L-밴드 대역 레이더 후방 산란 측정용 소형 직교 모드 변환기

Compact Orthomode Transducer for Field Experiments of Radar Backscatter at L-band

황지환 · 권순구 · 주정명 · 오이석

Ji-Hwan Hwang · Soon-Gu Kwon · Jeong-Myeong Joo · Yisok Oh

요 약

본 논문에서는 L-밴드 대역 레이더 후방 산란 측정용 도파관 직교 모드 변환기(orthomode transducer)의 소형화에 대한 설계 및 성능 분석 결과를 제시한다. 도파관 직교 모드 변환기는 테이퍼(taper) 구조를 기본으로 새롭게 설계된 접합 구조를 이용하여 별도의 테이퍼 구조 없이 표준 어댑터와 연결이 가능하도록 설계/제작되었다. 소형화된 L-밴드 직교 모드 변환기의 최대 길이는 약 $1.2 \lambda_0$ (310 mm)이며, 이는 기존의 동급 직교 모드 변환기 크기의 약 60 % 수준이 된다. 또한, 직교 모드 변환기의 포트 정합 특성과 편파 격리도 특성을 높이기 위해서 두 개의 금속봉을 구조 내부에 삽입하여 운용 주파수 대역 내 420 MHz의 대역폭(반사 손실 < -15 dB 이하)과 약 40 dB의 높은 편파 격리도 성능을 얻을 수 있었다. 제작된 직교 모드 변환기, 혼 안테나, 네트워크 분석기(Agilent社 8753E)로 구성된 L-밴드 scatterometer를 이용한 레이더 후방 산란 측정의 정확도 분석을 위해 STCT(Single Target Calibration Technique) 보정 기법과 2DTST(2D Target Scanning Technique) 자동 측정 기법을 이용하였다. 보정된 scatterometer를 이용하여 측정된 시험용 목표물(55 cm 삼각 수동 전파 반사기)의 RCS(Radar Cross Section)의 측정 오차는 수직/수평 편파 각각 -0.2 dB와 0.25 dB이며, 유효 편파 격리도는 대역 내 평균 약 35.8 dB이다. 이때, 성능 측정을 위해 직교 모드 변환기와 함께 사용된 혼 안테나는 길이 300 mm, 개구면 크기 450×450 mm²이며, E-평면 29.5°와 H-평면 36.5°의 반전력 빔 폭(HPBW)을 갖는다.

Abstract

A study of miniaturization of an L-band orthomode transducer(OMT) for field experiments of radar backscatter is presented in this paper. The proposed OMT is not required the additional waveguide taper structures to connect with a standard adaptor by the newly designed junction structure which bases on a waveguide taper. Total length of the OMT for L-band is about $1.2 \lambda_0$ (310 mm) and it's a size of 60 % of the existing OMTs. And, to increase the matching and isolation performances of each polarization, two conducting posts are inserted. The bandwidth of 420 MHz and the isolation level of about 40 dB are measured in the operating frequency. The L-band scatterometer consisting of the manufactured OMT, a horn-antenna and network analyzer(Agilent 8753E) was used STCT and 2DTST to analysis the measurement accuracy of radar backscatter. The full-polarimetric RCSs of test-target, 55 cm trihedral corner reflector, measured by the calibrated scatterometer have errors of -0.2 dB and 0.25 dB for vv-/hh-polarization, respectively. The effective isolation level is about 35.8 dB in the operating frequency. Then, the horn-antenna used to measure has the length of 300 mm, the aperture size of 450×450 mm², and HPBW of 29.5° and 36.5° on the principle E-/H-planes.

Key words : Orthomode Transducer(OMT), Taper, Two Conducting Posts, Scatterometer, Radar Backscatter

「본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(No. 2011-0000087).」

홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)

· 논문 번호 : 20110509-036

· 교신저자 : 오이석(e-mail : yisokoh@hongik.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 6월 30일

