



Technical Paper

DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2018.22.4.125>

한국형발사체 발사대시스템 지상기계설비 운용개념 및 절차

임찬경^{a,*} · 김대래^a · 양성필^a · 이영호^a · 강선일^a

The Operation Concept and Procedure of Mechanical Ground Support Equipment for KSLV-II Launch Complex

Chankeyoung Lim^{a,*} · Daerae Kim^a · Seongpil Yang^a · Yeongho Lee^a · Sunil Kang^a

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

*Corresponding author. E-mail: imck@kari.re.kr

ABSTRACT

The mechanical ground support equipment of a Korea Space Launch Vehicle-II launch complex is a collection of systems used for transporting, erecting and lowering the launch vehicle. It also provides an interface for supplying propellants. In this paper, compositions, functions and design results of mechanical ground support equipment are introduced. Additionally, the operational concept of each piece of equipment is presented with operation procedure.

초 록

한국형발사체 발사대시스템의 지상기계설비는 수평상태로 총 조립된 발사체를 조립동에서 발사패드로 이송하여 기립 후 안착시키고, 발사체로의 추진제 공급을 위한 공급 및 분리장치를 제공하며 발사체 이륙까지의 기구학적인 동작과 기계적인 운용을 담당하는 설비이다. 본 논문에서는 한국형발사체의 요구조건을 충족시키기 위하여 개발 중인 지상기계설비들의 구성과 기능, 형상 설계 결과를 소개하고, 발사운용절차에 따른 각 장치들의 운용개념을 소개한다.

Key Words: KSLV-II(한국형발사체), Launch Complex(발사시설), Mechanical Ground Support Equipment(MGSE, 지상기계설비)

1. 서 론

한국형발사체(KSLV-II) 발사대시스템은 한국형

발사체 및 시험발사체를 발사하기 위한 지상시설이다. 발사시설1(LC1)에서는 75톤 엔진 1기로 구성된 2단형의 시험발사체를 발사하며, 기존의 나로호(KSLV-I) 발사대를 시험발사체 발사운용개념에 적합하도록 개조하여 사용한다[1,2]. 신규 개발 중인 발사시설2(LC2)에서는 75톤 엔진 4기를 엮은 3단형의 한국형발사체를 발사할 예정이다. 발사시설2 역시 나로호의 발사운용경험을 바

Received 3 June 2017 / Revised 28 April 2018 / Accepted 31 April 2018

Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers

pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548

[이 논문은 한국추진공학회 2017년도 춘계학술대회(2017. 5. 31-6. 2, 라마다프라자 제주호텔) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

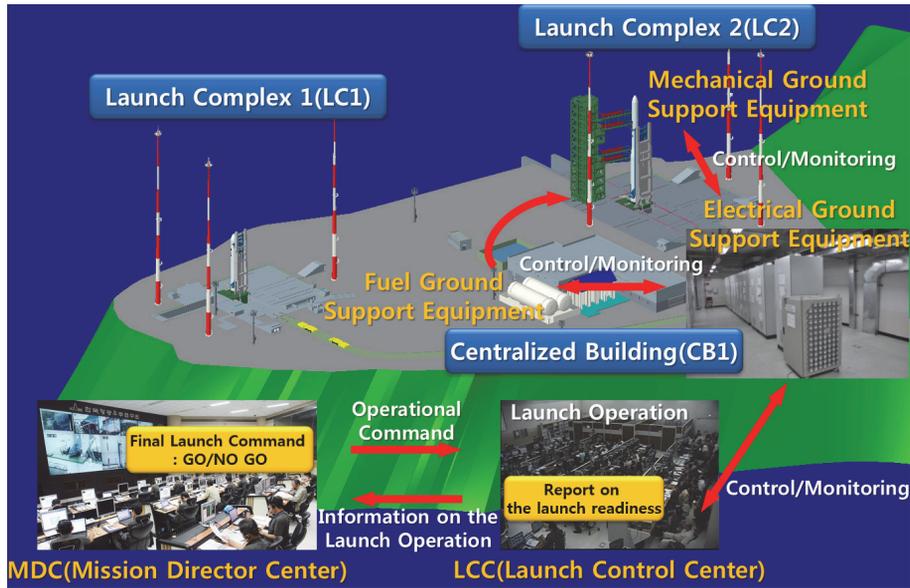


Fig. 1 Operation concept of KSLV-II launch complex.

