

마이크로파 실내 배전용 저반사형 전력 분배 스위치

Low Loss Power Dividing Switch for Indoor Microwave Power Distribution

최영규*
(Young-Kyu Choi)

Abstract - A low loss power dividing switch in a indoor microwave power distribution system is proposed and designed with a various power dividing ratio. Switching characteristics are analyzed by use of the S-parameter of the switch. Newly proposed switch showed a very low return loss less than -30dB at the operating frequency of 2.45GHz . Three kinds of the switch in which we take out individually $1/2$, $1/3$ and $1/4$ of the input power were fabricated, and measured the delivered, transmitted, and return loss power ratio. Simulated results showed that the lower power ratio is, the better accurate operating performance shows. This switch can switch the input power from 4.5% to 58% with the variance of 5% output power. The experimental results are in good agreement with the simulation within the return loss of 1% .

Key Words : Microwave power supply, Indoor wireless transmission, Distributor, Waveguide connector

1. 서론

최근 유비쿼터스 시대에 대응하기 위한 도시의 신형 대형 건축물에는 건축물의 구조체나 마감재 등으로 만들어지는 폐공간을 이용하여 무선으로 전력을 공급하는 마이크로파 배전 시스템의 실용화에 대한 연구가 주목을 받고 있다 [1-4]. 각 층의 해당 공간으로 공급되는 전력은 테크 플레이트 도파관의 적절한 위치에 동축 프로브를 삽입하여 추출하고, 추출된 전력은 마이크로파 정류회로나 레귤레이터, 축전지 등으로 구성되는 콘센트 박스를 설치하여 용도에 맞게 직류 전력으로 변환하여 사용한다[5]. 따라서 이러한 배전 시스템에서는 테크 플레이트 도파관의 윗면 또는 아랫면(H면)의 임의의 위치에서 안테나 접속 동축 프로브를 이용하여 마루 또는 천정으로부터 전력을 추출할 수 있으므로 건물 내의 조명이나 그 외의 전기기기 등에 급전이 가능하게 되어, 결국은 실내에 설치된 모든 전력, IT기기에 무선으로 전력을 공급할 수 있다.

이러한 무선 실내 마이크로파 배전 시스템에는 공급용 도파관에서 구형 도파관의 역할을 하는 각 층의 테크 플레이트에 공급된 전력을 각 층의 전력 사용 상황에 따라 능동적으로 출력을 조절할 수 있는 전력분배 스위치가 필요하다 [6-7]. 이러한 전력분배 스위치는 공급되는 마이크로파 전력을 유효적절하게 사용하기 위해 전력을 추출하는 상태(on상태)와 전력을 추출하지 않는 상태(off상태)를 시간적으로 변화하는 전력 수급 상황에 따라 적절히 선택할 수 있어야 한다.

이 논문에서는 이러한 마이크로파 배전 시스템의 실용화에 있어서 핵심적인 역할을 수행하게 되는 가변 전력 분배 스위치를 설계하고 그 동작 특성을 해석하였다. 가변전력 분배 스위치는 전력 공급용 도파관과 테크 플레이트 도파관 사이에서 될 수 있는 대로 전력의 반사가 작아지도록 저반사형으로 설계할 필요가 있으며, 만일 양 도파관 사이에서 정합을 취할 수 있다면 가장 이상적인 배전 스위치가 될 것이다. 반사를 최소화시키기 위해 배전 스위치를 저반사형으로 설계하고, 약 5% 간격으로 $4.6\sim 58\%$ 의 범위 내에서 출력되는 전력량을 변화시키면서 그 특성을 측정하였다. 반사되는 전력을 감소시키기 위해 동축 프로브 쌍과 도체 포트 쌍을 설치한 구조를 설계하고, 전송선로의 어드미턴스 특성을 측정하여 반사가 최소로 되는 분배 스위치의 구조에 대해 고찰하였다. 또 시작품을 제작하여 도파관 사이에 삽입하고 선로상의 전달특성이 설계에서 예상한 대로 나타나는지를 살펴보았다.

