

## I. 서론

이동 중 위성수신을 위한 위성추적 방법은 원래 고정 상태에서 위성을 추적하는 방법에서 시작이 되었으며 점차 이동체에서 정지위성 또는 저 궤도 위성간의 통신을 위한 다양한 위성추적 안테나로 발전하게 되었다. 위성추적안테나는 송수신하고자 하는 위성과 추적안테나의 빔 방향을 정확히 정렬하는데 그 목적이 있다고 볼 수 있으며, 이러한 정밀 위성추적이 필요한 근본적인 이유는 보다 광대역의 고품질 위성통신을 위한 수요가 40여년 전부터 현재까지 꾸준히 증가하였을 뿐만 아니라, 최근 20년간 위성방송수신에 대한 수요의 증대로 이동 중에도 선박이나 차량의 구분이 없이 다양하게 활용되고 있다. 이 변화를 더욱 가속시켜준 원인은 지속적인 위성방송 채널의 확대에 인하여 위성방송의 중계기 주파수가 C-밴드에서 Ku-밴드로 높아졌고, 위성방송서비스의 품질이라고 할 수

있는 위성신호의 세기가 세어졌으며, 아날로그 방송에서 디지털 위성방송으로 변화하고 있기 때문이다.

한편, 국내의 위성방송 상황은 외국에 비하여 위성방송의 이동수신에 여러 가지 유리한 환경조건을 가지고 있는데, 첫번째는 방송용 중계기의 경우 원편파를 사용하고 있어서 이동수신에 적합하다는 것과, 두번째는 지리적으로 서비스 범위가 좁고 신호 세기가 세기 때문에 양각제어가 불필요하여 고정 양각을 갖는 방위각 방향의 1축 제어 위성추적 안테나만을 이용하여도 위성추적이 가능하다는 것이다. 같은 원편파에 신호세기도 비교적 센 일본의 경우에는 국가의 지역적인 위도의 분포가 한국보다 넓게 분포되어 1축 제어 안테나 하나로 전국을 커버하는 안테나의 구현이 사실상으로 불가능하다. 이러한 유리한 조건은 비교적 짧은 시간에 국내 위성방송의 이동수신 안테나 시장에 빠른 확산을 가져왔으며 앞으로도 끊임없이 발전하리라고 예상된다.

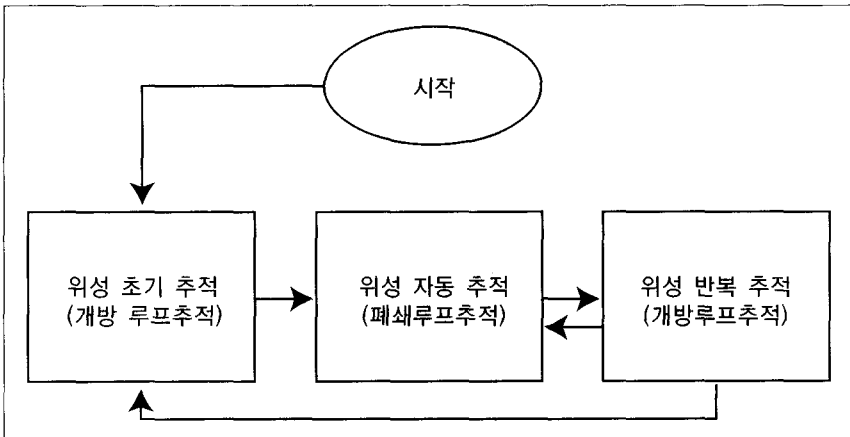
## II. 위성추적 방법(1)-(6)

위성추적안테나의 추적 방법을 나누는 방법은 여러 가지로 볼 수 있다. 그 중에서 추적제어를 위한 입력 중에서 가장 확실한 위성신호를 이용하느냐 그렇지 않느냐에 따라 개방루프추적(open loop tracking) 방법과 폐쇄루프추적(closed loop tracking)방법으로 나눌 수 있는데, 위성으로부터의 신호를 피드백(feedback)하여 제어에 이용하느냐 그렇지 않느냐를 제어공학적인 관점에서 나누어 보았다. 그러나 일반적으로는 이 두 가지 방법을 혼용하여 사용하므로 가장 보편적으로 사용하는 위성 추적 알고리즘을 그림 1과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 두 가지 추적방법이 혼용됨을 알 수 있다.

