

우주 발사체 엄빌리칼 시스템의 현황 및 적용사례

김대래*[†] · 임찬경*

Application of Umbilical System for Launch Vehicle

Dae Rae Kim*[†] · Chankyong Lim*

ABSTRACT

The umbilical system used for launch vehicle is to connect all ground supply lines (Pneumatic, hydraulic and electrical) to launch vehicle and disconnect those at few second before launch vehicle lift-off (or simultaneously with launch vehicle lift-off). During launch preparation stage, all umbilical shall be securely connected and also at separation stage, separation of all umbilical line shall be guaranteed. Therefore finding an appropriate connection force is a key factor on development of umbilical system.

According to these design requirement, various kind of umbilical system has been developed from early stage of space development till today. In this paper, various kind of umbilical system developed so far is introduced according to its feature and operational concept. Also, umbilical system used for KSLV-II is introduced

초 록

우주 발사체에 사용되는 엄빌리칼 시스템은 지상의 유공압 및 전계장 라인들을 발사체로 연결하여 발사운용 과정에서 발사체 내부로 유공압의 공급 및 발사체와 전기적 연결들을 가능하도록 하다가 발사직전 또는 발사와 동시에 발사체로부터 분리되는 장치이다. 발사운용과정에서는 전기적 및 유공압적으로 확실히 연결되어 기밀 및 체결 성능을 보장하여야 하고 분리시점에는 확실한 분리특성을 보장하여야 한다. 따라서 체결력을 적절하게 선택하여 체결력과 분리성능 두가지를 모두 만족시키도록 하는 것이 엄빌리칼 시스템 설계의 핵심 요소이다. 이와 같은 장치 특성에 따라 엄빌리칼 시스템은 우주발사체 개발 초기부터 현재까지 다양한 형식의 엄빌리칼 장치들이 연구되고 발사체에 적용되어 왔다. 본 논문에서는 현재까지 주로 사용되었던 각 엄빌리칼 시스템들 그 특징과 그 작동개념별로 구분하여 기술하고 향후 한국형 발사체에 적용될 엄빌리칼 시스템의 개요에 대해 소개한다

Key Words: Umbilical Plate, Retract Mechanism, Locking-unlocking mechanism, Collet

1. 서 론

엄빌리칼 시스템은 지상의 유공압 및 전계장 라인들을 발사체로 연결하여 발사운용 과정에서 발사체 내부로 유공압의 공급 및 발사체와 전기적 연결들을 가능하도록 하다가 발사직전 또는

발사와 동시에 발사체로부터 분리되는 장치이다.

엄빌리칼의 연결은 발사운용과정에서는 연결 라인들이 전기적 및 유공압적으로 확실히 연결되어 기밀 및 체결 성능을 보장하여야 하는 반면 분리시점에 확실한 분리특성을 보장하여야 한다.

우주발사체의 발사 운용에 반드시 필요한 장치이기 때문에 우주 개발 초기인 V2 로켓부터 현재까지 다양한 형식의 엄빌리칼들이 연구되고

* 항공우주연구원 발사대팀

† 교신저자, E-mail: drkim@kari.re.kr

발사에 사용되어져 왔다. 본 연구에서는 우주개발 초기부터 현재까지 개발된 엄빌리칼 시스템에 대하여 그 특징과 작동개념별로 구분하여 소개하고 현재 개발중인 한국형 발사체에 사용되는 엄빌리칼에 대하여 소개한다.

2. 엄빌리칼 분류

2.1 엄빌리칼 라인 개별 연결방식 및 엄빌리칼 플레이트 방식

엄빌리칼 라인 개별 연결 방식은 각각의 유공압 배관라인 및 전계장 케이블을 발사체에 직접 연결하는 방식으로 개별 배관들이 최소한의 기계적인 서포트를 채용하여 발사패드 또는 엄빌리칼 타워에서 발사체로 직접 연결되는 방식으로 구조가 간단하고 분리의 신뢰성이 높아 우주개발 초기인 V2 로켓 부터 사용되어져 왔으며 현재까지도 널리 이용되는 방식이다.