I. 서 론

도파관 직교 모드 변환기(OrthoMode Transducer, OMT)는 레이더 후방 산란을 이용한 원격 탐사 연구와 완전 편파(full-polarimetric) 신호를 송/수신하기 위한 직교 편파화된 안테나 및 통신 시스템 등에 널리 이용되고 있다^[1]. 일반적으로 사용되는 직교 모드 변환기는 그 전기적 성능과 물리적 크기 등을 고려해 각각의 용도에 맞는 직교 모드 변환기를 선택할 수 있다^{[2],[3]}. 직교 모드 변환기 분류 2와 3(class-2, 3)에 해당하는 다양한 도파관 접합 구조는 그 구조적 특성상 높은 성능에도 불구하고 큰 부피를 갖게 되어 L-밴드 운용 주파수(1.1~1.5 GHz) 대역의 지표면 레이더 후방 산란 특성 연구를 위한 측정용 시스템에 부적합한 면을 갖게 된다. 또한, L-밴드 대역 직교 모드 변환기의 소형화를 위해 직교 모드 변환기 분류 1(class-1)에 해당하는 소형의 도파관 T-형 접합 구조를 활용한 상업용 직교 모드 변환기의 경우에도 전체 길이는 일반적으로 약 $2\lambda_0$ 내외가 되어 물리적으로 약 600~800 mm가 넘는 큰 구조가 된다^[3]. 이는 표준 도파관(WR650)의 단면적($165.1 \times 82.55 \text{ mm}^2$) 크기와 이에 맞는 측정용 혼 안테나의 크기를 고려할 때, 지상 운용용 scatterometer 시스템에 탑재될 직교 모드 변환기를 포함한 전체 안테나 시스템의 크기는 약 1 m를 넘게 되는 문제를 갖게 되고, 측정 시스템의 효율적 운용을 위해서 동급의 성능과 구조적 소형화를 위한 연구가 필요하였다. 이를 위해 본 논문에서는 도파관 T-형 접합 구조와 테이퍼 구조를 하나로 합친 소형화된 도파관 접합 구조를 적용하여 별도의 테이퍼 구조 없이도 상용의 도파관 어댑터와 호환이 가능한 소형화된 L-밴드 직교 모드 변환기를 설계/제작하였다. 목표 성능으로 L-밴드 대역 위성 원격 탐사 분야의 ALOS-PALSAR 시스템과의 비교 연구를 위해 중심 주파수 1.27 GHz, 대역폭 350 MHz 이상, 편파 격리도 -35 dB 이하의 직교 모드 변환기 설계를 목표로 하였다^[4].

본 논문에서는 소형화된 직교 모드 변환기의 설계 절차와 성능 검증 결과를 선보이며, 제작된 직교 모드 변환기의 구조적 비대칭성으로부터 기인되는 편파별 왜곡(distortion) 정도를 L-밴드 scatterometer 시스템에 적용하여 분석하였다. 이때, 시스템 보정

을 위해 기존의 STCT(Single Target Calibration Technique) 보정 기법과 2차원 목표물 스캐닝 측정 기법(2D Target Scanning Technique)을 이용하여 시험용 목표물의 완전 편파 RCS 특성을 분석하였다^{[5],[6]}.

II. 도파관 접합 구조

도파관 직교 모드 변환기 구조는 각 편파의 입출력 포트(branch ports)와 공통 모드 포트(common mode port)를 연결시키는 도파관 접합 구조의 특성에 의해 좌우된다. 그림 1(a)는 T-형 접합 구조를 이용한 기존의 도파관 직교 모드 변환기 구조로 그 구조가 단순하고 내구성이 높아 일반적인 상용품으로도 널리 사용되는 구조이며, 성능 개선을 목적으로 도파관 내부에 다양한 형태의 삽입물(예, 금속봉, 금속판 등)^[4]을 삽입하기도 한다. 이때, 공통 모드의 도파관 크기를 표준 도파관과 호환시키기 위해 테이퍼

(a) 기존 직교 모드 변환기

(a) The existing orthomode transducer

(b) 소형화된 직교 모드 변환기

(b) The compact orthomode transducer

그림 1. 직교 모드 변환기 구조

Fig. 1. Orthomode transducer structures.

구조가 필수적이며, 이는 직교 모드 변환기의 전체 크기를 키우는 요소로 작용하게 된다.

본 논문에서는 도파관 테이퍼 구조를 이용하여 직교 모드 변환기 구조를 소형화 시키는 설계 절차와 성능 분석 결과를 선보인다.

