

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(12), 1069-1075(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.12.1069

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

재사용 우주 발사체 개발 동향

정석규*, 배진현*, 정기정*, 구자예**, 윤영빈***

Development Trend of the Reusable Space Launch Vehicle

Seokgyu Jeong*, Jinhyun Bae*, Gijeong Jeong*, Jaye Koo** and Youngbin Yoon***

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University*

School of Mechanical and Aerospace Engineering, Korean Aerospace University**

Department of Mechanical and Aerospace Engineering and the Institute of Advanced Aerospace Technology, Seoul National University***

ABSTRACT

With the recent development of space technology, the satellite market, especially the small satellite market, is growing globally. As the satellite market continues to grow, the launch vehicle market is also growing, and demand for low-cost launches is increasing. There are a number of options for low-cost launches, including development of engine that uses low-cost propellants, product and transportation cost savings, but the most effective way to reduce launch costs is to reuse the used launch vehicles. USA's Space Shuttle, a famous rocket as manned spacecraft, could be referred as the start of reusable launch vehicle. However, Space Shuttle had limited reusable parts and it was very expensive even though it is a reusable launch vehicle because of its low efficiency. In recent years, aiming at a real reusable launch vehicle, reusable launch vehicle for commercial purposes have been developed around USA's SpaceX and Blue Origin, and re-landing tests were successfully accomplished. In addition, SpaceX successfully did the re-using of first-stage launch vehicle that had been succeeded in re-landing already. In accordance with this trend, countries such as Europe and India are also concentrating on the study of reusable launch vehicles. Including Blue Origin, companies like Virgin Galactic and XCOR in the United States, are also trying to commercialize the same reusable technology as the private manned space tourism. Confirmation of these technology trends is essential, because the re-use technology could change the landscape of the global launch vehicle market.

초 록

최근 우주 기술이 발달함에 따라 전 세계적으로 위성 시장, 특히 소형 위성 시장이 크게 성장하고 있다. 이러한 위성 시장의 성장세 속에서 발사체 시장 역시 성장세를 보이고 있으며 이에 따라 저비용 발사에 대한 수요가 점점 증가하고 있다. 저비용 발사를 위한 방안에는 저비용 추진제를 사용하는 엔진 개발, 제품 생산 및 운송비용 절감 등 다양한 방법이 존재하지만, 발사 비용을 가장 크게 줄이는 방법은 바로 사용한 발사체를 다시 사용하는

† Received : May 2, 2017 Revised : October 17, 2017 Accepted : October 20, 2017

*** Corresponding author, E-mail : ybyoon@snu.ac.kr

것이다. 재사용 발사체의 시작은 유인 우주선으로 유명한 미국의 Space Shuttle이라 할 수 있다. 하지만 Space Shuttle의 경우 재사용이라고 불리기는 하지만 재사용 할 수 있는 부분이 한정되어 있고, 발사 효율이 떨어져 재사용 발사체 입에도 불구하고 상당히 고비용이었다. 최근에는 미국의 SpaceX와 Blue Origin을 중심으로 상업적 목적의 재사용 발사체가 개발되고 있고 재착륙 시험에 성공하였다. 뿐만 아니라, SpaceX의 경우 이전 재착륙을 성공한 1단 발사체를 정비하여 다시 발사하는데 까지 성공하기도 하였다. 이러한 추세에 따라 유럽, 인도와 같은 국가에서도 현재 재사용 발사체 연구에 심혈을 기울이고 있다. 그리고 Blue Origin을 포함한 미국의 Virgin Galactic, XCOR 등은 민간 유인 우주여행과 같은 재사용 기술을 이용한 상품화도 시도하고 있다. 재사용 기술이 확립되면 세계 발사체 시장의 판도가 바뀔 수 있기에 재사용 기술 동향의 정기적인 확인은 필수적이라 할 수 있다.

