

Isolation 특성이 좋은 Orthogonal Mode Transducer 설계와 제작

오이석 · 이진원 · 홍진영

Design and Fabrication of a Simple Orthogonal Mode Transducer with Good Isolation

Yisok Oh · Jin-Won Lee · Jin-Young Hong

요 약

이 논문에서는 X-밴드용 간단한 구조의 OMT (orthogonal mode transducer)가 소개된다. 이 OMT는 몇 개의 가는 유도 봉을 이용하여 한 편파를 주어진 방향으로 유도하고, 또한 다른 직각 편파를 유도 봉을 이용하여 다른 방향으로 유도하도록 설계되었다. 이 OMT는 유도 봉들이 있는 T자 형태의 도파관 부분과 두 도파관 연결부분으로 구성되어 있고, 한 안테나와 두 개의 어댑터들과 연결되도록 세 플랜지를 갖고 있다. 유도 봉의 최적 개수와 최적 위치는 CAD인 HFSS를 이용하여 수치적으로 얻었다. 제작된 OMT에서 두 편파간의 isolation은 9.5 GHz와 10.5 GHz 주파수 밴드에서 42.8 dB보다 높았으며, 반사계수는 -17.5 dB보다 낮았다. 이 OMT는 polarimetric scatterometer 시스템에 사용되는 polarimetric 안테나에 사용되어질 수 있다.

Abstract

A simple orthogonal mode transducer(OMT) for X-band has been proposed in this paper. This OMT is designed such that a polarized wave can be guided in a direction using several thin guiding posts, and the other orthogonally polarized wave can be guided in the other direction using other thin guiding posts. The OMT consists of a T-shaped waveguide section with guiding posts, two tapering waveguide arms, and has three flanges for connection with two adapters and an antenna. The optimum numbers and the optimum positions of the guiding posts were obtained numerically using the HFSS CAD tool. The isolation between two polarizations in a manufactured OMT is higher than 42.8 dB and the reflection from the OMT is lower than -17.5 dB at the frequency band of 9.5 GHz f 10.5 GHz. The OMT can be used for a polarimetric antenna set, which can be used in a polarimetric scatterometer system.

I. 서 론

각종 지표표면처럼 펼쳐진 목표물의 산란계수 (scattering coefficient) 측정이나 군사용 무기 등의 단일 목표물에 대한 레이더 단면적(RCS; radar cross

section) 측정용으로 scatterometer가 주로 사용된다. 단일 편파용 레이더의 변수로는 주파수와 입사각이 있는데, 이들 변수 외에 편파에 따른 RCS와 산란계수의 변화가 아주 중요한 정보를 줄 뿐만 아니라 위상에 대한 통계적(phase statistics) 데이터가 목표물

「본 연구는 국방과학연구소의 포항공과대학교내 전자파특화연구센터 지원에 의한 연구 결과의 일부이다.」

홍익대학교 전파통신공학과 (Department of Radio Science and Communication Engineering, Hong-Ik University)

· 논문 번호 2000728-08S

· 수정완료일자 2000년 8월 21일

특성 산출에 활발히 활용되기 시작하고 있다. 모든 편파 종류에서의 산란계수 크기와 위상을 동시에 얻을 수 있는 fully polarimetric한 데이터를 얻기 위해 수직과 수평의 편파를 동시에 주고받을 수 있는 polarimetric 레이더를 이용한 측정 연구가 활발히 진행되어 왔다^[1].

Polarimetric scatterometer 시스템에서는 두 개의 혼 안테나를 사용하여 서로 직각인 편파를 주고받을 수 있으나 두 안테나를 똑같은 한 지점에 정확히 초점을 맞추는 일은 상당히 어려운 일이며, 두 개의 안테나를 사용하므로 시스템의 크기가 커지고, system calibration이 더 어려워지는 단점이 있다. 그러므로 하나의 안테나에 OMT를 부착하여 두 개의 편파를 다른 길로 유도하는 구조의 polarimetric 안테나가 필요하게 된다^[2]. 상용의 OMT가 있으나 주로 주물로 제작되므로 구조가 복잡하여 제작하기가 어렵고, 수량이 적을 경우에 단가가 높은 단점이 있을 뿐만 아니라 isolation이 30 dB 이상 넘기가 어려운 단점이 있다^[3].

