

궤도 위성전파 감시용 S/W 실험운용 개선 연구

고영철, 이정일, 박종욱

1. 서 론
 2. 실험 시스템의 구성
 3. Feed부 구성 및 자동추적 기능 검토
 4. 대상위성 및 수신 시스템 성능 특성 분석
 5. 위성 감시용 프로그램 구성 및 운용 실험
 6. 결 론
- * 참 고 문 헌

1. 서 론

전파 연구소에서는 87년 6월에 직경 5미터의 위성 전파 추적용 안테나 및 수신부를, 88년 10월에는 NOAA 위성으로부터 HRPT(High Resoulution Picture Transmission) 데이터를 직접 수신하여 영상을 처리할 수 있는 시스템을 설치 운용해 오고 있다.

따라서 본 연구는 그동안 습득한 궤도위성 추적 기술및 시스템 운용 경험과 88년 한국 과학 기술원(나 정웅외)과 공동으로 수행한 위성 전파감시를 위한 S/W의 개발및 시스템 기술에 관한 연구 결과를 배경으로 하여 현용 위성 전파 추적 시스템에 적용할 수 있는 프로그램으로 변환하여 실장, 운용함으로써 미지의 위성에 대한 추적 감시 능력을 실험하여 본 시스템의 전파 감시분야에 대한 활용성을 제고 시키고자 노력하였다.

그러므로 본 연구에서는 이미 그 특성을 잘 알고 있는 위성인 NOAA 10호및 11호를 미지의 위성으로 가정하여 안테나 시스템을 Band1(1.5~1.7GHz)에 고정시켜 놓고, 주어진 지그재그 스캐닝 범위내에서 스캐닝을 계속하다가 최초로 위성 전파가 포착되면 자동 추적 기능으로 전환하여 지속적인 추적상태를 유지하면서 위성의 궤도 정보의 수집과 수신 신호 레벨의 측정 등 일련의 감시기능을 무난히 실현 시키고자 하는 것이다.

2. 실험 시스템의 구성

본 연구에 이용한 시스템은 그림 1과 같이 구성된 기존의 위성전파 추적 수신 시스템만을 충분히 활용하였다.

전술한 바와 같이 현 시스템은 87년 6월 이후 본격적인 수신을 시작한 이래 지속적으로 운용해 오면서 그간 성능 저하된 RF 케이블과 LNA를 비롯한 다운 컨버터용 믹서및 8GHz 오실레이터등을 교체하였고, 반사판 역시 풍압과 외부 충격등으로 인한 곡면 왜곡을 발견하여 이를 바로잡아 반사판의 곡면오차를 4.3밀리미터(r.m.s.)이내로 교정하여 반사판 곡면오차에 의한 안테나 효율도 약 92% 수준까지 향상 시켰다.

