

## 우주발사체 추적용 비행종단지령장비 기술동향

글 / 이 성 희 [Ish@kari.re.kr](mailto:Ish@kari.re.kr), 배 영 조, 오 창 열, 이 효 근

한국항공우주연구원 나로우주센터 기술관리팀

### 초 록

우주발사체 추적용 지상국비행종단지령장비는 위성발사체 발사 후 비행 중 일어날 수 있는 비상사태(비행 안전영역을 벗어나거나 지상에서 더 이상 추적이 불가능할 경우)에 대하여 지상통제장치에서 비행종단을 명령하여 비행을 강제로 중단시키는 역할을 한다. 일반적으로 발사체에 비행종단을 명령하는 방식은 발사체의 종류 및 운용개념에 따라 다르게 적용되며, 가청주파수 대역의 톤 신호를 조합하는 IRIG 표준 톤 방식과 Secure 방식, 또한 잡음 및 보안특성에 강한 암호화 코드화 방식이 사용되고 있다. 본 글에서는 비행종단명령에 사용되는 다양한 전송방식 및 적용 사례를 살펴보고 세계 각국 및 국내 나로우주센터(고흥)에서 설치 운용 중인 지상국비행종단지령장비에 대한 운용개념 및 주요특성을 살펴보도록 한다.

주제어 : 위성발사체, 비행종단명령, IRIG 표준 톤, 지상국비행종단지령장비

### 1. 서 론

21세기 지식집약형 산업으로 우주산업이 부각되고 있는 상황에서, 한국과 국제시장에서 경쟁해 나갈 일본과 중국은 오래 전부터 우주산업에 국력을 모은 결과 상업용 로켓(우주발사체) 발사경쟁시대를 맞고 있다. 선진국을 비롯한 여러 우주강국들이 앞 다투어 우주산업에 박차를 가하고 경쟁구도를 이끌어 오고 있는 상황에서 상업용 위성발사가 더욱 빈번해 지고 있으며 고부가가치 산업으로 대두되고 있는 상황이다. 우주산업은 다른 사업 분야와는 달리 막대한 예산이 투입되고, 발사과정에서 나타날 수 있는 위험요소가 크게 작용한다. 따라서 발사 전 과정에서 나타날 수 있는 위험요소(발사궤도이탈, 비정상적인 단분리, 발사체내에서 발생하는 이상상태 등)를 사전에 감지하고 제거하여 예상치 못한 위험사항(인명, 재산

피해 및 국가간의 분쟁)을 막는 것이 중요하다. 이러한 위험 요소에 대한 모든 사항을 제어하는 과정을 비행안전(Flight Safety)이라고 부르며, 이를 위한 지상 및 탑재체의 제어장치를 비행안전시스템(Flight Safety System)이라고 한다. 비행안전시스템은 발사체가 비행안전영역을 벗어나거나 지상에서 더 이상 발사체의 추적이 불가능한 긴급한 상황이 발생할 경우 발사체의 비행을 종료시키는 일괄의 모든 구성장비를 말한다.

일반적으로 발사체의 비행종단을 명령하기 위한 방법은 발사체 및 운용개념에 따라 다르게 적용된다. 대부분의 발사체에 적용되는 방식으로 는 지상장비의 원격명령 신호에 의해 탑재체의 수신기가 명령을 수신하여 동작하는 방식이 사용되고, 발사체 내의 자체 시스템에 의해 동작하는 방식(Self Destruction)이 적용되기도 한다. 또한 위 두 가지 방식을 모두 혼

용하는 개념을 적용하기도 한다.

본 글에서는 대부분의 발사체에 적용되고 있는 지상 원격명령 신호에 의한 비행중단방식을 살펴보고, 본 방식에 적용되는 비행중단명령의 형태 및 각국의 발사장에서 운용되고 있는 지상국비행중단지령장비의 운용개념 과 주요특성을 다루고자 한다.

## 2. 우주 발사체 추적용 비행중단지령장비의 개발 동향

### 2.1 비행중단지령장비 개요

서론에서 기술한 바와 같이, 우주 발사체 추적용 비행중단지령장비는(Ground Flight Termination System) 발사체가 비행도중 발생할 수 있는 비정상적인 상태에 대하여 더 이상의 비행을 수행할 수 없다고 판단될 때, 비행을 중단시키는 역할을 하게 된다. 비행도중 발사체내에서 발생하는 이상상태, 비정상적인 단 분리 및 지상에서 더 이상 추적이 불가능하다고 판단될 때 지상에서 비행중단 명령을 송신하여 발사체에 탑재된 비행중단명령 수신기가 이 명령을 수신하여 비행중단 임무를 수행하게 된다. 비행중단 명령은 발사통제센터내의 비행안전센터에서 이루어지며, 임무동안 실시간으로 발사체의 위치 및 동작상태를 모니터링하게 된다.