탕으로 구성되었으며 한국형발사체의 요구조건을 충족시키기 위한 신규 장치들이 추가된다.

각 발사시설은 기능 및 사용목적에 따라 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 지상기계설비, 추진제공급설비, 발사관제설비 그리고 기반시설로 분류할 수 있다. 지상기계설비는 발사체의 이송, 기립, 고정 등을 담당하는 장치들로 구성되며, 추진제공급설비는 연료, 산화제 및 고압 가스류를 발사체의 요구 조건에 맞게 저장, 공급, 배출하는 기능을 담당한다[3]. 발사관제설비는 지상기계설비와 추진제공급설비 및 발사체의 전반적인 감시와 발사 제어운용을 담당하며, 기반시설은 전력, 급수, 공조, 통신 등의 토목, 건축 관련 설비를 통칭한다[4]. 본 논문에서는 한국형발사체 발사를 위한 발사시설2의 부속설비 중에서 지상기계설비의 구성과 기능을 소개하고, 발사운용개념에 따른 지상기계설비의 역할에 대해 소개한다.

2. 본 론

2.1 지상기계설비 구성

발사대 지상기계설비는 수평상태로 총 조립된

Mechanical Ground Support Equipment			
Launch Pad (LP) K101	Erector (Erector) K102	Transporter Erector (T/E) K103	Self Propelled Modular Transporter (SPMT) K130
Vehicle Holding Device (VHD) K131	1 st Stage Umbilical Connecting Unit (S1UCU) K132	Upper Stage Umbilical Connecting Unit (USUCU) K133	Umbilical Tower (UT) K134

Fig. 2 Subsystems of mechanical ground support equipment.

발사체를 조립동에서 발사패드로 이송하여 기립(또는 수평화), 안착(또는 제거)시키고, 발사체로의 추진제 공급을 위한 공급장치를 체결(또는 분리)하며 발사체 이륙(철수)까지의 기구학적인 동작과 기계적인 운용을 담당하는 설비이다. 지상기계설비는 위와 같은 기본적인 동작들을 수행하고, 발사운용 중 발생하는 발사체의 요구조건을 충족시키기 위한 총 8개의 기계장치로 이루어진다. 각 기계장치의 명칭 및 영문 약어, 분류기호와 발사대 상에서의 위치를 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

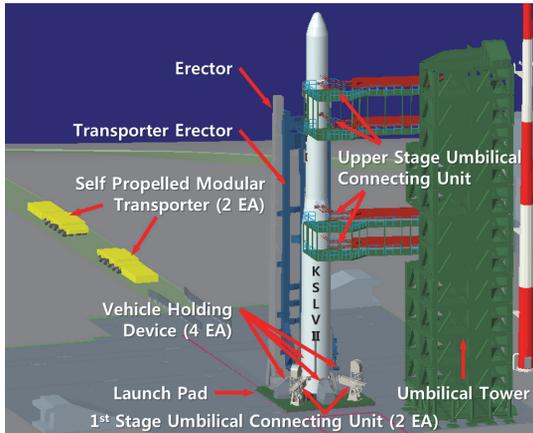


Fig. 3 Location of mechanical ground support equipment.

지상기계설비 중 발사패드, 이렉터, 트랜스포터 이렉터(Transporter Erector, T/E), 발사체 이송장치(Self Propelled Module Transporter, SPMT)는 기존 나로호 발사 시 운용했던 경험이 있으며 한국형발사체에 적합하도록 설계를 수정하여 사용한다. 발사체 지상고정장치(Vehicle Holding Device, VHD), 1단 및 상단부 엄빌리칼 접속장치(Umbilical Connecting Unit, UCU), 엄빌리칼 타워 등은 한국형발사체의 요구조건에 따라 새롭게 개발되는 장치이다.

2.1.1 발사패드

발사패드는 이렉터, 발사체 지상고정장치, 1단 엄빌리칼 접속장치에 대한 설치 위치를 제공하고, 정적하중을 지지하는 기초 구조물이다. 또한 발사체의 엔진 점화 이후 발사체 지상고정장치의 고정해제 이전까지 1단 추진시스템에서 발사체 지상고정장치로 전달되는 동적하중을 지지하며 지상에서 발사체로 연결되는 각종 공급라인의 경로를 제공하고, 이를 안전하게 보호한다.

