

우주감시 대비 S/W 기능 확대 연구

고영철, 김 혁, 서영수

1. 서 론
 2. 우주감시에 대한 국제규정
 3. 우주감시에 대한 국제동향
 4. 감시 시스템의 구성 및 프로그램
 운용 실험
 5. 결 론
- ※ 참고문헌

1. 서 론

1957년 인류 최초의 위성이 발사된 이래 현재까지 6000여개가 발사되어 위성통신의 이용 기술은 급격히 발전되어 왔으며 통신, 방송, 기상, 자원 탐사 정보, 첩보의 수집 및 군사용등으로 이용 분야 또한 확대되고 있다.

이러한 위성의 수요 증가에 따른 이면에는 위성 상호간의 충돌, 위성의 낙하 및 위성의 잔해 등으로 인한 우주 환경의 오염, 지상 통신과의 간섭으로 인한 혼신등 많은 문제를 수반하게 되었다. 특히 일정 위치에서 계속적인 전파를 발사하는 정지위성과 지구에 근접한 궤도를 지속적으로 선회하며 전파를 발사하는 저궤도 위성의 전파는 자국의 지상통신망 뿐만 아니라 타국의 지상 및 위성통신망에도 간섭을 초래할 수 있어 전파의 이용이나 규제면에서 지상통신망과는 다른 여러가지 국제문제를 일으킬 수 있으므로 전파 감시 차원에서도 기존의 전파 감시와는 많은 차이를 갖게 되었다.

국내에도 일본, 중공, 소련등 주변 국가의 통신, 방송용정지위성의 전파가 침투(Spill Over)되고 있으며 각국의 수 많은 궤도위성이 우리나라 상공을 선회하면서 각종 정보, 첩보 및 기타의 임무를 수행하기 위한 전파를 발사하고 있으나 아직까지는 이에 대한 본격적인 연구나 실질적 운용 경험 없이 위성시대의 문을 열고자 근간 통신방송 위성과 과학실험 위성의 발사계획을 추진 진행하고 있으며, 민간 아마추어가입자들이 아마추어위성(UO-SAT, OSCA, AMS-AT등)을 이용해 개인용 컴퓨터에 접속된 패킷방식에 의한 국제통신을 행하고 있으며 그 수도 날로 증가되고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 '86년도에 실시한 우주 전파 감시에 대한 국제적 규정, 국제적 동향, 감시시스템의 규격 조사와, '89년도의 ZIG-ZAG SCANNING 방식을 택하여 기존 직경 5미터 파라보라 안테나에 감시용 기초 프로그램을 개발 실장 실험한 운용경험에 연계하여, 위성전파의 질에 대한 감시와 더불어 궤도 정보 처리등과 같은 일련의 우주전파 감시용 프로그램을 개발하고 이에 대한 운용실험을 실현함으로써 우주 감시에 대비한 기존 위성연구 시설의 활용 가능성 타진과 문제점 파악 및 해결을 위해 노력하였다.

2. 우주 감시에 대한 국제규정

전파감시에 대한 최초의 국제 규정은 1979년 세계 무선주관청회의(WARC-79)에서 제정된 무선통신규칙(Radio regulation)에 의해 이루어졌는데 제20조에 무선 주파수 스펙트럼의 효율적이고 경제적인 이용과 유해한 혼신의 신속한 제거를 위하여 각 주관청으로 하여금 감시국의 기술기준과 국제주파수 등록위원회 및 각 주관청의 감시보고에 대한 조치등을 명시하였다.

무선통신규칙 제29조에서는 우주 무선통신 업무에 관한 특별규정으로 발사의 정지, 혼신의

억제, 우주국의 위치유지, 공중선의 지향확도등을, 제30조에는 방소위성 업무에 있어서 인접 국으로의 복사에 대한 제한을, 제32조에서는 아마추어 위성업무에 대한 제한사항을 규정하고 있다. 우주감시에 있어서 검토되어야 할 무선통신규칙 부록, 결의 및 권고등에서 관련규정을 발췌하여 표1에 요약하였다.

표1. 우주감시관련 국제규정 요약

RR 20조	국제감시
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 무선주파수 스펙트럼의 효율적이고 경제적인 이용과 유해 혼신의 제거를 위해 주관청은 감시시설을 확충하고 국제 감시조직에 협력한다. 2. 국제감시조직은 주관청이 사무총장국에게 통보한 지정된 감시국으로 구성 3. IFRB 또는 다른 주관청에서 요청하는 일반 및 특별 감시를 수행 7. 감시국 기술기준은 CCIR 권고에 따른 최적 기술기준이어야 하나 이보다 낮은 기술기준의 국도 주관청의 의사에 따라 참가 가능 8. 감시기록은 가급적 빨리 IFRB에 송부
RR 29조	
제1절	발사의 정지
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 우주국은 원격지령에 의해서 발사를 정지시킬 수 있는 장치를 갖출 것
제2절	정지위성통신계의 혼신의 억제
	<ol style="list-style-type: none"> 2. 비정지위성과 정지위성간의 혼신발생시 비정지위성의 발사를 제한
제3절	우주국의 위치유치
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 정지위성사의 고정위성업무 또는 방송위성업무의 우주국 : 공칭위치 정도 $\pm 0.1^\circ$ 2. 정지위성상의 실험국 : 공칭위치 정도 $\pm 0.5^\circ$
제4절	정지위성상의 공중선 지향확도
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 전력반치빔폭(HPBW)의 10% 또는 공칭지향방향 $\pm 0.3^\circ$
제5절	정지위성궤도의 전력속 밀도
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지구탐사위성업무의 우주국(8025~8400MHz)에 의해서 정지 위성궤도에 생기는 전력속밀도는 $-174 \text{ dB(W / m}^2 \text{ : 4KHz BW)}$를 초과할 수 없다.
RR 30조	방송업무 및 방송위성업무

표1. 우주감시관련 국제 규정 요약 (계속)

