

초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬을 이용한 Self-Complementary 스파이럴 안테나 설계

Self-Complementary Spiral Antenna Design Using a Ultra-Wideband Microstrip-to-CPS Balun

우동식 · 김영곤 · 조영기 · 김강욱

Dong Sik Woo · Young Gon Kim · Young Ki Cho · Kang Wook Kim

요 약

UWB USPR 시스템 응용 초광대역 마이크로스트립-CPS(CoPlanar Stripline) 발룬을 이용한 self-complementary 스파이럴 안테나의 설계와 실험적 결과를 제시하였다. 초광대역 특성을 갖는 평면형 마이크로스트립-CPS 발룬을 적용하여 스파이럴 안테나 고유의 초광대역 특성을 유지하게 하였고, 각각 설계된 안테나와 발룬을 임피던스 정합의 방법을 이용하여 연결함으로써 간단한 안테나 설계 과정을 보였다. 설계된 스파이럴 안테나는 등각 형태의 self-complementary 스파이럴 안테나이다. 제작된 안테나는 2.9 GHz에서 12 GHz의 넓은 주파수 특성을 가지며, 2.7에서 5.3 dB의 비교적 평탄한 이득과 70° 이상의 빔 폭을 가졌다. 이 결과를 통해 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬의 스파이럴 안테나의 적용 가능성을 검증하였다.

Abstract

A design and its experimental result of a wideband self-complementary spiral antenna for UWB USPR(Ultrashort-Pulse Radar) system applications is presented. By utilizing the planar-type ultra-wideband microstrip-to-CPS balun, ultra-wideband characteristics of the inherent spiral antenna are retrieved. Also, the design procedure of the spiral antenna is simplified by performing simple impedance matching between separately designed balun and antenna. The proposed spiral antenna is equiangular self-complementary spiral antenna. The implemented antenna demonstrates wideband performance for frequency ranges from 2.9 to 12 GHz with the relatively flat antenna gain of 2.7 to 5.3 dB and broad beamwidth of more than 70°. From these result, the possibility of a spiral antenna using a ultra-wideband microstrip-CPS balun is verified.

Key words : Spiral Antenna, Self-Complementary, Balun, Coplanar Stripline(CPS), Ultrashort-Pulse Radar(USPR)

I. 서 론

최근 초고속 및 광대역 신호 전송의 소비자 수요가 급증함에 따라 광대역 시스템이 여러 산업 분야에서 점차 다양하게 응용되고 있다. 60 GHz 대역을 이용하는 수 Gbps급 근거리 실내 WLAN, 24 GHz와

77 GHz를 이용하는 UWB 차량 충돌 방지 레이더 등이 대표적인 예이다. 이 뿐 아니라 광대역 마이크로파(microwave)를 이용한 진단(diagnosis) 기술이 의학 분야 점차 확대되고 있다. 그 중에서 마이크로파 대역의 초단파 펄스 레이더(UltraShort-Pulse Radar: USPR)를 이용한 진단 시스템은 넓은 주파수 대역폭

경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20081128-22S

· 수정완료일자 : 2009년 2월 17일

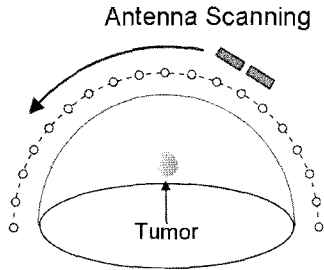


그림 1. 유방암 진단 시스템의 모델^[1]
Fig. 1. Model of the breast cancer diagnosis^[1].