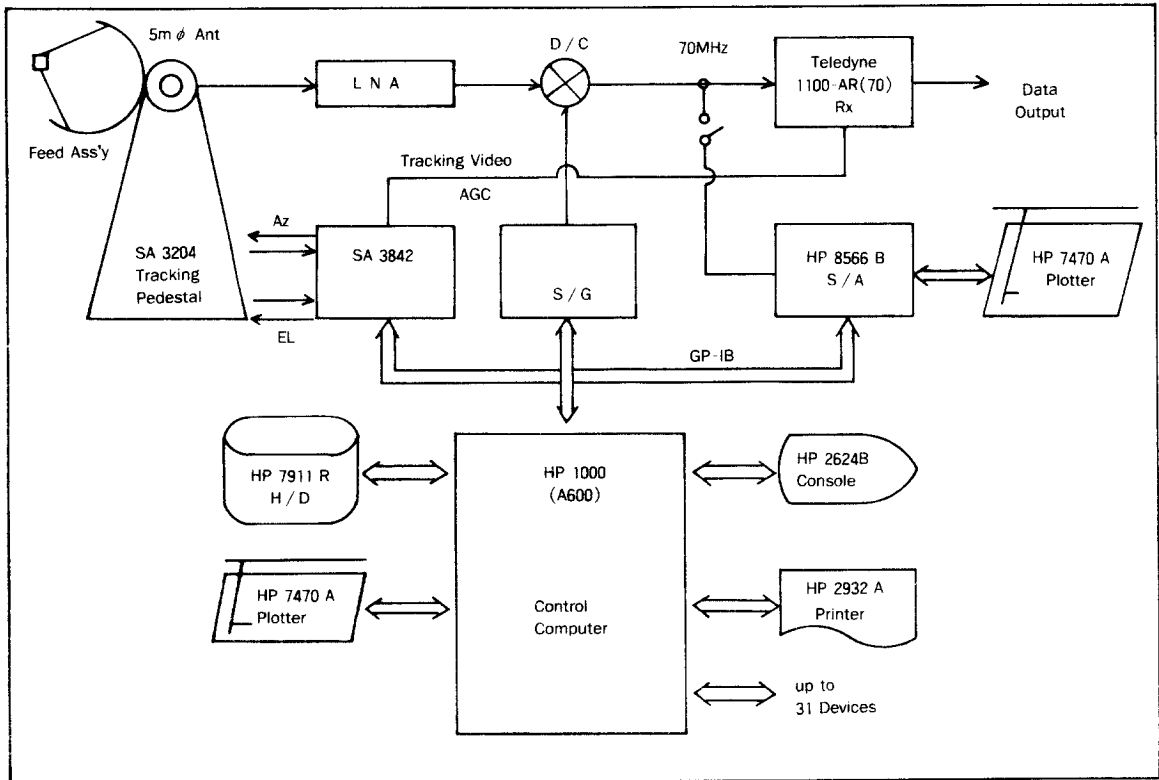


그림 1. 감시 시스템의 구성 및 제어용 컴퓨터

3. Feed 부 구성 및 자동 추적 기능 검토

수신 시스템 중 위성 전파 감시에 가장 유용한 기능은 안테나 시스템의 자동 추적 기능이라 할 수 있다. 다음은 시험 시스템의 자동 추적을 위한 Feed 부의 구성과 Monopulse System에 의한 자동 추적 원리에 대하여 살펴 보기로 한다.

Feed 부의 구성은 그림 2와 같이 5개의 안테나 소자(Cavity-Backed Dipole)로 구성되어 있으며, 기준 신호 수신용인 F 소자를 중심으로 상하 좌우에 A, B, C, D 소자들을 서로 직교 대칭이 되도록 배치하여 공통 접지면에 부착하고 이 소자들의 바로 뒷면에 RF 콤포넌트들을 배치하였다.

안테나 소자 다음단에 있는 5개의 90° 하이브리드는 각각의 직선 편파(V, H)를 원편파(RHC, LHC)로 변환시키며, 하이브리드 다음단의 RF 스위치는 이러한 편파를 선택할 수 있도록 조작된다.

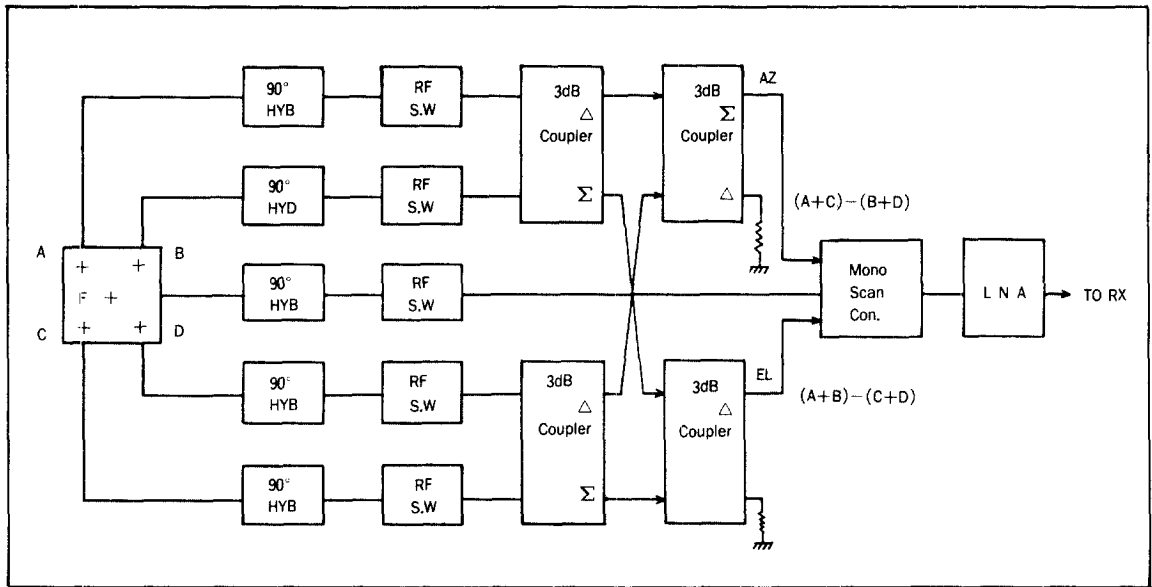


그림2. 자동 추적용 Feed부의 구성

그 다음단에 있는 4개의 3dB 결합기(180°하이브리드)는 각각의 소자들에 인가된 신호들을 조합해서 방위각과 고도각에 대한 위치 오차 신호를 검출하여 모노스캔 콘버터에 인가하면 모노스캔 콘버터내에서 기준 신호에 대하여 교번적으로 진폭 변조된후 저잡음 증폭기(LNA)를 통해서 증폭하여 수신기에 입력 시킨다. 이와 같이 본 시스템이 보유한 자동 추적 기능은 동일 채널에 수신 신호와 추적 오차 신호를 싣는 Single-Channel Monopulse System으로서 그림 3에 그 원리를 간단히 나타내고 있다.

