

NRD 도파관에 내장된 구조를 갖는 구형 도파관- NRD 도파관 트랜지션

Rectangular Waveguide-NRD Waveguide Transition having the NRD Waveguide Built-in Structure

유 영 근 · 최 재 하

Young-Geun Yoo · Jae-Ha Choi

요 약

본 논문에서는 NRD 도파관 내에 표준 도파관에 대한 트랜지션 기능이 내장된 새로운 형태의 구형 도파관-NRD 도파관 트랜지션을 제안하였다. 새롭게 제안된 구형 도파관-NRD 도파관 트랜지션은 NRD 도파관 입출력 측의 기구물 벽 두께와 개구부의 폭을 이용하여 구현된다. 벽 두께의 경우, NRD 도파관 관내 파장의 절반($\lambda_g/2$)과 거의 동일하며, 개구부의 폭은 NRD 도파관과 체결되는 표준 도파관의 넓은 변의 길이와 거의 일치한다. 이러한 원리는 주파수 대역과 무관하게 적용 가능하며, 본 논문에서는 38 GHz 대역에서 구형 도파관-NRD 도파관 트랜지션을 제작하여 타당성을 확인하였다. 38 GHz 대에서 제작된 구형 도파관-NRD 도파관 트랜지션은 back-to-back 구조에서 0.4 dB 이하의 삽입 손실과 20 dB 이하의 반사 손실을 갖는다.

Abstract

In this paper, we proposed the new rectangular waveguide-NRD waveguide transition in which the transition function about the standard waveguide is built in within the NRD waveguide itself. The newly proposed rectangular waveguide-NRD waveguide transition was realized use of NRD waveguide input/output side wall thickness and hole width. In the case of the wall thickness, it was nearly identical with the half of the NRD waveguide guide wavelength and the width of an hole was nearly coincide with the length of the long side of the standard waveguide connected with the NRD waveguide. This kind of the principles is applicable to be unrelated with the frequency band. In this paper, it made in 38 GHz band with the rectangular waveguide-NRD waveguide transition and the feasibility was confirmed. In the back-to-back structure, the rectangular waveguide-NRD waveguide transition manufactured in 38 GHz band has the insertion loss less than 0.4 dB and also has the return loss less than 20 dB.

Key words : Rectangular Waveguide-NRD Waveguide Transition, 38 GHz Band Transition

I. 서 론

NRD 도파관이 1981년 Yoneyama와 Nishida^[1]에 의해서 처음 제안된 이래로 NRD 도파관 구조를 적용한 각종 통신 부품들이 꾸준히 개발되어 오고 있다.

NRD 도파관이 주목받고 있는 이유는 NRD 도파관을 밀리미터파 대의 저 손실 전송 선로로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 도파로 내부에 포함된 유전체 선로를 거치대로 하여 반도체 소자 등을 장착하여 믹서, 변조기, 발진기 등과 같은 밀리미터파 대의 통신

울산대학교 전기전자정보시스템공학부(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

· 논문 번호 : 20071119-127

· 수정완료일자 : 2008년 3월 25일

부품들을 비교적 손쉽게 제작할 수 있다는 점 때문이다^[2].

일반적으로 밀리미터파 대의 측정 시스템들은 입출력 포트가 구형 도파관으로 이루어져 있기 때문에 NRD 도파관 구조로 제작된 통신 부품들의 성능 검증을 위해서, 그리고 NRD 도파관 구조로 제작된 통신 부품들과 기존의 다른 통신 부품들과의 연결을 위해서 구형 도파관-NRD 도파관 트랜지션(이하 트랜지션)이 반드시 필요하다.

지금까지 문헌이나 논문을 통해 발표되었던 트랜지션은 그림 1에서와 같이 일반적으로 테이퍼(taper) 구조의 기구물에 유전체 로드 안테나(rod antenna)가 결합된 구조인데^{[3]~[5]}, 이러한 트랜지션의 특징은 로드 안테나의 끝이 뾰족할수록 우수한 특성을 갖는다는 점이다.

