튜브운송기술 사례연구를 통한 달 토양 운송시스템 적용방안

Case Study on Tube Transportation Systems for Lunar Regolith Transportation System

탁준우† 장병철* 구자경** 김영현** 이태식***

Jun Woo Tak Byung Chul Chang Ja Kyung Koo Jeong Hyun Kim Tai Sik Lee

ABSTRACT

Study of Lunar exploration is progressed and manned lunar exploration is planned. In order to explore in Lunar, we need habitat to stay for a long time and system that mine, classify and transport materials. Lunar has dust that is very light-tiny. That is on the air for a long time so there are problems to adject transportation system such as vehicle.

However, it can solve the problem to use pipe transportation system. This transportation system help materials move continually and is more effective than other transportation system such as train or vehicle. For those positive points, some experts studied about tube transportation systems. I introduce these system and find out factors that can be used in Lunar regolith transportation system. I suggest Lunar regolith transportation system, using the factors.

1. 서론

1.1 연구의 필요성

우리나라는 지금으로부터 약 110년 전인 1899년 경인선 개통을 시작으로 철도기술이 발전을 하여 현재는 순수기술로 고속철도를 개발하여 해외 수출을 선진국과 경쟁하는 철도강국이 되었다. 보다 수준 높은 철도강국이 되기 위해서는 색다른 관점에서 미래 운송, 교통수단의 예측이 필요하고 그에 따른 기술개발을 할 필요가 있다.

2000년 이후 전 세계의 우주탐사 R&D 투자는 지속적으로 증가하고 있으며 우주개발 선진국들은 2025년 경 유인 달탐사를 위한 달 전초기지를 세울 목표를 갖고 계획 및 시나리오를 세워 연구를 진행하고 있다. 게다가 달 기지 건설 및 유인 달탐사를 위한 연구는 보다 활성화될 것으로 예측되어 우리나라도 이에 대한 연구 및 투자가 하루빨리 활성화되어야 향후 달탐사 및 자원채취 경쟁에 동참할 수 있다.

유인 달탐사를 위해서는 달에서의 인간 거주를 위한 거주지, 연구시설, 장비 보호시설 등

† 비회원, 한양대학교 건설환경공학과, 석사과정
E-mail : tjw@hanyang.ac.kr
TEL : (031)400-4108 FAX : (031)418-2974
* 비회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정, 공학석사
** 비회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료, 공학석사
*** 정회원, 한양대학교 건설환경공학과. 교수

의 건설이 필요하며 우주선 착륙장, 도로, 자원 채취를 위해 많은 양의 달 토양 굴착 및 운송이 요구된다. 특히 우주선의 부피, 운송무게의 한계 때문에 지구에서 달로 자재 운반시 kg 당 5000만원~1억원 가량이 운송비용이 소요되어 대부분의 달탐사 계획은 달의 자원을 활용한 In-Situ Resource Utilization(ISRU)로 계획되어 있다. 이에 따라 달 토양에 내재되어 있는 자원의 채취 및 가공을 위해 많은 양의 토양이 굴착되고 플랜트로 운반되어야 하나 로보를 통한 운송에는 미세먼지 발생, 로버 운송중량의 제약 등의 많은 한계점을 드러내고 있다.

1.2 연구의 범위와 방법

달의 환경은 지구와는 많이 다르고 건설 및 운송에 대한 경험이 없기에 달 환경을 고려하여 지구 운송 시스템으로부터의 발상의 전환이 필요하며 신개념의 시스템 개발이 필요하다. 진공, 미세먼지, 저중력, 자원의 한계에 따른 자원의 재사용성, 자원 채취 및 가공에 적합한 미세입자의 달 토양 운반, 에너지 한계 등을 고려하였을 때 튜브 혹은 파이프를 이용한 운송시스템이 가장 적합할 것으로 판단된다. 이는 철도산업계에서 미래교통수단으로 주목하고 있는 튜브운송기술과 개념 등에서 많은 부분 유사하다. 따라서 본 연구에서는 현재까지 연구된 튜브운송기술들을 살펴보고 달 환경에 적합한 달 토양 운송시스템을 제안하고자 한다.