2.1.2 이렉터

이렉터는 트랜스포터 이렉터와 발사체의 결합체를 안전하게 지지하여 기립시키고, 발사직전 및 발사취소 시에 각각 트랜스포터 이렉터 또는 트랜스포터 이렉터와 발사체의 결합체를 수평화

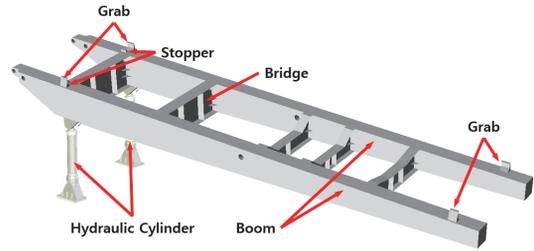


Fig. 4 3D drawing of erector.

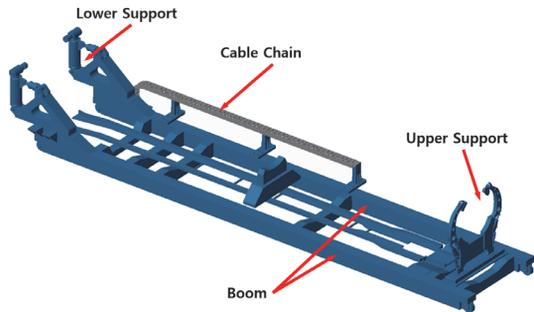


Fig. 5 3D drawing of transporter erector.

시키기 위한 기계장치이다. 이렉터의 기립 및 수평화는 3단 유압 실린더에 의해 이루어지며 수평상태에서 이렉터 상의 트랜스포터 이렉터를 이동시키기 위한 캐리지(Carriage)라는 유압장치가 붐 중앙부에 존재한다. 이렉터의 주요 구성은 Fig. 4에 나타내었다. 이렉터는 기립 상태에서 작용하는 풍하중을 견뎌야 하며 트랜스포터 이렉터의 작동을 위해 유압을 제공하는 역할도 담당한다.

2.1.3 트랜스포터 이렉터

트랜스포터 이렉터는 발사체를 안전하게 지지하여 운송하기 위한 기계장치이다. 또한 발사대 상에서 이렉터와 결합되어 기립된 후에 발사체를 발사체 지상고정장치에 내려놓는 역할을 담당한다. 트랜스포터 이렉터는 Fig. 5와 같이 발사체를 지지하고, 고정하기 위한 상부지지대 및 하부지지대, 그리고 붐 등으로 구성된다. 운용과정 중 발사체에 불필요한 하중이 가해지지 않도록 해야 하며 기립 후 발사체를 정확한 위치에 안착시키기 위해 하부지지대에 유압 실린더가 존재한다.



Fig. 6 SPMT and transporter erector for KSLV-I.

2.1.4 발사체 이송장치

발사체 이송장치는 조립동에서 총 조립된 발사체를 트랜스포터 이렉터와 결합하여 약 1.5 km 떨어진 발사시설2의 발사패드까지 이송하기 위한 기계장치이다. 또한 발사대 상에서 트랜스포터 이렉터와 발사체의 결합체를 수평상태의 이렉터 상으로 이송한 후, 발사대 밖으로 후퇴한다. 전, 후방에 각 1대씩의 발사체 이송장치가 존재하며 트랜스포터 이렉터와 발사체의 중량 및 여유중량을 감안하여 총 100톤의 하중을 지지할 수 있어야 한다. 조립동에서 발사대로 이동시 발사체 이송장치는 별도의 원격 제어 패널을 이용하여 조작하며 발사체 이륙 전 발사대에서 트랜스포터 이렉터를 후퇴시키는 경우에는 약 3 km 떨어진 곳에 위치한 LCC(Launch Control Center)에서 원격으로 조작하여 이동한다. 발사체 이송장치는 Fig. 6과 같이 나로호에 사용하였던 3열 이송장치를 5열로 개조하여 사용한다.

