

SATCOM용 타일형 송신 위상배열안테나 시스템 설계

Design of Tile-Type Tx-Phased Array Antenna System for Ku-Band Satellite Communication

주태환 · 김기철 · 동문호 · 서종우

Taehwan Joo · Kichul Kim · Munho Dong · Jongwoo Seo

요 약

본 논문에서는 Ku 대역 위성 통신을 위한 타일형 송신 위상 배열안테나의 설계, 제작 및 성능시험 결과에 대해 기술하였다. 본 타일형 송신 위상 배열안테나는 1장의 RF/안테나 및 4장의 다층기판으로 구성된다. 안테나의 전기적 성능시험 결과, Ku 대역 동작 주파수의 중심에서 약 24 dBi의 이득 및 12° 빔폭을 나타내었다. 또한 동작 대역폭인 500 MHz에서 ϕ 방향 0° θ 방향 40° 빔지향시 전 대역에서 3° 이하의 빔 편이오차로 빔 지향 가능성을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 타일의 다수 결합을 통해 Ku 대역의 위성통신용 배열안테나 구현이 가능하며, 플랫폼의 다양한 형상에 적응 가능한 컨포멀 안테나를 구성할 수 있다.

Abstract

This paper presents the design, manufacture, and performance test results of a highly integrated tile-type transmit (Tx)-phased array antenna for Ku-band satellite communication, which comprises an RF/ANT board and four multi-layer boards. The electrical performance test of the antenna demonstrated a gain and beamwidth of 24 dBi and 12° at the center of the operating frequency in the Ku-band, respectively. Furthermore, the beam squint performance was less than 3° when the steering angles were 0° and 40° in the ϕ and θ directions, respectively. With the proposed tile-type antenna, a conformal phased array antenna can be produced for satellite communication in the Ku-band.

Key words: Tile Type, Tx Tile, Phased Array Antenna, Conformal Antenna, Satellite Communication

I. 서 론

일반적인 능동 위상배열안테나는 송수신 모듈, 냉각판, 신호 및 전력 분배 및 피드 네트워크로 구성된 해당 배열안테나의 물리적 레이아웃에 따라 브릭형, 트레이형, 타일형으로 구분된다.

브릭형 배열은 하나의 송수신 모듈이 직사각형의 벽돌

형태를 가진다^[1]. 에너지 저장 캐패시터, 신호 및 전력 분배회로 및 RF부 방사소자가 긴 벽돌에 수직으로 배치된다. 트레이 구조는 브릭형과 구조가 거의 동일하며, 각 부 배열 자체에 전원 공급장치가 내장되어 있다.

타일 배열구조에서는 송수신 모듈이 직사각형 타일모양이며, RF 모듈, 방사소자는 개구면에 평행하게 적층된다^[2]. 타일 배열구조는 브릭 형태에 비하여 배열 안테나

국방과학연구소 제2기술연구본부(The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development)

· Manuscript received November 25, 2019 ; Revised January 31, 2020 ; Accepted February 24, 2020. (ID No. 20191125-126)

· Corresponding Author: Taehwan Joo (e-mail: jooth01@gmail.com)

의 무게를 크게 줄이며, 형상 적응형 구조가 가능하다는 장점이 있다. 타일 배열구조는 매우 넓은 개구면을 가지면서도 경량화된 능동위상배열 안테나를 구성하기 위해 사용되는 기술로 항공기 등에 탑재되는 안테나로 응용 가능하다.

하지만, 타일형 위상배열 안테나는 다수의 소자를 높은 집적도로 배열하여 구성되므로 열문제로 성능 열화가 발생하기 쉽다^[3].

집적도와 열문제 등의 해결을 위해 타일형 위상배열안테나에서 부배열 구조, 전자-기계적 구동부 연동 빔조향 등 높은 집적에 의한 문제를 해결하려는 선행 연구가 있었다^{[4]~[6]}. 하지만, 부배열 구조는 그레이팅 로브 증가 등의 단점이 있으며, 전자-기계적 구동부는 운용환경 적응성(빔추적속도 및 정확도, 탑재 무게 증가 등)의 단점이 존재한다.

이로 인해 대형 위상배열안테나 시스템에서는 주로 브릭형 구조를 채택하고 있지만, 이는 평면형 구조로의 제작만 가능하다는 단점이 있다. 따라서 저피탐 등의 특성이 요구되는 적용 플랫폼의 안테나를 설계하기 위해서는 타일형 위상배열 안테나 기술이 요구되며, 이를 위해 국내·외에서 지속적으로 연구가 진행되고 있다^{[3]~[10]}.

본 논문은 위성통신에 적용 가능한 광대역 신호에 낮은 빔 편이 현상을 갖는 타일구조의 송신형 위상배열 안테나를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 타일안테나의 연속 배열을 통해 대형 플랫폼의 형상에 적응할 수 있는 컴포털 위상배열안테나 시스템이 구현 가능하다. 2장에서는 타일구조의 송신 위상배열안테나의 설계 사항을 기술하였으며, 3장은 타일형 송신 위상배열 안테나의 제작 및 성능시험 결과에 대해 기술하였다.

