

論文2002-39TE-3-9

2.4GHz RFID 태그용 고조파 억제를 위한 저역통과필터의 설계

(A Low-pass filter design for suppressing the harmonics of 2.4GHz RFID tag)

曹永彬*, 金炳秀**, 金長權***

(Young Bin Cho, Byung Soo Kim and Jang Kwon Kim)

요약

ISM 대역을 사용하는 RFID 시스템에서 대상물에 장착되는 태그는 내장된 컨트롤러와 메모리를 동작시키기 위해서 소형 안테나로부터 들어온 전파 신호를 쇼트키 다이오드로 정류하여 전원으로 사용하게 된다. 반도체 소자의 비선형성에 의한 고조파 성분과 안테나의 고차 모드의 공진으로 여기되는 불요파는 태그의 성능 저하를 가져온다. 본 논문에서는 2차 고조파 성분을 제거함으로써 시스템 효율을 개선하기 위하여 “스터브 I 형 DGS 슬롯 구조”를 이용한 새로운 형태의 저역통과 필터를 구현하였다. 스텐드 오프 I 형 슬롯의 연결 폭을 조정하여 최적의 통과대역 및 저지대역 주파수 특성을 갖도록 설계하고 제작하였다. 제작된 저역통과 필터의 측정결과는 차단 주파수는 3.25 GHz 이고 2.4 GHz~2.5 GHz 의 대역에서 삽입손실은 -0.29~-0.3 dB 이고 반사손실은 -27.688~-33.665 dB 로 비교적 양호한 특성을 보여주고 있으며, 2배 고조파의 대역인 4.9 GHz 에서의 저지특성은 약 -19.367 dB를 보여준다. 이 구조의 필터를 이용하여 RFID, WLAN 등의 응용에 적용되어 고조파와 불요파를 제거함으로써 시스템 효율의 개선에 사용할 수 있을 것이다.

Abstract

In the RFID system using ISM-band, The tag mounted at the object has used the DC power by rectifying the RF signals of the small antenna for operating the micro-controller and memory. The performance of the tag would be reduced because of the second harmonics generated by the nonlinearity of the semiconductor and the spurious signal excited the high order mode of the antenna. This paper has realized the novel type low-pass filter with “the Stub-I type DGS slot structure” to improve the efficiency of the tag by suppressing the harmonics. The optimized frequency character at the pass-band/stop-band has obtained by tuning the stub width and slit width of I type slot. The measured result of the LPF has the cutoff frequency 3.25 GHz, the insertion loss about -0.29~-0.3 dB at pass-band 2.4 GHz~2.5 GHz, the return loss about -27.688~-33.665 dB at pass-band with a good performance, and the suppression character is about -19.367 dB at second harmonics frequency 4.9 GHz. This DGS LPF may be applied the various application as the RFID, WLAN to improve the efficiency of the system by suppressing the harmonics and spurious signals.

* 正會員, 慶熙大學教 電子工學科

(Kyunghee University, Dept. of Electronical Engineering)

** 正會員, 新星大學 電子情報通信系列

(Shinsung College, Division of Electronics, Information & Communication)

*** 正會員, 大林大學 電子情報通信系列

(Daelim College, Division of Electronics, Information & Communication)

接受日字:2002年8月20日, 수정완료일:2002年9월14일

I. 서론

최근 무선랜(Wireless LAN), RFID(Radio Frequency Identification), WLL(Wireless Local Loop) 등 ISM 대역(Industrial, Scientific and Medical-band)에서 응용되는 시스템들이 매우 광범위한 수요와 시장성 때문에 저가격, 소형화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1-3] 또한 시스템의 소형화와 저가격화, 저전력 소모

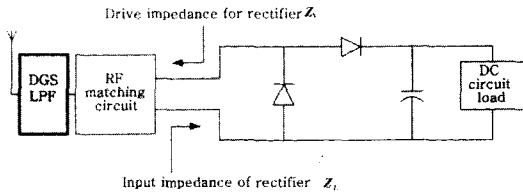


그림 1. RFID 태그의 구성도
Fig. 1. RFID Tag Block Diagram.

