

Technical Paper

DOI: <http://doi.org/10.6108/KSPE.2023.27.4.041>

해상 발사를 위한 우주발사체, 발사플랫폼 및 발사체계 사례연구

정은상^a · 김기범^a · 정종진^b · 김대래^c · 국승민^d · 이민우^{d,*}

Case Study on Launch Vehicle, Platform and Process for Sea Launch Program

Eunsang Jung^a · Gibum Kim^a · Jongjin Jung^b · Darae Kim^c · Seungmin Guk^d · Minwoo Lee^{d,*}

^aDepartment of Bioenvironmental Energy, Pusan National University, Korea

^bHyundai Maritime Research Institute, HD Hyundai Heavy Industries, Korea

^cLaunch Complex Development Team, Korea Aerospace Research Institute, Korea

^dDepartment of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Korea

*Corresponding author. E-mail: mwlee@hanbat.ac.kr

ABSTRACT

The ocean-based launch is a system that performs launch at sea using launch platforms. In this research, we conduct a case study on ocean-based launch instances, mainly focusing on the case of the multinational corporation Sea Launch, China Aerospace Science and Technology Corporation, and others. Considering the inherent geographical constraints of the Korean space center, we find that the ocean-based platforms and processes can potentially be considered as an alternative means of space launch in Korea. Also, by investigating the types and characteristics of each country's launch platforms, we propose an appropriate launch platform type for a potential Korean sea launch program.

초 록

해상 발사는 선박 및 해양 구조물 기반의 발사 플랫폼을 이용하여 해상에서 우주발사체의 발사를 수행하는 체계이다. 이는 지상 발사에 비해 발사 위치와 궤도 경사각 선정이 자유롭게 선정할 수 있어 탑재체의 궤도 투입이 효율적이다. 본 연구에서는 다국적 기업 Sea Launch사, 중국 CASC 및 기타 해외 사례를 기반으로 해상 발사 시 발사 플랫폼 및 프로세스에 대한 사례 연구를 수행하였으며, 해상 발사에 사용되었던 각국의 발사 플랫폼의 종류와 특징을 파악하여 우리나라에 적합한 형태의 해상 발사 플랫폼을 제안하였다. 국내의 지상 우주센터가 가지는 지리학적 한계점을 고려할 때, 향후 국내에서 해상 발사가 경쟁력 있는 대안으로 고려될 수 있음을 본 사례연구를 통해 확인하였다.

Key Words: Sea Launch(해상 발사), Launch Platform(발사 플랫폼), Launch Process(발사 프로세스), Ocean-based Platform(해상 플랫폼)

Received 6 July 2023 / Revised 22 July 2023 / Accepted 28 July 2023

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

1. 서 론

해상 발사는 지상 우주센터에서 우주발사체를 발사하는 기존의 방식과는 달리 해상에 위치한 플랫폼에서 발사를 수행하는 체계이다. 해상 발사는 발사 장소 및 궤도 경사각의 선정이 자유롭고, 발사 시 반드시 고려해야 할 낙하물의 위치나 영공 침범 문제에 대해 상대적인 이점을 가진다. 이러한 이점에 기반하여 지난 수십 년간 해상 발사에 대한 연구, 실증 및 실제 활용이 이루어져 왔다.

현재까지 해상 발사를 수행한 주체는 러시아 주도의 다국적 기업체 Sea Launch사와 중국의 우주개발 분야 공기업 중국항천과기집단공사(China Aerospace Science and Technology Corporation, CASC) 등이 대표적이다. 이 중 러시아는 고위도에 위치하여 지상 발사 시 지구 자전 속도의 활용이 어려우므로 발사의 효율이 저위도 발사에 비해 낮다[1]. 또한, 중국의 경우 주요 발사장이 내륙에 위치하여 발사각의 제한이 존재하며, 하이난 등 해안에 접한 발사장에서도 인접한 주변국에 의해 발사 조건이 다소 제한적이다. 러시아와 중국 등 해상 발사를 시도한 주요 국가에서는 이러한 지리적 한계를 극복하고자 하였으며, 이를 위해 다양한 형태의 발사 플랫폼이 연구된 바 있다.

우리나라는 지리상 중위도에 위치하여 인공위성 발사에 비교적 불리하며 일본, 중국 등 주변국의 위치로 인한 안전 문제 등으로 인해 발사 방위각이 제한되고 있다[1]. 이러한 점에서 해상 발사의 이점이 상당할 것으로 판단되나, 해상 발사에 대한 관심과 연구가 미흡한 실정이다. 본 논문에서는 향후 국내 해상 발사의 추진을 고려

하여 Sea Launch, CASC 및 기타 해상 발사 사례를 분석하며, 이러한 사례 연구를 통해 해외에서 해상 발사에 사용된 발사체, 플랫폼 및 발사 프로세스를 정리하였다. 또한, Table 1과 같이 현재까지 해상발사가 수행된 발사 플랫폼을 형태별로 분류하고 각 사례별 특징을 비교하여 우리나라에 적합한 한국형 해상발사 플랫폼을 제안하고자 하였다.