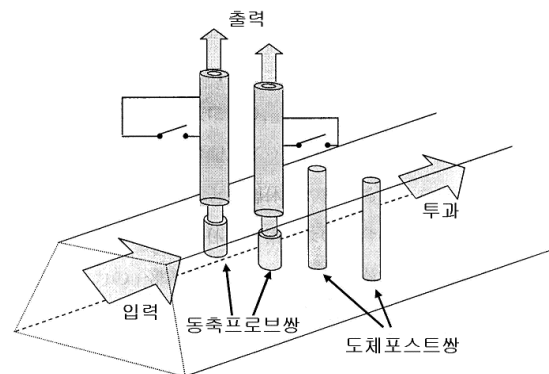


그림 1 전력 분배 스위치의 개략도

Fig. 1 Schematic configuration of the power dividing switch

* Corresponding author : Dept. of Electronic Engineering, Silla University, Korea

E-mail : ykchoi@silla.ac.kr

Received : June 20, 2012 ; Accepted : Novembre 27, 2012

2. 저반사형 전력 분배 스위치

2.1 동작원리

마이크로파 배전 시스템에는 전력을 유효적절하게 사용하기 위해 전력을 추출하는 상태(이하 on상태)와 전력을 추출하지 않는 상태(이하 off상태)를 선택할 수 있는 전력 분배 스위치가 필요하다. 이 논문에서 설계한 전력 분배 스위치의 개략도를 그림 1에 보였다. 동축 프로브 쌍과 도체 포스트 쌍을 테크 플레이트 도파관에 삽입한 구성으로 동축 프로브 쌍에는 선로의 적절한 위치에서 도체 내부와 도체 외부 사이를 단락시키거나 시키지 않거나를 선택할 수 있는 스위치를 부가시킨 동축 선로를 접속하였다. 기본적인 동작 원리는 진행파 전력 분배기와 동일한 구조로서 같은 원리이다[5]. 입력된 마이크로파는 동축 프로브 쌍에 의해 반사파가 발생하지만, 그것을 배후에 배치된 도체 포스트 쌍에 의한 반사파에 의해 짧은 거리 안에서 상쇄시키는 방법으로 스위치 전체를 통해 진행파 동작을 하게 된다. 내부 도체와 외부 도체를 단락하지 않는 경우에는 on상태로 되고, 동축 프로브 쌍에 의해 입력 전력의 일부를 추출하여 출력하고 나머지는 투과하게 된다. 단락되는 경우에는 off상태로 되어 입력 전력의 모두가 투과하게 된다.

2.2 기본 설계

그림 1에 보인 전력분배 스위치의 해석에는 그림 2에 보인 등가회로를 사용하였다. 등가회로에서 동축 프로브를 병렬 어드미턴스 $y_p = g_p + jb_p$ 로 나타냈다. 스위치의 뒤쪽은 완전히 정합되었다고 가정하고, 프로브의 위치에서 도체 포스트 쌍의 방향을 본 어드미턴스를 $y_n = g_n + jb_n$ 으로 나타냈다. 이러한 값은 그림 3(a), (b)에 보인 동축 프로브 쌍, 도체 포스트 쌍 구조의 파라미터를 변화시켜서 독립적인 개체로 시뮬레이션하였을 때의 S파라미터를 사용하여 산출하였다.

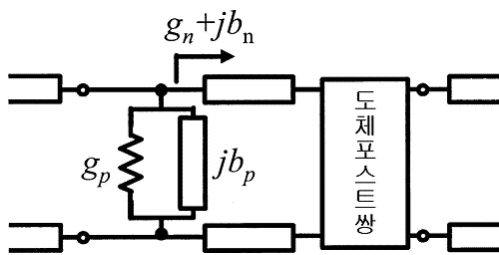
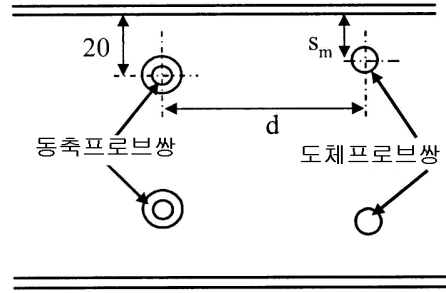


그림 2 저반사형 전력 분배 스위치의 등가회로
Fig. 2 Equivalent circuit of the low reflective power dividing switch