제2절	방송위성업무
	1. 우주국의 특성 결정시 타국가와 사전합의가 있는 경우를 제외하고는 다른나라 영역으로의 복사를 저감하기 위한 모든 기술적 수단을 이용.
RR 32조	아마추어업무 및 아마추어 위성업무
제2절	아마추어 위성업무
	1. 아마추어 우주국을 허가하는 주관청은 IFRB에 그 뜻을 통지하고 유해 혼신에 대한 보고에 대하여 이를 제거할 수 있는 지구지령국을 설치하도록 한다.
RES 642호	아마추어 위성업무의 지구국 사용개시에 관한 사항
APP 21호	발사에 관한 국제감시의 보고
제2절	우주무선통신업무의 국제에 관한 보고
	1. 주파수 측정보고
	1) 감시국의 식별 (주관청 또는 기관 및 위치)
	2) 측정일자
	3) 측정시각(UTC)
	4) 감시된 국의 호출부호 혹은 식별표시 또는 그 상대방
	5) 발사의 중별(기본적특성 및 보족적 특성)
	6) 할당주파수 또는 기준주파수
	7) 주파수의 허용편차
	8) 측정된 주파수
	9) 측정의 정도
	10) 할당주파수 또는 기준주파수에서의 차
	11) 보충정보 (측정소요시간, 주파수의 부동, 수신신호의 질 및 수신인 상태)
	2. 전계강도 또는 전력속 밀도의 측정보고
	1) 감시국의 식별 (주관청 또는 기관 및 위치)
	2) 측정일자
	3) 측정시각(UTC)
	4) 감시된 국의 호출부호 혹은 식별표시 또는 그 상대방
	5) 발사의 중별
	6) 할당주파수
	7) 측정된 전계강도 또는 전력속 밀도의 값
	8) 측정의 추정정도(精度)
	9) 측정된 편파성분별 값
	10) 측정의 기타 요소 또는 특성
	11) 비교

표1. 우주감시관련 국제 규정 요약 (계속)

3. 스펙트럼 점유도의 관측보고

3.1 우주국의 발사에 대한 관측보고

- 1) 감시국의 식별(주관청 또는 단체 및 위치)
- 2) 측정일자
- 3) 측정시각(UTC)
- 4) 감시된 국의 호출부호 혹은 식별표시 또는 그 상대방
- 5) 측정된 전계강도 혹은 전력속 밀도의 값 또는 QSA에 의한 신호의 세기
- 6) 점유주파수대폭(측정치 혹은 추정치임을 표시)
- 7) 관측된 편파
- 8) 궤도에 관한 정보
- 9) 수신예정장소 또는 구역에 관한 정보(판명된 경우)
- 10) 비교

3.2 지구국 발사에 관한 관측보고

- 1) 감시국의 식별(주관청 또는 단체 및 위치)
- 2) 측정일자
- 3) 측정시각(UTC)
- 4) 감시된 국의 호출부호 혹은 식별부호 또는 그 상대방
- 5) 발사의 종별
- 6) 국의 종류 및 업무의 종류
- 7) 측정된 주파수
- 8) 발사가 관측되거나 기록된 시간
- 9) 측정된 전계강도 혹은 전력속밀도의 값 또는 QSA에 의한 신호의 세기
- 10) 점유주파수대폭(측정치 혹은 추정치임을 표시)
- 11) 수신이 예정되어 있는 궤도위치
- 12) 비교

※ 이 자료의 제출은 무선통신규칙 또는 국제주파수표의 서문에 제기하는 기호를 가급적 사용한다.

3. 우주 감시에 대한 국제동향

3-1. 미국의 우주감시 동향 및 위성통신 기술기준

미국에서는 1979년 메릴랜드주에서 실험적인 우주전파 감시업무를 시작하여 직경 5미터 카세그레인 안테나를 정지위성과 저·중고도 궤도위성의 감시에 공용하여 1-2GHz, 2-4MHz, 4-8GHz, 8-12GHz의 4개 밴드별로 급전부를 교체하면서 수신하도록 구성하였다.

수신 대역폭은 27MHz였다가 36MHz로 확대하였고, 측정장치로는 스펙트럼 아날라이저, 주파수 카운터, TV영상 모니터장치등을 사용하였다.

우주국의 궤도측정은 별로 중요시 하지않고 있는데, 이는 대규모의 군사용 우주 추적감시 시스템을 갖고 있는 어떤 종류의 우주 비행체에 대한 궤도정보라도 수집이 가능하기 때문이며, 이외에도 미국 서부 및 하와이에 대형 고정감시국이 있는 것으로 알려져 있다.

미국 FCC(Federal Communication Commision) Part25 내용중 Subpart C에는 위성통신에 관한 기술기준이 마련되어 주파수, 주파수허용 편차 및 발사의 제한, 주파수대별로 할당되어 있는 각종 업무, 지구국과 우주국의 주파수 허용편차, 발사의 규격전력등이 표시되어 있고, 통신위성의 주파수대별 전력제한, 안테나의 주파수대별로 송신할 수 있는 최소양각, 지표면에서의 전력속 밀도 통신위성 업무를 위해 지구국에서 송신에 사용하는 안테나의 기능 기준에 관한 제반 규정등이 마련되어 있다.

또한, 자국에 혼신 가능성이 있는 해당 대역폭에 있어서의 최대허용 혼신전력과 강우강설 산란에 따른 전파방법에 대한 조정거리계산(Computation of Coordination Distance Contours for Propagation Modes Associated with Precipitation Scatter)등이 규정되어 있는데 우주전파감시 및 유해 혼신의 억제를 위하여 우주감시국에서 검토되어야 할 기술기준을 발췌해서 간단히 요약해 보았다.

제 25, 202 주파수, 주파수 허용편차 및 발사제한

A. 주파수대

3700-4200MHz : 지상업무에 분배되어 통신위성 업무에 사용

5925-6425MHz : 동일한 주파수대에서 운용하는 통신위성 우주국에 관련된 추적 및 원격측정신호의 전송에 사용

원격제어주파수 : 148.25MHz, 154.2MHz, 450.0MHz, 1427-1429MHz

원격측정주파수 : 136-137MHz, 137-138MHz, 400.05-401MHz, 401-402 MHz

1525-1540MHz

추 적 주 파 수 : 다음 주파수대는 통신위성 우주국의 추적을 위한 우주선으로 부터의 송신에 사용

136-137MHz, 137-138MHz, 400.05-401MHz, 1525-1540MHz

B. 주파수 허용편차

지구국의 주파수 허용편차 : 이러한 업무에 인가된 각 지구국 송신기의 반송파는 그 주파수에서 0.001% 이내로 유지되어야 한다.

우주국의 주파수 허용편차 : 이러한 업무에 인가된 각 우주국 송신기의 반송파는 그 주파수에서 0.002% 이내로 유지되어야 한다.

C. 발사제한

발사의 규격전력은 다음 안에 따라서 송신기의 규격출력전력 이하로 감쇄되어야 한다.

－ 임의의 4KHz 대역에서 할당주파수로부터 50%까지 벗어나고 인가대역폭의 100%를 포함하는 중심주파수 : 25dB

－ 임의의 4KHz 대역에서 할당주파수로부터 100%까지 벗어나고 인가대역폭의 250%를 포함하는 중심주파수 : 35dB

－ 임의의 4KHz 대역에서 할당주파수로부터 인가된 대역폭의 250%이상 벗어난 중심 주파수 : 송신기전력 와트의 대수(기본 10)를 10회 더하여 43dB가 될때까지

제25.204 전력제한

(A). 5925-6425MHz내에서 통신위성지구국에 의해 수평면에서 임의의 방향으로 송신되는 평균실효 복사전력은 임의의 4KHz 주파수대폭에 있어서 +45dBw를 초과해서는 안된다.