비행중단지령장비는 발사체에 원격명령 신호를 전송하는 지상장비(송신부)와 지상장비로부터 전송된 명령 신호를 수신하여 정해진 명령을 수행하는 탑재장비(수신부)로 구성된다. 지상장비는 비행중단 명령을 최종 출력하는 RF부(송신안테나, 고출력 송신기), 여진출력 및 변조를 위한 변조부(Exciter), 그리고 원하는 명령을 생성하기 위한 신호생성부(Encoder) 등으로 구성되고, 발사체의 수신부(탑재부)는 지상명령을 획득하는 안테나와 명령신호를 처리하는 수신부(수신기와 디코더)로 구성되어 진다.

비행중단지령장비의 경우 높은 신뢰성 및 가용도가 요구된다. 수신부의 경우 불안정에 의해 발생하는 신호 왜곡에 의한 오동작이나 타 시스템과의 연계과

정에서 이상이 발생하였을 경우 발사체 전체에 치명적인 문제가 발생하게 되므로 타 시스템과의 독립성이 보장되어야한다. 지상장비(송신부)의 경우도 언제든지 의도된 정확한 명령이 왜곡(에러)없이 올바르게 송신되고 동작되어야 하는 높은 시스템 가용도와 신뢰도등의 기본적인 요구사항이 존재하게 된다.

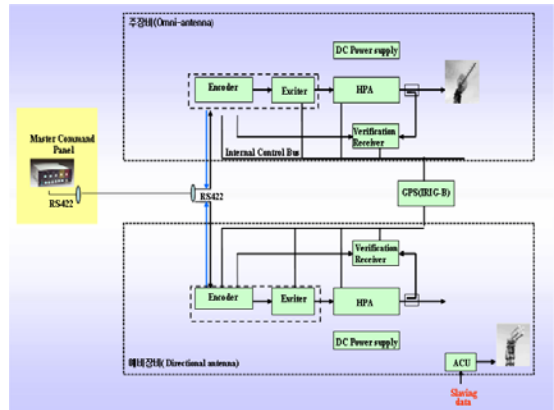


그림 1. 우주발사체 추적용 비행중단지령장비 기본구성

본 절에서는 지상국 비행중단지령장비의 가용도 및 신뢰도 분석과 핵심기술이라 할 수 있는 다양한 비행중단명령방식에 대한 기술동향 및 적용사례를 살펴보고자 한다.

### 2.2 가용도 및 신뢰도

지상국 비행중단지령장비는 타 장비에 비해 상대적으로 높은 신뢰도 및 가용도가 요구된다. 이러한 요구조건을 충족시키기 위한 시스템 운용개념 및 설계 조건이 무엇보다도 우선시 요구된다. 일반적으로 지상국 비행중단지령장비의 서브시스템 규격 및 요구조건은 IRIG 표준 208-85, 313-01, 319-99를 만족하도록 설계되고, 높은 가용성과 신뢰성을 확보해야 하는 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability and Safety) 요구 조건은 IRIG 표준, EWR(East & West Range) 및 FEE(Federal Aviation Administration)를 바탕으로 도출한다. 다음은 일반적으로 지상국 비행중단지령장비에 적용되는 신뢰도 및 가용도에 대한 요구조건을 나타낸 것이다.

### 2.2.1 가용도(Availability)

가용도는 운용환경에 따라 고유가용도 및 운용가용도 등의 형태로 정의할 수 있으나, 여기서는 예방정비 소유시간 등을 고려하지 않고 이상적인 지원환경 아래에서 언제든지 시스템을 이용할 수 있는 시간으로 정의한다. 이를 99.9% 이상으로 설계하도록 한다.

### 2.2.2 신뢰도(Reliability)

신뢰도란 어떤 체계가 주어진 환경하에서 규정된 일정기간 동안 고장 없이 만족하게 의도된 기능을 수행할 수 있는 정도(확률)를 말하는 것으로 일정 시간동안 발생한 고장 횟수를 나타내는 고장률로 정의할 수 있다. 여기서는 요구되는 비행중단 명령이 어떠한 에러 없이 정상적으로 명령이 전송되어 임무를 수행할 수 있는 범위로 아래와 같이 구분하여 정의할 수 있다.

