

# 위성 통신용 선박 탑재 능동 위상배열 안테나 시스템

## Shipboard Active Phased Array Antenna System for Satellite Communications

전 순 익 · 채 종 석 · 오 승 업\*

Soon-Ik Jeon · Jong-Suk Chae · Seung-Hyeub Oh\*

### 요 약

본 논문에서는 선박에 탑재하여 해상에서 이동 중 위성통신을 수행하는 능동 위상배열 안테나 시스템의 설계, 제작 및 시험을 소개한다. 안테나와 시스템은 광역 하이브리드 추적, 송수신 겸용 안테나 소자, 비대칭 배열, 송수신 간의 간섭 억압, 및 주파수 스캔 효과를 보상하는 위상제어 기술 등의 새로운 구조와 기술을 적용한다. 안테나는 32×4 이차원 배열을 가진 송수신 겸용 안테나이다. 안테나는 두개의 빔을 가진다. 안테나 사용 주파수는 수신 7.25~7.75 GHz 송신 7.9~8.4 GHz이다. 안테나 지향 이득은 수신 35.4 dBi와 송신 35.7 dBi이며, 최대 54 %의 효율을 가진다. 전자 빔 스캔 범위는 앙각 ±35°와 방위각 ±4°이다. 안테나는 방위각 360° 무한회전과 앙각 ±10°의 기계적 제어가 가능한 하이브리드 추적 운동을 할 수 있다. 안테나 3 dB 빔폭은 2.2°이며, 부엽 레벨 -14 dB와 교차편파 억압 송신 21 dB의 특성을 가진다. 안테나는 근역전계 측정 시설을 이용하여 측정하였다. 시스템 성능은 선박 모의 운동 시뮬레이터 위에서 위성 중계기 시뮬레이터를 사용하여 시험하였다. 운동 상태에서 위성 추적 성능은 추적 오차가 3 dB 이내이다. 안테나 시스템은 변조된 위성방송 신호를 주파수 변환하여 안테나 시스템의 변조 신호 송수신 시험에 사용하였다.

### Abstract

In this paper, the novel shipboard Active Phased Array Antenna(APAA) system for maritime mobile satellite communications is introduced. The antenna uses novel technologies like wide range hybrid tracking, single antenna elements with both of Rx and Tx, asymmetrical array structure, interference isolation between Rx and Tx, and error correction method from frequency scan effect. The antenna has single aperture for both of Rx and Tx with 32×4 two-dimensional array. The antenna has two beams. Its frequencies are 7.25~7.75 GHz for Rx and 7.9~8.4 GHz for Tx. The antenna gains are 35.4 dBi for Rx and 35.7 dBi for Tx, those are 54 % of efficiency. The electrically steering ranges are ±35° of elevation direction and ±4° of azimuth direction. The mechanical control ranges at hybrid tracking capability are continuous 360° of azimuth direction and ±10° of elevation direction. The antenna has 2.2° of 3 dB beamwidth, -14 dB of sidelobe level, and 21 dB of cross-pol suppression. The antenna performance was measured by near field measurement set. Its system performance was tested on the ship motion simulator and with the satellite transponder simulator. The test result showed that its tracking error was within -3 dB from its peak gain under motion condition. The antenna system was tested by real modulated Direct Broadcasting Satellite(DBS) signals to check its communication processing function.

Key words : Shipboard Active Phased Array Antenna System, Mobile Satellite Communications

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunication Research Institute)

\*충남대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20020925-118

· 수정완료일자 : 2002년 11월 20일

I. 서 론

위성통신은 여러 목적에서 사용되지만 해상과 같이 지상통신 서비스가 제공되기 어려운 영역에서는 필수적인 통신 수단이 될 수 있다. 해상에서의 위성 통신을 위한 요구조건은, 해상의 환경에 적응하여 위성을 추적하는 추적 속도와 추적 범위 및 추적 오차의 성능을 보장하여야 한다<sup>[1]</sup>. 능동 위상배열 안테나 기술은 높은 지향 이득에서도 빠른 추적과 낮은 추적 오차 성능으로 적합한 기술이 될 수 있다<sup>[2]</sup>. 그러나 지향하는 범위가 충분히 넓으면 안테나 시스템에 많은 능동 위상배열 소자가 필요하며, 능동 위상배열 소자 전체 가격이 전체 안테나 가격을 결정하므로 충분히 경제적인 구조를 제공할 수 없다<sup>[3]</sup>. 전자식 빔 제어에 비교하여 성능이 떨어지는 기계식 추적 안테나가 일반적으로 사용되는 것은 이러한 이유 때문이다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자, 전자적 빔 스캔 방법과 기계적 추적 방법을 결합하여 최적화한 구조를 가진, 경제적인 선박 탑재 위성통신용 능동 위상배열 안테나 시스템을 설명한다. 안테나는 다음의 특징을 가지고 있다.

- 광역 하이브리드 추적
- 송수신 겸용 방사 소자 및 부배열
- 비대칭 배열
- 송수신 간 간섭 억압
- 주파수 스캔 효과 보상 위상제어

안테나 시스템은 표 1의 주요 파라미터를 만족하

표 1. 선박 탑재 능동 위상배열 안테나 주요 설계 파라미터

Table 1. The shipboard active phased array antenna's major design parameters.