(B). 7900-8400MHz내에서 능동과 수동 통신위성 시스템의 기능을 충족시키기 위하여 통신 위성 지구국에 의해 수평면에서 임의의 방향으로 송신되는 평균실효 복사전력은 임의의 4KHz 주파수대폭에 있어서 +55dBw를 초과해서는 안되며 C항에서 규정하는 경우에 있어서 최고 +65dBw를 적용할 수 없다.

(C). 임의의 방향에서 400km를 넘는 다른 주관청의 영역에까지 7900-8400MHz내에서 운용하는 통신위성 지구국으로부터의 거리는 B항에서 임의의 4KHz주파수 대역폭 +55dBw의 전력제한은 최고 +65dBw까지 400km를 초과하는 각 100km에 대하여 2dB씩 그 방향으로 증가될 수 있다.

제25.205 안테나의 최소앙각

(A). 5925-6425MHz내의 지구국 안테나는 Main-lobe의 중심축이 수평면으로부터 5도 이내의 앙각으로 송신해서는 안된다.

(B). 7900-8400MHz내의 지구국 안테나는 Main-lobe1의 중심축이 수평면으로부터 3도 이내의 앙각으로송신해서는 안된다.

제25.208 전력속 밀도 제한

(A). 3700-4200MHz내의 지표면에서의 총 전력속 밀도는 Wide-deviation FM변조(또는

PM변조)를 사용하는 위성통신 우주국의 방사에 의한 것이고 모든 각에 대하여 -130dBw/m^2 를 초과해서는 안된다. 그밖에 이러한 신호들이 적당한 파형에 의해 변조된 것이 연속적으로 필요하다면 모든 각에 대하여 임의의 4KHz 주파수 대역폭에서 -149dBw/m^2 를 초과해서는 안된다.

(B). 7250-7750MHz내의 지표면에서의 총 전력속 밀도는 Wide-deviation FM변조(또는 PM변조)가 아닌 다른 변조를 사용하는 위성통신 우주국의 방사에 의한 것이고 모든 각에 대하여 임의의 4KHz 주파수 대역폭에서 -152dBw/m^2 를 초과해서는 안된다.

(C). 수동 통신위성 시스템은 주파수 7250-7750MHz대에서 사용할 수 있다.

전력속 밀도는 수동 통신위성에서의 방사에 의하여 지표면에 생성된 것이고 능동 시스템에 있어서는 (A), (B)항에서 밝힌 제한치를 초과해서는 안된다.

제25.209 안테나 기능기준

통신위성 업무를 위한 지구국에서 송신에 사용하는 임의의 안테나 기준은 아래와 같다. Main-beam을 벗어나는 안테나 이득의 Envelope는 아래 식에 의해 규정한다.

$$\begin{array}{ll} 32-25\log_{10}\theta & \text{dBi } 1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ \\ -10 & \text{dBi } 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{array}$$

여기서 θ 는 Main-lobe 축으로부터의 각도이고 dBi는 등방성 방사기에 비례하는 dB를 가리킨다. 안테나 기능기준의 목적을 위하여 각 Side-lobe Peakgain은 양옆의 가장 가까운 Side-lobe의 Peak 혹은 양옆의 가장 가까운 2개의 Side-lobe의 Peak를 가진 Peak level를 평균치로 낮출 수 있으며 6dB이상으로 주어진 이득 Envelope를 초과하지 않는 각 Side-lobe의 Level로 규정한다.

제25.252 최대허용 혼신전력

(A). 국에 혼신 가능성이 있는 해당 대역폭에 있어서 최대허용 혼신전력은 각 혼신원으로 부터 단위시간 'P'의 백분율의 일반 공식으로 나타낼 수 있다.

$$P_{\max}(P)=10\log_{10}(KTB)+J+M(P)-W$$

여기서 $M(P)=M(P_0/n)=M_0(p)$

K : 볼츠만 상수 $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}^\circ$

T : 수신 시스템의 열잡음 온도 (절대온도 : $^\circ \text{K}$)

B : 해당 대역폭 (혼신전력의 평균치로 할 수 있는 대역폭 : Hz)

J : 최대혼신이 허용되는 당해시간과 수신시스템에서의 당해시간 열잡음 전력의 비 (dB)

여기서 당해시간이라 함은 전체시간의 20%

n : 일반적으로 혼신을 받는 예상 회수

p: 한개의 혼신원으로부터 혼신을 받는 시간의 백분율의 최대치

Po: 동시에 일어나지 아니하는 혼신기간중 모든 혼신원으로부터 혼신을 받는 시간의 백분율의 최대치 ($P_o=np$)

M(P): 혼신을 받는 시간을 고려하는 시간의 20%와 한번 혼신을 받는 시간의 P%동안 허용되는 최대혼신전력간의 비율(dB)

Mo(Po): 최대허용혼신전력의 Po%와 혼신을 받는 전체시간의 20%간의 비(dB)

W: 당해 대역폭에 있어서 동등한 전력의 잡음지수로 혼신을 일으키는 등가지수(dB) (B). 혼신 분석 수행 목적상 최대 혼신전력 $P_{max}(20\%)$ 혼신을 받는 국의 해당 대역폭의 dBw는 각 혼신원으로부터 20%의 시간을 초과하지 않으며 일반적 공식은

$P_{max}(20\%)=10\log_{10}(KTB)+J-W-10\log(n20)$ 이고

여기서 n20: 동등한 전력 레벨로 동시에 혼신을 주는 것으로 가정된 횟수이며 기타 파라메타는 (A)항에서 정하는 바와 같다.

제25.254 강우 강설산란시 전파에 대한 등심조정거리 계산

지구국 안테나의 방위각과 양각이 주어진 위치에서 강우산란 조정거리 (Rain Scatter Coordination Distance Contour)은 지구국으로부터 거리 dr에 중심을 두고 지구국안테나 주비임의 방위각 방향으로 정해진 방법으로 계산되며 이 거리 dr은 강우산란거리 dcr및 지구국안테나 양각 ϵ 의 함수로 주어진다. 정지궤도상의 임의의 지점에 위치한 통신위성과 통신할 수 있도록 설계된 지구국의 경우 지구국 안테나가 위치할 수 있는 각 방위각 방향에 대해 강우산란 조정거리의 발생을 유발하게 된다. 유효 강우 산란 조정거리는 이러한 개개의 등심선에 의하여 결정된다.

