

# Ku 대역 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템 설계 및 실험

## Design and Experiment of Ku\_band Linear Active Phased Array Antenna System

류성욱 · 엄순영 · 윤재훈 · 전순익 · 김 남\*

Sung-Wook Ryu · Soon-Young Eom · Jae-Hoon Yun · Soon-Ick Jeon · Nam Kim\*

### 요 약

본 논문은 Ku 위성 방송 대역에서 동작하는 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템의 설계 및 실험에 관한 것으로, 안테나 시스템은 16개의 방사 능동 채널 및 16 채널 입력의 윌킨슨 전력 결합기 그리고 안정화 직류 전원 및 위상 제어 보드로 구성된다. 각 능동 채널 내에는 3-비트 디지털 위상 천이기가 존재하여 제어부로부터 위상을 제어 받아 전자적인 안테나 빔을 형성할 수 있다. 측정된 각 능동 채널간의 진폭 및 위상 편차는 각각  $\pm 0.8$  dB 이하 및  $\pm 15^\circ$  이하였으며, 각 능동 채널의 잡음 지수는 동작 대역 내에서 1.2 dB 이하의 성능을 갖는다.

전체 안테나 시스템의 측정 성능은 동작 대역 내에서 23.07 dBi 이상의 안테나 이득과  $-11.17$  dBc 이하의 사이드로브 레벨 그리고 정방향에서  $-12.75$  dBc 이하의 교차 편파 레벨을 보여 주었다. 또한, 능동 채널내 위상 제어를 통해  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ 의 빔 스캔 방사 패턴이 측정되었으며, 이때, 각각 1.1 dB, 2.5 dB, 3.6 dB의 빔 스캔 손실 성능을 보여 주었다.

### Abstract

In this paper, the linear active phased array antenna system operated in Ku DBS band was designed and experimented. The antenna system was composed of sixteen radiating active channels and Wilkinson power combiners with 16-channel inputs, a stabilizing DC bias and phase control board. Electrical beams of the antenna system can be formed by controlling the phase-states of 3-bit digital phase shifter inside each active channel by virtue of the phase control board.

The amplitude and phase deviations measured between active channels were less than  $\pm 0.8$  dB and  $\pm 15^\circ$ , respectively, and the noise figure of each active channel was measured less than 1.2 dB in the operating band.

The measured performances of the overall antenna system showed the antenna gain of more than 23.07 dBi and the sidelobe level of less than  $-11.17$  dBc, and the bore-sight cross-polarization level of less than  $-12.75$  dBc in the operating band. Also, by phase-controlling active channels, the beam scan patterns at  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$  were measured, and the losses caused by the corresponding beam scanning were 1.1 dB, 2.5 dB and 3.6 dB from the measurements, respectively.

Key words : Antenna, Active Phased Array Antenna

### I. 서 론

현대의 정보화 시대에는 이동하면서 고속의 이동 위성 멀티미디어 서비스 및 방송 서비스를 요구하고

한국전자통신연구원 안테나기술연구팀(Antenna Technology Research Team, Electronics and Telecommunications Research Institute)

\*충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(School of Electrical & Computer Eng., Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20060609-060

· 수정완료일자 : 2006년 7월 19일

표 1. 안테나 시스템의 주요 전기적 규격  
Table 1. Main electrical specifications of antenna system.

항 목	규 격
RF 입력 주파수 대역	11.7~12.0 GHz (DBS 방송 대역)
안테나 이득	22 dBi 이상
편파	좌현 편파(LHCP)
교차 편파 레벨 (@정방향)	-12 dB 이하
전자 빔 스캔 범위 (@3 dB 스캔 손실)	최대 $\pm 30^\circ$
입력 반사 손실	14 dB 이상
입력 임피던스	50 $\Omega$
안테나 구조	선형 능동 위상 배열 구조

있다. 안테나를 차량, 기차, 선박 그리고 항공기와 같이 이동체에 탑재하여 고속의 이동 위성 방송 서비스를 제공하기 위해서는 안테나가 실시간, 저손실로 위성을 추적하여야 한다<sup>[1],[2]</sup>. 안테나가 고속의 위성 추적 기능을 갖기 위해서는 위성 추적용 전자 빔이 구현되어야 하며, 이것은 능동 채널 내에 위상 제어 소자인 위상 천이기에 의해 이루어진다<sup>[3],[4]</sup>.

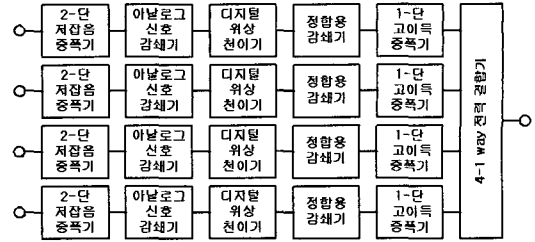
능동 위상 배열 안테나 시스템은 안테나 개구면을 부분적으로 나누어서 진폭 및 위상을 제어하는 것으로서 고속 전자 빔 스캐닝 기능뿐만 아니라 다양한 안테나 방사 패턴을 제어할 수 있는 장점이 있다. 그러므로, 무궁화 3호 위성에서 서비스하고 있는 Ku 대역 방송 신호를 이동 중에도 고속 전자적 빔을 통해 효율적으로 추적할 수 있다.

본 논문은 이러한 기능을 갖는 수신 전용 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템의 설계, 제작 및 실험에 관한 것으로 설계하고자 하는 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템의 주요 전기적 규격은 표 1과 같다.

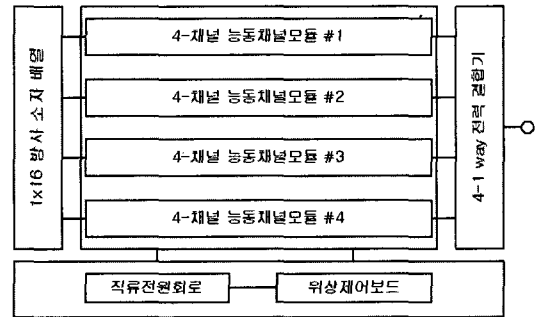
설계 제작된 안테나 시스템은 최대  $\pm 30^\circ$ 의 위성 추적 범위를 갖는 선형 능동 위상 배열로서 요구 규격에 따라 이차원 배열 안테나로 용이하게 확장 가능하다.

