

T형 스텐브로 정합된 CPW급전 소형 슬롯 안테나

이종익¹, 여준호^{2*}

¹동서대학교 전자공학과, ²대구대학교 정보통신공학부

CPW-fed Compact Slot Antenna Matched by T-shaped Stub

Jong-Ig Lee¹ and Junho Yeo^{2*}

¹Department of Electronics Engineering, Dongseo University

²School of Computer and Communication, Daegu University

요 약 본 논문에서는 코플러나 도파관(CPW)으로 급전된 소형 슬롯 안테나 설계방법에 대하여 연구하였다. 폭이 좁은 직사각형 슬롯에 삽입된 T형 튜닝 스트립의 위치, 폭, 길이를 조절하여 슬롯 안테나와 CPW 급전선이 임피던스 정합되도록 하였다. 슬롯의 길이 변화로 공진 주파수를 조절할 수 있고, 슬롯을 구부려서 소형화할 수 있다. 소형 슬롯 안테나의 공진 주파수와 임피던스 특성이 반 파장 슬롯 안테나와 비교하여 큰 변화가 없으므로 소형화 설계가 용이하다. 2.45 GHz ISM 대역용으로 소형 슬롯 안테나를 설계하고, FR4 기판(비유전율=4.4, 두께 0.8 mm) 상에 제작한 후 특성을 실험하였다. 측정된 결과들은 시뮬레이션과 잘 일치하여 본 연구의 타당성을 검증하였다. 제작된 소형 슬롯 안테나의 정재파비(SWR)가 2이하인 대역폭은 200 MHz(=2.32—2.52 GHz)로서 ISM 대역(2.4—2.48 GHz)용으로 적합하다. 측정된 복사패턴은 모노폴과 유사하게 E-면에서 8자형 지향성 패턴을 보이고, H-면내에서는 거의 무지향성 패턴을 보이며, 이득은 2.0 dBi 이므로 무선 랜, RFID, 휴대단말기용 안테나 등으로 응용이 적합할 것으로 기대된다.

Abstract In this paper, a design method for a compact slot antenna fed by a coplanar waveguide (CPW) is studied. A T-shaped tuning stub is inserted inside a narrow rectangular slot and the slot is impedance matched to the CPW feedline by adjusting the width, length, and position of the stub. The resonance frequency is adjustable by the slot length and the antenna size can be reduced by bending the slot. The resonance frequency and impedance matching property of the compact slot antenna are similar to those of the half-wavelength slot antenna, which enables one to design compact antenna of this type with ease. A compact slot antenna for 2.45-GHz ISM band is designed, fabricated on an FR4 substrate (dielectric constant of 4.4 and thickness of 0.8 mm), and experimentally tested. The measured results agree well with the simulations, which confirms the validity of this study. The fabricated compact slot antenna shows an impedance bandwidth of 200 MHz(2.32—2.52 GHz) for a VSWR < 2, which is suitable for 2.45-GHz ISM band (2.4—2.48 GHz). The measured radiation patterns show ∞ -shaped directional pattern in the E-plane and nearly omni-directional pattern in the H-plane with a peak gain of 2.0 dBi, which are similar to those of a monopole antenna. The proposed antenna is expected to be suitable for the applications as antennas for WLAN, RFID, and mobile handset.

Key Words : Slot antenna, Compact antenna, T-shaped tuning stub, CPW-fed antenna, Center-fed slot antenna

1. 서론

최근 개인휴대형 이동통신기술의 급속한 발전과 보급으로 인해 단말기의 소형화, 경박화에 대한 연구와 함께 그에 부합하는 안테나에 대해서도 연구가 활발히 진행되

고 있다. PCB기판 상에 인쇄기법으로 제작된 평면형 안테나는 제조비용이 저렴하고, 경량이며 대량생산 및 RF 회로와 접합이 용이하다는 다양한 장점을 갖고 있어서 최근에 가장 많이 사용되고 있는 안테나이다[1]. 평면형 안테나로써 가장 널리 사용되는 것은 wire 안테나를 기판

*Corresponding Author : Junho Yeo

Tel: +82-10-2351-4131 email: jyeo@daegu.ac.kr

접수일 12년 04월 09일

수정일 12년 04월 24일

게재확정일 12년 07월 12일

상에 구현한 평면 모노폴과 PIFA(Planar Inverted F Antenna)를 들 수 있으며, 이를 변형한 안테나들에 대한 무수히 많은 연구결과들이 보고되었다.