2.1.5 발사체 지상고정장치

발사체 지상고정장치는 발사체 엔진점화 이후 발사체의 추력이 목표 수준에 도달하기 전까지 발사체를 고정시켰다가 이후 발사체가 이륙하도록 하는 기계장치이다[5]. 300톤에 달하는 한국형발사체 1단의 추력을 순간적으로 견뎌야하며 분리 명령 수신 후에는 발사체가 부드럽게 이탈되도록 고정력을 해제시켜주어야 한다. Fig. 7에 나타낸 바와 같이 발사패드 상면에 90° 간격으로 총 4기의 고정장치가 설치되며 4기의 고정해제 동작이 정확하게 일치해야 한다. 발사체의 고

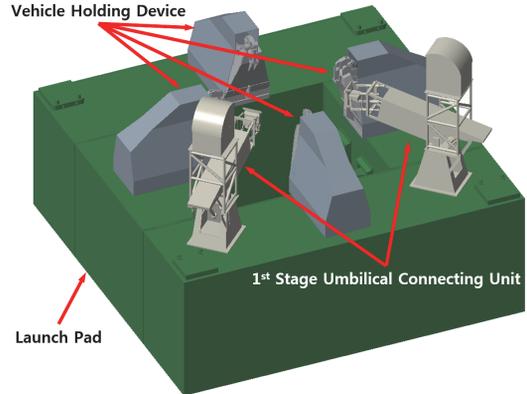


Fig. 7 Vehicle holding devices and 1st stage umbilical connecting units on launch pad.

정력은 기구학적으로 구현하며 점진적인 후퇴력은 스프링과 유압 실린더를 통해 발생시킨다.

2.1.6 1단 엄빌리칼 접속장치

발사체에 공급되는 연료, 산화제 및 각종 고압 가스는 엔진 점화 이후 발사 취소 시에도 발사체 밖으로 배출되어야 하며, 안전을 위해 현장 인력의 접근이 제한된 상태에서 자동으로 배출 가능해야 한다. 이를 위해서 각 층전, 배출 라인 은 이륙순간까지 발사체와 연결된 상태로 있으며, 발사체 상승에 의한 이륙확인신호(Lift-off Contact, LoC) 발생 이후에 발사체와 분리가 이루어지게 된다. 발사체에 연결되는 각종 공급라인은 엄빌리칼 플레이트라고 불리는 연결모듈에 취합되어 발사체와 접속되고, 분리되는데 분리된 엄빌리칼 플레이트를 회수하는 장치가 엄빌리칼 접속장치이다. 엄빌리칼 플레이트는 발사체 1, 2, 3단에 각각 존재하며 1단 엄빌리칼 접속장치는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 한국형발사체 1단의 45°와 135° 방향에 위치한 엄빌리칼 플레이트를 안전하게 회수하기 위한 장치이다.

이륙확인신호는 발사체가 약 25 mm 상승하면 발생하며, 그 전까지는 각종 공급라인들이 엄빌리칼 플레이트를 통해 발사체와 접속된 채로 있게 된다. 따라서 발사체의 상승 동작과 풍하중에 의한 횡방향 변위를 따라갈 수 있는 메커니즘이 엄빌리칼 접속장치에 구현되어야 한다. 또한 발

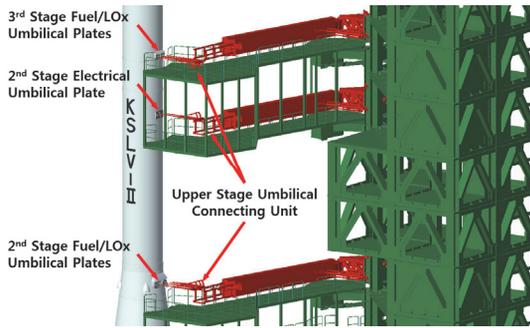


Fig. 8 Upper stage umbilical connecting units and umbilical plates.

사 대기 및 플레이트 회수 시에 발사체에 작용하는 힘이 최소화되도록 설계되어야 한다. umbilical 플레이트 분리 후에는 발사체와 재접촉 방지를 위해 신속한 플레이트 회수가 필요하며, 이를 위해 파이로 밸브와 공압 실린더를 사용한다.