II. 타일형 송신 위상배열 안테나의 설계

2.1 타일형 송신 위상배열 안테나 설계 목표

유/무인 항공기에서 위성 통신을 위한 송신 레벨은 약 45 dBW 이상의 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)가 요구된다. 이는 본 논문에서 제시한 타일형 위상배열 안테나의 연속배열로 달성이 가능하다. 이를 만족하기 위한 개별 송신 타일 안테나 성능 지표를 표 1에 나타내었다.

표 1. 송신 타일형 위상 배열 안테나의 설계 목표
Table 1. Design specification of Tx tile array antenna.

Item		Freq.	Design target
Max steering sngle	Phi	Ku	0 ~ 360°
	Theta		0 ~ 60°
Operating frequency			500 MHz $f_L=f_c-250$ MHz $f_H=f_c+250$ MHz
Antenna gain			≥17 dBiL
Antenna beam width			≤14°
Beam pointing error			≤5.6°
Unit PA output power level			≥5 dBm

2.2 타일형 송신 위상배열 안테나 구성도

그림 1은 송신 타일형 안테나의 구성도를 나타낸다. 위성으로 송신될 신호의 증폭, 분배, 주파수 변환 및 빔 지향을 위한 위상 및 시간지연 회로로 주요 구성이 있으며, 이를 타일 내부 5장의 보드에 3차원 구조로 분산 배치하였다. 구성된 보드는 안테나/RF 보드, 1차~4차 MLB(Multi-Layer Board)로 나누어진다.

설계된 송신 타일 안테나는 L 대역 입력 신호를 분배하여 64개의 Ku 대역 출력신호를 생성한다. 타일 안테나의 신호 분배 및 주파수 변환, 증폭 통해 송신 타일안테나의 L 대역 신호 입력이 0 dBm일 때, 개별 PA(Power Am-

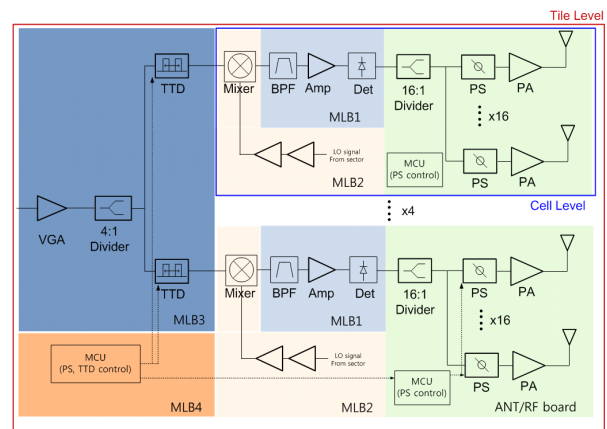


그림 1. 송신 타일 배열 안테나 구조도

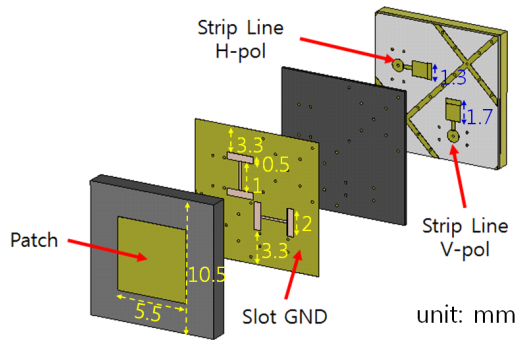
Fig. 1. Block diagram of Tx tile phased array antenna.

plifier)는 Ku 대역에서 약 10 dBm의 P1dB 출력을 갖도록 설계하였으며, PA에서 안테나의 피딩 손실은 약 1.5 dB를 갖는다.

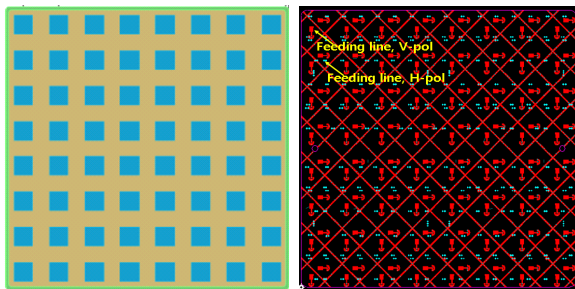
2.3 안테나/RF 보드 설계

송신 안테나는 패치 안테나 구조로 슬롯 커플링 급전을 통해 Ku 대역 주파수에 적합한 광대역 특성을 확보하였고, 수직/수평 편파 및 원형 편파 특성을 위하여 두 개의 급전 구조를 가지도록 설계하였다. 마이크로스트립 패치안테나가 존재하는 기판은 저유전율의 Teflon 재질($\epsilon=2.2$)의 1.02 mm 두께를 사용하였고, feed-line이 존재하는 기판은 고유전율의 로저스 기판($\epsilon=3.35$) 두께 0.51 mm를 사용하여 feed-line 폭을 줄여 공간을 확보하였다.