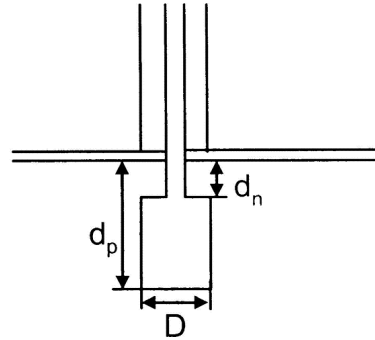
on상태와 off상태에서 y_n 과 y_p 가 식 (1)에 보이는 정합의 조건

$$g_p + jb_p + g_n + jb_n = 1 \quad (1)$$

을 만족할 수 있도록 설계하면 전력의 반사를 최소화 시킬 수 있는 저반사형 스위치를 실현할 수 있다. 또, 추출된 전



(a) 상면도



(b) 프로브 형상

그림 3 저반사형 전력분배 스위치의 구성 파라미터

Fig. 3 Parameters of the low reflective power dividing switch

력과 투과전력의 비율은 등가회로에 병렬로 전류원을 놓았을 때 y_p 와 y_n 의 소비전력으로서 계산할 수 있으며, 반사전력 P_r , 추출전력 P_{out} , 투과전력 P_t 는

$$P_r = \frac{(g_p + g_s - 1)^2}{(g_p + g_s + 1)^2 + (b_p + b_s)^2} \quad (2)$$

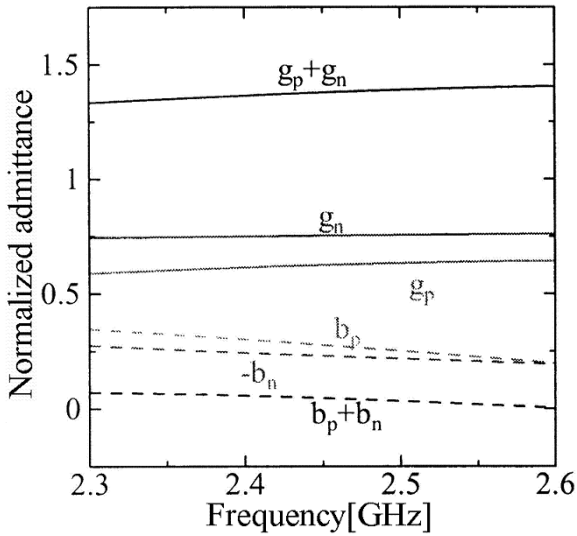
$$P_{out} = \frac{4g_p}{(g_p + g_s + 1)^2 + (b_p + b_s)^2} \quad (3)$$

$$P_t = \frac{4g_s}{(g_p + g_s + 1)^2 + (b_p + b_s)^2} \quad (4)$$

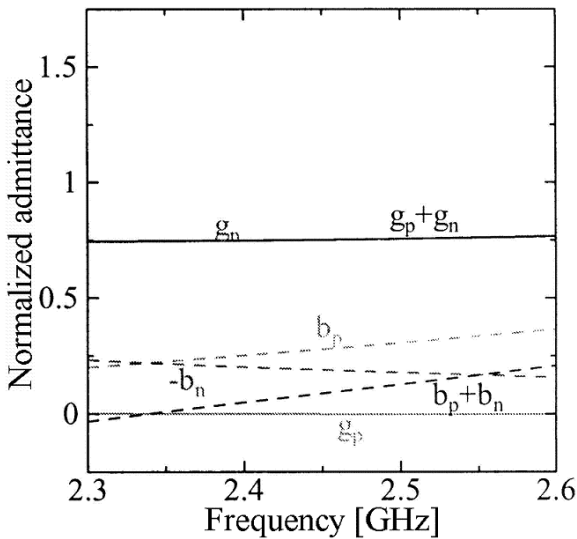
로 구할 수 있다.

on상태와 off상태에서 식 (1)의 조건식을 만족하도록 설계하면 저반사를 실현할 수 있으나, off상태에서 $g_p = 0$ 으로 되므로 완전하게 정합시키는 것은 불가능하다. 실제의 설계에서는 off상태에서의 반사를 고려하여 g_n 이 커지도록 설계하고, 그 결과에 맞춰서 g_p 의 값을 결정하였다. 이 때문에 on상태에서는 $g_p + g_n > 1$ 로 된다. 또 각각의 썬셋턴스는 on상태와 off상태 양쪽 모두 $b_p + b_n = 0$ 이 되도록 하였다. 이처럼 on상태와 off상태에서 (1)의 조건식에 가까운 값을 취할 수 있도록 설계함으로써 각각의 경우에 같은 정도의 반사가 이루어지도록 조절하였다.