2.1.7 상단부 umbilical 접속장치

상단부 umbilical 접속장치는 umbilical 타워에서 발사체 상단부로 연결되는 연료, 산화제 및 각종 고압 가스의 공급라인과 전계장 라인을 연결모듈로 취합하여 발사체에 체결하고, 이륙확인 신호에 의해 발사체와 분리된 umbilical 플레이트를 자동으로 안전하게 회수하는 장치이다.

한국형발사체의 2, 3단, 즉 상단부에는 Fig. 8과 같이 총 5개의 umbilical 플레이트와 온도제어 커넥터가 존재하며 이를 회수하기 위한 총 4기의 상단부 umbilical 접속장치가 umbilical 타워에 설치된다. 파이로 밸브와 공압 실린더를 이용한 급속회수개념은 1단 umbilical 접속장치와 동일하지만 암(Arm)의 수평회전에 의한 회수라는 점에서 차이가 있다. 파이로 밸브는 1단 umbilical 접속장치와 동일한 규격을 사용하며, 공압 실린더는 암 회전 및 플레이트 급속 후퇴용 실린더가 각각 설치된다. 2, 3단의 연료 및 산화제 umbilical 플레이트는 발사체의 90° 방향에 좌우로 나란히 위치하기 때문에 1단과 달리 하나의 umbilical 접속장치로 동시 회수가 이루어진다.

상단부 umbilical 접속장치는 고공에 설치되기 때문에 지상에 위치한 장치들보다 좀더 엄격한

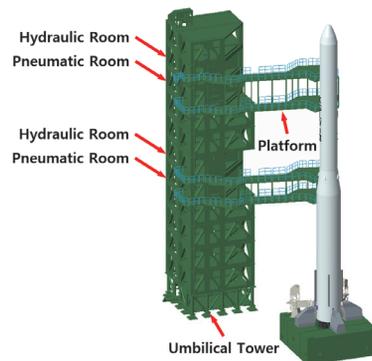


Fig. 9 3D drawing of umbilical tower.

요구조건을 갖게 된다. 즉, 상단으로 갈수록 발사체의 횡방향 변위가 커지므로 1단에 비해 더 큰 변위를 흡수하며 플레이트 회수가 이루어져야 한다. 또한 중량 제한에서 비교적 자유로운 지상의 설비들과 달리 고공에서 신속한 동작을 필요로 하는 장치이기 때문에 불필요한 중량을 줄이는 설계도 필요하다.

2.1.8 umbilical 타워

umbilical 타워는 상단부 umbilical 접속장치가 설치되는 기초 구조물로서 고공에 있는 발사체 umbilical 플레이트의 설치위치까지 현장 작업자 및 장비를 접근시키기 위한 플랫폼을 제공한다. 설치 후 외부환경에 상시 노출되는 장비이므로 태풍에도 견딜 수 있어야 하며 발사 시 발사체의 화염에도 전체 구조물의 기능이 유지되어야 한다. 또한 상단부 umbilical 접속장치가 정확한 위치에서 동작할 수 있도록 풍하중에 의한 변위를 최소화할 수 있는 높은 강성을 가져야 한다. 플랫폼의 발사체 접근 및 회수는 유압 실린더에 의해 이루어지며 공압으로 회수되는 상단부 umbilical 접속장치를 운용하기 위한 공압설비실도 설치된다. umbilical 타워는 플랫폼 및 상단부 umbilical 접속장치의 회수방향을 고려하여 Fig. 9에 나타난 바와 같이 발사체의 135° 방향에 위치하게 된다.

2.2 지상기계설비 발사운용절차

한국형발사체 발사대 지상기계설비의 발사운

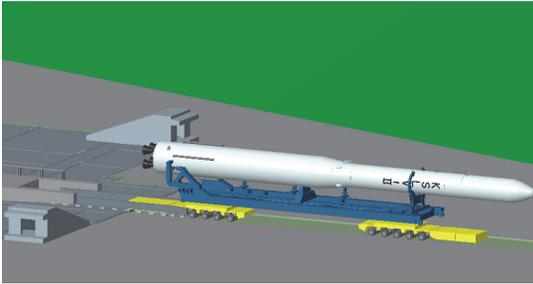


Fig. 10 Transportation of KSLV-II to the LC2.