그러나 유전체 선로의 재질이 무르기 때문에 로드 안테나의 끝을 뾰족하게 가공하기가 어렵고, 또한 테이퍼 구조의 기구물 제작을 위해 와이어 커팅(wire cutting)이라는 다소 값비싼 공정이 필요하게 되므로 단가를 낮추는데 어려움이 있었다. 무엇보다도 NRD 도파관 구조로 제작된 통신 부품 입출력 측에 이러한 구조의 트랜지션이 항상 연결되어야 하므로 소형화의 걸림돌이 되어 왔다.

이러한 문제들을 극복하기 위해 NRD 도파관 입출력 측에 구형 도파관과의 천이 기능이 포함된 새로운 구조의 트랜지션을 제안하게 되었다.

II. 새로운 트랜지션 구조의 제안

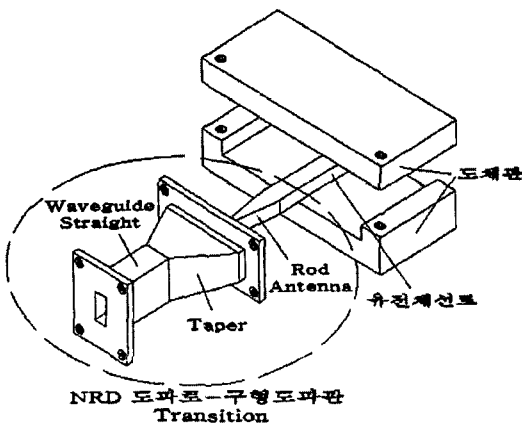


그림 1. 통상적인 구조의 트랜지션
Fig. 1. The transition of general structure.

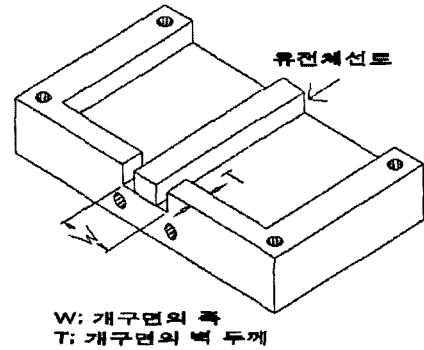


그림 2. 새롭게 제안된 트랜지션의 구조
Fig. 2. The structure of newly suggested transition.

본 논문에서는 그림 2에서와 같이 도파관과 체결되는 부분의 NRD 도파관의 기구물 벽면을 이용하여 NRD 도파관 내부에 트랜지션 기능을 내장시킨 특징을 갖는 새로운 트랜지션을 제안하였다.

트랜지션을 형성하는 개구부의 폭과 벽 두께를 구하는 과정은 쉽지 않았는데, 설계에서부터 제작, 측정에 이르는 과정을 수차례 반복한 결과, 개구부의 폭은 외부에 체결되는 도파관 긴 변의 길이와 거의 일치하고, 벽 두께는 NRD 도파관 관내 파장과 근사적으로 같다는 것을 밝혀내었다. 이를 정리하면 식 (1)과 같다.

$$W \approx \text{표준 구형 도파관 긴 변의 길이}$$

$$T \approx \lambda_g/2 \text{ (NRD 도파관의 관내 파장)} \quad (1)$$

트랜지션의 최종 치수는 식 (1)로부터 얻어지는 기본적인 값에서 성능과 가공성을 고려하여 약간의 미세 조정 후 정해진다.

본 논문에서 제안한 트랜지션을 국내 BWLL 용도인 38~40 GHz 대역에서 사용할 수 있도록 제작하였으며, 측정을 통하여 유효성을 입증하였다.

