

미국의 차세대 비행종단시스템 표준화 동향

배영조*, 오창열**, 이효근***

Standardization of Enhanced Flight Termination System in the U.S.

Young-Jo Bae*, Chang-Yul Oh**, Hyo-Keun Lee***

ABSTRACT

Flight termination system(FTS) is used to terminate safely the launch vehicle's flight when it faces an emergency situation by transmitting termination command from ground FTS. RCC standard IRIG tone method has been used widely for FTS commands method in foreign ranges and Naro Space Center, but this method has a weakness for security of command signal. Therefore RCC had studied more secured EFTS standard and chose CPFSK digital modulation method. This paper describes basic concept and types of FTS and FTS types which foreign ranges had applied and describes standardization of EFTS in the U.S. based on RCC EFTS study reports.

초 록

비행종단시스템(FTS)은 비행중인 발사체에 긴급 상황이 발생했을 경우 지상에서 발사체에 비행종단명령을 전송하여 비행을 안전하게 종료시키는 시스템이다. FTS 명령 방식으로 미국의 RCC 표준인 IRIG 톤 조합 방식을 해외 여러 나라 및 나로우주센터에서도 사용하고 있으나 이 방식은 명령신호의 보안성이 약하다는 단점을 가지고 있다. 이에 RCC는 보안성이 강화된 차세대 비행종단시스템(EFTS) 표준 연구를 수행하였고 차세대 표준으로 CPFSK 디지털 변조 방식을 선택하였다. 본 논문에서는 비행종단시스템의 개요, 종류 및 외국 발사체에 적용된 FTS 명령 방식들을 기술하고, RCC EFTS 연구 보고서를 바탕으로 미국의 차세대 비행종단시스템(EFTS) 표준화 동향에 대해서 기술한다.

Key Words : Flight Termination System(비행종단시스템), Enhanced Flight Termination System (차세대 비행종단시스템), Range Safety System(비행안전시스템)

* 배영조, 한국항공우주연구원 발사체연구본부 나로우주센터 기술관리팀 yjbae@kari.re.kr ** 오창열, 한국항공우주연구원 발사체연구본부 나로우주센터 기술관리팀 ocy@kari.re.kr

*** 이효근, 한국항공우주연구원 발사체연구본부 나로우주센터 기술관리팀 hkleee@kari.re.kr

1. 서론

위성발사에 사용되는 비행종단시스템(Flight Termination System: FTS)은 비행중인 발사체가 비행안전영역을 이탈하거나 더 이상 추적이 불가능할 경우와 같은 긴급 상황이 발생했을 경우 비행을 안전하게 종료시키기 위해서 사용되는 장비이다. 비행종단시스템은 그 목적과 특성상 매우 높은 신뢰도가 요구되며 또한 잘못 사용되었을 경우 심각한 사태를 초래할 수 있기 때문에 높은 보안성이 요구된다.

FTS 명령 방식으로 미국의 RCC(Range Commanders Council) 표준(RCC 319-99, FTS Commonality Standard, 1999년)에서 규정한 IRIG 톤 조합 방식(아날로그 FM 변조)을 해외 여러 나라 및 나로우주센터에서도 사용하고 있으나 이 방식은 명령신호에 암호화 프로세스가 적용되지 않아 보안성이 약하다는 단점을 지니고 있다. 이에 일본(H-II) 및 프랑스(Arian 5)에서는 각기 독자적인 명령 방식을 채택하여 사용하고 있다.

실제로 미국에서 기존의 FTS 표준(RCC 319-99) 명령 방식과 관련된 중대한 사고가 두 차례 발생하였다. 첫 번째는 1999년 3월에 미국의 무인 항공기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle) Global Hawk가 비행 중 추락하는 사고가 발생하였는데 조사 결과 근처의 공군 비행장에서 자체 시험을 위해 사용한 FTS 비행종단명령(Termination)이 우연히 Global Hawk의 FTS 사용 톤과 일치하여 무인기가 비행종단명령을 수신하여 추락된 것으로 판명되었다. 두 번째는 2001년 11월에 미국의 KLC(Kodiak Launch Complex) 발사장에서 발사된 전략적 타겟 시스템 미사일(Strategic Target System(STARS) missile)이 비행 중 폭발하는 사고가 일어났는데 그 원인이 FTS 송신기가 발사장에서 downrange 사이트로 hand-over 하는 과정에서 두 개의 송신기에서 나온 명령이(Optional과 Arm)이 서로 겹치고 또 화염 감쇠 영향이 더해지면서 비행종단명령(Termination)이 수신된 것으로 밝혀졌다.