Key Words : Reusable Launch Vehicle(재사용 발사체), Low Cost Launch Vehicle(저비용 발사체), Space Tourism(우주여행)

I. 서 론

전 세계 우주 발사체 시장은 위성 시장의 증가와 함께 계속해서 발전하고 있다. 2016년 State of the Satellite Industry[1]에서 발표한 자료에 따르면, 세계 우주 산업은 경우 약 384.9조 원에 해당하는 큰 규모의 시장을 가지고 있다. 이 중 세계 위성 사업은 2015년 세계 경제 성장(2.4%)보다 높은 3%에 해당하는 성장률을 보이고 있으며, 위성 제조 사업 역시 4%의 성장률을 보이며 크게 성장하고 있는 추세이다. 이런 위성 시장의 성장에 힘입어 세계 발사체 시장 역시 미국의 SpaceX사 등을 중심으로 크게 성장하고 있으며, 약 6.2조 원에 해당하는 시장을 가지고 있다.

이러한 세계 우주 산업 추세에서 각국의 우주 기관 및 발사체 관련 기업 들은 저비용 로켓 발사체 개발에 큰 관심을 기울였고, 메탄 등의 저비용 연료를 사용한 엔진 개발, 위성 소형화에

맞춘 소형 발사체 개발을 통한 비용 절감, 생산공정의 단일화를 통한 제작비용 절감 등 다양한 방법으로 로켓 발사체의 저비용화에 대한 연구를 진행하였다. 이중 가장 큰 비용 절감을 기대할 수 있는 방법이 바로 이미 사용된 발사체를 회수한 뒤 다시 사용하는 재사용 발사체이며, 미국의 SpaceX를 필두로 다양한 기관에서 그 방안에 대한 연구가 진행 중에 있다. 재사용에 따른 비용 저감 효과는 Fig. 1에서 확실히 볼 수 있다. 보는 바와 같이 1단만 재사용 하더라도 kg당 발사 비용을 30% 정도로 줄일 수 있으며, 1,2단 모두 재사용 시 눈에 띄는 비용 절감 효과를 볼 수 있음을 알 수 있다[2].

본 연구에서는 전 세계 재사용 우주 발사체 개발 동향을 조사하였고, 그 적용 방안으로서 우주 관광을 시도하는 기업들에 대한 분석을 수행하였다.

II. 본 론

2.1 재사용 우주 발사체의 정의

재사용 우주 발사체는 하나의 발사체를 가지고 단 한번이 아닌 여러 번 우주로 수하물을 보낼 수 있는 발사체로 정의할 수 있다. 이를 위해서는 그리드 핀, 초음속 역추진, 랜딩 기어 등을 이용한 회수 기술과 사용된 엔진을 다시 사용 가능하도록 재정비 하는 Refurbishing 등이 핵심 기술로 꼽힌다[3]. 현재까지 회수의 경우 SpaceX, Blue Origin이 성공적으로 수행한 바 있으며 Refurbishing 기술의 경우 SpaceX만이 유일하게 성공하였다.

착륙의 경우 착륙 위치에 따라 지상 착륙과 해상 착륙으로 나뉘는데, 일반적으로 발사장이

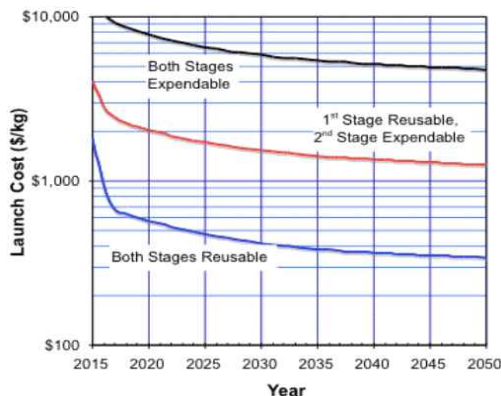


Fig. 1. Launch cost per mass of payload of space launch vehicle [2]

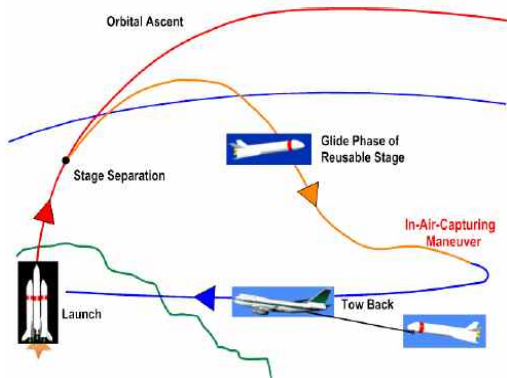


Fig. 2. Schematic of the in-air capturing [5]