## II. 안테나 시스템 설계

### 2-1 시스템 구성도



(a) 4-채널 능동 채널 모듈 블록 구성도  
(a) 4-channel active channel module block diagram



(b) 전체 블록 구성도  
(b) Overall block diagram

그림 1. 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템의 블록 구성도  
Fig. 1. Block diagram of linear active phased array antenna system.

선형 능동 위상 배열 안테나 시스템을 구성하는 전체 블록 구성도는 그림 1과 같다.

선형 능동 위상 배열 안테나 시스템은 16개의 방사 소자, 16개의 능동 채널 모듈 그리고 5개의 4-way 전력 결합기로 구성된다. 또한, 각 능동 채널 모듈에는 2-단 저잡음 증폭기, 아날로그 신호 감쇄기, 디지털 3-비트 위상 천이기, 임피던스 정합용 감쇄기 그리고 1-단 고이득 증폭기로 구성된다. 여기서, 아날로그 신호 감쇄기는 능동 채널의 진폭을 제어하기 위해 사용되었다.

본 논문에서는 전체 안테나 시스템을 조립 및 시험하기 전에 각 구성 부품들을 설계, 제작, 실험하여 요구 성능을 검증하였다.

### 2-2 방사 소자 및 배열 설계

선형 배열 안테나 시스템의 방사 소자는 동작 대역폭을 고려하여 그림 2와 같은 마이크로스트립 스

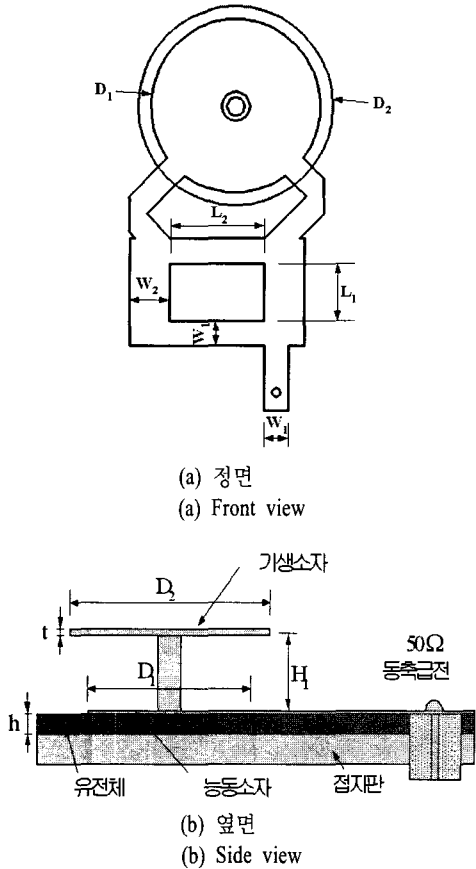


그림 2. 마이크로스트립 스택 방사 소자 구조  
Fig. 2. Structure of microstrip stack-patch element.

택 구조를 선택하였으며, 상용 설계 소프트웨어인 Ensemble™을 사용하여 최적화 설계되었다<sup>[5]</sup>.

그림 2에서 능동 소자는 유전율 2.17, 유전체 두께 20 mils인 Taconic사 TLY5A 테프론 기판상에, 그리고 구동 소자는 두께  $t=0.3$  mm인 도체 디스크로 구현되었다. 구동 소자는 두 소자의 중심부를 관통하는 도체 지지대를 사용하여 설치되었다. 이것은 능동 및 수동 소자의 중심부에는 중심 주파수에서 등가적으로 전류는 최대, 전압은 최소가 되는 단락점(short point)이 형성되므로 방사 패턴을 포함한 전기적인 성능에는 거의 영향을 주지 않는다.

좌현 편파를 형성하기 위해 90° 브랜치라인 하이브리드 결합기 소자를 사용하였으며, 50 Ω 격리 저항을 사용하지 않고, 두 입력 단자에 90°의 위상차를 갖도록 설계되었다.

최적화 설계된 마이크로스트립 스택 방사 소자의

표 2. 방사 소자의 최적화 설계 변수

Table 2. Optimal design parameters of radiating element.

설계 변수	설계값	설계 변수	설계값
$D_1$	9.6 mm	$W_1$	1.4 mm
$D_2$	11.0 mm	$W_2$	2.3 mm
$H_1$	2.0 mm	$L_1$	3.2 mm
		$L_2$	5.3 mm

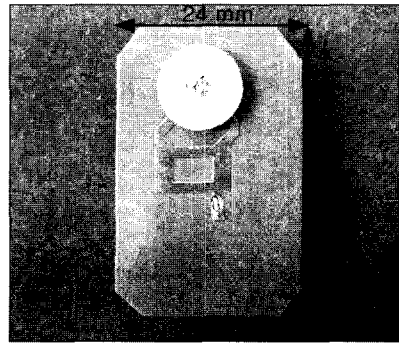


그림 3. 제작된 단위 방사 소자 시제품 사진  
Fig. 3. Photo of fabricated radiating element.

설계 치수는 다음 표 2에 요약 정리하였다.

제작된 단위 방사 소자의 시제품은 그림 3에 보여진다.

제작된 단위 방사 소자의 측정된 입력 반사 손실 성능은 그림 4에, 그리고 안테나 무반사실에서 측정된 방사 소자의 방사 패턴 성능은 그림 5에 각각 보

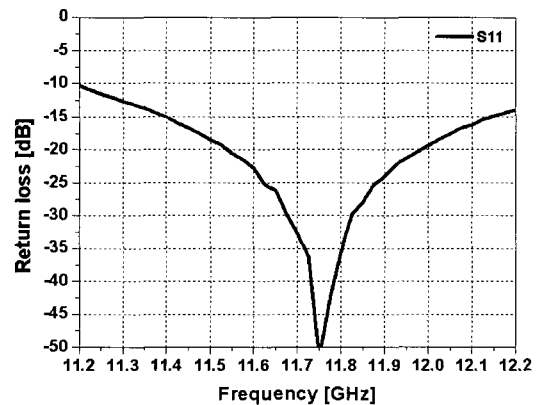


그림 4. 방사 소자의 입력 반사 손실 성능  
Fig. 4. Input return loss performance of radiating element.