이 논문에서는 스위치를 연결하였을 때 각 스위치에서 추출한 전력이 같아지도록 출력되는 전력이 1/2, 1/3, 1/4로 되는 3개의 스위치를 설계하였다. 그림 4에 추출되는 전력의



(a) on상태



(b) off상태

그림 4 유닛 #2의 어드미턴스 특성

Fig. 4 Admittance characteristics of the unit #2

비율이 1/2로 되도록 설계하였을 때의 어드미턴스 특성을 보였다. 추출되는 전력을 1/2로 하였을 때 어드미턴스의 설계값은 $g_p = g_n = 0.5$ 이었다. 그러나 on상태에서 저반사를 실현하기 위해서는 g_n 을 크게 할 필요가 있기 때문에 실제로는 그림 3(a)에 보인 것처럼 g_p 에 비해서 g_n 의 값이 커지도록 설계하였다. 설계된 구조에서 on상태일 때 $g_p = 0.625$, $g_n = 0.752$ 로 나타났다.

한편, 써셉턴스의 값은 설계 주파수에서 on상태, off상태 양쪽 모두 $b_p + b_n = 0$ 의 조건을 만족하였다. 설계된 스위치의 특성을 그림 5에 보였다. on상태에서 동축 선로(2선분)의 추출 전력 비율이 42.2%로 50%보다는 약간 작은 것을 알 수 있다. 또 반사는 on상태, off상태의 모두 -17dB 정도였다.

추출하는 비율을 1/3, 1/4로 하였을 때의 결과를 각각 그림 6, 그림 7에 보였다. 2.45GHz에서의 전력 비율을 표 1에 보

였다. 추출 비율이 작아질수록 on 상태와 off상태 두 경우 모두 보다 저반사의 분배가 이루어지는 스위치를 실현할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 구성으로는 저반사형으로 높은 추출 비율의 스위치를 실현하는 것에는 한계가 있으므로 이상적으로는 완전 정합형으로 스위치를 설계할 필요가 있다. 표 2에는 각 스위치에 대해서 그림 3에 보인 구조의 파라미터를 정리하였다. 표 2에서 on상태일 때의 도파관 윗면 간벽에서 동축 선로의 단락 위치까지의 거리를 l_p 로 나타냈다.