최소 양각에서 최대 차단거리 dr및 강우산란거리 dcr의 합과 동일한 반경을 가지고, 지구국에 그 중심을 둔 원을 유효 강우산란 조정거리로 채택하게 되면 다중 중심선을 고려할 필요가 없어 편리하다. 이 방법으로 얻어진 결과들은 하상 필요로 하는 거리보다 큰 등심원을 가지게 되나 최소 양각이 20도 이상인 지구국의 경우 등심원내의 면적 증가는 매우 적다.

강우산란조정거리 dcr의 결정은 1차적으로 다음 공식으로 부터 표준강우산란조정손실 $L_r(0.01)$ 이 계산된다.

$$L_r(0.01)=P_t+D_G-P_{max}(P)-FR(P,f)-L_W$$

여기서

P_t : 혼신을 받는 지구국의 안테나 입력단에서 이용 가능한 전력(dBw)

D_G : 45dBi 값 및 고려된 주파수대에서의 지상국 안테나의 최대이득간의 차 (dB)

$P_{max}(P)$: 25.252로부터 시간 P의 단위시간율을 초과하지 않으며 타국에 혼신을 주는 최대 허용가능한 혼신전력(dBw)

FR(P,f) : 강우산란에 의한 전파매카니즘에 대한 시간의 0.01%에서 P시간의
유효단위 시간율에 관한 보정지수(dB)

f : 주파수(GHz)

LW : 수신 시스템의 전송선 손실(dB)

3-2. 일본의 카시마 우주 연구센터

오랫동안 직경 26미터 안테나를 이용하여 동아시아 지역의 중요한 집중국 역할을 해오던 중, 1989년 미국 TWI사가 설계건설한 AZ-EL 구동 방식의 경면 수정형 직경 34미터 안테나를 본격 사용하고 있다.

안테나의 기초 설계는 NASA의 심우주 탐사에 이용되고 있는 3기의 안테나(California, Australia, Spain)와 유사하며 주반사경의 경면 정도는 측정결과 0.17밀리미터 정도로 전파 연구소 안테나의 4.3 밀리미터에 비하면 매우 우수한 안테나로 평가된다.

이 안테나의 최대 특징은 300MHz대의 저주파수대부터 49GHz대의 밀리파대까지 11개 밴드를 수신할 수 있다는 점과 이를 위해 5개 그룹으로 구분된 수신용 급전부 절환을 타 시스템에서 볼수 없는 5개의 Actuator에 의한 획기적인 5축 자세 제어방식을 채용하여 0.01밀리미터 단위까지 위치를 제어함으로써 전파원의 정확한 궤도요소를 결정할 수 있으며, 각부에 모니터 카메라를 설치하여 안테나 지향각도나 중요부분의 동작 상태를 항상 감시 및 제어할 수 있다.

이 시스템에서는 기온, 기압 및 중요부분의 온도등을 자동으로 측정할 수 있는 자동 기상측정기 시스템을 설치하고 있다. 기압 센서는 급전점 부근의 기압을 되도록 충실히 측정하기 위하여 EL축 부근의 안테나 지지대상에 장치하여 이들 기상 데이터는 GP-IB 라인을 통해서 일정 시간 간격으로 컴퓨터에 의해 자동으로 수집된다.

RF신호 수신부의 저잡음화를 위해서 15GHz까지는 9개의 FET(Field Effect Transistor)앰프를, 22GHz대 이상은 3개의 HEMT (High Electron Mobility Transistor)앰프를 채용하였으며 이들 저잡음 앰프는 20°K까지 냉각시키기 위하여 헬륨 가스로 채워진 2중의 냉각고 안에서 2차 Stage에 격납되어 있다.

이 34미터 안테나는 기본적으로 모든 기능을 컴퓨터에 의해서 원격제어 할 수 있으며 PDM(Power Detection Module)에서의 측정 데이터와 기상 측정기의 데이터가 컴퓨터에 의해 자동적으로 수집되는 형태를 그림1에 표시하였다.

PDM은 수신한 신호를 직류검파하여 그 전압을 측정하도록 한것으로서 적분시간이나 앰프의 이득을 자유로이 설정할 수 있다. 측정전압에 OFF-SET을 가감함에 따라서 시스템 배경잡음의 레벨을 삭제하여 측정할 수 있기 때문에 수신전력의 미소한 변화까지도 검출할 수 있게 된다.

안테나의 제어는 안테나 페데스탈의 제어와 주반사경 5축 제어 기구의 제어, 수신장치

의 제어등 3가지로 분리하여 각각 ACU(Antenna Control Unit), SCU(Subreflector Control Unit), RIC(Rx-Band Interchange Computer)의 3개의 유닛이 각각 분담하여 Remote Mode에서는 컴퓨터 코멘드에 의해서 조작되고 Local Mode에서는 운용자가 직접 조작할 수 있다.

RIC의 입력부분에는 Touch Sensor방식의 스크린이 채용되어 해당하는 부분을 눌러 간단히 수신기의 절환이 가능하다.

또, PDM에서의 전력측정 데이터, 저잡음 앰프의 2차 Stage 온도와 수신기의 교정에 사용되는 Dummy Load의 온도(1차 Stage내에 장치)및 기상 측정 데이터등이 GP-IB 라인을 통해서 일정시간 간격으로 수록되어 항상 최근의 데이터를 운용자의 요구에 따라 즉각 이용 할수 있도록 되어 있다. 이와같이 Interface Computer는 원격제어를 집중 관리할 뿐만 아니라 관측시의 데이터 취득도 집중적으로 하기 때문에 관측시 모든 작업은 1대의 인터페이스 컴퓨터만을 통해서 행할 수 있고 일반 운용자는 각각의 동작을 제어유닛에 의해서 제어하게된다.

운용자가 인터페이스 컴퓨터를 조작하는 방법은 직접 키보드에서 입력하거나 GP-IB 나 RS-232C 통신라인을 통해서 별개의 프로그램으로서 안테나를 운용할 수 있다. 연속 관측을 할 경우 HP-100-A400상의 프로그램(NKAOS:New Kasima Automatic Operation Software)의 인터페이스로 자동운용이 가능하게 되고, 또한 관측데이터의 처리를 위한 범용컴퓨터로서 Micro-VAX3600이 RS-232C상에 연결되어 안테나의 운용과 데이터 수집을 수행한다.

이러한 컴퓨터의 접속은 한정된 것이 아니며 컴퓨터간의 통신규칙 (Protocol)에 따라 어떠한 컴퓨터를 사용해도 무관하다.