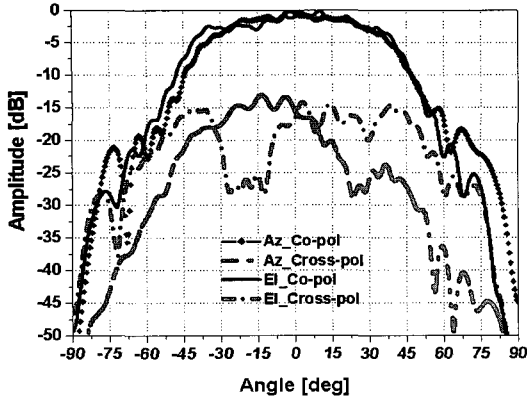


그림 5. 중심 주파수에서의 방사 소자의 방사 패턴 성능  
 Fig. 5. Radiation patterns of radiating element at center frequency.

여진다. 중심 주파수에서 측정된 방사 패턴은 정방향에서의 빔 피크 값으로 정규화 시켰다.

그림 4에서 보는 바와 같이 측정된 입력 반사 손실 성능은 동작 대역폭 내에서 15 dB 이상임을 알 수 있다. 또한, 그림 5의 방사 패턴 결과로부터, 중심 주파수에서 방위각 및 앙각에서의 3 dB 빔 폭은  $42.6^\circ$  ( $\pm 21.3^\circ$ )이며, 교차 편파 레벨은 정방향에서  $-13.35$  dBc 이상, 그리고 입력 커넥터 손실 0.5 dB 포함한 측정 이득은 10.8 dBi이었다.

배열 소자들간의 간격은 방사 소자의 이득 특성을 고려하여 결정하여야 한다. 즉, 각 방사 소자들간의 상호 결합(mutual coupling)이 없어야 하며, 소자들간의 결합량은  $-20$  dB 이하가 되도록 하여야 한다. 또한, 결합 특성을 개선하기 위해 배열 소자간 간격을 너무 멀리하여 개구면 효율 특성을 열화 또는 사이드로브 특성을 열화시키지 않도록 하여야 한다. 이러한 사항들을 고려하여 본 논문에서는 배열 소자간 간격을 23 mm(약  $0.91 \lambda_0$ 에 해당)로 최적화 선택하였다. 또한, 이러한 배열 간격은 능동 채널간의 간격과 집적 연관되므로 전체 기구 설계에 반영되었다.

### 2-3 능동 채널 모듈 설계

능동 채널 모듈은 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 2-단의 저잡음 증폭기, 진폭 제어용 아날로그 신호 감쇄기, 3-비트 디지털 위상 천이기, 임피던스 정합용 신호 감쇄기, 1-단의 고이득 증폭기 그리고 4-1

way 전력 결합기로 구성된다.

#### 2-3-1 저잡음 증폭기 설계

저잡음 증폭기는 NEC사의 저잡음 FET 소자인 NE3210S01을 사용하였으며, 이 소자의 직류 바이어스 선형 동작점은  $V_{ds}=2$  V,  $I_{ds}=10$  mA이다. RF 고주파 회로부와 직류 전원 회로부와는 RF 초우크 회로를 설계하여 삽입함으로써 동작 주파수 대역 내에서 등가적으로 RF 회로에 영향을 주지 않도록 하였다<sup>[6]</sup>. 또한, 직류 전원 차단용 DC 블로킹 소자는 회로 크기를 소형화하기 위하여 1.0 pF 캐패시터를 사용하였다. 이러한 저주파 대역에서 사용하는 집중 소자 캐패시터는 동작 주파수 대역 내에서 약 12 dB 정도의 입출력 반사 손실과 0.3 dB의 삽입 손실 특성을 보여준다.

제작된 2-단 저잡음 증폭기 시제품은 그림 6과 같으며, HP8510C 벡터망 분석기와 HP N8975A 잡음 측정 분석기를 사용하여 측정된 성능은 그림 7에 제시하였다.

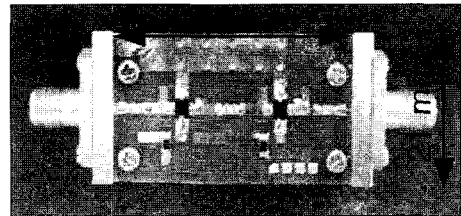


그림 6. 제작된 2-단 저잡음 증폭기 시제품 사진  
 Fig. 6. Photo of fabricated 2-stage low noise amplifier.

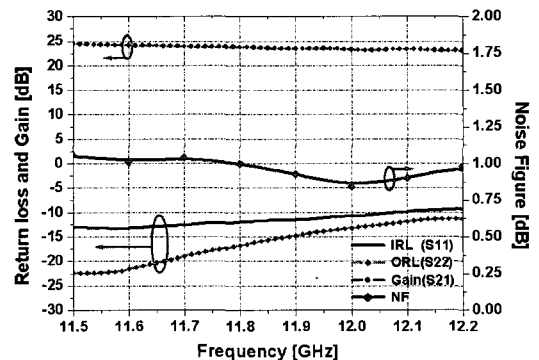


그림 7. 2-단 저잡음 증폭기의 전기적 성능  
 Fig. 7. Electrical performances of 2-stage low noise amplifier.

측정 결과는 동작 대역폭 내에서 선형 이득 23.3 dB 이상, 그리고 입력 및 출력 반사 손실은 각각 -10.8 dB 이상 및 -13.3 dB 이상임을 보여 주었다. 또한, 잡음지수는 동작 주파수 대역 내에서 1.04 dB 이하였다.

2-3-2 3-비트 디지털 위상 천이기 설계

3-비트 디지털 위상 천이기는 90° 브랜치라인 하이브리드 결합기 소자를 기본 소자로 하는 반사형 위상 천이기 구조이다<sup>[7],[8]</sup>. 위상 천이기 전체 회로 크기를 줄이기 위하여 내부 임피던스 시스템을 100 Ω으로 설계하였으며, 임출력단에 70.7 Ω의 λ/4 임피던스 변환기를 삽입하여 정합하였다<sup>[9]</sup>. 3-비트 디지털 위상 천이기의 내부 구성 블록도는 그림 8에 보여진다.

각 3개의 위상 비트당 2개의 핀 다이오드(Alpha사 DSG6405)가 사용되므로 전체 위상 천이기에는 6개의 다이오드가 사용되었으며, 각 다이오드의 동작 ON시 약 5 mA가 흐르도록 외부 바이어스 저항을 사용하여 조절하였으며, 이때, 다이오드의 동저항 값은 약 8.7 Ω이다. 또한, 모든 다이오드가 ON시 위

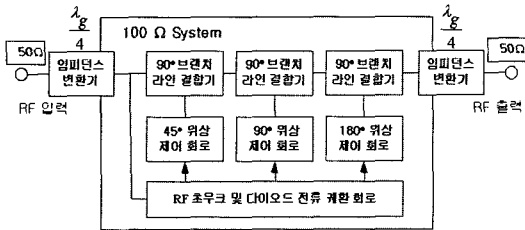


그림 8. 3-비트 디지털 위상 천이기의 구성 블록도  
Fig. 8. Internal block diagram of 3-bit digital phase shifter.