과 비교적 양호한 공간(spatial) 분해능을 가지는 장점이 있다. 또한, 펄스가 가지는 전력이 상대적으로 낮아 기존의 X-ray를 이용한 유방암(breast cancer) 진단에 비하여 인체에 무해한 장점을 가지므로 최근 다양한 연구가 이루어지고 있다^{[1]~[3]}. 이러한 USPR을 이용한 유방암 진단 시스템의 모델은 그림 1과 같다. 이때 신호의 송·수신을 위해 사용되는 안테나는 주로 보우타이(bow-tie)나 스파이럴 형태의 광대역 안테나를 이용하여 초단파 펄스를 인체에 입사하고 그 반사파를 신호처리(signal processing)하여 영상(imaging)을 통해 종양(tumor)의 여부를 진단하게 된다. 이때 사용되는 안테나는 정확한 진단을 위하여, 펄스의 왜곡이 최소화되고 광대역 특성을 가져야 하며, 입사파와 반사파간의 영향을 최소화하기 위하여 안테나의 전파(propagation) 및 편파(polarization) 특성 등이 정확하게 고려되어야 한다. 그리고 주사(scanning) 방식을 사용하므로 넓은 빔폭을 가져야 한다^[3].

본 논문에서는 USPR에 적용 가능한 UWB 안테나로써, 비교적 평단한 이득과 넓은 빔 폭을 가지는 초광대역 스파이럴 안테나를 설계하고 제작하였다. 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬의 넓은 대역 특성^[7]을 이용하여 높은 입력 임피던스를 가지는 스파이럴 안테나 고유의 대역 및 방사 특성을 그대로 유지하도록 하였으며, 개별적으로 설계된 안테나와 발룬을 임피던스가 정합되도록 연결하여 설계였다. 설계한 스파이럴 안테나는 등각(equiangular) 형태의 self-complementary 구조를 가진다. 모의 해석 및 제작 결과를 통하여 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬의 스파이럴 안테나 적용 가능성을 확인하였고, USPR

을 사용하는 의료 진단 시스템뿐 아니라 광대역 신호 방사하고 수신하는 여러 광대역 센서 시스템의 응용될 수 있음을 확인하였다.

II. 초광대역 스파이럴 안테나 설계

2-1 스파이럴 안테나 이론

두 개의 암(arm)을 갖는 스파이럴 안테나는 1954년 Turner와 1955년 Rumsey에 의해 처음 이론적으로 제안되었으며, 1959년 Dyson^[4]에 의해 주파수 독립적인 특성과 발룬의 구조 등이 실험적으로 검증된 이후 여러 가지 형태의 변형된 스파이럴 안테나에 대한 연구가 수행되었다. 스파이럴 안테나는 크게 평면형 스파이럴 안테나와 conical 스파이럴 안테나로 구분되며, 평면형 안테나는 스파이럴의 형태에 따라 크게 Archimedian와 등각(equiangular) 혹은 log 스파이럴 안테나로 구분되어진다. 일반적인 등각 스파이럴 안테나는 180° 회전된 동일한 두 개의 arm으로 구성된다. 그리고 각 arm은 설계된 곡선을 90°씩 회전한 2개의 곡선을 채워서 만들 수 있다. 암 곡선의 기본 함수는 식 (1)과 같다.