개별 엄빌리칼 라인은 기계적인 체결 및 발사시 분리를 담당하는 “locking-unlocking 장치”와 기밀을 보장하는 “기밀 유지장치”로 크게 나뉜다. 간단한 구조 및 높은 분리의 신뢰도 때문에 아리안 V 발사체의 1단 연료 산화제, 상단 전계장 및 온도제어, 안타레스 발사체 1단의 연료 산화제 및 고압가스 공급라인, Falcone 발사체등 현존하는 최신 발사체에도 적용되고 있다. Fig. 1은 우주개발 초기 개발된 Jupiter 1단의 연료 공급라인 엄빌리칼을 나타내며 Fig. 2는 현재 운용중인 우크라이나의 안타레스 발사체의 1단 엄빌리칼의 배치를 나타낸다. [1]

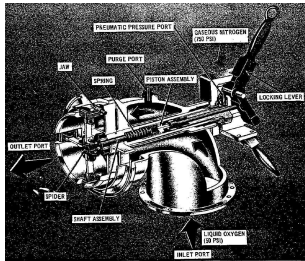


Fig. 1 Jupiter 1st stage fuel umbilical connection [1]



Fig. 2 Antares 1st stage fuel umbilical connection

각각의 개별 배관들이 발사체로 연결되므로 공급라인들이 많은 경우 다수의 공급라인들이 발사체로 연결되어 복잡해 지므로 라인 수량이 많아지는 경우 사용이 어렵다는 단점이 있다.

우주개발 초기에서 발사체의 개발이 진전됨에 따라 엄빌리칼의 수량이 많아지게 되고 개별 연결 방식으로 모든 엄빌리칼을 수용하기 어렵다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 개별 공급라인들을 엄빌리칼 플레이트로 종합하고 이 플레이트를 발사체에 연결하여 기밀을 유지하다가 분리 시점에 플레이트를 분리하는 방식이 고안되었다. 엄빌리칼 플레이트 내에 locking-unlocking 장치는 1개만 사용하고 복수의 공급 라인을 탑재시킨 방식으로 다수의 공급라인을 발사체에 종합적으로 연결하고 분리하는 것이 가능하다.



Fig. 3 Jupiter 1st stage electrical umbilical connection [1]

초기의 엄빌리칼 플레이트는 2~3개의 라인만을 연결하다가 기술이 발전하면서 15개 내외의 라인을 집적하여 사용한다. Fig. 3은 초창기

Jupiter의 전계장 엄빌리칼 플레이트를 나타내며 Fig. 4는 Saturn 1의 전계장 엄빌리칼 플레이트의 발사체 측 플레이트의 형상을 나타낸다. [1]

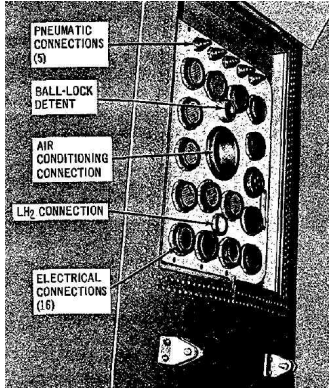


Fig. 4 Saturn 1 instrument unit umbilical connection [1]

엄빌리칼 플레이트 방식은 지상회수용 엄빌리칼 플레이트가 발사체측 플레이트에 견고하게 밀착되어야 기밀 유지 및 체결이 보장되므로 300mm ~ 400mm 의 직경을 가지는 플레이트를 발사운용 전 과정에서 견고하게 밀착한 상태로 유지하는 것이 대단히 중요하다.

엄빌리칼 플레이트를 통해 연결되는 공압라인 중 하나라도 누설이 발생하는 경우 누설 압력에 의해 밀착된 플레이트를 벌리는 힘이 작용하게 된다. 이는 플레이트 내 모든 유공압 라인의 누설 또는 전계장라인의 분리를 발생시켜 발사운용의 실패를 초래하므로 대단히 신뢰도 높은 기밀성능을 필요로 한다.

플레이트 방식 엄빌리칼은 현재 사용중인 우주발사체에도 다수의 엄빌리칼 라인의 연결이 필요한 경우 널리 사용되는 방식으로서 최신 발사체인 미국의 SLS 및 Ares, 러시아의 양가라 발사체에 적용되고 있다.

Fig. 5는 플레이트 방식을 채용한 Ares의 엄빌리칼 플레이트를 나타낸다. [2]

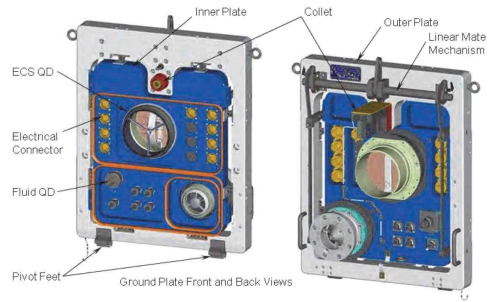


Fig. 5 Ares 1 umbilical plate (TUUA) [2]

2.2 Locking-unlocking 장치

Locking-unlocking 장치는 엄빌리칼을 구성하는 핵심요소로서 엄빌리칼의 체결에 필요한 체결력을 제공하는 장치이다. 지상측 플레이트와 발사체측 플레이트를 밀착시켜 누설을 방지하고 전기적 체결을 보장하여야 하므로 매우 견고한 체결력이 요구된다.

