

# 스페이스 엘리베이터 개발을 위해 적용 가능한 철도기술 제안에 관한 연구

## Study on Proposing Rail Technologies for Developing Space Elevator

박찬송†                      장병철\*                      레온하드 버놀드\*\*                      이태식\*\*\*  
Chan Song Park              Byung Chul Chang              Leonhard E. Bemold              Tai Sik Lee

---

### ABSTRACT

Space Elevator introduced in the science fiction titled "The Fountatins of Paradise" by Arthur C. Clarke in 1979 could be attainable for the transportation of human and distribution from earth to space. Space Elevator could reduce shipping expenses and risks of the transportation system. Developing Space Elevator has to need rail technologies for the train and the rail using Carbon nanotube cable, installation of rail appropriated for Earth-orbiting. For this reason, rail technologies for developing Space Elevator will be suggested by this study through the case study.

---

### 1. 연구의 배경 및 목적

지구온난화, 자원의 결핍, 인구 증가에 따른 생활영역의 상대적 감소, 환경오염 등의 문제가 현실화되어 자원 채취를 비롯한 오염물질의 폐기, 생활영역의 확대와 같은 지속적인 생존을 위한 인류의 진출 영역이 필요한 실정이다. 이에 따라 미국, 유럽, 일본 등 우주기술 선진국들은 대상영역을 우주로 하여 연구를 진행 중에 있다.

우주개발에서 가장 큰 난관은 자재의 운반이다. 지구와 환경이 다른 우주에서 지구에서 쓰이는 자재와 장비를 제작하기 힘들다. 따라서 기존에 지구에서 제작되어진 부품이나 자재를 우주로 운반할 필요성이 절실하지만 현재의 운송 시스템인 로켓은 대기권으로 나가기 위한 연료와 발사체 및 발사대 제작에 너무 많은 예산이 소요되며, 인명피해와 같은 많은 위험이 존재하고 있다. 이에 우주개발 선진국에서는 기존의 항공운송의 개념에서 벗어나 지구와 우주를 연결한 매개체 위를 이동하는 케이블카 및 철도의 개념을 적용한 스페이스 엘리베이터의 개발을 통한 예산과 폭발 및 추락의 위험을 격감할 수 있는 방안이 연구되고 있다. 그러나 미국의 스페이스위드재단, 유럽의 유로스페이스위드, 일본의 일본우주엘리베이터협회(JSEA)와 같이 우주개발 선진국에서는 스페이스 엘리베이터 개발을 위한 기관이 설립되어 스페이스 엘리베이터 개발을 위한 연구가 활발히 진행 중에 있는 반면 우리나라에서는 우주개발에 관련한 연구는 아직 미비한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 스페이스 엘리베이터 연구 사례 조사를 통하여 기존의 지구상에 사용되고 있는 철도기술과 비교·분석하고, 이를 토대로 향후 국내 스페이스 엘리베이터 개발에서 적용 가능한 기술을 제안하고자 한다.

---

† 비회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과, 공학사  
E-mail : pcs0514@hanyang.ac.kr  
TEL : (031)400-4108 FAX : (031)418-2974

\* 비회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과, 공학석사

\*\* 비회원, 한양대학교 건설환경공학과 교수, 공학박사

\*\* 정회원, 한양대학교 건설환경공학과 교수, 공학박사

## 2. 스페이스 엘리베이터(Space Elevator)

### 2.1 스페이스 엘리베이터의 원리

스페이스 엘리베이터는 쉽고 안전하게 우주공간에 도달하고 저렴한 비용으로 우주정거장 부품과 화물, 관광객 등을 실어 나를 수 있는 운송시스템으로, 지구상에서 우주에 떠있는 정지궤도까지 케이블을 연결하여 그 위를 케이블카가 이동하는 방식을 사용한다. 이는 추락이나 폭발의 위험에서 안전할 수 있을 뿐만 아니라 발사체에서와 같이 추진력을 얻기 위한 연료의 사용 또한 절감할 수 있을 것으로 예상되고 있다.

이와 같은 스페이스 엘리베이터의 원리는 우리나라 전통놀이인 쥐불놀이와 같이 줄을 잡고 있는 사람을 중심으로 돌아가는 원심력에서 찾아볼 수 있다. 스페이스 엘리베이터의 기본 원리는 <그림 1>와 같이 지구 표면에서 기반을 둔 수천~수십만km 케이블이 지구 자전을 통한 원심력을 통해 다른 쪽 끝에 부착된 평형추와 균형을 맞춘다. 이와 같은 각 운동량(Angular Momentum)의 원리로 고정된 케이블 위를 원심력이 더해진 케이블카의 견인력을 이용하여 이동하는 것이다.