위와 같은 사고가 일어난 후 미국에서는 기존의 FTS 표준 방식보다 보안성이 강화된 Enhanced

Flight Termination System(EFTS) 방식에 대한 연구를 시작하였고 연구 결과를 2002년 11월에 RCC RS-38(Enhanced Flight Termination System Study Phase I-IV Reports) 문서로 발표하였다.

본 논문에서는 2장에서 비행종단시스템의 개요 및 명령 방식의 종류 그리고 외국 발사체에 적용된 FTS 명령 방식들을 기술하고, 3장에서 RCC RS-38 문서를 바탕으로 미국의 차세대 비행종단시스템(EFTS)의 표준화 동향에 대해서 기술하고자 한다.

2. 비행종단시스템 개요 및 종류

2.1 비행종단시스템 개요

비행종단시스템은 비행중인 발사체에 긴급 상황(비행 안전영역 이탈, 추적 불가 등)이 발생했을 경우 발사체로부터 인명과 재산을 보호하기 위해 지상에서 발사체에 비행종단 명령을 전송하여 비행을 강제로 종료(폭발 등) 시키는 시스템이다. 비행종단시스템의 구성은 지상에서 발사체에 원격명령신호를 송신하는 지상시스템과 지상시스템으로부터 비행종단명령을 수신하여 정해진 비행종단임무를 수행하는 탑재시스템으로 되어 있다.

가. 지상국비행종단시스템(Ground FTS)

지상시스템은 명령을 지령하는 장치인 MCP(Master Command Panel), 각 명령에 따른 명령신호를 생성하는 장치인 부호화기(Encoder & Exciter), 명령신호를 원거리까지 송신하기 위해 필요한 고풍력 증폭기(HPA), 송신하는 신호를 검출하여 명령의 정상 여부를 확인하는 검출기(VR) 그리고 송신 안테나로 구성된다. 높은 신뢰도가 요구되는 시스템 특성상 장비감시제어부(MCS)를 제외한 모든 시스템이 이중화되어 있으며 임무 중에 메인 채널의 명령송신기능에 이상이 감지되었을 경우 자동으로 50ms 이내에 백업 시스템으로 전환(Automatic switching)하게 된다.

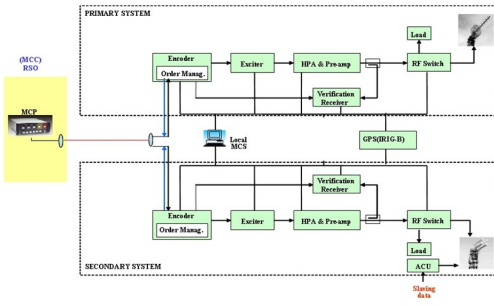
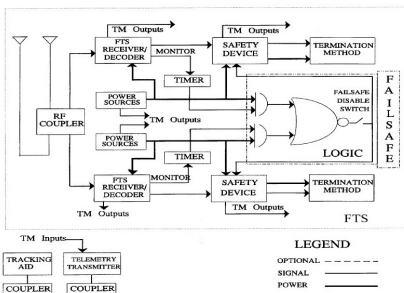


그림 1. 지상국비행종단시스템의 주요 구성

비행종단시스템의 명령신호는 중단명령의 준비단계인 ARM 신호, 비행종단명령 신호인 DESTRUCT (또는 TERMINATION) 신호, 지상시스템과 탑재시스템 간의 통신링크 연결 상태를 확인하기 위한 CHECK 신호, 기타 사용자 정의 신호인 OPTIONAL 신호등으로 구성되어 있다.

나. 탑재비행종단시스템(Airborne FTS)

탑재시스템은 수신안테나, 원격명령신호를 수신하는 수신기(Receiver), 명령을 검출 및 관측하는 디코더(Decoder), 실제 비행종단 기능을 수행하는 구동부로 구성된다. 수신기는 검출된 명령 및 수신 신호레벨 등을 Telemetry 데이터로 보내어 지상에 있는 비행안전책임자가 통신 링크 및 시스템 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있게 해준다. 기타, 시스템 결함 등으로 인해 지상과 탑재시스템간의 명령 송수신기능이 더 이상 작동할 수 없게 되었을 경우, 자동으로 비행종단명령을 내리는 Fail-safe 기능을 선택 사양으로 하고 있다. 지상시스템과 마찬가지로 RF 커플러를 제외하고는 모든 시스템이 이중화 구조로 되어있다.