- 전송실패(Order Masking) : 의도된 명령이 정상적으로 전송되지 않아 고유의 기능을 수행할 수 없는 확률.( $10^{-5}$ @4 hour duration)
- 전송명령 에러(Advanced failure) : 의도된 명령과 다른 명령이 전송되거나 의도하지도 않은 명령이 자동적으로 실행되어 전송될 확률.( $10^{-7}$ @4 hour duration)

## 2.3 비행중단명령방식

비행중단지령장비는 다른 추적 장비에 비해 비교적 낮은 주파수 대역인 UHF 대역을 사용하며 이는 저주파의 신호일수록 파장이 길어져 전파의 회절이나 투과에 유리하여 전파거리가 길어지므로 장거리 비행하는 발사체에 유리하게 된다. 명령 신호의 코드화 방식은 발사체에 따라 다르게 적용되며, 미국의 RCC(Range Commanders Council)에서 규정한 IRIG(Inter-Range Instrumentation Group)톤(tone)을 사용하는 Standard 톤 방식과 Secure 톤 방식으로 구분되고, 또한 비행 안전의 필요에 따라 각국에 적합한 암호화 방식을 적용한 독자적인 방식으로도 구현된다. 비행중단지령장비의 명령신호는 중단 명령의 준비 단계인 Arm 신호, 중단명령 신호

인 Destruct 신호 그 밖에 check, lock으로 명령되어 지며 아래 표1과 같다.

표 1. 비행중단명령신호의 형태 및 동작

명령신호	동작
Arm	Destruct 명령의 준비단계 명령신호이며, 액체연료 발사체인 경우 엔진을 shutdown 시키는 명령을 수행함.
Destruct	비행중단 명령신호를 전송함.
Check or Monitor	발사체가 수신하는 명령신호가 정상적인 신호인지를 확인하는 역할을 수행함.
Pilot Tone	발사체가 수신하는 명령신호의 수신유무를 판단하고 디지털 변환되는 명령신호의 동기를 맞추는 역할을 수행함.
Optional	비행중인 발사체가 비행안전을 더 이상 필요로 하지 않을 경우, 발사체의 비행중단 시스템을 safe 모드로 동작시키는 기능을 수행함.

발사체는 비행도중 비정상적인 상태가 발생하여 비행중단을 필요로 하게 되면 지상으로부터 미리 정해진 순차적인 톤 신호(Tone sequence)로 이루어진 Destruct 명령 신호가 입력되어 비행중단이 이루어지게 된다. 또한 발사체에 따라 다르게 적용되지만 비행중인 발사체가 지상장비의 통제 가능거리 이상을 비행하여 명령신호의 신뢰도가 떨어지는 등 비행 안전을 더 이상 필요로 하지 않을 경우에, 지상국 비행중단지령장비는 Optional 명령 신호를 이용하여 탑재체의 비행중단명령 수신기 기능을 “Safing” 시키는 명령을 송신하여 불확실한 명령신호에 대한 동작을 방지하도록 구성하기도 한다. 비행중단 명령의 또 다른 방식중 하나인 Secure 톤을 이용하는 디지털 방식의 경우 Pilot Tone을 사용하여 명령신호의 동기를 맞추도록 구성한다.

### 2.3.1 Standard 톤 방식

Standard 톤 방식은 20개의 음성신호 대역의 주파수로 구성되어 있으며, 톤 주파수 신호는 서로 밀집된 주파수 분포를 가진다. 톤 주파수의 간격은 고조파(Harmonic) 성분에서 동일한 주파수가 형성되

는 것을 방지하기 위해 일정한 간격이 아닌 주파수 분포를 가지고 있다. 비행중단명령에 사용되는 표준 톤 주파수는 20개 정도이며, 이 중 3~5개의 톤 신호를 조합하여 Arm, Destruct, Check 상태를 나타내게 되고 미리 정해진 순차적인 신호가 입력되었을 때만 유효한 신호로 판단하도록 구성하고 있다. 아래 표2는 Standard 톤 방식에서 사용되는 주파수 분포를 나타낸 것이다.

표 2. Standard 톤 방식의 주파수 분포

Standard Tone	Center Frequency(KHz)
1	7.50
2	8.46
3	9.54
4	10.76(check channel)
5	12.14
6	13.70
7	15.45
8	17.43
9	19.66
10	22.17
11	25.01
12	28.21
13	31.83
14	35.90
15	40.49
16	45.68
17	51.52
18	58.12
19	65.56
20	73.95

IRIG Standard의 규정에 의하면 Standard Tone 은 4개의 톤 신호의 조합으로 구성되며 4개의 Tone 신호를 A, B, C, D로 정의하고 Destruct 명령은 Tone A와 Tone B의 신호가 동시에 존재할 때로 구성된다. 이때의 명령신호는 일정한 Logic Sequence에 의해 최종 Destruct 신호를 출력하게 되며, 초기 조건으로 Tone A 신호나 Tone C 신호가 동시에 존재할 때 ARM 상태로 되며 초기에 각 Tone 신호가 단독으로 존재할 때는 의미 없는 신호로 인식하도록 구성된다. 또한 한번 ARM이 되면 Tone A 한 Tone 만 유지되어도 ARM 상태를 유지하게 되며 최종 Destruct 명령을 제공하기 위해서는 먼저 ARM인 상태를 거친 후 Tone A와 Tone B가 동시에 유지될

때, Destruct되는 logic sequence를 가진다. 여기서 Tone D는 Check channel로 존재하며 수신단에 입력된 신호가 정상적인 신호인지 판단하는 목적으로 사용된다.