2.1 도파관 테이퍼 구조

소형화된 접합 구조를 설계하기 위해 기본 도파관 구조로 도파관 테이퍼를 이용하였다. 도파관 테이퍼 구조를 접합 구조의 기본으로 사용할 때, 최대의 이점은 수직 편파 입출력 포트의 테이퍼 구조를 단일화시킬 수 있어 직교 모드 변환기의 전체 길이를 획기적으로 줄이게 된다. 최적화된 도파관 테이퍼 구조를 설계하기 위해 서로 다른 크기의 도파관 접합면에서의 반사 계수를 고려한 아래와 같은 식 (1)을 이용할 수 있다^[7].

$$\Gamma \approx \sum_{n=1}^N \Gamma_n \exp \left[-2 \sum_{m=0}^{n-1} \beta_m \Delta x \right] \quad (1)$$

여기서,

$$\Gamma_n = \frac{Z_n - Z_{n-1}}{Z_n + Z_{n-1}}$$

Γ_n 는 도파관 테이퍼 구조를 n -개의 서로 다른 단면을 갖는 도파관 조합으로 표현할 때, n -번째 요소 (segments) 도파관의 반사 계수를 나타낸 것이다. 또한, β_m 과 Δx 는 각각 m -번째 도파관의 전파 상수 (propagation constants)와 단위 길이를 나타낸다.

도파관 테이퍼 구조는 서로 다른 크기의 도파관을 점진적으로 변화시켜 반사 손실을 최소화시키기 위한 구조로 선형적으로 변화되는 구간을 n -개의 요소로 나누어 각 반사 계수를 구하고, 이를 조합해 최적화하는 과정이다.

$$|\Gamma| = \frac{1}{L/\lambda} \left[\frac{K_0^2 + K_1^2}{64\pi^2} - \frac{K_0 K_1}{32\pi^2} \cos 4\pi l \right]^{1/2}$$

여기서

$$\begin{aligned} K_0 &= \frac{(b_1 - b_0)/b_0 - [(a_1 - a_0)/a_0]/[1 - (\lambda/2a_0)^2]}{[1 - (\lambda/2a_0)^2]^{1/2}} \\ K_1 &= \frac{(b_1 - b_0)/b_0 - [(a_1 - a_0)/a_1]/[1 - (\lambda/2a_1)^2]}{[1 - (\lambda/2a_1)^2]^{1/2}} \\ l &= \int_0^L \frac{dx}{\lambda_g} = \int_0^L \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2} dx \end{aligned} \quad (2)$$

그림 2. E-평면 도파관 테이퍼 구조의 VSWR 특성

Fig. 2. VSWR of E-plane waveguide taper.

$$|\Gamma| = \frac{1}{8\pi L/\lambda_g} \left| 1 - \frac{b_0}{b_1} \right| \left[1 + \left(\frac{b_1}{b_0} \right)^2 - 2 \left(\frac{b_1}{b_0} \right) \cos \frac{4\pi L}{\lambda_g} \right]^{1/2} \quad (3)$$

식 (2)는 식 (1)로부터 일반화된 double tapering을 위한 결과식이며, 이는 본 논문에 부합되는 E-평면 테이퍼를 위한 식 (3)으로 단순화시킬 수 있다^[7]. 식 (2), (3)에서 a 와 b 는 도파관의 폭과 높이를 나타내며, L 은 테이퍼 구간의 길이를 나타낸 것이다.

그림 2는 E평면 테이퍼 구조의 길이에 따른 반사 손실의 변화를 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)로 나타낸 것으로, 도파관 크기는 각각 폭 $a=165.1$ mm, 공통 모드 포트 높이 $b_0=165.1$ mm와 수직 포트 높이 $b_1=82.55$ mm이며, 테이퍼 길이(L)는 $3 \lambda_0$ 내에서 변화된 결과이다. 테이퍼의 VSWR 수치는 길이에 반비례하는 특성을 보이며, 특히 중심 주파수 반파장($0.5 \lambda_0$)의 배수가 되는 길이(L)에서 최소값을 갖는 특성이 있다. 또한, $2 \lambda_0$ 이상인 영역에서 1.05 이하 (반사 손실 약 -35 dB)의 안정적인 VSWR 수치를 보인다. 최적의 반사 손실과 최소 길이를 설계에 적용하기 위해서 기본 도파관 테이퍼 구조의 설계 초기값은 약 $1 \lambda_0$ 가 되도록 하였다.