단일 패치안테나의 반사계수는 -17.6 dB를 갖도록 설



(a) 단일 복사소자의 설계 개념도
(a) Design concept of unit radiating antenna



(b) 8×8 배열 안테나의 설계
(b) Design of 8×8 array antenna

그림 2. 송신 타일의 안테나부 설계
Fig. 2. Design of array antenna in Tx tile.

계하였다. 설계된 배열 안테나의 시뮬레이션 결과는 양각 0° 일 때 -15 dB를 나타내었으며, 최대 지향 양각 60° 에서는 주파수에 따라 $-10 \sim -7.2$ dB의 active return loss를 나타내었다. 개별 안테나의 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)는 운용주파수에서 1.2~1.5 dB를 갖도록 설계하였다.

RF 기판의 설계 및 타일안테나 보드간 연동을 그림 3에 나타내었다. RF 기판은 전력 증폭기, 위상천이기와 이의 제어용 SPC(Serial to Parallel Converter)가 집적된 코어칩과 제어용 MCU(Micro-controller Unit) 및 1:16 신호 분배기로 주요 구성되었다. V-편파, H-편파의 선형 및 원형 편파 송신을 지원하기 위해 개별 안테나에 2개의 송신 경로가 필요하므로 총 128개의 코어칩을 RF보드에 배치하였다. 개별 코어칩은 Ku 동작 대역에서 이득 10 dB, 출력 P1dB 10 dBm 및 4 bit 위상천이가 가능하도록 집적되었다. PA 소자는 P1dB에서 약 10%의 효율을 가지며, 모든 동작주파수에서 S_{11} , S_{22} 는 -15 dB 이하로 안정적인 임피던스 정합이 가능하도록 설계하였다. 각 PA에서 5 dBm의 출력시 각 편파에서(64개 코어칩) 약 23 dBm의 위상배열에 의해 결합된 출력을 갖는다.

RF 기판은 Rogers사의 RO4350B, RO4450B, RO4003C 및 FR4로 이루어진 23층 기판으로 구성되었다. MLB의 두 층을 이용하여 설계된 1:16 분배기는 약 2 dB의 삽입손

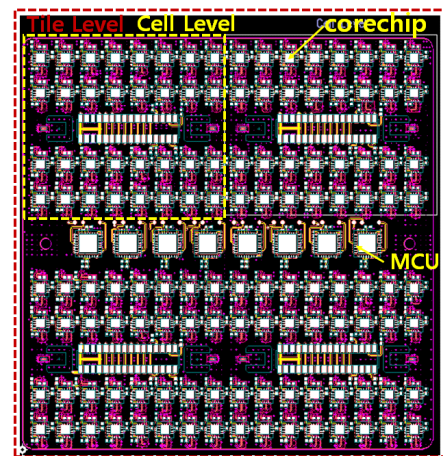


그림 3. 송신 RF 보드의 설계
Fig. 3. Design of Tx RF board.

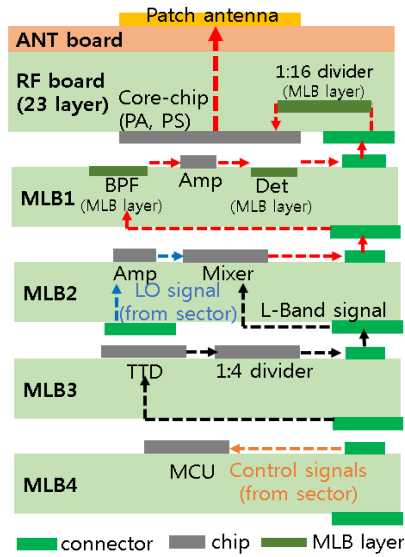


그림 4. 송신 타일 내부 신호 연동도

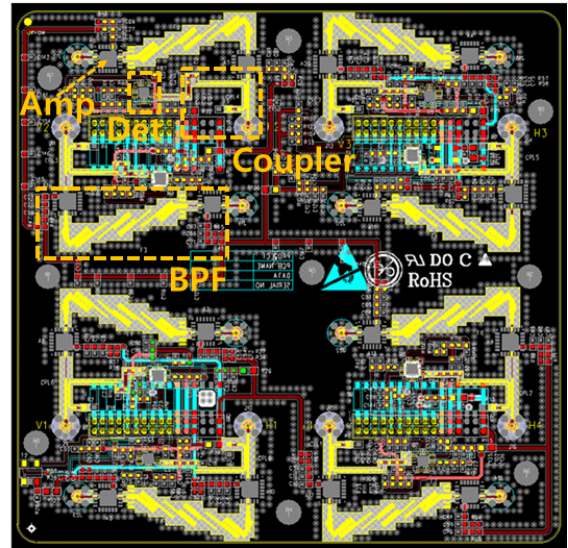
Fig. 4. RF signal interconnections in Tx tile ANT.

