

KSR-III 궤도데이터 취득시스템 개발

이상래*, 이수진**, 김준규***, 이재득****

Development of Ranging System for Korea Sounding Rocket-III

Sang-Rae Lee*, Soo-Jin Lee**, Jun-Kyu Kim***, Jae-Deuk Lee****

Abstract

Position and trajectory data of in-flight rocket are important informations to determine flight safety of rocket. In general tracking system, radar and transponder are used to acquire position information. Rocket position and trajectory can be determined by RF communication between ground station and in-flight rocket, and antenna position data. In this paper, it explains the ranging system which is low resolution rather than radar system but system configuration is simple. Therefore this system is useful for experimental flight vehicle.

초 록

비행하는 로켓의 위치 및 궤도는 로켓의 비행 안정성을 판단하는 중요한 요소이다. 일반적으로 사용되는 추적시스템은 Radar를 사용하여 로켓에 탑재된 트랜스폰더와 통신하면서 얻어지는 데이터와 안테나의 위치 정보를 이용하여 로켓의 위치 및 비행방향에 대한 정보를 취득한다. 본 논문은 Radar를 이용하는 시스템에 비해 정밀도는 떨어지나 전체 시스템의 구성이 단순하고 쉽게 탑재하여 활용할 수 있는 Ranging System의 구성 및 역할에 대하여 소개한다. 이 Ranging System은 Telemetry System을 탑재하고 있는 비행체에서 조그마한 변화를 주어서 사용할 수 있으므로 다양한 시험용 비행체에 적용이 가능하리라 생각된다.

키워드 : 과학로켓(sounding rocket), 궤도데이터 취득시스템(ranging system), 원격측정 시스템(telemetry system), 비트 동기화기(bit synchronizer)

1. 서 론

일반적으로 비행중인 로켓의 위치 및 궤도정보를 얻기 위해서는 레이더를 사용한다. 레이더

를 이용하여 로켓의 위치를 추적하는 방법은 지상에서 송신되는 신호가 로켓의 몸체에서 반사되어 되돌아오는 신호를 수신하는 Skin Tracking 방식과 로켓에 탑재된 트랜스폰더를 이용하는 방식

* 전자그룹/sanglee@kari.re.kr

** 설계종합그룹/sjlee@kari.re.kr

*** 전자그룹/kjk@kari.re.kr

**** 전자그룹/jdlee@kari.re.kr

이 있다. 트랜스폰더를 이용한 추적방식은 지상에서 로켓을 향하여 미리 약속된 형태(Single or Double Pulse)를 갖는 RF신호를 송신하고 탑재된 트랜스폰더에서는 특정한 신호가 검출되면 지상으로 다른 주파수의 RF신호를 지상으로 송신한다. 그러면 지상에서는 탑재된 트랜스폰더가 송신하는 신호를 자동으로 추적하는 안테나를 이용하고 전송신호와 수신신호의 시간차를 검출함으로써 비행중인 로켓의 위치 및 궤도정보를 계산할 수 있다[1].

레이더 트랜스폰더를 이용한 위치추적시스템은 추적하는 위치오차가 상당히 적다. 그러나 이 시스템을 구성하기 위해서는 탑재되는 레이더 트랜스폰더뿐만 아니라 상당히 복잡한 지상 지원시설이 필요하다. 그러나 로켓의 탑재부에 수신기와 신호혼합기를 추가하고 Telemetry지상국에 궤도데이터 처리시스템을 추가함으로써 레이더를 이용하는 추적시스템보다 정확도는 떨어지나 로켓의 궤도를 추적할 수 있는 Ranging 시스템을 구성할 수 있다. 이때 지상에는 Telemetry데이터 수신을 위하여 운용중인 자동추적안테나와 수신기, 일정한 시간 간격으로 동기 신호를 발생시켜 주는 신호발생기 및 수신된 동기 신호와 송신한 신호의 시간차를 추출하는 비교기만을 갖춤으로써 비행중인 로켓의 위치 및 궤도정보를 쉽게 얻을 수 있다. 그러나 이 시스템은 정확도가 레이더를 이용한 추적시스템(수 m Resolution)보다 떨어짐(수 100m Resolution)으로 주 추적시스템으로는 사용하기 곤란하나 레이더의 Backup으로는 충분히 사용할 수 있다[2][3].