2.2 도파관 접합 구조

도파관 접합 구조를 설계하기 위해 앞서 소형화된 도파관 테이퍼 기본 구조에 수평 편파(H-pol.)를

그림 3. 도파관 접합 구조
Fig. 3. Waveguide junction structure.

위한 포트를 그림 3과 같이 배치할 수 있다. 이때, 수평 편파 포트의 최적 위치를 구하고, 도파관 접합 구조의 동작 원리를 분석하기 위해서 두 개의 영역 (①, ②)을 그림 3과 같이 도식화 하였다.

그림 3의 두 영역은 각각 H-평면 상의 $90^\circ + 2\theta$ 만큼 굽은 도파관 부분과 H-평면 테이퍼 구조로 나눌 수 있으며, 수평 편파 포트의 위치(OL') 변화에 따라 두 구조의 단면적이 변하게 된다. 다시 말해, OL'이 최대가 되는 위치에서는 ② 영역인 H-평면 테이퍼 구조가 없는 형태가 될 수 있다.

OL'의 위치 변화가 최대가 아닌 임의의 위치에 놓일 때, 수평 편파 포트와 공통 모드 포트 사이의 전파 특성은 L-밴드 표준 도파관(WR650)의 폭보다 좁은 AA' 단면에 의해 운용 주파수 대역의 차단 주파수가 높아지는 역할을 하게 되며, 이는 도파관 접합 구조의 성능을 열화시킬 수 있음을 예측할 수 있다. 위와 같은 수평 편파 포트 위치에 따른 접합 구조의 입출력 전파 특성을 분석하기 위해서 AA' 단면 변화에 따른 TE₁₀ 모드의 차단 주파수는 식 (4)를 이용하여 계산하였으며, 접합 구조의 주파수 응답 특성은 상용 프로그램(HFSS)을 이용하여 분석하였다.

$$f_{c, TE_{10}} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (4)$$

그림 4는 OL' 변화에 따른 AA' 면에서의 차단 주파수 변화와 사다리꼴 도파관을 이용한 접합 구조의 정합 특성을 나타낸 것이다. OL'이 최대(310 mm)가 될 때, 가장 낮은 차단 주파수와 반사 손실을 갖는

그림 4. 수평 편파 포트 위치에 따른 성능 변화
Fig. 4. Performance changes depending on the position of h-pol. port.

것을 알 수 있다. 또한, 운용 주파수 대역 내의 최소 반사 손실 특성은 중심 주파수와 차단 주파수 변화로 대역 내 상향 이동은 있으나 전기적 특성의 변화는 거의 없는 것으로 분석되어 AA' 단면적 변화가 접합 구조의 운용 주파수 특성 변화에 주 요인으로 분석되었다.

그림 4의 모의실험 결과는 OL'이 최대가 되는 지점(310 mm)에서 설계 초기값으로 이용 가능한 0.91 GHz의 차단 주파수와 $S_{11} = -14.5$ dB의 반사 손실 성능을 보이며, 도파관 테이퍼의 빗면에 의한 효과로 내부 삽입물 없이도 직각으로 굽은 도파관의 경우보다 기본적으로 더 낮은 반사 손실을 갖게 된다. 이로써, 수평 편파 포트의 초기 설계 위치는 OL'이 최대 (OL'=OL)가 되는 지점이 된다.

III. 직교 모드 변환기

직교 모드 변환기의 최적 성능을 얻기 위해 일반적으로 도파관 접합 구조 내부에 칸막이(septum), 금속 유도 봉 및 기타 삽입물(tunner)을 이용한다^{[2][3]}. 본 논문에서는 L-밴드 대역 직교 모드 변환기의 소형화와 구조적 단순화를 설계 목표로 하였으므로, 입출력 포트 정합 특성과 충분한 편파 격리도를 얻기 위해 금속 봉과 같은 단순한 삽입물과 최소 수량 적용만으로 목표 성능 달성을 시도하였다. 이때, 지름 2 mm의 금속 유도 봉(guiding-post) 단 2개가 적용되었다.