그러나 현재 사용하고 있는 컴퓨터의 한계능력과 통신속도의 제한으로 인하여 분산처리를 하지않고 1대의 컴퓨터에서 모든 조작을 해야하는 문제가 발생하고 있다. 위성을 추적할 때에는 컴퓨터와 ACU간에 최신의 위치정보를 즉시 교환하지 않으면 다른 장치와의 통신이 진행되는 동안 ACU의 위치정보는 갱신되어 전파원의 정밀한 실시간 궤도정보를 얻기가 어렵다.

이때문에 현재는 안테나만을 별도의 컴퓨터로서 제어 하여 전파원을 추적하도록 하고 있다. 이 문제는 전파연구소 시스템에서도 발견되어 추적용 컴퓨터와 신호 및 기타 정보처리를 위한 컴퓨터를 별도로 구분해야 할것이며 장래성이 있는 시스템 구성을 위하여 해결 방법을 강구해야 할 필요가 있다.

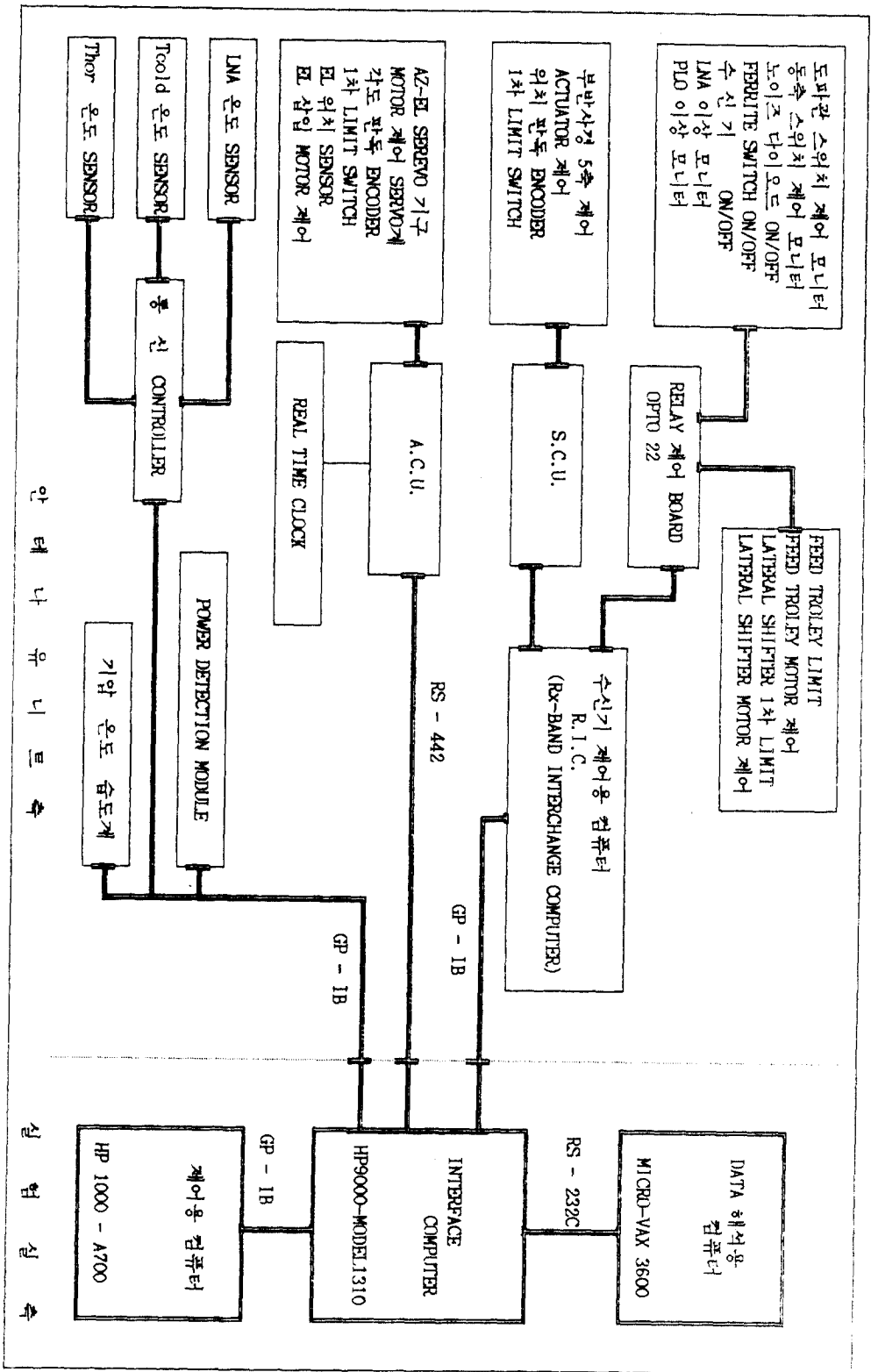


그림 1. 컴퓨터에 의한 안테나의 제어 계통도

표2. DASHIMA국 34M Ant의 주요제원

구 분	주 요 제 원
개 구 경	34.073 Meters
위 도	N 35° 57' 05.76"
경 도	E 140° 39' 36.16"
안테나중심해발고	46.3 Meters
안테나위치해발고	26.3 Meters
안 테 나 형 식	경면수정형 카세그레인 Front Feed 절환식
페 데 스탈 형 식	AZ-EL Mounting Pedestal
주반사경경면정도	0.17 mm (rms EL=45°)
구 동 가 능 범 위	AZ Nt ± 359° EL 6.0° ~ 90.7°

표3. 구동계 특성 측정 결과

구 분	방 위 각	앙 각
최대 구동 각속도	1.0°/sec	0.8°/sec
최대 구동 가속도	1.0°/sec²	0.8°/sec²
Step 응답시 통과량		
step각=10	0.035°	0.018°
step각= 1	0.013°	0.016°
step 응답 정정 시간		
step각=10	8 sec *	8 sec *
step각= 1	5 sec *	8 sec *

※ 목표각의 step 상의 변화에 대하여 목표각을 통과한 때부터 실제의 각도와 목표각의 차가 통과하는 량의 10% 이내로 들어올 때까지 요하는 시간

표4. 수신 Feed 교환 매카니즘

Feeder Group	Frequency Band	급 전 방 식
GROUP1	300 / 600MHz대	Front Feed
GROUP2	1.5GHz	Cassegrain
GROUP3	2 / 8GHz대	"
GROUP4	5 / 10GHz대	"
GROUP5	15 / 22 / 43 / 49GHz대	"

4. 감시시스템의 구성 및 프로그램 운용실험

본 연구를 위한 실험용 감시시스템은 보유중인 직경 5미터의 위성전파 추적수신 시스템을만을 충분히 활용하여 그림 2와 같이 구성하였다.