해안가 근처에 있고, 안전상의 문제로 바다 방향으로 로켓을 발사하기에 해상 착륙이 장점이 있다. 또한 지상 착륙의 경우 일반적으로 발사장으로 다시 돌아오기 위한 손실이 발생하기 때문에, 해상 착륙의 경우 페이로드 손실이 15% 정도라면 지상 착륙은 페이로드 손실이 약 30%에 달하게 된다[4]. 하지만 이에 반해 해상 착륙을 위한 무인선 비용은 절감되므로 실제 계획 시에는 각각의 장단점을 고려할 필요가 있다. 이 외에 유럽 DLR의 경우 Fig. 2와 같이 최근 재사용 부분의 단 분리 후 날개를 통한 글라이딩을 하여 적정 고도까지 보낸 이후에 따로 견인 비행기를 통해 재사용 부분을 회수하는 방식의 효율성에 대한 연구도 수행하였다. 이러한 방식의 경우 재사용 엔진에 귀환을 위한 연료가 전혀 필요하지 않기 때문에 로켓 발사체의 페이로드 효율을 높일 수 있다는 장점이 있어 연구 가치가 있을 것으로 보인다[5].

2.2 재사용 우주 발사체의 역사

재사용 엔진의 시작은 미국 NASA의 Space Shuttle로부터 시작되었다. Space Shuttle 프로그램은 1972년 1월 5일 공식적으로 발족되어, 1981년 처음 발사된 이후 2011년 7월까지 약 30년 동안 135회 발사되었다. 개발 당시 주엔진을 재사용할 수 있다면 발사비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 생각되었으나, 수소 엔진만으로는 충분한 추력을 얻을 수 없어 고체 부스터를 사용해야 했으며, 재사용을 위한 정비 과정에서 비용이 많이 들어 기대했던 만큼의 발사 비용 절감은 이루어지지 않았기 때문에 성공적인 재사용 엔진으로 보기는 어려움이 있었다[6]. 하지만 비록 일부뿐이지만 엔진의 회수 및 재사용을 성공하였기에 재사용 엔진의 첫 주자라고 볼 수 있다.

2.3 각국의 재사용 발사체 개발 동향

2.3.1 미국 - SpaceX

SpaceX는 2002년 Elon Musk가 설립한 미국의 로켓 관련 민간 기업이다. SpaceX는 저비용 엔진 개발의 선두 주자로, 대표적인 발사체는 Falcon 9이 있다. Falcon 9은 LOX/RP-1을 추진제로 하는 추력 50톤급 엔진인 Merlin 엔진을 사용하는 발사체로, 1단의 경우 이를 9개 클러스터링 하였고, 2단의 경우 동일한 엔진을 1개 사용하고 있다. 이와 같이 사용되는 부품의 단일화, 작업 공정의 단일화 등을 통해 SpaceX는 Falcon 9 발사체의 발사 비용을 획기적으로 낮췄고, Fig. 3에서 보는 바와 같이 최근 5년간 미국 내 상업 목적 발사 중 절반 이상의 발사 점유율을 가지고 있다[7]. 또한, SpaceX는 2017년 더 높은 추력의 발사체인 Falcon-Heavy 역시 발사 계획 중에 있다. 이 발사체의 경우 더 높은 추력을 발생시키지만, 비용 절감을 위해 새로 엔진을 개발하여 사용하는 것이 아니라, Falcon 9에 사용한 1단 로켓 3기를 합치는 형태로 개발되었다[8].

이러한 저비용 시도 이후에도 SpaceX는 발사 비용을 더욱 낮추기 위하여 재사용 엔진에도 큰 관심을 두었다. 수직 재착륙을 시연하기 위한 시험용 발사체 엔진으로서 Grasshopper를 개발하였고, 이후 2013년 Grasshopper를 744m 고도까지 발사 후 재착륙에 성공시킨 이후 재사용 엔진에 지속적인 관심을 두고 있다. 그 예로, 2016년 4월 8일에는 Falcon 로켓을 이용해 400km 저궤도에 있는 국제우주정거장(ISS)에 드래곤 우주선을 무사히 궤도에 보낸 후, Fig. 4와 같이 1단 로켓의 해상 착륙에 처음으로 성공하는 역사적인 순간을 맞이했다[8]. 특히 최근 2017년 3월 30일