2. 튜브운송기술의 정의와 종류

2.1 튜브운송기술의 정의

튜브운송기술은 튜브로 구성된 파이프 네트워크를 구축한 뒤 표준화된 캡슐에 의한 화물 및 여객 운송과 캡슐 이동을 하는 기술로서 기존의 운송수단과 비교하여 효율성, 편의성 및 안정성이 높은 것으로 연구되고 있다. 이 튜브운송기술은 아직 초기 단계로서 세계적으로 상용화가 된 사례가 없다. 하지만 이 기술의 기술력과 효율성에서 상당한 만큼 여러 나라에서 기술 개발을 하고 있다.

2.2 TubExpress

TubExpress는 1968년부터 공압의 파이프라인과 캡슐을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 개발을 시작하였다. 이 시스템은 하나의 파이프라인에 무겁고 많은 화물을 한 번에 수송할 수 있게 고안되었다. 하지만 이 시스템은 밸브와 에어락을 이용하여 제어가 가능하지만 쉽지가 않고, 한 번 캡슐이 정류장에서 이탈하게 되면 공기를 가속시킨 에너지의 손실을 가져오게 된다.

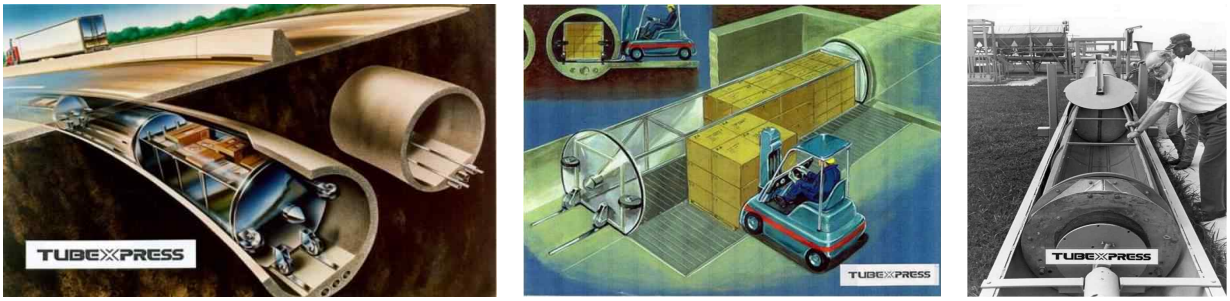

그림 1 TubExpress의 모식도 및 개발모형

그러나 Tubexpress에는 기존의 운송시스템에 비해 몇 가지 장점이 있다. 첫째, 지하에서 화물의 운송이 가능하도록 고안되었으므로, 화물의 운송 시 발생할 수 있는 인명 및 재산 피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 둘째, 공압으로 화물이 운송되기 때문에 기존 도로에 걸리는 과부하를 줄일 수 있으며 여기에 발생할 유지보수 비용을 줄일 수 있다. 셋째, 캡슐을 이동시키는 데 필요한 에너지는 같은 용량의 화물을 운송시키는 트럭에 이용되는 에너지의 1/3밖에 되지 않아 경제적인 운송시스템으로 평가받았다.

2.2 CargoCap

CargoCap은 지하공간을 활용하여 도시간의 화물을 운송하기 위해 고안된 물류시스템이다. 이 시스템은 지상의 운송수단에 영향을 주지 않으면서 Euro-pallets이라는 규격의 화물을 캡슐에 적재하기 때문에 효율적으로 화물을 운송할 수 있다. 또한 이 시스템은 기존 도로가 수용하던 화물수송 부분의 비율을 크게 줄일 수 있을 것으로 예상되며, 화물수송으로 발생했던 교통 혼잡을 개선시킬 수 있는 것으로 평가되었다.

그림 2 CargoCap의 모식도

2.3 ET3 (Evacuated Tube Transportation Technology)

ET3는 진공튜브 기술을 이용한 초고속 운송시스템으로서 튜브내의 공기저항을 줄임으로서 운송체의 속도를 증가시키는 시스템이다. 연구된 바에 의하면 튜브 내의 공기저항을 0로 만들면 350mph에서 4000mph까지 속도를 낼 수 있는 것으로 나타났다. 이 시스템은 튜브 직경을 작게 하여 개인뿐만 아니라 화물까지 수송할 수 있도록 고안되었으며, 이 시스템은 도시 내의 단거리 운송에서부터 장거리 운송이 가능하며, 노선에 따라서 지하 및 지상에도 건설이 가능하다.

