

---

# Global Report

---

## 하이퍼루프 : 개념, 기술 및 사업모델

1. 하이퍼루프의 기원 및 개념
2. 실험 및 개발
3. 하이퍼루프 기술
4. 사업비용 및 사업성 추정
5. 보완이 필요한 안전분야 문제점
6. 결론

## 1. 하이퍼루프의 기원 및 개념

하이퍼루프는 아음속(near supersonic)의 속도, 전용 선로구조물(Guideway)의 이용 및 도시와 도시를 연결하는 교통시스템을 위한 개념이다. 이 시스템은 철도교통과 유사점이 있지만, 바퀴가 달린 차량 대신 캡슐형태의 창문이 없는 객차를 레일 궤도면이 아닌 부분진공 상태의 밀폐된 원형관(tube) 내부에서 운행된다.

Pod라고도 불리는 캡슐은 공기역학적인 외형과 구조로 되어 있으며, 승객과 화물을 도시에서 도시로 운송하는데, 현재의 상업용 항공편 보다 적은 시간이 소요된다. 이 시스템은 몇 개의 Pod이 연결되어 최대속도 1,200km/h 로 운행된다.

Elon Musk 회장이 2013년 제안한 최초의 하이퍼루프 개념은 LA에서 샌프란시스코까지 비행기로 1시간 30분이 걸리는 것을 하이퍼루프로 35분으로 단축하기 위해, 밀폐된 Pod를 고압기체에 의해 부상시킨 후(공기쿠션) 선형 유도모터 또는 공기 압축장치를 이용하여 운행하는 개념이었다. 하지만 현재의 설계개념은 공기부상 시스템이 아닌 간접(passive) 자기부상 시스템에 중점을 두고 있다. Pod는 부분진공(대기압의 1/1,000 수준)의 원형관내에서 운행되게 되는데, 이 원형관은 Pod 보다 상당히 큰 직경을 갖는다.

## 2. 시험과 개발

### 2.1 초기시험과 Pod 경쟁공모

2016년 5월 11일 “Hyperloop One” 상업투자사(Commercial Venture)는 네바다 사막에서 실제 주행시험을 시행하였다. 선형가속장치를 사용하여 소규모의 썰매차량(Sled)을 추진하여 약 187km/h 의 속도를 기록하였다. 이 실험은 잠재적 투자자들에게 추진시스템을 시연하기 위해 수행되었다.

“SpaceX”는 비록 상업투자사를 지향하지는 않지만 경쟁공모를 주최하여 기술의 발전을 도모하고 있다. 2016년에 Pod 경쟁공모에 대한 2개의 대단히 중요한 일정(Phase)이 발표되었다. 이는 2016년 1월에 MIT에서 열린 설계경쟁대회와 2017년 1월 27일~29일 개최된 실 주행(on-track) 공모경쟁이다. 이 공모전에서는 전 세계 115개 팀들이 공모작을 출품하여 30개의 작품이 선정되었고, 이들 선정된 작품들로 시험 Pod를 제작하여 하이퍼루프 시험노선에서 경쟁하게 된다. 주요 심사항목은 다음과 같다.

- 최종설계 및 시공
- 안전과 신뢰성
- 운영 실적
- 비행 실적

2016년 두바이에서도 2일에 걸친 하이퍼루프 경진대회를 개최하였는데, 여기서 “Hyperloop

One”에서는 아부다비와 도하를 연결하는 과감한 해저 교통시스템 건설계획을 전시하였다. 프랑스의 한 컨소시엄(Mobius)에서는 아부다비와 도하를 단 22분 만에 주파하는 수중 시스템을 제안하였다. 이 팀의 제안내용에 대해 두바이 정부는 2020년 사업추진 가능성 평가기준 측면에서 안전, 효율성 및 지속가능성을 기준으로 최고상을 수여하였다.

## 2.2 주요 상업 투자사들

하이퍼루프 시스템을 상업화하려고 시도하는 상업 투자사들에는 미국에서 주도하는 “Hyperloop One”, 스위스와 미국의 “HYPERLOOP”, 캐나다의 “TRANSPOD” 등이 있다.

## 2.3 주요 비 상업 투자사들

미국과 인도의 “SpaceX”, 중국의 “CHINA” 등이 있다.

## 2.4 세계 여러 나라 정부의 관심

세계의 많은 국가의 정부에서 하이퍼루프 시스템에 대한 타당성 연구를 주관하여 이 분야에 대한 증대되는 관심을 표시하였다.