규격 항목	수신	송신
통신 주파수	7.25 ~ 7.75 GHz	7.9 ~ 8.4 GHz
안테나 지향 이득	35 dBi 이상	35 dBi 이상
부엽 레벨	-12 dB	-12 dB
교차 편파 억압	20 dB	20 dB
전자적 추적 범위	양각 ±35°	방위각 ±4°
기계적 추적 범위	양각 ±10°	방위각 360°
안테나 위성추적 손실	3 dB 이내	

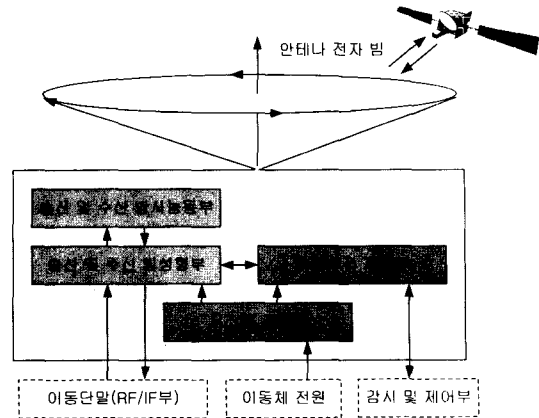


그림 1. 선박 탑재 능동 위상배열 안테나 시스템 개념 구조

Fig. 1. The conception structure of the shipboard active phased array antenna.

도록 설계한다.

안테나 시스템의 기능 구조는 방사 능동부, 빔 성형부, 위성 추적부 및 전원부로 이루어진다. 이동단말장치와의 접속은 실질적으로 빔 성형부의 출력에서 인터페이스 된다. 그림 1은 선박 탑재 능동 위상배열 안테나 시스템의 기능에 따른 개념 구조를 보여준다.

안테나 시스템은 하이브리드 추적 방법을 적용한다. 하이브리드 추적 방법은 전자적 빔 스캔에 의한 추적과 기계적 운동에 의한 추적을 혼합하여 사용한다. 위성 추적에서 기계적 운동은 360° 무한 운동을 하여 안테나를 대략적인 목표 위치에 이동시킨다. 대략적인 목표 위치에서 양각 ±35°와 방위각 ±4°의 광역 이차원 범위를 전자적 빔 스캔이 고속으로 정밀하게 추적한다. 목표가 추적되면 기계적 추적과 전자적 빔 스캔은 추적된 방향이 유지되도록 한다<sup>[4]</sup>. 안테나는 32×4 배열의 이차원 배열구조를 가진다. 배열은 128개 부배열로 구성된다. 각 부배열은 8×1 배열의 안테나 소자를 가진다. 안테나 소자는 송수신 겸용 소자를 사용한다. 동일 면적 내에 하나의 마이크로스트립 패치 안테나가 송신 급전부와 수신 급전부를 동시에 가진다. 따라서 송신 마이크로스트립 패치 안테나와 수신 마이크로스트립 패치 안테나의 두 개 안테나를 사용하는 기존과 비교하여 면적을 1/2로 줄일 수 있다<sup>[5]</sup>. 안테나의 32

×4 배열은 각 16×4 배열의 상하 구조로 나눈다. 상하 배열 각각은 사각 격자 배열 구조를 가진다. 그러나 상 배열과 하 배열은 가로 부배열 간격의 1/2만큼 어긋나도록 이동 위치한다. 이것은 상하 구조 배열 간에 삼각 격자 구조를 제공한다. 사각 및 삼각 격자 구조가 혼합하여 의사 불규칙한 배열 구조를 형성한다. 불규칙 배열 구조가 부엽 특성을 개선하는 것은 이미 알려져 있는 방법이다<sup>6)</sup>.

안테나는 송수신 겸용 안테나 소자를 사용한다. 겸용 소자의 송신 급전 전력은 수신 급전부로 누설된다. 이것은 능동 위상배열 소자의 수신용 저잡음 소신호 증폭기를 전력 포화시킨다. 이것을 방지하기 위하여 송신 전력을 차단하는 대역통과 필터를 증폭기 전단부에 설치한다. 또한 송신 고출력 증폭기에서 발생시키는 수신 주파수 대역에서의 고출력 잡음이 같은 경로로 수신용 증폭기로 유입되는 것을 억압해야 한다. 송신용 증폭기와 송신 급전부 사이에 수신 주파수 대역 잡음을 차단하는 대역통과 필터를 설치한다<sup>7)</sup>.

위상배열 안테나에서 각 요소간 기울어진 입사전파에 대한 위상지연은 파장의 함수이므로 주파수가 다르면 다른 위상지연 값을 갖는다. 따라서 위상배열 안테나의 지향 빔 패턴을 스캔하기 위해 위상 변위기에 한 주파수의 위상지연 보상 값을 할당하면, 지향 빔 패턴은 다른 주파수에서 다른 지향 방향을 가질 수 있다. 본 문의 안테나 시스템은 두 개의 빔 패턴을 사용한다. 두 빔은 동일 구조에서 서로 다른 주파수로 동작한다. 따라서 이중 빔을 사용하는 안테나에서 주파수 스캔 효과로 안테나 빔의 지향 방향이 틀리는 지향각 오차가 발생한다. 안테나 시스템은 이를 회피하기 위하여 전자 빔 제어 프로그램에 이를 보상하는 위상제어 값 연산식을 적용한다.