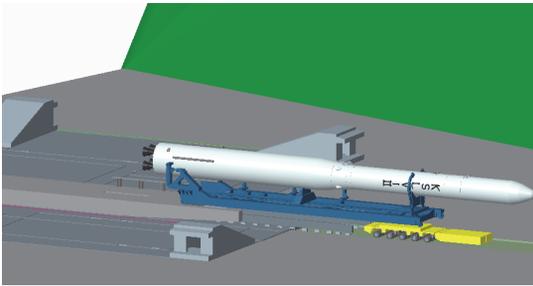


Fig. 11 Installation of T/E rear wheels on the erector.

용절차는 나로호의 운용개념을 바탕으로 하며, 신규 장치들의 운용에 적합하도록 새로운 절차들이 추가되었다. 발사체의 이송과 기립까지는 나로호의 발사운용개념과 동일하며 이후 안착 및 엄빌리칼 접속장치 체결 과정이 수정, 추가되었다.

2.2.1 발사체 이송

지상기계설비 발사운용절차의 첫 단계는 발사 2일 전, 총 조립된 발사체를 조립동에서 발사패드로 이송하는 것으로부터 시작된다. 총 조립된 발사체는 조립동에서 트랜스포터 이렉터 위에 수평상태로 거치되며 발사체 이송장치가 트랜스포터 이렉터와 발사체의 결합체를 조립동에서 2 km 떨어진 발사시설2의 발사패드까지 이송하게 된다. 발사시설2로 이송된 트랜스포터 이렉터와 발사체의 결합체를 Fig. 10에 나타내었다.

2.2.2 이렉터 및 트랜스포터 이렉터, 발사체 결합
발사체 이송장치에 의해 발사패드로 이송된 트랜스포터 이렉터와 발사체의 결합체는 Fig. 11

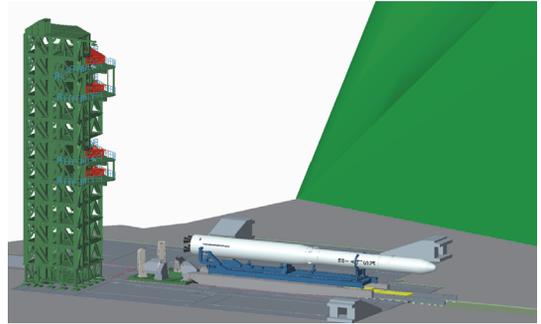


Fig. 12 Completion of coupling between the erector and T/E with KSLV-II.

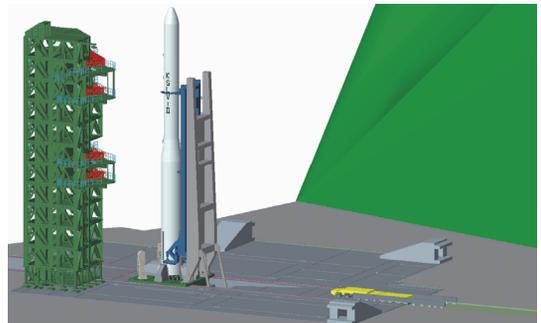


Fig. 13 Erection of KSLV-II and installation on VHD.

과 같이 트랜스포터 이렉터의 뒷바퀴부터 이렉터 상면으로 얹혀지게 된다. 이 때 후방 이송장치가 먼저 이렉터 밑으로 들어갔다가 밖으로 빠져나오게 되며 전방 이송장치는 그대로 이렉터 밖에서 결합체의 하중을 지지하게 된다. 이후 Fig. 12와 같이 전방 이송장치가 결합체를 이렉터 상에서 발사패드 방향으로 이동시키고, 결합체와 전방 이송장치가 분리된다.

2.2.3 발사체 기립 및 안착

수평상태의 트랜스포터 이렉터와 발사체 결합체는 Fig. 13과 같이 이렉터를 통해 수직상태로 기립된다. 기립 시 동작소요시간은 나로호와 비슷한 12분 내외이다. 발사체는 기립 직후에도 트랜스포터 이렉터 및 이렉터에 의해 지지되며 이후 트랜스포터 이렉터에 의해 약 80 mm 정도 하강하는 과정을 거쳐 4기의 발사체 지상고정장치에 안착된다. 발사체 안착 이후에는 지상고정

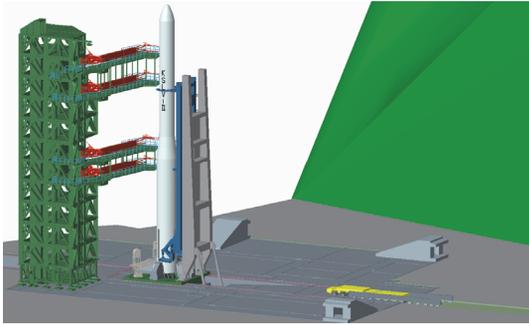


Fig. 14 Approaching platform and USUCU to KSLV-II.