- 1) **인도** : 인도의 통합교통부 장관인 Nitin Gadkari 는 시범사업의 시험주행을 위해 “SpaceX”에 서쪽방향의 Pune 우회도로를 제공하였다.
- 2) **두바이** : Jebel Ali 항구에 건설하는 화물수송 하이퍼루프 제안과 더불어 두바이 정부는 “Hyperloop One”과 협업하여 두바이와 아부다비간의 노선을 검토하고 있다.
- 3) **미국** : “Hyperloop One”은 샌프란시스코와 LA를 연결하는 노선 건설계획을 수립하고 있으며 이를 위해 미국정부와 논의중이다.
- 4) **슬로바키아** : “하이퍼루프 트랜스포테이션 테크놀로지(HTT, Hyperloop Transportation Technologies)”는 슬로바키아 정부와 비엔나와 Bratislava 및 부다페스트를 연결하는 사업에 서명하였다.
- 5) **러시아** : “Hyperloop One”은 러시아 교통기반시설 개발회사인 Sunna 그룹과 계약을 체결하고 모스크바 지하철 통합 시스템개발과 러시아의 장거리 교통시스템을 제공하는 사업을 추진하고 있다.
- 6) **캐나다** : 정부는 토론토와 몬트리올을 하이퍼루프로 연결하는 사업에 대해 “TRANSPOD” 투자사와 협의하고 있다.
- 7) **스웨덴과 핀란드** : “Hyperloop One”은 해당정부와 헬싱키~스톡홀름간 연결노선에 대한 협의를 진행하고 있다.
- 8) **중국** : 중국의 과학자들은 초고속 진공 교통시스템의 기반이 되는 실험적 기술들에 대한 군사적 개발에 관심을 보이고 있다.
- 9) **한국** : 한국의 철도기술 연구원(KRRI)은 서울과 부산을 30분(200마일) 만에 주파하는

Hyper-Tube 사업을 계획하고 있다. 향후 3년동안 KRRI와 파트너들은 비교적 느린 속도인 620mph (기존 하이퍼루프는 760mph)을 목표로 16인승 진공튜브 Pod를 연구할 예정이다.

### 3. 하이퍼루프 기술

#### 3.1 하위 시스템들에 대한 개요

하이퍼루프 시스템은 원형(Tubular)의 기반시설물, 수송Pod, Pod부상 시스템 및 추진/제동시스템 등으로 구성된다.

##### 1) 추진

하이퍼루프의 개념설계에서는 선형 유도모터 기술을 1차적인 추진동력으로 계획하였다. 선형유도모터는 회전운동을 유발하는 전기유도 모터로서 지난 30년 동안 다양한 분야에서 사용되어 왔으며 자기부상 열차에서도 일부 개념이 적용되었다.

이 시스템은 물리적 접촉이 없다는 점, 초기 부상력의 제공, 조작의 용이성 등으로 인해 하이퍼루프 추진방식으로는 최적의 것으로 여겨졌다. 또한 하이퍼루프의 개념설계에서는 이러한 선형유도모터의 보완기술로서 회생제동 시스템의 적용을 고려하고 있지만, 이 두 기술은 아직 실제로 같이 적용된 사례는 없다.

##### 2) 부상(Levitation)

부상 시스템만을 고려할 경우, 자기부상 기술에서는 현재 최초에 제안된 공기 부상(air bearing) 방식이 선호되고 있다. 자기부상 기술은 철도부문에서 많은 실험과 적용사례를 가지고 있다. 하지만 이러한 부상기술의 적용을 위해서는 고성능의 전자기력 또는 초저온 전자기력 등을 사용해야 하므로 하이퍼루프 시스템에 적용하기에는 상당한 비용부담이 된다. 비용절감을 위해서 보다 저렴한 유도트랙(inductrack) 자기부상 기술이 개발되었는데, 이 기술은 궤도 내에서 영구자석을 할박배열(Hallbach Array, 영구자석을 특별한 방법으로 배열하는 방식)로 부착하여 외부 전원이 불필요하도록 한다. 하지만 이 기술 역시 현재까지는 실험단계이다.

##### 3) Pod

현재 하이퍼루프 상업 투자사들은 화물 Pod 개발에 집중하고 있으며, 그 이후에 여객 Pod를 개발하게 될 것이다. Pod 모델의 크기는 여행의 형태와 그 목적에 따라 크기가 변하게 된다.

