

https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.1.91

IIBC 2018-1-13

## 밀리미터파대역(Ka-대역)소형 레이더용 고 전력 저 손실 2축 도파관 로터리 조인트 연구

### A Study on the High-power Low-loss Dual Axes Waveguide Rotary Joint for Ka-Band Millimeter-Wave Small Radar

정채현\*, 성종현\*\*, 백종균\*\*\*, 이국주\*\*\*, 박창현\*\*\*, 권준범\*\*\*

Chae-Hyun Jung\*, Jong-Hyun Sung\*\*, Jong-Gyun Baek\*\*\*, Kook-Joo Lee\*\*\*,  
Chang-Hyun Park\*\*\*, Jun-Beom Kwon\*\*\*

**요약** 본 논문에서는 고 전력 저 손실 특성을 가지는 소형 레이더용 Ka-대역 밀리미터파 2축 도파관 로터리 조인트 설계 및 제작하였다. 전기적 성능은 상온 S-parameter 시험, 고 전력 시험, 운용 온도 시험을 통해 검증하였다. 로터리 조인트는 기능적으로 구형 도파관에서 원형 도파관으로 변환하는 모드 변환기 구조 및 회전 부분의 초크 구조로 구성된다. 본 구조는 고정된 송신기와 2축으로 회전하는 안테나를 최소 손실을 가지도록 전기적 연결 및 경량화를 고려하여 설계하였다. 설계된 로터리 조인트는 중심 주파수  $F_c$  기준  $\pm 500\text{MHz}$ 의 대역에서 VSWR 1.5:1 이하 반사 손실, -2.0 dB 이상 삽입 손실 특성을 가지며, 측정 결과는 설계 결과와 유사함을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, dual axes waveguide rotary joint, which operates at high power and has low loss characteristic, is designed and fabricated for a Ka-band millimeter-wave small radar. Its electrical performance is verified through the S-parameter at room temperature, high power and operation temperature test. Rotary joint functionally consists of the mode converter transforming rectangular waveguide into circular waveguide and the choke at the rotation part. At the configuration design, linking a fixed transmitter to an antenna rotating dual axes electrically for minimum loss and light weight body are considered. In  $F_c$ (center frequency) $\pm 500\text{MHz}$ , the designed rotary joint has VSWR 1.5:1 below return loss, -2.0 dB above insertion loss. It is found that rotary joint characteristics is similar to design results.

**Key Words** : Rotary joint, Choke, Mode converter

## 1. 서 론

레이더 시스템에서 고정된 송신기와 빔 지향을 위해 기계적으로 구동하는 안테나<sup>[1]</sup>를 기계적, 전기적으로 연

결하기 위해 로터리 조인트를 사용한다. 로터리 조인트는 김발 구조물에 조립되는 한 부속품으로 설계 시 김발 구조를 고려하여 경량화 및 최적 형상 설계가 필요하다.<sup>[2]</sup> 적용되는 시스템에 따라 다양한 형상의 로터리 조

\*정회원, LIG 넥스원(주)

\*\*임시회원, 글로벌엔지니어링(주)

\*\*\*정회원, LIG 넥스원(주)

접수일자: 2017년 11월 17일, 수정완료: 2018년 1월 11일  
게재확정일자: 2018년 2월 9일

Received: 17 November, 2017 / Revised: 11 January, 2018

Accepted: 9 February, 2018

\*Corresponding Author: chaehyun.jung@lignex1.com

Dept. of Seeker R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

인트가 개발되어 왔다.<sup>[3][5]</sup> 방위각, 고각 2축으로 구동하는 김발이 적용된 소형 레이더 시스템에서는 송신기로부터 출력되는 신호를 저 손실 성능 확보 및 회전 시 수백 W 급 고 전력에서 큰 크기 변화 없이 정상 동작하도록 구조 설계가 요구된다. 이런 특성을 가지는 로터리 조인트는 기술적 어려움으로 인해 해외에서 많이 도입하여 사용되어 왔지만 특히 밀리미터 대역에서는 해외기술 통제가 있는 부분으로 국내 자체적으로 기술 개발이 필수적이다.