그림 3에서 모노스캔 콘버터에 입력되는 3가지 신호의 상대 레벨을 $\Sigma=4$, $AZ=2$, $EL=1$ 이라고 가정할때, 출력신호(e)는 K1, K2의 신호 상태(High, Low)에 따라 T1-T4 주기 동안 표 1과 같이 변화한다. 이렇게 변화(진폭변조)된 출력 신호(e)는 수신기에서 충분히 증폭되어 안테나 콘트롤 유니트내의 2개의 (AZ, EL) 복조기에 입력되고, 각축에 대한 추적 오차 신호로 바뀌어 서보 회로에 인가됨으로서 항상 위성이 움직이는 방향으로 안테나를 정확히 구동시켜 자동추적을 실현하게 된다.

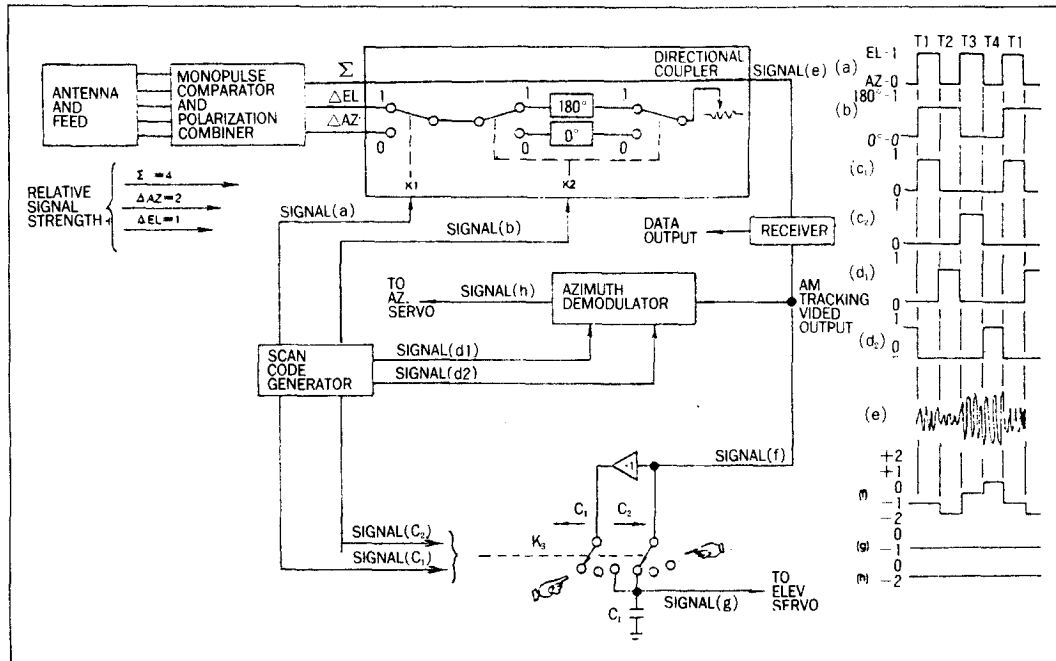


그림3. 추적 오차 전압 발생 및 검출 원리

Timing	K1	K2	Σ	Δ	Signal(e)
T1	1	1	4	-1	3
T2	ϕ	1	4	-2	2
T3	1	ϕ	4	+1	5
T4	ϕ	ϕ	4	+2	6

표1. 모노스켄 콘버터 출력 상태

그림 4는 안테나 콘트롤 유니트의 자동 추적기능을 간단히 나타내고 있다. 그림에서 Scan Code Generator는 Monoscan Converter(Tracking Modulator)에 대한 K1, K2 구동 신호를 공급하며 이와 동기된 신호를 각축(AZ, EL)에 대한 Selector 및 Demodulator에 인가하게 된다.

Scan Coding 방법에는 Fixed 및 Sweep Frequency 기능이 있는데 내장된 Sweep Oscillator를 이용할 수도 있어 전자파 방해등으로 부터 보호할 수 있다.

검출된 AZ 및 EL dc Error 신호는 Servo Control 회로에 입력되어 안테나를 구동시키게 되며 전면판의 Tracking Error Indicator에 인가되어 운용자로 하여금 오차의 양 및 방향을 쉽게 관찰할 수 있도록 한다.