##### 4) 기반시설물 (인프라)

하이퍼루프는 폐쇄형태의 노선을 부분진공상태로 운행하게 되며, Pod의 정거장 진입 및 가압을 위한 소규모 분기점(outlet)이 설치된다.

이 하이퍼루프 궤도 기반시설에는 2가지 방식이 제안되고 있다. 그 첫 번째인 수중 궤도구조는 터널 내부의 공기로 인한 부력으로 지지구조물의 하중을 경감시키는 작용을 하게 된다. 그러나 현행 수중 터널은 내부의 낮은 압력을 견디지 못하는데, 이는 터널 주위의 수압으로 인한 응력을 더 악화시키는 작용을 한다. 이러한 이유로 인하여 현재는 비(非) 수중 구조설계 형태를 개념설계 단계를 넘어 구체화하고 있다.

두 번째는 지상지하 터널구조물로서, 보다 현실적 해결방안이다. 부분진공 튜브구조는 교각과 받침구조에 의해 지지되며 이러한 구조는 지진에 의해 야기되는 동적 거동에 대해서도 효율적으로 저항한다. 이러한 튜브구조는 다수의 신축이음에 설치되어 강재구조의 열팽창에 대응하도록 한다.



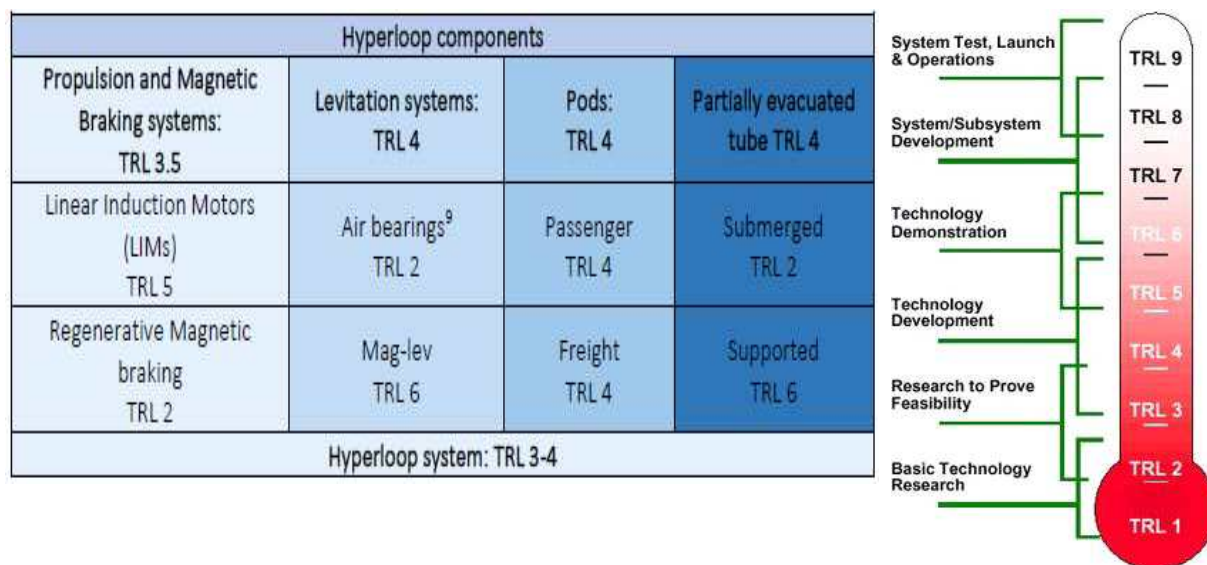
< 그림 1. 수중 “Hyperloop One” 개념 설계 전경 >



< 그림 2. 지상지하 하이퍼루프 시험선로 >

### 3.2 하이퍼루프 시스템의 기술적 준비단계

하이퍼루프 시스템의 각 부분에 대한 기술적 준비단계(TRL)을 기술적 준비가 낮은 단계부터 높은 단계까지 1~9단계로 구분하여 나타내면 다음과 같다.



위 표를 추론하자면 아래와 같다.