본 연구에서 설계한 OMT는 9.5~10.5 GHz에서 backscattering RCS나 산란계수를 polarimetric하게 측정하는 scatterometer에 장착하기 위한 것이다. 기존의 OMT와 크게 다른 점은 편파를 유도하기 위해 유도 봉을 설치하여 isolation을 크게 향상시킨 것이고, 이 유도 봉의 개수와 위치는 상용 소프트웨어인 HFSS를 이용하여 수치적으로 계산하였다.

II. OMT 설계

Polarimetric scatterometer를 이용할 때에는 cross-polarization을 측정할 수 있고, point target이나 지형 지물의 depolarization 특성을 고려할 때 OMT의 Isolation이 최소한 30 dB 보다는 커야 한다. 기존의 OMT보다 높은 isolation을 얻기 위해 그림 1에서처럼 유도봉(guiding posts)을 사용하였으며, 구조는 비교적 간단하여 실험실에서도 제작할 수 있도록 하였다. 유도 봉들이 있는 OMT본체는 T형이고 세 개의 정사각형 개구면(2.286 cm × 2.286 cm)을 갖고 있는데, 하나는 안테나에 연결되고, 두 개는 각각 케이블 어댑터에 연결되기 위해 tapering된 도파관 부분(arm)과 접합되어 있다. 두 개의 adapter 연결

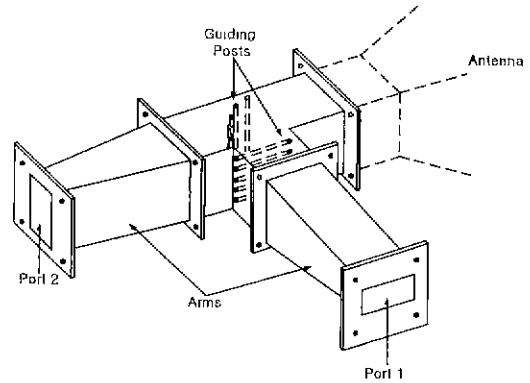


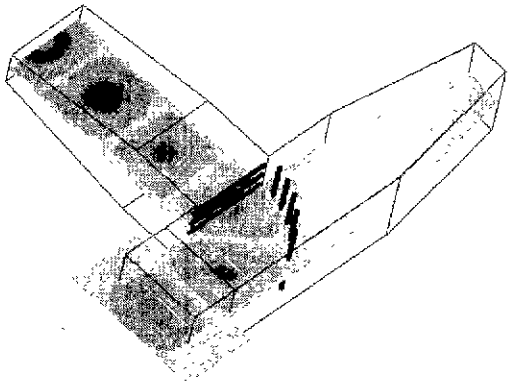
그림 1. OMT 구조.

Fig. 1. OMT structure.

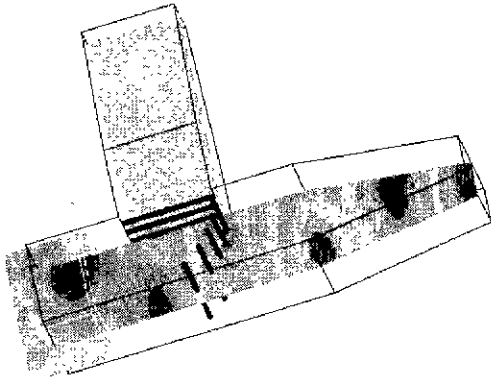
플랜지들은 X-밴드 도파관의 크기 (2.286cm × 1.016 cm)와 같고, 두 ports의 전계 방향이 서로 수직이 되도록 연결하였다.

그림 1에서와 같이 OMT/안테나를 위치시키면 port 1의 전계 방향은 지면과 수직 (vertical)이고, port 2의 전계 방향은 지면과 수평 (horizontal)이다. 이렇게 수직성분과 수평성분의 전계가 서로 영향을 주지 않고 각기 제 갈 길로 가도록 유도해 주기 위해 지름이 작은 도체 봉들을 이용하였다. 그림 1에서 port 1에서 들어가는 전계를 안테나 쪽으로 유도하기 위해 이 전계와 평행한 방향으로 도체 봉을 등근 형태로 나열하였다. 이 도체 봉들은 port 2에서 들어오거나 port 2로 나가는 전계와 수직이므로 이 전계에는 별 영향을 미치지 않게 된다. 즉, 이 OMT에서 port 1에 수직 편파가 들어가면 수평 유도 봉은 별다른 영향을 주지 않는 반면에 수직 유도 봉들은 이 편파를 모두 안테나로 유도한다.