## II. 안테나 시스템 설계

### 2-1 안테나 배열 구조

배열 안테나의 구조는 양각 방향의 광역 전자 빔 조향에 적합하도록 설계한다. 안테나는 32×4 배열을 가진다. 배열은 128개 부배열로 구성된다. 배열은 다시 각 16×4 배열의 상하 구조로 나눈다.

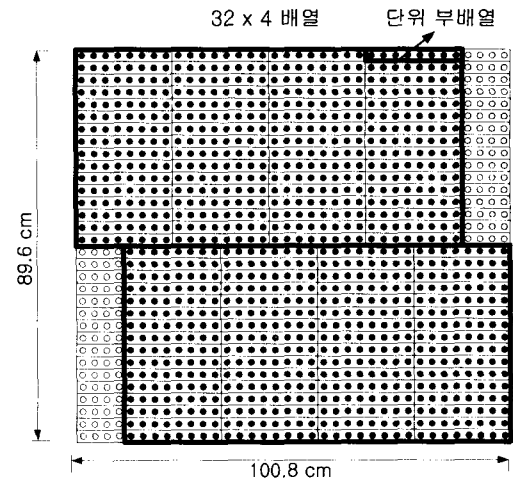


그림 2. 안테나 비대칭 배열의 구조 및 크기

Fig. 2. The structure and dimension of the asymmetrical antenna array.

상하 배열 각각은 사각 격자 배열 구조를 가진다. 그러나 상 배열과 하 배열은 가로 부배열 간격의 1/2만큼 어긋나도록 이동 위치한다. 이것은 상하 구조 배열 간에 삼각 격자 구조를 제공한다. 사각 및 삼각 격자 구조가 혼합하여 의사 불규칙한 배열 구조를 형성한다. 이러한 구조는 배열이 불규칙할 때 부엽 특성이 개선되는 효과를 이용하는 것으로, 변형 전 대비 2 dB 이상 부엽 억압 특성이 개선된다. 안테나 비대칭 배열의 구조는 그림 2와 같다. 변형 전의 대칭 배열 안테나 크기는 89.6 cm×89.6 cm 이고, 변형 후의 비대칭 배열 안테나 크기는 89.6 cm×100.8 cm이다.

배열 안테나에 사용되는 단위 부배열은 8×1 배열 구조를 가진다. 단위 부배열 안테나 소자는 송수신 겸용 소자를 사용한다. 동일 면적 내에 하나의 마이크로스트립 패치 안테나가 송신 급전부와 수신 급전부를 동시에 가진다. 송신 마이크로스트립 패치 안테나와 수신 마이크로스트립 패치 안테나의 두 개 안테나를 사용하는 기존과 비교하면 면적을 1/2로 줄일 수 있다.

그림 3은 8×1 배열 구조의 송수신 겸용 단위 부배열 형상이다. 수신 주파수는 7.25~7.75 GHz 이고 송신 주파수는 7.9~8.4 GHz 이다. 송수신 겸용을 위해서는 15 % 대역폭을 가져야 한다. 마이크로

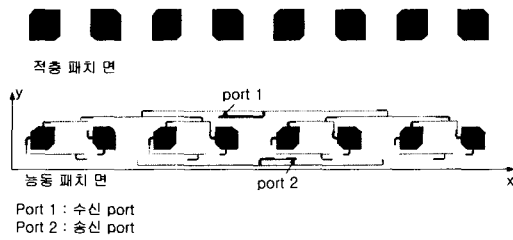


그림 3. 제작된 송수신 겸용 안테나 부배열  
Fig. 3. The antenna subarray for simultaneous radiation of Rx and Tx.

스트립 패치 안테나는 능동 패치와 적층 패치로 구성된 광대역 적층형 안테나를 사용한다<sup>18)</sup>. 단위 부배열의 크기는 224 mm×28 mm이다. 안테나 송신 급전과 수신 급전은 능동 패치의 단일 면에 위치한다.

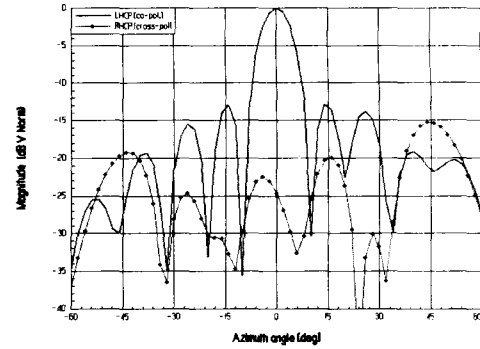
마이크로스트립 패치 안테나의 설계 파라미터는 표 2와 같다. 첨자 1은 능동 패치 기관의 파라미터이다. 첨자 2는 능동 패치와 적층 패치 사이의 공간 파라미터이다. 첨자 3은 적층 패치의 파라미터이다.