### 1) 선형 유도모터 추진 시스템(TRL 5단계)

선형 유도모터는 저속 자기부상 열차 및 롤러코스터 등 유사분야에서 상업적으로 30년 이상 사용되었다. 따라서 이 기술은 하이퍼루프 시스템의 운전환경에 적용사례가 없더라도 TRL 6 단계 까지도 가능한 것으로 보고 있다.

### 2) 회생 자기제동기술(TRL 2)

철도와 트램에서는 전자기적 회생제동 시스템을 활용하여 적용하고 있지만, 이 두 교통수단에서는 모두 견인모터(Tractive Motor)를 추진력으로 사용하고 있다. 따라서 선형유도모터(LIM)를 이용한 제동시스템은 아직 연구개발 단계이다.

### 3) 고속철도 시스템에 사용되는 공기 부양(Air bearing) 시스템 (TRL 2)

공기 부양 시스템은 하이퍼루프의 부상 Pod와 연관된 기능으로 적용된 사례가 없다. 현재 산업계에서 유일하게 사용되고 있는 시스템은 윤활(Lubrication)시스템에 대해 대한 적용이며, 이러한 적용방식에서는 하이퍼루프 시스템에 비해 매우 광범위한 여러 가지 설계기준이 적용된다. 더욱이, 공기 부양 시스템은 주요 하이퍼루프 개발자들에게서 부상장치로는 부적합한 것으로 판단되어 채택되지 않았다.

### 4) 자기부상 (TRL 6)

전형적인 자기부상 시스템은 거의 40년 이상 상업적으로 사용되어 왔다. 그러나 이 시스템들은 EDS(Electrodynamic system, 전기동역학적 부상, 척력) 또는 EMS(Electromagnetic system, 전자기적 부상, 인력)변형시스템을 사용한다. 아직까지는 운송장치를 부상시키기 위해 영구자석의 할박배열(Hallbach array)을 적용한 성공적인 상업적 투자사는 없었다.

### 5) 여객/화물 Pod (TRL 4)

Pod 시스템은 현재 축소모형 개발단계에 밖에 이르지 못했다. 적재물을 태우지 못하고 일부 기본적 시스템만 탑재한 축소모형으로도 목표속도인 시속 760마일에 한참 못 미치는 시속 58

마일을 시험주행 하였다.

#### 6) 수중 궤도(TRL 2)

아직까지 수중궤도는 건설사례가 없다. 비록 많은 제안서는 제출되었지만 부분진공상태의 터널 구조에서 그 내부에 시속 760마일의 속도로 Pod가 이동하는 구조물을 수중에 가설하는 것은 대단한 기술적 난제이며, 이에 대한 예비(Preliminary)타당성 연구가 아직 완료되지 않았다.

#### 7) 지상궤도 구조물(TRL 6)

부분 진공튜브는 산업계에서 짧은 거리에 소규모 화물을 운송하는데 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 하이퍼루프 시스템에서 요구하는 규모(최초제안서에서는 300km의 튜브구조를 제안)에 근접한 시험구조물은 아직 건설사례가 없다.

이론적으로는 진공펌프, 용접기밀 강재튜브, 정확한 선형의 유지 및 지진등과 같은 환경적 영향을 저감시키는 받침장치 등 지상궤도구조에 필요한 모든 부분들은 이미 개발되었다. 다만 이러한 개별적 부품들을 종합적으로 운용하는 시험은 아직 수행된 사례가 없다.

#### 8) 하이퍼루프 전체 시스템(TRL 3~4)

전체 각 부분들의 TRL 평균치로 판단할 수 있다.

### 4. 추정 공사비 및 사업성 검토

#### 4.1 추정 공사비 검토

Elon Musk의 백서에서는 샌프란시스코~LA간 하이퍼루프의 건설비용이 여객철도만의 경우 약 60억 달러(1,700만 달러/마일)로서 캘리포니아 고속철도의 건설비용인 684억 달러에 비해 1/10 밖에 되지 않는다. Musk는 이 60억 달러의 건설비용을 20년간 충당하기 위해서는 7,400만 명을 운송해야 하고, 편도운임은 20달러가 필요하다고 추정하였다.

하지만 “Hyperloop One”에서는 그 보다 높은 마일 당 2,500만~2,700만 달러가(부지소용비용 제외) 소요된다고 주장하였다. 비교를 위해 캘리포니아 고속철도는 마일 당 6,300만~6,500만 달러가 소요되고, 유럽의 고속철도는 비록 부지소용비용이 포함되어 있지만, 마일 당 4,300만 달러가 필요한 것으로 조사되었다.