자료 : 참고문헌 [2]

그림 2. 탑재비행종단시스템의 주요 구성

2.2 비행종단 명령방식 종류

현재까지 각국의 발사장에서 가장 많이 사용하는 비행종단 명령방식으로 미국 RCC의 FTS 표준(RCC 319-99) 방식인 IRIG(Inter-Range Instrumentation Group) Standard 톤 방식과 Secure 톤 방식이 있다. 그러나 각국의 비행안전 필요에 따라 RCC 표준을 변형하여 사용하기도 하고 독자적인 변조방식, 주파수 및 암호화 방식 등을 채택하여 사용하기도 한다.

가. Standard 톤 방식

Standard 톤 방식은 표 1과 같이 RCC 표준에서 정한 20개의 음성주파수대역(7.50KHz~73.95 KHz)의 톤 신호를 조합해서 명령을 만들어내는 방식이다. 톤 주파수들의 간격은 각 신호의 고조파(Harmonic) 성분이 다른 톤의 주파수와 겹치게 되는 것을 방지하기 위해 일정하지 않은 분포로 되어있다.

표 1. Standard 톤 방식의 톤 주파수

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

이들 중 1~3개의 톤 신호를 순차적으로 조합하여 Check, Arm, Destruct 등의 명령들을 만들게 되고 미리 정해진 순서대로 순차적인 톤 신호가 입력되었을 때만 유효한 명령신호로 판단하도록 구성되어 있다. 변조방식은 아날로그 FM(Frequency Modulation) 방식을 사용한다.

표 2. Standard 톤 방식에서의 명령별 톤 조합

순차 로직	FTR 디코더 출력
Tone A and C 켜짐	ARM 명령
Tone C and A and B 켜짐, Tone C 꺼짐	ARM 명령, DESTRUCT 명령
Tone B and C 켜짐	OPTIONAL 명령
Tone D 켜짐	CHECK 명령

나. Secure 톤 방식

Secure 톤 방식은 Standard 톤 방식의 변형 형태로 보안성(secure)을 강화하기 위해 단순한 톤 신호의 조합이 아닌 톤 조합 신호를 16byte의 메시지 형태(Messaeg Format)로 변환하여 보내는 방식이다. Secure 톤 방식은 RCC 표준에서 정한 8개의 톤 신호를 사용하며 그중 7개(1번~7번)는 명령 신호를 생성하는데 사용되고 마지막 8번 톤은 Pilot 신호로서 동기를 맞추거나 명령신호의 수신 유무를 판단하는데 사용된다.

표 3. Secure 톤 방식의 톤 주파수

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

16byte의 메시지는 명령을 생성하는데 사용하는 11개의 Character(1byte) 들과 기타 동기 및 CRC를 위한 메시지들로 이루어진다. 그리고 각각의 Character는 위의 7개의 톤(1번~7번) 중에 임의로 선택된 두 개의 톤과 한 개의 pilot 톤(8번)의 조합으로 구성된다. 따라서 명령신호를 만드는 데 가능한 톤 조합의 가지 수가 $({}_7C_2)^{11} = 3.5 \times 10^{14}$ 로 Standard 톤 방식의 가지 수 ${}_{20}P_3 = 6.84 \times 10^3$ 보다 크게 증가하기 때문에 보안성면에서 Standard 톤 방식보다 더 좋게 된다. 하지만 메시지 간격이 더 길어지는 단점이 있다.