본 논문에서는 과학관측로켓에서 사용중인 Ranging시스템에 대하여 언급하고 자동추적 안테나, 신호 발생기, 신호 비교기, 위치데이터 처리기 및 탑재부의 구성에 대하여 설명함으로써 정밀한 위치 및 궤도정보는 필요치 않으나 비행중인 비행체와 통신을 하면서 직접적으로 실시간 궤도 데이터를 얻기 위한 시스템을 구성하고자 하는 경우에 필요하리라 사료된다.

2. 본 론

과학관측로켓에서 사용하고있는 Ranging시스템은 탑재된 수신기에 의해 지상에서 송신하는 신호를 탑재부에서 수신하고, 수신된 신호는 비행중 취득되는 각종 데이터를 지상으로 송신하기 위하여 사용되는 Telemetry시스템을 통하여 다시 지상으로 보냄으로서 이루어진다. 이때 지상과 로켓사이의 거리는 송신한 신호와 수신된 신호간의 시간차를 전파의 전파속도의 2배로 나누어줌으로서 얻어진다. 또한 위치정보는 로켓의 발사 순간의 안테나의 Azimuth 및 Elevation과 동기 신호가 수신된 순간의 Azimuth 및 Elevation간의 차이를 구함으로서 얻어진다. 다음 그림1은 Ranging시스템의 간단한 구성을 보여주고 있다.

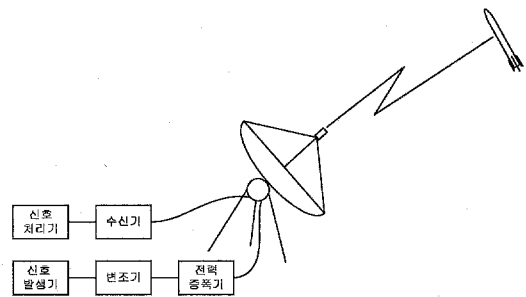


그림 1. Ranging 시스템 구성도

그림에서 지상에서 로켓으로 RF신호를 송신하는 역할을 하는 부분은 지상에 설치된 Dish 안테나의 끝에 장착된 Helical 안테나(그림에서는 박스로 표시됨)이고 로켓으로부터 Telemetry데이터를 수신하는 안테나는 Dish 안테나이다. 그러므로 수신된 동기 신호로부터 지상과 로켓사이의 거리를 구해보면 전송한 신호와 수신된 신호의 시간차를 T , 전파의 전파 속도를 C , 안테나와 로켓간의 거리를 L 이라 하고 로켓내부에서 신호가 전달되는 지연시간을 0 이라 하면 $T = 2 \times L \times C$ 로 나타난다. 그러므로 안테나와 로켓간의 거리는 $T/2C$ 가 됨을 알 수 있다.

Ranging시스템을 구성하려면 기본적으로 탑재부에는 수신기와 신호 혼합기를 구비하면 되고,

지상에서는 동기신호를 발생시키는 신호발생기, 이 신호를 변조하여 RF신호로 만들어주는 변조기, 변조된 신호를 먼 거리까지 송신하기 위해 신호의 전력을 증폭하기 위한 전력 증폭기, 송신용 안테나, 수신용 안테나 및 수신된 신호를 이용하여 송신한 신호와의 시간차를 계산하여 거리를 측정하기 위한 신호처리부가 필요하다.