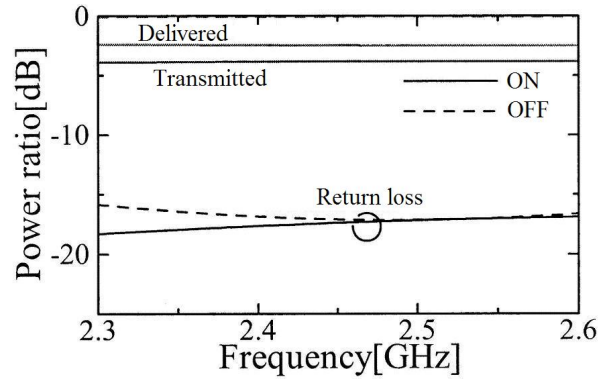


그림 5 유닛 #2의 전달특성

Fig. 5 Power transmitting characteristics of the unit #2

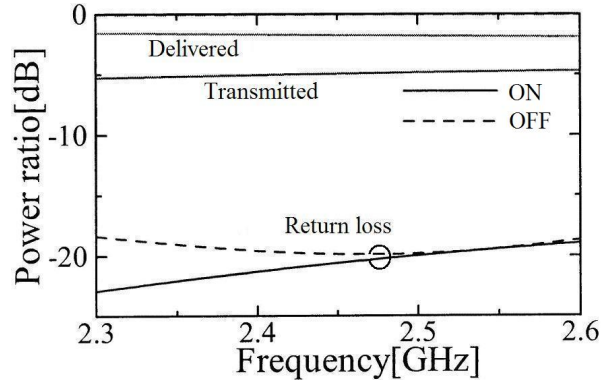


그림 6 유닛 #3의 전달특성

Fig. 6 Power transmitting characteristics of the unit #3

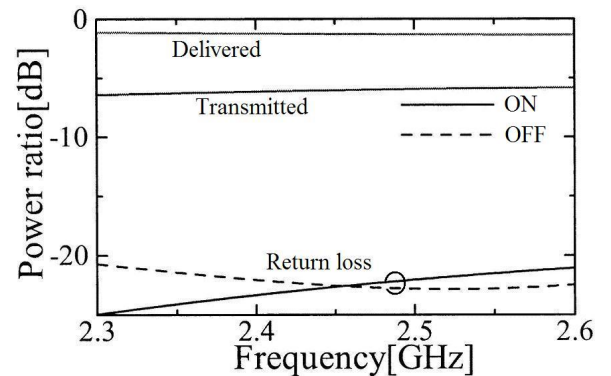


그림 7 유닛 #4의 전달특성

Fig. 7 Power transmitting characteristics of the unit #4

표 1 각 유닛의 추출전력 비율 특성

Table 1 Characteristics of output power ratio of each unit

	출력[%]	on상태반사[dB]	off상태반사[dB]
unit #2	42.2	-17.0	-17.0
unit #3	32.1	-20.6	-19.8
unit #4	24.7	-27.2	-19.8

표 2 각 유닛의 설계 파라미터

Table 2 Design parameters of each unit

	D	d _p	d _n	d	S _m	l _p
unit #2	11.0	21.0	6.0	10.3	9.0	23.0
unit #3	9.0	18.0	8.0	8.0	8.0	27.0
unit #4	9.0	17.0	5.0	8.0	8.0	25.2

3. 스위치의 연결 동작특성

설계된 스위치를 그림 8처럼 배치하고 전체의 특성을 각각의 스위치의 S 파라미터를 사용하여 수치계산으로 산출하였다. 각 배치에서 모든 스위치를 on상태로 하였을 때 같은 비율로 전력이 분배된다. 여기서, 연결 스위치의 종단은 그림 9와 같은 특성을 갖는 도파관-동축 선로 변환기로서 항상 on상태로 동작하는 것으로 하였다.

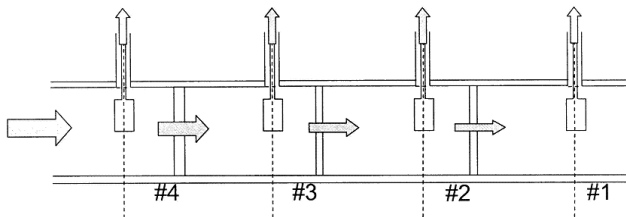


그림 8 각 유닛의 연결 구조

Fig. 8 Connecting structure of each unit

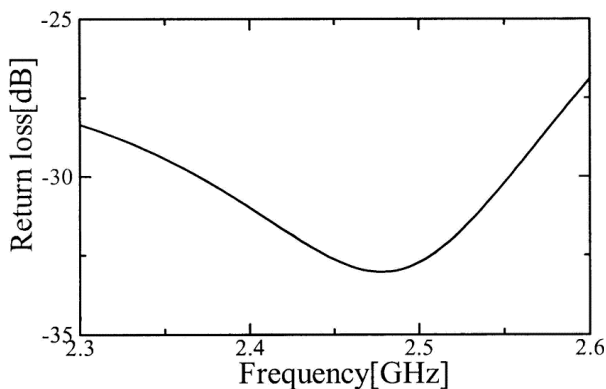


그림 9 유닛 #1의 반사손실 특성

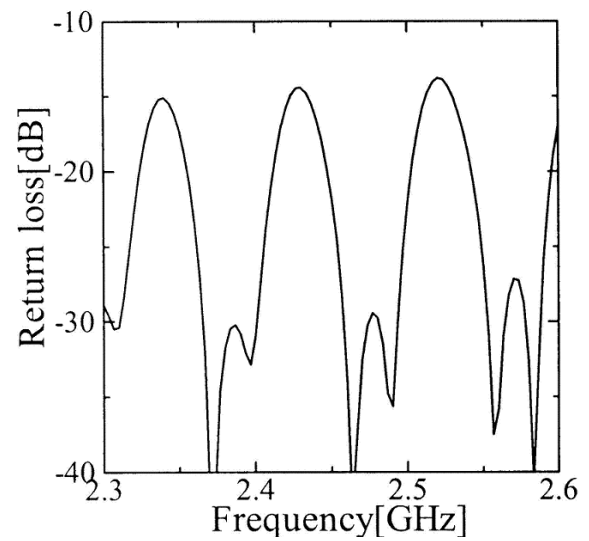
Fig. 9 Reflecting loss characteristic of the unit #1

데크 플레이트에 배치하는 스위치의 수를 n으로 하였을 때, 유닛 #1의 S파라미터를 $S^{(i)}$ 로 하면, 데크 플레이트의 입력측에서 본 전체의 반사특성 Γ_n 은 다음 식으로 구할 수 있다.