를 위해 ASK 및 FSK와 같은 단순한 변조방식을 채택하고 있고^[4-5], 실내의 무선 환경의 복잡성을 고려하여 원편파 특성의 안테나를 이용하여 송수신 효율을 개선시키려는 연구들이 있다.^[6-7]

ISM 대역에서 응용되는 시스템 중에서 RFID는 일반적인 무선통신시스템과 마찬가지로 안테나와 송수신기로 구성이 되며 대상물에 장착이 되는 태그는 그림 1과 같이 자체 전원이 필요 없는 수동형인 경우가 대부분이다. 수동형 RFID 태그는 수신된 전파신호를 쇼트키 다이오드로 정류하여 전원으로 사용하므로 소형화, 저가격, 저전력 특성을 모두 만족하여야 한다.

수동형 RFID 태그는 내장된 컨트롤러와 메모리를 동작시키기 위해서 소형 안테나로부터 들어온 전파 신호를 쇼트키 다이오드로 정류하여 전원으로 사용하지만 정류에 사용되는 반도체 다이오드의 비선형성에 의한 2차 고조파 성분이 RFID 시스템의 전체 효율의 저하라는 문제를 발생시킨다. 또한 태그에 사용되는 소형 안테나는 기본 모드 외에 여러가지 고차 모드로 공진으로 인해 여기되는 불요파의 수신으로 태그의 성능 저하를 가져온다. 따라서 능동소자의 고조파 성분을 제거하여 태그의 효율을 개선하여야 하며 이에 관련된 연구가 진행되어 왔다.^[8]

본 논문에서는 그림 1의 RFID 태그의 구성요소 중에서 쇼트키 다이오드의 2차 고조파 성분을 제거하기 위해서 정합회로의 다음 단계 저역통과 필터를 사용하고자 한다. 따라서 2.4GHz대역 RFID 태그의 크기를 고려하여 초소형의 필터가 필요하며 이를 위해서 새로운 형태의 DGS 구조를 제안하고 제안된 구조를 사용하여 최소형 저역통과 필터를 설계 및 제작하고자 한다.

II. 소형화에 응용되는 DGS의 특성

일반적인 마이크로파 회로의 성능 향상과 소형화를 위해서 DGS 또는 PBG 구조를 이용한 필터, 임피던스

정합 회로, 발진기, 그리고 능동 안테나 등에 많은 연구가 진행되고 있으며 최근에 저역통과 필터 설계에 응용되는 DGS 형태는 그림 2와 같다.^[9-10]

그림 2의 DGS 구조는 기판의 접지면에 상하 대칭인 정사각형 개구면(슬롯)이 식각되어 있고 윗면은 50 Ω 전송선로가 놓여있는 구조이다. 이러한 모든 DGS는 식각된 개구면을 통과하는 특정한 누설 에너지에 의해 대역저지 특성을 갖는 병렬 RLC 공진회로로 등가화여 나타낼 수 있으며 그림 1에 (b)와 같다.

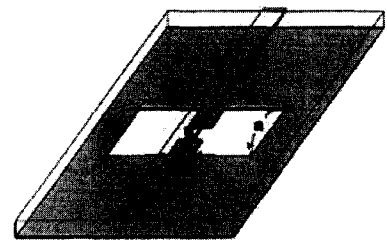
DGS 등가회로의 파라미터는 저역통과 프로토타입 필터를 사용하여 주파수 사상을 거쳐 저지대역 필터의 파라미터로 변환되며 각각의 R, C, L의 값은 다음의 식(1), 식(2), 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 f_0 는 저지대역의 중심주파수, f_c 는 3 dB 차단 주파수, 그리고 g_1 는 저역통과 프로토타입 필터의 성분을 나타낸다.^[11]

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|S_{11}(w_0)|^2} - (2Z_0(w_0C - \frac{1}{w_0L}))^2 - 1}} \quad (1)$$