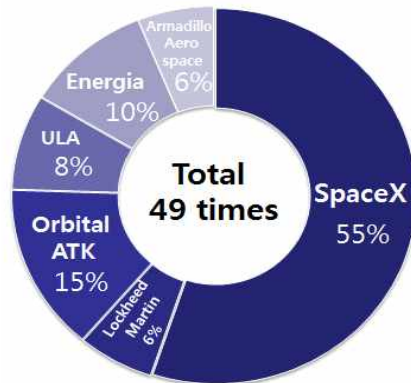


Fig. 3. Commercial Launch data in USA (2012.1 ~ 2017.3)



Fig. 4. Falcon 9 rocket landing on a drone ship (2016.04) [11]

에는 케로신 엔진인 Merlin-1C 엔진을 사용했던 Falcon 9 로켓의 1단을 Refurbishing 후 재사용하여 SES-10 통신 위성의 궤도 진입에 성공함으로써, 세계 최초로 사용된 엔진의 재발사 및 재착륙 성공이라는 위업을 달성하였다[9]. 이 때 발사된 재사용 발사체의 가격에 대해 직접적으로 공개한 바는 없으나, SpaceX의 사장 Gwynne Shotwell의 말에 따르면, Falcon 9의 1단 로켓 재정비에 드는 비용은 새로 1단을 만드는 비용에 비해 절반 이하의 비용이 들었으며, 재정비된 발사체를 이용하는 고객의 경우 기존 6천만 달러에서 약 4천만 달러 정도로 30% 정도 할인된 가격으로 발사체를 이용할 수 있을 것이라 주장한 바 있다[10,11].

2.3.2 미국 - Blue Origin

Blue Origin은 2000년 Amazon.com의 창업주 Jeff Bezos가 설립한 미국의 민간 우주 기업으로, SpaceX와 더불어 세계 재사용 엔진 개발의 선두로 나서 있는 기업이다. 재사용 발사체로는 우주 여행 목적으로 2006년 계획한 New Shepard가 있으며, 2015년 11월, 고도 100.5 km에 도달 후 발사지점 근방에 착륙하는 재사용 가능 엔진(BE-3)의 시험 발사를 성공한 바 있다. 그 당시의 발사 시퀀스는 Fig. 5와 같다. 자세히 설명하면, 우선 발사 후 고도 100km 정도에서 페이로드 부분인 우주선 캡슐과 발사체 엔진이 분리되었다. 이후 발사체 부분은 착지를 위해 우선 저항 감속판을 통해 감속을 시켰으며, 1500m 상공까지 와서는 엔진을 재점화 하여 시속 7.1km까지 감속하였다. 이 후 발사지점에서 1.4m 떨어진 지점에서 재착륙을 성공시켰다. 우주선 캡슐 부분 역시 낙하산을 이용해 감속하여 착륙에 성공하여 우주 여행을 위한 사전 테스트를 성공적으로 수행하였다. 또한 Blue Origin에서는 2015년 9월 New Shepard 보다 훨씬 큰 사이즈의 재사용 발사체

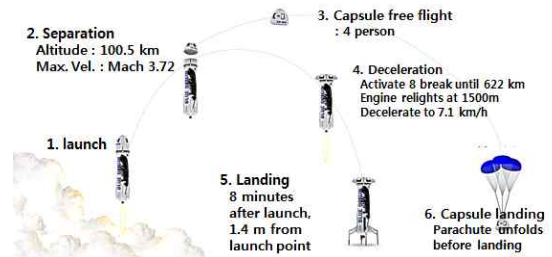


Fig. 5. Launch Profile of New Shepard (2015.11) [12]

에 대한 내용을 발표하였다. 이 발사체는 2016년 9월 New Glenn으로 명명되었으며, 현재 Blue Origin에서 개발하고 있는 메탄을 사용한 엔진인 BE-4를 사용할 예정에 있다[13].