### 1. 개방 루프 추적(open loop tracking)

위성추적의 목적이 안테나 빔의 지향방향을 위성 신호가 있는 방향과 일치시키는 것이라고 보았을 때, 개방루프추적(open loop tracking)은 위성신호가 아

닌 다른 보조 센서 즉, 자이로 센서, 수평센서, 자장 센서 등을 이용해서 위성을 추적하는 방법인데 보조 센서만을 이용하여 위성을 추적하는 경우는 극히 드물다. 특히 이동용 위성추적안테나의 경우는 이동체에 대한 상대좌표방향이 일정하지 않기 때문에 상당히 정확한 보조센서가 요구되며, 보조센서의 정확성은 곧 가격을 의미하므로 경제적으로 위성추적안테나를 구성하기 위해서는 개방루프 추적만을 사용하기에는 경제적인 시스템을 구성할 수 없다. 그러나 위성의 초기추적단계에서 위성신호를 잡지 못한 경우(위성초기추적, 위성반복추적)에서 감지할 때까지의 추적방법으로 많이 사용되며, 위성이 초기에 어느 방향에 있는지를 파악하기 위하여 절대 각 센서인 자장센서나 수평센서 등을 사용하는 것이 일반적이나 저가용인 경우는 이런 보조센서가 없는 경우도 있다. 위성을 포착하였다가 장애물이나 건물 등에 의해 위성을 포착할 수 없는 경우에 위성반복추적을 하게 되며 반복추적 상황에서 가능한 빠른 시간 내에 위성을 포착하기 위하여 보조센서인 자이로 센서를 사용한다. 국내의 경우 도심에서는 건물 등에 의해 위성수



<그림 1> 이동 위성수신안테나의 추적 알고리즘 블록도

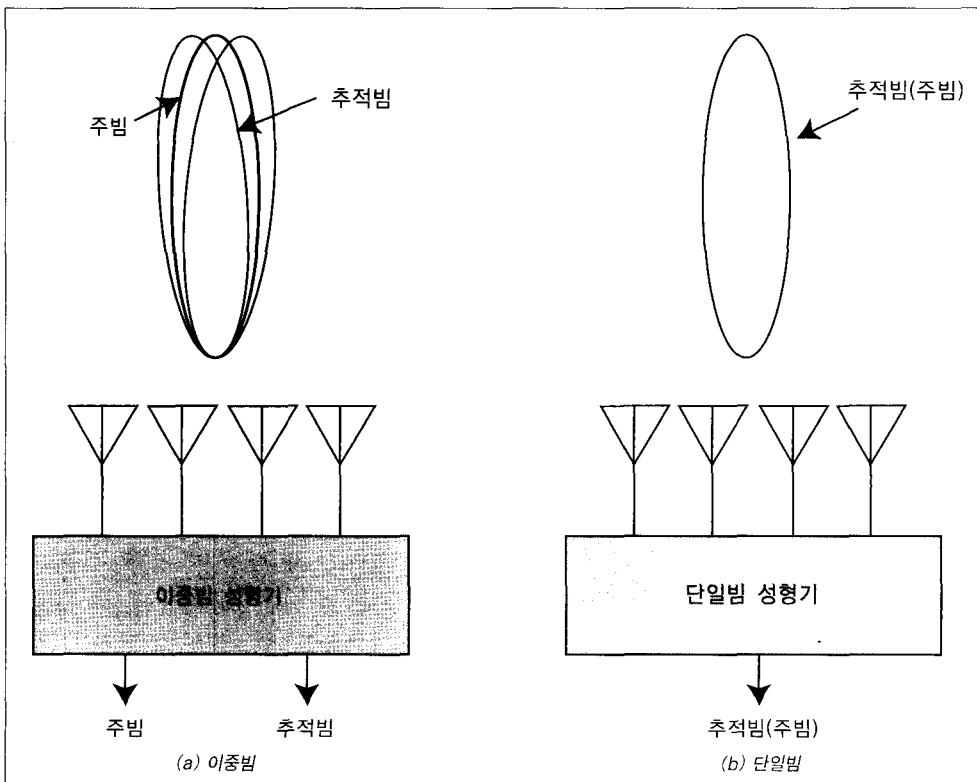
신이 자주 끊기는데, 이 경우 보다 빠른 위성신호 복구를 위해서 자이로 센서를 주로 사용한다.