2. 부유식-반 잠수형 발사 플랫폼

해상 발사 플랫폼으로 부유식-반 잠수형 형태를 사용한 기관은 대표적으로 현재까지 가장 많은 해상 발사를 수행한 Sea Launch사가 있다. Sea Launch사는 해상 발사를 목적으로 설립된 다국적 회사이며 1995년 4월에 설립되어 2014년까지 발사 서비스를 제공하였다. 발사에 기여한 각각의 회사 중에서 보잉(Boeing)사에서는 탑재체의 페어링 제작과 위성 준비 과정 및 운용, 마케팅에 대한 업무를 담당하였고, 에너르기아(Energia)사는 발사체의 상단 제작 및 발사체 조립 및 운용에 대한 업무를 맡았다. 유즈마쉬(Yuzhmash)사에서 제니트 발사체 1단 및 2단을 제작하였고, 크베르너(Kaverner)사에서 조립관제선 및 발사플랫폼을 건조하고 해상 시스템 선박을 운용하였다[2]. Sea Launch사는 1999년 3월 27일부터 2014년 5월 26일까지 총 36회의 발사를 완료하였으며 32회의 발사에 성공하였고 4회의 발사는 실패하였다. Sea Launch에 의해 발사된 인공위성은 모두 키리바시(Kiribati) 섬 근처 적도 지점인 154°W, 0°N에서 발사되었다[3]. 해상 발사를 위하여 Zenit 3SL 발사체를 사용하였

Table 1. Major types of ocean-based launch platform and its applications.

Type	Vessel	Application
Half-fixed	Jackup rig	Scout (San Marco Launch Platform), Solid Rocket (ADD)
Floating	Barge, Heavy-lift ship	Chang Zheng-11 (Tai Rui, De Bo 3, DeFu 15002 Launch Platform)
Semi-submersible	Semi-submersible rig	Sea launch (Odyssey Launch Platform), Space X Starship (Deimos, Phobos Launch Platform)

다. Zenit 3SL은 액체 산소(LOx)와 케로신(Kerosene)을 산화제와 연료로 가지는 3단 액체 로켓이며 정지궤도까지 최대 6,160 kg의 페이로드를 싣고 발사할 수 있다.

Sea Launch의 모항은 미국 캘리포니아 롱비치(Long beach)에 있는 해군기지를 임대, 개조하여 사용되었다. 모항에는 발사체의 조립, 인공위성에 대한 기능시험 등의 발사 임무를 위한 시설들이 위치하였다. 모항의 주변에는 3개의 공항과 고속도로가 근접하여 우주선의 연료 보급 등 물류 상의 이점을 가진다. 모항에서는 해상 발사와 관련된 지원 장비 및 위성의 수령, 기계적 및 전기적 점검, 위성 결합에 시설과 인력을 제공한다. 모항의 대표적인 시설은 페이로드 처리 시설(Payload Process Facility, PPF), 사무실, 창고 건물 및 부두 등이 있다[4].

Sea Launch사의 해상 발사는 두 척의 선박을 조립관제선과 발사플랫폼으로 사용하였다. 조립관제선은 해상 발사 운용을 지원하기 위해 제작된 선박이다. 조립관제선의 전장은 약 200 m(660 ft)이고 전폭은 32 m(110 ft)이며 전체 배수량은 약 30,830 톤이다. 조립관제선에는 발사체 조립 및 점검 시설들이 있어 해상에서 발사체를 관리할 수 있으며, 발사 임무 동안에 발사지휘 및 제어가 가능하고 발사 초기에 선박의 레이더를 통하여 발사체를 추적할 수 있다. 또한

발사 장소로 이동하는 동안 선원들을 위한 의료 시설, 식당, 편의시설을 제공한다.

발사플랫폼은 기존의 석유시추선을 개조한 것으로 안정적이고 지속적인 운영을 할 수 있도록 설계되었다[5]. 선체의 전장은 약 132.9 m, 전폭은 약 67 m이며 발사 갑판의 면적은 78*66.8 m이다. 발사플랫폼은 두 개의 주교(Pontoon) 위에 올려진 쌍동선의 형태를 가진다. 발사플랫폼은 각 선체에 2개씩 있는 4엽 프로펠러 추진 시스템에 의해 자체 추진된다. 각 추진 시스템은 디젤엔진을 연료로 하는 3,000 마력 급의 직류 모터이다. 플랫폼이 발사 위치에 도착하면 수상에서 21.5 m 깊이로 위치를 낮춰 안정성을 확보한다. 밸러스트 탱크는 주교와 기둥의 아랫부분에 위치하는데, 각 주교에 3개씩, 총 6개의 밸러스트 펌프가 평형수를 공급한다. 발사플랫폼은 최대 12 노트의 속도로 운항할 수 있으며, 발사체를 발사 장소로 운반하는 수송선과 발사대의 역할을 한다. 또한 Odyssey는 발사체 기립 및 연료 공급, 발사를 진행하기 위한 시스템을 갖추고 있다. Sea Launch의 조립관제선과 발사플랫폼 사진은 Fig. 1에 첨부하였다[6].