실을 갖는다. 집합 제작된 안테나/RF 보드의 두께 및 크기는 약 $4 \times 84 \times 84 \text{ mm}^3$ 이며, 셀의 크기는 이의 1/4이다.

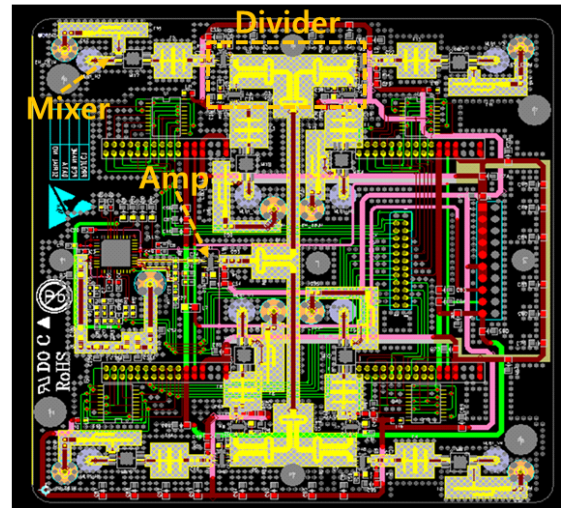
2.4 MLB 설계

MLB는 섹터부로부터 전달된 신호를 주파수 변환 및 셀별 분배를 통해 RF/안테나 보드로 전달해 주는 역할을 한다. 타일형 송신안테나 구성을 위하여 각각의 부품을 4층의 기판에 성능 최적화 및 용도를 고려하여 분산 배치하였다. 1~4차 MLB의 설계 및 제작 형상도를 그림 5, 6에 나타내었다. 3차 MLB는 주요 기능은 섹터부로부터 인가 받은 L 대역 신호를 TTD(True Time Delay) 소자를 이용하여 광대역 빔 편이 없이 빔 지향제어를 한다. 본 타일형 안테나는 위성통신을 위해 송신 전대역인 약 500 MHz의 빔 스캔트를 최소화 지원 가능하도록 설계해야 한다. 이를 위해 TTD는 5 bit 구조로 설계되었으며, 100~3,100 ps 까지 시간 지연이 가능하다. 이를 통해 양각 60°에서 2° 수준의 빔 편이오차의 운용이 가능하다^[10]

2차 MLB는 섹터부로부터 인가받은 LO(Local Oscillator) 신호를 증폭하여 믹서에서 RF 신호를 생성한다. 본 송신타일의 주파수 변환은 SSB(Single Side Band) 구조를 택



(a) 1차 MLB 설계 형상도

(a) Design of 1st MLB

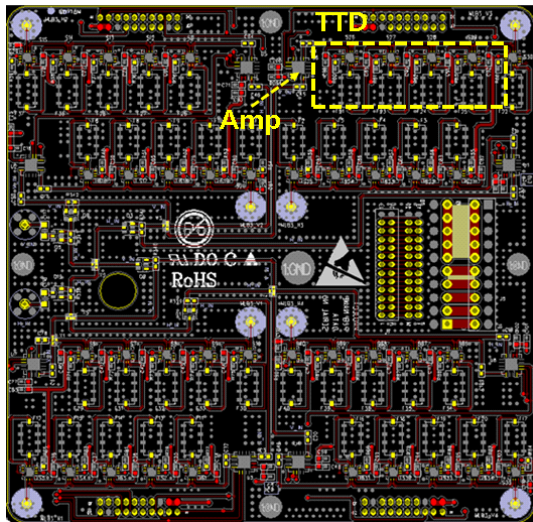
(b) 2차 MLB 설계 형상도

(b) Design of 2nd MLB

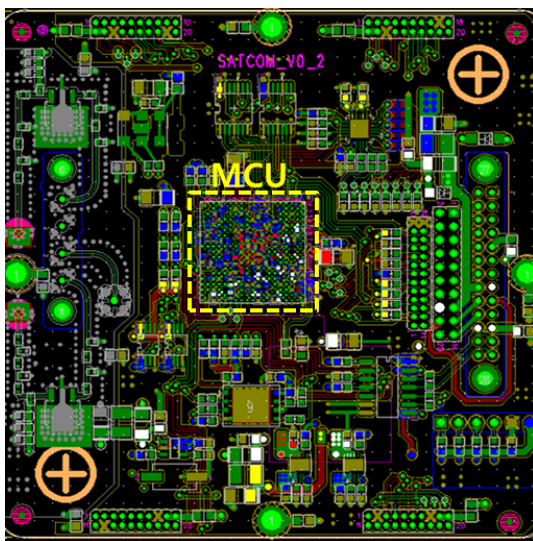
그림 5. 송신 타일 1, 2차 MLB 설계 형상도

Fig. 5. Design of the 1st and 2nd MLB.