이와 함께 슬롯 안테나 또한 많은 관심을 받고 있는 소형 안테나 구조이다. 슬롯 안테나에 대한 대표적인 급전방법은 마이크로스트립(MS)과 코프래너 도파관(CPW)에 의한 급전 방법이 있다. 슬롯 공진기의 가운데와 가장자리 사이 적절한 위치에 급전선로를 연결하여 임피던스 정합을 얻는 방법과 슬롯 중앙에 급전하고 정합회로를 추가하는 방법, 급전선로-슬롯 접합부위에 임피던스 정합을 위해 변형을 가하는 방법 등이 있다[1]. 슬롯 안테나의 임피던스 대역폭을 넓히기 위해서는 폭이 넓은 슬롯 내부에 스티브를 삽입하는 방법이 주로 이용되고 있다[2-4].

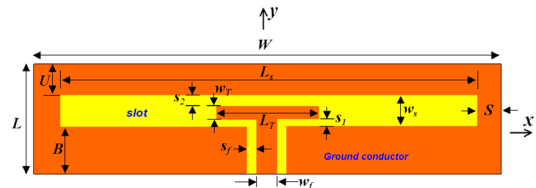
고주파에서 MS급전에 비해 CPW급전은 손실이 적고, 단일 면에 회로를 구성하므로 공정이 단순하고, RF소자 및 능동회로와 접합이 용이한 점 등 다양한 장점을 갖고 있어서 초고주파 대역 안테나의 급전 구조로 많이 사용되고 있다. CPW로 급전되는 슬롯 안테나는 유도성 급전과 용량성 급전이 대표적인 급전 방법[1]이나 최근 소형화를 위한 다양한 급전방법과 변형된 슬롯에 대한 연구결과들[5-9]이 보고되고 있다. 특히, 소형화된 슬롯 안테나는 무선 랜이나 RFID 태그용으로 응용이 유망하여, 슬롯을 접거나 H형 슬롯 등으로 소형화하거나 튜닝스트립 구조를 적합한 형태로 변형하여 소형화하는 방법 등에 대한 연구결과들이 보고되고 있다[5-9]. 광대역 슬롯 안테나[2-4]에서 넓은 슬롯을 이용하는 것과는 달리 소형 슬롯 안테나는 슬롯을 굵히거나 접어서 소형화하게 되므로 폭이 좁은 슬롯구조를 이용하게 되고 대역폭은 상대적으로 좁아진다.

본 논문에서는 CPW로 급전되는 소형 슬롯 안테나 구조를 제안하고 설계방법에 대해 연구하였다. 먼저 반 파장 일자형 슬롯 안테나로 폭이 좁은 직사각형 슬롯의 중앙에 T형 스티브를 삽입하되 스티브의 폭, 길이, 위치 등을 조절하여 CPW와 임피던스를 정합시키는 방법에 대해 연구한다. 다음으로 소형 단말기나 RFID용으로 응용에 적합하도록 슬롯을 구부려서 안테나를 소형화하고 적합한 임피던스 특성이 유지되는지 확인해 본다. 마지막으로 제안된 안테나구조를 2.45 GHz 대역용으로 적합하도록 최적화한 후 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 0.8 mm) 상에 제작하고 특성 실험을 하여 연구의 타당성을 검증한다. 안테나를 설계를 위해 상용 설계 툴인 CST사의 Microwave Studio(MWS)를 이용하여 안테나의 특성을 시뮬레이션하고 안테나의 설계 파라미터를 최적화하였다.

2. 슬롯 안테나 구조 및 설계

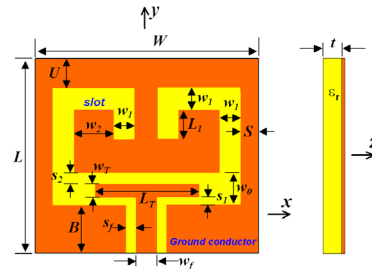
2.1 안테나 구조

그림 1은 본 연구에서 제안된 소형 슬롯 안테나 구조로서, 유전체 기판 한 면에 CPW로 급전되는 안테나패턴을 구성한 것이다.