Sea Launch사의 해상 발사 운용 프로세스는 크게 모항에서의 운용 과정과 발사 장소에서의 운용 과정으로 나뉜다. 먼저, 발사 장소 도착 이전의 발사 운용 과정은 Fig. 2와 같이 A, B, C의 세 단계로 수행된다. 위성을 전기적, 기계적으로 점검하고 조립하는 A 단계는 모항에 위치한 탑재체 조립 시설인 PPF에서 이루어진다. 운송 트럭에 의해 PPF에 하역된 위성은 가공 및 연료 공급실로 이동하며, 위성-페이로드 어댑터 장착 가능 여부가 점검된다. 이후 전기, 기계 및 구동 기능을 점검하고 보급품 장착 및 연료 충전 작업을 진행한다. 위 작업을 수행하는 동안 페이로드 페어링과 어댑터를 연료 공급실에서 캡슐화실로 옮기고 설치를 준비한다. 페이로드 페어링과 위성의 조립을 위해 캡슐화실로 옮겨진 위성을 위성-페이로드 페어링 어댑터에 수직으로 장착하고 운송 기계 장비를 통해 인터페이스 스커트와 결합한다. 위성, 페이로드 구조물, 인터페이스 스커트와 페이로드 페어링으로 구성



Fig. 1 Sea launch assembly and commander ship and odyssey launch platform[6].

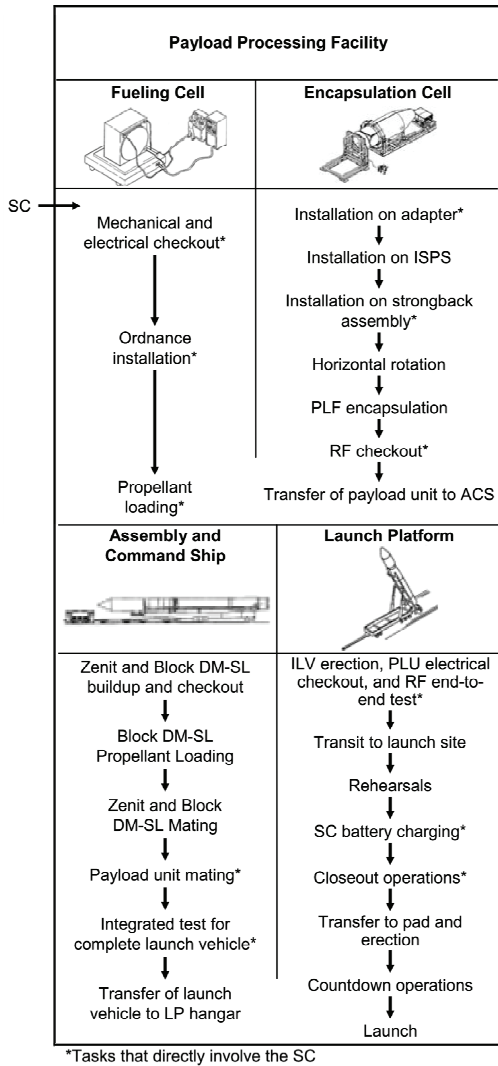


Fig. 2 Launch process for sea launch. This figure is a modification of a flow chart shown in[6].



Fig. 3 Integrated launch vehicle in the assembly and command ship[6].

된 페이로드 유닛은 조립관계선으로 이송된다.

발사체를 조립하는 B 단계는 조립관계선에서 이루어지는데 발사체 1단과 2단을 조립하고 3단 까지 조립 후 조립된 발사체와 캡슐화된 위성을 결합한다. 전기 및 기계적 점검 시험을 진행하고 Fig. 3과 같이 결합된 발사체를 발사플랫폼으로 이동시킨다.

마지막으로 발사 장소 도착 이전의 발사 리허설 진행 및 이동 과정에서 수행되는 C 단계는 발사플랫폼에서 이루어진다. C 단계에서는 발사 장소 이동 간에 세 번의 발사 리허설과 도착 후 발사 시작의 운용 과정이 존재한다. 첫 번째 리허설은 발사지점으로 출발 전 진행되고, 나머지 두 번의 리허설은 발사체를 적재한 발사플랫폼이 발사지점까지 이동 동안에 진행된다. 발사 관리자와 요원들에게 운용 과정을 교육하는 것이 주요 목적이며, 발사 리허설에는 발사플랫폼 인원과 조립관계선 인원이 참여하고, 추적 장치(Selena-M 추적선, Altair 위성)의 운용 리허설도 포함된다. 리허설은 발사체가 플랫폼 격납고에 있는 상태에서 진행하며 위성의 분리와 3단의 오염 및 충돌 회피 훈련까지 시뮬레이션을 진행한다.

이어서, 발사 장소 도착 후 이루어지는 해상 발사는 6단계로 다음과 같다[6]:

- 1) 발사플랫폼은 발사 장소에 도착한 후 Transit draft(운항 모드)에서 22.5m의 깊이로 반 잠수하는 Launch draft(발사 모드)로 전환된다. 플랫폼의 위치 및 방향은 선박에 탑재된 추진기의 동적 위치 유지 시스템에 의해 유지된다. 이때 발사플랫폼의 수평오차는 1도 이내로 유지된다. 위치가 고정되면 조립관계선과의 왕래를 활발히 하기 위해 발사플랫폼과 조립관계선을 나란히 배치하고 연결 다리를 설치한다. 발사는 평균 유효 파고가 2.5m 이내인 상황에서 시행되며 발사 약 17시간 전에 교각을 놓기까지의 상황이 완료된다.
- 2) 최종적으로 발사 관리 인원은 발사 여부 투표를 진행하고 발사가 승인되면 위성은 단의 분리와 발사에 필요한 액화 로켓 연료와 산화

질소가 충전되고 점검 동안 개방되었던 페이로드 페어링의 해치가 닫힌다.