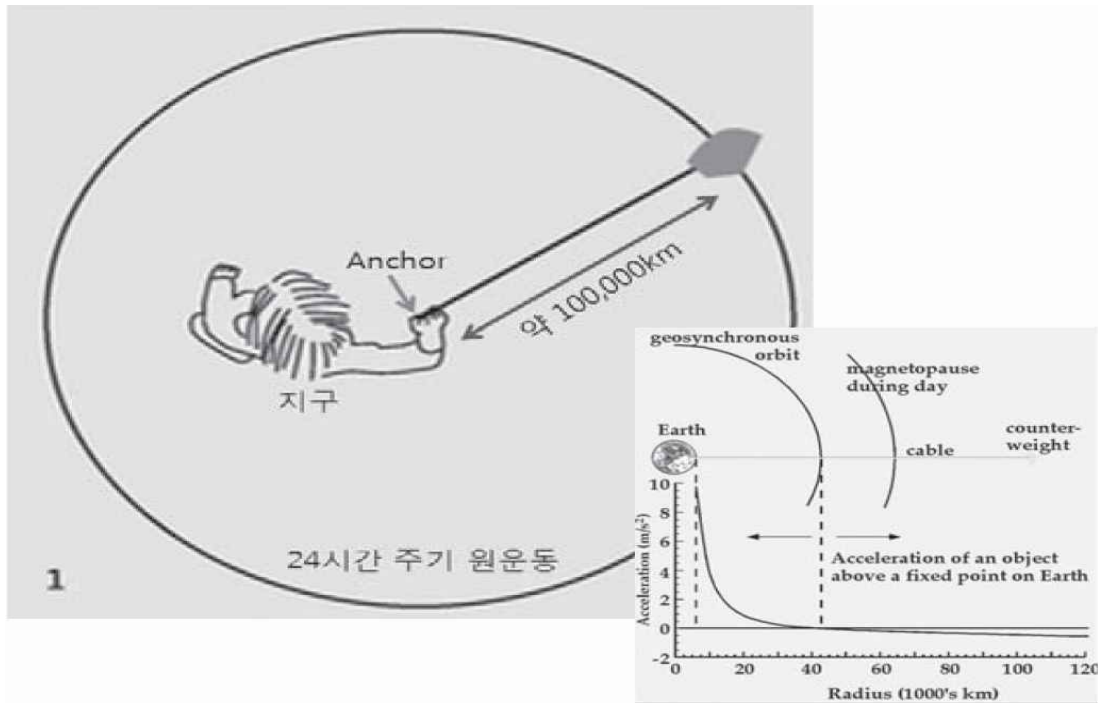


그림 1. Space Elevator의 원리

### 2.2 스페이스 엘리베이터 관련 기술

NASA(미국항공우주국)에서 제안한 스페이스 엘리베이터의 기본개념은 <그림 2>와 같으며, 총 4가지 구성요소로 이루어져 있다. 구성요소는 지상에서 반대편에 원심력을 이용하기 위한 Counter Balance(Counter Weight), 우주공간에서 각종 어플리케이션을 이용할 수 있는 Climber, 수십만km에 대한 자중 및 Climber 등의 무게를 견딜 수 있는 강도를 가진 Nano-tube Cable, 지상에서 케이블을 고정하고 컨트롤 할 수 있는 Base Station으로 구성되어 있다.