그림 3 ET3의 모식도

2.4 Flextaxi

Flextaxi는 화물 운송을 위해서 소개된 다른 튜브운송시스템과는 달리 여객운송을 위해서 고안된 운송시스템이다. 이 시스템은 개인이나 소규모의 물품을 목적지까지 안전하게 보내기 위해 튜브 추적 개념을 도입하여 따라서 개인이나 물품의 이송정보(승・하차, 정차)등을 알 수 있게 하였다. 또한 Flextaxi는 압축공기를 사용하여 차량을 출발, 정지시키며 운행한다.

그림 4 Flextaxi의 모식도

2.5 Tubeway

Tubeway는 압축공기와 흡입공기를 같이 이용하고 광전지 기술을 도입하여 보다 환경적이며 효율인 시스템이다. Tubeway에 사용된 튜브는 현재의 수송시스템의 연장선에 투명한 튜브를 올린 것과 비슷한 것으로, 튜브 안에서 차량이 자동 제어되어 여객이나 화물을 운송한다.

특징으로, 낮은 자체 하중을 가지고 있으며 공압기술을 이용하여 보다 효율적인 운송시스템을 구현하고 있다. 또한 기상조건과 상관없이 Tubeway를 구동할 수 있으며, 낮은 마찰계수로 인한 높은 에너지 효율을 얻을 수 있다.

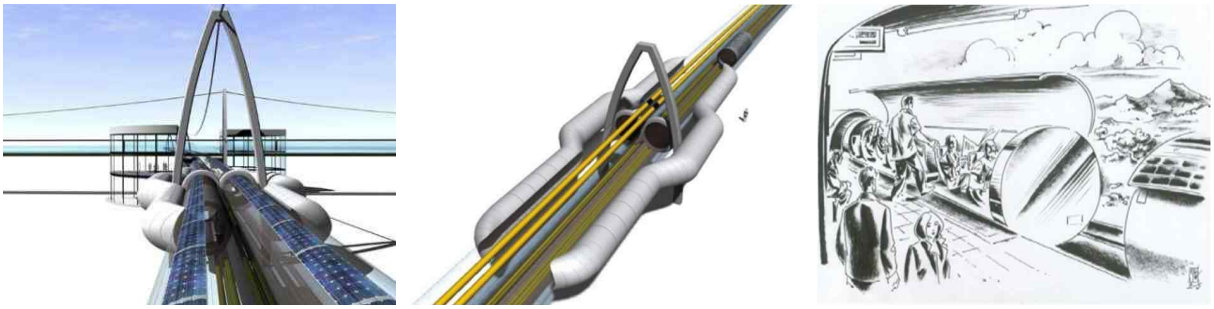

그림 5 Tubeway의 모식도

2.6 Pneumatic Conveying System

Pneumatic Conveying System은 미국 NASA에서 연구 중인 시스템으로 크게 폐쇄된 시스템과 오픈 시스템으로 나눌 수 있다. 폐쇄된 시스템에서는 사용된 가스를 다시 사용할 수 있지만 오픈된 시스템에서는 가스를 재사용할 수 없다. 지구에서는 이 시스템을 오픈 시스템이나 폐쇄 시스템 모두 사용가능하지만, 달에서는 폐쇄 시스템만을 사용할 수 있다. 그 이유는 달에서의 자원은 지구에서보다 가치가 있기 때문에 재사용을 할 수 있도록 시스템을 고안해야 한다. 비록 지구상에서는 Pneumatic Conveying System이 오픈 시스템의 프로토 타입으로 개발되어 필드테스트를 하고 있으나, 결국 폐쇄 시스템으로 개발해 나가야만 한다. 게다가 이 시스템을 개발할 때에는 중력의 효과가 분명히 고려되어야만 한다.

