

## Experimental Study of Quality Factor on Slot Slow Waveguide

김 원 섭<sup>†</sup>  
(Won-Sop Kim)

**Abstract** - A large diameter slot waveguide made backward wave oscillator is investigated experimentally. The parameters of slow wave structure are chosen so that the oscillation frequency is about 20 GHz. Plasma is produced by the beam and it has favorable effects on beam propagation and Cherenkov oscillation. The output power strongly enhanced when the guiding magnetic field approaches to the fundamental electron cyclotron resonance.

**Key Words** : Slot Waveguide, Quality Factor, Backward Wave Oscillator, Frequency

### 1. 서 론

고주파 전자장을 이용한 핵융합에 대한 플라즈마 가열을 여러 가지 분야에 걸쳐 연구가 진행되고 있다<sup>1,2</sup>. 고주파는 플라즈마와 상호 작용에 의한 가능성이 매우 높기 때문에 이에 따른 위상을 제어한 대출력 마이크로파원이 필요하다. 지금까지의 여러 가지 형태의 연구결과를 보면 출력, 고주파수, 발진 효율 등에서 매우 미흡하다. 따라서, 본 연구에서는 차세대 마이크로파원으로서 개발된 후진파발전기(Backward wave oscillator:BWO)에 대하여 연구하였다<sup>3-6</sup>. 후진파 발전기는 지파회로를 이용하여 전자빔을 에너지원으로서 입사시키는 것에 의하여 마이크로파 발진이 일어나 출력을 얻는다. 마이크로파의 군속도가 부의 영역에 있는 후진파의 영역에 대하여 발진을 일으키는 것이다. 여기서 지파 회로는 전자파의 속도를 늦추는 것이며 전자빔의 속도와 동기시켜 발진이 일어나도록 하는 도파관이다. 이러한 도파관은 주기구조를 가지며 펄스폭이 작으면 핵융합 연구에 적합하지 않다<sup>7,8</sup>. 긴 펄스를 얻기 위해서는 발진의 안정화가 반드시 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 지파회로의 스롯형 도파관을 이용하여 연구하였다. 이것은 중심이 좁은 형태이며 고효율의 마이크로파 출력을 얻어 발진이 안정된 결과를 가져왔다. 이에 대한 방법은 도파관의 분산관계에서 얻어지는 Q치(Quality Factor)를 이용하였으며 공진기로서의 파라메타를 이용하여 특성을 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 분산관계의 도출 방법

후진파 발전기의 발진 주파수는 지파회로의 회수에 의하여

결정된다. 그 분산특성은 이론 계산에 의하여 얻어지며 이를 이용한 측정 방법은 테스트 공동법, 플란자법, 노들 시프트 법이 있다. 노들 시프트 법은 가속기의 동작과 같은 상태에서 마이크로파를 입사시켜 가속관 출구에서 금속 반사판을 입사시켜 가속관내에 연결 공동을 만들어서 이용하는 방법이고 플란자 법은 가속관내에 이동할 수 있는 임의의 공동을 이용한다. 또한 테스트 공동법은 가속관의 일부를 추출하여 양단의 금속판을 밀폐시켜 연결 공동을 만들어 이용하는 것으로서 측정 정밀도가 매우 높아 본 연구에서는 이 테스트 공동법에 의한 측정을 하였다. 도파관의 공진모드는 파형 도파관의 파형수를 N이라고 하면 도파관의 길이 L과 파장  $\lambda = 2\pi/R$  이므로  $R = \frac{n R_0}{N/2}$ 가 된다. 이때 공진주파수는 N+1에서 존재하므로 n=0, 즉 R=0에서 0모드에 대하여 공진 주파수가 존재하게 된다. Q치는 공진기에서 중요한 것으로서  $Q = \omega r L / R = 1 / (\omega C R)$ 이 된다. Q치는 이러한 것을 이용한 결과에 의하여 얻어진다.