## 2. 폐쇄 루프 추적(closed loop tracking)

개방루프추적을 통하여 위성을 포착한 다음에는 위성신호가 감지되므로 이 감지된 위성신호를 이용하여 추적한다고 하여 폐쇄루프추적(closed loop tracking)이라고 하는데, 이를 이용한 추적 방법에는 스텝추적방법(step tracking), 모노펄스추적방법(monopulse tracking), 코니칼 스캔 추적방법(conical scan tracking), sequential lobing(beam switching tracking), EBS 추적방법(Electronic

beam-squint tracking)등이 있으며, 그 외에도 안테나의 위상이나 신호 세기 등을 신호 처리하여 다양한 위성추적방법을 만들 수 있다. 앞에서 나열한 추적방법을 활용하여 가능한 경제적이면서 효과적인 위성추적을 하기 위해서는 안테나의 출력이 하나인 안테나 즉 주빔(main beam) 하나만으로 위성추적도하고 위성수신도 하는 추적방법과 2개 또는 4개의 배열안테나의 각 출력을 적절히 빔 성형(beam forming)을 함으로써 위성추적하는 빔과 위성수신을 위한 빔을 분리함으로써 2중 빔을 사용하여 상대적으로 위성추적에 의한 추적 손실을 줄여주는 좀 더 복잡하고 고가이지만 품질이 뛰어난 시스템으로 활용하기도 한다.

그림 2는 단일 빔과 이중 빔 안테나에 대한 차이



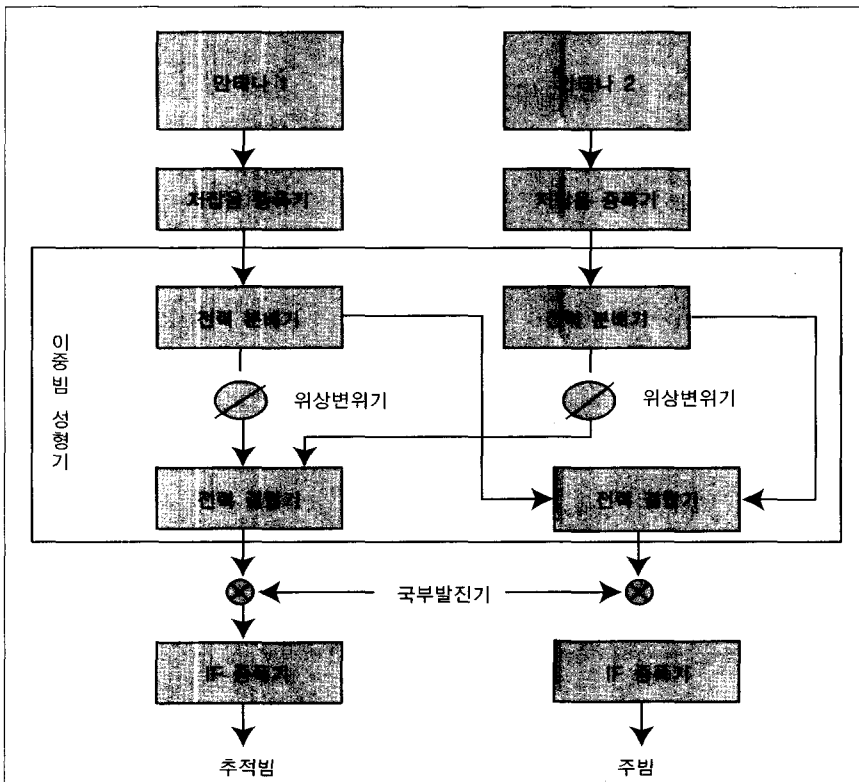
〈그림 2〉 이중 빔 및 단일 빔 위성추적 안테나의 블록도

점을 보여주는 블록도이다. 레이더에 사용되는 목표물 추적 기술은 위성추적 안테나와 개념이 비슷하여 배열안테나를 사용하여 목표물 추적을 하지만 반드시 이중빔을 사용하지는 않는데, 그 이유는 목표 추적 자체가 주된 목표이기 때문에 주빔을 이용하여 별도의 신호를 수신할 필요가 없기 때문에 추적빔 만이 존재한다. 따라서 이중빔은 통신 또는 위성수신의 목적과 위성추적의 목적을 동시에 수행하는 위성 추적 안테나에서 위성추적 손실이 적은 주빔으로 수신하면서, 추적손실이 존재하지만 추적 성능을 극대화하기 위하여 추적 빔을 사용하여 방향을 상하좌우로 움직이면서 신호의 세기를 비교하여 위성의 방향을 추적하고자 하는 안테나에 사용

된다. 단일빔의 대표적인 형태는 스텝추적방법(step tracking) 및 코니칼 스캔추적방법(conical scan)이며 이중빔의 대표적인 형태는 모노펄스추적방법(monopulse tracking)과 EBS 추적방법(Electronic beam-squint tracking)이다.