표 3. Standard Tone Sequence 구성

상태조건	유지조건
ARM 초기조건	Tone A, C가 동시에 존재
ARM 유지조건	ARM 초기조건을 만족한 상태 후, Tone A가 단독으로 존재하거나 Tone A/B, Tone A/B/C가 동시에 존재
ARM 해지조건	Tone B, C의 상태와 상관없이 Tone A가 Off되면 ARM 해제
Destruct	ARM 초기조건을 만족한 상태에서 Tone A 및 Tone B가 동시에 존재

외국 상용제품의 명령방식 구성을 살펴보면, 미국의 L3 Com사의 FTR-550-2의 경우 Tone 번호 1,2,4,5의 4개 톤을 사용하여 명령신호를 발생하며 최종 폭파 명령 신호는 Tone 번호 1,2의 신호가 동시에 입력되었을 때 비행 중단을 수행하게 된다. 여기에서 신호의 왜곡에 의해 Tone 번호 3,4의 신호가 입력된 것으로 처리된다면 수신기는 명령신호가 Arm 상태인 것으로 인식하여 오동작을 방지하도록 Tone 을 조합하여 사용하였다.

표 4. 외국제품(L3 Com사의 FTR-550-2)의 명령방식

Tone No.	Freq. (KHz)	Check	Arm	Arm	Arm, Terminate
1	7.5		✓	✓	✓
2	8.46			✓	✓
4	10.76	✓			
5	12.14		✓	✓	
		Tone4 : Check	Tone1,5 : ON	Tone 2 : ON	Tone 5 : OFF

2.3.2 Secure 톤 방식

Secure 톤 방식은 Standard 톤 방식의 변형 형태로 단순한 톤 신호만의 조합이 아닌 조합된 신호를

16Byte의 메시지 형태(Message Format)로 변환하여 보내는 방식이다.

BYTE		
1	0	0 0 0 0 0 0 0 0
2	Message Char, #1	
3	Message Char, #2	
4	Message Char, #3	
5	Message Char, #4	
6	Message Char, #5	
7	Message Char, #6	
8	Message Char, #7	
9	Message Char, #8	
10	Message Char, #9	
11	Message Char, #10	
12	Message Char, #11	
13	Command Identifier	
14	0	0 0 0 0 0 0 0 0
15	0	0 0 0 0 0 0 0 0
16	Cyclic Check Code	

MSG FORMAT	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1	0
------------	----	----	----	----	----	----	----	---

ARM	0	1	1	0	1	0	0	1
FIRE	1	0	1	0	0	1	0	1
SPARE #1	0	1	0	1	1	0	1	0
SPARE #2	1	0	0	1	0	1	1	0
SPARE #3	1	1	0	0	0	0	1	1

그림 2. Secure 톤 방식의 출력 메시지 구성

Secure 톤 방식의 주파수는 전체 8개의 톤 신호로 명령신호를 형성하게 되고 나머지 하나의 톤은 pilot 신호로 사용되어 명령 신호의 수신 유무를 판단하고 16Byte 메시지 변환 신호의 동기를 맞추는 등의 역할을 수행하도록 구성되어 있다. Secure 톤 방식의 출력 신호는 Arm, Destruct 상태를 가지며, 메시지는 11 character로 이루어진 Command 신호로 이루어지며 다시 각각의 character는 2개의 톤 조합으로 구성된다. 아래 표3은 Secure 톤 방식에 사용되는 톤 주파수의 분포를 나타낸 것이다.

표 5. Secure 톤 방식의 주파수 분포

Standard Tone	Center Frequency(KHz)
1	7.35
2	8.40
3	9.45
4	10.50
5	11.55
6	12.60
7	13.65
Pilot	15.45

### 2.3.3 Spread Spectrum 방식

Spread Spectrum 명령방식은 특정 신호의 주파수 대역을 넓히는 기술로, 디지털 전송 신호에 주기가 훨씬 짧은 펄스열을 곱하여 주파수 대역폭을 많이 차지하도록 확산시켜 전송하고, 확산 신호를 수신한 후에는 전송에 사용된 펄스열과 완전히 일치하는 펄스열을 다시 곱해주어 원래의 신호가 복조되게 된다.

여기서 반복조에 사용되는 펄스열 자체가 일종의 암호(code)가 되어서 이 암호가 없으면 이론적으로 원신호의 복조가 불가능하도록 구성되므로 인접주파수에 의한 간섭 신호에 강한 특성을 가지게 된다. 이러한 Spread Spectrum 방식을 이용하면 비행초기 지상 반사파 등에 의해 형성된 Multi-path에 의한 영향에 덜 민감하게 되는 장점이 있으나, 장거리 비행에 의한 신호지연이나 Doppler Shift 등에 의해 형성된 주파수 편이를 보상하기 위한 회로가 구성되어야 하고 송신부와 수신부의 동기가 정확히 일치해야 하는 등의 구성이 복잡해지는 단점이 있다. 하지만 원래의 명령 신호를 제외한 주변의 신호들은 잡음신호의 크기 레벨로 확산되므로 수신 신호의 신뢰도를 높일 수 있고 명령 신호의 간섭에 의한 오동작을 막을 수 있는 방식이다.