2.1 탑재부

2.1.1 수신기

수신기는 지상에서 송신하는 RF신호를 수신하여 이 신호에서 Carrier Frequency를 제거하고 지상 신호 발생기에서 생성한 동기신호를 출력하는 장치이다. 여기에서 사용하는 수신기는 FM수신기로서 중심 주파수가 430MHz이고 RF Bandwidth는 지상에서 동기신호를 변조하기 위해 걸어주는 Deviation Frequency를 커버할 수 있도록 넓어야한다. 그러나 Bandwidth가 지상에서 걸어주는 Frequency Deviation보다 너무 크게 되면 신호와 잡음간의 전력 차가 적어서 수신된 RF신호에서 Audio신호를 얻을 수 없다. 그러므로 수신기는 지상에서 걸어주는 변조신호와 근사한 Bandwidth를 갖는 제품을 사용하는 것이 유리하다. 또한 수신기의 출력은 DC성분이 포함된 신호를 출력하는 경우와 AC성분만 출력하는 경우가 있으므로 다음 단에서 데이터를 처리하는 방식에 따라 적절한 부가 회로가 필요한 경우도 있다.

2.1.2 신호 혼합기

신호 혼합기는 수신기를 통하여 입력되는 Ranging신호와 Telemetry신호를 혼합하여 하나의 출력으로 만들어준다. 이때 사용되는 Ranging신호는 약 2kbps의 BIΦ-L Code를 약 3kHz에서 -3dB점을 갖는 저역통과 여파기(Low Pass Filter)를 통과시켜 얻어진 신호이고, Telemetry신호는 320kbps의 BIΦ-L Code를 약 500KHz에서 -3dB점을 갖는 저역통과 여파기(Low Pass Filter)를 통과시켜 얻어진 신호이다[6]. 그러므로 두 신호간의 주파수가 100배 이상 차이가 나므로 저항만을

이용한 단순한 회로로서 신호 혼합기를 구현할 수 있다. 다음 그림2는 저항을 이용한 신호 혼합기의 회로이다. 이 회로에서 가변저항을 이용하여 두 신호가 혼합되는 비율이 거의 같게 하고, 혼합된 신호는 송신기의 입력으로 들어감으로 이 신호의 크기도 적절히 조절하여 주어야한다. 왜냐하면 너무 작은 신호가 송신기에 입력되면 변조된 신호에서 원 신호를 검출하기가 곤란하고, 반대로 너무 큰 신호가 송신기에 입력되면 변조된 신호의 Deviation이 커져서 지상에서 수신할 때 수신기의 Bandwidth가 커져야하는 문제가 발생하기 때문에 적절한 크기로 신호를 조절해 주어야 한다.

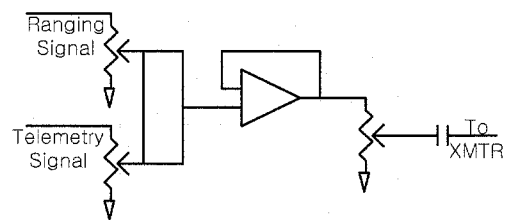


그림 2. 신호 혼합기 회로

2.2 Ranging Code발생기

2.2.1 동기신호 발생기

동기신호 발생기는 Ranging Code의 송신을 알리는 Start Pulse를 발생시키고 Ranging Code를 송신하기 시작한다. 이때 사용하는 Ranging Code는 한 Major Frame당 4개의 16 Bit Minor Frame으로 구성된다. 이중 Ranging을 위하여 사용되는 정보는 각 Minor Frame의 처음에 위치한 8 Bit의 Sync이다. 다음 그림3은 Ranging Code Format을 보여주고 있다.