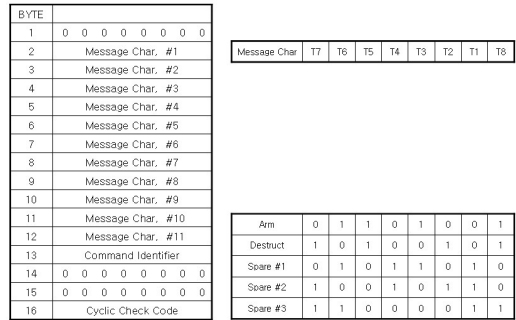


그림 3. Secure 톤 방식의 출력 메시지 구성

Secure 톤 방식의 메시지 파형(waveform)은 그림 4와 같다. 각각의 character들은 3개 톤의 합성으로 되어있고 character 한 개당의 시간 간격은 8.57ms(=6.67ms+ 1.9ms), 마지막 11번째 character의 시간 간격은 약 3배인 25.71ms이며 전체 메시지 시간 간격은 180ms이다.

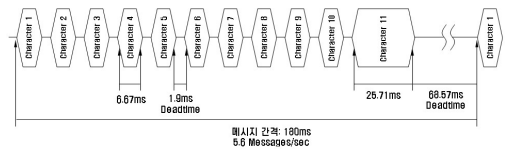


그림 4. Secure 톤 방식의 메시지 파형(waveform)

2.3 외국 발사체의 비행종단 명령방식

외국의 발사체에 적용된 비행종단시스템의 명령 방식은 아래 표 4와 같다.

표 4. 외국 발사체에 적용된 비행종단명령방식 비교

	Atlas III (미국)	Delta IV (미국)	Titan (미국)	H-II (일본)	Arian 5 (프랑스)
변조 방식	FM	FM	FM	PM	Spread Spectrum
주파수	UHF 416.5M	UHF 416.5M	UHF 416.5M	S-band 2.6G	UHF 400~450M
명령 형태	Secure 톤	Secure 톤	Secure 톤	Combination of 5 Tones	디지털 메시지
명령 해독	Digital Filter	Digital Filter	Digital Filter	Logic Circuit	Digital Filter

미국의 발사체인 Atlas, Delta, Titan은 RCC의 표준 사양을 준수하여 설계된 것을 알 수 있으며, 그중에서도 보안성이 강화된 Secure 톤 방식을 사용한 것을 확인할 수 있다. 일본 H-II의 경우 변조 방식을 FM이 아닌 PM변조를 적용하였으며 RF 주파수를 일반적으로 사용하는 UHF대역이 아닌 S-band(2.6G)를 사용하였고, 톤 주파수도 RCC 표준과는 다른 주파수 분포를 가지도록 구성하고 있다. 프랑스의 Arian 5의 경우 독특한 Spread Spectrum 변조를 적용하였다. 이처럼 미국을 제외한 외국의 발사체에서 비행중단시스템으로 각기 독자적인 방식을 채택한 이유는 FTS의 중요도에 의해 각국에 적합한 암호화 방식을 적용하여 보안성을 강화시키고 외부 간섭신호에 의한 영향과 방해 전파로 인한 오동작 가능성 등을 최소화하여 비행 중 발생할 수 있는 긴급 상황에 대한 신뢰도를 높이기 위한 것으로 해석된다.

이와 같이 비행중단 명령신호는 RCC Standard 톤 방식을 기본으로 하여 각국의 상황에 따라 Secure 톤 방식이나 Spread Spectrum 방식 등의 각기 다른 독자적인 방식을 선택하여 명령신호의 신뢰성과 안정성을 확보하도록 하고 있다.

3. 미국의 차세대 FTS 표준화 동향

3.1 미국(RCC) EFTS 표준 연구 개요

미국 RCC(Range Commanders Council)의 RSG(Range Safety Group)는 기존 IRIG 톤 명령 방식(RCC 319 표준)보다 보안성/신뢰성이 강화된 차세대 FTS 명령방식을 찾기 위해 2000년 4월에 EFTS(Enhanced Flight Termination System) 연구를 시작하여 그 결과를 2002년 11월에 발표하였다. EFTS 명령방식(변조방식, 메시지 포맷 등)을 체계적으로 찾기 위해 총 4단계(phase)에 걸친 단계별 연구를 수행하였다.