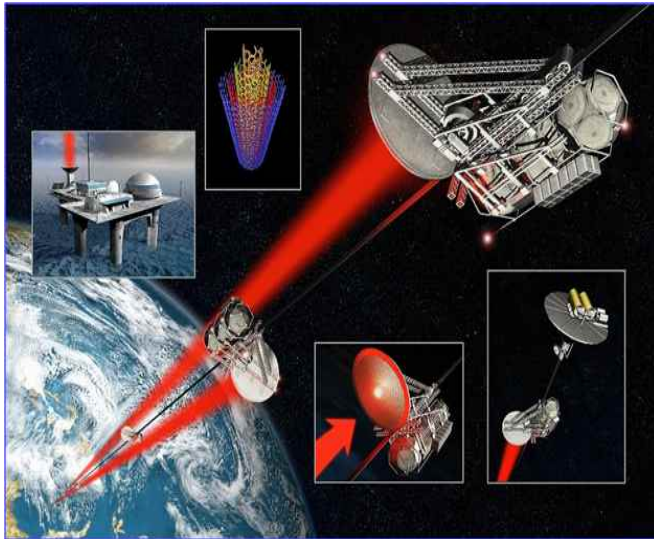


그림 2. Space Elevator의 구성요소 개념도



그림 3. Space Elevator 개념 상세도

### 2.2.1 베이스 & 웨이 스테이션(Base & Way Station)

스페이스 엘리베이터에는 리본을 지구와 연결시키기 위한 지구 플랫폼이 필요하다. 이를 베이스 스테이션이라 하며, 이는 리본이 바깥이나 위로 밀리는 것을 저항할 수 있을 만큼 단단해야 하기 때문에 유동성을 가지고 있는 바다 위에 건설하는 것을 기본으로 하며, 이에 따라 떠 있는 공항, 주거 및 건축 시설과 항구시설을 잠재적으로 지탱할 수 있을 만큼 충분한 크기를 확보하고 있어야 한다. 따라서 베이스 스테이션의 건설을 위해서는 먼저 지구 궤도의 양상을 이해하여 가장 적합한 건설 위치를 찾는 것이 중요하며, 지구 내 기상 변화에도 충분히 견딜 수 있는 해상 건설 기술이 요구된다. 이와 더불어 해상 위에 구조물을 고정시키고 리본에 전해질 수 있는 인장력의 힘을 견딜 수 있도록 지반과 베이스 스테이션을 연결하여 고정시킬 앵커 시스템 기술이 함께 요구된다.

또한 지구의 Base Station과 리본으로 연결된 우주공간 상의 끝점을 Way Station이라 한다. Way Station은 원심력을 이용해 아래로 끌어당기는 중력의 힘과 지구와 떨어져 나가려는 힘의 균형을 맞춰 우주공간 상에 리본을 평평한 상태로 고정 시키는 것이다.

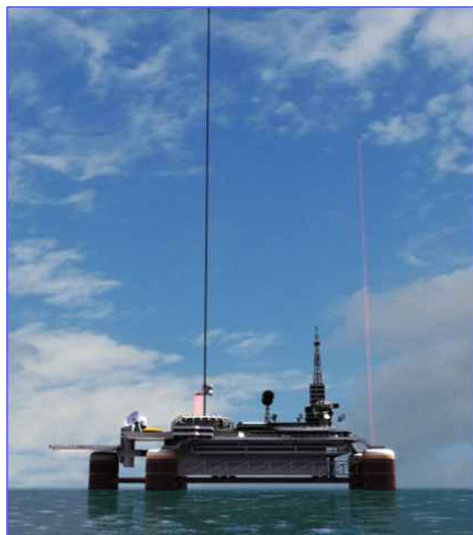


그림 4. Base Station 개념도

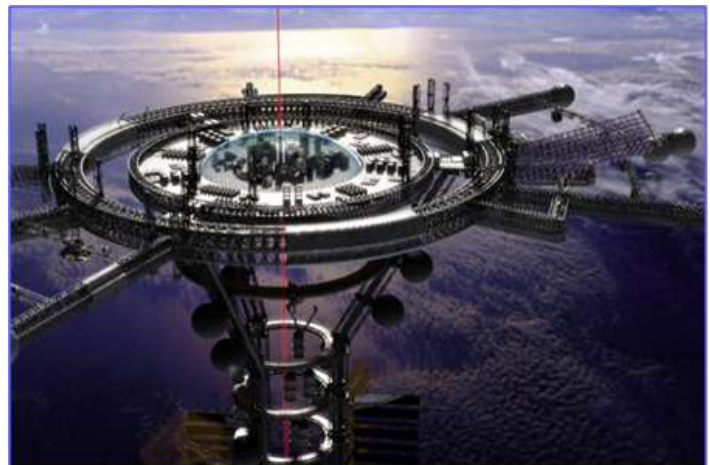


그림 5. Way Station 개념도

### 2.2.2 리본(Ribbon)

스페이스 엘리베이터의 케이블의 경우, 실제 케이블이 아니고 둥글게 말린 밧줄이나 강철과 비슷하며, 일반적으로 케이블보다 두께가 얇고 너비가 넓은 머리끈과 비슷한 형상을 가지고 있다. 이에 따라 스페이스 엘리베이터의 케이블 부분은 리본이라 명명되었다.