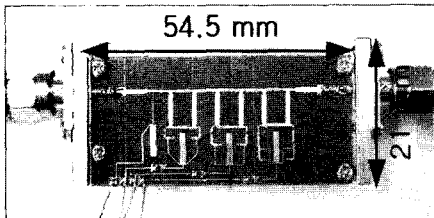
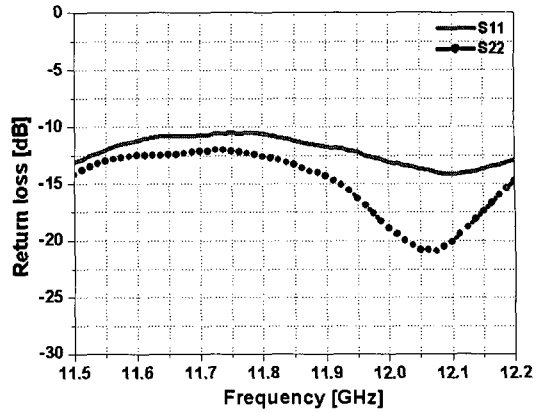
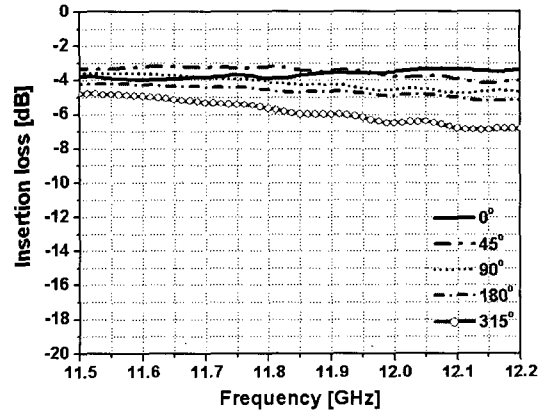


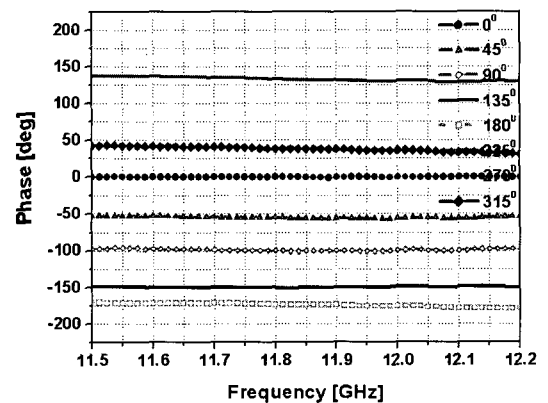
그림 9. 제작된 3-비트 디지털 위상 천이기 시제품 사진  
Fig. 9. Photo of fabricated 3-bit digital phase shifter.



(a) 입력 반사 손실 성능  
(a) Input and output return loss performances



(b) 삽입 손실 성능  
(b) Insertion loss performances



(c) 위상 성능  
(c) Phase performances

그림 10. 측정된 3-비트 디지털 위상 천이기의 전기적 성능  
Fig. 10. Measured electrical performances of 3-bit digital phase shifter.

상 천이기의 최대 소모 전류는 30 mA이다.

제작된 3-비트 디지털 위상천이기 시제품은 그림 9에 보여진다.

제작된 3-비트 디지털 위상 천이기의 전기적 성능은 HP8510C 벡터망 분석기를 사용하여 측정되었으며, 각 위상 제어량에 따른 측정 결과들은 그림 10에 제시하였다.

그림 10의 측정 결과는 3-비트 디지털 위상 천이기가 동작 주파수 대역폭 내에서 10 dB 이상의 입출력 반사 손실 성능과 -3.4 dB 이하의 삽입 손실 성능을, 그리고 45° 간격의 양호한 위상 천이 상태를 보여준다. 위상 제어 오차는 그림 10(c)의 측정 결과로부터 최대 8.8°의 누적오차를 보여줌을 알 수 있다.

능동 채널 모듈의 나머지 회로 부분으로 임피던스 정합용 신호 감쇄기와 고이득 1-단 증폭기, 그리고 4개의 능동 채널을 결합하는 4-1 way 전력 결합기가 있다.

임피던스 정합용 신호 감쇄기로는 3 dB  $\pi$ -형 구조가 사용되었으며, 1-단의 고이득 증폭기는 앞서 서술한 2-단 저잡음 증폭기와 유사하게 동작하나, 저잡음 특성보다는 고이득 특성을 갖도록 설계되었다. 그리고 4-1 way 전력 결합기는 1:1 윌킨슨 전력 결합기를 기본 구조로 하여 설계되었으며, 제작된 4-1 way 전력 결합기 시제품은 그림 11과 같다.

그림 12는 HP8510C 벡터망 분석기를 사용하여 측정된 4-1 way 전력 결합기의 전기적 성능을 보여준다.

그림 12의 측정 결과는 제작한 4-1 way 전력 결합기는 동작 주파수 대역 내에서 결합 손실 6 dB와 입출력 커넥터 손실을 포함하여 7 dB 이하의 삽입 손실 성능과 -22 dB 이하의 매우 양호한 입출력 반사

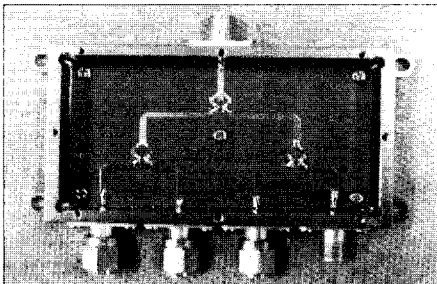


그림 11. 4-1 way 전력 결합기 시제품 사진  
Fig. 11. Photo of 4-1 way power combiner.