- 1) 1단계(Phase I) : 현재 발사장의 FTS 기반시설 조사 및 요구사항 정의
 - 기존의 표준(FTS Commonality Standard, RCC 319-99, 1999년) 조사

- 미국의 주요 발사장을 방문하여 FTS 기반시설 조사 및 사용자들의 요구사항을 수집하여 기본적인 요구사항을 도출
- 2) 2단계(Phase II) : 기술 조사
 - 아날로그 및 디지털 변조방식들에 대한 포괄적인 기술 조사
 - 7개의 EFTS 명령방식 후보 선정 및 장·단점 분석
 - 최종 2개의 EFTS 명령방식 후보 선정
- 3) 3단계(Phase III) : 기술 검증/시험 및 최종 명령 방식 선정
 - 2단계 때 도출된 2개의 명령방식에 대해 최종 명령방식 선정을 위한 종합적 기술 검토 및 시험 수행
 - 간섭 분석 시뮬레이션 수행
 - 화염에 의한 감쇠 영향 분석
 - 메시지 포맷의 정의
- 4) 4단계(Phase IV) : RCC 표준 도출
 - 지상(인코더) 및 탑재(수신기) 비행중단시스템의 최종 EFTS 요구 규격 도출
 - 개발 비용 및 시간 추정

3.2 차세대 비행중단시스템 후보 명령방식

RCC에 의해 EFTS 명령방식으로 제안된 7개의 후보 명령방식은 아래 표와 같다.

표 5. EFTS 후보 명령방식

번호	명령 방식 이름	비고
방식1	Bi-Phase Frequency Shift Keying(FSK)	디지털 메시지, FM 변조
방식2	Bi-Phase-level CPFSK	디지털 메시지, FM 변조
방식3	Enhanced High Alphabet(HA)	아날로그 메시지, FM 변조
방식4	Enhanced Secure FTS	디지털 메시지, FM 변조
방식5	Non-Coherent 3 of 13 Tone Messaging	아날로그 메시지, FM 변조
방식6	Spread Spectrum	디지털 메시지, Spread Spectrum
방식7	Scalable 3-DES Encrypted BPSK	디지털 메시지, PM 변조

위의 7개의 명령방식은 변조방식의 종류에 따라 크게 4가지로 구분되어 진다. CPFSK 변조방식(1, 2, 4번), Modified High Alphabet(MHA) 또는 아날로그 변조방식(3, 5번), Spread Spectrum 변조방식(6번), BPSK 변조방식(7번).

3.3 후보 방식 비교 및 최종 명령방식 선택

가. 후보 명령방식 비교

(1) 위험성

변조방식에 따라 4가지로 분류하여 위험성(risk)을 비교할 수 있다. CPFSK 변조방식(1, 2, 4), Modified High Alphabet(MHA) 변조방식(3, 5), Spread Spectrum 변조방식(6), BPSK 변조방식(7)에 따른 위험성은 아래 표와 같다.

표 6. 변조방식별 위험성 비교

후보 방식	위험성
CPFSK 변조(디지털)	낮다 - FM 변조방식으로 Telemetry 분야에서 이 전부터 사용해오던 방식
Modified High Alphabet 변조(아날로그)	낮다 - 기존의 Secure 톤 방식과 같은 방식
Spread Spectrum 변조(디지털)	높다 - FTS에 적용하기 위해선 많은 세부적인 분석들이 수행되어야 할 필요가 있다.
BPSK 변조(디지털)	높다 - FTS에 적용하기 위해선 많은 세부적인 분석들이 수행되어야 할 필요가 있다.

(2) 요구 규격의 만족도

각 후보 변조방식들에 대해 RCC에서 정한 EFTS(RS-38) 기본 요구 규격에 대한 만족도를 평가하였고 결과는 아래 표 7과 같다.

CPFSK 방식은 기존의 톤 방식과 같은 변조방식으로 시스템에 미치는 영향이 가장 적고 개발 비용

과 시간이 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나 방해 전파에 대해 면역성이 없다는 것이 단점이다. Modified High Alphabet(MHA) 방식은 기존의 Secure 톤 아날로그 변조방식의 변형 형태로 기존 시스템과 호환이 잘 되고 짧은 버스트(burst) 에러에 강한 장점이 있다. 그러나 수신기 특성(Sensitivity 등)등에서 CPFSK보다 떨어지고 개발 업체가 많지 않다는 단점을 가지고 있다. Spread Spectrum 방식은 통신의 보안성과 간섭 및 방해전파에 대한 내성 등 많은 장점이 있지만 아직 발사체 분야에서는 익숙하지 않은 방식이기 때문에 많은 시험과 검증이 필요하다는 단점이 있다. BPSK 방식은 CPFSK 보다 같은 주파수 대역에서 많은 데이터를 보낼 수 있다는 장점이 있지만 간섭 신호에 매우 민감하고 캐리어와 위상 동기를 계속 지켜야 한다는 단점을 가지고 있다.