### Ⅲ. 주파수 스캐닝(frequency scanning) 효과를 이용한 위성추적 방법

서론에서 국내의 위성상황에 적합하면서도 가격적으로 저렴한 안테나를 구현하기 위하여 1축 안테나에 대하여 고려해보면 그림 3의 EBS 추적방법

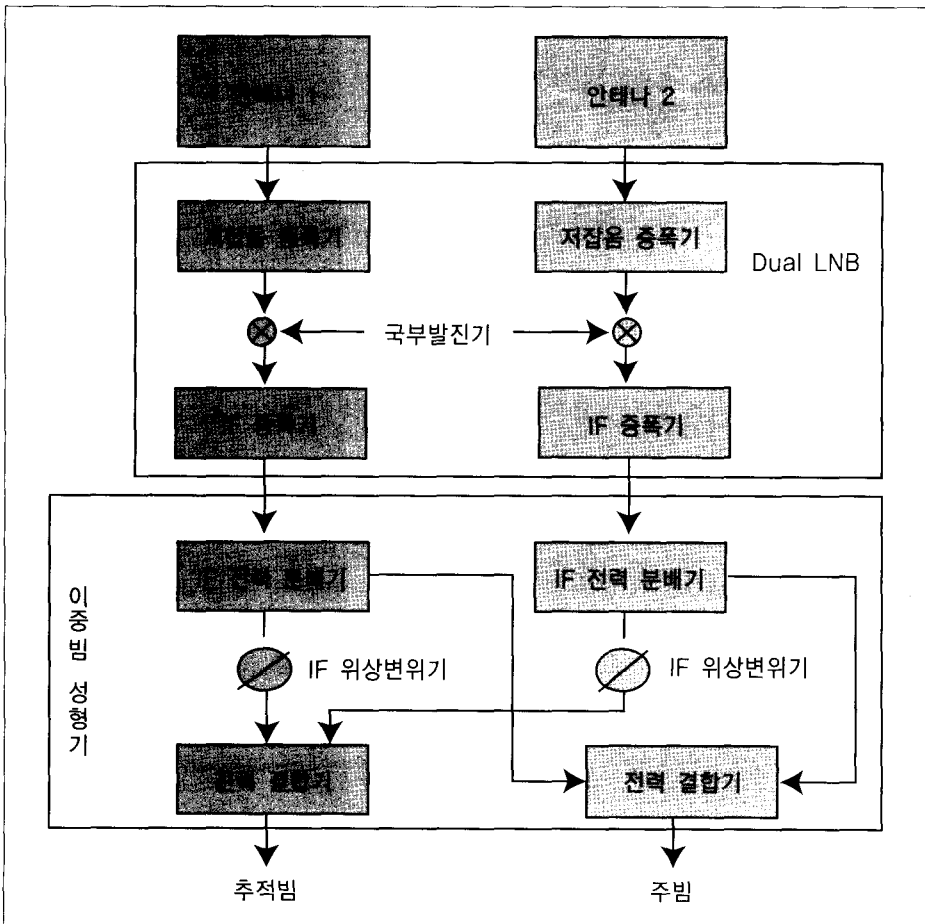


(그림 3) 2개의 안테나에 적용되는, EBS 추적방법(Electronic beam-squint tracking)을 위한 구성 블록도

(Electronic beam-squint tracking)이 가장 추적 성능 면에서는 뛰어나다고 볼 수 있으나 위성안테나를 2개로 나누어 각 각을 RF 대역 LNA와 위상변위기 및 전력결합 또는 분배기를 사용하므로 양산시에 2개의 안테나로부터 출력되는 신호의 특성을 완벽하게 맞추기는 쉽지 않다. 특히 LNA의 초단에 있는 HEMP 소자는 인위적으로 설계에 의하여 NF 및 이득을 맞추는 것이 쉽지 않고 이중빔 구조이므로 두 개의 주파수변환기(down converter)가 필요할 뿐만 아니라 RF 회로의 양산을 위해서는

회로를 둘러싸고 있는 패키지의 영향도 고려해야하므로 시스템의 양산성이 떨어진다.