도파관 로터리 조인트 설계는 크게 송신기와 연결 부위인 구형 도파관에서 원형 도파관으로 변환 되는 부분의 모드 변환기 설계와 회전 부분에서 물리적인 접촉이 없어도 전자파가 누설 되지 않고 잘 전달되도록 하는 초크 구조 설계로 나누어진다.<sup>[6]</sup> 모드 변환기는 TE<sub>10</sub> 모드의 구형 도파관의 전파를 원형 도파관에서 TM<sub>01</sub> 모드로 변환하는 기능을 한다. 로터리 조인트 설계 시 가장 중요하게 고려해야 하는 요소는 고 전력 신호 전달 시 도파관 내에서 아킹(Arcing)이 발생 하지 않으며 최소 손실을 가지도록 하는 것이다. 이런 특성을 검증하기 위해서는 저 전력 S-parameter 시험 후 고 전력 소스를 활용한 시험 및 온도 환경시험이 필수적으로 요구된다.

본 논문에서는 밀리미터파 소형 레이더에 적용 가능한 Ka-대역의 2축 1채널 도파관 로터리 조인트를 설계하였다. 적용된 도파관 크기는 WR-22 half-height를 설계에 적용하였다. 김발 형상, 송신기 및 안테나와의 기계적 인터페이스를 고려하여 경로 설계를 하였으며, 최종 형상 설계는 3D 상용 전자파 해석 도구(CST MWS)를 활용하여 입/출력 포트의 반사 손실 및 경로 손실이 최적 값을 갖도록 진행하였다. 설계 후 제작 된 로터리 조인트는 키사이트 사의 N5244A 회로망 분석기를 활용하여 저 전력 S-parameter 측정하였으며, Ka-대역 수백 W 급의 출력 크기를 가지는 송신기를 활용하여 고 전력에서 손실 측정을 하였다. 또한, 온도 챔버를 활용하여 운용 온도 범위 내에서 로터리 조인트의 전기적 성능을 확인하였다. 결론적으로 고 전력 및 해당 운용 온도 조건에서 개발된 제품이 정상 동작함을 확인하였다.

## II. 본 론

### 1. 도파관 로터리 조인트 설계

본 연구에서 Ka-대역 도파관 로터리 조인트 형상은 그림 1과 같으며, 포트 1은 송신기와 연결되는 부분이며 포트 2는 안테나와 연결되는 부분이다.

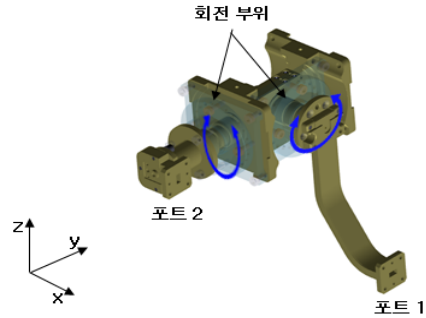


그림 1. 도파관 로터리 조인트 구조  
Fig. 1. The structure of waveguide rotary joint

그리고 두 회전 부위에 모드 변환기 및  $\lambda_0/4$  초크 구조가 적용되었다. 모드 변환기의 원형 도파관에서 주요 모드는 TE<sub>11</sub>(H<sub>11</sub>)이나 구형 도파관에서 전달되어 오는 신호를 잘 전달하기 위해서 TE<sub>11</sub> 주요 모드를 억제 시키고 변환된 TM<sub>01</sub> 모드만 전달될 수 있도록 설계하였다.<sup>[6][7]</sup> 회전 부위에서 원활한 구동을 위해서는 비 접촉 구간이 적용 되는데, 이때 발생 되는 틈 사이로 전자파가 누설 되지 않도록  $\lambda_0/4$  초크 구조를 적용하였다. 이런 회전 부위에서 구동 시 간극 변화가 최소화 될 수 있도록 가공 및 조립 오차가 최소화 되도록 설계하여야 한다. 크기는  $15.75\lambda_0 \times 12.11\lambda_0 \times 13.18\lambda_0$  이며 경량화 설계를 위해 도파관 경로 주변 구조물은 최대한 제거하여 구현하였다.