1	0	1	1	0	0	0	0										
1	0	1	1	0	0	0	0										
1	0	1	1	0	0	0	0										
1	0	1	1	0	0	0	1										

그림 3. Ranging Code Format

여기에서 4번째 Minor Frame의 8번째 Bit는 Major Frame Indicator로 사용된다. 그리고 Sync를 제외한 나머지 Bit는 필요시 특정 명령을 넣어서 사용할 수 있도록 하기 위하여 확보해 두고 있다. 그리고 여기에서 생성되는 동기신호는 이웃한 Major Frame간에는 항상 반전이 되도록 하였다. 왜냐하면 지상과 탑재부의 구성에 따라 신호가 반전되어서 출력되는 경우가 있으므로 이러한 신호의 반전에 무관하게 항상 Ranging이 가능하도록 하기 위하여 이러한 출력특성을 갖도록 회로를 구성한다. 다음 그림4는 Code Generator의 구성을 보여준다.

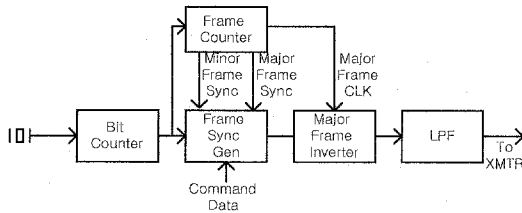


그림 4. Code Generator 구성도

동기 신호 발생기에서 생성되는 신호는 BIΦ-L Code이므로 이 신호 중 높은 대역에 분포한 주파수성분을 제거하기 위하여 저역통과 여파기(Low Pass Filter)가 사용되어진다.

2.2.2 변조기

동기 신호발생기에서 생성된 신호는 저주파이고 낮은 전력이므로 이신호를 원거리까지 전송하기 위해서는 고주파의 Carrier를 갖는 RF신호로 변환 시켜야 한다. 이러한 역할을 하는 것을 변조기라 하는데, 이는 사용으로 나오는 Signal generator를 이용하여 동기 신호발생기의 출력을 외부 입력으로 사용하여 FM변조시킨다.

변조기의 변조신호의 중심주파수를 430MHz로 설정하고 출력되는 Power Level은 다음단에 연결된 전력 증폭기의 입력에 적절하도록 설정한다. 그리고 입력신호의 1VRMS당 변조된 신호의 주파수 편이를 나타내주는 변조도(Frequency Deviation)는 탑재부에서 사용하는 수신기의

Bandwidth에 맞도록 적절히 조정되어야한다. 이 변조도가 너무 낮으면 수신기의 출력신호의 Vp-p값이 적어져서 다음 단에서 신호를 처리하기가 곤란해질 수 있으며, 변조도가 너무 크면 수신기의 수신 가능한 대역폭을 벗어남으로 인해 원 신호를 충실히 복원해 낼 수가 없게된다.

2.2.3 전력 증폭기

전력 증폭기는 변조기가 출력할 수 있는 전력에 제한이 있으므로 먼 거리까지 이 신호가 도달할 수 있게 하기 위해 출력되는 전력을 증폭해주는 역할을 한다.

2.3 송/수신안테나

송/수신안테나는 로켓의 비행궤도를 자동으로 추적할 수 있는 기능을 가지는 Telemetry 데이터 수신용 안테나의 끝 부분에 장착되어 로켓의 궤도를 따라가면서 Ranging Code를 송신하는 역할을 한다. 여기에 사용된 송신 안테나는 중심주파수가 430MHz인 Helical안테나를 사용한다. 그리고 수신용 안테나는 직경이 1.8m인 접시형 안테나로서 이 안테나는 신호원을 자동으로 추적할 수 있는 기능을 포함하고 있다. 이 안테나의 동작 특성은 다음 표 1,2와 같다.

자동추적 안테나시스템은 원형의 Ground Plane에 장착된 5개의 Crossed Dipole안테나에서 수신되는 신호의 세기를 비교하여 신호가 센 쪽으로 안테나의 Dish를 이동시킨다. 다음 그림5는 Crossed Dipole안테나의 구성을 보여주고 있다.

