

A Study of Microwave Output Experiment of Slow Wave Waveguide

김 원 섭[†]
(Won-Sop Kim)

Abstract - The dispersion relation and the characteristic of propagation are measured. The measurements of the dispersion relation are observed by a plunger method employed in slow plasma density by pumping microwaves on the axis are observed in plasma loaded slow wave structure. In case of small incident microwave powers the well known plasma density cavity are observed. At the axial positions of minimal radius in the waveguides, the maxima of the electron density, the plasma potential and the RF electric field are observed in cases of high-power microwaves.

Key Words : Plasma, Microwave, RF Frequency, Waveguide, High Power

1. 서 론

상대론적 전자빔의 발생 기술의 발달에 의하여 새로운 대전력 마이크로파 원의 개발이 이루어지고 있다. 마이크로파의 군속도가 부(-)의 영역인 후진파 영역에서 동작하는 것을 후진파발전기(Backward Wave Oscillator:BWO)^{1,2}라고 한다. 후진파발전기는 강한 자장이 필요없으며 진공 절연 파이프의 가능성도 적어 전자빔을 지파 회로에 입사시키는 것에 의하여 발전이 쉽게 일어난다. 또한 후진파발전기는 자이로트론과 달리 전자 사이크로트론 공명을 사용하지 않기 때문에 열 확산 등 전자빔에 대한 높은 질적인 요구를 하지 않으며 전자빔을 통하는 것이 될 수 있다면 고 효율의 발전이 일어나므로 조작성 용이한 점이 있고, 곡면 모양의 지파 모양을 갖는 것에서 절연파이프의 염려도 적으므로 대출력 마이크로파 발전기로서 기대가 된다^{3,4}. BWO에 대해서 세계적으로 연구가 진행되고 있지만 발전 출력 향상에 관한 이론적 계산과 마이크로파 발전을 발생시키는 실험 등이 아직 미흡한 상태에 있다⁶. 따라서 본 연구에서는 지파구조의 분산 특성에 의해 결정되는 이론적 해석을 하여 설계 제작한 후진파발전기를 이용하여 실험하였다. 실험에는 전자 빔의 발생과 전자계와의 상호 작용에 의한 마이크로파 발전이 일어났다. 이에 따라 발전 주파수의 측정과 이에 따른 출력 증대 및 고 효율화를 목표로 하여 연구하였다. 그 결과 TM₀₁ 5모드에서 발전이 이루어진 것을 확인 하였으며 이를 이용하면 보다 고 효율이며 저렴한 대전력 마이크로파 출력 장치를 제작 할 수 있으리라 기대된다^{5,7,8}.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본론에서 실험장치의 전

반적인 개요와 각 장치의 동작 및 구성에 대하여 나타냈으며 그 다음은 실험 결과 및 고찰에 대하여 나타냈다. 마지막으로 결론을 논하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치의 개요

도파관 벽면의 파형이 2축 방향으로 주기적으로 변화하므로 긴 축대칭 완전 도체의 원통형 도파관을 실험에 이용하였는데 이것은 $R(z)=R_0-h\cos(k_0z)$ 의 정현파형으로 변화하는데 그 모델을 그림 1에 나타냈다.

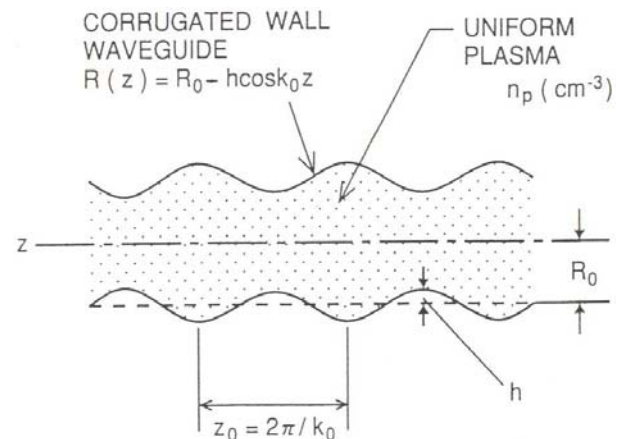


그림 1 지파도파관의 모형

Fig. 1 Schematic of the model for the slow wave structure

그림 2에는 측정장치 구성도를 나타냈다. 마이크로파 발전기를 사용하여 발전기의 주파수를 소형 모터에 의하여 기계적으로 동조를 일으키도록 한다. 가변저항 감쇄기를 사용하