그림 1에서 보듯이 이번에는 port 1에서 들어가는 OMT입구에 이 전계와 수직으로 도체 봉들을 설치하면, port 2의 전계는 guiding하지만 port 1의 전계에는 별 영향을 미치지 못하므로 이 OMT의 port 2로 수평편파가 들어가면 이번에는 수평 유도 봉들이 마치 금속 벽 역할을 하여 모두 안테나 쪽으로 유도되고 수직 유도 봉들은 가늘기 때문에 아무 영향을 주지 않는다. 이렇듯이 이 OMT에서는 orthogonal하게 polarized된 두 개의 전파가 각기 자기 길로 전파될 지라도 서로 영향을 미치지 않으며, 하나의 안테나를 함께 사용할 수 있게 된다. 도체 봉들



(a)



(b)

그림 2. HFSS 시뮬레이션 결과

(a) port 1에 feed한 경우와

(b) port 2에 feed한 경우의 전계 분포도

Fig. 2. HFSS simulation results; Electric fields for feeding.

(a) at port 1 and (2) at port 2.

은 직선이어야 하고, 되도록 가늘어야 isolation을 향상시킬 수 있다.

위의 내용을 확인하기 위하여 상용의 software인 HFSS(high frequency structure simulator)를 이용하여 전파 특성을 확인하고, 최적의 유도봉 개수와 위치를 찾아내었다. 그림 2(a)와 (b)는 각각 port 1과 port 2에 dominant mode가 주어졌을 때 그 mode의 진행과정을 잘 보여 준다. 그림 1(a)에서 알 수 있듯이 port 1에서 진행되는 전파는 수평 유도 봉의 영

표 1. V-pol. 유도 봉의 개수에 대한 시뮬레이션 결과 (그림 1의 수직 봉의 개수)

Table 1. Simulation results with various numbers of the V-pol. guiding posts (vertical cylinders in Fig. 1.)

봉의 개수	S_{11} (dB)	S_{22} (dB)	S_{21} (dB)
0	-3.532	-20.697	-47.779
1	-15.45	-18.861	-41.713
2	-26.6	-17.91	-51.418
3	-33.306	-15.961	-35.004
4	-32.986	-17.054	-42.027
5	-27.073	-16.27	-64.261
6	-25.26	-16.633	-50.757
7	-25.221	-15.492	-42.008

표 2. H-pol 유도 봉의 개수에 대한 시뮬레이션 결과 (수평 봉의 개수)

Table 2. Simulation results with various numbers of the H-pol. guiding posts (horizontal cylinders in Fig. 1)

봉의 개수	S_{11} (dB)	S_{22} (dB)	S_{12} (dB)
0	-29.851	-15.628	-41.599
1	-29.037	- 8.87	-46.608
2	-32.28	-14.017	-28.613
3	-32.138	-17.2	-40.348
4	-31.239	-17.429	-47.713
5	-27.073	-16.27	-64.261
6	-25.77	-16.92	-56.902
7	-24.046	-15.898	-49.615

향을 거의 받지 않으며, 수직 유도 봉에 의해 안테나 쪽으로 잘 진행된다.

유도 봉은 전기적인 특성만을 고려한다면 가늘수록 좋지만 기계적인 강도도 생각해야 하므로 지름이 1 mm인 도체 실린더를 사용하였다. 이 실린더들이 없으면 유도가 되지 않고, 너무 많으면 다른 편파를 차단하게 되기 때문에 최적의 개수와 위치를

찾아야 한다. 우선, 수평 유도 봉을 5개로 고정시켜 놓고, 수직 유도 봉의 개수를 변화시키며 HFSS로 시뮬레이션 하여 port 1에서의 반사 (S_{11}), port 2에서의 반사 (S_{22}), port 1과 port 2의 isolation ($S_{12} = S_{21}$)을 각각 계산하였다 (표 1). 봉의 위치와 개수가 바뀔 때마다 HFSS의 FEM 계산에서 tetrahedral cell의 개수와 모양이 새로 형성되어 계산되는 관계로 S_{21} 의 S_{22} 에 수치적 오차가 있긴 하지만 대체적인 흐름을 볼 때, 봉의 개수가 5개일 때에 최적의 isolation을 얻었다. 이번에는 수직 유도 봉을 5개로 고정시키고, 수평 유도 봉의 개수를 변화시키며 시뮬레이션 하였는데, 마찬가지로 수평 유도 봉이 5개일 때에 최적의 isolation을 얻었다 (표 2).