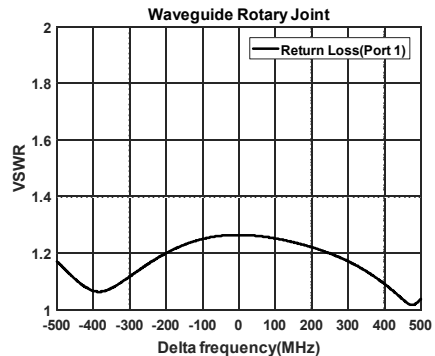


그림 2. 반사손실 시뮬레이션 결과 (포트 1)  
Fig. 2. Return loss at simulation (Port 1)

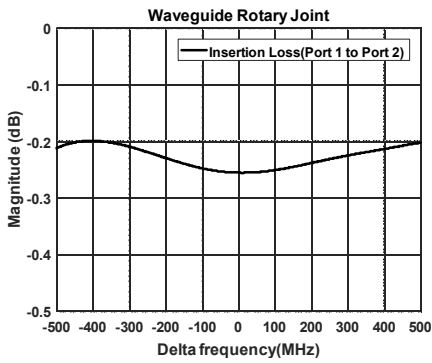


그림 3. 삽입 손실 시뮬레이션 결과 (포트 1 to 포트 2)  
 Fig. 3. Insertion loss at simulation (Port 1 to Port 2)

3D 상용 전자파 해석 도구를 활용하여 구현한 모델의 전기적 성능을 확인 하였으며, 그림 2, 3을 통해 설계된 도파관 로터리 조인트의 반사 손실 및 삽입 손실 성능을 각각 확인하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 중심주파수  $F_c$  기준  $\pm 500\text{MHz}$ 의 대역에서 VSWR 1.5:1 이하 반사 손실, -2.0 dB 이상 삽입 손실 특성을 확인하였다.

## 2. 제작 및 상용 S-parameter 시험

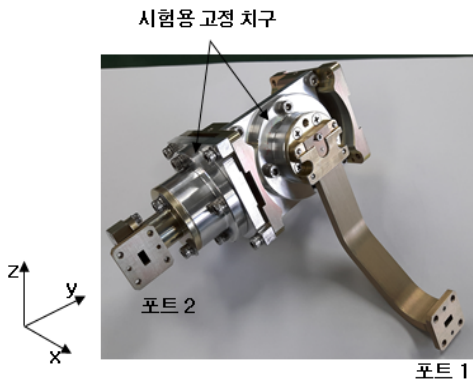


그림 4. 제작된 도파관 로터리 조인트  
 Fig. 4. Fabricated waveguide rotary joint

그림 4와 같이 정밀 제작하였으며, 실질적으로 조립되는 김발 구조물을 모사하기 위해 시험용 고정 치구를 제작하여 로터리 조인트를 조립하였다. 제작 된 로터리 조인트는 그림 5와 같이 N5244A 회로망 분석기를 구성하여 저 전력 S-Parameter 시험을 진행하였다. WR-28 도파관 Cal-Kit 사용으로 인해 WR-22 to WR-28 변환 도파관을 별도 제작하여 측정 시 사용하였다.