또한 수신기로 부터 인가되는 AGC 전압은 수신신호 레벨의 표시와 Loss, Acquire 상태를 비교 결정하게 되며, Acquire 상태에서만 자동추적 기능을 유지하다가 Loss 상태에서는 Bac-

kground 모드로 전환되어 스캐닝을 계속하게 된다. 이러한 Loss 및 Acquire threshold는 사전에 조정된 내부 Potentiometer에 의해서 자동으로 설정되거나 전면판의 조정 knob(Knob)으로서 운용자가 상황에 따라 적절히 설정할 수 있다.

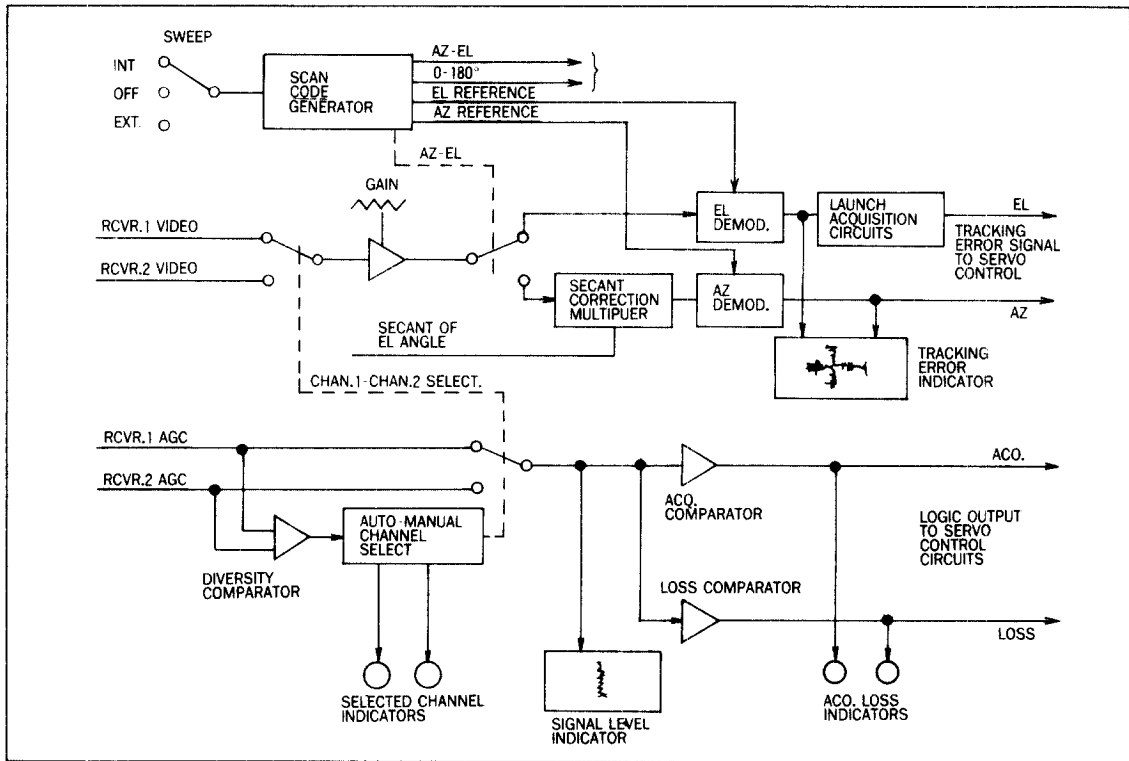


그림4. 안테나 콘트롤 유니트의 자동추적 기능

4. 대상 위성 및 수신 특성 분석

지상 수신소에서 위성을 추적, 감시하고자 할 때 우선 대상 위성의 특성을 조사하고 수신시스템의 전체 잡음및 이득에 대한 정확한 특성 파악이 선행되어야 한다. 따라서 현 시스템에 적절한 위성 감시용 소프트웨어로의 변환작업을 거쳐서 전 시스템에 대한 감시기능을 시험하기 위하여 NOAA 위성으로부터의 전송 특성과 수신시스템의 성능을 측정, 분석하였다.

현재 활동중인 NOAA 위성은 10호(1698MHz)와 11호(1707MHz)로서 출력은 공히 5 Watt로 시스템 특성 측정용 주파수는 1700MHz를 사용하였고 주파수 대역폭(BW)은 수신기의 중간 주파수 대역폭인 3.3MHz로 계산하였으며, EIRP등은 궤도조건이 가장 나쁜 고도각 5°로 가정하여 산출하였다.