III. OMT 제작과 측정 결과

이 X-band OMT는 우선 실험실에서 쉽게 동작할 수 있도록 양면이 구리로 도포된 회로기판을 사용하여 절단과 접합이 용이하였으며, 안쪽과 바깥쪽을 구리 테이프로 연결하여, 마치 구리 plate로 제작한 것과 같은 효과를 내었다.

두 개의 도파관 tapering arms는 한 쪽이 정사각형으로 OMT의 입구 크기에 맞고, 다른 쪽은 직사각형으로 adapter의 입구 크기에 맞도록 설계하였다. 이 arms의 길이는 higher-order mode를 없앨 수 있도록 충분히 길게 하였다.

제작된 OMT에 역시 제작된 안테나 하나와, 두 개의 동축선용 어댑터를 연결한 상태에서 HP 8510C network analyzer를 이용하여 port 1과 port 2에서의 반사손실과 port 1과 port 2 사이의 isolation을 측정하였다. 이때, 안테나는 허공을 보게 하였고, network analyzer의 time domain에서 안테나 외부와 안테나 개구면에서의 반사들은 time-gating으로 제거하여 마치 anechoic chamber에서 측정한 결과를 얻었다.

그림 3은 port 1에서의 반사계수(S_{11})를 dB 값으로 측정하여 보여 준다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 port 1에서의 반사계수 (S_{11})는 10 GHz에서 -24 dB 정도이며, 9.5 GHz와 10.5 GHz 사이에서 -22 dB 미만이었다. HFSS에서 어댑터가 없을 경우에 10 GHz에서 S_{11} 값이 -27 dB이었는데 (표 2), 구

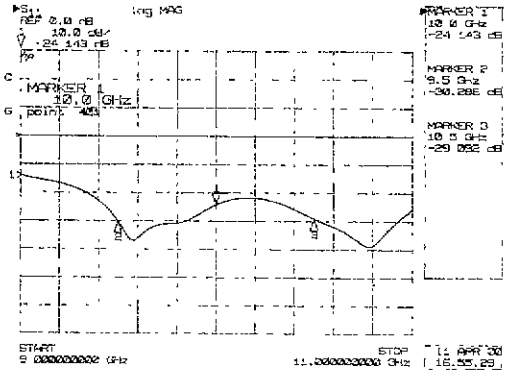


그림 3. Port 1의 반사계수 (S_{11}) 측정 결과.
Fig. 3. Measurement of reflection coefficient at port 1 (S_{11}).

입하여 연결한 adapter 자체에서의 반사 계수가 최고 -25 dB 정도인 것을 감안하면 측정값이 시뮬레이션과 유사하였다.

그림 4는 측정된 port 2에서의 반사 계수 (S_{22})를 보인다. 이 그림에서 알 수 있듯이 10 GHz에서 -17.5 dB의 값을 보이며, scatterometer의 사용 주파수인 9.5 GHz와 10.5 GHz 사이에서는 -17.5 dB 이하의 반사계수를 갖는다. 이 값은 HFSS 시뮬레이션에서 얻은 -16.3 dB와 유사한 값이다 (표 2).

그림 5는 port 1에서 입력되어 port 2로 출력되는 전압의 비(S_{21})를 dB값으로 측정하여 보여 준다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 10 GHz에서의 isolation은 52

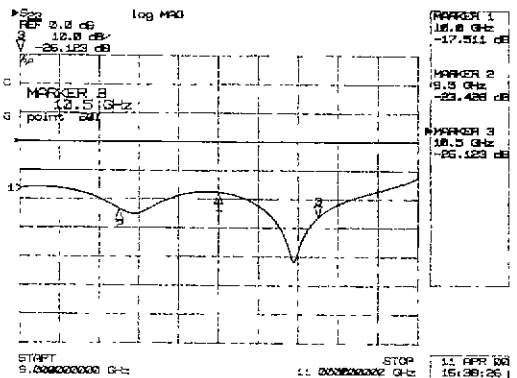


그림 4. Port 2의 반사계수 (S_{22}) 측정 결과.
Fig. 4. Measurement of reflection coefficient at port 2 (S_{22}).