나. 최종 명령방식 선택

RCC는 위와 같이 각 명령방식들의 장·단점을 서로 비교 분석하여 EFTS 요구 조건에 가장 잘 부합되는 CPFSK 방식과 Modified High Alphabet(MHA) 방식을 최종적인 후보로 결정하였다. Spread Spectrum 방식은 보안성과 간섭에 대한 내성 등 많은 장점이 있음에도 불구하고 아직 많은 시험과 검증이 필요하다는 이유로 최종 방식에서 제외되었다. 선택된 두 방식은 기존의 톤 방식과 동일한 변조(FM 변조)를 사용하여 시스템에 미치는 영향이 가장 적고 발사체 명령방식으로 오래전부터 사용되어 그 신뢰성과 안정성이 입증되었다는 점이 최종 후보 방식으로 선택되는데 중요한 요소로 작용되었다.

이후, RCC는 EFTS 연구의 3단계(Phase III)에서 최종 명령방식을 결정하기 위한 종합적 기술 검토 및 시험(간섭 분석 시뮬레이션, 화염에 의한 영향 분석 등)과 메시지 포맷을 정의하는 작업을 수행하였고 그 결과는 아래 표 8과 같다.

표 7. 변조방식별 요구 조건 만족도 평가

RS-38 요구 규격	CPFSK	Modified High Alpha	Spread Spectrum	BPSK	설명
1) 주파수 사용 : 할당된 주파수 대역을 더욱 효율적으로 사용할 수 있는가?	☺	☺	☹	☹	Spread Spectrum 및 BPSK는 더 넓은 주파수 대역을 필요로 함
2) 다른 주파수 대역 사용 가능 여부 (주파수를 다른 대역으로 변경해야 할 경우 대비)	☺	☺	☺	☺	
3) 기존 지상국시스템에의 영향	☺	☺	☹	☺	Spread Spectrum은 지상국시스템에 큰 변경을 요구함
4a) 기존 탑재시스템에의 영향	☺	☺	☹	☹	Spread Spectrum 및 BPSK는 탑재시스템에 큰 변경을 요구함
4b) 기존 탑재시스템에의 영향: 경쟁 업체	☺	☹	☺	☺	개발 업체 수가 적음
5) 기존 fail-safe 시스템과의 호환성	☺	☺	☺	☺	
6) 다수의 발사체 명령 지원	☺	☺	☺	☺	
7) 의도하지 않은 명령들부터의 보호	☺	☺	☺	☺	
8) 간섭 신호(multipath, inter-symbol, inter-modulation등) 면역성	☺	☺	☺	☹	
9) 보안성 : 비인가자로부터의 공격, End-to-end 사전 점검 시험 시 보안, 인증(Authentication)	☺	☺	☺	☺	
10) 기술 성숙도	☺	☺	☹	☺	Spread Spectrum방식은 많은 시험을 요구함
11) 신뢰도 : 기존 시스템 대비	☺	☺	☺	☺	동기(Coherent) 방식은 지속적인 위상 동기를 요구함
12) Processing time: 기존 방식 대비	☺	☺	☺	☺	Acquisition time 제외
13) 개발 비용	☺	☺	☹	☹	Spread Spectrum 및 BPSK는 많은 시험과 분석을 요구함
14) 크기 : 기존 시스템 대비	☺	☺	☺	☺	
15) 무게 : 기존 시스템 대비	☺	☺	☺	☺	
16) Acquisition/reacquisition time(4개의 동기 계층) 1. 비트/심볼 2. 프레임 3. 캐리어 위상 4. 코드	☺	☺	☹	☹	Spread Spectrum은 4개의 동기(synchronization) 계층. BPSK는 3개의 동기 계층. 나머지는 2개의 동기 계층을 가짐.
17) 운용상의 영향	☺	☺	☺	☺	운용자에게 미치는 영향
합 계					
☺ (요구 조건을 만족) 합계	13	12	9	8	
☺ (요구 조건을 어느정도 만족) 합계	5	5	3	5	
☹ (요구 조건을 불만족)합계	0	1	6	5	