그림 4는 설계된 부배열 안테나의 수신 및 송신 빔 패턴을 보인다. 계산된 수신 부배열 안테나 이득은 15.1~16.0 dBi 이며, 송신 부배열 안테나 이득은 16.2~17.0 dBi 이다. 부배열 128개를 고려한 안테나 전체 이득은 수신 이득 36.1~37.1 dBi 이며, 송신 이득 37.2~38.1 dBi 이다.

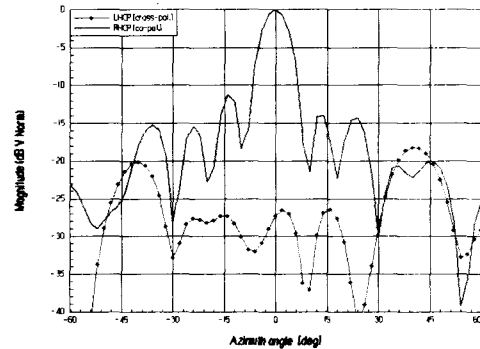
안테나에 송수신 겸용 안테나 소자를 사용하는 경우는 수신 급전부로의 송신 고출력 잡음 누설과 송신 신호 전력의 수신용 저잡음 소신호 증폭기 전

표 2. 마이크로스트립 패치 안테나 설계 파라미터  
Table 2. The design parameters of microstrip patch antenna.

파라미터 항목	수신	송신
적층 패치 기관 유전율	$\epsilon_{r3}$	2.5
적층 패치 기관 두께	$t_3$	0.508 mm
층간 공간 유전율	$\epsilon_{r2}$	1
층간 공간 두께	$t_2$	2.5 mm
능동 패치 기관 유전율	$\epsilon_{r1}$	3.5
능동 패치 기관 두께	$t_1$	0.508



(a)



(b)

그림 4. 설계된 1×8 배열의 부배열 안테나 빔 패턴  
((a)  $f = 7.5$  GHz, (b)  $f = 8.15$  GHz)  
Fig. 4. The computed beam pattern of subarray with 1×8 array structure.((a)  $f = 7.5$  GHz, (b)  $f = 8.15$  GHz)

력 포화를 고려해야 한다. 안테나는 송신 신호 전력을 억압하기 위하여 수신 대역통과 필터를 안테나 수신 급전부에 설치한다. 수신 주파수 대역에서의 송신 고출력 잡음은 통신 품질 신호 대 잡음 비를 저하시킨다. 이것을 방지하는 송신 대역통과 필터는 안테나 송신 급전부에 설치한다. 필터는 송신과 수신에서 150 MHz 근접한 대역을 45 dBc 이상 억압하도록 설계하였다.

### 2-2 송수신 능동채널

송수신 능동채널 블록은 수신에서 저잡음 증폭과 수신 빔을 위한 위상변환 기능을 제공하고, 송신에서 고출력 증폭과 송신 빔을 위한 위상변환 기능을 제공한다. 안테나는 위성통신 신호를 송신 또는 수신하는 주 빔과 위성의 비콘 신호를 추적하는 추적

빔을 가진다. 주 빔은 128개의 송수신 능동채널 블록으로 빔 패턴 지향 방향을 제어한다. 추적 빔은 128개 능동채널 블록과 2개의 빔 성형 블록을 이용하여 추적 빔 패턴 지향 방향을 제어한다.

안테나는 주 빔과 추적 빔을 만들기 위하여 주 빔의 배열 수와 추적 빔의 배열 수가 틀린 직렬 비대칭 배열 이중 빔 안테나 구조를 가진다. 각 배열은 능동채널 블록을 가지고, 각 블록은 빔 스캔을 위한 위상제어 소자를 가진다. 안테나와 능동채널의 연결은 그림 5와 같다. 그림은 직렬 비대칭 배열 구조를 가지는 능동채널의 연결 구조를 설명한다.

주 빔을 만드는 첫째 층은  $32 \times 4$  이차원 배열이며 128개 능동채널을 가진다. 추적 빔을 만드는 둘째 층은  $4 \times 2$  이차원 배열이며 8개 능동채널을 가진다. 첫째 층 능동채널  $4 \times 2$  배열마다 둘째 층 1개 능동채널이 연결된다. 빔 성형 블록당 4개의 채널을 가지므로, 모두 2개의 빔 성형 블록이 사용된다. 능동채널당 1개의 위상제어 소자를 가진다. 두 층간 직렬 연결 구조에서 첫째 층 위상제어 소자에 비교하여 둘째 층은 1/16배로 적은 위상제어 소자를 가진다. 이 구조는 기존 구조에서는 두 층 합계 256개 소자가 필요한 것과 비교하여, 44 % 감소한 144개의 상대적으로 적은 위상제어 소자수를 가진다.