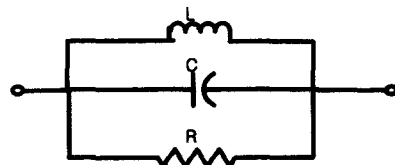
$$C = \frac{w_c}{Z_0g_1} \cdot \frac{1}{w_0 - w_c} \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 \cdot C} \quad (3)$$

그림 2에 나타낸 DGS 슬롯의 대역저지 특성을 확인



(a) DGS의 형태



(b) DGS의 등가회로

그림 2. DGS의 형태와 등가회로
Fig. 2. A DGS type and equivalent circuit. (a) DGS type (b) DGS equivalent circuit

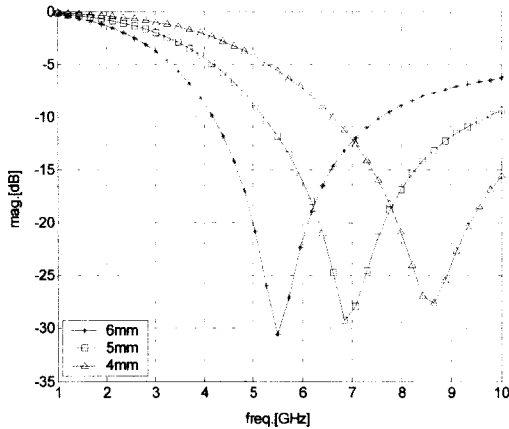


그림 3. 상하대칭인 정사각형 슬롯의 a=b 폭 변화에 따른 주파수 특성

Fig. 3. The frequency character by varying the width a=b of the symmetric square slot.

하기 위해서 연결부분의 폭 g 를 0.5 mm 로 고정하고 정사각형 슬롯의 폭을 6 mm, 5 mm, 4 mm로 축소하였다. 이에 따라 각각의 주파수 특성을 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 정사각형 슬롯의 폭을 1.0 mm 변화 될 때마다 대역저지 주파수의 특성이 1.5 GHz 이상 변화가 나타났으며, 이러한 특성은 공진 주파수를 500 MHz 정도 변화시키기 위해서는 정사각형 슬롯의 폭을 0.3 mm 정도 변화시켜야 된다. 이는 제작 시 고정밀 제작에 따른 비용 상승의 요인이 될 수 있으므로 제작상의 편의를 위해 0.5 mm 정도로 고정하였다. 이러한 DGS 슬롯의 구조는 대역저지 중심 주파수의 미세한 조정이 어렵고, 주기적인 DGS 배열 구조로 저역통과 필터의 특성을 얻을 수는 있지만 필터의 크기가 커지기 때문에 소형화가 어렵다.

III. 제안된 DGS 저역통과 필터(LPF) 설계

본 논문에서 제안하는 스텐브 I 형 슬롯구조는 기판의 접지면을 I 자 형태로 식각한 슬롯형태이고 기판의 윗면은 전송선로 스텐브가 놓여진 그림 4와 같은 형태이다.

스텐브 I형 슬롯의 구조를 살펴보기 전에 먼저 기판 접지면의 I 형 슬롯구조에 의한 주파수 특성만을 분석하기 위해서 스텐브가 제거된 I 형 슬롯구조를 그림 5에 보였다. I 형 슬롯구조의 전체 폭 W 와 길이 L 는 저지대역 중심 주파수에 따라 고정하고 슬롯 중앙부분의 폭 S 는 급격한 차단특성을 얻기 위해서는 최소 길이로 고정하였다. 그러나 I 형 슬롯구조의 중앙부분의

길이 L_{slit} 는 설계를 위해서 가변 되도록 하였다.