“Hyperloop One”에서는 마일 당 차량가격을 포함해서 6,400만 달러가 소요될 것으로 제시하였다. Ivey Business review에서 수행한 좀 더 자세한 비용분석 결과는 샌프란시스코~LA간의 하이퍼루프 건설에는 60억 달러가 아닌 100억 달러가 소요되는 것으로 나타났다.

< 표 1. 샌프란시스코~LA간의 하이퍼루프 건설비용 비교 >

| 비 용<br>(백만달러) | Elon Musk | Ivey Business<br>Review - 하한치 | Ivey Business<br>Review - 상한치 | 비 고 |
|---------------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-----|
| 캡슐장치          | 54        | 147                           | 159                           | -   |

|          |       |       |       |                     |
|----------|-------|-------|-------|---------------------|
| 튜브       | 650   | 1,650 | 2,480 | 709.2 마일            |
| 교각구조물    | 2,550 | 2,049 | 2,697 | 25,000 개소           |
| 부지매입/인허가 | 1,000 | 117   | 630   | -                   |
| 터널       | 600   | 468   | 1,052 | 15.2 마일             |
| 추진시스템    | 140   | 140   | 175   | -                   |
| 태양열/배터리  | 210   | 290   | 530   | 양쪽 튜브에 태양열<br>패널 설치 |
| 정거장/진공펌프 | 260   | 760   | 1,010 | 2 개소                |
| 매출총이익    | 536   | 300   | 500   | -                   |
| 계        | 6,000 | 6,093 | 9,797 | -                   |

## 4.2 운임 및 운영비용

운임에 대해서는 회사마다 그 추정치가 모두 다르지만, 그 차이는 크지 않다. Elon Musk의 2013 백서에서는 샌프란시스코~LA 간 요금을 20달러로 책정하면 운영비용을 총당할 수 있다고 하였으나, 최근의 HTT에 의해 산출된 금액은 30달러에 달한다. 하지만 이러한 운임은 비슷한 거리에 대한 교통비용으로는 가장 저렴한 수치이다.

자본비용, 운영비용 및 건설비용 초과 가능성 등을 감안할 때, 최종 운영 시 이 구간에 대한 하이퍼루프 운임은 60~100달러가 적절할 것으로 판단된다. 이러한 수치는 Musk의 추정치 보다 3~5배 높은 수치이다. 그러나 최종운임은 이용자 수요, 다른 교통수단 대비 Hyperloop의 가치에 따라 결정될 것이다.

## 5, 기술적 및 안전관련 해결해야 될 문제점들

### 5.1 기술적 문제점

#### 1) 열 발산

하이퍼루프의 캡슐은 대기압의 1/1,000 정도의 부분진공 튜브 내를 운행한다. 이 상황은 얼핏 튜브내의 공기는 무시할 만한 수준처럼 보이나, 튜브안의 캡슐이 시속 760 마일로 이동할 때는 대단히 중요한 문제가 된다. 튜브 내에서 캡슐과 공기사이의 마찰력으로 인해 발생하는 열은 대단히 커서 캡슐자체 뿐만 아니라 연관 장치들의 손상을 야기할 수 있다.

이러한 부작용은 튜브 내부가 부분진공 상태이기 때문에 더 악화되는데, 그 이유는 발생한 열이 캡슐 외부로 전달이 되지 않고, 보다 효율이 떨어지는 복사열(radiation) 형태도 밖에 전이되지 않기 때문이다.

## 2) 자연재해에 대한 취약성

하이퍼루프 궤도를 지지하는 교각구조물은 지진을 저항하도록 가설된다.

상당규모의 지진발생시 하이퍼루프 캡슐은 강제적으로 기계적 긴급 제동시스템을 원격으로 작동시켜야 할 것이다.

## 3) 궤도의 신축이음 장치

온도에 의한 팽창은 예전부터 대형 구조물의 문제점이었다. Musk의 백서에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 슬립(Slip)이음을 고려하고 있지만, 많은 기술적 문제점들이 상존하고 있다. 강제로 가설되는 궤도가 샌프란시스코에서 LA 까지 가설된다면, 일반적인 강재의 열팽창계수를 적용하고 온도변화 범위를 0도에서 40도로 설정하면 궤도에 발생하는 온도변화에 의한 팽창 길이는 300m 에 달하게 된다.