#### 2.2 Q치의 실험 결과 및 고찰

그림 1에서 공진주파수와 Q치의 관계를 나타냈다. 주파수는  $f_1, f_2$ 로 변하는 값에 따라 a의 정제파 비를 알수 있으며 어드미턴스 형태를 표현하였다.

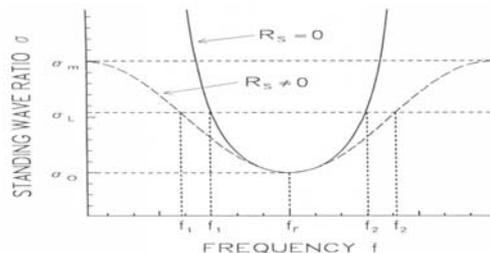


그림 1 공진 주파수와 Q치의 관계

Fig. 1 Relation of resonance frequency vs. Quality factor

<sup>†</sup> 교신저자, 정희원 : 전남도립대학 전기에너지시스템과 교수·공박  
E-mail: wskim@dorip.ac.kr

접수일자 : 2009년 11월 12일  
최종완료 : 2009년 11월 14일

그림2에는 수평면에 대한 어드미턴스케적을 그린 스미스 차트이다. 이것에서 볼때  $R_s=0$ 일때  $\sigma_m = \infty$ 가 되는것을 알 수 있는데 이것은 S평면 원선도의 원점을 회전 시켰을 때 over matching과 회전하지 않았을 때의 under matching 을 나타내었다. 또  $R_0=0$ 일때  $\sigma_m = \infty$ 이지만  $R_s \neq 0$ 일 때는  $\sigma_m = z/R_s$ 가 되는것을 알았다.

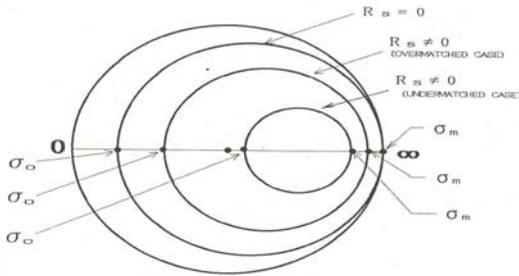


그림 2 S평면에 대한 어드미턴스 케적  
Fig. 2 S plane admittance wheel track

다음을 슬로형 지파도파관을 이용하여 Q치를 측정하기 위한 전체도를 그림 3에 나타냈다.

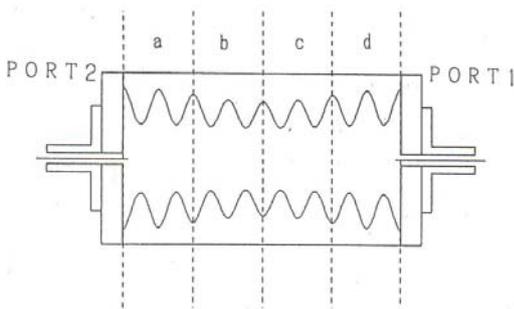


그림 3 Q치를 측정하기 위한 전체도  
Fig. 3 Schematic of Quality factor measurement

그림을 보면 공동수는 8이고 2개의 공동마다 구분하여 측정하도록 하여 더욱 더 세밀하고 정확하게 측정하도록 하였다. 특히 각각의 특성을 나타낼 수 있도록하여 양 끝에는 금속으로 완전 밀폐를 이루어 연결공동이 되어 테스트 공동법에 의한 측정결과를 얻도록 하였다.

그림 4에는 Q치를 이용하여 도파관의 끝에서 중앙까지 공동에 의하여 얻어진 출력파형을 나타냈다 (a)는 2개의 공동에 의한 반사된 출력파형이고 (b)는 투과된 경우의 출력파형이다. 이것을 보면 (a)에서 반사의 경우는 급격히 변화한 점이 공진점이고 (b)의 투과된 경우는 공진주파수에 대하여 마이크로파가 투과하여 피크치의 형태로 나타낸것을 알 수 있다. 결국 (a)에서는 공진주파수를 나타내지만 (b)에서는 출력을 나타냈다.