### 2.3.4 TDRSS를 이용하는 방식

TDRSS(Tracking and Data Relay Satellite)을 이용하여 지상국에서 원격명령 신호를 위성을 이용하여 발사체에 전달하는 방식이다. 이는 장거리 비행 시 Down-range가 불필요하고 발사체의 위치추적(Tracking)과 비행종단을 통합하여 수행할 수 있도록 설계된 방식이다. 명령신호는 Secure 톤을 조합하는 디지털 변조 방식을 사용하게 되며 미국의 발사체에서 차세대 비행종단명령방식으로 현재 진행 중인 방식이다. TDRSS를 이용하는 방식은 위성을 이용하게 되므로 기존의 비행종단 명령방식에서 사용되던 UHF 대역의 주파수를 사용하는 대신, 위성에서 사용하는 S-Band 주파수 대역을 사용하게 된다. 이와 같은 방식이 적용되기 위해서는 우선 위성시스템이 갖추어져야하고 위치 추적과 비행종단지령장비가 동일한 대역인 S-Band 대역을 사용하므로 서로의 신호 간에 간섭을 배제할 수 있도록 설계되어야 한다.

## 2.4 외국발사체의 비행종단 명령방식 비교

해외 여러 발사체에 적용된 탑재부의 비행종단수신장비의 주요 규격을 분석해 보면 표6과 같다. 미국의 발사체인 ATLAS, DELTA, TITAN에 사용된 비

행종단명령방식은 EWR 127-1의 표준사양을 준수하여 설계된 것을 알 수 있으며, 그 중에서도 특히 보안성이 강화된 Secure 톤 방식이 적용된 것을 확인할 수 있다. 일본 H-II의 경우 일반적으로 사용하는 주파수 대역인 UHF 대역이 아닌 2,600MHz의 S-Band 대역을 사용하였고, 변조방식도 FM이 아닌 PM변조를 적용하였으며, 톤 주파수 구성도 IRIG 표준과는 다른 주파수 분포를 가지도록 구성하고 있다. 프랑스 ARINE 5 경우에도 독특한 Spread Spectrum 변조를 적용하고 있다.

표 6. 외국발사체에 적용된 비행종단명령방식 비교

	ATLAS III	DELTA IV	TITAN	H-II	ARIANE 5
변조 방식	FM	FM	FM	PM	Spread Spectrum
주파수	UHF	UHF	UHF	2,6G	UHF
명령 형태	Secure Type	Secure Type	Secure Type	IRIG 톤	6 Channel Spread Spectrum

이처럼 미국을 제외한 외국 발사체의 비행종단명령방식의 경우도 각기 다른 독자적인 방식을 채택한 것은 비행종단지령장비의 중요도에 의해 각국에 적합한 암호와 방식을 적용하여 외부 간섭 신호에 의한 영향과 오동작에 의한 영향을 줄여 비행 중 발생할 수 있는 긴급 상황에 대한 신뢰도를 높이기 위한 것으로 해석된다. 이와 같이 비행종단 명령신호는 Standard 톤 방식을 기본으로 하여 각국의 발사체 운용개념에 적합한 상황에 따라 Secure 톤 방식이나 Spread Spectrum 방식 등의 각기 다른 독자적인 암호와 방식을 적용하여 명령신호의 신뢰도와 안정성을 확보하도록 구성하고 있다.

### 3. 해외의 지상국 비행종단지령장비 운용현황

해외 발사장에서 운용되고 있는 지상국 비행종단

지령장비의 경우 보안상의 이유로 상세한 장비의 가격, 특성 및 운용개념이 공개되지 않고 있다. 비행종단에 사용되는 명령 및 조합방식, 사용주파수 등은 발사체의 운용 및 보안에 중요한 정보로써 매우 조심스럽게 다루어진다. 획득 가능한 일부 자료 및 공개 자료를 바탕으로 미국 및 일본의 발사장에서 사용되는 지상국 비행종단지령장비의 구성 및 특성을 살펴 보도록 한다.

#### 3.1 미국(Wallops Stations)

미국은 Kennedy Space Center(KSC), Cape Canaveral Air Station, Vandenberg AFB, Edwards AFB, Wallops Station 등에 위성 및 Space Shuttle 발사장을 운용하고 있다. 이들 중 Wallops 발사장은 Maryland주 Salisbury로부터 남동쪽으로 64Km, Maryland주 Greenbelt로부터 남동쪽으로 240Km 떨어진 Virginia의 동쪽 해안에 위치하고 있다.