슬립 이음부를 정거장에 설치할 수도 있을 것이다. 하지만 이는 신축이음부와 정거장이 300m 에 달하는 길이를 가동이 가능하게 해야 한다는 의미이다. 또 다른 대안은 이러한 가동여유지점을 점진적으로, 예를 들어 10m 간격으로 분산시키는 방법이다. 하지만 이는 전체 궤도에 6,000개소의 신축이음 장치와 기밀유지 씰링처리부(Seal)가 생기게 되어 시스템 내에 너무 많은 파괴가능 지점이 발생되게 된다.

마지막으로 백서에서는 튜브의 상면과 하면의 온도차이로 인한 좌굴응력에 의한 언급이 없다. 일조량이 많은 지역에서 하이퍼루프가 가설되면 튜브의 상면은 튜브의 하면보다 팽창량이 크게 된다. 이 현상은 튜브의 단면형상을 원형에서 버섯모양으로 변형시키게 된다. 이 현상은 튜브자체의 구조적 균질성에 영향을 미칠 뿐 아니라, Pod의 부드러운 이동을 가능하게 하는 내부 장치들에게도 영향을 미쳐서 Pod와 튜브간의 접촉을 발생시킬 수도 있다.

## 4) 불확실한 구조해석 시뮬레이션

Musk의 백서에서는 샌프란시스코~LA 간 노선의 FEM 해석결과가 제시되었는데 판단가능한 수치가 제공되지 않았다.

첫 번째로 이 해석은 단순히 3경간의 궤도구조에 대해서만 다루고 있는데, 백서에서 제시한 것처럼 전 구간을 단일 용접구조로 가설할 경우 전체 구조계의 거동은 이러한 3경간 구조와는 완전히 다른 양상을 보일 것이다.

둘째, 현재의 소프트웨어와 컴퓨터 성능의 한계로 인해 350마일 전체 구조계에 대한 FEM해석은 거의 불가능하다.

## 5) 시험주행 궤도의 정확도

하이퍼루프 시스템의 또 다른 중요 이슈는 속도와 크기문제이다. 이 하이퍼루프 기술에 대해 모든 필요기능들을 시험하여 안전성을 검증하기 위해서는 시험체를 어떻게 제작해야 하는지

불분명하다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 것이 “SpaceX”에서 주최한 Pod 경쟁공모이다. 하지만 1~5마일의 시험트랙은 실제 하이퍼루프에서 발생할 수 있는 모든 문제점을 보여주지 못했다.

한 가지 대안으로 HTT(Hyperloop Transportation Technology)에서 제안한 화물전용의 실물 상업 노선 시스템의 건설이다. 이러한 시스템에서는 모든 시스템 성능을 시험하고, 최적화를 수행하고, 자료입수 등을 위험에 노출되지 않는 상태에서 확보가 가능하다. 이 시스템이 최고속도에 도달하고 감속하기 위해서는 23.61마일이 필요하고 부드러운 운행을 보장하기 위해서는 74.56마일이 필요하다.

## 5.2 안전문제

### 1) 탑승 승객의 비상시 대피방안

비상시 대피에 대해서 Musk는 탈출개폐문을 제시하였으나 이는 불필요할뿐더러, 과도한 공기가 튜브내로 유입되게 할 가능성이 있다. 아직 이 부분에 대해서는 충분히 검토된 내용이 없다.

### 2) 시스템 고장으로 인한 캡슐 감속

제안된 하이퍼루프 시스템은 평균적으로 2분에 한 대의 Pod가 출발하도록 되어 있고, 침투 시간대에는 이 간격이 30초로 단축되는데, 이러한 의미는 최대 70대의 Pod가 샌프란시스코~LA 간 노선에 동시에 존재하게 된다는 것을 의미한다. 하지만 만일 1대의 캡슐이 정지할 필요가 생기고 그 뒤 캡슐의 제동장치가 고장이 발생할 경우, 대단히 심각한 안전성 문제가 야기되는데, 왜냐하면 이들 캡슐은 최대속도에서 2분 동안에 23마일을 주파하기 때문이다.