구조의 특성을 평가하기 위하여 I 형 슬롯의 전체 폭 W 와 길이 L 를 각각 6 mm, 18 mm, S 는 제작이 가능한 최소길이인 0.5 mm로 고정하고 슬롯 중앙부분의 길이 L_{slit} 을 각각 12.211 mm, 10.221 mm, 8.211 mm, 6.211 mm, 4.211 mm, 2.211 mm로 변화시켰을 때 그림 6과 같이 저지대역 중심 주파수가 미세하게 증가되는 특성을 보였다. 이러한 원인은 DGS 등가회로인 병렬 공진회로의 커패시턴스 성분이 증가되었지만 주로 인덕턴스 성분이 감소하는 상반되는 구조이기 때문이다.

그러므로 I 형 슬롯의 구조는 전체적인 크기의 변화

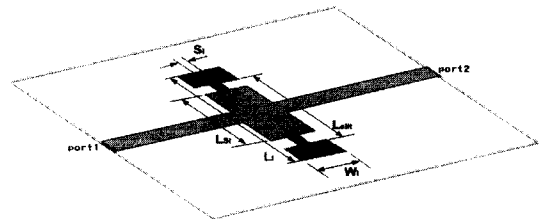


그림 4. 스텐브 I 형 슬롯의 구조

Fig. 4. The Stub I-type slot structure.

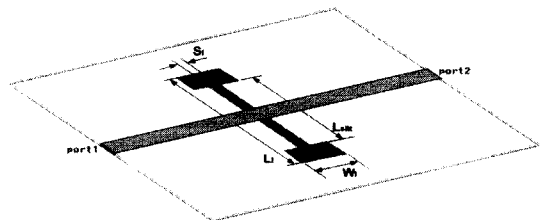


그림 5. I 형 슬롯의 구조

Fig. 5. I-type slot structure.

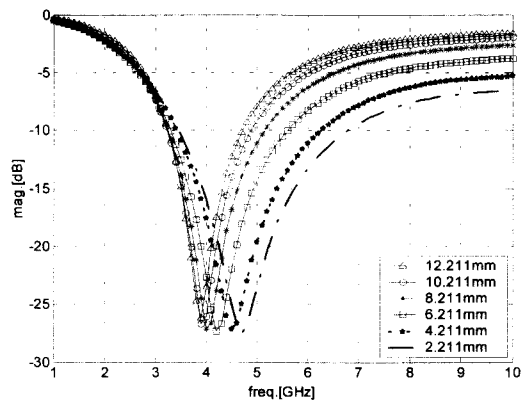


그림 6. I 형 슬롯의 L_{slit} 길이 변화에 따른 주파수 특성

Fig. 6. The frequency character by varying the length L_{slit} of the I-type slot.

없이 슬롯 중앙부분의 길이만을 조정하여 대역저지 중심주파수(극점)를 미세 조정할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 기존에 통용되는 그림 2의 DGS 형태와 비교해서 설계상의 용이성과 함께 소형화가 가능하게 된다.

이러한 I 형 슬롯구조에 그림 4와 같이 전송선로 스테르브를 추가시킨다면 스테르브에 의한 커패시턴스 성분의 증가에 의해 고주파 성분을 차단하게 되므로 넓은 저지대역 특성이 포함된다. 따라서 본 논문에서는 스테르브 I 형 슬롯구조에서 급격한 대역저지 중심주파수를 조정할 수 있는 장점과 더불어 넓은 저지대역 특성을 갖도록 스테르브를 포함한 I 형 슬롯 구조를 제안하였다.

제안된 스테르브 I 형 슬롯구조의 주파수 특성을 확인하기 위하여, 접지면 상의 I 형 슬롯은 급격한 대역저지 특성을 갖도록 W_1 와 L_1 는 각각 5 mm, 13.789 mm로 하고 S_1 와 L_{slit} 은 0.5 mm, 7.211 mm로 설정한 후, 추가된 스테르브의 길이 L_{SI} 를 9.211 mm, 8.211 mm, 7.211 mm로 각각 1.0 mm씩 감소시켰을 때 나타나는 주파수 특성을 그림 7과 같이 보였다.