- 3) 격납고 해치가 열리며 발사체를 발사대로 이송하는 자동 시퀀스가 진행되며 발사대로 이동함에 따라 전기, 공압, 유압, 추진체 라인이 자동으로 연결된다. 수평으로 누워있던 발사체는 발사대에서 수직으로 기립하며 기립 전 격납고 공조 시스템은 발사대 패드의 냉각 장치시스템으로 전환된다. 이 때 조립관제선을 발사플랫폼으로부터 약 6.5km 떨어진 위치로 이동시킨다.
- 4) 발사 통제권 제어 시스템 점검이 시작된다. 발사체 연료 공급 시스템의 내부를 불활성기체들로 치환하여 폭발이 일어나지 않는 환경으로 만들고 냉각 작업이 시작되며 최종 준비가 완료된다. 발사 통제권 제어 시스템에 대한 점검이 완료되어 결과가 확인되면 나머지 발사플랫폼의 지원 인력은 연료 공급 전 모터보트로 조립관제선으로 이동한다. 발사플랫폼은 완전한 무인 상태가 되고 모든 제어 시스템은 조립관제선에서 원격으로 제어된다. 마지막 지원 인력은 발사 약 3시간에서 5시간 전에 철수한다.
- 5) 발사체 각 단의 액체 산소와 케로신 연료 주입은 발사 약 2.5시간에서 24분 전에 완료된다. 발사대는 해수면까지 내려와 격납고로 이동하고 모든 해치들을 닫는다. 연료라인들은 완전히 비워지고 질소로 채워진 채 발사체에서 분리된다.
- 6) 마지막 발사 순서에서는 발사플랫폼에 대한 배출가스와 소음을 최소화하기 위해 화염 유도도로에 freshwater deluge system이 사용된다. 화염 유도도로에 물을 뿌리는 작업은 발사 약 5초 전에 수행된다. 1단계 점화 작업은 발사 약 3초 전에 실행되고 주 엔진의 점화는 엔진 매개변수가 온보드 제어 시스템에 의해 확인된 후 0초에 실행된다.

이어서, 아래에서는 Sea Launch사의 해상 발사 운용 과정 중 통신 체계에 대하여 기술한다. Sea Launch사의 조립관제선, 발사플랫폼, Brewster 지

상 관측소의 세 지점은 주요 통신 노드로서 기능한다. 조립관제선과 발사플랫폼에 각각 SATCOM 레이돔이 배치되어 있으며, 조립관제선-지상관측소, 발사플랫폼-지상관측소의 통신은 통신위성을 통해 이루어진다.

조립관제선과 발사플랫폼과의 통신은 LOS (Line-Of-Sight) 무선 통신을 수행한다. 조립관제선과 발사플랫폼 내에는 전화기, 팩스, 인터콤, PA 및 발사 과정을 모니터링하기 위한 CCTV 등의 통신 장치들이 있으며 각 통신 장비들은 LOS 환경에 놓여있지 않은 경우에만 통신 인공위성을 이용한 무선 통신(SATCOM)을 사용한다[6].

인공위성은 물리적으로 페이로드 페어링에 가려져 있어 LOS 통신이 불가능하다. 따라서 페이로드 외부와 내부에 통신을 위한 안테나를 별도로 배치하여 원격수신정보(Telemetry)나 위성에 대한 지령(Command)을 페이로드 페어링 내부에 있는 인공위성에 송수신한다. 이러한 양방향 무선 통신 시스템을 Sea Launch사에서는 Rerad 시스템으로 지칭하며, 이 시스템은 PPF에서 인공위성과 전자지상시험지원장비(Electrical Ground Support Equipment)간의 통신에도 사용된다. Rerad 시스템의 지령이나 원격수신정보는 3~18GHz의 주파수 대역을 갖는다.

발사 이후 발사체 및 탑재체와의 통신 과정을 요약하면 발사체 발사 직후, 초기에 발사체와 두 선박은 초기에는 각 선박에 붙어있는 레이더가 발사체를 추적(Tracking)하여 발사체에 있는 송신기를 통해 원격수신정보(Telemetry), 지령 정보(command)를 송수신하는 LOS 무선 통신을 수행한다. 페이로드 페어링이 분리된 이후에는 LOS 무선 통신 방식에서 TDRSS(Tracking and Data Relay Statellites System)를 통한 통신 방식으로 변경된다. TDRSS란 정지궤도 통신위성 시스템으로 지상과 인공위성 사이의 통신을 중개하는 시스템이다. 발사체 1, 2단의 데이터와 3단의 데이터는 2단 분리 전인 약 7~8분 동안 조립관제선에 위치한 프로톤 추적 안테나(Proton Tracking Antenna)를 통해 수신한다(Fig. 4 참조). 동시에 페이로드 부분(Payload Unit)의 데이터는 조립관제선에 있는 S-Band 시스템 레이돔



Fig. 4 ACS proton tracking antenna[6].