(a) 반 파장 슬롯 안테나

(a) half-wavelength slot antenna (HSA)



(b) 소형 슬롯 안테나

(b) compact slot antenna (CSA)

[그림 1] 제안된 슬롯 안테나 구조들

[Fig. 1] Geometries of proposed slot antennas

그림 1(a)는 반 파장 슬롯 안테나(HSA)이다. 슬롯 중앙에 T형 스티브를 삽입하여 급전선과 안테나의 임피던스를 정합시킬 수 있다[4]. CPW에 의한 일반적인 급전 방법으로는 용량성 급전[5]과 유도성 급전[10]이 있고, 급전 위치를 슬롯의 중앙으로 하는 것과 그로부터 오프셋을 주는 방법이 있다. 유도성 급전은 양측슬롯 각각의 길이가 반 파장이어서 전체길이는 한 파장이 되므로 소형 안테나로는 적합하지 않다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 슬롯 중앙에 삽입된 튜닝 스티브로 정합시키는 방법을 이용한다. 스티브의 폭과 길이, 위치 등을 조절하여 임피던스 정합을 얻을 수 있다.

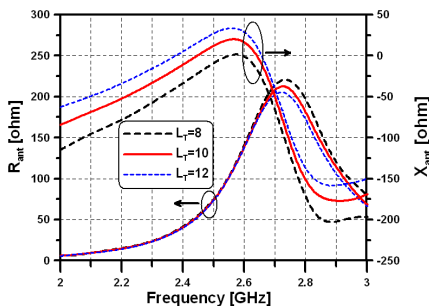
그림 1(b)는 그림 1(a)의 일자형 슬롯 구조를 구부린 소형 슬롯 안테나(CSA)이다. 슬롯은 광대역화를 위해서는 폭이 넓은 것이 유리하고 소형화를 위해 구부릴 수 있도록 하기 위해서는 폭이 좁은 것이 좋다. 다만, 슬롯의 폭이 좁을수록 대역폭이 감소되므로 적절한 값을 선택하여야 한다.

2.2 안테나 설계

그림 1(a)의 HSA구조를 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 0.8 mm) 상에 2.45 GHz 대역용으로 설계하기 위해 각 파라미터들이 안테나 특성에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 점검하였다. 슬롯의 길이(L_s)에 의해 공진 주파수가 변화되며, 그림 2와 같이 튜닝 스타브의 길이(L_T)가 증가됨에 따라 안테나 임피던스에서 레지스탕스는 큰 변화가 없고 리액턴스가 증가되는 경향을 보인다. 그림 2에서 L_T 를 제외한 파라미터값들은 $W=43.2$, $L=11$, $L_s=39.2$, $w_s=3.5$, $s_f=0.6$, $w_f=1.5$, $s_1=1$, $s_2=1.5$, $U=3$, $B=4.5$, $S=2$, $w_T=1$ 이다.

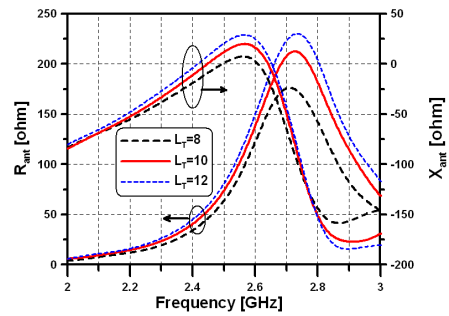
스타브와 슬롯 간에는 커패시턴스 성분이 존재하므로 간격(s_1 , s_2)에 따라 리액턴스 성분이 변화되고 레지스탕스 성분도 변화하게 된다. 그림 3에서 제시된 바와 같이 간격 s_1 이 증가되면, 안테나 임피던스의 레지스탕스가 증가되는 경향을 보인다. 그림 3에서 $w_s = s_1 + s_2 + w_t$ 이며, $L_T=10$ 을 제외한 파라미터들은 그림 2와 동일하다. 마이크로스트립으로 급전된 슬롯 안테나에 대한 연구 [10,11]에서와 같이 제안된 그림 1(a)의 구조에서도 슬롯을 급전하는 위치를 중앙으로부터 적절히 오프셋을 주어서 임피던스 정합시킬 수 있음을 확인하였다.