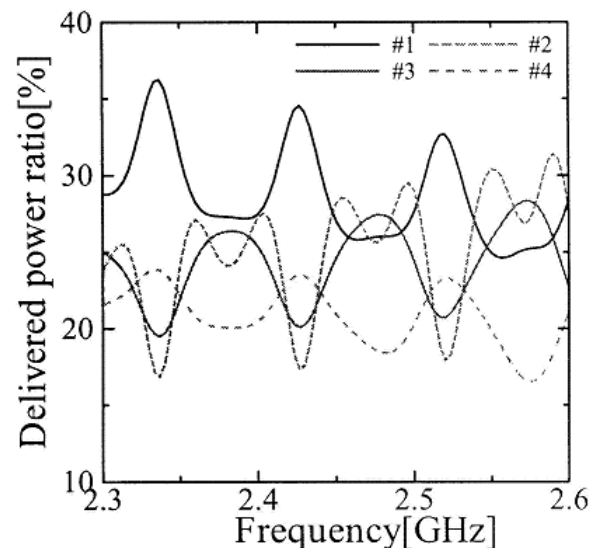
$$\Gamma_n = S_{11}^{(n)} + \frac{S_{12}^{(n)} S_{21}^{(n)} \Gamma_{n-1} \exp(-2j\beta_g l_{n,n-1})}{1 - S_{22}^{(n)} \Gamma_{n-1} \exp(-2j\beta_g l_{n,n-1})} \quad (n > 1) \quad (5)$$

$$\Gamma_1 = S_{11}^{(1)} \quad (n = 1) \quad (6)$$

스위치의 프로브 쌍 사이의 거리를 1.3m로 하여 특성을 계산하였다. 모든 스위치를 on상태로 하였을 때의 계산 결과를 그림 10에 보였다. 스위치 사이의 거리에 대해서 파장이 짧기 때문에 주파수에 대한 변화가 크게 나타났다. 반사 특성을 살펴보면 설계 주파수에서는 -30dB에 가까운 저반사 특성을 나타내고 있으나, 각각의 스위치가 완전히 정합을 이룰 수는 없었기 때문에 특성이 나쁜 곳에서는 약 -15dB 정도로 약간 증가하였다. 또, 추출 비율은 설계한 유닛 #2 한 개의 추출 비율이 설계 값의 50%보다 작았기 때문에 다



(a) 반사특성



(b) 추출전력 비율

그림 10 모든 스위치가 on상태 일 때 분배기의 특성

Fig. 10 The characteristics of the distributor for all of the switches are on.

큰 스위치보다 작았다. 총 공급 전력의 1/2 추출을 목표로 한 설계에서 추출 전력의 비율이 42.2%로 반사가 on상태와 off상태 모두 -17dB로 추출되는 전력이 약간 작아지고 반사가 감소되기는 하였으나 염려되는 수준은 아니었다. 추출되는 전력을 1/3, 1/4로 한 설계에서는 각각 32.1%, 24.7%로 거의 설계대로의 전력이 추출되었고 반사도 -20dB로 감소되었다. 여기서 설계된 저반사형 전력 분배기는 전력의 추출 비율이 작아질수록 저반사가 실현됨을 확인하였다.

각 스위치의 on상태와 off상태의 조합 상태를 변화시키면서 계산한 결과를 표 3에 보였다. 주파수에 대한 변화가 크기 때문에 조합에 따라 반사의 크기에 편차가 나타나는 것을 알 수 있다.