NOAA 위성의 송신 출력이 5 Watt이므로 EIRP는,

$$\begin{aligned}
 \text{EIRP} &= P_t - L_{ft} + G_t \\
 &= 10 \text{ Log } 5 - 0.1 - 30 \\
 &= 36.8(\text{dBm})
 \end{aligned}$$

이 되며, 여기서 L_{ft} 는 추정된 송신계 손실(dB)이고, G_t 는 송신 안테나의 이득(dBi)이다.
 위성으로 부터 지상수신소까지 도달하는 자유공간에서 생기는 자유공간 경로손실 L 은,

$$\begin{aligned}
 L &= 92.5 + 20 \text{ Log } R + 20 \text{ Log } f \\
 &= 95.5 = 20 \text{ Log } 2837 + 20 \text{ Log } 1.7 \\
 &= 166.1(\text{dB})
 \end{aligned}$$

가 되며, 여기서 R 은 고도각이 5° 일 경우의 거리(Km)이고, f 는 주파수(GHz)이다. 이러한
 경로 손실이외에 페이딩이나 눈, 비 등의 강우 산란으로 인한 손실이 0.4dB 정도 더 생긴다면
 전체 손실은 166.5dB로 볼 수 있다. 그러므로, 지상 수신소에 미치는 전력 P_e 는,

$$\begin{aligned}
 P_e &= \text{EIRP} - L - 0.4 \\
 &= 36.8 - 166.1 - 0.4 = -129.7(\text{dBm})
 \end{aligned}$$

이 된다. 한편 전송구간에서 발생하는 추정치등을 고려한 수신 시스템의 G/T 및 Noise
 Temperature 등의 일반적 성능 특성 및 시스템 링크 마진을 표 2와 표 3에 나타냈으며, 여기서
 C/N_0 마진은 4.9dB로서 안테나 제어 과정에서 발생하는 추적 오차등을 감안한다면 현 수신
 시스템 성능상에서 위성 감시용 수신시스템으로서 지속적으로 활용하기에는 다소 부족한
 마진으로 사료된다.

No.	Item	Value	비 고
1	G / T of System	10.9dB	
2	Sky Temp (추정치)	65.0°K	
3	Antenna Noise Temp (추정치)	80.0°K	25.1°dBK (323.6°K)
4	Receive System Temp	243.6°K	
5	안테나 직경	5미터	
6	안테나 효율(추정치)	0.5	
7	Elevation Angle	5 도	
8	Slant Range	2837 km	
9	KTb of System	-138.3dBw (-108.3dBm)	$K=1.38 \times 10^{-23}$ $T=323.6^\circ\text{K}$ $B=3.3\text{MHz}$

표2. 수신 시스템 성능 특성

No.	Item	Value	비 고
1	Freq.	1.7GHz	
2	Eirp	37.3dBm	
	변조 손실	-2.5dB	
3	Path Loss	-166.1dB	
4	Pol & Track Loss	-0.5dB	
5	Antenna Gain	36dB	
6	회선 손실 (흡수선)	-0.3dB	
7	수신 신호레벨	-126.1dBw (-96.1dBm)	
8	System Noise Temp	25.1dBk	
9	Noise Pwr.	-203.5dBw / Hz	
	Spectral density	(-173.5dBm / Hz)	
10	C / No Ratio	77.4dB / Hz	
11	Required C / No	72.5dB / Hz	
12	C / No Margin	4.9dB	
13	C / N	12.2dB	B=3.3MHz

표2. 시스템 링크 마아진

5. 위성 감시용 프로그램 구성 및 운용 실험

위성 감시를 위한 안테나 스캐닝 방법은 Sector-Scanning과 Zig-Zag Scanning의 2가지가 있으나, 본 연구에서는 비교적 현 시스템에 적용하기 쉽고 널리 사용되고 있는 후자의 Zig-Zag Scanning을 택하여 프로그램을 구상 개발하였다.

이 Zig-Zag Scanning 감시 방법은 운용자가 감시를 원하는 방위각과 고도각 범위내에서 추적 안테나를 Zig-Zag로 움직이면서 스캐닝을 하고 있다가 위성으로 부터 발사되는 신호를 인지하게 되면 스캐닝을 멈추고 추적 시스템의 자동추적 모드로 전환하여 위성을 지속적으로 추적하면서 감시하는 방식이다.

위성 전파 감시 기능에는 목적에 따라 여러가지 기능을 부가할 수 있겠으나, 금번 연구에서는 최초 위성전파 포착시 자동추적으로 유지하면서 시간별 위성의 방위각과 고도각을 측정하

여 미지의 위성 궤도 결정이나 다음 위치 예보를 위한 데이터로 활용할 수 있도록 하며 스펙트럼 아날라이저에 의한 스펙트럼 저장 및 수신신호 레벨의 변화 특성등을 측정하도록 하였다.