스페이스 엘리베이터의 개발에서 가장 중요하고 실현하기 난해하다고 알려진 리본은 약 100,000km의 길이를 구현할 수 있어야 하며 이와 더불어 리본 자체의 자중과 그 위를 타고 다니는 Climber 및 화물의 무게도 견딜 수 있어야 하므로 적절한 강도의 재료가 필요하다. 최근 구리만큼 전기가 잘 통하고 다이아몬드만큼 열전도율이 높으며, 특히 철강보다 100배 높은 강도를 지닌 탄소나노튜브의 개발로 인해 리본의 개발 가능성이 가시화되고 있다.

### 2.2.3 클라이머(Climber)

스페이스 엘리베이터의 핵심이라고 할 수 있는 클라이머는 리본 위를 이동하며 스페이스 엘리베이터의 수송의 목적을 달성할 수 있도록 한다. 클라이머의 형태와 이동방식, 구동력의 구현 등에 대해 많은 연구가 진행되고 있으며, 특히 리본과 클라이머의 연결과 가동 메커니즘은 철도기술과 직접적으로 연관시킬 수 있는 분야이기 때문에 주목할 필요가 있다. 스페이스 엘리베이터 개발국들은 7톤의 자중과 더불어 13톤의 이송능력을 갖추고 시속 200km이상의 속력으로 약 8일에 걸쳐 베이스 스테이션과 웨이스테이션 사이를 이동할 수 있도록 연구를 진행하고 있다.

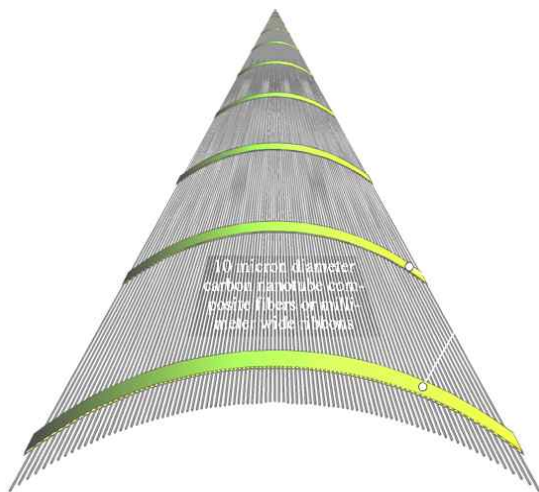


그림 6. Ribbon의 설계 개념도



그림 7. Climber 개념도

## 3. 스페이스 엘리베이터에서 적용 가능한 기술

우주과학기술과 같이 철도기술은 다양한 첨단과학기술 분야가 서로 영향을 끼치며 접목되어 있는데, 차량 바퀴와 차체를 지지하는 대차, 주행 장치, 운행관제와 차량제어를 위한 통신, 제어, 정보, 네트워크 관련 설비, 추진제동장치에 대한 기계, 전기, 전자, 제어, 계측, 컴퓨터, 물리, 소재, 인체 등 여러 과학 및 공학 기술이 정교하게 복합적으로 얽혀 조합되어 있다.

### 3.1 클라이머(Climber)와 트레인(Train)

철도에서의 트레인은 지표 위 수평면을 지나기 때문에 레일과 탈착되지 않게 하는 고정 시스템은 필

요가 없지만 승객을 편안함을 위한 인체공학적 내부 설계, 트레인이 열차를 이탈하지 않도록 하는 레일과 트레인의 연결시스템, 화재방지를 위한 방재시스템, 장거리 운행을 위한 트레인 구동 연료 공급 시스템 등의 기술이 이용되고 있으며 지속적으로 연구개발 되고 있다.

스페이스 엘리베이터의 클라이머는 리본에 설치된 레일을 타고 이동하는데, 클라이머 내부에 화물뿐만 아니라 인명을 탑재하고 이동하는 것이므로 내부 안전성과 함께 인체공학의 분야도 함께 고려되어야 한다. 또한 한정된 무게를 가지고 기상 이변, 외부물체와의 충돌, 우주 방사능, 태양광 등과 같은 외부 충격에 견딜 수 있을 정도의 강도를 확보하여야 하기 때문에 차체를 위한 신소재 분야의 연구도 함께 진행되어야 한다.

