 받아 종이접기 연구를 자유롭게 수행할 수 있었고, 그 과정에서 첫 종이접기 바퀴 연구가 탄생했습니다. 이 경험은 지금까지 제 연구 철학의 뿌리가 되었습니다. 아직 접을 수 있는 비행기를 만드는 일은 멀게 느껴지지만, 세상 모든 것을 접는다는 비전을 향해 한 걸음씩 나아가고 있습니다. 그리고 언젠가 많은 사람들이 꿈꾸는 미래를 실현하는 데 기여할 수 있을 것이라 믿습니다.



The Jetsons: The Family of The Future - 서류 가방 형태로 접히는 개인용 비행기

"이번 화는 여기까지입니다. 이어지는 2부에서는 구체적인 연구 성과와 향후 계획을 소개할 예정이니 많은 관심 부탁드립니다."