그림 5에서는 공진 주파수의 측정결과를 분석한 것을 나타냈다. 그림에서 보면 투과된 공진 주파수를 알 수 있으며 반사된 것은 도파관의 공동수가 많을 경우 읽을 수 있는 공진 주파수가 적기 때문에 분산관계에 의한 분석이 어려웠다. 이런 이유는 실험에서 안테나의 감도와 실험할 때 마다 미세한

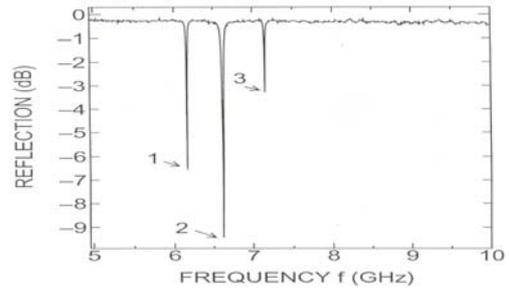


그림 4(a) Q치를 이용한 출력 파형(반사의 경우)  
Fig. 4(a) Output wave of Quality factor(passage)

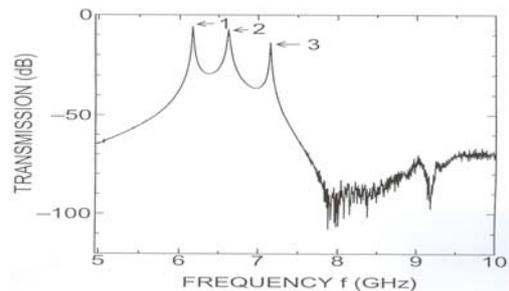


그림 4(b) Q치를 이용한 출력 파형(투과된 경우)  
Fig. 4(b) Output wave of Quality factor(reflected)

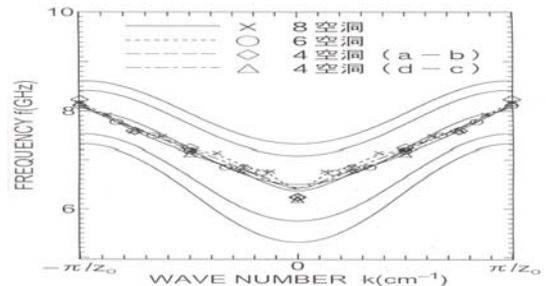


그림 5 공진주파수의 측정결과  
Fig. 5 Result of resonance frequency

환경 변화의 요인이라 생각된다. 이것을 방지하기 위해서는 길이를 1/4정도로 줄여 안테나를 사용하면 개선될 것으로 여겨진다.

그림 6에는 Q치에 대한 측정결과를 나타냈다. 그 공동을 이용한 정재파비의 주파수 변화에 관한 것이다. 이것은 반사에 의한 것을 표현하였다.

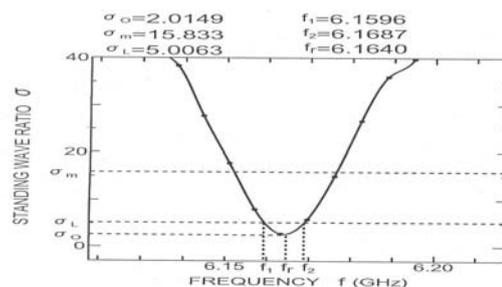


그림 6 Q치에 대한 측정 결과  
Fig. 6 Measurement result of Quality factor

그림 7에는 공진점에 대한 Q치를 얻었으며 공동수에 의한 반사에 의하여 얻어진 결과이다.

그림8에는 여러개의 공동에 대한 Q치의 값과 주파수를 표시된 것이다. 이것은 반사의 경우를 나타낸 것이며, 도파관의 손실을 거의 없는 것으로 판단된다. 측정에서는 안테나를 도파관내에서 측정하는 방법을 선택하여 매우 간단하게 사용하는 결과를 얻었다. 이를 이용하면 Q치를 이용한 마이크로파의 공진주파수를 평가에 이용할 수 있다.

