

민제원 경기 상현고 2  
이선재 경기 청평중 3  
이태현 전북 논산대건중 1

# 국제우주정거장과 지표면을 연결하는 승강기를 제작할 수 있을까요

A



석원경 교수가 답하다

미국, 러시아, 유럽연합(EU), 캐나다, 일본 등 14개국이 공동으로 운영하는 국제우주정거장(ISS·International Space Station)은 무중력과 우주 환경을 안정적으로 연구할 수 있는 곳입니다. 실제로 우주 개발과 관련된 화학과 물리학, 기상학, 천문학, 공학 등의 다양한 연구가 활발하게 이뤄지고 있습니다.

ISS는 1998년 건설이 시작됐습니다. 2000년 11월 2일 미국항공우주국(NASA)의 우주인 빌 셰퍼드, 러시아연방우주국(Roscosmos)의 우주인 세르게이 크리칼레프와 유리 기젠코 등 3명이 ISS에 착륙해 136일 동안 머문 이후 세계 각국의 수많은 우주인이 ISS를 방문했습니다. 2021년 5월 14일 기준으로 약 20년 동안 19개국 243명의 우주인이 방문했습니다. 2008년에는 한국의 우주인 이소연이 국내 최초로 ISS를 방문해 11일간 체류하며 연구를 했습니다.

이처럼 ISS에는 매해 각국의 수많은 우주인이 방문합니다. 그만큼 운영하고 유지하는 데 비용이 많이 듭니다. 연간 운영비는 40억 달러(약 4조 6000억 원)에 이릅니다. 이외에 우주인과 물자를 우주선을 태워 그곳에 실어 나르기까지 과학자, 엔지니어 등 많은 사람의 노력도 필요합니다. 2011년까지는 ISS에 우주인을 실어 나르는 데 아틀란티스호, 인데버호 등 미국의 우주 왕복선이 큰 역할을 했습니다. 지금은 미국의 스페이스 X의 '크루 드래건'과 러시아의 '소유스'가 주로 사용되고 있습니다.