III. 38 GHz 대역 트랜지션

3-1 38 GHz 대역 NRD 도파관 구조

NRD 도파관 제작 시 사용한 도체판은 알루미늄이며, 유전체 선로는 $\epsilon_r=2.05$ 인 PTFE이다. NRD 도파관의 규격은 Yoneyama 교수가 제시한 치수 범위^[1]에서 수급 가능한 PTFE 원판의 종류와 가공성 등을 종합적으로 고려하여 높이 3.5 mm, 폭 4 mm로 정하

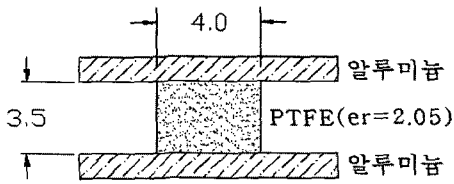


그림 3. 38 GHz 대역 NRD 도파관의 구조
Fig. 3. The structure of 38 GHz band NRD waveguide.

였다. 그림 3에 NRD 도파관의 구조를 나타내었다.

3-2 초기 설계

38 GHz 대역에서 일반적으로 사용되고 있는 표준 구형 도파관은 WR-28인데, 이 구형 도파관 단면의 가로×세로 길이는 7.11×3.56 mm이다. 그리고 $c/(f\sqrt{er})$ 의 관계식으로부터 설계 대역의 중심 주파수인 39 GHz에서 NRD 도파관의 관내 파장은 약 5.37 mm가 된다.

따라서, 식 (1)로부터 트랜지션을 구성하는 개구부의 폭은 7.1 mm, 벽 두께는 2.7 mm로 결정하였으며, 이것을 초기값으로 하여 트랜지션 설계를 진행하였다. 설계는 Ansoft HFSS^[6]로 수행하였으며, 그림 4에 시뮬레이션을 위한 back-to-back 모델링 구조를, 그리고 그림 5에 설계 결과를 각각 나타내었다.

3-3 튜닝(Tuning)

식 (1)로부터 구한 치수를 적용한 최초 설계 결과는 반사 손실 25 dB 이하로 상당히 만족할 만한 수준이었다. 식 (1)로부터 구한 최초 값이 어느 정도 정확함을 파악하여 오차 범위를 확인하고, 궁극적

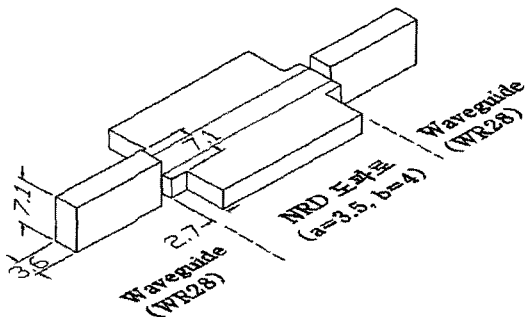


그림 4. 시뮬레이션 모델링
Fig. 4. The simulation modeling.

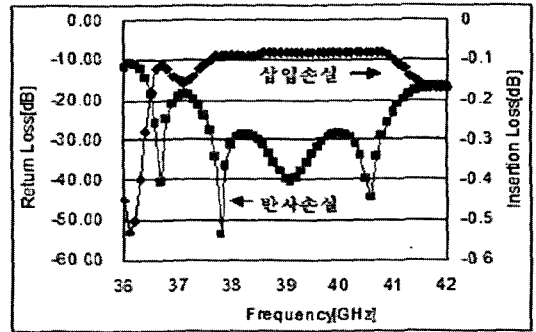


그림 5. 트랜지션의 최초 설계 결과
Fig. 5. The first simulation result of the transition.

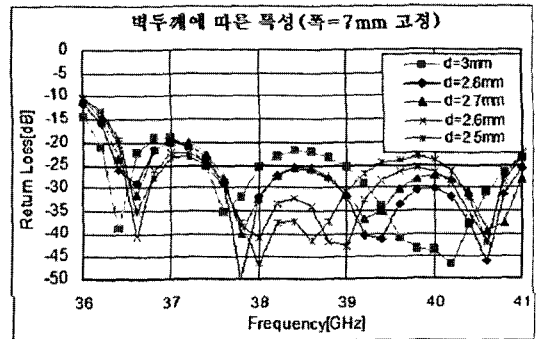


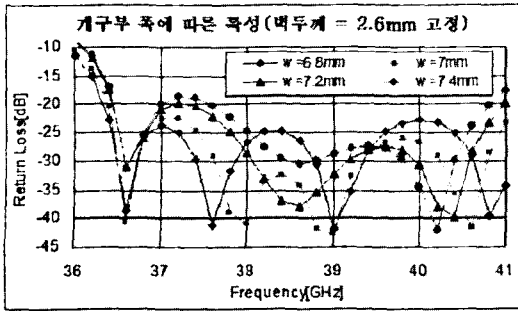
그림 6. 벽 두께에 따른 트랜지션의 특성(폭=7 mm)
Fig. 6. Performance of transition according to the wall thickness ($W=7$ mm).