2.3.3 유럽 - ESA

유럽 우주국(ESA : European Space Agency)은 미국 SpaceX의 재사용 엔진 개발에 대항하여 2010년 재사용 가능한 1단 엔진인 Adeline (ADvanced Expendable Launcher with INnovative engine Economy)의 개발에 착수하였다. Adeline은 자체적인 발사체라기보다는 사용된 엔진의 재진입을 위한 모듈로서 2025년 개발 완료를 목표로 하고 있다. 컨셉 발사체의 경우 Fig. 6의 왼쪽 그림과 같이 최하단에 Adeline 엔진이 장착되고, 그 위로 1단 엔진의 추진제 탱크부가, 그 상단으로는 2단 엔진 및 추진제 탱크가 설치되고 그 상단에 마지막으로 payload가 설치된다. 그리고 추가적인 추력을 위해 1단 추진제 탱크부 옆에 부스터 엔진이 장착되는 식으로 구성될 예정에 있다. 작동 방식의 경우, 1단 추진제 탱크의 연료를 모두 소모하면 Adeline이 로켓으로부터 분리되고 상단의 열보호 노즈를 통해 지구 대기를 재진입하게 된다. 재진입 이후 충분한 고도 후에는 양 날개를 이용해 일반 비행기와 같이 글라이딩하여 수평 비행을 하게 되고 프로펠러를 이용하여 방향을 조정해 활주로로 들어와 회수하게 된다. Adeline의 경우 SpaceX처럼 추진제 탱크를 포함한 1단부 전체를 회수하는 방식은 아니지만, 1단 엔진 부분만 회수하더라도 전체 발사체의 70~80%의 비용 저감이 가능하며, 특히 Adeline의 프로펠러를 이용한 회수 방식의 경우 SpaceX처럼 1단부를 회수하는 방식에 필요한 연료량이 현저하게 적기 때문에 Falcon 9의 재사용에 따른 성능 페널티에 비해 약 30% 이상 더 낮은 성능 페널티를 가질 것으로 보고 있다. ESA는 이 재사용 모듈이 개발될 경우 현재 계획 중에 있는 차세대

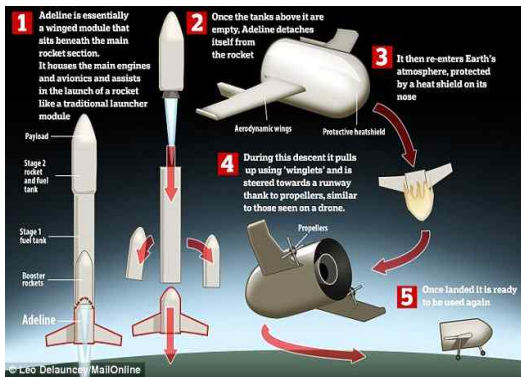


Fig. 6. Adeline's Re-use Concept [15]

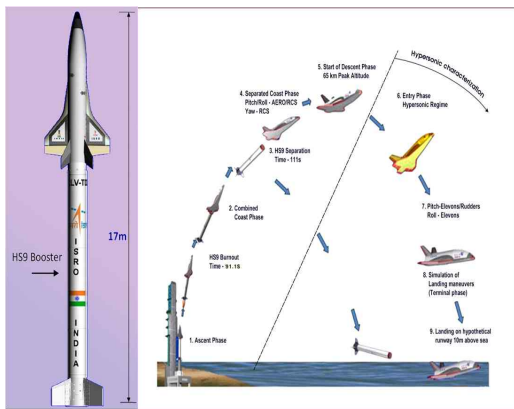


Fig. 7. Configuration & Mission Profile of RLV-TD [16]

로켓 Ariane 6의 1단 엔진을 저렴한 방식의 재사용 컨셉으로 사용할 수 있을 것으로 기대하고 있다[14,15].

2.3.4 인도 - ISRO

인도의 ISRO는 유인 우주왕복선을 개발하기 위한 시험 단계로서 RLV-TD(Reusable Launch Vehicle Technology Demonstrator)의 개발을 수행하였다. RLV-TD는 Fig. 7과 같이 비행체에 발사체를 붙여놓은 형상으로 되어 있으며, 발사체 부분은 HS9 고체 부스터를 이용하였다. ISRO는 2016년 5월 23일 SDSC SHAR Sriharikota에서 비행 시험을 수행하였다. 이 비행시험에서 비행체는 최대 65km 고도에 도달하였으며, 마하 5의 속도의 재진입을 열에 의한 손상 없이 성공 후 Sriharikota에서 약 450km 떨어진 Bengal에 착륙시켰다. 이 시험으로 자동 항법 유도 제어나 재사용 열방어 시스템, 재진입 미션 관리와 같은 재사용 비행체 회수에서의 주요 기술들을 검증하는데 성공하였다[16].