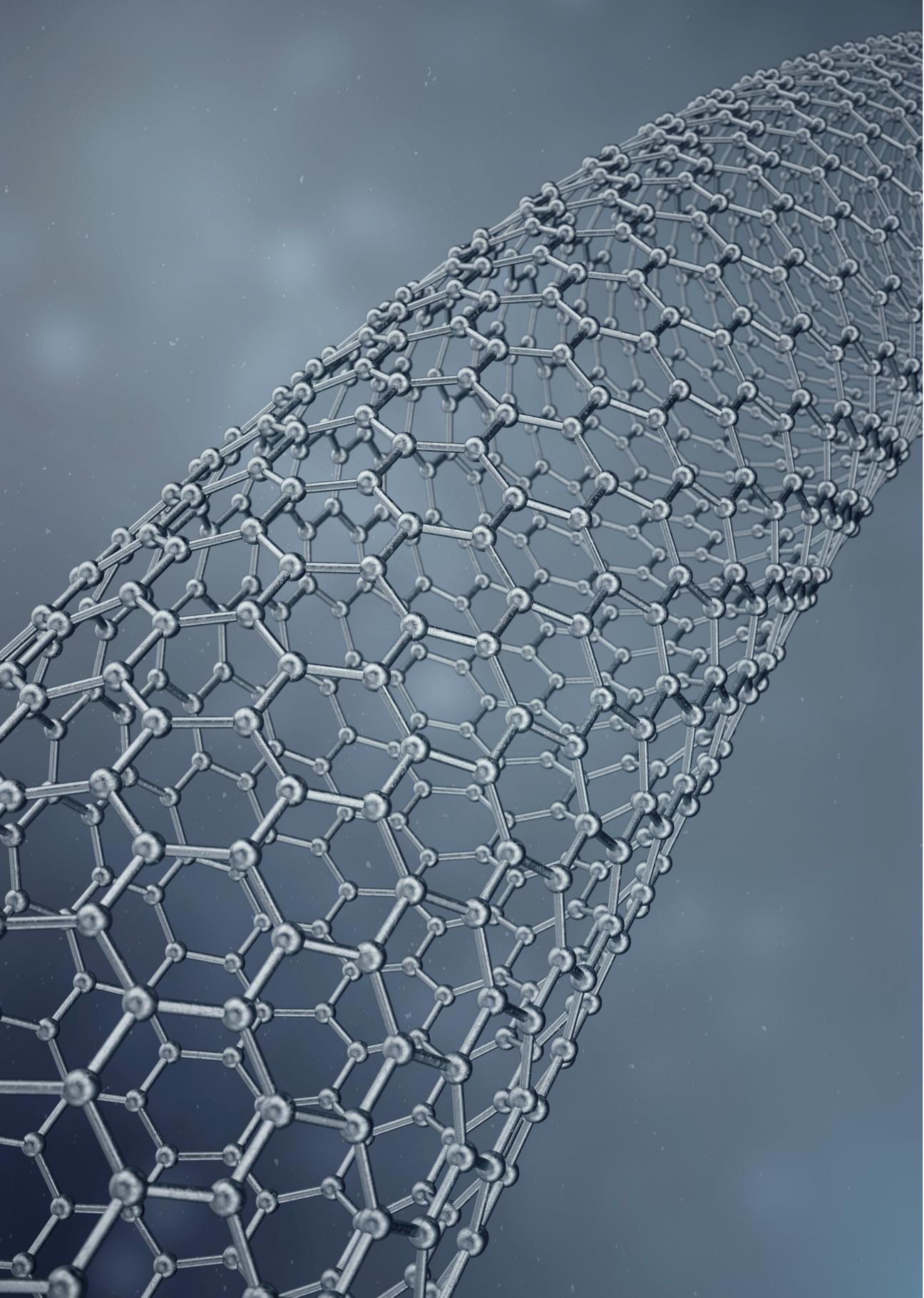
그런데 20년 넘게 사용하다 보니 ISS는 노후화됐고 크고 작은 결함도 나타나기 시작했습니다. ISS는 2024년 운용을 마칠 예정입니다. 운용 시한을 늘리기 위해 노력하고 있으나, 장기적으로 새로운 국제우주정거장 등을 우주로 올라가기 위한 대안이 절실한 상황입니다.

## 에펠탑에서 떠올린 우주 승강기의 꿈

우주 승강기(엘리베이터)를 처음 구상한 사람은 러시아 로켓 과학의 선구자인 콘스탄틴 치올콥스키입니다. 그는 1895년 프랑스 파리의 에펠탑을 보고 영감을 얻어 하늘에 닿을 만큼 높은 탑을 세워 승강기로 물체를 올리는 방법을 떠올렸습니다. 지상 3만 5786km 높이의 정지 궤도까지 올라가 지구와 같은 속도로 자전하는 거대한 탑을 구상한 것입니다.

물론 비현실적인 공상이었습니다. 정지 궤도 높이에 이르는 거대한 탑의 무게를 견뎌낼 수 있는 화학 소재를 찾지 못했습니다. 당시 프랑스 건축가 알렉상드르 에펠이 1889년에 완공한 에펠탑의 높이는 324m였는데, 이 철탑을 짓는 데만 7300t의 철이 필요했습니다.

거대한 탑을 쌓아 올리는 대신 정지 궤도에서부터 추를 단 튼튼한 케이



블을 지표면까지 늘어뜨려서 승강기로 사용하는 발상이 더 현실적으로 보입니다. 실제로 1960년경 러시아의 과학자 유리 아르추타노프가 이런 아이디어를 생각해냈습니다. 정지 궤도 바깥쪽으로 적절한 크기의 균형 추를 달아놓으면 지구의 자전에 의한 원심력 때문에 케이블이 아래로 떨어지지 않고 정지 상태를 유지할 수 있다는 것이었습니다. 케이블 위쪽을 두껍게 만들면 케이블의 무게를 최대한 가볍게 만들 수 있습니다.

