

한국형발사체 발사대시스템 지상기계설비 운용개념 및 절차

임찬경* · 김대래* · 양성필* · 이영호* · 강선일*

The operation concept and procedure of mechanical ground support equipment for KSLV-II launch complex

Chankyong Lim* · Daerae Kim* · Seongpil Yang* · Yeongho Lee* · Sunil Kang*

ABSTRACT

The mechanical ground support equipment of KSLV-II launch complex is a collection of systems for transporting, erecting, lowering the launch vehicle and for providing an interface to supply propellants to the launch vehicle. In this paper, compositions, functions and design results of mechanical ground support equipment are introduced. In addition, the operation concept of each equipment along with operation procedure is presented.

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. 기존의 나로호(KSLV-I) 발사대를 개조한 발사시설1(LC1)에서는 75톤 엔진 1기로 구성된

2단형의 시험발사체를 발사하며 신규로 개발 중인 발사시설2(LC2)에서 75톤 엔진 4기를 엮은 3단형의 한국형발사체를 발사할 예정이다. 각 발사시설은 발사운용개념에 적합한 설비들로 구성되며 기능 및 사용목적에 따라 Fig. 1에 나타난 바와 같이 지상기계설비, 추진제공급설비, 발사관제설비 그리고 기반시설로 분류할 수 있다. 지상기계설비는 발사체의 이송, 기립, 고정 등을 담당하는 장치들로 구성되며 추진제공급설비는

* 한국항공우주연구원 발사대팀
† 교신저자, E-mail: imck@kari.re.kr

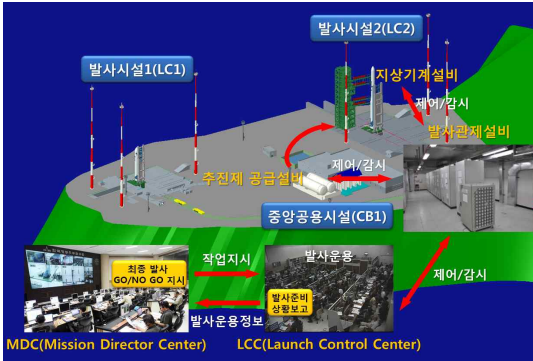


Fig. 1 Operation concept of KSLV-II launch complex.

연료, 산화제 및 고압 가스류를 발사체의 요구 조건에 맞게 저장, 공급, 배출하는 기능을 담당한다. 발사관제설비는 지상기계설비와 추진제 공급설비 그리고 발사체의 전반적인 감시와 발사체 제어운용을 담당하며 기반시설은 전력, 급수, 공조, 통신 등의 토목, 건축 관련 설비를 통칭한다. 본 논문에서는 한국형발사체 발사를 위한 발사 시설2의 부속설비 중에서 지상기계설비의 구성과 기능을 소개하고, 발사운용개념에 따른 지상 기계설비의 역할에 대해 소개한다.

2. 본 론

2.1 지상기계설비 구성

발사대 지상기계설비는 수평상태로 총 조립된 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. 지상 기계설비는 위와 같은 기본적인 동작들을 수행하고, 발사운용 중 발생하는 발사체의 요구조건을 충족시키기 위한 총 8개의 기계장치로 이루어진다. 각 기계장치의 명칭 및 영문 약어, 분류 기호와 발사대 상에서의 위치를 각각 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

한국형발사체 발사대시스템
지상기계설비

발사패드 Launch Pad K101	이렉터 Erector K102	트랜스포터 이렉터 T/E K103	발사체 이송장치 SPMT K130
발사체 지상고정장치 VHD K131	1단 엄빌리칼 접속장치 SIUCU K132	상단부 엄빌리칼 접속장치 USUCU K133	엄빌리칼 타워 UT K134

Fig. 2 Subsystems of mechanical ground support equipment.