표 1. Azimuth Spec

항 목	특 성
Velocity	30 Deg/Sec
Acceleration	100 Deg/Sec ²
Travel	±300 Deg
Motor Power	112W
Pointing Accuracy	.075°RMS
Servo Bandwidth	1Hz or 0.5Hz

표 2. Elevation Spec

항 목	특 성
Velocity	30 Deg/Sec
Acceleration	100 Deg/Sec ²
Travel	-3° ~ +183°
Motor Power	112W
Pointing Accuracy	.075°RMS

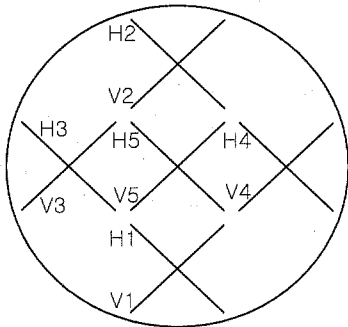


그림 5. Crossed Dipole 안테나의 형상

여기에서 좌우 및 상하에 위치하는 안테나는 추적을 위해 사용되는 것이고 가운데에 있는 안테나는 RF신호를 수신하는 역할을 한다. 좌우에 있는 안테나는 Azimuth에 대한 자동추적 에러신호를 발생시키고 상하에 있는 안테나는 Elevation에 대한 자동추적 에러신호를 발생시킨다. Crossed Dipole 안테나의 출력은 Monopulse Converter로 입력된다. 여기에서는 4개의 Crossed Dipole안테나에서 출력되는 신호를 이용하여 Azimuth 및 Elevation방향에 대하여 발생하는 에러의 크기를 측정한다. 그리고 이 측정된 신호를 근거로 모터를 회전시켜 각 안테나를 통하여 유입되는 신호의 차가 "0"이 되도록 한다. 여기에서는 Crossed Dipole안테나를 통하여 입력된 RF신호를 Left-Hand Circular(LHC) Polarization시키고 이 신호의 차를 검출하여 안테나의 이동 각을 구한다. 이때 LHC Polarization된 신호를 얻으려면 Azimuth방향으로 Polarization된 신호는 직접 연결하고 Elevation방향으로 Polarization된 신호는 위상을 90°지연시켜 이 두 신호를 합하면 된다. 다음 그림6은 Elevation방향의 에러를

구하기 위해 사용된 Monopulse Converter의 구성도를 나타내며, 표5는 여기에서 사용된 Monopulse Converter의 특성을 보여준다.

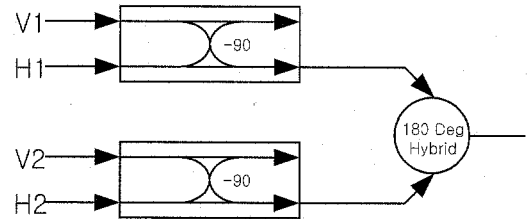


그림 6. Monopulse Converter 구성도

2.4 신호 처리부

신호 처리부는 수신기를 통해 복원된 Telemetry 신호와 Ranging신호가 혼합된 신호로부터 Ranging 신호만을 선택적으로 분리한 후 이 신호와 송신한 신호에 포함된 Sync신호를 비교하여 일치하던 전파의 이동시간을 고려하여 지상 국으로부터 로켓까지의 거리를 계산하는 역할을 한다. 지상의 신호 처리부는 크게 Bit Synchronizer, Sync Detector 및 Time Interval Counter로 구성된다.

표 3. Monopulse Converter Spec

항 목	특 성
Frequency	2200 - 2300 MHz
Construction	Lightweight Stripline
Power	±12VDC @ 100mA
VSWR	1.5 : 1 Max
Characteristic Impedance	50Ω
Insertion Loss (Sum CH)	5dB
Switch Isolation	42dB
Sum-Didderence CH Isolation	30dB
Scan Frequency	500 - 2KHz
Sum-Didderence CH Combiner	6dB Directional Coupler

2.4.1 Bit Synchronizer

Bit Synchronizer는 송신된 신호로부터 Ranging Code만을 선택적으로 분리하는 Filter, 재구성된 Bit CLK에 동기된 데이터를 얻기 위한 Data Conditioner, Bit CLK을 재구성해 주기 위한 Bit CLK Reproducer 및 동기를 맞추어주기 위한 PLL로 구성된다. 다음 그림7은 Bit Synchronizer의 구성도를 보여주고 있다.

