

무인항공기 밀리미터파 라디오미터 응용을 위한 소형 Q대역 도파관-마이크로스트립 전이구조 설계

Design of Compact Q-Band Waveguide-to-Microstrip Transition for UAV Millimeter-Wave Radiometer Applications

우 동 식 · 정 종 혁

Dong Sik Woo · Jong-Hyeog Jeong

요 약

본 논문에서는 Q 대역에서 사용가능한 무인항공기 라디오미터 응용 소형 도파관-마이크로스트립 전이구조를 제안하였다. 제안된 전이구조는 간단하면서도 소형이며, 쉽게 정합이 되고, 크기와 제작 오차에 덜 민감한 특징을 가진다. E 평면 패치형태를 가지는 제안된 전이구조는 캐비티 장착뿐 아니라, 도파관-마이크로스트립 기관의 정렬오차에도 덜 민감한 것이 특징이다. 주요파라미터의 최적화에는 3차원 시뮬레이터인 ANSYS사의 HFSS를 사용하였다. Back-to-back 구조에 대하여 중심 주파수에서 20 dB 이상의 반사손실과 1 dB 이하의 삽입손실을 가졌으며, 36 GHz에서 42 GHz까지 반사손실 15 dB 이상의 우수한 성능을 가졌다.

Abstract

A compact Q-band waveguide-to-microstrip transition for UAV(Unmanned Aerial Vehicle) radiometer applications is presented. The key features of this transition are simplicity, compactness, easy matching, and lower sensitivity to the dimensions and fabrication tolerances. The simple E-plane patch-type design is insensitive to the backshort cavity enclosure and misalignment between the waveguide and microstrip substrate. The primary parameters are optimized using a three-dimensional(3D) electromagnetic simulator(ANSYS HFSS). It exhibited better than 20-dB return loss at mid-band frequencies with less than 1-dB insertion loss for the back-to-back transition, and a return loss better than 15 dB over the frequency range of 36 GHz to 42 GHz.

Key words: Waveguide Transition, Q-Band, Radiometer, UAV, Millimeter-Wave

I. 서 론

전자파를 발산하지 않고 물체로부터 순수하게 방사되는 에너지를 수신하여 측정하는 라디오미터(radiometer)는 주로 다른 센서로 측정하기 어려운 지구 표면 및 대기의 복사특성을 측정하는데 널리 사용되고 있다. 최근에는 마이

크로파뿐 아니라 밀리미터파 대 주파수를 이용하여 지구 대기에 장시간 머무르는 무인항공기를 통한 고해상도 지상관측 라디오미터에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 무인기에 탑재되는 라디오미터는 온도와 습도 관측은 물론, 경량 및 저전력 특성을 가짐으로써 무인항공기를 활용한 기상자료 산출의 핵심 임무를 맡고 있다. 이러한 소

경운대학교 항공정보통신공학과(Department of Aviation Information and Communications Engineering, Kyungwoon University)

· Manuscript received February 22, 2018 ; Revised March 22, 2018 ; Accepted April 9, 2018. (ID No. 20180222-006S)

· Corresponding Author: Jong-Hyeog Jeong (e-mail: jhjeong@ikw.ac.kr)

형 고고도 이미징 무인항공기용 라디오미터는 CHAIRS (Compact High Altitude Imager & Sounding Radiometer)라고 부른다.^{[1][2]} 라디오미터의 수신감도를 높이기 위해서는 입력 잡음을 최소화 하는 저손실 도파관-마이크로스트립 전이구조 설계가 필수적이다. 이때 중요한 설계 주안점은 임피던스 정합과 필드 정합을 모두 만족시켜주는 것이다. 기존에 연구된바 있는 도파관-마이크로스트립 전이구조는 간단한 E 평면 프로브 형태^[3], 핀라인 구조^[4], 리지드 계단 혹은 테이퍼 형태^[5], 슬롯 결합의 형태^[6] 등 다양하다. 이중 E 평면 프로브 형태는 구조가 간단하고 짧은 모드변환 길이를 가지는 장점이 있어 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 CHAIRS에 사용될 수 있는 밀리미터파 라디오미터용 Q대역(33~50 GHz) 저손실 도파관-마이크로스트립 전이구조를 설계하였다. 간단하면서도 소형이면서 크기에 덜 민감한 패치모양의 E 평면 프로브 전이구조를 채택하여 크기 및 제작오차를 줄였다. 또한 패치와 50 Ω 전송선로 사이에 최적화된 오프셋 길이를 가지는 임피던스 변환기를 두었으며, 패턴으로 정확한 위치에 장착하도록 하여 정렬오차 및 장착오차에 덜 민감하도록 하였다. 설계결과 Q 대역에서 우수한 성능을 가지는 저손실 도파관-마이크로스트립 전이구조를 얻었다.