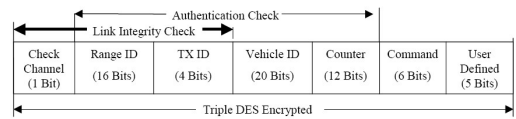
표 8. CPFSK와 MHA 방식 간의 비교

항 목	분석 결과	승 자
주파수 대역	CPFSK와 MHA 모두 EFTS 목표인 360KHz 이내에 들어옴	없음
수신기 특성 (Sensitivity, Re-acquisition time, Multipath, Vibration)	Vibration을 제외하고는 모두 CPFSK가 더 좋음	CPFSK
간섭 시뮬레이션	간섭 종류에 따라 CPFSK가 유리할 때도 있고 MHA가 유리할 때도 있음	없음
화염 손실 영향	두 개 방식이 비슷한 특성을 보임	없음
기존 시스템 업그레이드	<ul style="list-style-type: none"> MHA 방식은 기존 시스템의 비트 수를 증가시키거나 패킷을 수정하는데 어려움이 있음. 업계의 친숙도나 개발 업체의 수에서 CPFSK 방식이 더 유리함. (Telemetry 분야에서 CPFSK 방식이 보편화되어 있음) 	CPFSK

추가적인 분석 및 시험 결과, 두 방식에서 커다란 차이가 나타나지는 않았지만 수신기 특성과 업그레이드의 용이성, 업계의 친숙도 면에서 유리함을 보인 CPFSK 방식이 최종적인 EFTS 표준 규격으로 선택되었다.

다. 메시지 포맷 정의

RCC는 기존의 아날로그(톤 방식) 방식에서 디지털 방식으로 전환함에 따라 디지털 메시지의 포맷을 새로 정의하였다. 메시지는 64비트 패킷 신호로 구성되며 지상과 탑재 시스템 간의 명령 전달시 필요한 모든 정보를 담고 있고 각각의 메시지는 삼중(Triple) DES 암호화 알고리즘에 의해 암호화되어 전송된다.



자료 : 참고문헌 [2]

그림 5. EFTS 메시지 구조

- ① Check Channel : 기존 시스템에서 사용하던 Check 명령과 동일한 기능을 수행하며 통신 링크의 연결 및 건강 상태를 확인하기 위해 사용된다.
- ② Range ID : 하나의 미션에 여러 개의 사이트가 있을 경우 특정한 사이트의 명령신호에만 반응하기 위해 16비트를 할당한다.
- ③ Transmitter(TX) ID : 하나의 사이트에 여러 개의 송신기가 있을 경우 특정한 송신기에만 반응하게 하기 위해 4비트를 할당한다.
- ④ Vehicle ID: 여러 대의 비행체(vehicle)가 있는 미션의 경우 각 비행체마다 고유의 ID를 할당하여 여러 대의 비행체를 제어할 수 있게 하기 위해 사용한다.
- ⑤ Command Counter: 명령이 바뀔 때마다 1씩 증가하며 보안성이 크게 요구되는 미션 등에서 명령의 인증 용도로 사용된다. (누군가가 앞에서 보낸 명령을 레코딩하여 똑같은 명령 신호를 재전송하였을 경우 수신기가 그 복제된 명령에 반응하는 것을 막을 수 있음.)
- ⑥ Command Field: Arm, Termination, Optional, Disable 등의 명령을 나타내기 위해 6비트를 할당한다.
- ⑦ User Defined Field: 명령이 더 확장되거나 추가적인 인증이 필요할 때를 대비하여 여분으로 5비트를 할당한다.

3.4 RCC 차세대 비행종단시스템 요구 규격

RCC는 최종 명령방식으로 선정된 CPFSK 방식과 메시지 포맷을 바탕으로 EFTS 수신기와 인코더의 요구 규격을 정의하였다.