### 3.2 리본(Ribbon)과 레일(Rail)

레일의 설치는 다음과 같은 기술이 사용되고 있다. 계절에 따른 온도 변화에 의한 수축·이완으로 레일이 변형되는 것을 방지하기 위한 레일 소재의 개발 및 구간 분리 기술, 장거리 레일 설치의 연속성이 가능하게 하기 위한 기술 등이 활용되고 있다.

스페이스 엘리베이터의 리본 설치의 경우 리본 위 레일을 설치하여 클라이머의 운행이 가능하게 하여야 하는데, 특히 탄소나노튜브를 이용한 리본의 방향을 따라 수직으로 올라가는 클라이머를 레일에 고정시키기 위한 시스템, 100,000km에 다다르는 리본 위를 움직이는 클라이머에 효과적으로 가동력을 전해줄 연료 공급 시스템, 클라이머의 이동에 따른 리본의 진동을 최소화할 수 있는 기술 등의 개발이 필요하며 이는 철도 레일의 설치에 필요한 기술을 적용하여 구현할 수 있을 것으로 보인다.

표 1. 스페이스 엘리베이터에 적용 가능한 철도기술

구 분		필요기술
구 조	차량구조	공기저항감소
		차체 강도 및 경량화
		내부 인체공학적 설계
	리본구조	소음 방지 및 방재 시스템
		레일·차량 간 접촉 역학
		전력 및 연료 공급 시스템
운 영	운행 궤도 선정	
	열차제어시스템	
	통신시스템	
	주행안전성능시스템	
관 리	교통제어시스템	
	유지보수·보강 및 강도평가 장비활용 및 물류체계 수립	

## 4. 결론

본 연구에서는 철도에서 사용되고 있는 기술에 대해 고찰해보고 스페이스 엘리베이터의 개발 요소에서 적용 가능한 기술을 제안하는 것을 목적으로 한다. 우주개발 선진국들이 진행하고 있는 스페이스 엘리베이터 연구개발 동향을 조사하고 클라이머와 리본의 연결 구조 및 가동에서 철도기술의 적용을 고려하는 방안에 대하여 고려하였다. 그러나 스페이스 엘리베이터는 아직 연구가 진행되고 있으며 철도와는 그 가동 범위와 환경이 다르기 때문에 현재 지구상에서 사용되고 있는 철도기술이 있는 그대로 스페이스 엘리베이터 개발에 적용되기는 힘들다. 따라서 철도기술의 세부 분야를 구체적으로 스페이스 엘리베이터 적용 대상으로 정하기보다 구조, 운영, 관리의 세 분야로 나누어 전반적인 철도기술에 대해 서술하고 구분하였다.

스페이스 엘리베이터는 우주를 개발하기 위한 물자 및 인적자원의 수송을 원활히 하기 위한 가장 효율적인 방법이다. 단지 상상으로만 가능했던 스페이스 엘리베이터 계획이 탄소나노튜브의 개발로 가시화되고 있으며 우주개발 선진국들은 연구에 노력을 경주하고 있다. 이에 따라 스페이스 엘리베이터에서 중추적인 역할을 하게 될 클라이머와 리본에 설치될 레일의 개발은 그 중요성을 더해가고 있다.

국내에서는 자체적인 기술개발로 고속철도 시대를 열었으며, 기술의 해외 수출이 활발히 더해가고 있다. 이러한 시점에서 우리가 보유하고 있는 기술을 스페이스 엘리베이터 개발에 적용하여 향후 우리나라가 우주개발에 국제적인 영향력을 갖추는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 교육인적자원부의 두뇌한국21(BK21)사업으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능하게 한 해당 기관에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Bradley C. Edwards and Eureka Scientific, “The Space Elevator”, NIAC Phase II Final Report, 2003.
2. Bradley C. Edwards and Philip Ragan, “Leaving the Planet by Space Elevator”, Published in Seattle WA USA, 2006.
3. P. K. Aravind, “The Physics of The Space Elevator”, Am. J. Phys., Vol.75, No.2, pp.125-130, 2007.
4. 이태식, “우주를 향한 새로운 도전:Space Elevator”, 서울공대, Vol.72, pp.33-35, 2008.