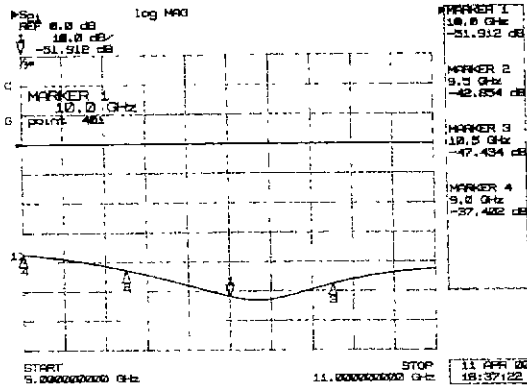


그림 5. Port 1과 port 2의 isolation (S_{21}) 측정 결과.
Fig. 5. Measurement of the isolation between port 1 and port 2 (S_{21}).

dB정도이며, 9.5 GHz와 10.5 GHz사이의 주파수 대역에서 42 dB보다 큰 isolation을 갖는다. 이 isolation은 일반적인 상용 OMT에 비해 높은 값이며, 만일 이 OMT를 전문가에 맡겨 매끈하게 제작하면 더 좋은 측정 결과를 얻을 수도 있을 것이다.

본 연구에서 설계한 OMT와 이번에 제작한 안테나와 상용의 어댑터 두 개를 연결하여 그림 6처럼 하나의 polarimetric 안테나 시스템을 완성하고, HP 8510C network analyzer, turntable, turntable controller, 표준 혼 안테나들을 이용하여 이 polarimetric 안테나의 one-way 패턴을 측정하였다. 동축선-도파관 adapter들은 상용의 것을 사용하였지만, 안테나는 feed면이 정사각형이므로 특수 주문해야 하는 관계로 안테나도 같은 재료로 실험실에서 제작하였다.

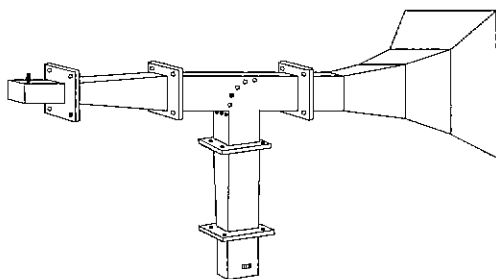
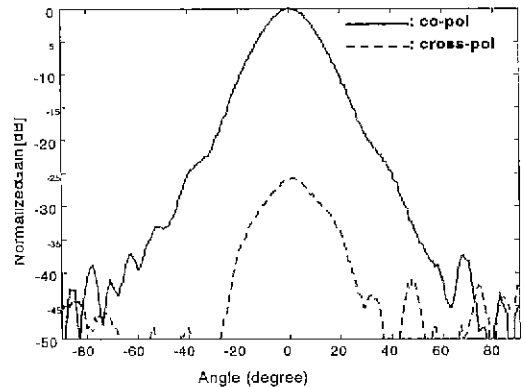


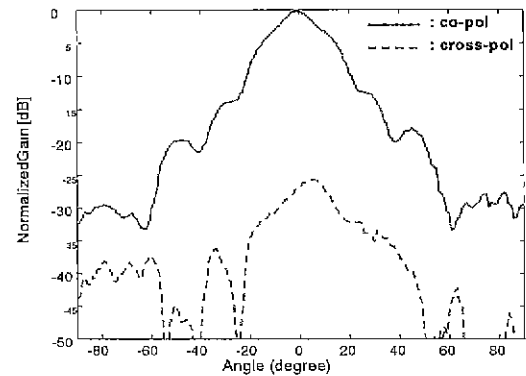
그림 6. OMT, 어댑터, 안테나를 포함한 polarimetric 안테나 시스템
Fig. 6. A polarimetric antenna system consisting of an OMT, two adapters and an antenna.