가. EFTS 수신기 요구 규격

표 9. RCC EFTS 수신기 요구 규격

특 성	요 구 규 격
1. 데이터 링크 특성	
1.1 변조 방식	CPFSK 변조
1.2 PCM 인코딩	Bi-Phase Level Encoding (예 : 맨체스터 코드)
1.3 메시지 포맷	64비트 메시지 포맷
1.4 메시지 전송 주기	50Hz 이상
2. 물리적(Physical) 특성	
2.1 부피	25 inch ³ 이하
2.2 입력 전압	24~32Vdc
2.3 입력 전류	최대 150mA
2.4 암호키 로딩	NSA에서 인증된 방식의 암호키 로딩 기능
2.5 TM 출력	· 수신 신호 레벨 (Signal Strength Telemetry Output) · 명령수신 상태 등
3. 수신기 기능	
3.1 파라미터 설정 기능	Range ID, Transmitter ID, Vehicle ID, Command Counter, User Defined Command 등의 파라미터 설정
3.2 Self-Test	자가 진단 테스트 이후 결과 display
3.3 수신 감도	· -107dBm 에서 10 ⁻⁴ MER (Message error rate) 이하 · -116dBm 에서 0.5 MER (Message error rate) 이하
3.4 Acquisition Time	70ms 이하



자료 : 참고문헌 [3]
그림 6. EFTS 수신기

나. EFTS 인코더 요구 규격

표 10. RCC EFTS 인코더 요구 규격

특 성	요 구 규 격
1. 데이터 링크 특성	
1.1 변조 방식	CPFSK 변조
1.2 PCM 인코딩	Bi-Phase Level Encoding (예 : 맨체스터 코드)
1.3 메시지 포맷	64비트 메시지 포맷
1.4 메시지 전송 주기	50Hz 이상
2. 물리적(Physical) 특성	
2.1 부피	유닛의 이동이 가능한 부피
2.2 Power Supply	단상 115V(±10%), 60Hz(±10%)
2.3 암호키 로딩	NSA에서 인증된 방식의 암호키 로딩 기능
2.4 테스트 포트	시스템 주요 특성 측정용 테스트 포트 필요
3. 인코더 기능	
3.1 파라미터 설정 기능	Range ID, Transmitter ID, Vehicle ID, Command Counter, User Defined Command 등의 파라미터 설정
3.2 명령 처리 시간	명령 지령부터 인코더 출력 까지 50ms 이하
3.3 Baseband 출력 잡음	50mV peak-to-peak 이하



자료 : 참고문헌 [3]
그림 7. EFTS 인코더

4. 결 론

기존 미국(RCC)의 비행중단시스템 표준은 음성 주파수 대역(7.5KHz~73.95KHz)의 아날로그 신호(톤) 조합을 FM 변조시켜 명령을 전송하는 아날로그 통신 방식이 사용되었다. 이 방식은 송·수신

부 구성이 상대적으로 간단하고 신뢰도가 높아 발사체 명령방식으로서 해외에서도 이전부터 많이 사용되었다. 그러나 명령에 사용하는 톤의 조합 개수가 작아 보안에 취약하고 외부 간섭신호에 대한 내성이 약하다는 단점을 가지고 있다.

실제로 2000년대 초반에 의도치 않은 비행중단 명령이 수신되는 사고가 발생한 이후에, RCC는 보안성이 좀 더 강화된 차세대 비행중단시스템(EFTS)의 표준 개발에 들어갔다. 2년에 걸쳐 기관·대학·기업이 공동으로 연구한 끝에 여러 후보 방식 중 가장 높은 점수를 얻은 CPFSK 디지털 통신 방식이 결정되었다. 이 방식은 디지털 메시지를 암호화(Triple DES) 및 채널 코딩을 거쳐 디지털 변조(CPFSK) 하여 송신하는 방식이다. 따라서, 암호화 기법으로 보안성 향상이 가능하고 채널 코딩 기법으로 불안정한 채널에서 생긴 오류신호를 검출 및 정정하는 것이 가능하다.

현재 미국에서는 EFTS 표준 송·수신기의 개발 및

성능 시험이 완료된 상태이고 거의 모든 발사장에서 수 년 이내에 EFTS 장비로의 변경을 계획하고 있다.

참고문헌

1. "Test Standard for Flight Termination Receivers/Decoders", IRIG Standard 313-01, Range Safety Group, Range Commanders Council, 2001
2. "Enhanced Flight Termination System Study Phase I-IV Reports", Special Report RS-38, Range Safety Group, Range Commanders Council, 2002.11
3. David Tow 외, "Enhanced Flight Termination System(EFTS) Flight Demonstration and Results", ITEA, 2008.5
4. "NASA Range Safety Annual Report 2009", NASA, 2009
5. 황수철 외, "외국발사체의 FTS(Flight Termination System) 명령방식 검토", 한국항공우주학회, 2004.8