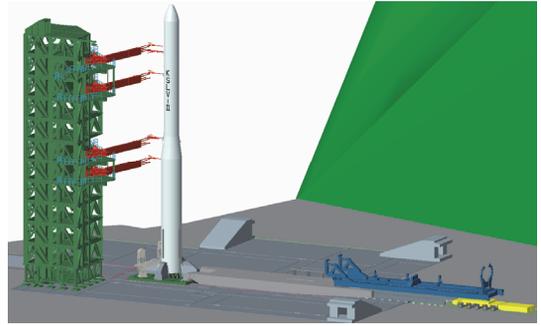


Fig. 16 T/E lowering and move-out from launch pad.

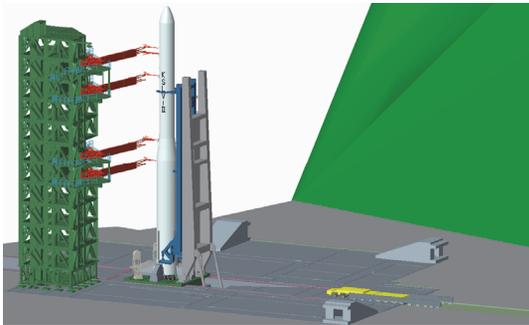


Fig. 15 Retraction of platform from KSLV-II.

장치의 Upper Jaw에 유압이 공급되어 발사체를 견고히 지지하게 된다. 이후 트랜스포터 이렉터와 발사체 후방동체 핀과의 체결이 해제되며 결국 트랜스포터 이렉터의 상부 지지대로만 발사체를 감싸는 형태가 된다.

2.2.4 엄빌리칼 접속장치 체결

발사체의 지상고정장치 안착이 완료되면 엄빌리칼 접속장치의 체결이 시작된다. 지상에 위치한 1단 엄빌리칼 접속장치는 수동으로 체결되며 상단부 엄빌리칼 접속장치는 엄빌리칼 타워의 플랫폼이 발사체쪽으로 접근하는 과정에서 함께 발사체 쪽으로 이동하게 된다. 플랫폼 및 상단부 엄빌리칼 접속장치는 각 단별로 순차적으로 이동된다. 플랫폼을 통해 현장 작업자의 발사체 접근이 가능해지면 상단부 엄빌리칼 접속장치를 수동으로 발사체와 연결하게 되며 각종 공급라인들을 현장 작업자가 엄빌리칼 플레이트와 체결한다. 추진제 공급 전 7개의 엄빌리칼 플레이

트의 각종 라인들에 대한 기밀시험을 수행하게 되며 약 하루 정도가 소요된다. 플랫폼 및 엄빌리칼 접속장치가 발사체에 접근된 모습을 Fig. 14에 나타내었다.

2.2.5 추진제 공급

연료, 산화제 및 각종 고압 가스의 공급은 발사 당일에 발사 약 7시간 전부터 시작하여 발사 직전까지 이루어진다.

2.2.6 플랫폼 회수 및 기립 시스템 수평화

발사 1시간 전에는 Fig. 15와 같이 발사체 접근상태에 있던 엄빌리칼 타워 플랫폼이 회수된다. 또한 기립 상태의 트랜스포터 이렉터를 통해 수평화된다. 트랜스포터 이렉터는 수평화 후 Fig. 16과 같이 전방 이송장치를 이용하여 이렉터 상에서 발사패드 반대 방향으로 약 10 m 정도 이동된다. 플랫폼 회수 및 기립 시스템 수평화는 자동 시퀀스에 의해 이루어지며 전방 이송장치 조작은 LCC에서 원격으로 수행한다.