II. 전이구조 설계 및 모의해석

전이구조의 설계에 있어 필드 정합과 임피던스 정합은 확실한 EM 결합을 위해 중요하다. 필드 정합은 주로 전이구조의 형상에 따라 결정됨으로 프로브의 단락으로 부터의 최적 위치, 프로브의 선폭 등에 크게 좌우되며, 프로브 선폭은 입력 리액턴스 값에 영향을 준다. 설계된 프로브에서는 도파관의 TE_{10} 지배 모드가 주로 결합되어 전기적 전류가 생성되도록 하여 자연스럽게 전이되도록 하였다.

본 논문에서는 Q 대역에서 사용하는 WR-22(5.69×2.84 mm) 도파관을 기준으로 설계하였다. 전이구조의 설계 주파수 대역은 CHAIRS의 밴드2 영역인 36~42 GHz로 대략 6 GHz 이상의 대역폭을 가지도록 설계하였다.

설계에 사용된 기판은 밀리미터파 대역에서 저손실 특성을 가지며 제작 정확도를 높이기 위하여 유전율(ϵ_r)이 9.8인 두께(h) 0.127 mm(5 mil)의 Alumina($\tan \delta=0.002$) 기판을 사용하여 소형화 하였다. 이때 그림 1에서 보는 바

와 같이 50 Ω 전송선로의 선폭은 0.12 mm(4.8 mil), 입력 전송선로와 패치사이에 0.18 mm(7 mil) 길이의 오프셋 길이(S)를 설정하여 임피던스 및 필드 정합을 통해 광대역 특성을 가지도록 하였다. 오프셋 시작점은 도파관 벽면과 일치한다. 모의해석에 사용된 시뮬레이터는 ANSYS사의 HFSS를 활용하여 산란계수, 전류분포, 전장 필드분포 등을 확인하였다. 해석결과 단일 전이구조의 경우 그림 2에서와 같이 중심 주파수 대역에서 삽입손실 0.3 dB 이하, 반사손실 20 dB 이상의 우수한 손실 및 반사특성을 가졌다. 전송선로 길이가 4.6 mm($\sim 1.5 \lambda_g$)인 back-to-back 전이구조의 시뮬레이션에서도 그림 3에서와 같이 대략 0.5 dB 이하의 우수한 삽입손실을 가졌으며, 길이변화에 따른 산란계수는 거의 동일하였다. 도파관 TE_{10} 모드가 마이크로스트립 quasi-TEM 모드로 전이가 정상적으로 잘 이루어져 있음을 필드 분포를 통하여 확인하였다.

III. 제작 및 측정결과

그림 4는 단일 전이구조의 파라미터 변화에 따른 특성

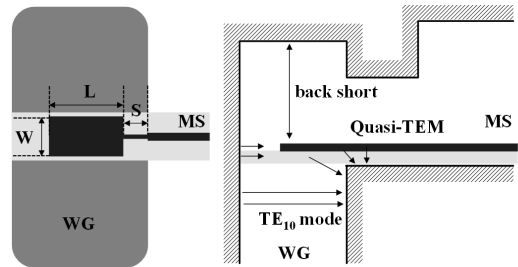


그림 1. 제안된 도파관-마이크로스트립 전이구조
Fig. 1. Proposed WG-MS transition.