으로 이 구조에서 최상의 성능을 갖는 트랜지션을 제작하기 위하여 일정한 범위에서 튜닝을 진행하였다.

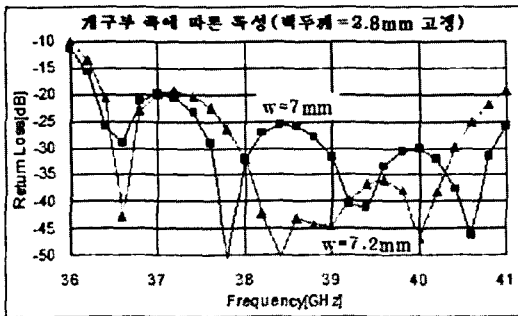
먼저, 가공성을 고려하여 개구부의 폭을 정수 값인 7 mm로 변경 고정 한 후 벽 두께에 따른 특성 변화를 해석해 보았는데, 그림 6에서 보인 바와 같이 벽 두께가 2.6~2.8 mm 범위에 있을 때 가장 좋은 특성을 갖는 것으로 나타났다. 벽 두께가 2.6~2.8 mm 범위에 있을 때 특성이 가장 양호했으므로 다음 수준으로 벽 두께를 2.6 mm와 2.8 mm로 고정 한 후 개구부의 폭에 따른 특성 변화를 해석하여 결과를 그림 7에 나타내었다.

그림 6과 그림 7의 설계 과정을 통해 개구부의 폭이 7.2 mm, 벽 두께가 2.8 mm일 때 설계 대역에서 가장 우수한 성능을 보이고 있음을 확인하였으며, 이 값을 최종 치수로 결정하였다.

그림 8에 트랜지션의 최종 설계 결과를 나타내었



(a) $T=2.6$ mm



(b) $T=2.8$ mm

그림 7. 개구부의 폭에 따른 트랜지션의 특성
Fig. 7. The Transition performance according to the hole width.

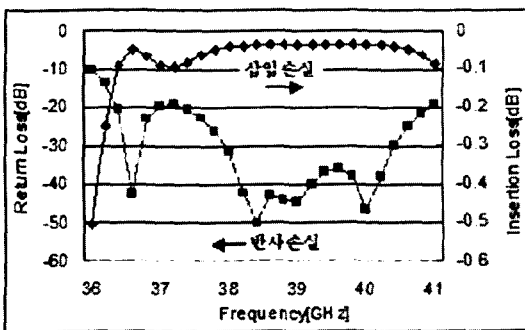
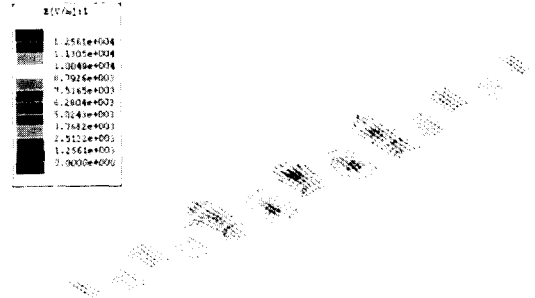


그림 8. 트랜지션의 최종 설계 결과
Fig. 8. The final simulation result of the transition.