2.2.7 엄빌리칼 접속장치 가압

발사 10분 전에는 엄빌리칼 접속장치의 공압 실린더에 엄빌리칼 플레이트 급속 회수를 위한 압력이 공급된다. 지상기계설비는 발사 직전까지 엄빌리칼 회수를 위한 공압력과 발사체 지상고정장치의 유압력을 모니터링한다. 이 압력에 별다른 이상이 없으면 지상기계설비의 발사준비는 완료된다.

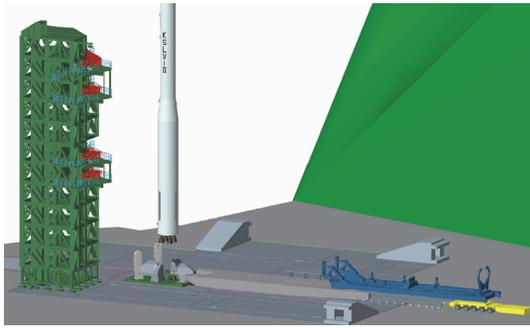


Fig. 17 Lift-off and UCU retraction.

2.2.8 발사 및 발사체 지상고정장치, 엄빌리칼 접속 장치 동작

모든 발사운용절차가 순조롭게 진행되면 Fig. 17에 나타낸 바와 같이 발사가 이루어진다. 엔진점화 후 엔진이 목표 추력에 도달할 때까지는 발사체 지상고정장치가 발사체의 이륙을 저지한다. 이후 목표 추력에 도달하면 발사체 지상고정장치에 파이로 기폭 명령이 전달되고, 유압 실린더 후단이 개방되며 발사체 고정이 해제된다. 발사체가 약 25 mm 상승하여 이륙확인신호가 발생하면 상단부 엄빌리칼 접속장치와 1단 엄빌리칼 접속장치의 파이로 밸브 열림 명령이 전달되어 공압 실린더에 의한 급속회수가 이루어진다.

2.2.9 발사 후속조치

발사 완료 후에는 기계장치들을 보관모드로 전환하기 위한 후속조치가 이루어지며 지상기계설비의 운용절차가 마무리된다.

3. 결 론

본 논문에서는 한국형발사체 발사대시스템의 부속설비 중 지상기계설비의 구성과 기능, 그리고 운용절차를 소개하였다. 3단형의 한국형발사체의 요구조건에 부합하도록 설계된 8개의 기계장치들에 대해 다루었으며 발사운용절차에 따른 각 장치들의 동작을 설명하였다.

한국형발사체 발사대시스템의 지상기계설비는

본 논문에 소개한 바와 같이 상세설계를 완료하고, 각 장치들에 필요한 구성품들의 규격 및 수량을 확정하였다. 향후 제작 및 구축을 진행할 예정이며 독립성능시험(Autonomous Test, AT), 발사체 연계 시험(Qualification Test, QT), 비행 시험(Flight Test, FT)으로 성능을 검증할 계획이다.

References

1. Kang, S.I. and Nam, J.W., "Introduction of Fuel Ground Support Equipment of Launch Complex for KSLV-1 NARO Launch Operations," *Proceedings of KSAS 2013 Fall Conference*, Jeju, Korea, pp. 1427-1431, Nov. 2013.
2. Jang, J.T., Jung, I.H., Ahn, J.C., Moon, K.R., Ra, S.H. and Lyou, J., "Construction of Control System for Ground Equipments of KSLV-1 Launch Complex," *2013 Conference on Information and Control Systems*, Boryeong, Korea, pp. 1-2, Oct. 2013.
3. Kang, S.I., Oh, H.Y. and Kim, D.R., "Basic Design of Propellant Ground Support Equipment and Flame Deflector for KSLV-II Launch Complex," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 19, No. 1, pp. 76-86, 2015.
4. Moon, K.R., Ahn, J.C., Jung, I.H., Hong, I.H. and Kang, S.I., "Development of Technological Equipment Power Supply System in KSLV-II Launch Complex," *2017 KSPE Spring Conference*, Jeju, Korea, pp. 36-40, May 2017.
5. Yang, S.P., Kim, D.R., Lim, C.K., Kim, B.S., Kim, J.S. and Lee, J.J. "A Study on the Analysis Procedure for Development of the VHD using Hydraulic Actuator," *2016 KSME Spring Conference*, Jeju, Korea, pp. 96-97, Apr. 2016.