능동채널 블록은 128개가 제작되므로 각 특성이 균일할 수 없다. 불균일한 이득 분포는 2 dB 이내로 허용한다. 발생하는 불규칙 효과에 따른 배열 안테

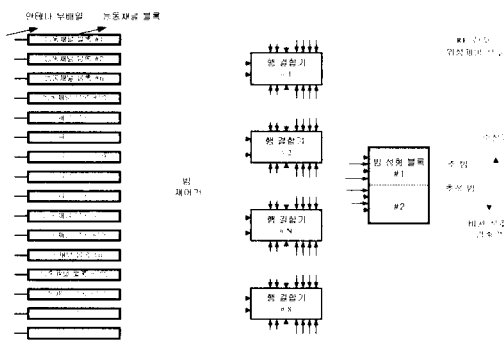


그림 5. 안테나 및 직렬 비대칭 배열 능동채널의 연결 구조

Fig. 5. The connecting structure of antenna and active channel with asymmetrical series array.

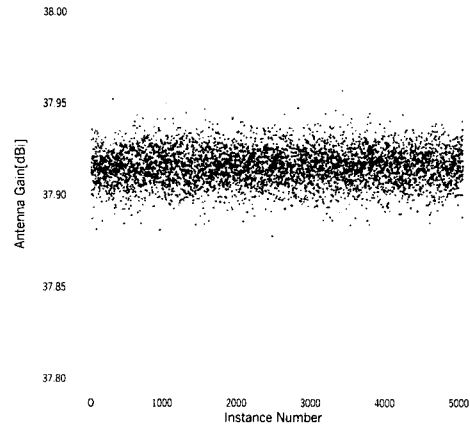


그림 6. 계산된 능동채널 이득 오차에 따른 불규칙 효과

Fig. 6. The computed random effect caused by active channel gain variation.

나 지향 이득 오차는 배열 안테나 지향 이득 일반 계산식으로 예측할 수 있다. 계산된 결과는 그림 6과 같이 0.1 dB 이내 안테나 지향 이득 오차로 예측된다. 0.1 dB는 허용할 수 있는 오차이다.

빔 제어를 위한 각 블록의 위상 변화는 디지털 위상변위기를 사용한다. 제어량은 4 비트와 5 비트의 빔 스캔 시에 발생하는 안테나 지향 이득 손실량을 평가하여 4 비트  $22.5^\circ$  간격을 갖도록 선택하였다. 그림 7은 계산된 지향 이득이 0.2 dB 손실을 갖는 것을 설명한다. 0.2 dB 손실은 허용할 수 있는 오차

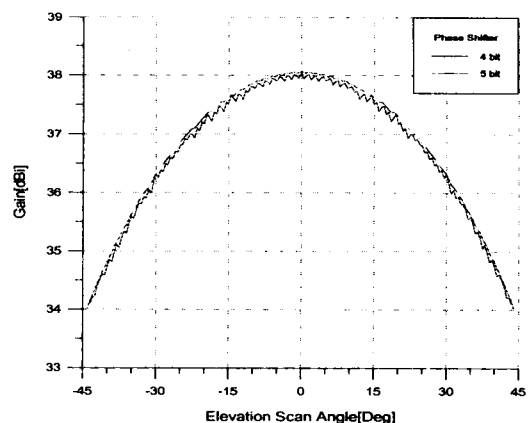


그림 7. 계산된 위상제어 대 안테나 이득 포락선  
Fig. 7. The computed gain envelope per bit numbers of digital phase control.

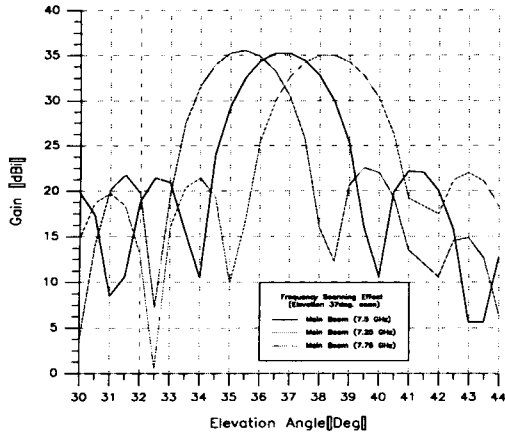


그림 8. 계산된 주파수 스캔 효과 지향 오차  
Fig. 8. The computed direction errors by frequency scan effect.

이다. 능동채널의 위상제어 소자인 디지털 위상변위기는 핀 다이오드를 사용하여 설계하였다<sup>9)</sup>.

능동채널 블록의 수신부는 1.2 dB 잡음지수를 가지도록 설계하였다. 송수신 이득의 대역 내 평탄도는  $\pm 2.0$  dB를 유지하도록 하였다.

안테나는 최대 500 MHz 간격까지 주파수가 다른 주 빔과 추적 빔의 이중 빔 구조를 가진다. 6.7 %의 주파수 차이는 3 dB 빔폭이 2.2°인 안테나에서 주파수 스캔 효과에 의한 오차를 발생시킬 수 있는 넓은 대역폭이다. 그림 8은 추적 빔의 배열 수가 주 빔의 배열 수보다 적은 안테나에서 각 주파수의 빔들이 다른 지향 방향을 가지는 주파수 스캔 효과의 지향 오차 발생을 설명한다. 안테나의 계산된 지향 오차는 2.5°이다.