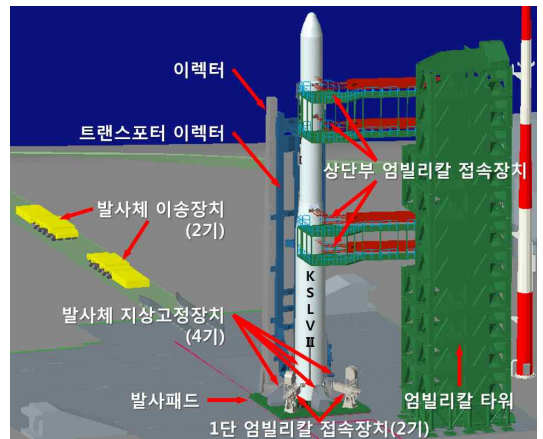


Fig. 3 Location of mechanical ground support equipment.

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 제공하

고, 정적하중을 지지하는 기초 구조물이다. 또한 발사체의 엔진 점화 이후 발사체 지상고정장치의 고정해체 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 수평화시키기 위한 기계장치이다. 이렉터의 기립 및 수평화는 3단 유압실린더에 의해 이루어지며 수평 상태에서 이렉터 상의 트랜스포터 이렉터를 이동시키기 위한 캐리지(Carriage) 유압실린더가 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

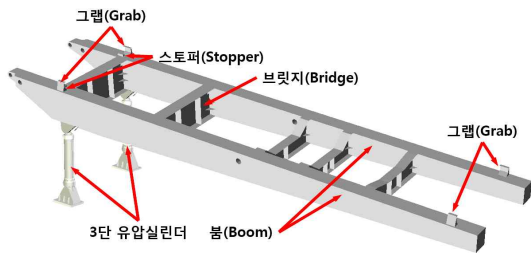


Fig. 4 3D drawing of erector.

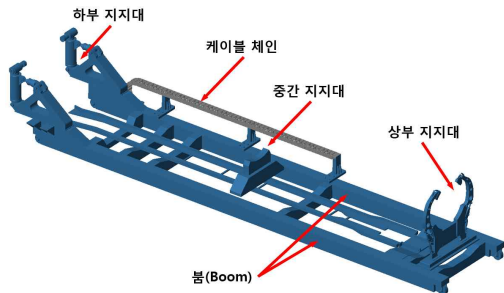


Fig. 5 3D drawing of transporter erector.

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 유압실린더가 존재한다.

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 LCC(Launch Control Center)에서 원격으로 조작하여 이동한다. 발사체 이송장치는 Fig. 6과 같이 나로호에 사용하였던 3열 이송장치를 5열로 개조하여 사용한다.



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

2.1.5 발사체 지상고정장치

발사체 지상고정장치는 발사체 엔진점화 이후 발사체의 추력이 목표 수준에 도달하기 전까지 발사체를 고정시켰다가 이후 발사체가 이륙하도록 하는 기계장치이다[1]. 300톤에 달하는 한국형발사체 1단의 추력을 순간적으로 견뎌야하며 분리 명령 수신 후에는 발사체가 부드럽게 이탈되도록 고정력을 해제시켜주어야 한다. Figure 7에 나타난 바와 같이 발사패드 상면에 90° 간격으로 총 4기의 고정장치가 설치되며 4기의 고정해제 동작이 정확하게 일치해야 한다. 발사체의 고정력은 기구학적으로 구현하며 점진적인 후퇴력은 스프링과 유압실린더를 통해 발생시킨다.

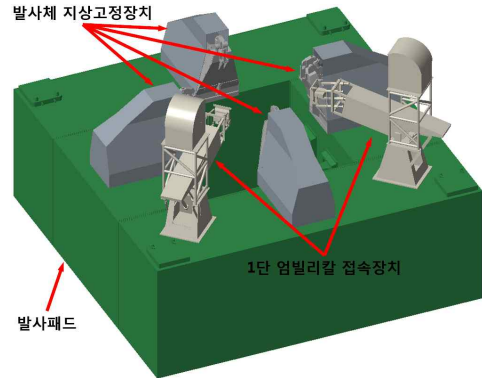


Fig. 7 Vehicle holding devices and 1st stage umbilical connecting units on launch pad.