그림 3. 미국의 Wallops Stations

이곳은 추적용 레이더 시설이 있는 Mainland, 비행기 활주로와 원격자료수신장비등이 설치되어 있는 Main Base, 발사 Pad와 발사체 조립시설이 있는 Launch site 및 지상국비행종단지령장비등이 설치되어 운용되고 있다. 1950년대 초에 건설되어, 미항공우주국(NASA)과 국방성 아래에 관리되고 있다.

지상국비행종단지령장비는 총 3대의 시스템이 운용되고 있으며 2대는 고정형이고 1대는 이동형으로 구성되어 있다. 사용하는 주파수 대역은 406~549



MHz 대역이고 송신출력은 1Kwatt 정도이며 안테나는 Quad-helix 형태이다. 비행중단을 위해 사용하는 비행중단명령방식은 IRIG 표준 톤 방식을 사용하지만, 20개의 톤 중 어떠한 톤들이 어떠한 조합을 이루고 있는지는 알 수 없다. 시스템의 주요구성은 아래 그림 4와 같다.

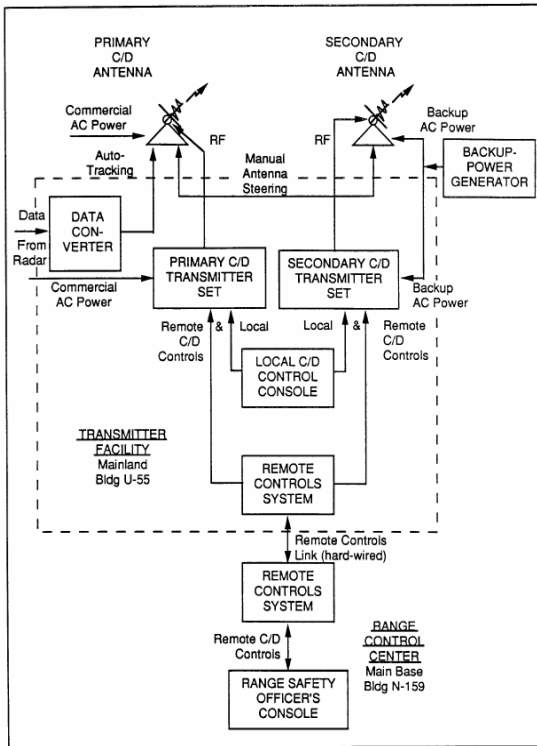


그림 4. Wallops Stations에 설치된 비행중단지령장비 구성

학관측 로켓 발사장용으로만 사용할 목적으로 시작하였지만, 후에 저 지구궤도 및 행성탐사용 과학 위성 발사를 위해서 증설되었다. 1998년 일본 최초의 화성 탐사선 노조미(희망)호를 발사하기도 하였다. 그림 5는 가고시마 우주센터의 위치 및 발사장 모습을 나타낸 것이다.



그림 5. 가고시마(KSC) 우주센터

### 3.2 일본(가고시마 발사장)

일본은 현재 두 곳의 위성 발사장을 운영하고 있다. 그 중 하나는 NASDA(National Space Development Agency of Japan)에 의해서 운용되는 다네가시마 발사장(TNSC, Tanegashima Space Center) 이고, 다른 하나는 ISAS(Institute of Space and Astronautical Science)에서 운용하는 가고시마 발사장(KSC, Kagoshima Space Center)이다. 가고시마 우주센터는 일본 남쪽 지방 가고시마현의 Uchinoura 근처 태평양 연안을 마주한 곳에 위치해 있고 애초 과

가고시마우주센터에서 사용되는 지상국비행중단지령장비는 450MHz 대역의 주파수를 사용하고 있으며 송신출력은 1Kwatt 정도이다. 명령신호는 가칭 주파수 4톤의 조합으로 구성되어 있고 이들 중 2톤이 동시에 그리고 0.2초 이상 계속해서 발사체 수신기에 수신되었을 때 동작하게 되어있다. 안테나형태는 원판형(십자형 dipole)이며, 이득은 약 17.5dB (반치각 : 20도)정도이다. 안테나의 추적속도는 AZ가 6.5°/sec, EL이 7.5°/sec이며 구동범위는 방위각으로 0~180도, 고각으로 0~90.5도의 성능을 가진다. 아래 그림 6은 KSC에서 운용되고 있는 지상국비행중단지령장비의 구성을 나타낸 것이다.