수신시스템이 감시기능에 유용하게 사용된 것은 안테나 서브시스템의 자동추적 기능이라 할 수 있는데, 이는 5개의 안테나소자 Cavity-Backed Cross Dipole로부터 Monoscan Converter와 저잡음 증폭기 및 수신기를 경유하여 안테나 콘트롤유니트내의 자동추적용 보드로 이어지는 단일 채널 모노펄스 시스템으로 이루어지며 정확한 위성의 궤도정보와 전파원의 명확한 출처를 얻기 위해서는 급전부의 확실한 포커싱이나 안테나의 정확한 패턴등이 요구된다.

안테나의 제어, 신호 인지시 자동추적으로의 전환, 궤도정보의 획득 및 저장등은 주컴퓨터(HP-1000)와 안테나 콘트롤 유니트간에서 이루어지고, 자동추적을 위한 데이터의 획득과 전파의 질 감시를 위하여 수신기, 스펙트럼 아날라이저, 전력계, 주파수 카운터를 70MHz IF단에 연결하여 컴퓨터에 데이터를 전송하도록 하였다.

우주전파 감시를 위한 안테나의 스캐닝 방법에는 구면천문학의 SINE COSINE 법칙을 이용하는 Sector Scanning 방식과 감시하기를 원하는 방위각과 고도각내에서 위성추적

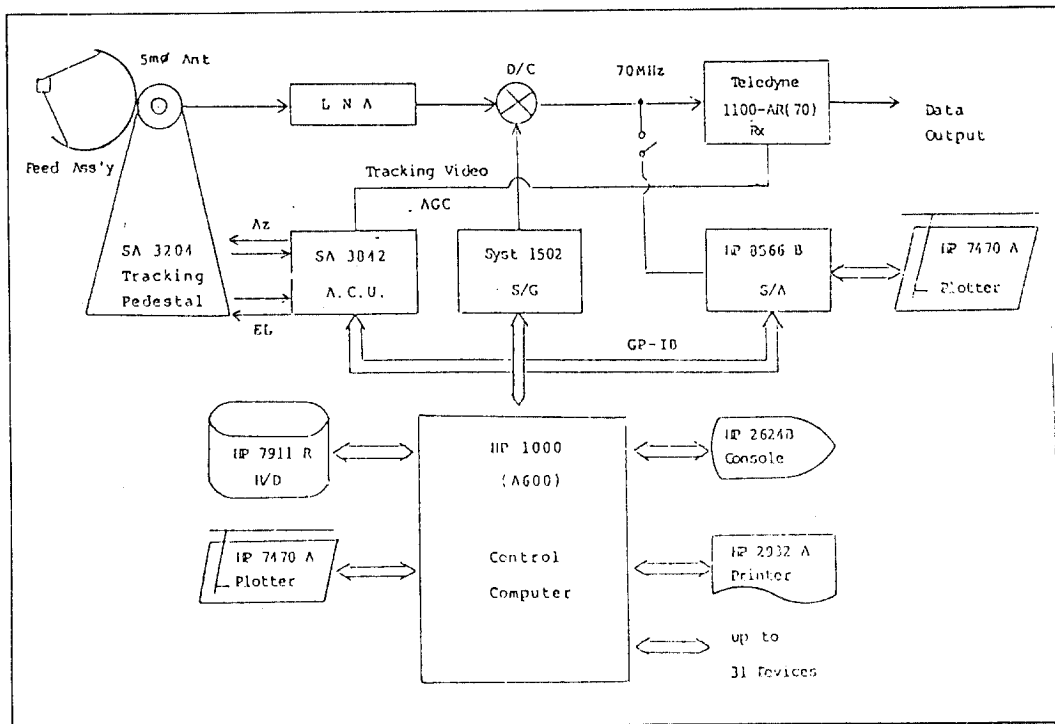


그림2. 감시 시스템의 구성 및 제어용 컴퓨터

안테나를 Zig-Zag로 움직이면서 전파원을 추적하는 Zig-Zag Scanning방식의 2가지가 있는데, 본 연구에서는 비교적 널리 이용되고 현시스템에 적용하기 용이한 후자의 Zig-Zag Scanning 방식을 택하여 이미 알고있는 위성의 예상통과방향에서 추적안테나를 움직이다가 위성으로부터 방사되는 전파원의 신호가 포착되면 안테나의 스캐닝을 멈추고 자동추적 모드로 전환되어 그 위성을 지속적으로 추적하면서 일련의 감시기능을 수행하도록 하였다.

전술한바와 같이 우주전파 감시항목에는 목적에 따라 여러가지 기능을 부가할 수 있으나, 금번 연구에 포함된 감시항목은 우주국의 궤도정보, 전력속발도 및 신호레벨의 변화상태, 신호원의 스펙트럼, 주파수 및 도플러편이등을 포함하였다.

현재까지 운용실험한 프로그램은 기능상 1개의 주프로그램과 주프로그램의 제어하에 동작하게 되는 4개의 부프로그램 및 각각 필요한 기능을 갖는 수개씩의 서브프로그램들로 구성하였으며 그림3에 프로그램 구조도를 나타내고 있다.

그림에서 ZIGZAG(0.0)는 주프로그램으로서 운용자로부터 추적할 범위, 즉 스캐닝할 방위각 및 고도각의 범위와 기울기 및 각도변화폭(선행속도)을 입력받아 순간순간의 안테나 자세를 계산하면서 모든 부프로그램들을 제어한다.

부프로그램 PLOT(0.1)은 운용자가 입력한 파라미터들을 기본으로 안테나가 스캐닝할 패턴을 플로터상에 그리게되는데 이는 주프로그램에서의 옵션으로 운용자가 취사선택할 수 있도록 하였다.

부프로그램 DECHEX(0.2)는 주프로그램에서 계산된 순시치의 방위각과 고도각값을 안테나 콘트롤 유니트가 GP-IB 인터페이스상에서 읽어들이어 안테나를 제어할 수 있는 코멘드 데이터 포맷으로 변환하는 기능의 프로그램으로서 10진수를 16진수로 변환하는 것과 매우 유사하다.

프로그램의 핵심기능을 총괄하고 있는 부프로그램 CONTROL(0.3)은 부프로그램 DECHEX(0.2)에서 가공된 코멘드 데이터를 TIMECHEX(0.3.1)의 시간 통제를 받아 안테나 콘트롤 유니트에 전송한후 서브루틴 SGCONTROL(0.3.2)에서 주파수 스캐닝을 위한 국부발진용 시그널제너레이터의 발진주파수를 제어하게 되는데 금번 연구에서는 주파수 스캐닝을 생략하고 감시대상 위성에 따라 고정된 주파수를 선택하도록 하였으며, 장차 미지의 위성을 추적하고자 할 때는 시그널제너레이터의 스위프기능을 이용하거나 프로그램의 Do-Loop내에서 주파수값의 가감으로 주파수 스캐닝이 가능하도록 구성하였다.