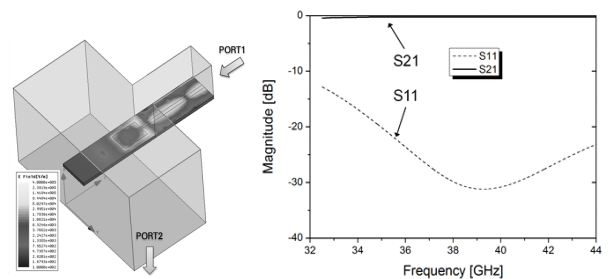
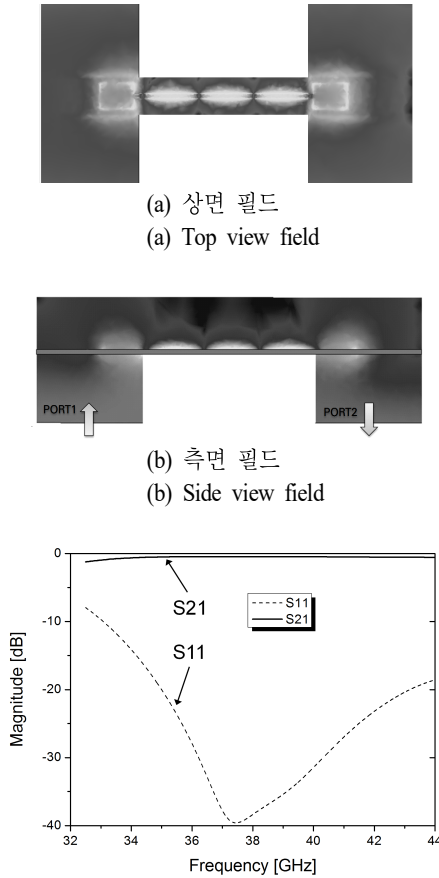


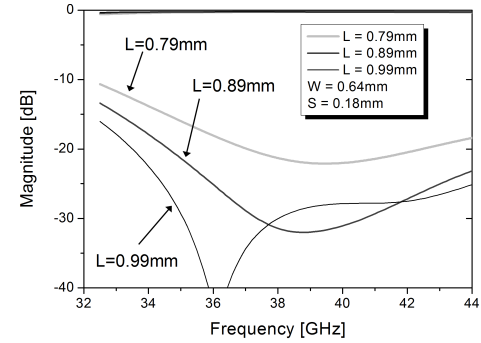
그림 2. 단일 전이구조 모의해석 결과
Fig. 2. Single transition simulated result.



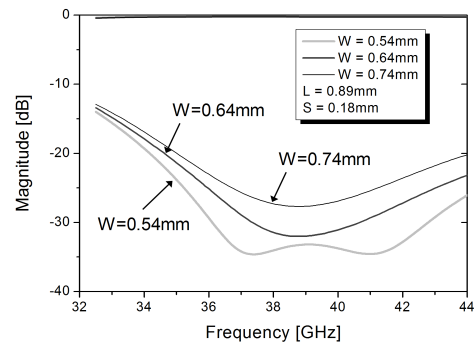
(c) 산란계수($f=38$ GHz, 전송선로 길이 4.6 mm)
(c) S -parameter($f=38$ GHz, transmission line length 4.6 mm)

그림 3. Back-to-back 전이구조 모의해석 결과
Fig. 3. Back-to-back transition simulated result.

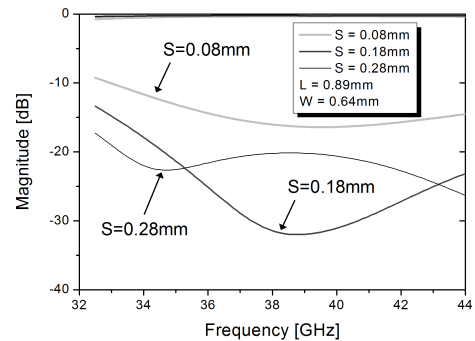
을 모의해석한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 패치 길이(L) 및 폭(W)의 변화 따른 특성의 변화가 적음을 확인하였다. 오프셋 길이(S)에 따른 변화는 상대적으로 큰 편임을 고려하여 thin-film 제작공정으로 제작오차를 줄였으며, 정확한 위치에 장착하기 위한 안내패턴을 이용하여 장착오차를 최소화 하도록 하였다. 패치 프로브의 길이 L 은 설계 중심주파수 38 GHz 기준 0.89 mm($\sim 0.34 \lambda_g$), 폭 W 는 0.64 mm($\sim 0.25 \lambda_g$), 오프셋 길이 S 는 0.18 mm, back-short 길이는 1.4 mm($\sim 0.17 \lambda_0$)로 최적값을 도출하였다. 제작된 전이구조를 back-to-back 측정을 위해 제작된 치구에 조립하여 그림 5와 같이 전이구조 특성을 측정하였다. DUT의 back-to-back 길이는 5.6 mm($\sim 1.8 \lambda_g$)이다.



(a) 길이(L) 변화
(a) L variation



(b) 폭(W) 변화
(b) W variation



(c) 오프셋(S) 변화
(c) S variation

그림 4. 단일 전이구조 파라미터 모의해석
Fig. 4. Single transition parametric simulation.