스테르브 추가에 의해서 그림 7에 보이는 모든 주파수 특성은 스테르브가 없는 I 형 슬롯 구조의 주파수 특성인 그림 6과 비교해서 5 GHz 이상에서 넓은 저지대역 특성의 개선을 나타내었다. 또한 스테르브의 길이 L_{SI} 가 증가에 따른 각각의 주파수 특징을 비교하면 5 GHz 이상에서 삽입손실 특성은 개선되지만 3 GHz 통과대역의 반사손실은 감소하므로 최적의 지역통과 필터 특성을 찾아야 한다. 따라서 2.4 GHz RFID 주파수 대역에서 사용할 지역통과 필터의 통과대역 주파수 2.4 GHz, 2.5 GHz에서

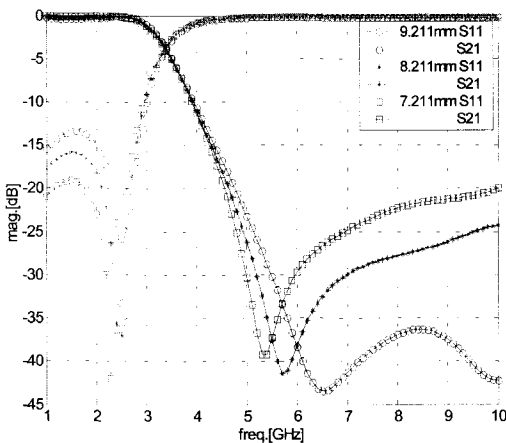


그림 7. L_{SI} 의 변화에 따른 주파수 특성 변화
Fig. 7. The frequency character by varying the length L_{SI} .

표 1. L_{SI} 를 변화에 따른 각 주파수별 모의실험 결과

Table 1. the simulation result of the frequency character by varying the length L_{SI} .

주파수 L_{SI} [mm]	2.4GHz [dB]		2.5GHz [dB]		4.9GHz [dB]
	S11	S21	S11	S21	S21
9.211	-0.1007	-21.99	-0.08982	-31.56	-19.15
8.211	-0.06999	-34.66	-0.0661	-29.28	-21.29
7.211	-0.07277	-28.81	-0.113	-21.38	-24.08

반사손실과 2 배 고조파의 대역인 4.9 GHz 에서 삽입손실 특성을 스테르브의 길이 L_{SI} 별로 표 1 에서 비교하였다. 그 결과, 스테르브의 길이 L_{SI} 가 7.211 mm 인 경우에 통과대역에서 반사손실이 -20 dB 이하이고 저지대역에서 삽입손실이 -25 dB 이하로 최적의 특성을 얻을 수 있다.

IV. 제작 및 측정

한 개의 스테르브 I 형 슬롯으로 설계된 지역통과 필터를 두께 31 mil 의 FR-4 에폭시 기판을 사용하여 제작하였다. 제작된 필터의 앞면과 뒷면 사진을 그림 8에 보였으며 전체크기가 5 mm × 13.789 mm 인 초소형 크기의 필터가 제작되었고 각 부분 치수는 표 2와 같다.

제작된 필터의 측정은 네트워크 분석기를 이용하여 삽입손실과 반사손실을 측정하고 그 결과를 분석하였다. 측정 결과는 그림 9의 모의실험 결과와 비교해서 보였으며 2.4GHz RFID 주파수 대역에서 사용할 지역통과 필터의 통과대역 주파수 2.4 GHz, 2.5 GHz 와 2배 고조파 주파수인 4.9GHz 에서 측정치와 모의실험 결과를 표 3에 비교하였다.

RFID의 사용 주파수 2.4 GHz 에서 2.5 GHz 대역에서 삽입손실은 -0.29dB ~ -0.3dB 이고 반사손실은 -27.688 dB ~ -33.665 dB 로 우수한 특성으로 측정되었으며 사

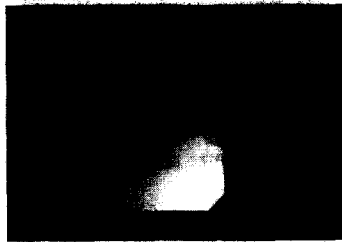
표 2. 제안된 DGS LPF의 최적 설계 결과

Table 2. The optimized design result of the Proposed DGS LPF.