2.3.5 기타 국가들 - 일본, 중국, 러시아

지금까지 말한 국가들 외에는 아직 재사용 엔진에 대해 부정적으로 보거나 기초 연구 정도만 수행했던 국가들이 대부분이지만, 최근 SpaceX, Blue Origin의 성공과 각국의 개발 추세에 따라 재사용 우주 발사체를 개발하고자 계획한 국가가 생겨나고 있다.

우선 일본의 경우 H-3 엔진을 통한 개발 비용 저감에 착수 중이기에 재사용 엔진 개발은 현재 거의 진행되지 않고 있으나, H-3 개발 방식만으로는 비용 절감에 한계가 있을 것으로 판단하여 최근 재사용 엔진 개발을 추진할 계획을 밝힌 바 있다[17]. 그리고 이러한 재사용 엔진 개발에 대한 기초 작업으로써 JAXA에서는 재사용 가능한 사운드링 로켓 개발을 진행하였고, 2014년부터 2015년 초까지 54회에 해당하는 엔진 연소 시험을 수행하였다. 그 결과 엔진 추력 변화 시험, 추력 조절을 위한 피드백 제어 기술, 그리고 많은 재사용 시 신뢰성에 영향을 주는 엔진 수명 모니터링 시스템 등 재사용 엔진의 주요 기초 기술들에 대한 기초 실험을 상대적으로 적은 비용으로 수행한 바 있다[18].

중국 역시 직접적인 개발은 없었으나 최근 비용 절감을 위해 낙하산을 이용한 컨셉으로 회수 가능한 재사용 로켓 발사체 개발을 발표한 바 있다[19].

이에 반해 러시아의 경우는 자국 경제 상황 악화로 인해 재착륙 로켓 엔진 기간이 5년씩 연기되어 2025년 시작하여 2030년에 완성하는 것으로 계획이 연기되기도 하였다[20].

2.4 재사용 엔진의 활용 - 우주여행

2.4.1 Virgin Galactic

Virgin Galactic은 미국 Virgin 그룹의 회장인 Richard Branson이 2004년 설립한 우주기업으로, 우주여행 사업을 주로 계획하고 있다. 사용될 예정인 비행체는 SpaceShip Two로, 재사용 가능하며 날개가 있는 형태로 제작되어 글라이딩을 통해 동체 손상을 최소화 하여 반복적으로 사용할 수 있게 설계되었다. Fig. 8과 같이 글라이딩이 가능한 형태로, 탑승 인원은 조종사 2명을 포함하여 총 8명이 탑승할 수 있게 개발 중이며, 현재 운용되고 있지는 않지만 우주여행 상품의 경우 한 장에 25만 달러에 판매 중에 있다. 우주여행에 대한 기대감 때문인지 2016년 5월 기준, 스티븐 호킹, 브레드 피를 등의 유명인들을 포함한 약 700명이 Virgin Galactic에 우주여행을 예약한 상태이다[21].



Fig. 8. SpaceShip Two [19]



Fig. 9 XCOR Lynx spacecraft [23]

2.4.2 XCOR Aerospace

XCOR은 미국의 우주 항공 및 우주 관광 관련 기업으로, 발사체 XCOR Lynx를 개발하여 우주 여행 사업을 진행하려 하였다. 이 비행체의 경우 Fig. 9와 같은 형태의 2인승 발사체로, 조종사의 바로 옆에서 비행하는 대가로 약 10만 달러 정도의 비용을 받고 운행할 계획을 가지고 있었다. 하지만 회사 사정 상 2016년 5월 구조 조정을 진행하였고, 이후 Lynx의 개발의 진행 상황에 대한 소식은 거의 발표되지 않고 있다. 그 대신 XCOR에서는 ULA와 공동으로 계획한 수소 로켓에 개발에 집중하고 있는 것으로 보인다[22].