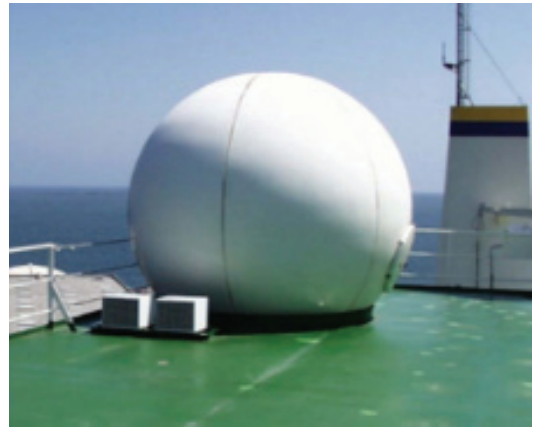


Fig. 5 ACS s-band system radome[6].

(S-Band System Radome)을 통해 수신한다(Fig. 5 참조). 발사 이후 전체적인 통신 방법을 다음과 같이 요약할 수 있다[6]:

- 1) 관측 초기, 조립관제선의 프로톤 추적 안테나와 S-band 장치를 통해 LOS 무선 통신으로 비행 데이터를 수신받는다.
- 2) 페이로드 페어링 분리 이후, 발사체 상단인 Block DM-SL과 페이로드 구성부에 있는 비행 데이터들의 수신 방법은 LOS 무선 통신에서 TDRSS로 변경된다.
- 3) TDRSS로 수신한 비행 데이터는 NASA 화이트샌즈 지상 관측소(White Sands Ground Terminal)를 통하여 브루스터 지상 관측소(Brewster Ground Station)로 전송되고 기록된다.
- 4) Block DM-SL의 데이터와 페이로드 부분의 데이터가 페이로드에서 조립관제선으로 전달되며 추가적으로 Block DM-SL의 데이터는 브루스터 지상 관측소에서 러시아의 에네르기아 제어 센터(Energia Moscow Control Center)로 보내지고 기록된다.

상술한 바와 같이 부유식-반 잠수형 해상 발사 체계는 Sea Launch사에서 주로 운용하였으나, 향후 Space X사 등에서도 이러한 형태의 해상 발사를 계획 중에 있다. 구체적으로, Space X사는 화성 이주, 로켓 회수 및 지구 대도시 간의

이동 서비스를 제공하기 위하여 스타십(Starship)의 해상 발사 및 해상 발사 플랫폼을 기획하였으며 현재 해상 발사 용도의 플랫폼 두 척이 제작 중이다. 제작되고 있는 해상 발사 플랫폼의 명칭은 Deimos, Phobos이고 Space X사의 자회사인 Lone Star Mineral development LLC 사가 소유하고 있다. 두 플랫폼은 해양 시추 회사인 Valaris PLC로부터 2개의 석유시추선(ENSCO 8500, ENSCO 8051)을 각각 350만 달러의 가격으로 인수하여 현재 해상 플랫폼을 제작 중에 있다. 두 플랫폼은 유사한 규모 및 모습으로 전장 73 m, 너비 78 m, 총면적 5,694 m²의 크기로 제작될 예정이다[7].

3. 부유식-수상형 발사 플랫폼

부유식-수상형 발사 플랫폼을 사용한 해상 발사는 중국의 발사 사례가 대표적이다. 현재까지 중국의 해상 발사는 중국항천과학기술집단공사(CASC, China Aerospace Science and Technology Corporation)가 주도적으로 수행하였다. CASC는 중국의 국영 우주 기업으로 1999년도에 설립되었으며, 우주 산업 분야뿐만 아니라 기계, 화학, 통신 등의 분야의 장비 및 체계 연구, 개발을 수행하고 있다[8]. 중국은 CASC 주도로 2019년 6월 5일부터 2022년 4월 30일까지 총 3회의 해상

발사를 수행하였다. 3회의 발사 모두 황해 해상에서 수행하였으며, Table 2와 같이 저궤도 및 태양동기궤도로의 위성 궤도 투입이 이루어졌다[9].

발사체로 사용된 Chang Zheng-11(CZ-11)은 CASC의 자회사인 항천 고체 추진 기술 연구원(AASPT, Academy of Aerospace Solid Propulsion Technology)에 의해 개발되었고 중국 발사체 기술 연구원(China Academy of Launch Vehicle Technology, CALT)에 의해 제작되었다. CZ-11은 길이 20.8 m, 지름 2 m의 크기와 58 톤의 발사 질량을 가진다. CZ-11은 350 kg의 페이로드를 700 km의 태양동기궤도(SSO)에 발사할 수 있고, 700 kg의 페이로드를 지구 저궤도(LEO)에 발사할 수 있다. CZ-11은 4단 고체 로켓으로 고체 연료로는 탈수산화부타디엔(HTPB)을 사용한다. 이 발사체의 1단 엔진 P35는 1,188 kN의 추력과 248초의 비추력을 가지며, 발사 시 발사관에 내장된 가스 발생기를 통해 발사체를 발사하여 공중에서 추진기관을 점화하는 콜드 런치 방식이 사용된다. 해상 발사를 위해 사용된 발사체는 기존 CZ-11를 개조한 CZ-11H이다[10].