표 3 연결특성

Table 3 Connecting characteristics of each unit

case	반사[dB]	추출비율[%]			
		unit #1	unit #2	unit #3	unit #4
1	-29.8	26.1	18.9	27.1	25.3
2	-22.5	49.3	off	19.7	32.6
3	-12.1	43.7	29.0	off	17.1
4	-26.7	73.2	off	off	26.6
5	-21.3	34.9	26.0	37.3	off
6	-11.6	68.8	off	25.4	off
7	-15.4	55.3	39.9	off	off
8	-18.6	98.6	off	off	off

4. 결 론

테크 플레이 도파관에 공급된 전력을 효율적으로 추출하기 위한 저반사형 전력 분배 스위치를 설계하여 그 특성을 해석하였다. 이 논문에서는 저반사형 전력 분배 스위치가 on상태와 off상태에서 같은 정도의 반사가 일어나도록 구성하였다. 공급된 전력의 1/2 추출을 목표로 한 설계에서는 추출 전력의 비율이 42.2%로 반사가 on상태와 off상태에서 모두 -17dB 정도로 나타나서 추출되는 전력이 설계한 값보다는 약간 작아졌고, 반사도 완전히 저반사라고 보기에는 약간 큰 값을 나타냈다. 추출의 비율을 1/3, 1/4로 낮춰서 설계한 스위치에서는 각각 32.1%, 24.7%의 추출비율을 나타내서 거의 설계에서 예상한 대로 추출이 가능한 것으로 확인되었고, 반사도 -20dB 이하로 되었다.

이 논문에서 설계한 동축 프로브 쌍과 도체 프로브 쌍을 삽입하는 전력 분배 스위치는 추출 전력의 비율이 작아질수록 저반사의 목표를 달성할 수 있음을 확인하였다. 추출되는 전력의 비율이 높은 경우에도 이러한 형태의 전력 분배 스위치를 사용하기 위해서는 반사되는 전력을 완전히 차단시킬 수 있는 완전 정합형 전력 분배 스위치가 필요하다. 이후로는 이러한 저반사형 스위치의 특성을 개선하여 추출되는 전력의 비율에 관계없이 어떠한 경우에도 활용할 수 있는 완전 정합형 전력 분배 스위치에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] N. Shinohara and H. Matsumoto, "Experimental Study of Large Rectenna Array for Microwave Energy Transmission", IEEE trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-46, no. 3, pp. 261-268, Jun, 1998.
- [2] M. Takeshi, H. Tomonari, N. Shinohara, K. Hashimoto and H. Matsumoto, " Study of Microwave Power Transmission System with a Magnetron", IEICE, Society Conf. 1998, B-1-6, Sep. 1998.
- [3] T. Miura, H. Tomonari, N. Shinohara, and H. Matsumoto, "Study of Microwave Power Transmission System with a Magnetron", IEEE AP-S Tokyo Chap. A.P98-26, vol.98, no. 169,170, Jul. 1998.
- [4] T. Miura, N. Shinohara, and H. Matsumoto, "Experimental Study of Microwave Power Transmission Efficiency(2)", IEICE General Conf. B-1-23, vol. 1-7, Mar. 1999.
- [5] J. Pollak, M. Moisan, Z. Zakrzewski, J. Pelletier, Y. Arnal, A. Lacoste, and T. Lagarde, "Compact Waveguide-Based Power Divider Feeding Independently Any Number of Coaxial Lines", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 55, no. 5, pp. 951-957, Nov. 2007.
- [6] K. Song, Y. Fan and Y. Zhang, "Eight-Way Substrate Integrated Waveguide Power Divider with Low Insertion Loss", IEEE trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-56, no. 6, pp. 1473-1477, Oct., 2008.
- [7] N. Shinohara, T. Mitani, J. Kojima. and M. Hashitani, "Development of Small and High Efficient Rectenna for High Power Microwave Power Transmission", IEICE, MW2008-16, vol. 108, no. 63, pp. 7-10, May, 2008.

저 자 소 개



최 영 규 (崔 泳 圭)

1982년 중앙대학교 전자공학과 학사, 1988년 교토대학(일본)대학원 전자공학 졸업(석사), 1992년 동 대학원 공학박사, 1992년~1995년 국립 후쿠이대학 (일본), 전자공학과 전임강사, 1998년~현재 신라대학교 공과대학 전자공학과 교수
Tel : 051-999-5622
E-mail : ykchoi@silla.ac.kr