[†] 교신저자, 정희원 : 전남도립대학 전기에너지시스템과 교수·공박
E-mail: wskim@dorip.ac.kr

접수일자 : 2009년 11월 12일

최종완료 : 2009년 11월 14일

였으며 지파 도파관의 7mW 이하의 마이크로파를 입사한다. 또 방향성 결합기를 이용하여 공진 주파수의 이용에 따라 항상 4자리수까지 정확히 발진주파수를 검출한다. 파형 도파관 중심축에 배치된 안테나를 이용하여 TM_{01} 모드만을 여기시켜 파형 도파관에서 출력된 신호를 안테나에서 수신하여, 2개의 동축 크리스탈 검파기를 통과시켜 직류 전압으로 변환한다. 이 신호를 x-y 레코더에 입력시켜 수신주파수 신호전력을 두 종류의 도파관을 통하여 그 진공중에 있는 분산관계와 비교 분석하였다.

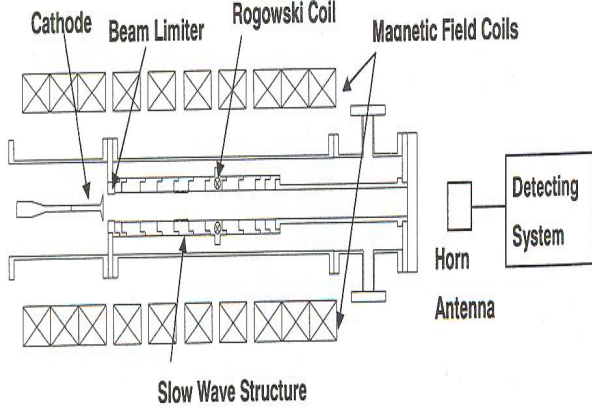


그림 2 측정장치 구성도
Fig. 2 Diagram of measurement system

그림 3에는 도파관에 대한 투과 방식 모델을 표시하였다. 파형주기는 12주기이며 길이 38.4cm, 알루미늄으로 제작하였다. 플랜지의 직경은 7.0cm이고 길이는 9.6cm이며 원주형으로서 끝에는 송수신용 안테나를 설치하였다.

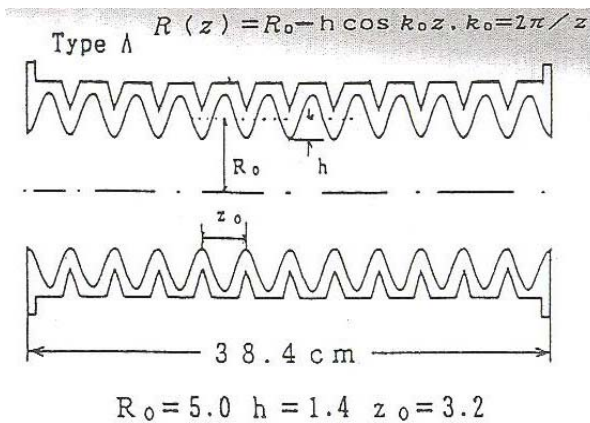


그림 3 도파관의 투과 방식
Fig. 3 Transmission system of waveguide

안테나의 수신면은 전계가 산란이 일어나지 않도록 하였고 플랜지의 위치를 바꾸어서 여러 종류의 파형을 수신하도록 하였다. 측정에 사용한 마이크로파 발전기는 다이얼 가변식으로 2.0~6.0GHz대의 폭 넓은 영역을 갖는다. 발전기에 대하여 주파수와 출력 전력의 특성은 그림4에 나타낸 것처럼