그러나 케이블을 타고 오르내릴 승강기를 만드는 과정은 쉽지 않습니다. 승강기를 만들려면 정지 궤도에 세워둔 우주정거장으로부터 아래쪽으로 케이블을 연결하면서, 동시에 위쪽으로도 균형추 구실을 해주는 케이블을 설치해야만 합니다. 이때 승강기 케이블의 무게 중심을 일정하게 유지하지 못하면 우주정거장이 아래로 추락해버리거나 우주 공간으로 날아가버릴 수도 있습니다. 물론 승강기 케이블에 사용할 소재는 우주선으로 실어 날라야만 합니다.

케이블의 무게를 지탱할 수 있는 화학 소재를 찾기도 쉽지 않습니다. 가벼우면서도 질긴 섬유 소재가 필요합니다. 4960km 길이의 케이블을 만들어도 자체 무게 때문에 끊어지지 않고 지탱할 수 있어야 합니다. 철이나 타이타늄, 또는 알루미늄 합금으로는 고작 30km 길이까지만 만들 수 있습니다.

더 긴 길이를 지탱할 수 있는, 강도가 강하고 가벼운 소재를 만들기 위한 노력도 있었습니다. 미국 화학 기업 듀폰은 1971년 폴리아마이드 계열의 인조 섬유인 ‘케블라(Kevlar)’를 개발해 출시했습니다. 케블라는 400km 길이까지 길게 만들어도 자체 무게를 견딜 수 있습니다. 1999년 미국의 우주항공국(NASA)은 15t의 물체를 들어 올릴 수 있는 지름 1m, 길이 4800km의 강철 케이블을 설계했습니다.

## 꿈의 소재, 탄소 나노튜브

1991년 일본의 이이지마 스미오는 전기 방전에 사용한 흑연 음극에서 형성된 탄소 응집체를 분석하던 중 놀라울 정도로 가벼우면서 강철보다 훨씬 더 질긴 새로운 소재를 발견했습니다. 탄소 결합으로 만들어진 육각형이 원통(튜브) 모양을 이루고 있는 ‘탄소 나노튜브’였습니다. 현재 기술로 굵기는 나노미터 수준이고, 밀도는 1.6g/mL 정도로 작은 탄소 나노튜브를 만들 수 있습니다.

역시 육각형의 탄소로 만들어진 그래핀(graphene)도 가볍고 질긴 나노 물질입니다. 영국에서 활동한 러시아의 물리학자 안드레 가임과 콘스탄틴 노보셀로프는 투명 테이프를 이용해 흑연 연필심에서 그래핀을 떼어내는 방법을 개발했습니다. 이들은 신소재인 그래핀을 발견한 공로로 2010년 노벨 물리학상을 받았습니다. 그래핀은 얇고 가볍지만, 강철보다 200배 이상 강도가 높습니다. 더욱이 그래핀은 탄성이 좋아서 쉽게 구부리거나 늘릴 수도 있습니다. 이 그래핀을 원통 모양으로 말면 탄소 나노튜브가 만들어집니다.

탄소의 동소체(allotrope)가 강철보다 질기다는 사실이 놀랄 일은 아닙니다. 탄소의 또 다른 동소체인 다이아몬드는 탄소 원자들이 정사면체 구조로 연결된 것으로 굳기(경도)가 10입니다. 세상에서 경도가 가장 큰, 매우 단단한 물질입니다.

탄소 60개가 축구공 모양으로 결합해 만들어진 ‘풀러렌(fullerene)’도 중요한 탄소 동소체입니다. 탄소로 이뤄진 오각형 12개, 육각형 20개가 서로 연결돼 있습니다. 영국의 해럴드 크로토, 미국의 로버트 컬과 리처드 스몰리는 1985년 풀러렌 합성에 성공한 업적으로 1996년 노벨 화학상을 받았

습니다.