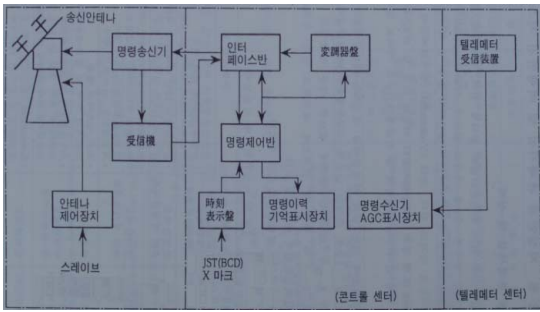


그림 6. 가고시마우주센터(KSC)의 비행중단지령장비 계통도

## 4. 나로우주센터 지상국비행중단지령장비

### 4.1 나로우주센터 지상국비행중단지령장비 소개

서론에서 언급한 바와 같이, 지상국비행중단지령장비는 신호의 전송 및 획득 측면에서 다른 추적장비에 비해 상대적으로 높은 신뢰도가 요구된다. 특히 나로우주센터내의 다른 지상 장비와의 RF 간섭 등으로부터 완전한 독립성이 보장되어야 하고 예상치 못한 시스템 장애에 대비해 언제나 서로간의 백업이 가능한 이중화(Redundancy) 구조를 갖도록 설계되어 있다. 센터 내에 배치되는 2대의 지향성 시스템은 99.9% 이상의 RF Link 신뢰도를 유지하면서 요구된 임무 종료 시점까지 추적 임무를 수행하기 위해서 73dBm 이상의 EIRP가 요구된다. 따라서 높은 송신출력을 갖는 고풍력 증폭기(HPA)가 요구된다. 고풍력증폭기는 비행중단지령장비의 중요한 핵심장비중의 하나로서 보다 안정적이고 높은 신뢰도를 확보하기 위한 구조 및 성능이 요구된다.

그림7과 같이 비행 안전에 관한 최고 결정권자가 최종 비행 중단 명령을 내릴 수 있는 MCP(Master Command Panel)는 발사통제센터(MCC : Mission Control Center)내의 Flight Safety Center(FSC)안에 설치되고 이러한 중단 명령을 수행하기 위해 필요한 모든 제어장치는 FTS 장비실에 설치된다. FSC와 FTS 장비실간의 케이블 거리는 약 1 Km 정도이며,

FSC에서 명령된 중단신호(RS-422)는 센터 내 설치되어 있는 전용망(광케이블)을 통해 이더넷(Ethernet) 신호로 변환되어 안정적으로 전송된다. FTS 장비실은 비행중단명령을 송신하기 위한 신호생성기(Encoder)와 고풍력증폭기(HPA) 그리고 각 장비를 모니터링하고 제어하기위한 컴퓨터(MCS : Monitoring & Control Computer)등이 설치되고, 발사통제센터(MCC)내의 주요 컴퓨터와 FTS 장비실내의 MCS간에는 상호 필요한 데이터 링크(Ethernet : TCP/IP)가 구성된다. 즉 지향성 안테나의 추적을 위하여 Slaving Data가 MCC 내의 CDPS(Central Data Processing System)로부터 전송되어 안테나 제어장치에 입력되고, 비행중단지령장비의 MCS에서 생성된 최종 상태정보(Final Status data)가 MCC내의 MSDS(Major Status Display System)로 전송된다.

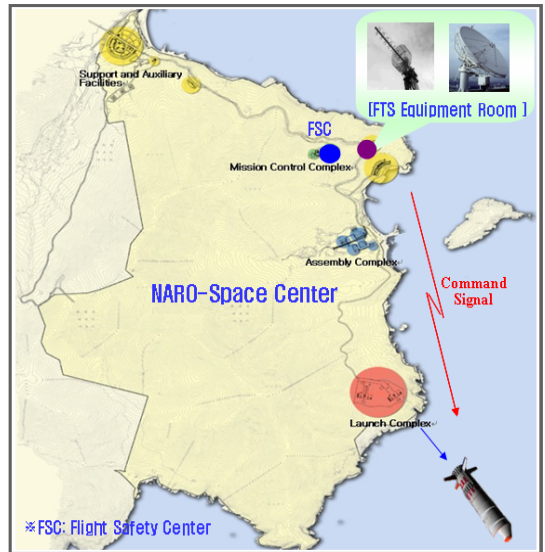


그림 7. 나로우주센터 지상국비행중단지령장비 운용개념

비행중단 명령신호는 명령신호의 코드화 방식에 따라 RCC에서 규정한 IRIG 표준 톤(Tone) 방식을 사용하여 명령신호의 신뢰도와 안정성을 확보한다. 코드화 된 명령 신호를 송신기를 통하여 송신하기 전 명령이 정상적인지를 확인하기 위하여 명령송신 스위치에서 나오는 신호를 송신기내에 설치된 디코더에서 수신하여 송신할 명령신호와 동일한지를 확인하는 Fail-Safe 방식을 적용하여 구성하였다.