현재까지 실험 운용한 프로그램은 기능상 1개의 주 프로그램과 주 프로그램의 제어하에 동작하게 되는 3개의 부 프로그램 및 각각 필요한 수개씩의 서브루틴들로 구성 하였으며, 그림 5에 프로그램 구조도를 나타냈다.

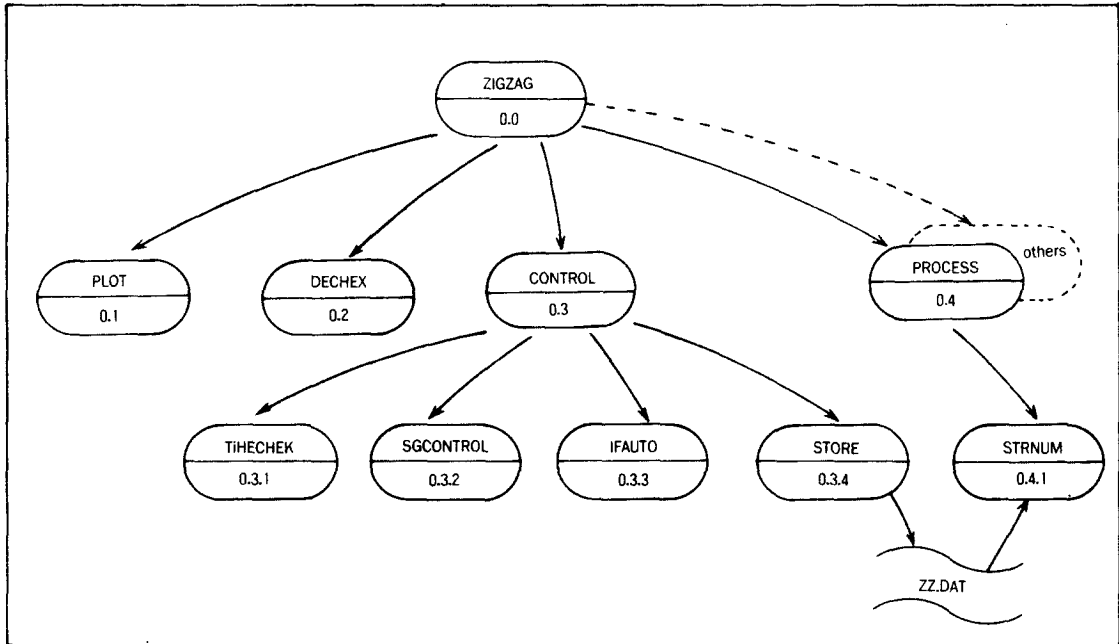


그림5. 감시 프로그램의 구조도

그림에서 ZIGZAG(0.0)는 주 프로그램으로서 운용자로 부터 추적할 범위 즉, 스캐닝할 방위각및 고도각 범위와 기울기및 각도 변화폭(선형속도)을 입력받아 순간순간의 안테나 자세를 계산하면서 부 프로그램들을 제어한다.

부 프로그램 PLOT(0.1)는 운용자가 입력한 파라메타를 기준으로 안테나가 스캐닝할 패턴을 플로터상에 그리게 되는데 이는 운용자가 주 프로그램에서 취사 선택할 수 있도록 하였다.

부 프로그램 DECHEX(0.2)는 주 프로그램에서 계산된 순시치의 방위각과 양각값을 안테나 콘트롤 유니트가 GP-IB 인터페이스상에서 읽어들여 안테나를 제어할 수 있는 코멘드 데이터 포맷으로 바꾸기 위한 프로그램으로서 10진수를 16진수로 치환하는 것과 매우 유사하다.