2.1.6 1단 엠빌리칼 접속장치

1단 엠빌리칼 접속장치는 산화제, 연료 및 각종 고압가스의 공급라인을 연결모듈로 취합하여 발사패드에서 발사체 1단부에 체결하고, 이륙확인신호(Lift-off Contact, LoC)에 의해 발사체와 분리된 산화제 및 연료 공급용 엠빌리칼 플레이트를 자동으로 안전하게 회수하는 장치이다. Figure 7에 나타난 바와 같이 발사체 1단 엠빌리칼 연결부의 위치에 따라 45°와 135° 방향에 각 1기씩 총 2기의 1단 엠빌리칼 접속장치가 설치된다.

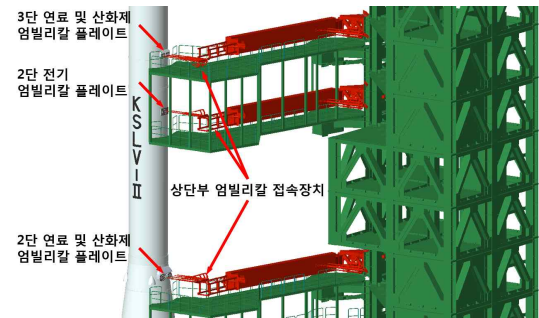


Fig. 8 Upper stage umbilical connecting units and umbilical plates.

발사체가 약 25 mm 상승하여 이륙확인신호가 발생할 때까지는 발사체와 접속된 채로 있으므로 발사체의 변위를 따라갈 수 있는 메커니즘이 구현되어야 하며 발사체에 작용하는 힘이 최소화되도록 설계하여야 한다. 발사대기 시에는 불필요한 힘이 발사체에 전달되지 않도록 하고, 분리 후 급속한 후퇴동작을 구현하기 위해 각각 피airo 밸브와 공압 실린더를 사용한다.

발사체의 2, 3단 즉, 상단부에는 Fig. 8과 같이 총 5개의 엠빌리칼 플레이트가 설치되며 이를 회수하기 위한 총 3기의 상단부 엠빌리칼 접속장치가 엠빌리칼 타워에 설치된다. 회수 개념 및 요구조건은 1단 엠빌리칼 접속장치와 같으며 암(Arm)의 수평회전에 의한 회수라는 점이 1단과 다르다.

2.1.7 상단부 엠빌리칼 접속장치

상단부 엠빌리칼 접속장치는 엠빌리칼 타워에서 발사체 상단부로 연결되는 산화제, 연료 및 각종 고압가스의 공급라인과 전계장 라인을 연결모듈로 취합하여 발사체에 체결하고, 이륙확인신호에 의해 발사체와 분리된 엠빌리칼 플레이트를 자동으로 안전하게 회수하는 장치이다.

2.1.8 엠빌리칼 타워

엠빌리칼 타워는 상단부 엠빌리칼 접속장치가 설치되는 기초 구조물로서 고공에 있는 발사체 엠빌리칼 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 엠빌리칼 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 엄빌리칼 접속장치를 운용하기 위한 공압설비실도 설치된다. 엄빌리칼 타워는 플랫폼 및 상단부 엄빌리칼 접속장치의 회수방향을 고려하여 Fig. 9에 나타낸 바와 같이 발사체의 45° 방향에 위치하게 된다.

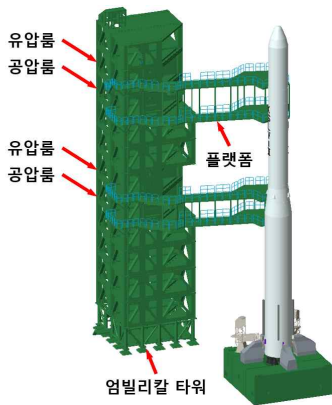


Fig. 9 3D drawing of umbilical tower.

2.2 지상기계설비 발사운용절차

지상기계설비의 운용은 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. 수평상태의 트랜스포터 이렉터와 발사체 결합체는 이렉터를 통해 수직상태로 기립되며 이후 발사체는 트랜스포터 이렉터에 의해 4기의 발사체 지상고정장치에 안착된다.