2.0GHz에서 최대 120mW이고 3.8GHz 대에서 약 20mW가 된다. 이러한 발전기는 주파수가 변하면 발진 출력이 크게 변하기 때문에 체적파와 표면파의 차를 정확히 할 수가 없으므로 도파관 내에 마이크로파 입력을 일정하게 유지할 필요가 있다. 따라서 가변저항 감쇄기를 이용하여 전체적인 주파수를 이용하여 7.0 mW로 일정하게 하여 측정하였다. 이값은 가변저항 감쇄기의 사용범위와 검파기의 입출력 특성을 고려하여 정하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

그림 4에는 반사방식과 투과방식에 의한 공진점의 측정 결과이다. 파형수가 6개, 7개, 8개이고 침 안테나와 원판 안테나를 사용하여 측정하였다. 결과는 투과방식에 대한 결과이며 투과방식에 대한 종축은 투과신호를 나타냈고 횡축에는 투과영역을 나타냈다. 반사방식에는 종축은 반사신호, 횡축은 주파수를 나타냈다. 완만한 모양의 발전기의 출력특성을 나타낸 것이다.

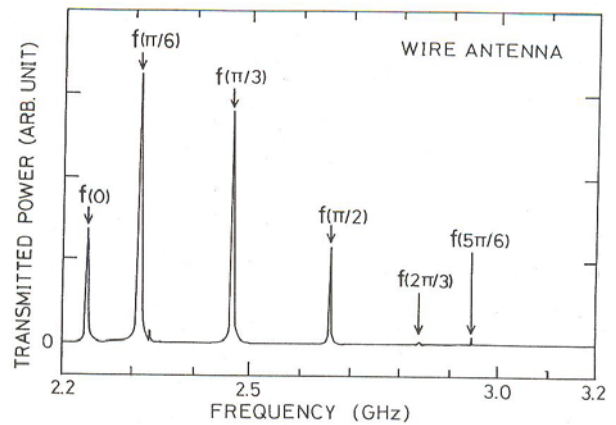


그림 4 투과 방식에 의한 공진점의 측정
Fig. 4 Examples of measurement for the cases of passage

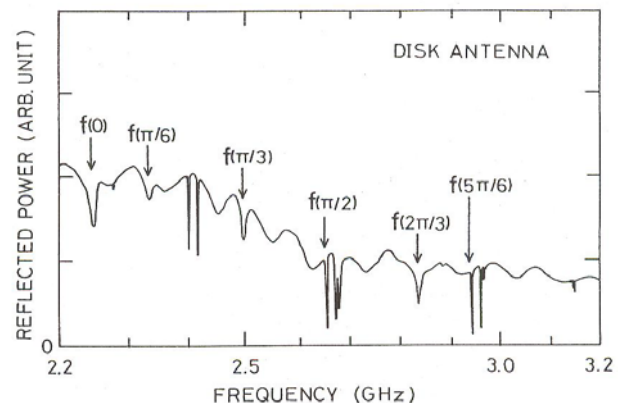


그림 5 반사 방식에 의한 공진점의 측정
Fig. 5 Examples of measurement for the cases of reflected

위와 같은 두 가지의 방식에 의해 얻어진 결과는 거의 공진 주파수로서 일치하고 있다. 다음은 측정 결과를 분석하여 그림 6과 그림 7에 나타냈다. 그림 6은 투과방식에 의한

분석이고 그림 7은 반사 방식에 의한 분석이다.