양산성을 개선하기위하여 EBS의 변형 형태를 그림 4와 같이 구성할 수 있는데, 이는 dual LNB를 사용하여 기존의 양산 LNB의 공정을 활용하면서도 IF 대역에서 EBS 추적방법(Electronic beam-squint tracking)을 구현하기 때문에 위상변위기를 만들기 위한 PIN 다이오드 등의 부품가격도 절감되고 회로의 양산이 비교적 쉽다. 그러나 IF 대역에서 각 출력 신호들간의 신호특성차이가 55dB정도



< 그림 4 > Dual LNB를 이용한 변형된 EBS 추적방법(Electronic beam-squint tracking)을 위한 구성 블록도



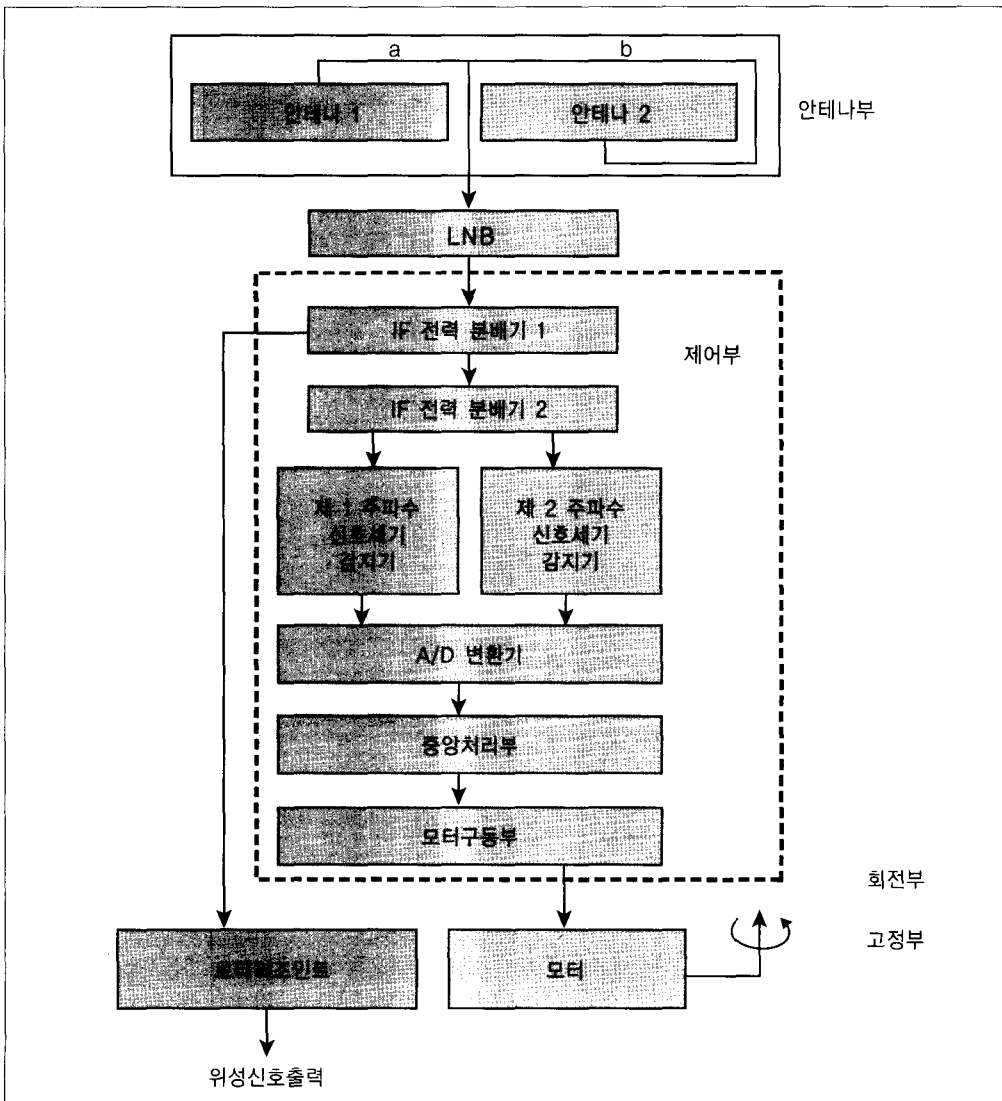
이고, 따라서

$$\Delta \phi = \arcsin \frac{n(\lambda_0 - \lambda_n)}{d} \quad (5)$$

이다. 여기서, 정수 n과 d를 변화시키면, 주파수의 변화에 따른 안테나 빔의 기울어지는 각도  $\Delta\phi$ 를 조

정할 수 있다.