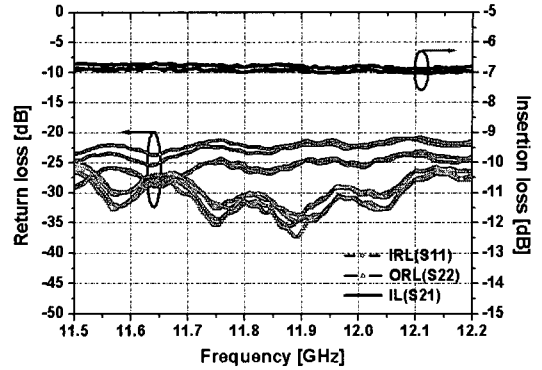


그림 12. 측정된 4-1 way 전력 결합기 전기적 성능  
Fig. 12. Measured electrical performances of 4-1 way power combiner.

손실 성능을 보여준다.

### 2-3-3 직류 전원부 및 제어부 설계

능동 채널 모듈내 능동 소자에 공급되는 직류 전원 및 3-비트 디지털 위상 천이기의 위상을 제어하기 위한 직류 전원부 및 제어부의 구성 블록도는 그림 13에 보여진다.

제어부에는 ATMEL 사의 원칩 ATMEGA8 칩 프로세스, 노트북 PC와 통신이 가능하도록 하는 MAX-232칩 그리고 8 비트의 입출력 레지스터와 I<sup>2</sup>C/ SM-Bus 인터페이스를 할 수 있는 PCA9557D 칩 및 TQ2-5V RELAY, ULN2803들을 사용하여 구현되었다. 제어부는 노트북 PC내 설치된 GUI 프로그램을 이용

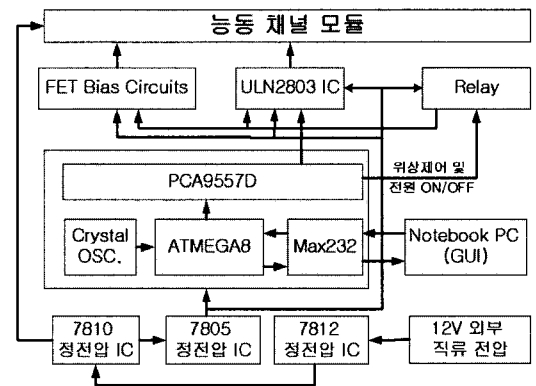


그림 13. 직류 전원부 및 제어부의 구성 블록도  
Fig. 13. Internal block diagram of DC bias and control part.

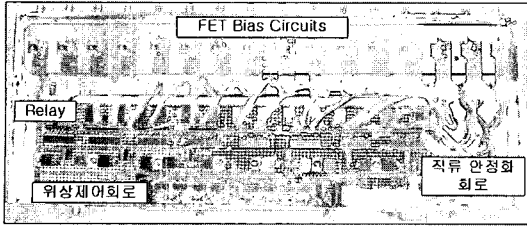


그림 14. 직류 전원부 및 제어부의 시제품 사진  
Fig. 14. Photo of DC bias and control part.

하여 능동 채널 모듈 내의 3-비트 디지털 위상 천이 기들을 독립적으로 위상 제어할 수 있다. 즉, GUI 프로그램은 16개의 독립적인 위상 천이기들의 8가지 ( $0^{\circ} \sim 315^{\circ}$ 까지  $45^{\circ}$  간격) 위상 상태를 제어할 수 있다. 또한, 각 능동 채널의 직류 전원을 독립적으로 ON/OFF 할 수 있는 기능을 갖고 있으므로 각 능동 채널의 전기적인 성능 측정은 물론 채널의 정상 동작 유무를 확인할 수 있다. 그림 14는 제작된 직류 전원부 및 제어부 시제품을 보여준다.

### III. 안테나 시스템의 성능 실험

#### 3-1 능동 채널 및 초기 위상 실험

제작된  $1 \times 16$  선형 능동 위상 배열 안테나 시스템의 시제품 사진은 그림 15에 보여진다.

안테나 시스템 시제품은 16개의 능동 채널부로 구성되며, 각 능동 채널부의 이득 및 잡음 지수 성능은 각각 벡터망 분석기(HP8510C)와 잡음지수 분석기(HP N8975A)를 사용하여 측정되었다.

측정된 각 능동 채널부의 이득 및 잡음 지수 성능은 그림 16에 제시하였다.

각 능동 채널의 이득 측정 결과로부터 중심 주파수에서 채널 평균은 24.43 dB이며, 평균 채널 변화량은  $\pm 0.8$  dB 범위 내의 있음을 알 수 있다. 또한, 각

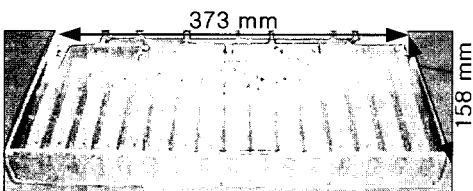
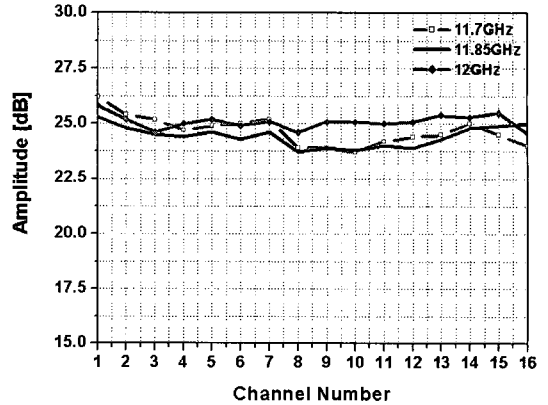
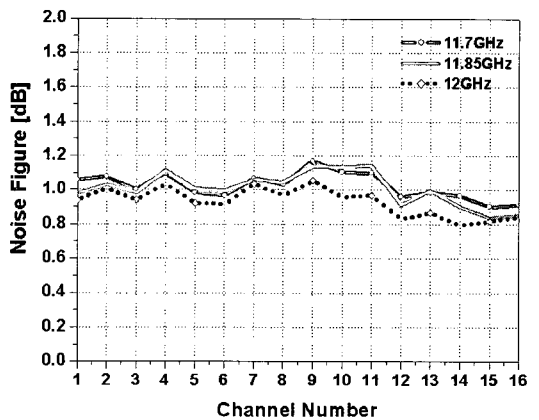


그림 15. 제작된 안테나 시스템 시제품 사진  
Fig. 15. Photo of fabricated antenna system.



(a) 채널 이득 성능  
(a) Channel gain performances



(b) 채널 잡음 지수 성능  
(b) Channel noise figure performances

그림 16. 능동 채널부의 전기적인 성능  
Fig. 16. Electrical performances of active channels.