CASC가 수행한 중국의 해상 발사 기지는 산둥성 옌타이(Yantai)시에 있는 하이양(Haiyang) 항구에 건설되었다. 해상 발사 기지는 발사체의 R&D 및 발사체 제작, 위성, 발사 플랫폼을 위한 센터로 구성되어 있다[11].

CASC사는 해상 발사를 위해 추적선, 예인선, 발사 플랫폼 등의 선박을 운용하였다. 추적선은 발사 후 인공위성을 추적하기 위해 활용되었으며 사용된 선박은 Yuanwang 7호(遠望7号) 등으

로 알려져 있다[12]. Sea Launch사의 사례와 다르게 CASC사의 최종 조립은 해상이 아닌 모항에서 수행되었다. 따라서 조립관제선에서의 별도의 조립 및 시험 과정이 생략되므로 추적선의 주요 임무는 발사 제어 및 위성과의 통신으로 한정된다.

Yuanwang 5호 선박은 중국의 항공우주 탐사선으로, 해양 기상학, 전자, 광학 통신 및 컴퓨터 분야의 기술을 통합한 시스템을 갖추었다고 보고되었다. 전하중 배수량은 25,000 톤이고 풍력 등급은 12 이상이다. S-band 통합 측정 및 제어 시스템, C-band 통합 측정 및 제어 시스템, C-band 펄스레이더와 같은 대규모 측정 및 제어 장비가 선박에 설치되어 있어 해상 추적 측정 및 로켓, 인공위성 등 다양한 해상 발사 임무를 관제하고 임무센터와 실시간으로 통신이 가능하다. Yuanwang 7호는 Yuanwang 5호와 유사하게 중국이 독자적으로 설계 및 개발한 항공우주 및 해양 탐사선이다. 이 선박의 전장은 224.9 m, 전폭 27.2 m, 높이 44.2 m, 최대 배수량 27,000 톤, 최대 속도 18 노트, 항속력은 18,000 해리이다. Yuanwang 7호는 일반 선박 플랫폼에 항공우주 측정, 제어, 해양기상 모듈 등을 탑재하여 운행하는 것으로 알려졌다[13].

중국에서 사용된 발사플랫폼은 2019년 5월 6일, 2022년 4월 30일에 사용된 Tai Rui(泰瑞号)와 2020년 9월 15일에 사용된 DeBo-3(德渤3号) 등이 있다. 또한, Tai Rui와 DeBo-3 이외에 발사의 해상 풍력 발전소 운송, 해상 대형 화물, 특수 설비 운반 등 다양한 목적으로 사용될 새로운 플랫폼을 건조중으로, 2021년 2월 29일에 건조를 시작하였다. 해당 플랫폼은 전장 162.5 m, 전폭 40 m의 크기를 가질 것으로 알려졌다[15].

Tai Rui 플랫폼은 길이 110 m, 폭 80 m의 크기를 가지는 바지선이다(Fig. 6 참조). Tai Rui는 자체 추진 기관이 없기 때문에 예인선에 의하여 발사 장소까지 예인되었다[15]. DeBo-3는 2017년 기준으로 부력이 가장 큰 인양 구조선이며 전장 159.6m, 최대 전폭 38.8m, 최대 재화 중량 20,500톤급의 선박이다. 시속 20 km 이상의 속도를 가지며 편특 최대 부력 12,000 톤으로 Tai

Table 2. Ocean-based launch history in CASC. LEO: low-earth orbit, SSO: sun-synchronous orbit.

Launch Date	Latitude/Longitude	Launch Platform	Orbit
2019/6/5	34.9N/ 121.19E	Tai Rui	LEO
2020/9/15	34.3N/ 123.76E	De Bo 3	SSO
2022/4/30	32.2N/ 123.8E	Tai Rui	SSO

Rui 발사 플랫폼과는 다르게 전기 추진 기관이 있어 자력 운항이 가능하다[16].

CASC에서의 해상 발사 운용을 위해 CZ-11H 로켓은 모항인 동광 우주 발사기지(Dongfang Aerospace Port)에서 조립과 점검을 거친다. 조립된 로켓은 해상 발사 기지가 있는 하이양 항구로 이송되는데, 발사체가 발사 플랫폼으로 이송되는 과정은 하루 내에 완료된다. 발사체와 발사 플랫폼이 발사 장소로 이동하는 동안 발사 운용 과정 점검이 수행되며, 전체적인 발사 과정은 약 3-4일이 소요되었다[17].

4. 반 고정식 발사 플랫폼

마지막으로, 반 고정식 발사 플랫폼을 사용한 사례는 이탈리아의 산 마르코(San Marco)의 경우가 대표적이다. 산 마르코와 산타 리타(Santa Rita) 플랫폼은 이탈리아 정부와 미국의 NASA가 협력하여 제작한 최초의 반 고정식 해상 발사 플랫폼으로, 미국의 스카웃(Scout) 발사체를 통해 과학 인공위성을 발사하기 위한 목적으로 제작되었다. 두 플랫폼은 케냐 연안 인도양의 동경 40도, 남위 3도 부근에 위치하며 1964년부터 1988년까지 총 27회의 발사를 수행하였다[18].