무궁화 3호 위성의 DBS(Direct Broadcasting Satellite)방송을 수신하도록 설계된 경우를 예를 들어 설명하기 위하여 채널은 11.747GHz와 11.824GHz 주파수를 이용하면  $f_0 = 11.747\text{GHz}$ ,  $f_n = 11.824\text{GHz}$  가 되며, 수식(1)에 의해  $\lambda_0 \equiv 25.54\text{mm}$ ,  $\lambda_n \equiv$



〈 그림 6 〉 주파수 스캐닝(frequency scanning)효과를 이용한 위성추적안테나 시스템의 블록도

25.37mm가 된다(실효 유전율  $\epsilon_{eff} = 1$  이라 가정).

이때, 안테나1과 안테나2의 급전거리의 차(b - a)를  $10\lambda_0$ (n=10)로 설정하고, 두 안테나의 간격을 164.8mm(d = 164.8mm)로 설정하면,

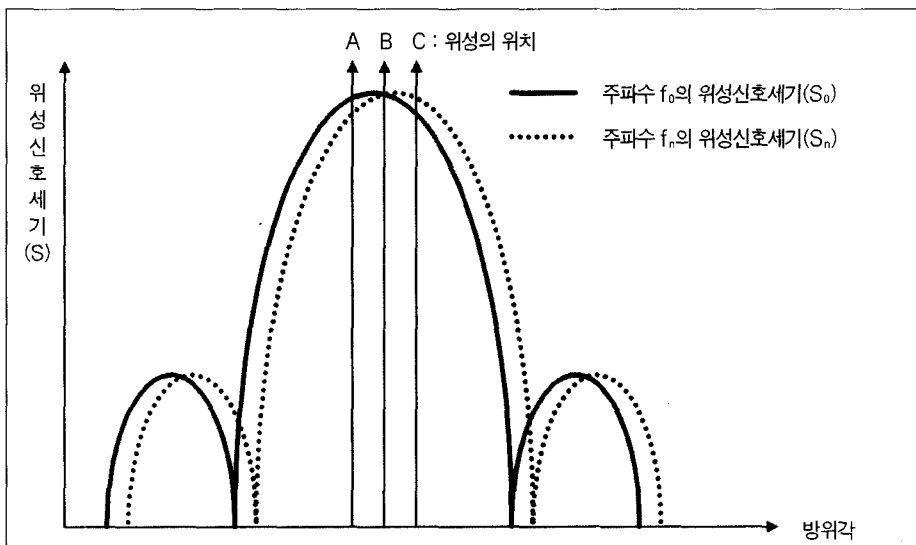
$$\Delta\phi = \arcsin \frac{10(25.54 - 25.37)}{164.8} \approx \arcsin 0.01032 \approx 0.6^\circ$$

가 된다. 즉, 위성으로부터 수신되는 위성신호 중 주파수가 11.747GHz인 경우에는 위성신호를 수신하는 안테나의 빔이 수직 방향으로 형성되며, 주파수가 11.824GHz인 경우에는 안테나의 빔의 지향 방향이 수직방향에서 안테나 2 쪽으로 0.6° 가량 기울어져 위성신호를 수신하게 되는데, 주파수가 다른 두 신호의 세기를 비교하면 현재 위성의 위치가 어느 쪽에 있는지를 판별할 수 있다.