능동 채널의 잡음 지수 성능은 1.2 dB 이하임을 알 수 있다.

그림 17은 각 능동 채널의 초기 위상 보정 및 안테나 방사 패턴을 측정하기 위해 안테나 무 반사실 에 설치된 안테나 사진을 보여준다.

안테나 시스템의 방사 패턴을 측정하기 전에 각 능동 채널의 초기 위상을 측정하여 보정하여야 한다. 제작된 안테나는 좌현 편파 신호만을 수신하고 송신 신호는 선형 편파 신호를 이용하므로 수직 및 수평 편파에 대하여 두 번 측정하게 된다. 중심 주파수에서 측정된 각 능동 채널의 초기 위상 성능은 그림 18에 제시하였다.

중심 주파수에서 측정 결과는 각 능동 채널간 초

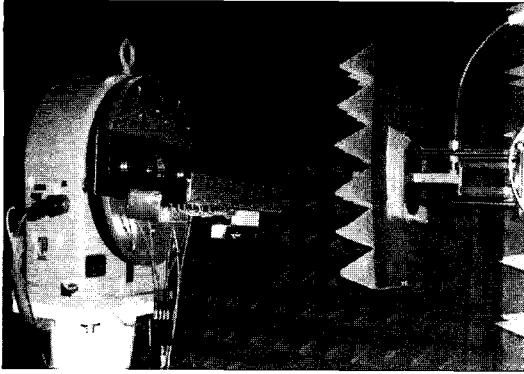


그림 17. 무 반사실에 설치된 안테나 시스템 시제품 사진

Fig. 17. Photo of antenna system installed anechoic chamber.

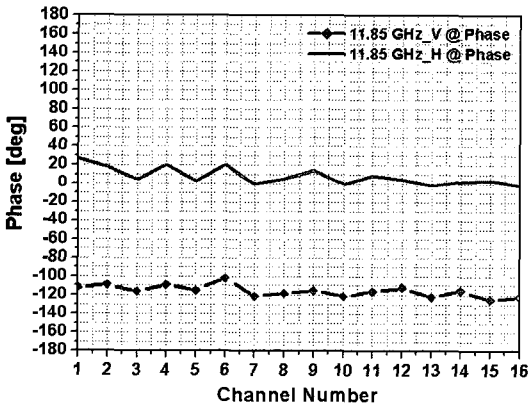


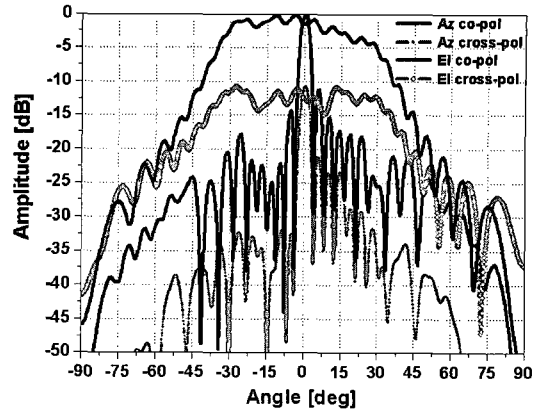
그림 18. 측정된 각 능동 채널의 초기 위상  
Fig. 18. Measured initial phases of each active channel.

기 위상 오차가  $\pm 15^\circ$  안에 있으므로, 보정용 위상 제어 비트는 없음을 알 수 있다.

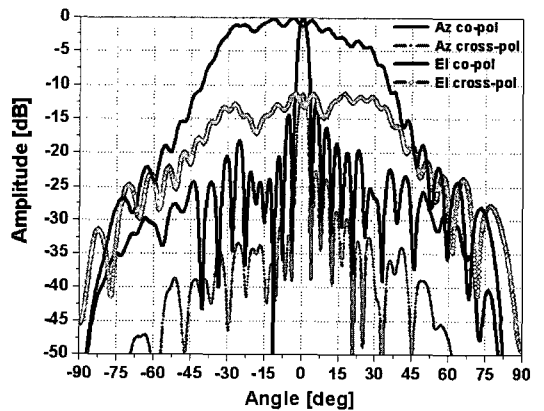
### 3-2 안테나 시스템 방사 패턴 측정

그림 16과 그림 18의 측정 데이터로부터 각 능동 채널에 의한 안테나 개구면에서의 진폭 특성은  $\pm 1.3$  dB의 평탄도 값을 가지므로 이상적으로 균일하지는 않으나 거의 균일한 것으로 근사할 수 있다. 그림 19는 균일한 진폭 분포라 가정할 때의 각 주파수에서 측정된 주편파 및 교차 편파의 방사 패턴을 보여준다.

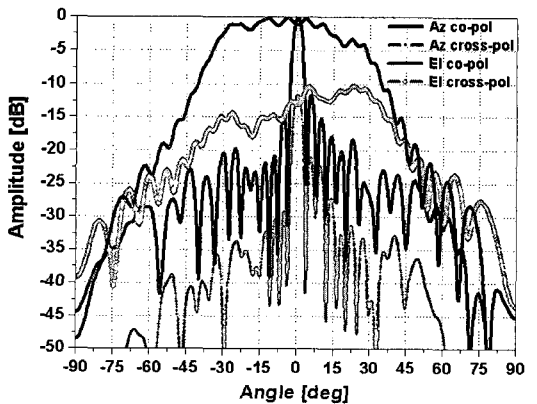
각 주파수에서 측정된 방사 패턴 결과는 표 3에



(a)  $f=11.7$  GHz에서 측정된 방사 패턴  
(a) Radiating patterns measured at 11.7 GHz



(b)  $f=11.85$  GHz에서 측정된 방사 패턴  
(b) Radiating patterns measured at 11.85 GHz



(c)  $f=12.0$  GHz에서 측정된 방사 패턴  
(c) Radiating patterns measured at 12.0 GHz

그림 19. 균일한 진폭 분포일 때 안테나 시스템 방사 패턴 특성

Fig. 19. Radiation patterns of antenna system with uniform amplitude distribution.



표 3. 각 주파수에서 측정된 방사 패턴 결과 요약  
Table 3. Summarized results of radiation patterns measured at each test frequency.

주파수 [GHz]	이득 [dBi]	방위각 빙폭[deg]	사이드로브 레벨[dBc]	교차 편파 레벨[dBc] @정방향
11.70	23.09	3.41	-11.17	-12.75
11.85	23.21	3.43	-12.75	-13.11
12.00	23.07	3.40	-11.54	-13.05

요약 정리하였다.