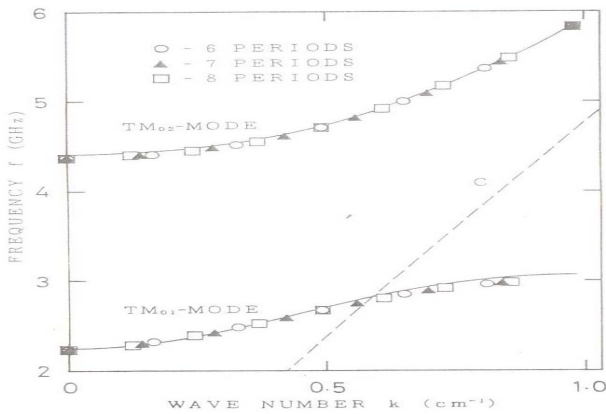


그림 6 투과 영역의 분산 관계 측정 결과
Fig. 6 Theoretical dispersion curves and measures of passage

위의 그림을 볼 때 파형 모두 0모드의 공진점은 거의 같은 주파수를 갖는다. $\pi/2$ 모드에 대해서도 여진하고 있는 파형수의 분석치가 거의 같은 값을 얻었다. TM_{01} 모드의 최고주파수 즉 π 모드는 위 두가지 모두 관측이 어려워 보다 더 연구가 필요하다.

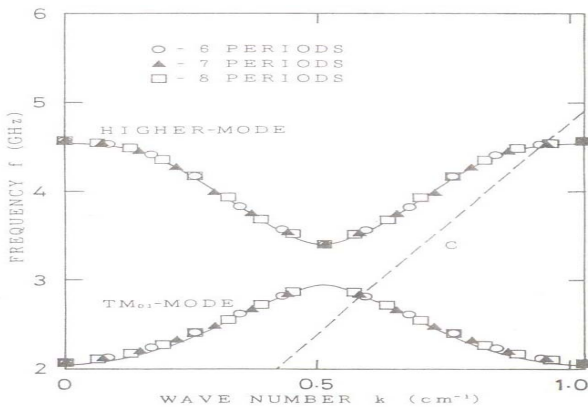


그림 7 반사 영역의 분산 관계 측정 결과
Fig. 7 Theoretical dispersion curves and measures of reflected

표면파와 체적파의 안테나에 의한 수신측정의 결과에 대하여 그림 8에 나타내었다. 투과방식에 대한 측정을 하였으며 사용한 안테나는 TM_{01} 모드의 수신 전력과 다른 방법에 의한 측정을 하였다. 안테나는 앞에서와 동일한 원판 안테나를 이용하였으며 파형수는 6개, 8개를 이용하였다 여진과 수신 모두 같은 종류의 안테나를 이용하였다. 각 공진 주파수에 대하여 파형수 6.8에 대해 각각 7.0mW와 6.4mW의 마이크로파를 입사시켜 투과 신호출력을 기록했다. 결과를 보면 $2/3\pi$ 모드이상에서 TM_{01} 모드는 지파영역이 되어있다. 원판 안테나는 각 여진 모드와 함께 수신전력의 큰 변화는 보이지 않. 왔지만 칩 안테나는 지파 영역이 되면 급격히 수신전력이 작아지는 것을 알 수 있다. 이것은 마이크로파가 지파 영역에서는 표면파가 되지만 중심축에 위치한 칩 안테나는 수신할 수가 없기 때문에 나온 결과이다.