3.1 수평 편파(H-pol) 포트 최적화

수평 편파 입출력 포트는 기본적으로 H-평면 굽은 도파관 구조가 되므로 일반적인 굽은 도파관 구조의 정합 특성을 높이는 방법인 금속 유도봉을 이용하였다. 금속봉의 위치는 그림 3의 DD' 단면에 위치하여 위·아래(Z-offset) 방향으로 이동하였으며, 최적 위치를 얻기 위해 수평(OL) 방향으로도 위치 변화(X-offset)를 주었다.

본 논문에서 적용된 도파관 테이퍼 구조를 응용한 접합 구조는 기본적으로 수평 편파 포트에 입사된 전파가 90°보다 큰 각으로 굽은 형태가 되어 기존 연구^[9]에서 사용된 많은 양(3~7개)의 금속봉 삽입을 한 개로 최소화 시킬 수 있었으며, 그로 인한 도파관 내부 경로 손실을 또한 최소화 시킬 수 있었다.

(a) 수평 편파 포트의 정합 특성
(a) Matching performance of H-pol. port

(b) 수직 편파 포트의 정합 특성
(b) Matching performance of V-pol. port

그림 5. 금속 봉 위치에 따른 특성 변화
Fig. 5. Performance changes depending on the position of the conducting post.

그림 6. 최적화된 직교 모드 변환기 모의 실험 특성
Fig. 6. Simulated performances of the optimized ortho-mode transducer.

그림 5는 한 개의 금속 봉의 기준 위치로부터 변화를 주어 최적 위치(DD'면 D로부터 50 mm 지점)를 얻은 결과로써, 최소화된 금속 봉은 수평 편파 포트 정합 특성을 향상시키면서 동시에 수직 편파 포트 성능 변화에 아무런 영향을 미치지 않음을 보여 준다.

3.2 수직/수평 편파 격리도

수직/수평 편파의 편파 격리도를 높이기 위해서 그림 3의 DA면 중앙에 동일한 크기(지름 2 mm)의 금속봉을 가로로 배치하여 수직 편파의 전파가 수평 편파 포트에 유입되는 것을 막았다. DA면에 위치한 한 개의 금속 봉만으로도 -40 dB 이하의 편파 격리도를 얻을 수 있었다.

그림 6은 각 부분의 초기 설계값과 혼 안테나(HP-BW: E-평면 29.5°, H-평면 36.5°)를 공통 모드 포트에 적용하여 얻은 모의실험 결과이다. 설계 목표에 부합되는 주파수($f_0=1.27$ GHz, BW=400 MHz) 특성을 확인하였으며, 이를 직교 모드 변환기 제작에 적용하였다.

IV. 직교 모드 변환기 성능 분석

앞서 설계된 직교 모드 변환기의 제작은 무게를 가볍게 하기 위하여 1 mm 두께의 금속판을 이용해 제작되었다. 전체 길이는 $L=310$ mm(약 $1.2 \lambda_0$)이며,

그림 7. 제작된 직교 모드 변환기
Fig. 7. Prototype of the proposed OMT.

표 1. 직교 모드 변환기 치수
Table 1. Size of OMT.

No.	크기 [mm]	비 고
a	310	* 어댑터 크기: WR650(165.1×82.55 mm ²) ×140 mm
b	750	
c	100	
d	450	* 혼 안테나: aperture 450×450 mm ² 길이 300 mm

입출력 포트는 표준 도파관 WR650($a=165.1$ mm, $b=82.55$ mm)의 크기를 적용하였다. 그림 7은 최적 설계를 통해 소형화된 혼 안테나와 본 논문에서 제안된 직교 모드 변환기의 결합된 외형을 나타낸다.

제작된 직교 모드 변환기의 성능 분석은 기본적인 입출력 포트 정합 특성 및 편파 격리도뿐만 아니라 직교 모드 변환기 사용 목적인 레이더 후방 산란계수 측정을 위한 시험용 목표물의 완전 편파 RCS 패턴 및 측정 정확도 등을 측정/분석하였다.