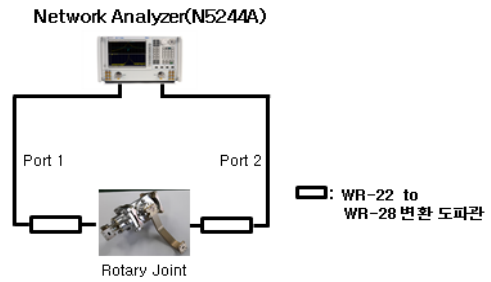


그림 5. 회로망 분석기 측정 연결도  
 Fig. 5. Measurement setup of network analyzer

측정 결과 그림 6, 7을 통해 반사 손실 및 포트 간 삽입 손실 특성을 확인하였다. 측정 결과를 통해 VSWR 1.5:1 이하 반사 손실 및 -2.0 dB 이상 삽입 손실 특성을  $F_c \pm 500\text{MHz}$ 의 대역에서 만족하는 것을 확인 할 수 있다.

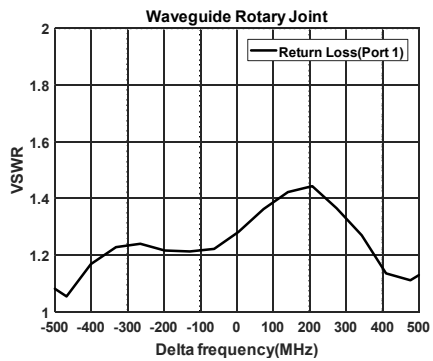


그림 6. 반사손실 측정 결과 (포트 1)  
 Fig. 6. Return loss at measurement (Port 1)

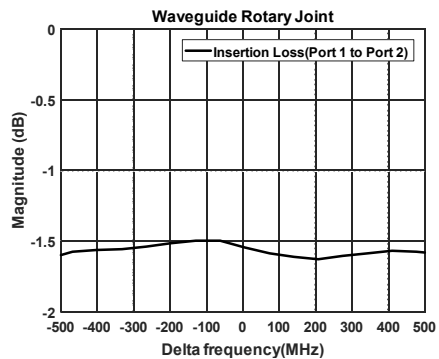


그림 7. 삽입손실 측정 결과 (포트 1 to 포트 2)  
 Fig. 7. Insertion loss at measurement (Port 1 to Port 2)

### 3. 고 전력 성능 시험

저 전력 시험에서 로터리 조인트가 정상 동작 하더라도 수백 W 급의 고 전력이 인가되는 환경에서는 아킹 발생 가능성 및 경로 내부 열 발생 등에 의해 전기적 성능 만족 여부는 불확실하다. 이런 이유로 인해 고 전력환경에서 사용되는 로터리 조인트는 운용 전력 환경 및 운용 온도 조건에서 성능을 만족하는지 최종 확인이 필요하다. 그림 8과 같이 로터리 조인트가 연결되지 않는 셋업에서 송신 시 송신기의 출력 크기를 운용 대역폭 내 최저 주파수(Fmin), 중심 주파수(Fc), 최고 주파수(Fmax)에서 기준 전력 값을 확인한다. 그림 9와 같이 로터리 조인트를 연결 후 동일 주파수에서 전력 값을 측정한다. 그림 8의 측정 결과와 그림 9의 측정 결과 차이를 구함으로써 포트 1과 포트 2 간의 삽입 손실 특성을 확인 할 수 있다. 이때 연결된 변환 도파관 손실을 함께 고려하여 성능을 확인 하였다. 개발 된 로터리 조인트는 고 전력 상황에서 표 1과 같이 삽입손실 -2.0 dB 이상 성능을 만족함을 확인 하였다.