Pneumatic Conveying System은 기본적으로 4부분 (1. 압축가스, 2. 물질을 이동시키는 급송장치 3. 미세물질 운송관, 4. 가스-물질을 분리할 수 있는 장치)으로 구성되어 있다. 그러나 이번에 고안된 시스템은 7가지 구성을 가지고 있다. (1. 폴리카보네이트로 만들어지고 High Efficiency Particulate Arresting (HEPA) filter가 있는 컨테이너 박스, 2. lunar regolith가 방출되고 수집될 수 있는 컨테이너, 3. 압축가스, 4. 파이프, 5. HEPA filter가 포함된 두 개의 사이클론, 6. 가스 압력 계측기, 7. 고전압 파워장치)

다음의 그림 1은 이번 시스템의 디자인이다. 이 디자인은 1/6g를 고려하여 만든 시스템으로 HEPA filter가 장착된 사이클론이 존재한다. 그림속의 (1)은 사이클론으로 2개가 존재한다. A 사이클론은 기계적 분류가 가능한 사이클론이며, B 사이클론은 전기적인 분류가 가능한 사이클론이다. (2)는 파이프, (3)은 패널로서 가스의 주입여부와 게이지를 제어한다. (4)는 regolith 공급 컨테이너로서 이 컨테이너를 통해 regolith simulant가 공급된다. (5)은 HEPA filter로서 전체시스템(7)에 존재하는 미립자의 먼지를 걸러주는 장치이다. (6)은 regolith 포집 컨테이너로서 사이클론으로부터 걸러진 regolith simulant를 수집하는 장치이다. 마지막으로 (7)은 전체 틀박스를 나타낸 것으로 알루미늄 틀과 폴리카보네이트 시트를 사용하여 제작된 큰 컨테이너이다.