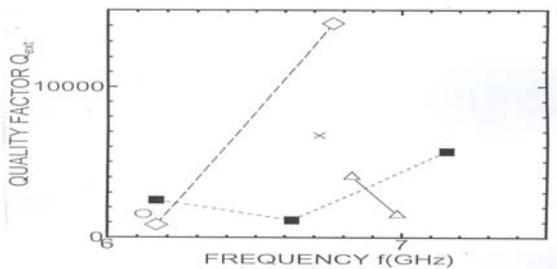


그림 7 공진점에 대한 Q치의 값  
Fig. 7 Quality factor value of resonance point

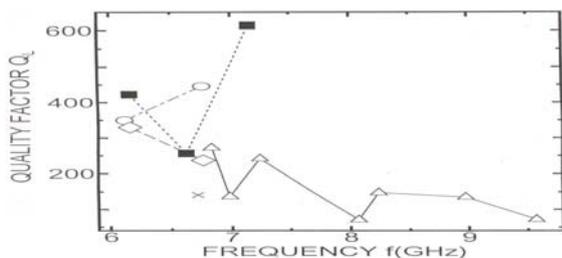


그림 8 여러개의 Q값과 주파수의 관계  
Fig. 8 Multiful Q value and frequency

### 3. 결 론

Q치를 얻기위하여 테스트 공동법에 의한 측정을 하였다. 분산관계에서 공진 모드를 결정 할 수 있었으며 스롯 형 도파관의 내부 파형의 평균 반경의 최대치와 최소치를 비교 할 수 있었다. 한편 주파수 대역에서도 발견하는 것을 확인하였다. 또한 안테나의 의한 측정결과의 중요성이 확인 되었으며 Q치의 측정값도 비교적 정확한 값이 얻어졌다. 이를 이용하여 효율 증대를 위한 Q치가 존재하는 것을 확인 하였다 이러한 것을 이용하여 대전력 마이크로파 출력장치와 전자빔의 발생 및 그에 따른 응용 분야에서 많은 활용이 기대된다.

### 참 고 문 헌

[1] Won-Sop KIM, Lak-Hoon Hwang “Fabrication and Identification of a Marx Generator for the Design of High Power Backward Wave Oscillator” KIEE, vol.48, No.8, 391,1999

[2] Y.Carmel, K.Minami, R.A.Kehe, W.W.Destler, V.L.Granatstein and W.L.Lou, “Demonstration of Efficiency Enhancement in a High-Power Backward Wave Oscillator by Plasma Injection” Phys. Rev. Lett. 62, 2389 ,1998

[3] X.Zhai, E.Garate, R.Prohaska, G.Benford, “Study of a plasma-filled X-band backward wave oscillator” Appl. Phys. Lett. 60, 2332,2004

[4] w.s.KIM, j.m.KIM, y.m.KIM, “ A Study of Mili-Wave Accelerating For High Power Electron Beam”, Proceeding of the 37th the KIEE Summer Annual Conference, 1554, 2006.

[5] w.s.KIM, j.s.Hwang, j.m.KIM, y.m.KIM, “A Study Formation of Reverse Field configuration stability with Radio Rotating”, Proceeding of the 37th the KIEE Summer Annual Conference, 2187, 2005.

[6] ITOH Hiroshi, “Introduction of London Education Known in the Theory of Super Conductions into the Two Fluid Model of Plasma” Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.80, 157, 2004

[7] Won-Sop KIM, Lak-Hoon Hwang “Fabrication and Identification of a Marx Generator for the Design of High Power Backward Wave Oscillator” KIEE, vol.48, No.8, 391 2005.

[8] Hayato Yoshizawa, etc. “Study of Reation in Plasma-Asssited Selective Catalytic Reduction” The Institute of Electrical Engineering of Japan, Vol. 127, 193, 2007

## 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