2.4.3 재사용 기술을 활용한 우주여행 현황

지금까지 살펴본 재사용 기술을 활용한 우주 관광을 계획하고 있는 업체에 대해 정리하면 아래 Table 1과 같다. Virgin Galactic의 경우 조종사 2명, 승객 6명으로 구성되는 8인용 SpaceShip Two 기체를 이용할 예정으로 현재 우주여행 티켓을 한 장에 25만 달러에 예약을 받고 있다. 그리고 XCOR의 경우 1인당 10만 달러의 비용을 받으며 하였으나 현재 구조 조정으로 인해 기약 없는 상태로 있는 상황이다. 마지막으로 Blue Origin의 경우 재사용 발사체에 대한 시험을 계속해서 수행 중에 있으며 따로 예약자를 받고 있지는 않지만, 2017년 유인 비행 시험을 시도할 계획이

Table 1. Features of Space Tourism Company

Company	Virgin Galactic	XCOR	Blue Origin
Spacecraft	Spaceship two	LYNX	New Shepard
Propellant	N ₂ O/HTPB	LO ₂ /Kerosene	LO ₂ /LH ₂
Thrust(t)	27.55	13	50
Height(km)	109	103	>101
Passengers	6	1	3
Cost	\$ 200,000	\$ 100,000	-

있고 성공 시 2018년 바로 우주여행 상품을 진행할 예정에 있다. 특히 조종사 없는 무인 발사체 New Shepard를 이용할 예정이기에 그 가격은 상당히 저렴할 것으로 예상되고 있다.

III. 결 론

현재 전 세계적으로 위성 시장 증가 및 소형 위성 발사의 증가로 저비용 발사체에 대한 수요가 증가하고 있다. 저비용 발사를 위한 방안에는 저비용 고효율 추진제 사용, 생산 공정의 단순화 등 다양한 방법이 있지만, 가장 크게 비용을 절감시킬 수 있는 방법은 역시 발사체를 재사용하는 것이다. 재사용 발사체의 경우 미국에서 비교적 최근까지 사용된 Space Shuttle이 선두 주자라 할 수 있지만, Space Shuttle의 경우 재사용 가능한 부분이 한정되어 있었고, 유인 우주선이라는 압박감으로 인해 안전을 중시하다 보니 효율이 떨어져 일부 재사용을 함에도 불구하고 비용이 높았던 한계가 있다. 이에 비해 최근에는 미국의 SpaceX와 Blue Origin을 중심으로 상업적인 목적으로 비용의 절감을 위한 재사용 발사체가 개발되었고, 발사 후 재착륙에 성공하였을 뿐만 아니라, SpaceX와 같은 경우 재착륙을 성공한 1단 발사체를 정비하여 다시 발사하는데 성공하는 등 최근 재사용 발사체는 더 이상 꿈이 아닌 이야기가 되었다.

그리고 Blue Origin을 포함한 미국의 Virgin Galactic, XCOR 과 같은 재사용 개념을 이용한 유인 우주여행과 같은 재사용 기술의 상품화에 대한 것도 살펴보았다.

현재 국내 우주 개발 상황의 경우 1단 엔진을 포함한 순수 자력 기술로 발사되는 KSLV-II 개발에 한창이기에 재사용 발사체 기술에 대한 큰 투자는 어려운 상황이다. 하지만 재사용 발사체의 개발 및 상용화가 진행된다면, 급격한 저비용화에 의해 전 세계 발사체 시장의 판도가 변할 수 있으므로 세계적인 개발 동향을 정기적으로 확인

하는 과정이 필요할 것으로 판단된다. 또한 곧바로 많은 투자가 어려운 현재 상황에서는 앞서 살펴본 일본의 경우와 같이 보다 작은 스케일의 발사체인 재사용 사운드 로켓 개발을 통해 추력 조절, 회수 기법 등 재사용 발사체의 기초 기술을 쌓아가면서 차후 정세에 대비하는 것도 좋은 방법으로 판단된다.

후 기

본 연구는 서울대학교 차세대 우주추진 연구센터와 연계된 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 선도연구센터지원사업(NRF-2013R1A5A1073861)의 연구 결과입니다.