하고 있으므로, RF 주파수 변환이후 이미지 신호와 LO 누설신호의 제거가 필수적이다. 이는 수신단과의 간섭과 다른 사용 주파수로의 영향성을 최소화하기 위해 BPF(Band Pass Filter)는 LO 누설신호 및 이미지 신호를 각각 30 dB, 50 dB 이상 억압이 필요하다.



(a) 3차 MLB 설계 형상도
(a) Design of 3rd MLB

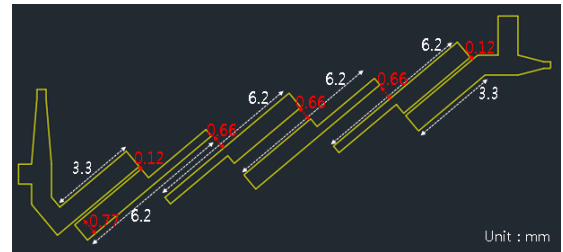


(b) 4차 MLB 설계 형상도
(b) Design of 4th MLB

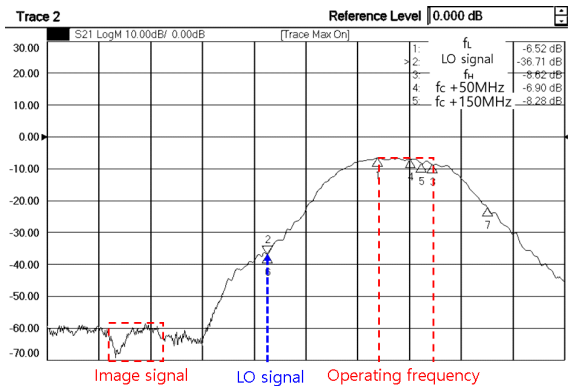
그림 6. 송신 타일 3, 4차 MLB 설계 형상도
Fig. 6. Design of the 3rd and 4th MLB.

1차 MLB에서 BPF를 설계하여 주었다. BPF는 MLB의 최상층 레이어를 이용하여 Edge-coupled 구조로 설계하였다. 또한 안테나/RF 보드 전달 전 MLB의 최종 출력 신호 상태 검증을 위하여 -20 dB 커플러를 설계하였다.

커플러를 통해 검출된 신호를 디텍터 회로를 통하여



(a) LO 및 이미지신호 제거용 필터 설계
(a) Design of BPF for LO and image rejection



(b) BPF 주파수 응답 측정결과
(b) Measured frequency response of BPF

그림 7. BPF 설계 및 측정 결과

Fig. 7. Design and measurement result of BPF.

출력 전력에 해당하는 전압레벨을 생성한다. 이를 통해 RF/안테나 보드로 인가되는 신호 세기의 검증이 가능하다. 1차 MLB에 구현된 LO 및 이미지 신호 제거용 BPF의 세부 설계 및 측정결과를 그림 7에 나타내었다.

측정 결과, LO 신호는 약 29 dB, 이미지 신호는 51 dB 수준 억압을 나타내었다.

4차 MLB는 섹터로부터 전달된 제어신호를 인가받아 TTD 및 PS의 제어신호를 생성하는 MCU를 포함한다.

III. 타일형 송신 위상배열 안테나의 제작 및 측정

3-1 타일형 송신 위상배열 안테나 제작

타일형 송신배열 안테나는 $43 \times 84 \times 84$ mm³의 크기와 약 255 g 무게(하우징 포함)를 갖는 평면형 구조로 설계되었다. 안테나 동작을 위하여 소모 전력은 약 31 W 수준이

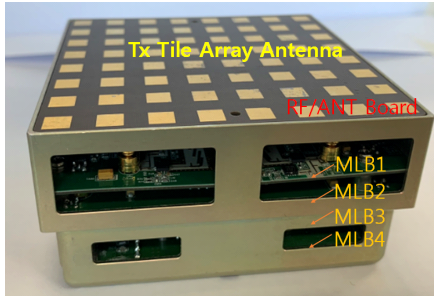


그림 8. 타일형 송신 위상배열 안테나
Fig. 8. Manufactured tile type Tx phased array antenna.

다. 그림 8은 제작된 타일형 송신 위상배열안테나를 나타낸다.

타일형 안테나는 높은 집적도로 인해 열 문제가 심각하다. 이는 송신 출력 및 이득을 감소시키며, 소모 전력 증가 등의 성능열화를 발생시킨다. 본 타일 안테나에서는 타일 외부에 8개의 공기 인입 및 배출을 통한 공랭식 방열 구조를 적용하였으며, MLB를 4층으로 분리하여 발생하는 열원을 최대한 분산 배치하였다. 방열 구조를 적용하지 않았을 때 80℃ 이상의 내부 동작 온도가 나타났지만, 방열구조 적용 시 송신 타일 안테나의 동작온도는 40℃ 수준으로 유지되며 정상동작하였다.