그림 6은 주파수 스캐닝(frequency scanning) 효과를 이용한 위성추적안테나 시스템의 블록도

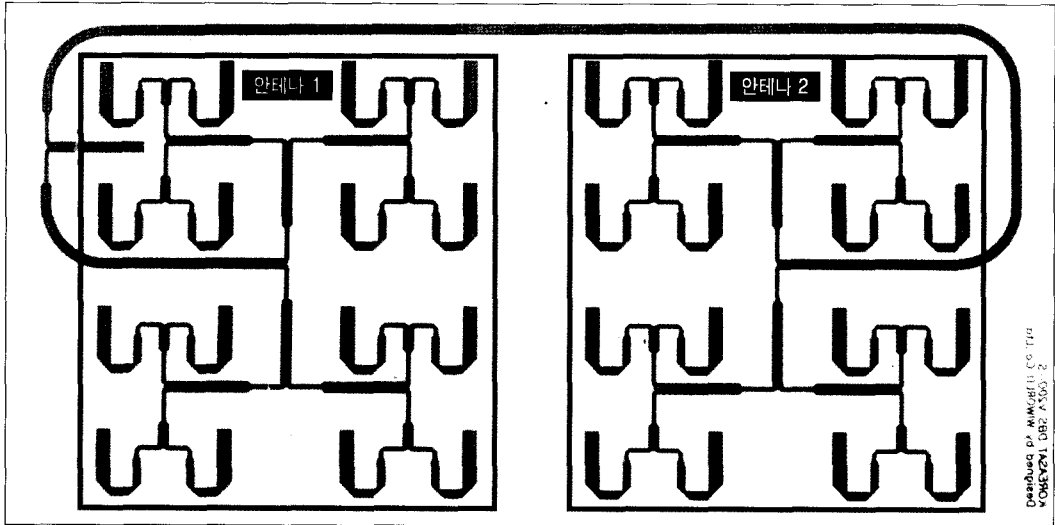
로서 그림 5에서와 같이 주파수 스캐닝(frequency scanning)효과가 생기도록 안테나부를 설계하고 단일 출력 LNB의 출력을 제어 보드에 있는 전력 분배기1로 전력 분배하여 로터 리조인트를 통하여 위성수신기로 전달되는 위성신호출력을 전달하는 경로와 전력 분배기2를 통하여 2개의 주파수의 신호세기를 A/D 변환기를 통하여 검출한 중앙처리장치는 모터 구동부를 통하여 항상 위성의 방향으로 안테나부의 회전 방향을 제어하도록 제어가 일어나며 여기서 위성신호출력과 제어부에 전달되는 신호는 같은 IF 신호이기 때문에 단일 빔이면서도 주파수 스캐닝(frequency scanning)효과를 이용하여 주파수 영역에서 추적빔과 주빔이 분리되는 2중빔의 효과가 생긴다.

그림 7은 주파수 스캐닝(frequency scanning) 효과를 이용한 위성추적방법을 설명하기 위한 그림으로 가로축은 방위각, 세로축은 각 주파수에 대한



< 그림 7 > 방위각에 대한 주파수가 다른 두 위성신호세기

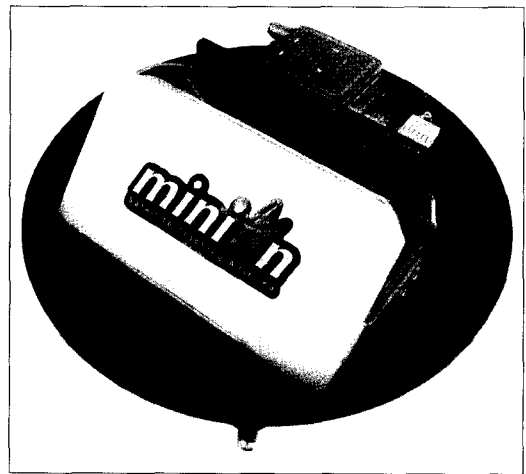




〈그림 8〉 주파수 스캐닝 효과(frequency scanning)를 구현한 평면 안테나의 급전회로

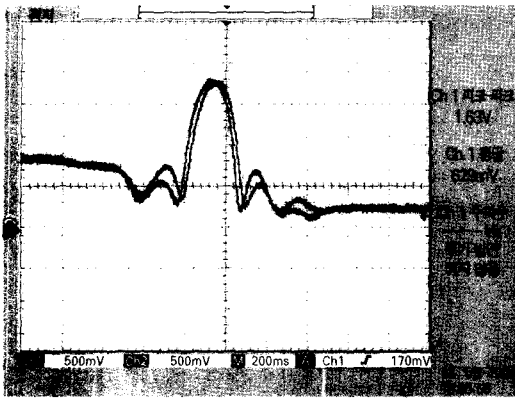
위성신호의 세기를 나타낸 것이다. 주파수  $f_0$ 의 신호 세기는  $S_0$ 로, 주파수  $f_n$ 의 신호 세기는  $S_n$ 으로 표시할 때  $S_0$ 와  $S_n$ 을 비교하여,  $S_0$ 가  $S_n$ 보다 크면 위성의 위치가 A방향에 있으므로 모터를 구동시켜 안테나를 B방향으로 지향시킨다. 반대로,  $S_0$ 가  $S_n$ 보다 작으면 위성의 위치가 C방향에 있으므로 모터를 반대방향으로 구동시켜 안테나부를 B방향으로 지향시킨다. 만약,  $S_0$ 와  $S_n$ 이 같게 되면 안테나부가 위성이 위치하는 방향을 지향하고 있다고 볼 수 있다. 이러한 과정은 매우 미세한 시간에 이루어지므로 차량이나 기차 등과 같은 이동체가 이동하더라도 위성의 위치를 놓치지 않고 추적할 수 있다.