4.1 직교 모드 변환기 측정

그림 8은 제작된 직교 모드 변환기의 포트 정합 특성 및 편파 격리도 등의 주파수 응답 특성 측정 결과이다. 측정용 혼 안테나를 장착한 상태로 측정된 반사 손실 -15 dB 기준 주파수 대역폭은 420 MHz이며, 편파 격리도는 주파수 대역 내 평균 -40 dB 이하의 특성을 나타낸다. 이는 설계 목표인 중심 주파수 1.27 GHz, 대역폭 350 MHz, 편파 격리도 -35 dB

그림 8. 제작된 직교 모드 변환기의 주파수 특성
Fig. 8. Measured performances of the manufactured orthomode transducer.

에 부합되는 결과이며, 편파별 주파수 응답 특성은 구조적인 비대칭성으로 인한 결과이다.

4.2 완전 편파 RCS 측정

제작된 직교 모드 변환기를 탑재한 보정된 scatterometer 시스템을 이용하여 직각변 길이 55 cm인 삼각 수동 전파반사기의 완전 편파 응답 특성 및 RCS 패턴을 측정하여 본 직교 모드 변환기의 사용 목적에 부합되는 완전 편파의 RCS 보정 성능과 측정용 안테나의 방사 패턴 특성이 반영된 RCS 패턴을 측정/분석하였다.

이때, 안테나 및 제작된 직교 모드 변환기를 포함한 측정 시스템의 왜곡 정도를 보정하기 위해서 기본적으로 이론적으로 잘 알려진 보정용 목표물(금속 구, 삼각 수동 전파 반사기, 금속 봉 등)의 RCS를 측정하고, 이를 이론적 RCS와 비교하여 시스템의 왜곡행렬([D] 또는 [R], [T])를 얻을 수 있다. 다음으로 보정된 측정 시스템의 보정 정확도를 시험용 목표물(55 cm 삼각 수동 전파반사기)의 RCS를 측정하여 그 결과를 분석하였다. 제작된 직교 모드 변환기를 이용한 측정 시스템 보정을 위해 STCT(Single Target Calibration Technique)^[5] 보정 기법을 이용하였으며, 측정 및 분석 결과는 그림 9와 같다.

운용 주파수 대역 내 보정 정확도는 수직/수평 편파 각각 약 -0.25 dB / 0.27 dB의 오차 성분을 갖는

(a) 완전 편파 RCS 주파수 응답 특성
(a) Full-polarimetric RCS frequency responses

(b) 보정된 RCS의 오차 성분
(b) Residuals of the calibrated RCS

그림 9. 삼각 수동 전파 반사기(55 cm)의 완전 편파 RCS 주파수 응답 특성

Fig. 9. The measurement results of full-polarimetric RCS of trihedral corner reflecter(55 cm).

다. 또한, 시험용 목표물인 삼각 수동 전파 반사기는 이론적으로 교차 편파 특성이 없으나, 실제 측정 환경 및 시스템의 특성에 의해 발생된 교차 편파는 시스템 보정 후 유효 편파 격리도가 약 7.2 dB 이상 개선되는 효과를 얻을 수 있었다.

앞선 보정 절차를 통해 보정된 scatterometer 시스템과 2차원 목표물 스캐닝 측정 기법을 이용하여 시험용 목표물의 완전 편파 RCS 패턴을 측정하였다. 그림 10은 시험용 목표물(30 cm 삼각 수동 전파 반사기)의 정규화된 RCS 패턴을 각각 동일 편파(vv-, hh-pol.)와 직교 편파(vh-pol.)로 나타낸 것이다. 시험용 목표물의 RCS를 측정하기 위해 수직/수평 방향

(a) 수직 편파 패턴
(a) VV-pol. pattern

(b) 수평 편파 패턴
(b) HH-pol. pattern

(c) 교차 편파 패턴
(c) Cross-pol.(VH-pol.) pattern

그림 10. 제작된 직교 모드 변환기로 측정된 시험용 목표물의 정규화된 완전 편파 RCS 패턴 측정 결과

Fig. 10. The normalized polarimetric RCS patterns of test-target measured by the manufactured orthomode transducer.

으로 각각 $\pm 20^\circ$ 범위, 2° 간격으로 측정된 결과이다. RCS 패턴 측정을 위해 사용된 3단 혼 안테나의 HP-BW은 정규화된 RCS 패턴의 -6 dB(round-trip)를 기준으로 θ -, ϕ -방향 단면에서 분석될 수 있으며, 각각 E-평면 36.5° , H-평면 29.5° 의 방사 패턴과 동일한 결과를 얻었다.