프로그램의 핵심기능을 총괄하고 있는 부 프로그램 CONTROL(0.3)은 DECHEX(0.2)에서

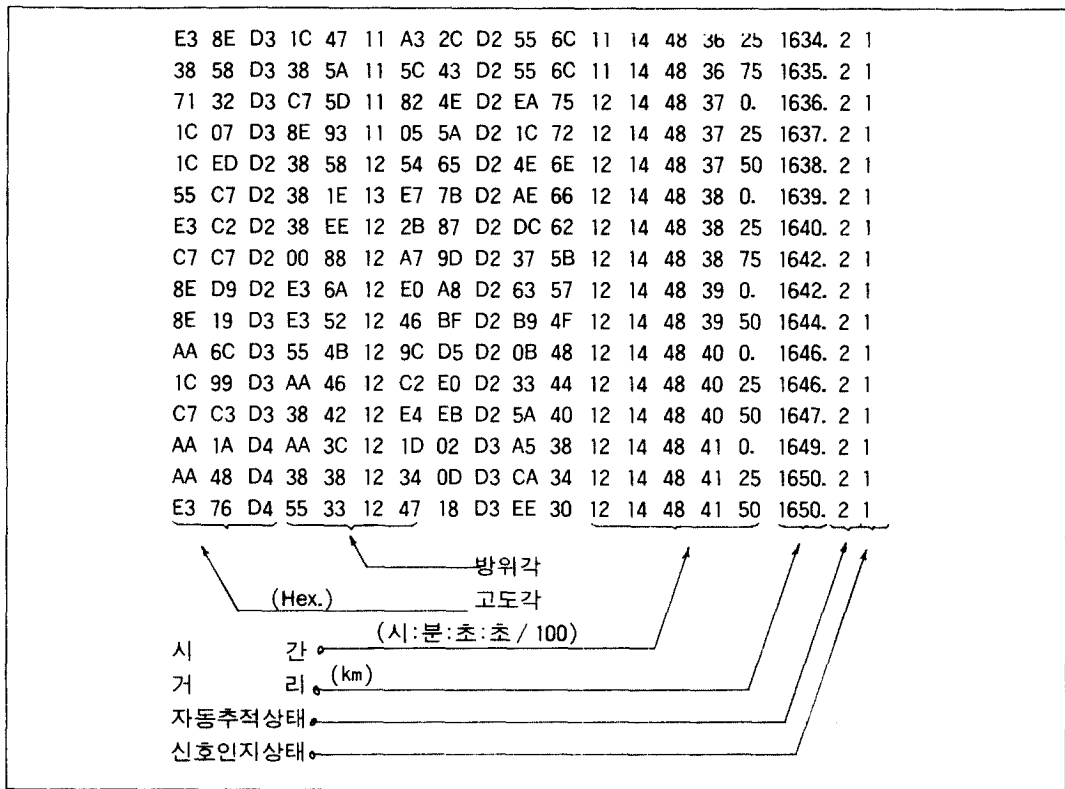


그림 6. ZZ. DAT 화일에 저장된 궤도 정보

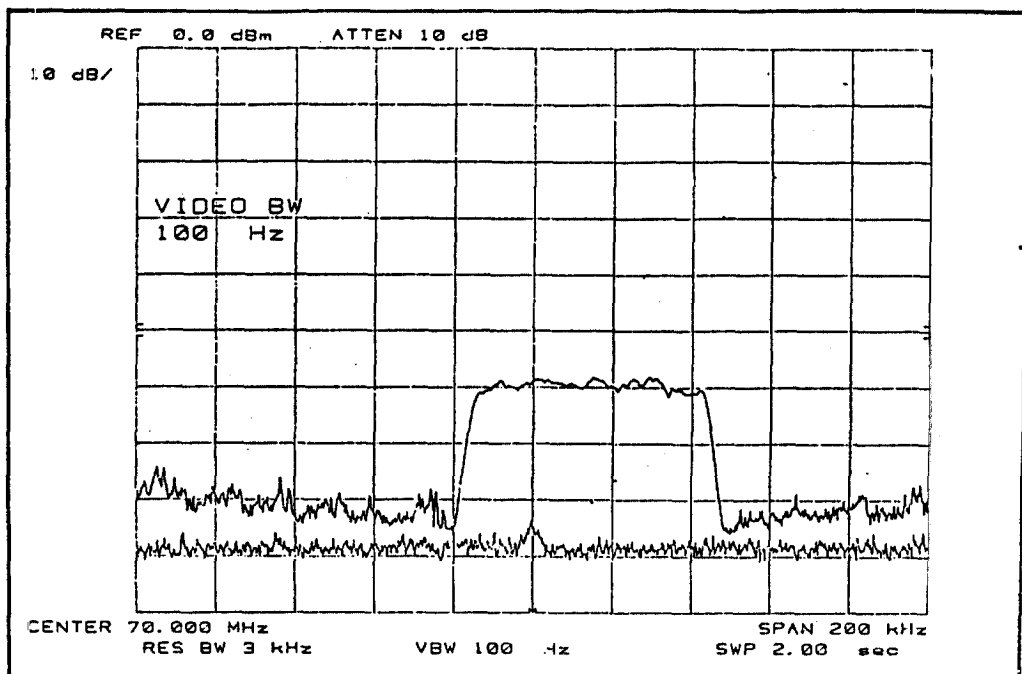


그림7. 감시한 위성의 수신레벨 변화상태

가공된 코멘드 데이터를 안테나 콘트롤 유니트에 전송한 후 서브루틴 SGCONTROL(0.3.2)에서 주파수 스캐닝을 위한 로칼 오실레이터용 시그널 제너레이터의 발진 주파수를 제어하게 되는데 금번 연구에서는 주파수 스캐닝을 생략하고 감시대상 위성에 따라 고정 주파수를 선택하도록 하였으며, 장차 미지위성 추적시는 시그널 제너레이터의 스위프 기능을 이용하거나 Do Loop내에서 주파수 값의 가감으로 주파수 스캐닝이 가능하도록 구성할 수 있다.