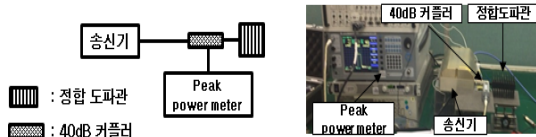


그림 8. 기준 전력 측정  
Fig. 8. Reference power measurement

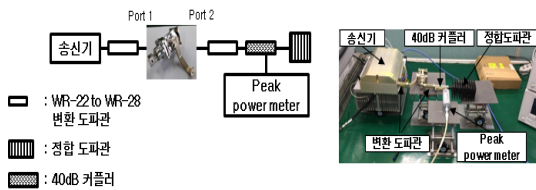


그림 9. 포트 1 to 포트 2 고 전력 삽입손실 측정  
Fig. 9. Insertion loss measurement between port 1 and port 2 at high power

표 1. 고 전력 측정 결과  
Table 1. High power measurement results

|                                 | Fmin  | Fc    | Fmax  |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| 삽입 손실<br>(port 1 to port 2, dB) | -1.55 | -1.70 | -1.63 |

### 4. 온도 환경 시험

운용 온도환경에서 로터리 조인트의 전기적 특성 변화를 확인하기 위해 그림 10과 같이 5°C/min 로 온도 조절이 가능한 챔버를 활용하여 -30°C, -15°C, 0°C, +25°C, +70°C 순서로 성능을 확인 하였다. 각 온도 단계에서 로터리 조인트에 설정된 온도가 전달 될 수 있도록 충분한 안정화 시간을 가졌으며, 포트 1의 반사손실 및 과 포트 1 과 포트 2간의 삽입손실을 확인하였다. 온도 환경시험 완료 후 로터리 조인트의 특성 변화 여부 확인을 위해 상온에서 재확인 시험을 하였다. 시험 결과는 표 2와 표 3을 통해 확인 가능하며, 운용 온도 내에서 전기적 성능이 설계 범위 안에 들어감을 확인 할 수 있다. 또한, 온도 시험 후 상온 시험 결과를 통해 개발된 로터리 조인트가 운용 온도 환경에서 특성 변화 없음을 확인 하였다.



그림 10. 온도 시험 챔버  
Fig. 10. Temperature test chamber

표 2. 반사 손실 온도 시험(포트 1)  
Table 2. Temperature test of return loss(Port 1)

|         | Fmin   | Fc     | Fmax   |
|---------|--------|--------|--------|
| -30°C   | 1.35:1 | 1.25:1 | 1.32:1 |
| -15°C   | 1.32:1 | 1.26:1 | 1.33:1 |
| 0°C     | 1.32:1 | 1.26:1 | 1.33:1 |
| +25°C   | 1.31:1 | 1.27:1 | 1.33:1 |
| +70°C   | 1.27:1 | 1.30:1 | 1.38:1 |
| 시험 후 상온 | 1.28:1 | 1.29:1 | 1.36:1 |

표 3. 삽입손실 온도 시험 (포트 1 to 포트 2)  
 Table 3. Temperature test of insertion loss (Port 1 to Port 2)

|         | Fmin     | Fc       | Fmax     |
|---------|----------|----------|----------|
| -30℃    | -1.85 dB | -1.77 dB | -1.77 dB |
| -15℃    | -1.87 dB | -1.70 dB | -1.77 dB |
| 0℃      | -1.85 dB | -1.78 dB | -1.77 dB |
| +25℃    | -1.85 dB | -1.78 dB | -1.84 dB |
| +70℃    | -1.82 dB | -1.80 dB | -1.84 dB |
| 시험 후 상온 | -1.81 dB | -1.74 dB | -1.79 dB |

### III. 결 론

본 연구에서는 Ka-대역 밀리미터파 소형 레이더에 적용 가능한 2축 도파관 로터리 조인트에 대해서 설계, 정밀 제작 및 측정 결과에 대해서 기술하였다. 저 전력 S-Parameter 시험을 통해  $F_c \pm 500\text{MHz}$  대역폭에서 VSWR 1.5:1 이하 반사 손실 및 -2.0 dB 이상 삽입 손실 성능을 만족함을 확인 하였다. 개발된 로터리 조인트의 레이더 시스템에 바로 적용 가능성을 위해 실제 운용 환경을 고려하여 수백 W 급의 고 전력 시험 및 운용 온도 시험을 하였으며 정상동작 함을 확인 하였다. 본 연구 결과로부터 Ka-대역 2축 로터리 조인트 국내 개발 기술을 확보하였다.