이러한 주파수 스캔 효과에 의한 지향 오차를 개선하기 위하여, 주 빔의 주파수에서 동작하는 32×4 배열의 위상제어 값을 추적 빔의 주파수에서 동작하는 4×2 배열의 위상제어 값으로 보상한다.

### 2-3 위성추적 빔 제어

위성추적은 하이브리드 추적을 적용한다. 전자적 빔 제어는 앙각  $\pm 35^\circ$ 와 방위각  $\pm 4^\circ$  방향의 이차원 빔 스캔이 가능하도록 하였다. 전자 빔 제어 속도는 위성 추적 및 신호 검출과 위성 위치 계산 및 각 배열 위상제어 소자의 제어값 계산을 포함하여 2

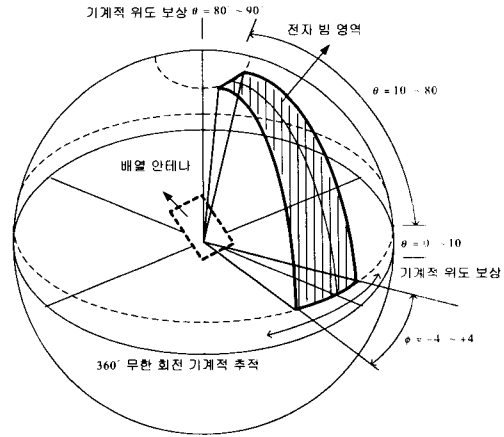


그림 9. 안테나 시스템의 하이브리드 추적 운동  
Fig. 9. The hybrid tracking of antenna system.

msec/cycle 이내가 되도록 하였다. 기계적 빔 제어는 방위각 360° 무한회전이 가능하도록 하였다. 앙각 제어가  $\pm 10^\circ$  범위에서 가능하도록 하여 선박의 위도 변화에 따른 지향 각도 변화에 저속으로 반응하도록 하였다. 방위각 방향 기계적 제어 최대 속도는 45°/sec 가 되도록 하였다. 그림 9는 안테나 시스템의 하이브리드 추적 운동을 앙각  $\theta$ 와 방위각  $\phi$ 의 좌표로 설명한다. 안테나의 정방향 지향각은 45°이다.

안테나의 시스템 제어는 송신 빔 제어, 수신 빔 제어, 전력 구동 제어, 기계적 구동 제어, 위성 추적 제어 기능 등에 따라 상호 통신으로 연결되는 독립된 제어보드를 사용하며, 연산 및 판단 시간을 단축하도록 설계하였다. 제어 상태 및 안테나 동작의 감시와 제어는 프로그램에 의해 가능하도록 하였다.

안테나의 위성 추적을 위하여 초기 추적, 정상 추적, 반복 추적 기능을 제공하였다<sup>10)</sup>. 송신 빔 제어는 수신 빔 제어 결과를 이용하며, 위성 추적이 안 되면 송신 전력을 차단하도록 하였다. 안테나 3 dB 빔폭을 고려하여 전자 빔의 이동은 0.2°의 해상도를 갖도록 하였다.

### III. 제작 및 측정

안테나 시스템은 배열 안테나와 안테나 프레임 그리고 기계적 구동장치 세 부분으로 나누어 제작

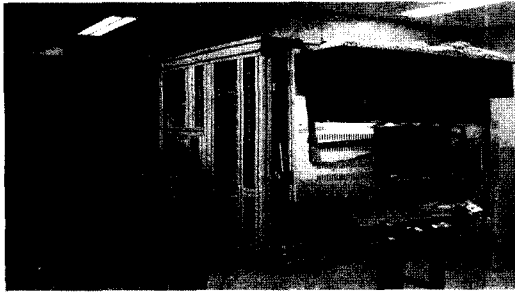


그림 10. 제어보드가 조립된 안테나 시스템  
Fig. 10. The antenna system with fully integrated control boards.

한다. 제작된 배열 안테나는 독립적인 전자 빔 스캔이 가능하다. 배열 안테나는 초기위상 측정 과정을 통한 위상제어 초기값을 보상한다<sup>[11]</sup>. 초기위상 보상된 안테나는 근역진계 측정장치를 사용하여 빔 패턴을 측정한다.

안테나는 회전 가능한 안테나 프레임에 조립되며, 기계적 구동장치에 최종 조립된다. 부속 장치를 포함하여 전체 크기는 폭 1.4 m, 높이 1.9 m, 길이 1.4 m이다. 안테나 배열면의 크기는 89.6 cm×100.8 cm이고, 안테나 개구면의 크기는 89.6 cm×89.6 cm이다. 부배열의 크기는 224 mm×28 mm 이다. 위성 추적 제어보드와 빔 제어보드가 조립된 안테나 시스템 형상은 그림 10에 보인다.

제작된 부배열 안테나의 지향 이득은 수신 14.3 dBi 및 송신 14.6 dBi 이득으로 측정되었다. 따라서 안테나 지향 이득은 수신 35.4 dBi 송신 35.7 dBi 이다. 안테나 효율은 수신 54 %, 송신 49 %이다. 전자 빔 스캔 측정에서 안테나는 양각 ±35°와 방위각 ±4° 방향의 정상적인 빔 스캔 동작을 하였다. 그림 11은 빔 스캔 측정 결과이다.