서브루틴 IFAUTO(0.3.3)는 안테나 자세와 주파수를 정해진 범위내에서 스캐닝을 계속하다가 위성 신호를 인지하게 되면 스캐닝을 중지하고 안테나를 자동추적 기능으로 전환시켜 자동 추적을 계속하면서 서브루틴 STORE(0.3.4)를 이용하여 컴퓨터의 클럭 타임과 안테나 콘트롤 유니트로 부터 방위각 및 고도각을 읽어 디스크 화일 ZZ.DAT에 정해진 포맷으로 저장한다.

또한 서브 프로그램 PROCESS(0.4)에서는 위성이 수신 안테나로 부터 추적범위를 벗어나게 된 후 적절한 시간에 ZZ.DAT 화일로 부터 시간및 방위각과 고도각 값을 읽어 궤도 정보를 처리할 수 있도록 구상하고 있으며, STRNUM(0.4.1)은 ZZ.DAT에 저장된 시간과 방위각및 고도각에 대한 16진 문자 데이터를 10진 수치 데이터로 변환하여 궤도정보 자료로 이용할 수 있도록 하였다. 여기서 스펙트럼 아날라이저의 스펙트럼 저장 기능이나 레벨저장 기능등의 내부기능을 프로그램으로 제어하므로써 플로터등에 출력 시키도록 할 수 있으나 금번 연구에서는 스펙트럼 아날라이저는 수동으로 운용하였다.

이와 같이 구상된 프로그램을 기존 시스템상에서 운용자가 직접 자력으로 개발 실험함으로써 별도의 부가 설비등을 필요로 하지 않으며 운용자의 최소한의 개입(Intervention)으로서 조작 운용이 용이하도록 하였다.

이 프로그램의 실험 운용 결과 1989년 9월 23일 궤도 번호 5129를 통과하는 NOAA-11호에 대하여 그림 6과 같은 궤도 정보를 수집할 수 있었고 이때 스펙트럼 아날라이저에 기록된 수신신호 변화특성은 그림 7에서와 같이 볼 수 있었다.

6. 결 론

우리나라 상공을 통과하는 미지의 위성들에 대한 전파를 포착하여 그 위성을 식별하고 전파 특성을 파악하며 이에 대한 지속적인 추적과 일련의 감시활동을 수행한다는 것은 매우 중요한 과제이다.

본 연구에서는 기존의 위성 추적및 수신 시스템상에서 가장 기초적인 안테나 시스템의 스케닝과 위성 신호 포착시 자동 추적 상태를 유지하면서 위성의 궤도 정보및 수신신호 레벨 특성 등에 대한 정보를 수집하도록 노력하였다.

자력으로서 현 시스템을 위성 감시 시스템으로 활용할 수 있도록 시도한다는 것은 하드웨어적이나 소프트웨어적인 측면에서 많은 어려움을 수반하고 있으나 천체역학적인 기본개념의 계속적인 연구와 위성의 궤도특성, 전파 전파특성등을 다각적으로 파악 하므로써 위성 추적 안테나로 부터 얻게 되는 위성 추적자료를 이용하여 미지의 위성에 대한 정밀한 궤도 예측과 전파 정보를 수집, 분석할 수 있을 것이며, 향후 좀 더 정확한 시스템의 이해와 추적기술의 향상및 프로그램의 부분적 보완을 시도하여 미지의 위성전파 감시업무에 활용할 수 있는 방향으로 발전시켜야 할 것이다.

참고문헌

- 위성 추적및 시스템 기술개발에 관한 연구(I)
(1986, 과학기술처)
- 위성자동추적 장치에 관한 연구
(1987, 전파연구소 연구보고서 제43호)
- Computer에 의한 Antenna Controller의 동작
(1987, 전파연구소 연구보고서 제43호)
- 위성 추적을 위한 HP-1000 컴퓨터의 운용에 관련된 제반연구
(1987, 전파연구소 연구보서 제43호)
- 구조적 프로그래밍 워크샷
(1987, 정보문화 센터)
- 위성전파감시를 위한 S / W개발및 시스템기술에 관한 연구
(1989, 한국과학기술원)
- Technical Manual Model 3842 Autotrack Controller
(1985, Scientific Atlanta, Inc)
- Reference Manual FORTRAN 77
(1985, Hewlett-Packard Company)