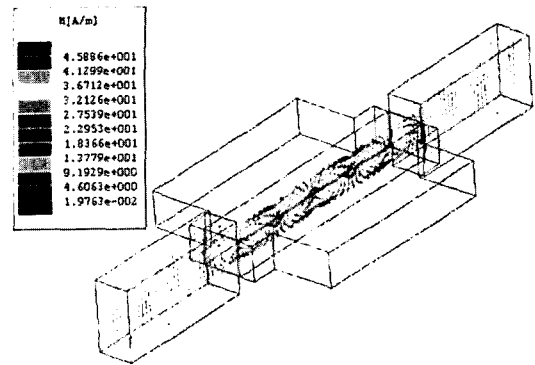
고, 그림 9에 설계된 트랜지션의 필드 분포를 나타내었으며, 그림 9에 최종 설계된 트랜지션의 구조를 나타내었다.

3-4 제작 및 측정

유전체 선로로 사용된 PTFE는 재질이 무르기 때문에 가공이 무척 까다로운 편이다. 이 때문에 NRD



(a) E-Field



(b) E-Field

그림 9. 트랜지션의 field 분포
Fig. 9. Field distribution of the transition.

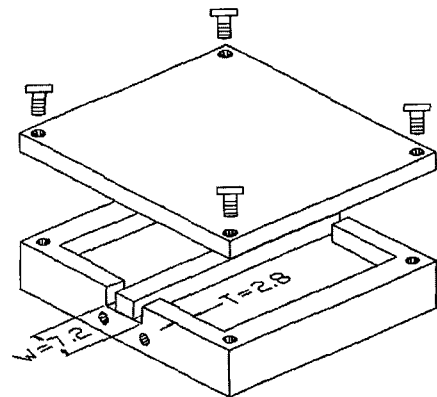


그림 10. 트랜지션의 최종 구조
Fig. 10. The final structure of the transition.

도파관의 구조를 원관 구입이 가능한 PTFE로 선정하여(4 mm) 한 쪽 단면의 가공이 생략되도록 하였다. 3.5 mm 길이로 절단은 머시닝센터로 이루어졌는데, 치수의 정확성과 일관성 확보를 위해 보조 치공구를 제작하여 가공에 활용하였다. 알루미늄 재질의 기구물은 구조가 매우 단순하고 비교적 치수에

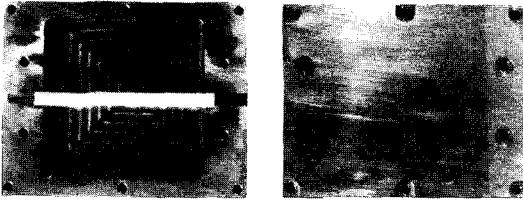


그림 11. 제작된 트랜지션의 사진
Fig. 11. The photograph of the transition.

둔감하므로 가공에 따른 특별한 어려움은 없었다.

트랜지션이 포함된 NRD 도파관은 순간접착제를 이용하여 알루미늄 재질의 기구물에 유전체 선로를 부착한 후 뚜껑만 닫아주면 제작이 완료된다. 그림 11에 제작된 트랜지션의 실물 사진을 나타내었다.

측정은 Anritsu 社の 37397A 네트워크 아날라이저를 이용하여 수행하였다. 그 결과, 그림 12에서와 같이 설계 대역에서 삽입 손실은 0.4 dB 이하, 반사 손실은 20 dB 이하로 측정되었다. 설계치가 삽입 손실이 0.1 dB 이하이고, 반사 손실이 35 dB 이하인 것에 비하면 성능이 많이 저하된 편인데, 이는 대부분 제작상에서 발생한 것으로 판단된다.

제작상에서 발생할 수 있는 문제는 대부분 유전체 선로의 절단과 부착에 관련된 것인데, 유전체 선로를 수직면으로 매끈하게 절단하기가 쉽지 않았고, 또 정 중앙에 위치시키는 것도 어려웠는데, 이러한 요인들이 성능에 영향을 끼친 것으로 추측된다.

제작상의 문제로 인해 성능이 다소 저하되었다고는 하지만 back-to-back 측정 결과로서 0.4 dB 이하

의 삽입 손실과 20 dB 이하의 반사 손실을 보임으로서 개발된 트랜지션의 실용성은 충분히 확보되었다고 생각한다.