이중 산타 리타 플랫폼은 1963년 원유 시추 플랫폼을 개조하여 만들어졌으며 초기에 발사 플랫폼으로 사용되었다(Fig. 7 참조). 1963-1964년 중 산타 리타 플랫폼에서 총 3회의 Nike-Apache 발사체 발사가 수행되었다. 이 기간 동안 산타 리타 플랫폼은 발사 운용을 지원하는 별도의 지원 선박과 해저 케이블로 유선 연결되어 운용되었다. 지원 선박은 통신 및 발사체 추적 임무를 담당하는 것으로 알려졌다[19].

산 마르코 플랫폼은 바지선을 개조하여 제작된 반 고정식 발사 플랫폼으로, 1966년에 완공되어 1988년까지 총 24회의 발사 임무를 수행하였다(Fig. 8 참조). 산 마르코 플랫폼은 너비 27.4 m, 길이 91.4 m의 직사각형 모양 갑판을 직경 1.8 m인 18개의 원통형 지지대가 지지하는 형태



Fig. 6 The tai rui platform launching the CZ-11H[14].



Fig. 7 Picture of the santa rita platform taken in 1974 [18].



Fig. 8 Erection of the scout rocket at the san marco launch platform in 1974[18].

로 설계되었으며, 지지대 일부는 수면에 잠긴 상태로 운용되었다. 산 마르코 플랫폼은 자체적인 크레인을 보유하고 있어 로켓 부품의 조립 및 운반을 자력으로 수행 가능하였다[20].

산 마르코 운용 시작에 따라 이전에 사용되었던 산타 리타 플랫폼은 통신 및 발사체 추적 목적의 플랫폼으로 재개조 되어 산 마르코 플랫폼의 운용을 지원하였다. 산 마르코 플랫폼은 산타 리타 플랫폼과 518 m 거리를 두고 이격되었으며, 해저 케이블로 연결되어 상호 간에 장비 제어, 통신이 가능하고 발전 시설을 통한 자체 전력 생산이 가능하였다[19].

5. 발사 플랫폼의 형태별 비교

현재까지 가장 많은 해상 발사를 수행한 Sea Launch사는 발사 플랫폼으로 중장거리 이동이 가능한 부유식 반 잠수형 리그션을 활용하여 적도에서 해상 발사를 수행하였다. 부유식 반 잠수형 리그션은 운용 자율성이 높고 큰 데크 면적으로 부지 활용이 용이하며, 자체 안정성이 우수하여 중장거리 이동에 유리하다. 중국의 경우, 하이난의 일부 발사장을 제외한 대부분의 지상 발사장이 내륙에 위치하기 때문에 발사각 문제를 해결하고자 황해에서의 해상 발사를 추진하였는데, 모항에서 발사 위치까지의 거리가 짧으므로 발사 플랫폼으로 부유식 바지선과 일반 수상함을 사용하였다. 이러한 형태의 해상 발사는 일반적으로 부유식 반 잠수형 발사 플랫폼보다 바람 및 파도에 영향을 많이 받아 선박의 자세 안전성에 불리하나, 근거리 해상에서 발사에는 무리가 없으며, 고체 발사체 사용에 적합하기 때문에 판단된다. 마지막으로, 연안 근해에서만 발사가 수행된 산 마르코의 사례에서는 반 고정식 발사 플랫폼을 사용하였는데, 이러한 방식은 고정된 지지대에 의해 안정적인 자세 유지가 가능하나 자체 추진 능력이 없어 중장거리 이동이 제한되고 지지대의 길이에 한계가 있어 깊은 수심에서는 사용이 불가능하다는 한계를 지닌 것으로 파악되었다. 따라서 근해를 벗어난 해상 발사를 수행하고자 할 경우 반 고정식 발사 플랫폼은 활용이 제한될 것으로 판단된다.

이와 같이 각국의 해상 발사 사례에서는 발사 형태와 목적에 맞는 다양한 플랫폼 형식이 시도

되었으며, Table 3에 정리되었듯이 운용 방식에 따라 적절한 플랫폼 형태의 선정이 중요한 요소로 고려되었다. 향후 국내에서 액체 연료 로켓 기반의 해상 발사를 시도할 경우 ▲지리적 한계점을 극복하기 위해 남방으로의 중장거리 이동이 필요하고 ▲해당 경로상 환경으로 인해 발사 플랫폼의 안정성 확보가 필수적이며 ▲발사체 연료 주입 등 발사 준비 작업을 위한 충분한 작업 공간이 필요하다는 점을 고려할 때, Sea Launch사와 같은 부유식 반 잠수형 리그션이 해상 발사 플랫폼의 적합한 형태가 될 것으로 판단된다.

Table 3. Comparison between the major types of ocean-based launch platform.

Type	Features and Implications
Half-fixed	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilized by fixed support. Does not require dynamic positioning. • No self-propulsion, requiring tugboat for displacement. • Launch site limited to coastal waters, owing to limited depth of the support. • Suitable for small launch vehicles, including military-purpose solid rockets.
Floating	<ul style="list-style-type: none"> • Vehicle dynamics heavily affected by environmental factors (e.g., wind, waves). May require dynamic positioning. • Self-propulsion generally available, except for barge-based floating platforms. • Limited deck area. • Suitable for solid rockets, especially of cold-launch type.
Semi-submersible	<ul style="list-style-type: none"> • Self-propulsion available. • High stability. • Relatively large deck area. • Open water sailing available, allowing efficient payload delivery. • Suitable for large liquid-fuel rockets.