3-2 타일형 송신 위상배열 안테나 성능시험 구성

타일형 송신 위상배열안테나의 성능시험을 위해서는 Ku 대역 안테나 스캐너, 입출력 신호분석기(network analyzer), LO 신호 및 전원 공급이 필요하다. 또한, 설계된 송신 타일은 L 대역 신호 입력과 Ku 대역 출력이므로, 신호분석기로 검증하기 위해 출력인 Ku 대역을 타일 입력인 L 대역으로 변환하는 주파수 변환모듈을 추가로 구성하였다. 정확한 안테나 패턴 측정을 위해서, 타일형 안테나의 면적 4배 이상의 근접전계를 측정할 수 있는 포지셔너 및 스캐너를 사용하였다. 성능 시험시 사용한 신호분석기 및 신호발생기는 keysight의 E8363B와 E8257D를 사용하였다. 안테나 스캐너 및 2D, 3D 빔패턴 측정 프로그램은 (주)엠티지의 VWNF 장비를 사용하였으며, 측정 구성도를 그림 9에 나타내었다.

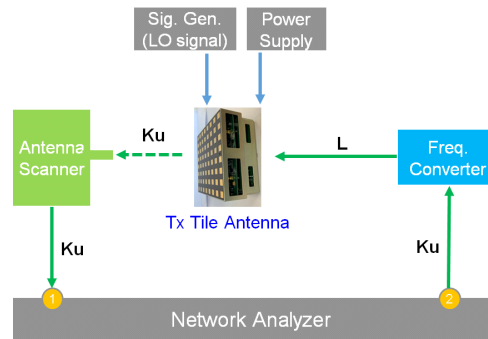
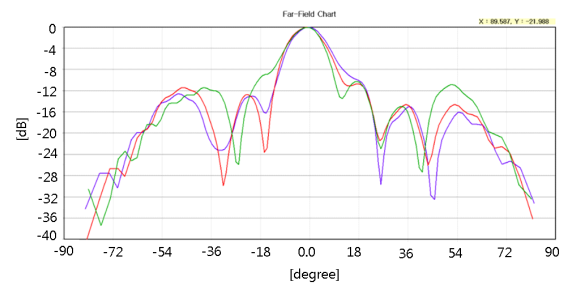


그림 9. 타일형 송신 위상배열 안테나 측정 구성도
Fig. 9. Measurement configuration for Tx tile antenna.

3-3 타일형 송신 위상배열 안테나 성능시험 결과

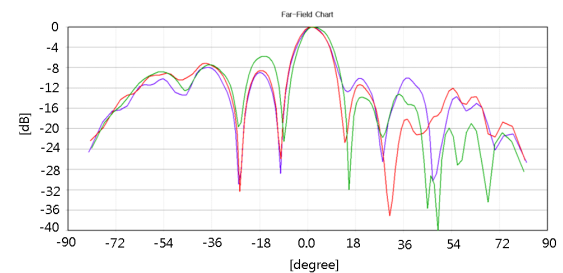
그림 10, 11은 송신 타일 안테나 V&H-pol의 bore-sight



Freq. (GHz)	Beam Peak			SLL L1		SLL R1		Beam Width			Gain
	Value	Vertical	Horizontal	Level	Pos	Level	Pos	Value	Left	Right	
f_L	0.000	-0.931	0.000	-12.988	-20.936	-14.989	36.939	13.421	-7.274	6.147	30.812
f_C	0.000	-0.914	0.914	-12.736	-22.518	-14.536	35.062	13.306	-8.075	5.231	33.738
f_U	0.000	-0.899	0.899	-11.357	-38.850	-10.230	17.335	12.436	-7.820	4.617	34.993

(a) H-pol, bore-sight 측정 결과

(a) Measurement result in H-pol, bore-sight

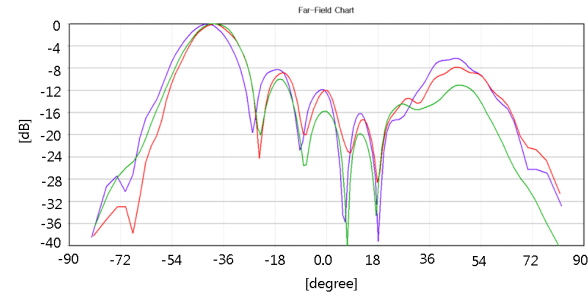


Freq. (GHz)	Beam Peak			SLL L1		SLL R1		Beam Width			Gain
	Value	Vertical	Horizontal	Level	Pos	Level	Pos	Value	Left	Right	
f_L	0.000	1.862	-1.862	-8.913	-17.975	-10.093	19.943	10.904	-3.423	7.481	31.033
f_C	0.000	0.914	-0.914	-8.520	-17.649	-11.292	19.579	11.311	-3.907	7.404	33.738
f_U	0.000	1.797	0.899	-5.770	-16.396	-13.774	20.182	11.332	-2.763	8.969	36.113

(a) V-pol, bore-sight 측정 결과

(a) Measurement result in V-pol, bore-sight

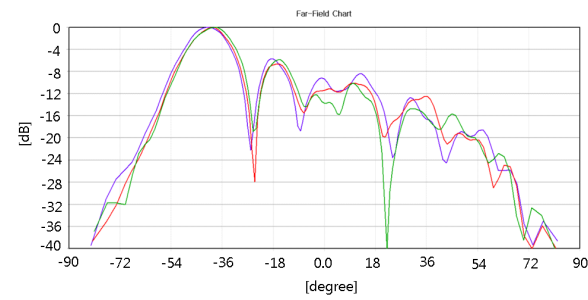
그림 10. 타일형 송신 위상배열 안테나이득 측정 결과
Fig. 10. Measured results of antenna gain in Tx tile antenna.