다음은 이러한 위성추적방법을 적용한 안테나 시스템의 일례를 보여주는 그림으로서 그림 8은 주파수 스캐닝 효과(frequency scanning)를 만들기 위해 두 개의 평면 안테나로부터 안테나 출력지점까지의 급전 길이가 차이가 나도



〈그림 9〉 주파수 스캐닝 효과(frequency scanning)를 적용한 위성추적안테나

록 설계된 평면안테나의 급전모양을 나타낸 그림이며, 그림 9는 본 위성추적방법을 적용한 그림 6의 시스템을 실제로 구현한 안테나의 그림이다.



〈그림 10〉  $f_0 = 11.747\text{GHz}$ ,  $f_c = 11.824\text{GHz}$ 일대 방위각에 대한  $S_0$ 와  $S_1$ 의 전압파형

그림 10에서는 통과 주파수를 각각 11.747 GHz와 11.824GHz로 하였을 때 그 신호세기를 전압으로 출력한 파형을 방위각을 변화시키면서 측정된 디지털 오실로스코프 파형으로 그림 7과 같은 이론적인 접근이 실제로 구현되었음을 알 수 있다.

## IV. 결론

본 논문에서는 현재까지 사용되어온 위성추적안테나의 추적방법의 특성에 대하여 개략적으로 접근하였고, 기존의 위성추적 안테나가 가지고 있는 이중빔 또는 단일빔 구조와는 다른 주파수 영역에서의 이중빔을 형성하는 새로운 개념의 주파수 스캐닝효과를 이용한 위성추적방법에 대한 원리와 이론적인 접근 및 이를 적용한 안테나 시스템을 구현하였다. 본 위성추적방법으로 자이로센서를 사용하지 않으면서도 기존의 EBS(electronic beam-squint tracking)보다도 간단하고 일반 LNB를 사용하여 양산성이 있으면서도 최고 120도/초의 차량의 회전에도 추적이 가능한 위성추적 안테나를 구현하였다. 그러나 안테나가 주파수에 따라 멀티빔이 형성되므로 각 중계기의 신호세기가 주파수에 따라 0.5dB정도의 편차가 있다는 단점도 있다.

## 참고 문헌

- (1) P.B. Kenington "Electronic tracking systems for space communication", pp.95-101, Electronics & Communication Engineering Journal, June 1990.
- (2) J.H. Cook, "An Improved Electronic Scan Tracking Antenna For S-Band Telemetry and Remote Sensing Applications", pp.297-300, 1991, IEEE.
- (3) G. J. Hawkins, D.J. Edwards and J.P. McGarron, "Tracking systems for satellite communications", IEE Proceedings, vol. 135, no. 5, Oct. 1988.
- (4) K. Sato, K. Nishikawa and T. Nishida, "Development and Field Experiments of Phased Array Antenna For Land Vehicle Satellite Communications", IEEE VTS Society Trans. Symp. 1992, Vol.2, pp.1073-6.
- (5) K. Tanaka, S. Yamamoto, H. Wakana, S. Okano, M. Matsumoto and M. Tsuchiya, "Antenna and Tracking System for Land Vehicles on Satellite Communications", IEEE Vehicular Technology Society 42nd VTS Conference, 1992, Vol.2, pp.878-882.
- (6) KAM W. LO, "Theoretical Analysis of the sequential lobing technique", IEEE Trans. Aerospace and Electronic systems vol. 35, no. 1 Jan 1999.

## 필자소개



### 박찬구

- 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1992년 2월 : KAIST 전기 및 전기공학과 대학원(공학석사)
- 1996년 8월 : KAIST 전기 및 전기공학과 대학원(공학박사과정)
- 2000년 5월 : 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 선임연구원
- 2000년 7월~현재 : 위월드(주) 대표이사 겸 부설연구소장
- 주관심분야 : 안테나, RF 시스템, 위성추적안테나, 제어시스템



### 최재열

- 2001년 2월 : 충북대학교 전기전자공학부 전자전공(공학사)
- 2003년 2월 : 충북대학교 제어계측공학과 대학원(공학석사)
- 2003년 2월~현재 : 위월드(주) 부설연구소 선임연구원
- 주관심 분야 : 이동체형 위성안테나 시스템, GPS, 제어시스템.



### 민동현

- 1993년 2월 : 대전산업대학교 전자공학과(공학사)
- 1997년 12월 : 한국과학기술원 물리학과 위축 연구원
- 1998년 1월~현재 : 위월드(주) 부설연구소 책임연구원
- 주관심분야 : 이동체형 위성안테나 시스템, 제어시스템