전이구조의 측정에 사용된 도파관-동축 어댑터는 QWA22R24F이며, Anritsu사의 37397C 네트워크 분석기를 이용하였다. 측정 결과 그림 6에서 보는바와 같이 중심주파수에서 1.4 dB 이하의 삽입손실과 20 dB 이상의 반사손실을 가졌다.

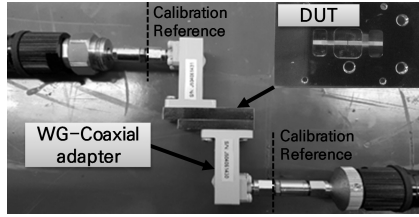


그림 5. Back-to-back 측정 셋업
Fig. 5. Back-to-back measurement setup.

어댑터의 삽입손실 약 0.4 dB를 보상하면 삽입손실은 1 dB 이하임을 알 수 있으며, 단위 전이구조당 삽입손실은 0.5 dB 이하이다. 동작 주파수인 36~42 GHz 대역에서 반사손실 15 dB 이상, 삽입손실 2 dB 이하의 특성을 가졌으며, 모의해석과 측정결과가 비교적 잘 일치하였다. 반사손실의 주기적 리플현상은 측정치구와 도파관-동축 어댑터 및 DUT의 불연속성에 기인한 것으로 판단된다. 43.5 GHz 대역에서 발생하는 공진현상은 측정치구 캐비티에 의한 공진현상이다. 그림 7은 장착된 무인항공기용 Q 대역의 소형 라디오미터의 프로토타입이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 무인항공기의 라디오미터에 사용될 수 있는 저손실, 소형 도파관-마이크로스트립 전이구조를 제안하였다. 제안된 전이구조는 오프셋 정합부를 포함하는 패치형태의 E 평면 프로브 형태이며, 크기와 장착오차에 덜 민감한 것이 특징이다. 제작결과 중심

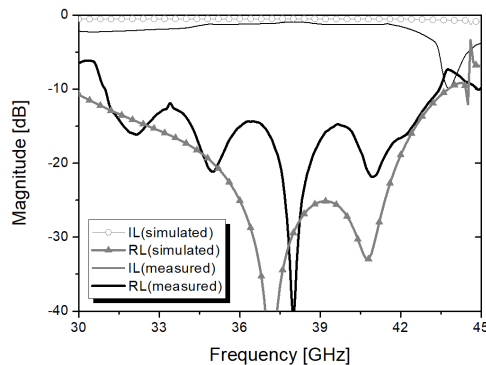


그림 6. 측정된 산란계수
Fig. 6. Measured S-parameter.

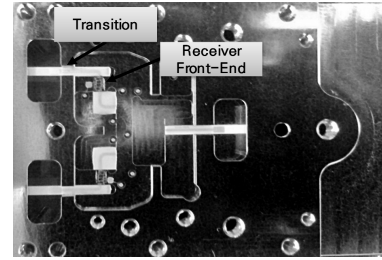


그림 7. 제작된 라디오미터 프로토타입
Fig. 7. Fabricated radiometer proto-type.

주파수 대역에서 1 dB 이하의 삽입손실과 20 dB 이상의 반사손실을 가져 비교적 모의해석과 잘 일치하였다. 제안된 전이구조는 밀리미터파 주파수 대역의 라디오미터 센서와 같은 소형, 저손실 송수신 시스템에 다양하게 응용될 수 있을 것이다.

References

- [1] N. Skou, *Microwave Radiometer Systems: Design and Analysis*, Norwood, MA, Artech House, 1989.
- [2] 최규용, Marian Klein, 민승현, 하종철, 조영준, 김기훈, 임은하, "장기체공 무인비행체 탑재용 초소형 초경량 마이크로파 라디오미터 개발," 한국기상학회 학술대회논문집, pp. 250-251, 2015년 10월.
- [3] Y. C. Shih, T. N. Ton, and L. Q. Bui, "Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave applications," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, New York, NY, 1988, vol. 1, pp. 473-475.
- [4] J. S. Izadian, S. M. Izadian, *Microwave Transition Design*, Norwood, MA, Artech House, 1988.
- [5] Y. Ding, K. Wu, "Substrate integrated waveguide-to-microstrip transition in multilayer substrate," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 55, no. 12, pp. 2839-2844, Dec. 2007.
- [6] A. A. Omar, N. I. Dib, "Analysis of slot-coupled transitions from microstrip-to-microstrip and microstrip-to-waveguides," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 45, no. 7, pp. 1127-1132, Jul. 1997.