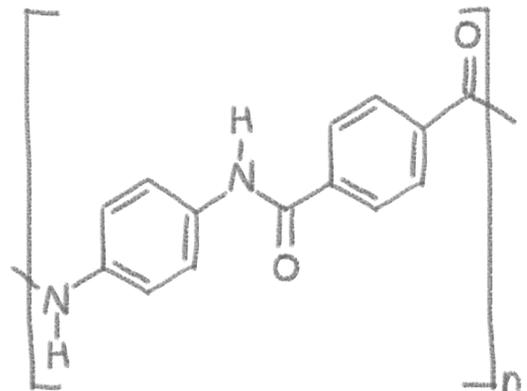
탄소 나노튜브, 그래핀, 풀러렌 등의 발견으로 시작된 나노 과학은 화학에서 빠르게 발전하고 있는 새로운 분야입니다. 나노 과학이 발전하면서 우주 승강기에 대한 관심이 되살아났습니다. NASA는 탄소 나노튜브로 합성한 그래핀 나노 리본으로 10만 km의 높이의 우주 승강기를 개발할 수 있을 것으로 예상했습니다.

실제로 2000년대에 들어서서는 미국과 일본에서 우주 승강기를 제작하겠다는 벤처 기업이 등장했습니다. 그러나 완벽한 구조를 유지하면서 길이가 충분히 긴 탄소 나노튜브를 합성하는 일조차 아직은 어렵습니다. 지금까지 얻은 탄소 나노튜브의 길이는 고작해야 50cm 정도이며 아직은 대량생산하는 기술도 없습니다. 게다가 탄소 나노튜브는 원료에 불순물이 조금만 섞여도 강도가 확연히 감소합니다.

## 승강기, 개발해도 문제는 많아

개발을 완전히 포기해버린 것은 아닙니다. 지금도 우주 승강기가 사람들이 생각하는 것보다 일찍 만들어질 것이라는 희망을 버리지 않고 있습니다. 하지만 우주 승강기가 개발된다고 해도 장밋빛 미래가 보장된 것은 아닙니다.

2021년 4월 제8회 우주 쓰레기 온라인 회의에서 유럽우주국(ESA)



케블라

은 1957년 인류 최초로 스푸트니크 1호가 발사된 이후 60여 년 동안 전 세계에서 1만 1370개 인공위성을 쏘아 올렸다고 밝혔습니다. 인공위성 가운데 약 6900개가 여전히 궤도에 남아있는데 이 가운데 4000여 개는 여전히 작동 중이지만, 나머지 2900여 개는 제 기능도 하지 않고 우주 쓰레기로 지구 주변을 떠돌고 있습니다.

특히 저궤도에서 돌고 있는 인공위성은 매우 빠른 속도로 움직이고 있습니다. 지표면으로부터 약 400km 높이의 상공에 있는 ISS도 평균 시속 2만 8000km의 속도로 궤도를 돌고 있습니다. 93분마다 지구를 한 바퀴씩 돌고 있던 셈입니다.

이런 사실들로 미뤄볼 때, 우주 승강기가 개발된다면 지구 궤도를 돌고 있는 인공위성이 우주 승강기의 케이블과 충돌할 가능성이 큽니다. 인공 위성만 문제가 아닙니다. ESA에 따르면, 지구의 궤도에 남아있는 우주 쓰레기의 총량은 무려 9300t에 이릅니다. 위성과 부딪혔을 때 치명적인 손상을 주는 크기 10cm가 넘는 파편도 2만 9000개나 됩니다. 게다가 지금의 추세라면 2030년에는 우주 쓰레기의 양이 3배나 늘어날 것으로 보입니다.

대부분의 우주 쓰레기는 지구 중력으로 끌려와 대기권에 진입하면서 마찰력에 의해 불타 사라지지만, 일부는 지상이나 바다에 떨어집니다. 우주 쓰레기가 지구에 추락할 때 정확하게 어디로 떨어질지를 예측하기 어려워 매년 전 세계는 긴장하고 있습니다. 이렇게 우주 쓰레기의 위험성이 커지자 각국은 대형 우주 감시 망원경이나 고성능 레이더를 이용해 이를 추적하고 감시하고 있습니다. 그 외에 우주 공간을 떠돌다가 지구로 떨어지면서 별뿔별(유성)이 되는 소행성과 운석도 우주 승강기에 심각한 위협이 될 것입니다.