필터의 구성	스테르브 I 형 슬롯 [mm]				
	슬롯 폭 (W_1)	슬롯 길이(L_1)	연결슬롯 길이(L_{slit})	연결슬롯 폭(S_1)	스테르브 길이(L_{SI})
설계 결과	5.0	13.789	8.211	0.5	7.211



(a) 위면



(b) 아래면

그림 8. 제작된 저역통과 필터
Fig. 8. A Made Low Pass Filter. (a) Upper (b) Bottom

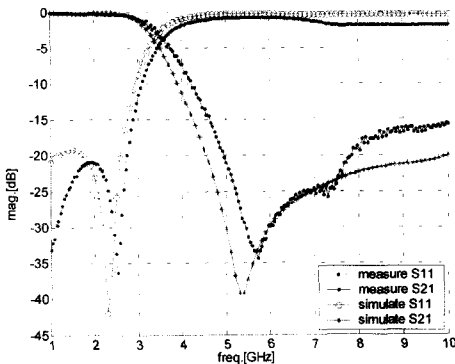


그림 9. 제작된 DGS LPF의 측정 결과
Fig. 9. The measured result of the DGS LPF.

표 3. 측정치와 모의실험 결과의 비교

Table 3. The comparative table of the measured result and simulated result.

주파수 결과	2.4GHz [dB]		2.5GHz [dB]		4.9GHz [dB]
	S11	S21	S11	S21	S21
측정	-0.30307	-27.688	-0.29238	-33.665	-19.367
모의실험	-0.07277	-28.81	-0.113	-21.38	-24.08

용 주파수의 2 배인 고조파 발생 대역인 4.9 GHz 에서 삽입손실 특성은 약 -19.367 dB로 양호한 주파수 차단

특성을 보여준다. 그러나 약 3 ~ 4 dB 정도의 측정치와 모의실험 결과의 차이가 발생되었는데 이는 제작시 접지면의 슬롯구조와 윗면의 스테브를 정확하게 일치시키지 못한 결과라 여겨진다.

V. 결론

본 논문에서는 초소형 필터를 도입하여 쇼트키 다이오드의 2차 고조파 성분과 안테나의 고차 모드 공진으로 인한 불요파를 동시에 제거하여 2.4 GHz 대역 RFID 태그의 성능을 개선하기 위한 필터 설계에 관한 연구를 하였다.

일반적으로 사용되는 DGS로 저역통과 필터를 설계할 경우, 필터의 소형화에 한계가 있으므로 기존의 DGS에 스테브를 결합시킨 “스테브 I 형 슬롯구조”를 제안하였으며 제안된 구조는 급격한 대역저지 중심주파수와 넓은 저지대역 특성을 동시에 조정할 수 있다는 분석결과를 바탕으로 한 개의 스테브 I 형 슬롯으로 저역통과 필터를 설계하고 제작하였다.

실험 결과, RFID의 사용 주파수 2.4 GHz 에서 2.5 GHz 대역에서 삽입손실은 -0.29 ~ -0.3 dB 이고 반사손실은 -27.688 dB ~ -33.665 dB 로 측정되었으며 사용 주파수의 2차 고조파 발생 대역인 4.9 GHz 에서 삽입손실 특성은 약 -19.367 dB로 단일 구조의 DGS 형태로는 매우 우수한 특성을 갖는다.

따라서, 제안된 “스테브 I 형 슬롯구조”를 갖는 초소형 저역통과 필터가 2.45 GHz 용 RFID 태그에 장착될 시 RFID의 소형화 문제를 해결하면서 다이오드에서 발생하는 고조파와 안테나에서 여기되는 불요파를 제거하여 시스템 성능향상에 크게 기여하리라 본다.