최적화된 안테나 (HSA)의 파라미터는 $W=43.2$, $L=11$, $L_s=39.2$, $w_s=3.5$, $s_f=0.6$, $w_f=1.5$, $s_1=1$, $s_2=1.5$, $U=3$, $B=4.5$, $S=2$, $w_T=1$, $L_T=10$ 이다. 그림 4는 최적화된 안테나의 반사계수를 계산한 것이다. $SWR < 2$ 인 대역은 2.36—2.54 GHz(대역폭 180 MHz, $f=2.44$ GHz 대비 약 7.4%)이므로 ISM대역(2.4—2.48 GHz)을 포함하는 적합한 특성을 보인다.



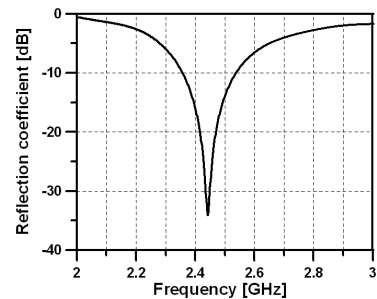
[그림 2] 안테나 임피던스 ($Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$)에 대한 스타브 길이 L_T 의 영향 (HSA)

[Fig. 2] Effect of stub length L_T on antenna impedance ($Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$) (HSA)



[그림 3] 안테나 임피던스 ($Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$)에 대한 간격 s_1 의 영향 (HSA)

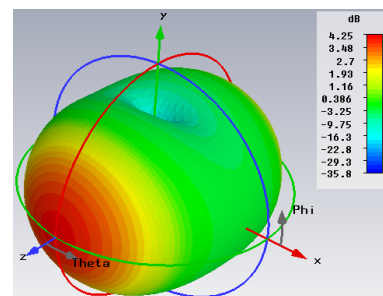
[Fig. 3] Effect of distance s_1 on antenna impedance ($Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$) (HSA)



[그림 4] 최적화된 안테나의 입력 반사계수 (HSA)

[Fig. 4] Input reflection coefficient of optimized antenna (HSA)

복사특성은 그림 5와 같이 전형적인 반 파장 복사슬롯과 유사하게 슬롯 축(x 방향)에 수직인 $\pm z$ 방향으로 지향성을 갖고 있으며, 이득은 2.45 GHz에서 약 4.2 dBi이다.



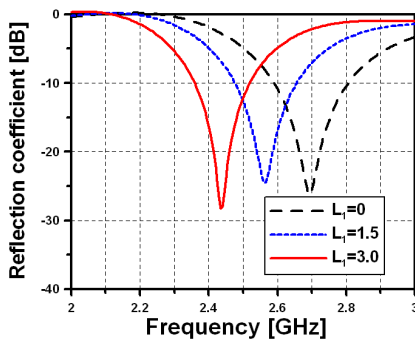
[그림 5] 최적화된 반 파장 안테나의 복사패턴 (시뮬레이션). $f=2.45$ GHz (HSA)

[Fig. 5] Simulated radiation pattern of optimized half-wavelength slot antenna. $f=2.45$ GHz (HSA)

한 가지 주목할 만한 것은 최적화된 슬롯 안테나의 공진 길이($L_s=39.2$ mm)는 $f=2.44$ GHz의 자유공간 반 파장(61.5 mm)에 비해 0.64배로 약 35.7%가 감소된 것이고, 폭이 $w_s(=3.5$ mm)인 슬롯선로의 반 파장(53.4 mm)에 비해서는 약 26.6% 감소된 것이다. 따라서 마이크로스트립으로 급전되는 기존 슬롯 안테나[1]의 공진 길이가 슬롯을 구성하는 선로의 반 파장 길이에 근접하는 것을 감안할 때, 기존 슬롯 안테나의 공진 길이에 비해 약 25% 정도 감소된 것임을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 고려된 구조와 유사한 형태의 접힌 슬롯 안테나(folded slot antenna)에 대해 연구한 참고문헌 [4]에서 2.45 GHz 대역용으로 설계된 슬롯 안테나의 길이 44.5 mm에 비해서도 12% 정도 감소된 것이다.