한편, 절단 및 조립 등에 필요한 치공구의 사용 등 양산기술을 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으므로, 위에서 언급된 제작상의 문제들도 곧 해결될 전망이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 대의 전송 선로로 활용이 가능하고, 통신 부품 제작에 적합한 구조를 갖고 있는 NRD 도파관에 있어서, 성능 검증 및 다른 통신 부품과의 연결을 위해서 반드시 요구되는 표준 도파관과의 트랜지션을 별도로 제작하지 않고, NRD 도파관 내부에 내장하는 새로운 구조의 트랜지션을 제안하고, 구성 원리에 대해 소개하였다.

이러한 원리를 적용하여 38 GHz 대역에서 트랜지션을 직접 제작하여 타당성을 확인하였는데, 본 논문에서 제시된 수식으로부터 구한 치수에서 4% 이내에 최종 목표값이 존재하여, 거의 오차 범위 내에서 일치함을 확인하였다.

NRD 도파관 구조의 통신 부품에 연결되는 통상적인 구조의 트랜지션은 부피가 통신 부품보다 오히려 더 큰 경우도 있어 소형화의 걸림돌이 되어 왔으며, 또한 가공하기가 쉽지 않아 일관된 특성을 기대하기가 어려웠다. 본 논문에서 제안한 트랜지션을 사용할 경우, 이러한 문제들이 손쉽게 해결될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] T. Yoneyama, S. Nishida, "Nonradiative dielectric waveguide for millimeter-wave integrated circuits", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-29, pp. 1188-1192, 1981.
- [2] T. Yoneyama, "Nonradiative dielectric waveguide", *Infrared and Millimeter Waves*, vol. 11, pp. 61-98, 1985.
- [3] T. Yoneyama, S. Nishida, "Nonradiative dielectric waveguide circuit components", *Int. Journal of Infrared and Millimeter Waves*, vol. 4, no. 3, pp. 439-

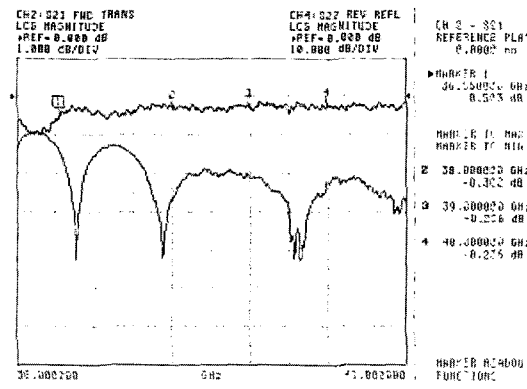


그림 12. 트랜지션의 측정 결과
Fig. 12. The test result of the transition.

449, 1983.

[4] T. Yoneyama, S. Fujita, and S. Nishida, "Insulated nonraditive dielectric waveguide for millimeter-wave integrated circuits", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-31, no. 12, pp. 1002-1008, 1983.

[5] 이재곤, 이정해, "갭 결합된 단향성 유전체 방사체를 적용한 비방사 유전체 로트만 렌즈", 한국전자과학회논문지, 14(12), pp. 1269-1274, 2003년 12월.

[6] Ansoft HFSS ver.8.0.

유 영 근



1994년 2월: 울산대학교 전자 및 전산기공학과 (공학사)

1996년 8월: 울산대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 8월: 울산대학교 전자공학과 박사과정 수료

1996년 8월~1999년 1월: 현대전자

1997년 3월~1998년 12월: 한국전자통신연구원(파견)

1999년 1월~1999년 10월: 밀리트론 주임연구원

1999년 11월~2007년 9월: 코모텍 책임연구원

2007년 12월~현재: 태광이엔시 개발팀 부장

[주 관심분야] 밀리미터파 회로 및 시스템, 밀리미터파 레이다, NRD 도파관

최 재 하



2002년 1월~2003년 1월: 코모텍(주) 기술연구소 기술고문

1980년~현재: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수

[주 관심분야] RFIC, MMIC, 초고주파 회로 및 무선통신 시스템