표 3의 측정 결과는 동작 대역 내에서 최소 23.07 dBi의 안테나 이득과 6° 부분에서 최대 -11.17 dBc의 사이드로브 레벨 그리고 정방향에서 최대 -12.75 dBc의 교차 편파 레벨을 가짐을 알 수 있다. 이것은 이상적인 균일한 진폭 분포를 갖는 경우에 예측되는 값들과 비교하여, 빙 폭이 약 0.2°만큼 약간 증가하였으며, 사이드로브는 0.75 dB 정도 증가하는 차이를 보여주며, 이러한 차이는 능동 채널의 이상적인 진폭 및 위상 오차 때문에 발생한 것이다.

### 3-3 안테나 전자 빙 스캐닝 특성

다음은 선형 능동 위상 안테나 시스템의 전자 빙 스캐닝 기능을 실험하기 위한 것으로, 전자 빙 스캐닝 각에 따른 위상 천이기 배열 소자의 요구되는 위상 제어량은 다음 식 (1)에 의해 계산될 수 있다.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d_x \sin \theta_s \quad (1)$$

여기서,  $\Delta\phi$ 는 위상 천이량,  $\lambda$ 는 중심 주파수에서의 파장,  $d_x$ 는 x축 방향의 방사 소자간 배열 간격,  $\theta_s$ 는 빙 스캐닝 각을 나타낸다.

상기 식 (1)에 의해 10°, 20°, 30°의 전자 빙 스캐닝을 위해 16개의 위상 천이기가 위상 제어량 및 해당 코드를 표 4에 제시하였다. 이때, 기준 위상 천이기를 1번으로 설정하였다.

표 4의 빙 스캐닝에 따른 위상 코드를 사용하여 측정된 방사 패턴은 그림 20에 제시하였다.

10°, 20°, 30°의 빙 스캐닝시 손실은 빙 스캔하지 않았을 경우의 최대 안테나 이득 레벨과 비교하여 빙 스캔하였을 경우의 빙 스캔 각에서의 최대 안테나 이득 레벨과의 차이로서, 측정 결과로부터 각각

표 4. 빙 스캐닝에 따른 위상 천이량 및 위상 코드  
Table 4. Phase shifts and phase codes required for each beam scanning.

Antenna Beam Scan Phase Shift Code						
	10°	PS Code	20°	PS Code	30°	PS Code
1	0	0	0	0	0	0
2	57	1	112.3	2	164.1	4
3	113.9	3	224.3	5	327.8	7
4	170.5	4	335.8	7	130.9	3
5	231.7	5	96.3	2	307.1	7
6	285	6	201.4	4	100.7	2
7	341.6	0	312.8	7	263.5	6
8	37.8	1	63.5	1	65.5	1
9	103.3	2	192.6	4	254.1	6
10	153	3	290.5	6	37.2	1
11	209.3	5	41.3	1	199.2	4
12	265.1	6	151.3	3	0	0
13	335	7	288.9	6	201.2	4
14	21	0	19.6	0	333.7	7
15	77	2	129.8	3	134.9	3
16	132.5	3	239	5	294.5	7

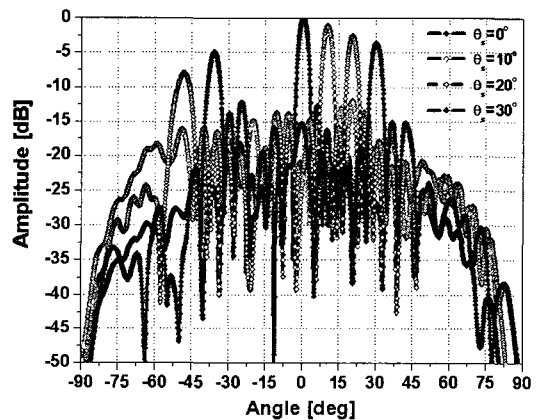


그림 20. 10°, 20°, 30° 빙 스캐닝시 측정된 주 편파 방사 패턴

Fig. 20. Radiation patterns with co-polarization measured at 10°, 20°, 30° beam scanning.

빙 스캔 손실이 1.1 dB, 2.5 dB, 3.6 dB 이하임을 알 수 있다. 그리고, 빙 스캔시 이론적으로 그레이팅 로브(사이드 로브의 일종)가 발생하는 위치는 다음 식

(2)에 의해 주어진다.

$$\theta_{gr} = \sin^{-1} \left( \frac{\lambda_0}{d_x} - \theta_s \right) \quad (2)$$

여기서,  $\theta_{gr}$ 는 그레이팅 로브가 발생하는 위치 각을 나타낸다.

식 (2)에 의하면 10°, 20°, 30° 빔 스캐닝시 첫 번째 그레이팅 로브가 발생하는 위치는 68.0°, 49.4°, 36.9°이다. 그림 20의 측정 결과로부터 10° 빔 스캐닝시 그레이팅 로브의 위치는 측정 패턴에서 레벨이 구분되지 않아 정확히 알 수 없으나, 20°, 30° 빔 스캐닝시 그레이팅 로브의 위치는 각각 48.2°, 35.8°로 이상적인 그레이팅 발생 위치와 매우 근접함을 알 수 있다. 이러한 근소한 오차는 각 위상 배열 소자들이 갖는 이산적인 위상 제어 오차 때문이다. 그리고, 20°, 30° 빔 스캐닝시 각 그레이팅 발생 위치에 측정된 레벨은 각각 -7.9 dBc, -4.9 dBc임을 알 수 있다. 이러한 결과는 단위 방사 소자의 빔 스캔각에서의 포락선 레벨과 직접 관련이 있으며, 빔 스캔을 크게 할수록 스캔 손실은 커지고 사이드로브 레벨은 올라감을 알 수 있다.

### 3-4 안테나 소모 전력

안테나 시스템 전체를 구동하기 위해 +12 V의 직류 외부 전원이 공급되며, 이때 소모 전류는 위상 천이기의 제어 상태에 따라 달라진다.

모든 능동 채널이 구동된 상태에서 0°, 10°, 20°, 30° 빔 스캐닝시 소모 전류는 1.05 A ~ 1.56 A의 범위 내에서 가변되었다. 그러므로, 전체 안테나 시제품의 개략적인 최대 소모 전력은 18.7 W 이하임을 알 수 있다.

## IV. 안테나의 위성 방송 수신 실험

그림 21은 시스템을 Ku 대역 위성 방송 신호를 수신하기 위해 옥외(outdoor)에 설치된 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템 사진을 보여준다.