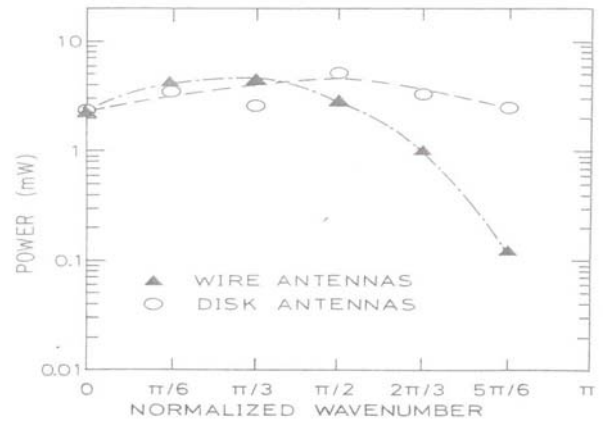


그림 8 안테나를 이용한 수신 측정
Fig. 8 Receiving signal by wire and disk antenna

3. 결 론

도파관 벽이 정현파형으로 변화하는 원통도파관에 대하여 분산관계를 이용한 실험장치를 설계 제작하여 오차 2.2% 이하에서 결과를 얻었다. 발생된 마이크로파는 속파영역과 지파영역에서는 서로 다른 성질을 가지며 각각 체적파와 표면파로서 얻어진 결과를 확인 하였다. 비교적 적은 안테나를 이용하여 반사방식을 측정하였으며 $\pi/6$ 모드의 공진주파수 부근에서 30개의 공진점이 얻어졌다. 이것은 안테나에 의한 산란에 의하여 TM_{01} 모드 이외의 모드가 여기되어 나타난 것으로 여겨진다 3개의 공진점이 얻어진 이유는 정확히 판단이 어려워 앞으로의 과제이다. 이상을 종합해 볼때 마이크로파를 발생시키는 대출력 후진 타 발전기와 진행파관의 증폭기 등에 필요한 연구 결과를 이용하여 보다 성능좋은 마이크로파 발생기를 이용할수 있는 계기가 되었다.

참 고 문 헌

- [1] B.J. Barker and E. Schamiloglu, High-Power Microwave Source and Technologies, IEEE, Press, Net York, 2001.
- [2] M.R.Amin, K.Minami, K.Ogura, X.Z.Zheng, and T.Watanabe, "Resonance Enhancement of Radiation from a Backward Wave Oscillator Utilizing Large Diameter Corrugated Metal Structure" J. Phys. Soc. Jpn. vol.64, p.4473, 1995.
- [3] K. Ogura, R. Yoshida, Y. Yamashita, H. Yamazaki, K. Komiyama and M. Sakai, "Study on Oscillation Starting Condition of K-band Oversized Backward Wave Oscillator Driven by a Weakly Relativistic Electron Beam", J. Plasma Fusion Res. vol. 6, p. 703, 2004.
- [4] K.Hahn, M.Hail, I.Fuks, E.Schamiloglu, "Initial Studies of a Long Pulse Relativistic Backward Wave Oscillator Utilizing a Disk Cathode" IEEE Trans. on Plasma Sci. vol. 30, p.303, 2002.
- [5] K.Ogura, K.Komiyama, M.Sakai, D.Yamada, H.Saito and H.yamazaki, "Performance of Weakly Relativistic Oversized Backward Wave Oscillators" J. Phys. Soc. Jpn. vol.72, p.2437, 2003.
- [6] K.Ogura, Y.Miyazawa, H.Tanaka, Y.Kiuchi, S.Aoyama

and A.Sugawara, "Weakly Relativistic K-band Oversized Backward Wave Oscillator with Bragg Reflector at Beam Entrance of Slow Wave Structure" Plasma Fusion Res. 2. vol. 1041, 2007.

- [7] H. Oe, K. Ogura, K. Bansho, H. Iizukaname, A. Sugarawa, W.S.Kim, "Experimental Study on Disk Type Cold cathode in Weakly relativistic Energy Region", International Congress on Plasma Physics p. 233, 2008.
- [8] W.S.KIM, "Implementation of a High Power Backward Wave Oscillator on Electron Beam Diode Structure Improvement " J. of the Korean Ins. of Electrical and Electronic Material eng. vol. 22, no. 10, p. 897. 2009.

저 자 소 개



김 원 섭 (金元燮)

1959년 4월 22일생. 1982년 명지대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 원광대 대학원 졸업(석사). 1996년 일본 니이가타대학 대학원 졸업(공학). 1996년~1998년 기초과학지원연구소 핵융합연구개발사업단 연구원. 1999년~현재 전남도립대학 전기에너지시스템과 부교수.

Tel : 061-380-8635

Fax : 061-381-9100

E-mail : wskim@dorip.ac.kr