또한 분리시에는 발사체의 이륙을 저해하지 않도록 매우 간결한 메커니즘으로 분리되어야 하며 분리실패의 경우 발사실패로 이어질 수 있으므로 매우 신뢰도 있는 분리 장치가 필요하다.

우주개발 초기부터 매우 다양한 방식의 Locking-unlocking 장치가 개발되어 발사체에 적용되어 왔다.

초창기 Ball locking 방식, Locking lover 방식, Cam-off 방식등 다양한 방식들이 사용되었다. Fig 6은 Jupiter에 적용된 Ball locking 방식의 엄빌리칼을 나타낸다. [1]

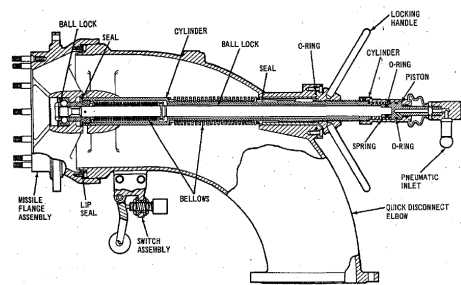


Fig. 6 Ball lock type umbilical for Jupiter LOX filling line [1]

Saturn V 발사체 1단에 Collet을 이용한 엄빌리칼 플레이트가 사용되기 시작하였으며 이 Collet 방식은 현재 러시아의 앙가라, 미국의 Ares 발사체 등에도 사용되고 있다. 현재 개발중인 한국형 발사체에도 Collet을 사용한 엄빌리칼 플레이트를 채용할 예정이다.

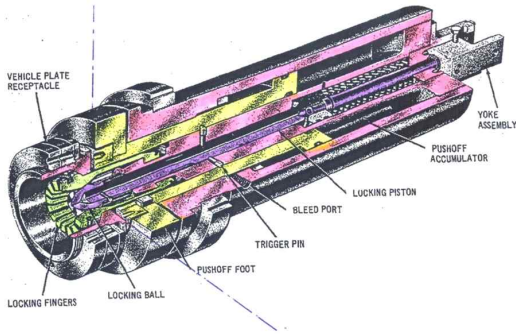


Fig. 7 Collet used for Saturn V 1st stage umbilical [1]

2.3 자동 체결 방식 엄빌리칼

앞절에서 기술된 엄빌리칼들은 발사체와 연결 작업이 발사 운용요원의 수작업에 의해 수행된다. 이 작업들은 조립동 또는 발사대에서 수행되는데 엄빌리칼 플레이트의 발사에 연결, 지상 공급라인의 엄빌리칼 플레이트와 연결등의 작업이 연결 및 기밀시험에 상당한 시간이 소요된다.

이 시간을 단축하고 발사 운용 기간을 간략화하기 위해 자동체결 방식이 도입되었다. 러시아의 Zenit 발사체 및 앙가라 발사체의 1단에 사용되었다.

자동체결 방식은 2.1절에 기술된 수동체결 방식의 엄빌리칼에 비하여 발사 준비시간을 줄일 수 있고 발사체 이륙전 사전분리가 가능한 장점이 있다.

발사와 동시에 분리되는 엄빌리칼은 발사체가 패드로부터 일정구간 상승된 이후에 분리되는데 이러한 분리 방식은 분리 하중이 발사체에 가해지는 단점이 있고 분리 시간도 이륙하는 발사체에 영향을 주지 않기 위하여 대단히 신속하게 회수가 이루어져야 하므로 높은 분리장치의 신뢰도가 요구된다.

반면, 발사체 이륙전에 엄빌리칼을 분리하는 방식은 발사체가 발사패드에 고정된 상태에서 분리하며 회수시간도 충분히 확보할 수 있기 때문에 사전 분리방식이 발사체 및 회수장치에 주는 부담이 훨씬 적은 운용 방식이다.

사전분리의 단점은 이미 엄빌리칼을 분리한 이후 다시 체결하기 전까지는 발사체 내부로 전기적 유공압적 연결이 불가능하기 사전분리 방식으로 운용하는 발사체는 대부분 발사 수초전에 사전분리를 수행한다. 유럽 연합의 Ariane V 발사체는 상단의 사전분리 엄빌리칼을 발사 2초전에 분리하며 러시아 소유즈의 경우 발사 5초전에 상단 엄빌리칼 회수장치를 분리하는 방식을 택하고 있다.