참고 문헌

[1] K. Konno, H. Wada, K. Matsukawa, “A 2.45GHz Wireless IC Card System for Automatic Gates”, 1993 IEEE MITT-S International Microwave Symposium Digest, pp. 797 ~800, 1993.

[2] T.K. Chan, E. Korolkiewicz, “Design of the Microwave Transponder for Automatic Debiting Systems”, 1994 24th European Microwave Conference, pp. 1025~1029, 1994.

[3] J.D. Buchs, W. Detlefsen, W. Grabow, "Access Control System Based on the Emerging European Standard for 5.8GHz Short Range Communication", IEEE 46th Vehicular Technology Conference., pp. 1805~1809, 1996.

[4] W. S. Chan, W. S. Wong, "5.8 GHz Active Transponder for Electronic Road Pricing", 1995 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, pp. 694~697, 1995.

[5] K. Konno, H. Wada, K. Matsukawa, "A 2.45 GHz Wireless IC Card System for Automatic Gates", 1993 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp. 797~800, 1993.

[6] Padhi S.K., Karmakar N.C. Law C.L., Aditya S., "A dual polarized aperture coupled microstrip patch antenna with high isolation for RFID applications", 2001 IEEE International Sym. Antennas and Propagation Society, vol.2, pp. 2~5, 2001.

[7] M. Kossel, H. Benedickter, W. Baechtold, "Circular polarized aperture coupled patch antennas for an RFID system in the 2.4 GHz ISM band", 1999 IEEE Radio and Wireless Conference, RAWCON 99, pp. 235~238, 1999.

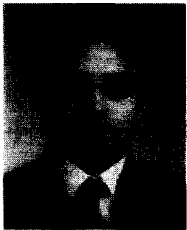
[8] Brown, W.C., "An experimental low power density rectenna", IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, vol. 1, pp. 197~200, 1991.

[9] Chul-Soo Kim, Jun-Seok Park, Dal Ahn, Jae-Bong Lim, "A Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 10, No. 4, Jan., pp. 131~133, 2000.

[10] Dal Ahn, Jun-Seok Park, Chul-Soo Kim, Juno Kim, Yongxi Qian, Tatsuo Itoh, "A Design of the Low-Pass Filter Using the Novel Microstrip Defected Ground Structure", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. 49, No. 1, Jan., pp. 86~93, 2001.

[11] 이범선, 신윤미, "분산효과를 고려한 1D PBG 구조 분석", 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, vol. 24, no. 2, 207-210쪽, 2001년 9월

저 자 소 개



曹永彬(正會員)

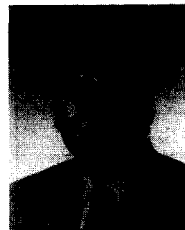
1996년 : 경희대학교 물리학과 학사. 1998년 : 경희대학교 전자공학과 석사. 1997년 12월~2000년 5월 : 전자부품연구원 위촉연구원. 1998년 9월~1999년 10월 : 전파연구소 이천분소 연구보조사. 1998년

3월~현재 : 경희대학교 전자공학과 박사과정. 2002년 9월~현재 : 전자부품연구원 위촉연구원. <주관심분야 : 마이크로파 능동/수동소자, 안테나, RFID>



金炳秀(正會員)

1993년 : 경희대학교 전자공학과 학사. 1995년 : 경희대학교 전자공학과 석사. 2002년 : 경희대학교 전자공학과 박사. 1998년 12월~현재 : 신성대학 전자정보통신계열 교수. <주관심분야 : 전자파 해석, RF 회로설계, RCS 분야>



金長權(正會員) 37卷 TE編 第4號 參照

1977년 : 광운대학교 전자통신과 졸업(공학사). 1980년 : 연세대학교 대학원(공학사). 1989년 : 경희대학교 대학원 전자공학과(공학박사). 1990년~현재 : 대림대학 전자정보통신

계열 교수. 1997년~현재 : 대한전자공학회 전문대학위원회위원장. 2000년~현재 : 대한전자공학회 상임이사, 평의원.