Filter는 수신기의 출력으로부터 Ranging Code만을 선택적으로 분리하여 다음 회로로 입력시키기 위해 Ranging Code에 해당하는 주파수보다 큰 신호를 제거하기 위해 LPF(Low Pass Filter)로 구성된다. 또한 신호에 실린 DC성분의 잡음을 제거하기 위해 수십Hz이하의 신호도 같이 제거하기 위하여 HPF(High Pass Filter)도 포함하므로 전체적으로 BPF(Band Pass Filter)로 구성한다.

Data Conditioner는 Filter의 출력을 구형파로 만들어 주기 위해 사용된다. 구형파로 만들어진 신호는 연결되는 Digital회로의 입력으로 사용하여 Bit CLK 및 데이터를 재구성하는데 사용된다.

Bit CLK Reproducer는 입력되는 구형파의 Rising Edge에 동기 되어 One Shot pulse를 만들어 주고 이 Pulse에 동기되어 Clock을 대칭이 되도록 구성해 주는 One Shot Pulse발생기로 구성된다.

재생된 CLK는 Bit CLK을 안정화시키기 위해 PLL에 입력된다. PLL에서는 입력되는 재구성된 Bit CLK과 PLL의 출력을 분주한 Bit CLK을 비교하여 위상차가 발생하면 이 위상차를 보정해 준다. PLL에서는 외부에 Loop Filter를 구성하여

Locking특성을 최적화해준다. Loop Filter는 위상차를 DC성분으로 변환하여 VCO를 제어해 줌으로서 로켓의 이동에 따른 Bit CLK의 Slew Rate를 따라가면서 안정적으로 Locking되게 한다. 이때 VCO의 Bandwidth는 로켓의 이동에 의해 변화되는 Slew Rate를 충분히 따라갈 수 있도록 크게 잡아야한다.

Bit Synchronizer에서 재구성된 Bit CLK 및 데이터는 Sync Detector회로 입력된다.

2.4.2 Sync Detector회로

Sync Detector회로는 재구성된 Bit CLK 및 데이터를 이용하여 송신된 데이터와 수신되는 데이터를 비교하여 Sync가 검출되면 Time Interval Counter를 중단시키고 이때부터 입력되는 데이터를 반전시키는 역할을 하는 회로로서 이의 구성도는 그림8과 같다.

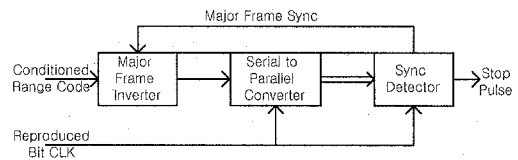


그림 8. Sync Detector회로

Major Frame Inverter는 동기신호 발생기에서 매 Major Frame마다 반전된 Code를 발생시켜 송신하기 때문에 Sync Detector회로에서 연속적으로 Sync정보를 확인하기 위해서는 필수적인 구성요소이다. 그리고 데이터의 극성이 매 Major