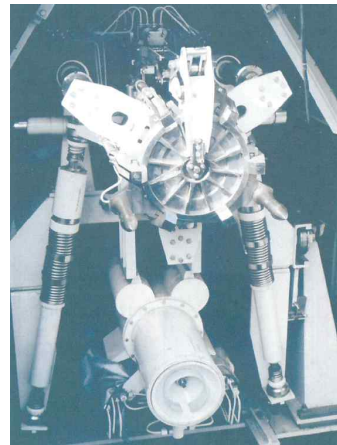


Fig. 8 Zenit 1st stage Fuel umbilical

자동체결 방식은 사전 분리 이후 비정상 상황시 재연결이 가능하므로 발사 수분전 사전분리가 가능하다. 대표적인 자동체결 방식인 Zenit의 경우 발사 2분전 사전 분리를 수행하고 사전 분리 이후 발사취소 상황이 되면 재 연결후 후속 작업을 수행한다.

이와 같은 자동체결 방식의 장점에도 불구하고 기술적인 난이도로 인하여 널리 사용되고 있지 않으며 러시아의 Zenit 및 앙가라 발사체의 1단에 사용되고 있으며 서방의 발사체에서는 Saturn V의 1단 Drain라인에서 잠시 사용한 사

레가 있으나 후속 프로그램인 Space Shuttle, Ares, SLS에서는 최근에는 사용하지 않고 있으며 현재는 아틀라스 발사체의 MLP와 지상설비와의 연결에 이용하고 있다. [3]

상기와 같은 방식이외에도 발사체 각 단별 분리면에 설치되어 발사체 이륙중 단분리와 동시에 분리되는 엄빌리칼 방식도 있으나 본 연구에서는 기술하지 않았다.

3. 한국형 발사체 엄빌리칼 시스템

현재 우주발사체에서 주로 사용되는 엄빌리칼은 “개별 연결방식 엄빌리칼” 과 “플레이트 방식 엄빌리칼”로 구분할 수 있다. 일부 러시아와 미국 발사체에서 1단에 자동연결 방식을 구현한 사례가 있으나 범용적이라고 할 수 없다. 이와 같은 사례에 따라 현재 개발중인 한국형 발사체에서는 Collet 고정장치를 사용하는 엄빌리칼 플레이트 방식을 채택하였다.

각 단별로 10 ~ 15개의 엄빌리칼 연결을 필요로 하는 경우 널리 사용되는 방식이며 발사 취소시의 배출 작업을 고려하여 발사 순간 (T-0) 까지 엄빌리칼이 발사체에 연결된 상태를 유지하다가 발사체 이륙과 동시에 분리되는 방식을 선택 하였다. Fig. 9는 한국형 발사체 개방 사업에서 개발중인 시험발사체 1단의 엄빌리칼 및 회수장치의 개념을 나타낸다.

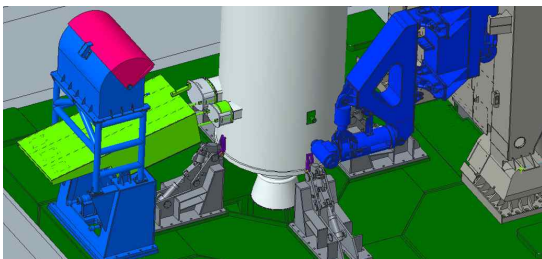


Fig. 9 Concept of TLV 1st stage umbilical plate and retraction mechanism

4. 결론

본 연구에서는 우주발사체에 사용되는 엄빌리

칼 시스템에 대하여 특징과 그 작동개념별로 구분하여 기술하고 향후 한국형 발사체에 적용될 엄빌리칼 시스템의 개요에 대해 소개하였다. 한국형 발사체용 엄빌리칼은 개발 시험을 통하여 성능을 확인한후 발사운용을 통하여 검증될 예정이다.

참 고 문 헌

1. Umbilical and Disconnects Section, “Umbilical Systems V2 to Saturn V”, George C. Marshall Space Flight Center, 1963
2. William C. Manley, Gabor J. Tamasy and Patrick Maloney, “Ares I Linear Mate Umbilical Plate and Collet”, Proceedings of the 41st Aerospace Mechanisms Symposium, 2012, pp. 345 - 357
3. Armand M. Gosselin, “Technical Paper Session I-A - Automated Ground Umbilical Systems (AGUS) Project”, The Space Congress Proceedings, 2007