발사체는 기립된 상태에서 발사대의 추진제 공급설비로부터 연료 및 산화제 등을 공급받게 되는데 상단부 엄빌리칼 접속장치 연결을 위해 엄빌리칼 타워의 플랫폼이 먼저 발사체 쪽으로 접근하게 된다. 플랫폼을 통해 현장 작업자의 발사체 접근이 가능해지면 상단부 엄빌리칼 접속장치와 1단 엄빌리칼 접속장치를 수동으로 발사체와 연결하게 되며 각종 공급라인들을 현장 작업자가 엄빌리칼 플레이트와 체결한다. 연료 공급 전 7개의 엄빌리칼 플레이트의 각종 라인들에

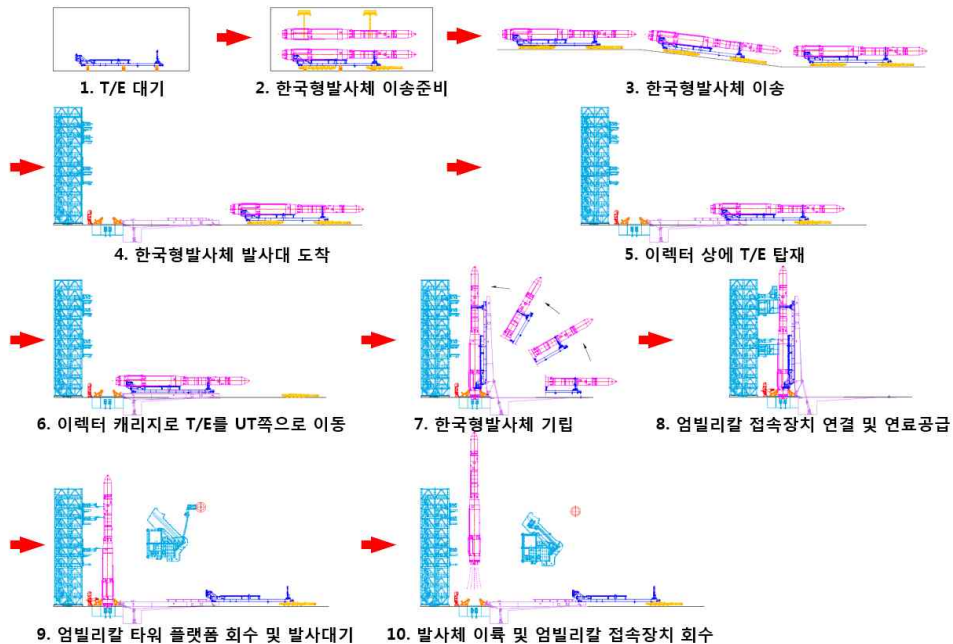


Fig. 10 Operation procedure of mechanical ground support equipment[2].

대한 기밀시험을 수행하게 되며 약 하루 정도가 소요된다.

연료 및 산화제의 공급은 발사 당일에 발사 7시간 전부터 시작하여 발사 직전까지 이루어진다. 발사 1시간 전에는 엄빌리칼 타워 플랫폼의 회수와 기립 상태의 트랜스포터 이렉터를 이렉터를 통해 수평화하는 작업이 이루어진다. 트랜스포터 이렉터는 수평화 후 발사체 이송장치를 이용하여 이렉터 밖으로 이송된다.

모든 발사운용절차가 순조롭게 진행된다면 발사가 이루어지는데 엔진점화 후 엔진이 목표 추력에 도달할 때까지 발사체 지상고정장치로 발사체의 이륙을 저지하고 있다가 추력 확인 후 고정을 해제하게 된다. 발사체가 25 mm 상승하여 이륙확인신호가 발생하면 상단부 엄빌리칼 접속장치와 1단 엄빌리칼 접속장치의 파이로 밸브 열림 명령이 전달되며 공압 실린더에 의한 급속회수가 이루어진다.

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), 비행시험(Flight Test, FT)으로 성능을 검증할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 양성필, 김대래, 임찬경, 김범석, 김종수, 이재준, “유압 구동기를 이용한 발사체 지상 고정장치의 개발을 위한 해석 절차 연구,” 대한기계학회 CAE 및 응용역학 부문 춘계 학술대회 논문집, 2016, pp.96-97
2. Korea Aerospace Research Institute, “The Critical Design Results of Launch Complex for KSLV-II, ” 2016