그림 21의 시험 구성에는 양각 조정이 가능한 시험 지그에 설치된 안테나 시스템 시제품, 스카이라이프 셋탑 터미널 및 TV 모니터, 신호 스펙트럼 감시용 스펙트럼 분석기, 위상 및 전원 제어용 노트북

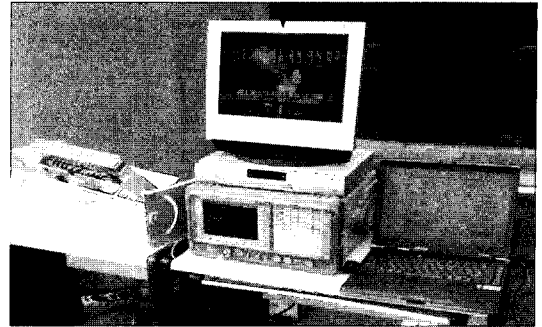


그림 21. Ku 대역 위성 방송 수신 시험  
Fig. 21. Receiving test of Ku-band satellite broadcasting.

PC 등이 사용되었다.

Ku 대역 위성 방송 신호의 측정 C/N은 약 10.3 dB 이상이었으며, 이것은 디지털 위성 방송 신호를 복조하기 위한 최소 요구 C/N보다 약 +1.8 dB의 마진을 갖는다. 만약에, 설계 마진을 더 증가하기 위해서는 양각 방향으로 안테나의 배열 개수를 더 확장시키면 된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 Ku 대역 위성 방송 신호를 수신할 수 있는 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템을 설계 및 제작하고, 안테나 시스템의 전기적인 성능들을 측정하였다.

설계된 안테나 시스템은 16개의 방사 능동 채널과 전력 결합기 그리고 직류 안정화 전원부 및 위상 제어부로 구성되었으며, 각 방사 능동 채널은 위성 신호를 수신하여 저잡음 증폭 및 전자 빔 형성을 위한 위상 제어 기능을 수행한다.

안테나 시스템을 구성하는 모든 단위 부품들은 개별적인 설계, 제작 그리고 실험을 통해 전기적인 성능들이 검증된 후 해당 모듈에 삽입되었다.

조립된 전체 안테나 시스템은 안테나 무반사실에서 초기 위상 보정 실험을 거친 후 방사 패턴 측정이 이루어졌으며, 0°, 10°, 20°, 30° 방위각 방향으로의 위상 제어를 통해 전자 빔 스캐닝 실험을 수행하여, 정상적으로 전자 빔이 이동함을 확인하였다.

또한, 제작된 안테나 시스템을 옥외에 설치하고 위성 방송 신호를 수신하는 실험도 수행하였으며,

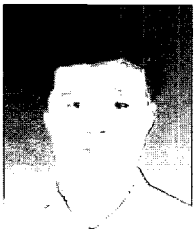
실험 결과 안테나 시스템은 위성 방송 TV 시청이 가능한 최소 C/N보다 약 +1.8 dB의 마진을 보여 주었다.

본 논문의 선형 능동 위상 배열 안테나 시스템 설계 및 제작 기술은 이차원 능동 위상 배열 안테나 시스템 기술로의 확장은 물론 향후 위성 통신/방송용 이동형 안테나 시스템 기술, 군용 및 상업용 레이더 시스템 기술 그리고 유비쿼터스 적용형 근거리 통신 시스템 기술로 활용 가능할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] S. I. Jeon et al., "Active phased array antenna for the vehicular DBS system of Ku-band", *XXVII Moscow ICATT IEEE AP-S*, pp. 253-256, Sep. 1998.
- [2] S. I. Jeon, Y. W. Kim, and D. G. Oh, "A new active phased array antenna for mobile direct broadcasting satellite reception", *IEEE Trans. on Broadcasting*, vol. 46, pp. 34-40, Mar. 2000.
- [3] S. Y. Eom et al., "Active channel blocks of active phased array antenna for the vehicular DBS system of Ku-band", *XXVII Moscow ICATT IEEE AP-S*, pp. 257-260, Sep. 1998.
- [4] S. Y. Eom et al., "Design and test of RACM in Ku-band vehicular APAA system for DBS reception", *Proceedings of the Inter. Conf. on Electromagnetics in Advanced Applications 99, Torino, Italy*, pp. 215-218, Sep. 1999.
- [5] G. Kumar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, 2003.
- [6] G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifier-Res: Analysis and Design*, 2nd Edition, 1997.
- [7] S. K. Koul, B. Bhat, *Microwave and Millimeter Wave Phase Shifters*, Artech House, Norwood, 1991.
- [8] P. J. Starski, "Optimization of matching network for a hybrid coupled phase shifter," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-25, no. 8, pp. 662-666, Aug. 1977.
- [9] S. Y. Eom, "X-band compact digital phase shifter design", *The Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 13, no. 7, pp. 907-915, Oct. 2002.

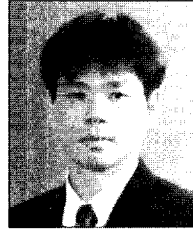
### 류 성 욱



2005년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)  
 2005년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정  
 2006년 2월~현재: 한국전자통신연구원 위촉연구원  
 [주 관심분야] 초고주파 수동/능동

회로 및 부품, 안테나시스템

### 엄 순 영



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

1991년 8월~1993년 7월: 이탈리아 Alenia Spazio사와 V-SAT (DAMA-SCPC) 시스템 국제공동개발  
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원  
 [주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 및 시스템, 안테나 시스템, 위성/이동 통신 RF 시스템 등

윤 재 훈



1984년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학사)  
1986년 2월: 중앙대학교 전자공학과 (공학석사)  
1998년 8월: 중앙대학교 전자공학과 (공학박사)  
1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

2002년 2월~현재: ETRI Journal 편집위원  
2006년 2월~현재: UST 이동통신/방송학과 교수  
[주 관심분야] 표준전자파발생기술, 전자파적합성기술, 안테나교정기술, EM해석기술 등

김 남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
1992년 8월~1993년 8월: 미 Stanford 대학 방문교수

2000년 3월~2001년 2월: 미 California Technology Institute (Caltech) 방문교수  
1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
[주 관심분야] 이동통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

전 순 익



1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)  
1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)  
2003년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)  
1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 안테나기술연구팀 팀장, 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 및 시스템, 안테나 시스템, CR 시스템 등