### 3) 캡슐 감압

승객들은 Hyperloop의 사고 또는 고장 발생 시 안전모니터링 시스템에 의해 재가압이 이루어지지 않으면 객차내의 감압 위험성에 직면하게 된다. 하지만 이 캡슐은 지표면 위에서 운행되기 때문에 비상가압은 즉시 밸브개방 등으로 확보가 가능하다. 하지만 튜브의 압력은 지표상의 압력에 비해 1,000배 정도로 커서 일반적 상업항공기보다 오히려 우주공간 환경과 유사하다. 따라서 이러한 감압으로 인한 심각한 저산소증(Hypoxia)과 트라우마를 피하기 위해 공군조종사들이 사용하는 비상조치들로는 부족하다.

### 4) 환경적 재해

제안된 샌프란시스코~LA 노선은 많은 지진과 소규모 지반활동이 예상되는 지역이므로 교각을 비롯한 기반시설물들은 이에 대비한 설계가 수행되어야 한다.

Musk는 전체 튜브시스템에 대해 교각에 댐퍼를 설치하여 진동하중과 소규모 온도신축에 대비한다고 하였다. 하지만 현재 이러한 댐퍼는 타당치 않는 것으로 파악된다.

또 다른 우려는 트랙 기반시설물에 대한 풍하중 영향이다, 지상 100ft 이상의 구조물들은 다양한 풍하중을 받게 되는데 이는 예측 불가능하고 방향성이 없다. 궤도는 원칙적으로 수백 마일에 걸쳐진 대형구조물로서 돛과 같은 역할을 한다. 이러한 문제는 실린더 구조에 작용하는 공

기흐름 문제와 유사한데, 이러한 모델은 아직까지 구현된 사례가 없다.

### 5.3 사고의 심각성

완벽하게 사고를 예방할 수 있는 시스템을 구축하는 것은 여러 가지 요소로 인해 불가능하다. 강재와 콘크리트 보는 취약부가 존재하고, 제어 소프트웨어는 오류를 함유하고 있으며, 시공회사는 최종 설계기준에 부합시키지 못할 수도 있는 동시에, 설계자도 설계오류를 범할 수 있다. 하이퍼루프도 1개의 Pod가 최대속도로 운행할 경우의 운동에너지를 고려해 보면, 만일 안전장치 고장이 발생하여 충돌 시 그 분출에너지는 엄청난 크기이다. Pod의 중량을 3.1~6.2ton 으로 가정하고, 28~100명의 승객 몸무게를 각각 80kg 으로 가정하면, 이동 중 Pod의 전체중량은 5.34~14.2 ton 이 되며, 운행속도가 시속760마일이라고 하면, 전체 시스템의 운동에너지는 3.1~8.2억Jule 이 된다. 이러한 에너지는 75~200kg의 TNT 폭발과 맞먹는 에너지이다. 이러한 문제점이 고속도로와 주거지역을 통과하는 하이퍼루프 시스템의 개발계획에 대한 신뢰도를 심각하게 저하시킨다.

## 6. 결론

하이퍼루프 시스템은 도로, 항공, 철도 및 해상교통 다음으로 제5 번째 형식의 교통수단으로 제안되었다. Elon Musk회장의 테슬라 전기자동차와 SpaceX 프로그램의 성공은 하이퍼루프 사업모델에 신뢰성을 부여하였다. 많은 국가에서 정부차원의 타당성 검토를 추진하고 있으며, 이 사업에 대한 관심의 증대를 표명하고 있다.

하이퍼루프 시스템은 애초에 캘리포니아 고속철도의 1/10의 비용으로 보다 빠른 여행시간을 확보하는 것으로 발표하였다. 하이퍼루프의 가장 중요한 가치는 저렴한 초기투자비로 인해 상업항공 및 고속철도에 비해 적은 비용으로 빠른 속도의 교통수단을 제공하는데 있다. 하지만 본 보고서에서 검토한 연구결과에 의하면 발표된 건설 및 운영비용은 최소 1/2~1/3 정도로 과소산정된 것으로 파악되었다. 비용부문 이외에 기술적인 부문도 상당한 의구심을 야기하고 있다. 시속 700마일 이상의 속도는 현존하는 모든 교통수단을 압도한다. 하지만 이러한 하이퍼루프 기술이 대규모의 종합적 시스템 차원에서 성공적으로 구현된다는 보장은 아무데도 없다.

마지막으로 많은 미 검토된 기술, 운영 및 안전문제들은 향후 10년 내에 여객용 하이퍼루프 시스템 준비에 차질을 주고 있다. 제안된 최초 노선의 운행일 2020년은 따라서 너무나 낙관적인 것으로 판단된다.