### 4.2 주요구성 및 특성

지상국 비행중단지령장비는 발사체 비행의 이상이 감지되었을 경우, 발사통제 안전책임자가 이를 인식하고 중단 명령을 직접 수행하기 위한 명령장치(MCP : Master Command Panel)와 명령을 수행하기 위해 사전에 약속된 신호(톤)를 생성시키는 부호화기(Encoder) 및 변조기(Exciter) 그리고 원거리까지 신호를 안정적으로 전송하기 위해 필요한 고�출력증폭기(HPA : High Power Amplifier)와 송신안테나로 구성된다.

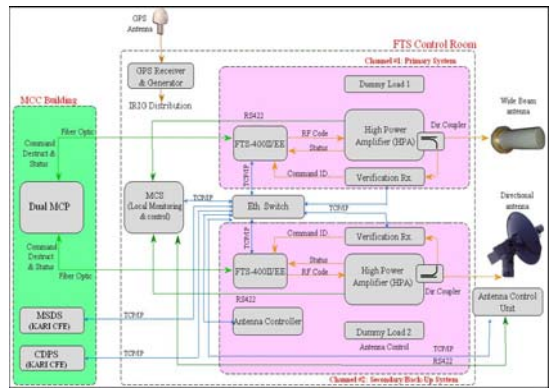


그림 8. 나로우주센터 지상국비행중단지령장비 주요구성

표 7. 나로우주센터 지상국비행중단지령장비 주요특성

사용주파수	UHF 대역
안테나 형태	Wide-Beam 안테나 : Helix Narrow-Beam 안테나 : Grid-dish
송신출력	Primary : 2Kwatt Secondary : 1Kwatt
안테나 이득	Primry : 12dBi@HPBW 40° Secondary : 18dBi@HPBW 15
편파	좌선형
HPA 타입	Solid-State, Modular 형태
엔코더 타입	IRIG-B Standard 20 Tone 조
명령 코드	Check, Arm, Destruct, Lock,
페테스탈 운용 모드	Manual, Program, Slaving

지상국 비행중단지령장비의 가장 큰 특징은 Fail Safe 기능으로써 엔코더를 통해 조합된 명령신호(Command)를 디코더(Decoder)를 통하여 복호화하여 MCP에서 명령된 원신호와 일치하는지 확인함으로써 송신하고자 하는 신호의 오류(Malfunction)를 사전에 방지한다. 또한 시스템 성능 시험 시 엔코더로부터 코드를 임의로 조합하여 디코더를 통해 나오는 출력 신호를 비교하여 지상국 비행중단지령장비에 대한 전체 성능을 검증할 수 있다. 명령 송신 중 명령신호가 Fail되어 송신하고자 하는 신호와 디코더를 통하여 수신된 신호가 일치하지 않을 경우, 명령신호의 전송을 중단하고 예비장치로 절체되며 주 장비는 그 기능 및 동작을 중지하게 된다. 그림 8은 지상국 비행중단지령장비의 주요구성 및 기능을 간략하게 나타낸 것이다.

### 5. 결론

지금까지 살펴본 것과 같이 지상국 비행중단지령장비는 RF부분(안테나 및 수신기)과 베이스밴드의 명령생성부 그리고 변조 및 신호증폭부까지 모든 통신기술의 총체적인 집합체이다. 주요 선진국들은 자체 발사장의 시스템 운용개념에 적합한 추적용 비행중단지령장비 및 서브시스템을 개발하고 있고, 추적의 전 과정을 자동화할 수 있도록 구성하고 있으며 잡음에 강하고 보안성이 뛰어나 명령기술 방식을 적용하고 있다. 이러한 세계적인 기술 추이에 비해, 국내 비행중단지령장비의 개발을 위한 기술 수준은 아직 시작 단계라고 볼 수 있다. 따라서 정부, 기업 및 해당연구소의 지속적인 관심과 투자가 집중적으로 이루어져야 한다.

### 참고문헌

1. "IRIG Standard for UHF Command Systems", IRIG Standard 208-85, Range Safety Group, Range Commanders Council, 1985
2. "Test Stand for Flight Termination Receiver/Decoder", IRIG Standard 313-01, Range Safety Group, Range Commanders Council, 2001
3. "Enhanced Flight Termination System Study Phase I-IV Reports", Special Report RS-38, Range Safety Group,

Range Commanders Council, November 2002

4. “Chapter 6. Ground Support Personnel, Equipment, Systems, and Material Operations Safety Requirement”, Eastern and Western Range 127-1, 1997
5. 한국항공우주연구원, “로켓발사 직후의 초기단계 위성 추적·통제운용시스템 구축에 관한 연구”, 2003.5
6. NASA, Wallops Station Handbook General Information, 1964, 2
7. 황수설 외, 외국발사체의 FTS(Flight Termination System) 명령방식 검토, 한국항공우주학회, 2004.8
8. 한국항공우주연구원, “우주센터 개발사업(I)”, 2001.7
9. 일본 우주과학연구소 홈페이지 <http://www.isas.jaxa.jp>