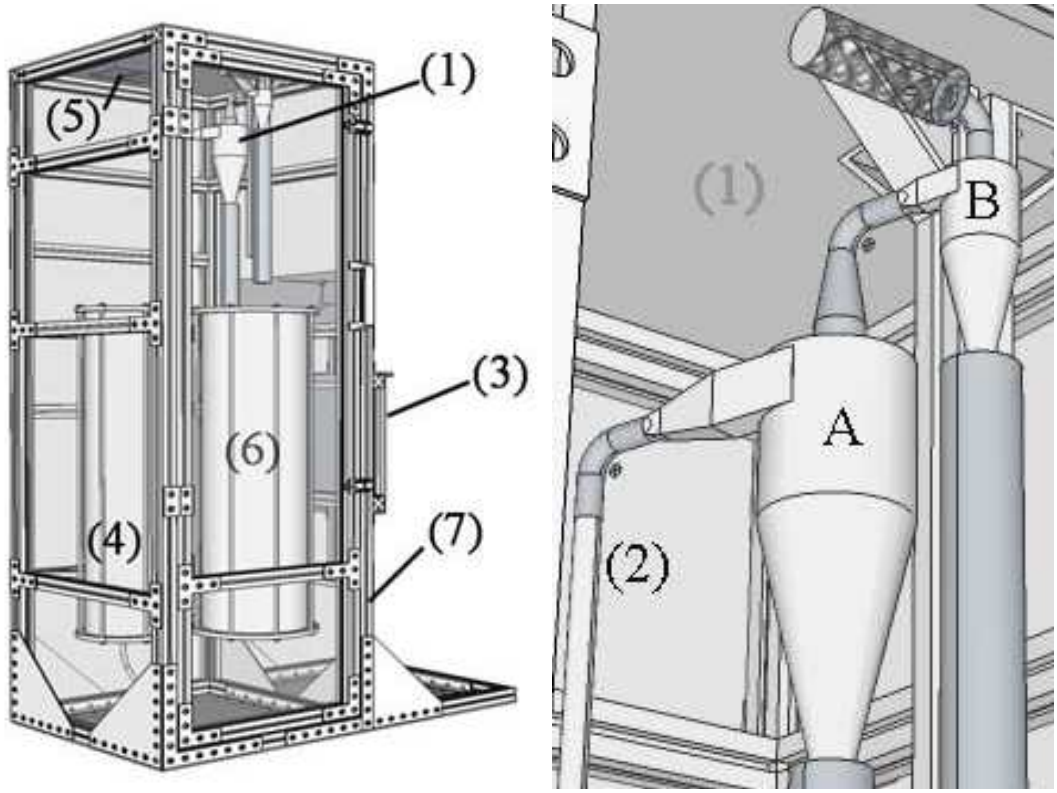

그림 6 Pneumatic Conveying System의 모식도

폴리카보네이트 시트는 투명하여 실험용 컨테이너 박스 내부를 볼 수 있으며, 미세먼지가 생성되는 과정 또한 확인 할 수 있다. HEPA filter는 0.3㎛보다 큰 미립자를 걸러낼 수 있으며 걸러진 깨끗한 가스가 다시 컨테이너 내부로 돌아가지 못하는 작용을 한다. regolith 공급 컨테이너는 약 16.5kg의 lunar regolith simulant를 채울 수 있으며, regolith 운송시 regolith를 약 1.5m까지 상승시킬 수 있다. 이 시스템은 총 195kg의 lunar regolith simulant를 처리할 수 있도록 고안되었다.

3. 달 토양 운송시스템

달의 환경은 지구와는 다르게 진공상태에 있고 미세먼지로 둘러싸여 있으며 지구 중력의 1/6만이 존재한다. 또한 달에서의 에너지 생산은 지구에서보다 노력이 많이 들고 구하기 힘들기 때문에 에너지의 재사용이 가능한 시스템을 구축하여야 한다. 이와 같은 환경 속에서 달의 토양과 자원을 채취하고, 이를 가공하기 위하여 운반하는 달 토양 운송시스템이 필요하다.

달 토양 운송시스템은 운송파이프에 달 토양 및 자원 채취장에서 채취된 물질(달 토양, 자원)과 가스를 주입한 뒤, 가스를 고압의 상태로 만들어 이를 이용하는 원리이다. 이 원리를 이용하여 달 토양 운송시스템을 개발하려면 몇 가지의 기능이 수반되어야 한다. 첫째, 달 토양 운송시스템을 이용하여 물질을 운반하면 운송을 하는 동시에 고압의 가스가 같이 이동이 된다. 고압의 가스를 생산하기 위해서는 많은 에너지가 사용되어야 하기 때문에 이

를 분리하여 재활용 할 수 있는 기능이 필요하다. 게다가 물질을 운송하는 도중에 발생하는 미세먼지 또한 운송되는 물질과 분리되어져야 한다. 둘째, 운송되는 물질에는 달의 토양과 자원이 함께 수반되기 때문에 물질의 용도에 따른 분류기능이 필요하다. 채취장에서는 단순히 자원과 토양을 채취하기 때문에 이들의 분류장치를 설치하기 어렵다. 따라서 이들을 분류시스템으로 운송시켜야하고 달 토양 운송시스템에서 1차 분류작업이 이루진다면 보다 효율적인 분류작업이 이루어질 것이다.

4. 결론

1/6g인 달의 중력과 미세먼지에 둘러싸인 달의 환경을 고려하고 달 토양을 운송할 때 필요한 기능들을 만족시킬 수 있는 방안으로 튜브운송기술을 생각해 볼 수 있다. 튜브운송기술을 중력을 이용하여 운송을 하는 시스템이 아니라 공압을 이용하여 운송을 하는 시스템이므로 1/6g인 달 환경에서 크게 무리없이 사용이 가능하다. 또한 사례에서 나타났듯이, 튜브는 외부환경과 차단되어 있기 때문에 미세먼지에 노출되지 않고 이로 인한 운송시스템의 장애는 발생하지 않는다. 마지막으로 폐쇄 시스템을 이용한 운송시스템으로서 가스의 재사용이 가능하므로 달에서 사용할 운송시스템으로 가장 적합할 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 이진선, 임관수, 남두희, 권혁빈, 김정렬, "튜브운송시스템 경제성과 성능요구조건", 한국철도학회 논문집, 제 11권 제5호, pp 513~518, 2009.
2. 권혁빈, 박준서, 남성원, 최성규, "튜브운송기술의 현황과 전망", 한국철도확회지, 제11권 제3호, pp 59~71, 2009.
3. Mueller R.P., Townsend III I.I., Mantovani J.G., "Pneumatic Regolith Transfer Systems for In-Situ Resource Utilization", Earth and Space 2010; Engineering, Science, Construction and Operations in Challenging Environments, pp 1353~1363, 2010.
4. http://www.tubexpress.com/
5. http://www.capsu.org/library/documents/0005.html
6. http://www.cargocap.com/content/what-is-cargocap
7. http://et3.com/index.html
8. http://tubeway.jimdo.com/english-englisch/