$$r = r_0 e^{a(\phi + \phi_0)} \quad (1)$$

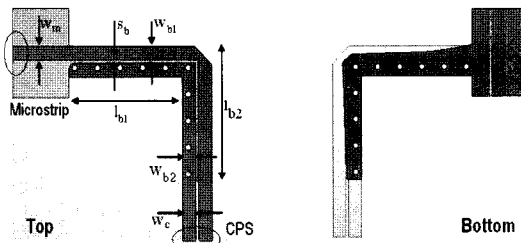
여기서 r_0 는 ϕ 가 0°에서의 초기 거리이며, a 는 r 의 증가율을 결정한다. ϕ_0 는 곡선의 회전각이다. 외부 곡선은 ϕ 가 0°일 때, 내부 곡선은 ϕ 가 90°일 때 각각 구할 수 있다. 그리고 각 암의 끝을 원형으로 자르는 것이 암의 길이를 가장 길게 하므로 낮은 주파수 특성을 좋게 한다^[4]. 이때, ϕ 가 $\pi/2$ 이면 스파이럴 안테나는 넓은 동작 주파수를 갖는 self-complementary 구조가 되며, 입력 임피던스는 이론적으로 약 60π 에 가까지만 실제의 구현된 임피던스는 이보다 작은 값을 가진다^[4]. 따라서 50 Ω의 불평형(unbalanced) 마이크로스트립 선로에서 높은 입력 임피던스($\sim 150 \Omega$)를 갖는 평형(balanced) 선로로 전이 되도록 하는 발룬이 필요하다^{[5],[6]}. 이때, 급전(feeding)은 불평형-평형 선로의 변환뿐만 아니라 임피던스 측면에서도 변환시켜 주어야 한다. 일반적인 스파이럴 안테나의 급전은 주로 테이퍼된 마이크로스트립 발룬을 이용한 방식, Marchand 발룬, 그리고 동축 케

이블을 이용한 방식^[4]이 가장 일반적으로 알려져 있다. 본 논문에서는 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬^[7]을 이용한 스파이럴 안테나를 구현하였다.

2-2 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬

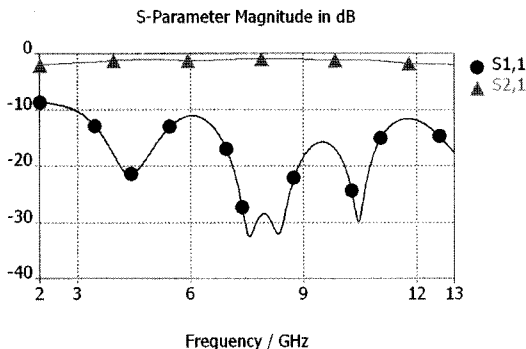
Coplanar stripline(CPS)는 믹서, 체배기 및 안테나와 같은 평형(balanced) 회로에 사용되는 일반화된 평형 전송 선로 중의 하나이다. 그림 2는 본 논문에서 사용된 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬이다^[7]. 참고문헌 [7]의 설계 방법을 이용하여 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬을 설계하였다. 그림 2(a)는 본 논문에서 사용된 발룬의 신호면과 접지면의 구조를 보여주고 있다. 접지면은 필드 정합과 임피던스 정합을 위하여 최적화된 테이퍼 선로(Klopfenstein taper)를 적용하였고, 길이를 줄이기 위하여 구부러진(bended) 발룬을 설계하였다.

CPS 임피던스는 일반적으로 마이크로스트립 선



$(W_m=W_{b1}=W_{b2}=W_c=46 \text{ mil}, l_{b1}=l_{b2}=400 \text{ mil}, S_b=10 \text{ mil})$

(a) 발룬의 레이아웃
(a) Layout of the balun.



(b) 발룬의 시뮬레이션 결과(back-to-back)
(b) Simulated result of the balun(back-to-back)

그림 2. 초광대역 발룬의 구조와 특성
Fig. 2. The structure and characteristics of the balun.

로의 임피던스보다 다소 높은(>100 Ω) 값을 가진다. PCB 제작의 한계에 따라 CPS 선로 사이의 간격을 10 mil로 하고, CPS 선로의 선폭을 30 mil로 하여 약 120 Ω의 임피던스를 가지는 CPS 선로를 급전선으로 사용하였다. 사용된 via의 지름은 20 mil이다. 설계된 발룬의 제작에는 Arlon사의 유전율이 3.2, 유전체 손실이(tan δ) 0.003, 두께가 20 mil인 AD-320을 사용하였고, CST사의 Microwave StudioTM를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 2(b)는 제안된 발룬의 시뮬레이션 결과이다. 2.9에서 12 GHz까지 10 dB 이하의 반사 손실과 단위 발룬당 0.8 dB 이하의 적은 삽입 손실을 가졌다. 그리고, CPS 선로 끝에서 HFSS로 시뮬레이션한 발룬의 크기(amplitude) 및 위상의 불평형(unbalance)은 각각 1 dB, ±4° 이하로 안테나의 급전선으로 사용 가능함을 확인하였다.