서브루틴 IFAUTO(0.3.3)에서는 안테나 자세와 주파수를 정해진 범위내에서 스캐닝을 계속하다가 위성으로부터 도래하는 신호를 인지하게되면 스캐닝을 멈추고 자동추적기능으로 전환시켜 자동추적상태를 유지하면서 서브루틴 STORE(0.3.5)를 이용하여 주 컴퓨터 내부의 클럭 시간과 안테나 콘트롤 유니트의 방위각과 고도각을 읽어 디스크 파일Z Z.

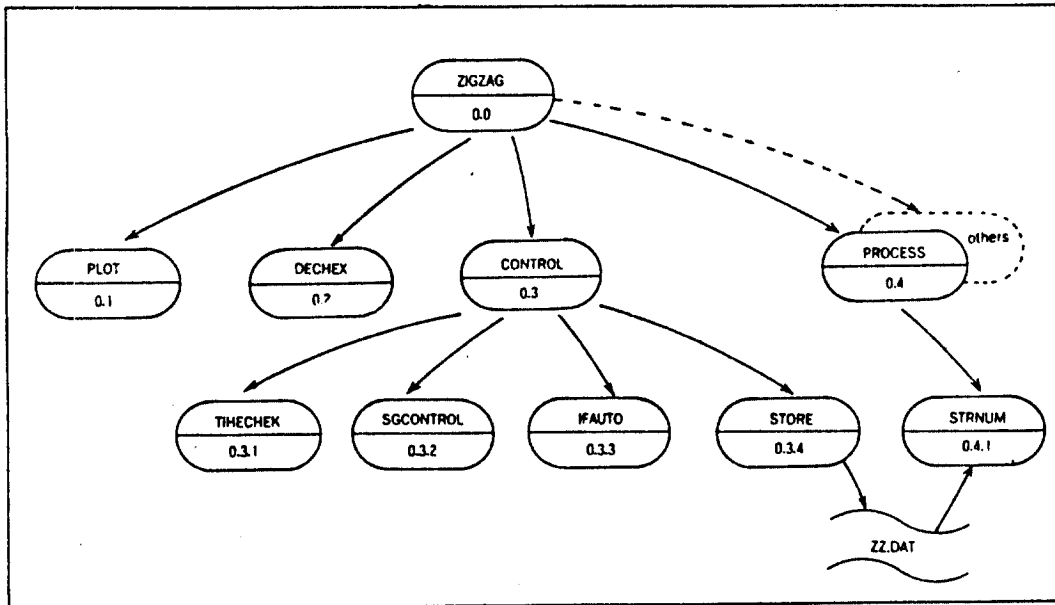


그림3. 프로그램의 구조도

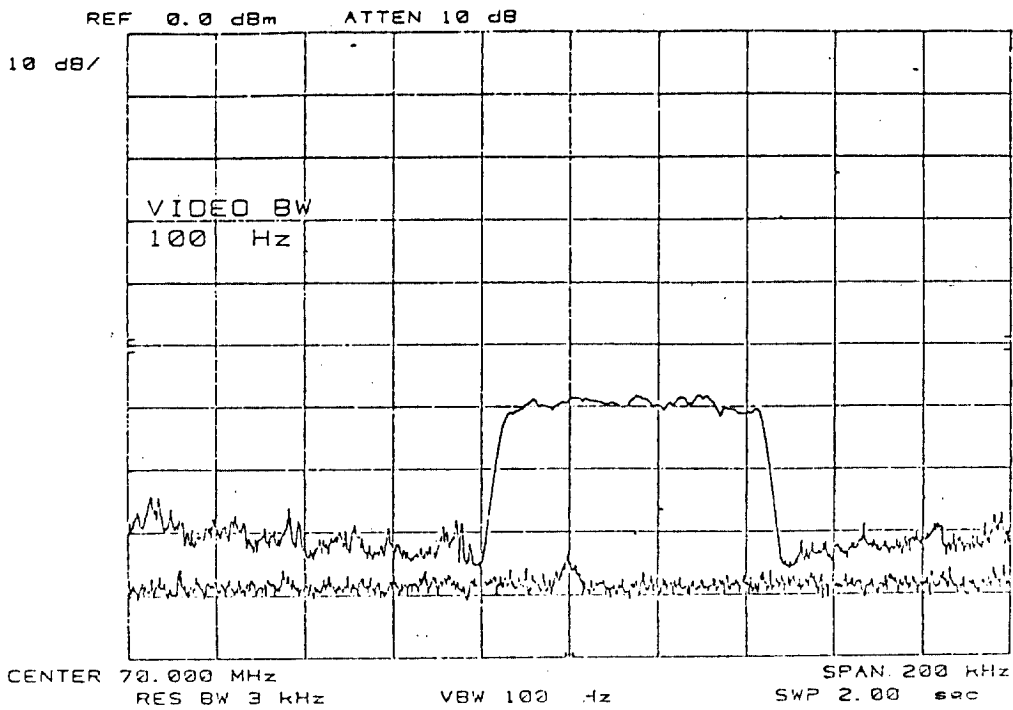


그림4. 위성의 수신신호 레벨 변화특성

DAT에 저장시킨다.

서브루틴 SINGNAL(0.3.4)에서는 도래하는 신호의 분석을 위하여 주파수카운터, 전력계, 스펙트럼 아날라이저를 제어하면서 그 정보를 읽어 SIGNAL.DAT에 저장하거나 플로터에 플로팅을 하게 된다.

또한 서브프로그램 PROCESS(0.4)에서는 위성이 안테나의 추적영역에서 완전히 벗어나게된 후 운용자가 원하는 적절한 시간에 ZZ.DAT로부터의 궤도데이터를 문자열로 읽어 STRNUM(0.4.1)에서 수치데이터로 바꾸어 처리하고 SIGNAL.DAT로부터 신호에 관련된 정보를 읽어 처리하도록 구성하였다.

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

이 프로그램의 실험운용 결과 1990년 11월 20일 10:20:00 부터 10:45:00 간에 우리나라상공을 통과하는 NOAA-10호 위성에 대하여 표5 같은 궤도정보를 수집할 수 있었고 이때 스펙트럼 아날라이저로부터 그림4와 같은 수신신호 레벨의 변화특성을 얻게 되었다. 그림에서 수신신호의 주파수 변화량이 도플러 편이량임을 쉽게 확인할 수 있었다.