References

- 1) BRYCE space and technology, "State of the Satellite Industry Report," Sep., 2016, Retrieved from <http://www.sia.org/wp-content/uploads/2017/03/SSIR-2016-update.pdf>.
- 2) Chapman, P. K., Sc.D., "Deploying Sunsats", *Online Journal of Space Communication*, Issue 16, 2010.
- 3) Choo, K. S., Mun, H. K., Nam, S. H., Cha, J. H., Ko, S. H., "A Survey on Recovery Technology for Reusable Space Launch Vehicle," *Proceeding of the Korean Society of Propulsion Engineers*, 2016, pp. 571-580.
- 4) "SpaceX Press Conference," September 29, 2013, Retrieved from <http://shitelonsays.com/transcript/spacex-press-conference-september-29-2013-09-29>.
- 5) Bussler, L., Sippel, M., "Comparison of Return Options for Reusable First Stages," 21st AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conferences, 2017.
- 6) Moon, I. S., Moon, I. Y., "Space Explore and Kerosene Engines of U.S.A," *The Journal of Aerospace Industry*, Vol. 76, 2012, pp. 57~81.
- 7) Federal Aviation Administration, "Commercial Space Data," August 26, 2014, Retrieved from https://www.faa.gov/data_research/commercial_space_data/launches/?type=Licensed
- 8) Ahn, H. J., "[US] US space commercialization policy and Space X's rocket reuse strategy," *SCI ENCE & TECHNOLOGY POLICY*, 25(4), 2016, pp. 6-9.
- 9) Graham, W., "SpaceX conducts historic Falcon 9 re-flight with SES-10 - Lands booster a gain," March 30, 2017, Retrieved from <https://www.nasaspacelight.com/2017/03/spacex-historic-falcon-9-re-flight-ses-10/>
- 10) Jeff Foust, "SpaceX gaining substantial cost savings from reused Falcon 9," April 5, 2017, Retrieved from <http://spacenews.com/spacex-gaining-substantial-cost-savings-from-reused-falcon-9/>
- 11) Im, J. B., "What is the cost of Space X's reusable launches?," 2016, Retrieved from https://www.kari.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_00000000062/selectBoardArticle.do?nttId=5487&kind=&mn0=sitemap_02&pageIndex=1&searchCnd=0&searchWrd=SpaceX%EC%9D%98%20%EC%9E%AC%EC%82%AC%EC%9A%A9%20%EB%B0%9C%EC%82%AC%EC%B2%B4
- 12) <https://www.blueorigin.com/technology>
- 13) Bergin, C. and Graham, W., "Blue Origin introduce the New Glenn orbital LV," September 12, 2016, Retrieved from <https://www.nasaspacelight.com/2016/09/blue-origin-new-glenn-orbital-lv/>
- 14) "Airbus Defence and Space's solution to reuse space Launchers," Retrieved from <https://airbusdefenceandspace.com/reuse-launchers/>
- 15) http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2015/06/08/15/297324760000578-3115080-image-a-1_1433774752521.jpg
- 16) ISRO, "RLV-TD," May 23, 2016, Retrieved from <http://www.isro.gov.in/launcher/rlv-td>
- 17) Jang, Y. S., "Japan also develops 'Reusable Rockets'," June 15, 2017, Retrieved from <http://news1.kr/articles/?3022158>
- 18) Kimura, T., Hashimoto, T., Sato M., Takeda, S. and Moriya, S., "Development of a Reusable LOX/LH2 Rocket Engine - Firing Tests and Lifetime Evaluation Analysis," 51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2015.
- 19) Chen, S., "A new SpaceX? China developing system to recover, reuse space rockets," June 12, 2017, Retrieved from <http://www.scmp.com/news/china/policies-politics/article/2079822/new-spacex-china-developing-system-recover-reuse-space>
- 20) <https://3dnews.ru/950062>
- 21) <http://www.virgingalactic.com/>
- 22) Jeff Foust, "XCOR lays off employees to focus on engine development," May 31, 2016, Retrieved from <http://spacenews.com/xcor-lays-off-employees-to-focus-on-engine-development/>
- 23) [https://xcor.com/launch/lynx-spacecraft/](https://xcor.com/launch/lynx-spacecraft/buy-or-lease-a-lynx/)
[buy-or-lease-a-lynx/](https://xcor.com/launch/lynx-spacecraft/buy-or-lease-a-lynx/)