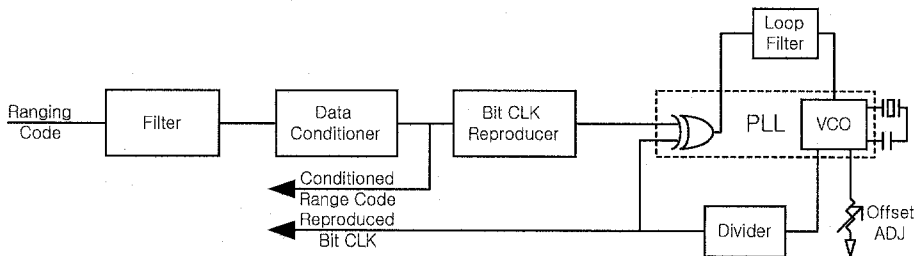


그림 7. Bit Synchronizer

Frame마다 반전됨으로서 송신하는 신호의 변조 Sensitivity와 수신하는 신호의 복조 Sensitivity에 무관하게 항상 Sync를 찾을 수 있는 장점이 있다. 만약에 단일 극성의 데이터를 사용하는 경우라면, 초기 Power ON시 Sync를 찾지 못하면 영원히 찾을 수 없게되는 문제점이 있다.

입력되는 데이터가 매 Bit마다 정해진 Sync Code와 자동적으로 비교되어 두 신호가 일치하면 Stop Pulse를 발생시켜 Time Interval Counter의 계수를 종료하고 이때의 데이터를 저장시킬 수 있도록 하고, 연속되는 데이터의 극성을 반전시키기 위한 신호를 Major Frame Inverter에 제공하기 위하여 Serial to Parallel Converter 및 Sync Detector가 사용된다. 이때 전체적으로 시간 동기를 맞추어주기 위해 재구성된 Bit CLK을 공통적으로 사용한다.

2.4.3 Time Interval Counter

Time Interval Counter회로는 10개의 Range Data를 평균하여 LED로 Display해 주도록 하는 역할을 한다. 이 회로는 동기 신호 발생기에서 제공되는 Start Pulse와 Sync Detector회로에서 제공되는 Stop Pulse사이에서 발생하는 Pulse의 수를 세어서 지상에서 로켓까지의 거리를 BCD Code로 변환시켜 출력한다. 거리를 표시할 때 매번 출력되는 데이터는 잡음에 의해 이웃한 데이터간에 상당히 큰 오차를 발생시킬 수 있으므로 여기에서는 10개씩 묶어서 평균한 값을 사용한다. 이렇게 하면 전체적인 궤도 정밀도는 떨어지나 이웃한 데이터간의 오차는 줄일 수 있다.

4. 결 론

비행하는 로켓에서 취득되는 각종 데이터를 지상으로 전송해주기 위해서는 Telemetry System이 필수적이다. 그리고 비행하는 로켓의 위치 및 비행방향은 로켓의 비행 안정성을 판단하기 위해 반드시 필요한 데이터이다. 그러므로 이러한 기능을 수행하기 위해 로켓은 Telemetry System 및 트랜스폰더를 탑재하고 비행하게 된다.[1]

로켓에 기본적으로 탑재해야하는 시스템에 부가적으로 수신기 및 신호 혼합기를 탑재하고 지상에서는 부가적인 서브시스템을 추가함으로써 Radar의 Backup으로 사용될 수 있는 Ranging System이 구성될 수 있다. 이와 같은 시스템을 사용함으로써 Radar에만 의존하여 비행하다가 탑재된 트랜스폰더의 오동작으로 인한 궤도 추적이 불가능해지는 문제에 대하여 상당히 우수한 Backup 시스템으로 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 채연석 외, 3단형 과학로켓 개발사업 연구보고서(I), 한국항공우주연구소, 1998.
2. 문신행 외, 중형과학로켓 설계 및 개발 연구보고서(IV), 한국항공우주연구소, 1997.
3. 류장수 외, 중형과학로켓 설계 및 개발연구(I), 한국항공우주연구소, 1994.
4. IRIG Standard 106-93, "Telemetry Standard", Secretariat RCC, New Mexico, 1993.
5. Paul Horowitz and Winfield Hill, The Art of Electronics, 2nd edition, KALA corp.
6. "Telemetry Application Handbook, Document 119-88", Secretariat RCC, New Mexico, 1988.