V. 결 론

본 논문에서는 L-밴드 대역의 소형화된 도파관 직교 모드 변환기 설계/제작 및 레이더 후방 산란 측정 목적에 부합되는 성능 분석에 대한 연구 결과를 제시하였다. 도파관 테이퍼 구조를 기본 구조로한 소형화된 도파관 접합 구조는 기존의 직교 모드 변환기 크기를 약 60 % (길이: 310 mm, 안테나+어댑터 포함 전체 길이: 750 mm) 이하로 줄였으며, 두 개의 금속 봉 삽입으로 대역폭 400 MHz 이상, 편파 격리도 -40 dB 이하의 동급 직교 모드 변환기의 성능을 유지할 수 있었다. 또한, L-밴드 대역 지상 운용용 scatterometer 시스템에 적용 시, 시험용 목표물의 RCS 분석 결과는 이론값과 비교하여 수직/수평 편파 각각 -0.2 dB/ 0.27 dB의 오차를 갖는 우수한 측정 정확도를 나타내었다.

소형화되고 구조가 단순한 직교 모드 변환기는 기존 장비의 큰 부피로 인한 설치와 운용의 어려움을 줄여 L-밴드 대역의 주파수를 이용한 원격 탐사 분야의 지표면 레이더 후방 산란 연구 등을 위한 완전 편파 측정용 안테나 시스템으로 사용될 수 있으며, 또한 상대적으로 낮은 주파수 대역의 전자파 산란 특성 분석 실험을 위한 다양한 연구에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Kamal Sarabandi, Yisok Oh, and Fawwaz T. Ulaby,

"Performance characterization of polarimetric active radar calibrators and a new single antenna design", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 40, no. 10, pp. 1147-1154, Oct. 1992.

[2] J. Uher, J. Bornemann, and U. Rosenberg, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems: Theory and CAD*, Artech House, pp. 377-445, 1993.

[3] A. M. Boifot, E. Lier, and T. Schaug-Pettersson, "Simple and broadband orthomode transducer", *IEE Proc., Microw. Antennas Propag.*, vol. 137, no. 6, pp. 396-400, Dec. 1990.

[4] Earth Observation Center, Japan Aerospace eXploration Agency, *ALOS User Handbook*, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/about/about_index.htm

[5] Kamal Sarabandi, Fawwaz T. Ulaby, "A convenient technique for polarimetric calibration of single-antenna radar systems", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, vol. 28, no. 6, pp. 1022-1033, Nov. 1990.

[6] 황지환, 박성민, 권순구, 오이석, "X-밴드 완전 편파 scatterometer 시스템 보정에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 21(4), 2010년 4월.

[7] R. C. Johnson, "Design of linear double tapers in rectangular waveguides", *Microwave Theory and Techniques, IRE Transactions on*, vol. 7, no. 3, pp. 374-378, Jul. 1959.

[8] Weimin Sun, C. A. Balanis, "MFIE analysis and design of ridged waveguides", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 41, no. 11, pp. 1965-1971, Nov. 1993.

[9] 오이석, 이진원, 홍진영, "Isolation 특성이 좋은 orthogonal mode transducer 설계와 제작", 한국전자과학회논문지, 11(6), 2000년 9월.

황 지 환

2001년 2월: 홍익대학교 전파공학과 (공학사)
 2003년 2월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학석사)
 2003년 4월~2006년 5월: LG전자 단말연구소 연구원
 2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격 탐사, 안테나

주 정 명

2011년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2011년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] SAR 영상 분석, 전파 산란

권 순 구

2007년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2009년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
 2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 전파 산란, 마이크로

파 원격 탐사, SAR 영상분석

오 이 석

1982년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1988년 12월: University of Missouri-Rolla, 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
 1993년 12월: University of Michigan, Ann Arbor 전기공학 및 컴퓨터과학과 (공학박사)

1997년~2001년: 대한원격탐사학회 상임이사
 2001년~2008년: 한국전자과학회 상임이사
 2006년~2008년: Chair, IEEE GRS Korea Chapter
 2009년~2010년: Stanford University 방문교수
 1994년~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수
 2009년~현재: IEEE Fellow
 [주 관심분야] 전파 산란, 마이크로파 원격 탐사, 레이더, 안테나