### References

[1] Chae-Hyun Jung, Jong-Gyun Baek, Kook-Joo Lee, Chang-Hyun Park, Jun-Beom Kwon, "Waveguide Broad-wall Slot Array Antenna Study for Millimeter-Wave Seeker Using Cross Monopulse Axes", JIIBC, pp. 209-215, Oct. 2017. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.5.209>

[2] Young-Bae Chang, Hong-Gul Jun, Sock-kyu Lee, Jae-Youn Youn, Young-Pil Park, "Vibration Analysis for Gimbal Structure of a Micro Wave Seeker(II):Finite Element Analysis", KSNVE, pp.

514-518, Jan. 2000.

[3] KIYO TOMIYASU, "A New Annular Waveguide Rotary Joint", IRE, pp. 548-553, Oct. 1955.

[4] Antonio Morini, "Design of a Dual-Band Rotary Joint Operating in X- and Ka-Bands," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 59, no. 6, pp. 1461 - 1467, June. 2011.

[5] M. Pfeiffer, J. Harder, U. Walter, "DEVELOPMENT OF A COMPACT KA-BAND ANTENNA POINTING MECHANISM FOR INTERSATELLITE LINKS ON SMALL SATELLITES," 13th European Space Mechanisms and Tribology Symposium, July. 2009.

[6] Hyung-Gi Na, Chang-Hyun Park, Tae-Seok Yang, So-Soo Kim, Ho-Yong Kim, Kwang-Hee Kang, Seung-Hun Baek, "The Study of Ku-Band Dual Axis Waveguide Rotary Joint", KIMST, pp. 321-324, Aug. 2003.

[7] V.I Abramov, Hyung-Gi Na, "The Analysis of Right Angle Type H10-to-E01 Mode Converter", KICS, vol. 24, no. 2, Sept. 2001.

### 저자 소개

#### 정 채 현(정회원)



- 2008년 2월 : 충남대학교 전기정보통신 공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 한국과학기술원 전자전기 공학과 (공학석사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임 연구원

<주 관심분야> : 안테나 설계 및 수치해석

#### 성 종 현(임시회원)



- 2001년 2월 : 영남대학교 기계공학과 졸업(공학사)
- 2003년 2월 : 영남대학교 기계공학과 대학원 졸업(공학석사)
- 2004년 4월 ~ 현재 : (주) 글로벌엔지니어링 수석 연구원

<주 관심분야> : RF 소자 설계, 전파전파 모델링

**백 중 균(정회원)**



- 2011년 2월 : 동국대학교 전자공학과 (공학사)
  - 2013년 8월 : 동국대학교 전자전기공학과 (공학석사)
  - 2013년 4월~현재 : LIG넥스원 선임 연구원
- <주 관심분야> : 안테나 설계 및 수치해석

**이 국 주(정회원)**



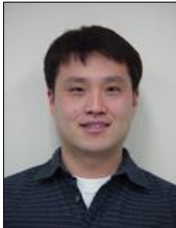
- 2005년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학과 (공학사)
  - 2008년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
  - 2012년 2월 : 고려대학교 전자전기공학과 (공학박사)
  - 2013년 3월 : 고려대학교 전기전자전파공학과 박사후과정
  - 2013년 4월~현재 : LIG넥스원 수석 연구원
- <주 관심분야> : 안테나 설계 및 수치해석

**박 창 현(정회원)**



- 1997년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
  - 1999년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
  - 1999년 3월~현재 : LIG넥스원 수석 연구원
- <주 관심분야> : 안테나 설계 및 수치해석, RF 탐색기 시스템

**권 준 범(정회원)**



- 1997년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
  - 1999년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
  - 1999년 2월~현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- <주 관심분야> : 마이크로파 신호처리 기, 마이크로파 탐색기 등