6. 결 론

본 논문에서는 각 Sea Launch사, CASC 및 산 마르코 등의 사례를 중심으로 기존 해상 발사 플랫폼, 발사체 및 체계에 대한 사례 연구를 수행하였다. 기존 사례에서 각국의 지상 발사장이 가진 지리적 한계를 극복하여 인공위성의 궤도 투입에 성공한 것을 확인하였으며, 해상 회수 등 파생 연구 또한 수행되고 있는 것을 파악하였다. 발사 장소 선정 및 궤도 선택에서 해상 기반 발사 체계가 가지는 이점, 그리고 국내 지상 발사장이 가지는 지정학적 한계를 고려하였을 때, 향후 국내에서 해상 발사가 시도될 유인이 충분한 것으로 판단된다. 나아가, 해상 기반 발사 체계에서 필수적인 발사플랫폼과 조립 관제선 등 선박의 건조 및 운용 과정에서, 시장 선도적인 국내 조선 산업계와의 상승효과 또한 기대할 수 있을 것이다. 또한, 해외 사례에 적용되어 사용된 여러 유형의 해상 발사 플랫폼의 유형의 장단점을 고려하였을 때, 부유식 반 잠수형의 리그선 형태가 한국형 해상 발사 플랫폼으로 가장 적합할 것으로 판단하였다.

후 기

본 연구는 한국항공우주연구원 자체연구사업(저위도 발사를 위한 한국형 해상발사 플랫폼 개념연구)의 일환으로 수행되었습니다.

References

1. Ryoo, C.-K. and Tahk, M.-J., "System Component and Operation of Sea Launch," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 34, No. 4, pp. 110-117, 2006.
2. Sirko, R. and Reyes, K., "Boeing Launch Vehicles And Systems," *21st International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit*, Yokohama, Japan, AIAA 2003-2259, 2003.
3. Cashim, L. M., "Lessons from Sea Launch," *NASA/STI Technical Report*, AD-A407104; AU/ACSC/039/2001-04, 2001.
4. ICF Consulting, Inc., "Final Environmental Assessment For A Launch Operator License For Sea Launch Limited Partnership," FAA Report, 2001.
5. Konyukhov, S.N., "Applied Mechanics Problems Accompanying Spacecraft Launches From A Floating Platform And Their Resolution By The Sea Launch Project," *International Applied Mechanics*, Vol. 40, No. 2, pp. 115-139, 2004.
6. Boeing Commercial Space Company, "Sea Launch User's Guide," Sea Launch Company Rev. D, 2008.
7. "SpaceX acquires former oil rigs to serve as floating Starship spaceports," retrieved 05 Jul. 2023 from <https://www.nasaspaceflight.com>.
8. "CASC Company Profile," retrieved 05 Jul. 2023 from <http://english.spacechina.com/n16421/n17138/n17229/index.html>.
9. "CZ-11H (Chang Zheng-11H)," retrieved 05 Jul. 2023 from https://space.skyrocket.de/doc_lau_det/cz-11h.html.
10. Brian Harvey, *China in Space: The Great Leap Forward*, 2th ed., Springer Nature, Berlin, German, 102, 2019.
11. "Yantai Haiyang: China's first maritime space launch base," retrieved 05 Jul. 2023 from https://k.sina.com.cn/article_1893278624_70d923a002000wrma.html.
12. "China's first space launch at sea draws world attention," retrieved 05 Jul. 2023 from <http://military.people.com.cn/n1/2019/0607/c1011-31125015.html>.
13. "China commissions space tracking ship as new station readied," retrieved 05 Jul. 2023 from <https://www.spacedaily.com/reports/>

- China_commissions_space_tracking_ship_as_new_station_readied_999.html/.
14. "China conducts first Sea Launch mission with Long March 11 launch of seven satellites," retrieved 05 Jul. 2023 from <https://www.nasaspaceflight.com/2019/06/china-first-sea-launch-long-march-11-seven-satellites/>.
 15. "One more China's sea power expansion! The sea rocket launch ship will be built in 2022 and will be put into use," retrieved 05 Jul. 2023 from <https://newtalk.tw/news/view/2021-11-16/667195/>.
 16. "Long March rocket sends 9 satellites into orbit from sea," retrieved 5 Jul. 2023 from <https://global.chinadaily.com.cn/a/202009/16/WS5f614d0da31024ad0ba79bea.html>.
 17. "'One Arrow and Five Stars' come from the sea, the Long March 11 carrier rocket launched 3 consecutive victories at sea," retrieved 5 Jul. 2023 from <http://finance.people.com.cn/n1/2022/0501/c1004-32412762.html>.
 18. "Images and Memories from Ariel V," retrieved 5 Jul. 2023 from https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/ariel5/ariel5_launch.html.
 19. Nesbitt, H.N., "History of the Italian San Marco equatorial mobile range," *NASA Technical Report*, No. NASA-CR-111987, 1971.
 20. Caporale, A.J., "History of San Marco," *NASA Technical Report*, No. NASA-TM-X-70523, 1968.