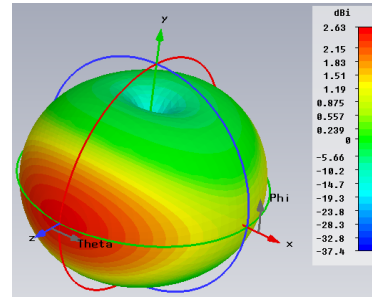
그림 1(b)와 같이 슬롯을 접어 소형화한 안테나를 2.45 GHz 대역용으로 최적화하였을 때, 파라미터들은 $W=20$, $L=18$, $w_0=3.5$, $w_1=2$, $w_2=3$, $L_1=3$ 이며 나머지 값들은 반 파장 슬롯 안테나 경우와 동일하다. 안테나의 크기(18 mm $\times$ 20 mm)는 $0.0238 \lambda_0^2$ 로 소형이고, 안테나의 임피던스 특성은 일자형 슬롯 안테나와 큰 차이가 없이 유사하며, 그림 6과 같이 L_1 을 변화시켜서 공진주파수를 조절할 수 있다. $L_1=3$ 일 때 최적화되며, $SWR < 2$ 인 주파수 대역은 2.35—2.52 GHz(대역폭 170 MHz)로 2.45 GHz ISM 대역용으로 적합한 특성을 갖는다.

그림 7은 최적화된 안테나의 2.45 GHz에서의 복사패턴이며, 슬롯 면에 수직인 $\pm z$ 방향으로 주된 복사가 일어나고 이득은 2.6 dBi이다.



[그림 6] 입력 반사계수에 대한 L_1 의 영향 (CSA)

[Fig. 6] Effect of L_1 on input reflection coefficient (CSA)



[그림 7] 최적화된 소형 슬롯 안테나의 복사패턴 (시뮬레이션) (CSA)

[Fig. 7] Simulated radiation pattern of optimized compact slot antenna (CSA)

2.3 안테나 제작 및 실험결과

그림 8은 2.45 GHz 대역용으로 최적화된 소형 슬롯 안테나를 FR4 기판 상에 제작한 것이다.

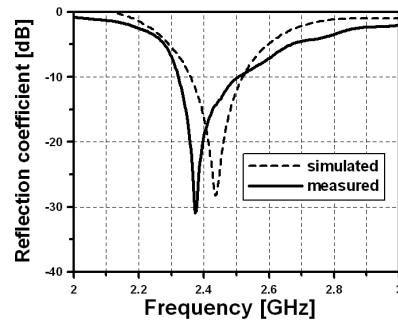
제작된 안테나의 입력 반사계수는 회로망분석기(Agilent사 N5230A)를 이용하여 측정하였으며, 측정 결과는 그림 9에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과와 잘 일치하고 대역은 2.32—2.52 GHz(대역폭 200 MHz)이다.

제작된 안테나의 복사패턴은 그림 10에 제시된 바와 같이 E면(yz면)에서는 8자형 지향성을 보이고, H면(zx면)에서는 무지향성에 가까워서 y방향 모노폴의 복사특성과 유사하다. 2.45 GHz에서의 이득은 2.0 dBi로 시뮬레이션 결과와 유사하다.



[그림 8] 제작된 소형 슬롯 안테나의 사진

[Fig. 8] Photograph of compact slot antenna

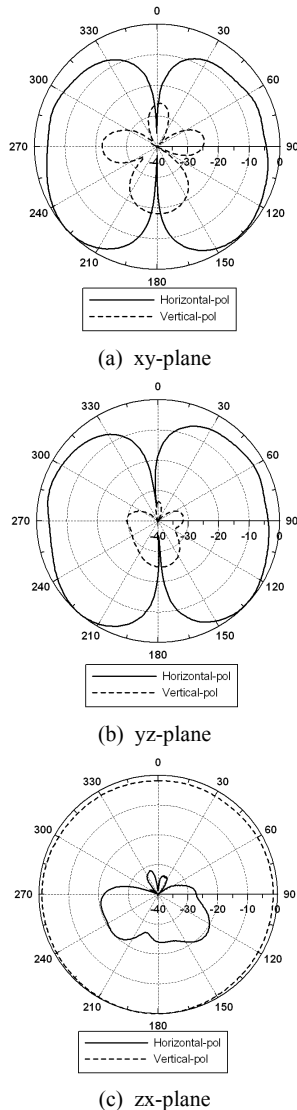


[그림 9] 제작된 안테나의 입력 반사계수 (CSA)