안테나 구조에서의 반사를 줄이기 위해 안테나도 일종의 taper 형태를 갖도록 3단으로 설계하였다. 안테나의 길이가 길고, aperture 크기가 크면 이득은 좋아지지만 실내용 scatterometer에 사용할 경우 far-field 조건을 만족해야 하므로 무작정 크게만 할 수가 없어서 파장의 7배 정도의 크기를 갖도록 설계하였다.

그림 7(a)는 principal E-plane에서의 co-pol.과 cross-pol.의 패턴이며, 그림 7(b)는 principal H-plane에서



(a)



(b)

그림 7. OMT를 포함한 polarimetric 안테나시스템의 normalized 패턴; (a) principal E-plane과 (b) principal H-plane에서의 co-pol.과 cross-pol.의 안테나 패턴.

Fig. 7. Normalized pattern of the polarimetric antenna system including the OMT; co-pol. and cross-pol. patterns at (a) the principal E-plane and (b) principal H-plane.

의 co-pol.과 cross-pol. 패턴이다. 표준 혼 안테나로 측정된 안테나 이득은 10 GHz에서 18.6 dB 이었다.

본 연구에서 설계하고 제작한 polarimetric 안테나 시스템을 이용하여 직육면체의 물기등에서의 전파 산란을 입사각별로 측정하였으며, 이 측정된 RCS는 임피던스면 위 3차원 유전체에서의 RCS 계산용 모멘트법 알고리즘의 검증용으로 사용되었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 유도용 도체 실린더들을 이용하여 높은 isolation을 갖는 간단한 구조의 OMT를 설계하였다. 유도 봉의 위치와 개수는 수치 해석적 계산으로 얻었으며, 실제 제작하여 측정한 결과가 시뮬레이션 결과와 유사하였다. 이번에 제작된 X-band 용 OMT는 10 GHz에서 isolation이 약 52 dB이었으며, 9.5 GHz~10.5 GHz 주파수범위에서 42 dB 이상이었다. 이 주파수 범위에서 port 1에서의 반사계수는 -17.5 dB 이하이고, port 2에서의 반사계수는 -22 dB 이하이었다. 실험실에서 제작된 것으로 만일 전문 제작자에게 맡겨 제작하면 더 좋은 성능을 갖게 될 것이다.

이 OMT는 하나의 안테나, 두 개의 동축선 어댑

arimetric scatterometer 시스템을 이루게 되어 point 터들과 함께 하나의 polarimetric 안테나 시스템을 이루며, 이 안테나 시스템은 송·수신기와 함께 poltargets나 distributed targets로부터 각각 polarimetric RCS와 polarimetric 산란계수를 얻는데 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] F.T. Ulaby and C. Elachi, *Radar Polarimetry for Geoscience Application*, Artech House, 1990.
- [2] 이원달, 오이석, "Radar Calibration Technique for Measurement of Wave Scattering at Ku-band" 홍익대학교 과학기술연구논문집, 8집, 351-367, 1997년 12월.
- [3] K. Sarabandi and Y. Oh, "Performance Characterization of Polarimetric Active Radar Calibrators and a New Single Antenna Design" *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 40, no. 10, pp. 1147-1154, October, 1992.
- [4] Ansoft Korea, "Ansoft HF Maxwell HFSS/ Ensemble Basic Course" Manual.

오 이 석



1982년 2월: 연세대학교 전기공학과(공학사)
 1998년 12월 : University of Missouri-Rolla 전기 및 컴퓨터 공학과(MS)
 1993년 12월 : University of Michigan, Ann Arbor 전기공학 및 컴퓨터학과(Ph.D)

이 진 원



1997년 2월 : 순천향대학교 정보통신공학과(공학사)
 2000년 8월 : 홍익대학교 대학원 전파공학과(공학석사)
 2000년 8월~현재 : (주) 삼성전자 [주 관심분야] 전자파 산란 및 전파 전파, 안테나, 마이크로파 회로

홍 진 영



2000년 2월 : 홍익대학교 전파공학과(공학사)
 2000년 2월~현재 : 홍익대학교 대학원 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전자파 산란 및 전파 전파, 안테나 마이크로파 회로