안테나 3 dB 빔폭은 2.2°이다. 주파수 스캔 효과에 의한 지향 오차 개선 이후의 측정된 지향 오차는 최대 0.2°이다. 3 dB 빔폭을 고려하면 이 값은 허용될 수 있다. 안테나는 송신에서 부엽 레벨 -14 dB와 교차편파 억압 21 dB의 특성을 가진다. 수신에서는 부엽 레벨 -14 dB와 교차편파 억압 19 dB의 특성을 가진다.

안테나의 시스템 시험은 시뮬레이터 환경에서 수행하였다<sup>[12]</sup>. 시뮬레이터는 위성 중계기 시뮬레이터

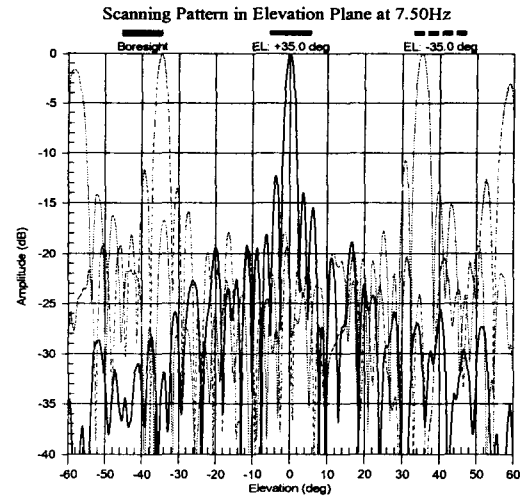


그림 11. 안테나 빔 스캔 패턴(좌로부터  $\theta_0 = -35^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+35^\circ$ )  
Fig. 11. The antenna beam's scanned pattern(from left  $\theta_0 = -35^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+35^\circ$ ).

와 육상에서 사용 가능한 선박 운동 시뮬레이터를 이용한다. 선박 모의 운동 상태에서, 단일 반송파 신호를 이용한 추적 성능 시험과 실 변조 신호를 이용한 전체 기능 시험을 실행하였다. 위성 중계기 시뮬레이터는 수신 주파수 대역 내에서의 비콘 신호를 송출한다. 안테나가 비콘 신호를 정상 수신하여 추적하면, 송신 신호를 중계기 시뮬레이터로 전파한다. 이 신호는 중계기를 경유하여 안테나로 재 전파되고, 안테나가 수신한다. 송신 신호와 수신 신호의 상호 전력 차이를 비교하여, 안테나의 시스템 성능을 시험한다.

선박 모의 운동은 요잉  $\pm 20^\circ/\text{sec}$ , 롤링  $\pm 10^\circ/\text{sec}$ , 피칭  $\pm 10^\circ/\text{sec}$ 의 운동을 제공하였다. 운동 상태에서 안테나는 정상 동작을 하였다. 그림 12는 초기 추적 후 50초가 경과한 시점에서 안테나 시스템의 위성추적 성능 시험 결과를 설명한다. 수신되는 위성 신호의 변동치는 추적 오차를 의미한다. 위성 추적이 정상인 경우는 3 dB 이내 추적 오차를 가져야 한다. 측정된 결과는 추적 오차가 3 dB 이내임을 보인다.

실 변조 신호를 이용한 시험은 변조된 신호가 안테나 시스템을 경유하여 발생할 수 있는 신호 왜곡을 확인하는 시험이다. 변조 신호는 무궁화 3호의

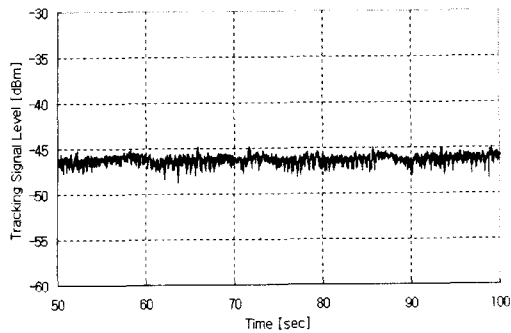


그림 12. 안테나 시스템 위성추적 성능 시험 결과  
Fig. 12. The tracking performance test result of the antenna system.

위성방송 신호를 사용하였다. 직접 수신된 방송 화면은, 주파수 변환 후에 안테나 시스템과 위성 중계기 시뮬레이터를 경유하여 수신된 후에 복조된 방송 화면과 비교하여 동일한 화질을 보여주었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 선박에 탑재하여 해상에서 이동 중 위성통신을 수행하는 능동 위상배열 안테나 시스템의 설계를 설명하였다. 그리고 제작과 시험을 설명하고 결과를 서술하였다. 안테나와 시스템은 광역 하이브리드 추적, 송수신 겸용 안테나 소자 및 부배열, 비대칭 배열, 송수신 간의 간섭 억압 및 주파수 스캔 효과를 보상하는 위상제어 기술 등의 새로운 구조와 기술을 적용하였다.