Freq. (GHz)	Beam Peak			SLL L1		SLL R1		Beam Width			Gain
	Value	Vertical	Horizontal	Level	Pos	Level	Pos	Value	Left	Right	
f_L	0.000	1.862	-41.754	-	-	-8.203	-16.999	14.932	-49.670	-34.737	31.187
f_M	0.000	0.914	-39.664	-	-	-8.854	-15.740	15.253	-47.060	-31.807	33.496
f_H	0.000	0.000	-40.013	-	-	-9.906	-16.396	15.972	-47.566	-31.594	36.011

(a) H-pol, phi 0°, theta 40° 측정 결과

(a) Measurement result in phi 0°, theta 40°



Freq. (GHz)	Beam Peak			SLL L1		SLL R1		Beam Width			Gain
	Value	Vertical	Horizontal	Level	Pos	Level	Pos	Value	Left	Right	
f_L	0.000	2.793	-40.518	-	-	-5.653	-18.956	14.311	-48.247	-33.936	25.814
f_M	0.000	2.744	-39.664	-	-	-6.609	-16.692	13.748	-47.073	-33.326	30.275
f_H	0.000	0.899	-38.850	-	-	-5.865	-16.396	14.918	-47.089	-32.172	32.862

(a) V-pol, phi 0°, theta 40° 측정 결과

(a) Measurement result in phi 0°, theta 40°

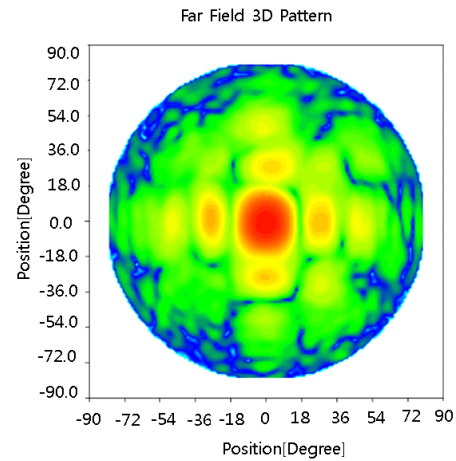
그림 11. 타일형 송신 위상배열 안테나 측정 결과

Fig. 11. Measurement results of antenna gain in Tx tile antenna.

및 양각 40° 지향 성능시험 결과를 나타낸다. 주파수 변환 모듈의 손실과 케이블 손실, MLB의 이득을 제외한 실제 안테나 보드의 이득은 중심주파수에서 H-pol 24.3 dB이며, V-pol은 26.3 dB이다. 이때 빔폭은 H-pol 13.3°, V-pol 11.3°로 측정되었다. 부엽레벨(side-lobe level)은 H-pol에서 -12.7 dB, V-pol은 -8.5 dB로 측정되었다. 이는 본 송신 타일안테나의 연속적 배열 이후 추가적인 안테나 위상 보정 및 진폭 테일러링을 통하여 향상 가능할 것으로 판단된다.

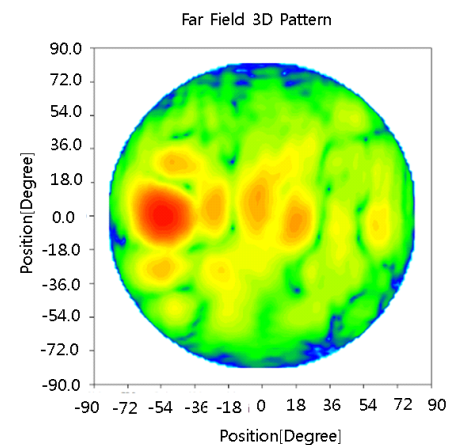
빔 지향 정확도 및 빔 지향오차를 확인하기 위하여 방위각 0°, 양각 40° 방향으로 지향 시험하였다. 그림 11에

빔 지향시험 2D cut 결과를 나타내었으며, 표 2에 빔 지향 시험 결과를 정리하였다. 500 MHz 대역폭에 따른 주파수별 빔 편이 오차는 H-pol 2.09°, V-pol 1.668° 수준을 나타내었다. 이는 빔 지향을 위한 Ku 대역 위상천이기와 L 대역 TTD의 결합을 통해 낮은 빔 편이오차를 보이며, 정상 동작함을 확인할 수 있다. 빔 지향정확도는 최대 1.8°의 오차를 나타내었다. 이는 향후 안테나 배열 수 증가 및 안테나 추가 보정을 통해 이의 개선이 가능하다. 그림 12에



(a) Bore-sight 측정 결과(3D)

(a) Measurement result in bore-sight(3D)



(b) phi 0° theta 40° 측정 결과(3D)

(b) Measurement result in phi 0°, theta 40°(3D)

그림 12. 타일형 송신 위상배열 안테나 3D 측정 결과

Fig. 12. Measurement results of Tx tile antenna in 3D view.