[Fig. 9] Input reflection coefficient of fabricated antenna (CSA)

4. 결론

본 논문에서는 코프래너 도파관(CPW)으로 급전되는 소형 슬롯 안테나 구조를 제안하였다. 슬롯 내부 중앙에 T형 스티브를 삽입하고 슬롯을 구부려서 소형화시킨 것이다. 제안된 안테나 구조를 2.45 GHz 대역용으로 최적화하고 FR4 기판 상에 제작하였다. 실험 결과 대역폭과 복사특성이 ISM 대역용 소형 안테나로서 적합하므로 RFID, 무선 랜, 휴대단말기 등에 응용이 유망할 것으로 기대된다.



[그림 10] 제작된 소형 슬롯 안테나의 복사패턴 ($f = 2.45$ GHz)

[Fig. 10] Radiation patterns of fabricated compact slot antenna ($f = 2.45$ GHz)

References

- [1] R. Garg, et. al., Microstrip antenna design handbook. Boston, Artech House, 2001.
- [2] M. K. Kim, K. Kim, Y. H. Suh, and I. Park, "A T-shaped microstrip-line-fed wide slot antenna," Proc. IEEE Antennas and Propag. Soc. Int. Symp., vol. 3, pp. 1500–1503, July 2000.
- [3] H. D. Chen, "Broadband CPW-fed square slot antennas with a widened stub," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 51, no. 8, pp. 1982–1986, Aug. 2003.
- [4] A. A. Gheethan and D. E. Anagnostou, "Broadband and dual-band coplanar folded-slot antennas (CFSAs)," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 53, no. 1, pp. 80–89, Feb. 2011.
- [5] S. -Y. Chen and P. Hsu, "CPW-fed folded-slot antenna for 5.8 GHz RFID tags," Electron. Lett., vol. 40, no. 24, pp. 1516–1517, Nov. 2004.
- [6] Y. -F. Lin, et. al., "CPW-fed capacitive H-shaped narrow slot antenna," Electron. Lett., vol. 41, no. 17, pp. 940–942, Aug. 2005.
- [7] D. Ma and W. X. Zhang, "Broadband CPW-fed RFID antenna at 5.8 GHz," Electron. Lett., vol. 42, no. 22, pp. 1258–1259, Oct. 2006.
- [8] X. Hu and Q. Zhang, "Compact slot antenna for 2.4GHz RFID tags," Proc. EuCAP, pp. 2796–2798, 2009.
- [9] P. Selvan and S. Raghavan, "CPW-fed folded spiral strip monopole slot antenna for 5.8 GHz RFID application," Proc. AEMC, pp. 1–3, 2009.
- [10] C. Yu and X. Liu, "A wideband single chip inductor-loaded CPW-fed inductive slot antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 56, no. 5, pp. 1498–1501, May 2008.
- [11] Y. Yoshimura, "A microstripline slot antenna," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 20, no. 11, pp. 760–762, Nov. 1972.
- [12] J. P. Kim and W. S. Park, "Network modeling of an inclined and off-center microstrip-fed slot antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 46, no. 8, pp. 1182–1188, Aug. 1998.

이 종 익(Jong-Ig Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학석사)
- 1998년 8월 : 경북대학교 전자공학 (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 12월 : 금오공과대학교 연구교수

- 1999년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

전자기산란, 평면 안테나

여 준 호(Junho Yeo)

[정회원]



- 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학사)
- 1994년 2월 : 경북대학교 전자공학 (공학석사)
- 2003년 8월 : 미국 Pennsylvania State University 전기공학과 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 1999년 6월 : 국방과학연구소 연구원

- 2003년 9월 ~ 2004년 6월 : 미국 Pennsylvania State University 박사후과정
- 2004년 8월 ~ 2007년 2월 : 한국전자통신연구원 RFID 시스템연구팀 선임연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 정보통신공학부 조교수

<관심분야>

AMC, EBG, FSS 설계 및 안테나 응용, RFID 및 광대역 안테나, 전자파 산란