표5. NOAA-10호의 궤도 DATA

Epoch Day=1990. 11. 10.034261307				
Argument Perigee=203.64263(deg)				
Ascending Node=338.64627(deg)				
Inclination=98.58494(deg)				
Eccentricity=1.35877E-03				
Mean Anomaly=156.42095				
Semi-Major Axis=7187.877				
PREDICTION TIME		Azimuth- Position	Elivation Position	Distance
(utc)	(kst)	(deg)	(deg)	(km)
10.29.00	19.29.00	172.523	1.051	3217.
10.30.00	19.30.00	173.569	5.041	2821.
10.31.00	19.31.00	174.952	9.735	2428.
10.32.00	19.32.00	176.890	15.517	2043.
10.33.00	19.33.00	179.850	23.058	1674.
10.34.00	19.34.00	185.013	33.533	1334.
10.35.00	19.35.00	196.311	48.529	1054.
10.36.00	19.36.00	231.826	65.486	896.
10.38.00	19.38.00	324.050	44.056	1123.
10.44.00	19.44.00	344.347	0.304	3323.

그 다음으로, 위성전파 포착이 이루어짐과 동시에 자동추적이 행해지고 시간별 위성의 방위각과 고도각의 측정이 이루어지면 이를 토대로 위성의 다음 위치 예보 및 궤도 결정에 요구되는 Keplerian Orbit Parameter를 구할 수 있도록 Program을 개발하였다. 우리가 현재 위성의 추적 DATA로 사용하고 있는 T-BUS DATA의 여러 궤도 요소에 대신하여 감시 프로그램에서 얻어진 임의의 시각에서의 방위각과 고도각으로부터 궤도요소를 구하는 방법은 그 용도가 매우 다양한 까닭에 앞으로 여러가지 방법에 의한 위성의 추적, 감시 및 제어에 유용하게 이용될 수 있을 것이다. 이 방법은 기본적으로 위성의 궤도가 6개의 기본변수를 기초로 하여 결정된다는 사실을 명확히 보여주는 것으로 임의의 시각 T_1 , T_2 , T_3 에서의 방위각과 고도, 즉 6개의 요소를 가지고 좌표변환 및 Gibbsian Transformation Method를 이용하여 위치 Vector와 속도 Vector R , V 를 구한 다음 여기에서 6개 궤도요소인 이심율, 궤도경사각, 장반경, 근지점 인수, 평균근점 이각, 승교점 경도등을 구할 수 있다.

이 프로그램의 간단한 순서도를 그려보면 그림5와 같다.

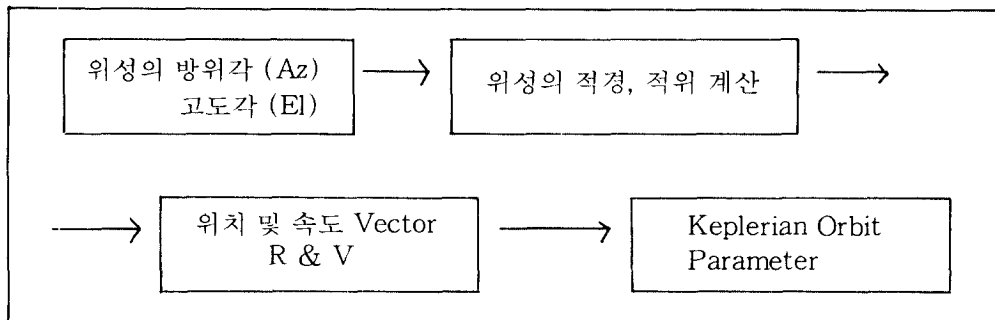


그림5. 궤도 결정의 순서도

표6. 위성의 궤도 요소의 비교

궤도요소	T-Bus Data	방위각과 고도로부터의 계산값
Epoch Time	1990, 11, 10.03012	1990, 11, 14.14652
Semi-major axis	7228.606(Km)	7219.987 (km)
Eccentricity	0.00116218	0.002246881
Inclination	99.00134 (deg)	98.98542 (deg)
Period	101.9962(min)	101.7570 (min)
S/C Velocity	7.4350 (Km/s)	7.4136 (Km/s)

극궤도 위성인 NOAA-10호에 대하여 위의 방법으로 얻어진 결과를 T-BUS Data의 궤도 요소들과 비교하여 표6에 수록하였다.

일반적으로 이러한 방법에 의해 얻어진 결과들은 임의의 시각 T_1, T_2, T_3 사이의 시간 간격이 작을수록 그 오차가 적은 것으로 알려지고 있으며 아울러 보다 정밀한 방위각 및 고도각의 계산값 또한 오차를 줄여 나가는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

5. 결 론

인공위성에서 발사되는 전파를 포착하고 수신하기 위하여 가장 기초적으로 요구되는 것은 위성의 정확한 위치의 파악과 이를 계속적으로 추적할 수 있는 기술 및 차후의 위성의 궤도 및 위치를 예보할 수 있는 기술의 축적이다.

본 연구에서는 기존의 위성 추적 및 수신시스템에 있어서 가장 기초적인 안테나 시스템의 스캐닝과 위성 신호 포착시 자동 추적 상태의 유지하에서 위성의 궤도 정보 및 수신 신호 레벨 특성등에 대한 정보의 수집에 주력하는 한편 우주 감시의 국제동향에 맞추어 이를 위한 시스템의 구성 및 프로그램의 개발에 그 초점을 두고 있다. 여기에 요구되는 기술적인 측면에는 아직 미비한 점이 적지 않으나 앞으로 좀 더 많은 연구 및 개발을 통해 이러한 문제점들을 보완해 나가야 할 것이며 앞으로 운용하게 될 우리나라 통신방송위성(무궁화호) 및 과학실험위성의 추적 및 제어기술의 축적을 위해서 이 분야에 대한 계속적인 노력이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 위성 추적 및 시스템 기술개발에 관한 연구 (I)
(1986, 과학기술처)
- 위성 자동추적 장치에 관한 연구
(1987, 전파연구소 연구보고서 제43호)
- Computer에 의한 Antenna Controller의 동작
(1987, 전파연구소 연구보고서 제43호)
- 위성 추적을 위한 HP-1000 Computer의 운용에 관련된 제반연구
(1987, 전파연구소 연구보고서 제43호)
- 구조적 프로그래밍 워크샵
(1987, 정보문화 센터)
- 위성전파 감시를 위한 S/W 개발 및 시스템기술에 관한 연구
(1989, 한국과학기술원)
- Escobal, P.R., 1975, Methods of Orbit Determination
2nd. (John Wiley & Son, New York).
- Technical Manual Model 3842 Autotrack Controller
(1985, Scientific Atlanta, Inc)
- Reference Manual FORTRAN 77
(1985, Hewlett-Packard Computer)