안테나는 32×4 배열의 128개 부배열로 구성된다. 각 부배열은 8×1 배열의 송수신 겸용 마이크로 스트립 적층형 안테나를 가진다. 안테나는 두개의 빔을 만들기 위하여 직렬 연결 비대칭 배열의 이중 구조를 가진다. 안테나의 수신 주파수는 7.25~7.75 GHz 이고 송신 주파수는 7.9~8.4 GHz 이다. 안테나 지향 이득은 수신 35.4 dBi와 송신 35.7 dBi이며 최대 54 %의 효율을 가진다. 전자 빔 스캔 범위는 양각 ±35°와 방위각 ±4°이다. 안테나는 방위각 360° 무한회전과 양각 ±10° 제어가 가능한 하이브리드 추적 운동을 할 수 있다. 안테나 3 dB 빔폭은 2.2°이며, 부엽 레벨 -14 dB와 교차편파 억압 21 dB의 특성을 가진다.

안테나 성능은 근역전계 측정 시설을 이용하여 측정하였다. 시스템 성능은 선박 모의 운동 시뮬레이터 위에서 위성 중계기 시뮬레이터를 사용하여 시험하였다. 운동 상태에서 위성 추적 성능은 추적 오차 3 dB 이내이다. 무궁화 3호의 변조된 위성방송 신호를 주파수 변환하여 안테나 시스템의 변조 신호 송수신 시험에 사용하였다. 안테나 시스템이 사용되는 시점은 통신 주파수를 사용할 수 있는 향후 무궁화 5호가 가용되는 시점이 될 것이다. 안테나 시스템은 해당 시점까지 출현하는 새로운 기술을 적용하여 발전시킨다면 보다 효율적인 구조와 성능을 가지게 될 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Prestone. law, *Shipboard Antennas*, Artech house, pp. 65-72, 1983.
- [2] K. Fujimoto, J. R. James, *Mobile Antenna Systems Handbook*, Artech house, pp. 397-400, 1994.
- [3] S. I. Jeon, J. I. Choi, Ch. S. Yim, S. P. Lee and A. V. Shishlov, "Vehicular Active Antenna System with Combined Electronical and Mechanical Beam Steering for Reception from DBS in Ku-band", *XXVIII Moscow International Conference on Antenna Theory and Technology*, pp. 72-77, Sep. 1998.
- [4] Soon Ik Jeon, Young Wan Kim and Deock Gil Oh, "A New Active Phased Array Antenna for Mobile Direct broadcasting Satellite Reception", *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 46, pp. 34-40, Mar. 2000.
- [5] Jae-Seung Yun, Haeng-sook Noh, Soon-Ik Jeon and Jae-Ick Choi, "Wideband circularly-polarized microstrip 1x8 array antenna for TX/RX dual operation at X-band", *ITC-CSCC2002*, pp. 715-718, Jul. 2007.
- [6] Soon Ik Jeon, Jae Ick Choi and Seung Hyeub Oh, "Pseudo Random Effect on Linear Array Structure", *TSMW2002*, pp. 183-186, Mar. 2002.
- [7] Young-Bae Jung, Soon-Young Eom, Soon-Ik Jeon, Jae Ick Choi and Han-Kyu Park, "The



Design of T/R Module for X-Band APAA System Used in Satellite Communications", *IEEE MTT-S*, vol. 2, pp. 1337-1340, Jun. 2001.

[8] Haneishi, Yoshida and Goto, "A broadband microstrip array composed of single-feed type circularly polarized microstrip antennas," *IEEE AP-S*, pp. 160-163, May 1982.

[9] S. Y. Eom, S. I. Jeon, J. K. Choi and H. K. Park, "Compact Digital Phase Shifter for Active Phased Array Antenna System", *IMOC*, pp. 303-306, Aug. 2001.

[10] C. S. Pyo, Y. C. Moon, S. I. Jeon, D. G. Oh and H. J. Lee, "Tracking Method of Active Phased Array Antenna for Mobile Satellite Reception", *TSMMW2000*, pp. 87-90, Mar. 2002.

[11] Haeng-Sook Noh, Soon-Ik Jeon and Jong-Suk Chae, "A phase calibration method of active phased array antennas for satellite communication", *ITC-CSCC2002*, pp. 519-522, Jul. 2007.

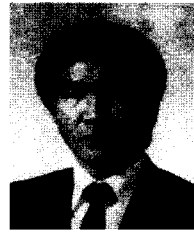
[12] Soon Ik Jeon, Jae Ick Choi, Young Kyun Choi and Seung Hyeub Oh, "Experimental APAA for Satellite Communications," *IEEE MTT-S*, vol. 2, pp. 1341-1343, Jun. 2001.

전 순 익



1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
 1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원  
 [주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품, 위성통신 RF 시스템, 위상배열 안테나 시스템

오 승 엽



1971년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1973년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1982년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1980년~1981년: 일본 토호쿠 대학교 객원연구원

1985년~1986년: 팬실바니아 주립대 객원 연구원  
 1984년~현재: 충남대학교 전자공학부 교수  
 [주 관심분야] 안테나 공학, 디지털 통신, RF 부시스템 설계 등

채 종 석



1977년 2월: 항공대학교 전자공학과 (공학사)  
 1979년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1985년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 위성 지구국, 디지털 위성방송, 전파방송, 이동기 방식 시스템