표 2. 빔 지향각 및 빔 편이 오차 측정 결과

Table 2. Measured results of beam steering angle and beam squint error.

Frequency	Beam Steering angle (H-pol)	Beam steering angle (V-pol)	Beam squint error (H-pol)	Beam squint error (V-pol)
f_L	41.754°	40.518°	2.09°	1.668°
f_C	39.664°	39.664°		
f_H	40.013°	38.850°		

서 H-pol의 bore-sight 및 방위각 0°, 양각 40° 지향을 확인할 수 있는 안테나 3D 패턴 측정결과를 나타내었다.

IV. 결 론

미래 전장기술에 필수적인 저피탐 특성을 보유한 안테나의 설계를 위해서는 타일형 안테나 설계 및 제작 기술 확보가 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 Ku 대역 위성 통신을 위한 타일형 송신 위상 배열안테나의 설계, 제작의 주요 사항 및 성능시험 결과에 대해 기술하였다. 본 논문에서 제안한 타일형 안테나의 연속배열을 통해 Ku 대역 위성 통신용 송신 위상배열 안테나의 구현이 가능하며, 이는 외부 형상에 돌출된 구조가 없는 광대역 광각의 빔 편이오차가 최소화된 위성통신용 컴포멀 안테나로의 응용 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. Panaretos, C. Shoda, R. Relatores, J. Gordon, P. Curtis and D. Parker, "A broadband, low-sidelobe, dynamic weight, three-channel receive, X-band active array," in *1996 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, San Francisco, CA, Jun. 1996, vol. 3, pp. 1573-1576.

[2] R. Sturdivant, C. Ly, J. Benson, and M. Hauhe, "Design

and performance of a high density 3D microwave module," in *1997 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Denver, CO, Jun. 1997, vol. 2, pp. 501-504.

[3] R. J. Mailloux, "Antenna array architecture," in *Proceedings of the IEEE*, Jan. 1992, vol. 80, no. 1, pp. 163-172.

[4] D. Parker, D. C. Zimmermann, "Phased arrays-Part I: Theory and architecture," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 3, pp. 678-687, Mar. 2013.

[5] H. Schippers, J. Verpoorte, A. Hulzinga, C. Roeloffzen, and R. Baggen, "Towards structural integration of airborne Ku-band SatCom antenna," in *2013 7th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP)*, Gothenburg, 2013, pp. 2963-2967.

[6] M. van der Vossen, G. Voshaar, C. Roeloffzen, A. Hulzinga, and M. Iven, "Design of a highly integrated Ku-band planar broadband phased array receiver with dual polarization," in *2014 11th European Radar Conference*, Rome, 2014, pp. 392-395.

[7] L. Josefsson, P. Persson, *Conformal Array Antenna Theory and Design*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2006.

[8] R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Norwood, MA, Artech House, 2007.

[9] J. U. Jeong, J. H. Ryu, T. H. Joo, G. C. Kim, I. H. Park, and J. U. Seo, "Design technology of shape adaptive active phased array antenna for communication," *The Magazine of the IEIE*, vol. 44, no. 4, pp. 39-47, Apr. 2017.

[10] T. Joo, K. Kim, and J. Seo, "Design of tile-type Rx phased array antenna for Ku-band satellite communications," *The Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 9, pp. 702-711, Sep. 2019.

주 태 환 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8750-9779>



2008년 2월: 부산대학교 전기 및 전자공학부 (공학사)
2010년 2월: 한국과학기술연구원 전기전자공학과 (공학석사)
2014년 2월: 한국과학기술연구원 전기전자공학과 (공학박사)
2016년 10월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] RF Transceiver, 데이터링크 시스템

동 문 호 [국방과학연구소/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2782-1541>



1980년 2월: 성균관대학교 전자공학과(공학사)
1982년 2월: 성균관대학교 전자공학과(공학석사)
1982년 9월~현재: 국방과학연구소 수석연구원
[주 관심분야] RF/Antenna 시스템, 전술통신시스템, 영상데이터링크

김 기 철 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-1652-5576>



2007년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 2월: 광주과학기술원 (공학석사)
2016년 8월: 한국과학기술연구원 전기전자공학과 (공학박사)
2007년 1월~2008 11월: 삼성탈레스 연구원

2016년 10월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] RF 회로 및 전력증폭기, 통신용 초고주파 기술

서 중 우 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6784-2745>



2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2002년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2017년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
2002년 1월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] 널링 안테나, 패턴합성 알고리즘, 컨포멀 안테나