2-3 스파이럴 안테나의 설계 및 제작

본 논문에서 설계된 스파이럴 안테나의 초기거리 r_0 는 1.3 mm, r 의 증가율 a 는 0.3로 각각 정하였다. 그리고 안테나의 turn 횟수(N)는 3.25이다. 스파이럴의 암의 중심부의 via를 통해 CPS 선로에 수직으로 연결하여 급전되도록 하였으며, 이것을 다시 발룬에 수직하게 남으로 연결하여 마이크로스트립 선로로 전이되도록 그림 3과 같이 제작하였다.

설계된 안테나의 입력 임피던스는 약 120 Ω이며, 수직 급전부의 CPS 선로도 그림 2(a)의 발룬과 동일하

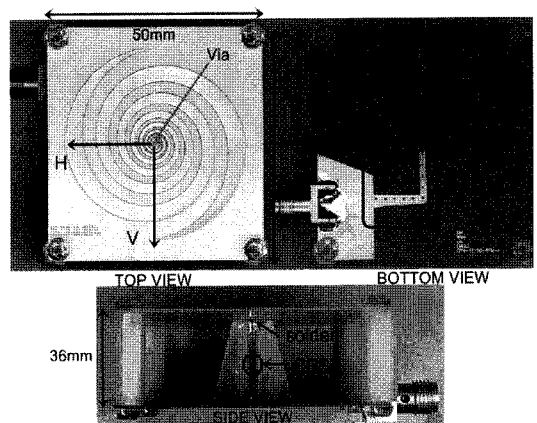


그림 3. 제안된 스파이럴 안테나의 구조
Fig. 3. The structure of the proposed spiral antenna.

계 120 Ω 되도록 CPS의 선폭(W)과 선로 사이의 간격(S_0)을 결정하였다. 발룬과 급전부 전부를 포함한 전체 스파이럴 안테나의 3차원 해석은 Ansoft HFSS™와 CST Microwave Studio™를 이용하여 각각 수행하였다. 제작에 사용된 기판은 Rogers사의 유전율이 3.38, 유전체 손실이($\tan \delta$) 0.0027, 두께가 20 mil인 RO4003이며, 발룬의 제작에 사용된 기판은 Arlon사의 유전율이 3.2, 유전체 손실이($\tan \delta$) 0.003, 두께가 20 mil인 AD-320이다. 제작된 안테나의 크기는 50×50×36 mm이다. 반사 손실의 측정 결과 그림 4에서 보는 바와 같이 시뮬레이션 결과와 비교적 잘 일치하였으며, 2.9~13.5 GHz의 넓은 임피던스 대역폭을 가졌다. 이때 높은 주파수 대역의 특성의 열화는 발룬의 특성과 암 내부의 크기의 영향임을 알 수 있다. 따라서 좀 더 넓은 대역을 가지는 발룬을 사용하고 spiral의 내부 arm 구조를 높은 주파수에 최적화 시키면 광대역 특성을 충분히 얻을 수 있다. 그림 5(a)는 8 GHz에서 시뮬레이션된 안테나의 전류 분포이며, 그림 5(b)는 스파이럴 안테나의 3차원 방사 패턴을 보여주고 있다. 전 주파수 대역에서 비교적 고른 특성을 가짐을 알 수 있다. 시뮬레이션을 통해 얻은 이득 및 축비(axial ratio)는 그림 6과 같다. 안테나의 이득은 2.7에서 5.3 dB였으며, ϕ 와 φ 가 0°일 때의 축비(axial ratio)는 3~12 GHz에서 3 dB 이하로 계산되었다.

몇몇 주파수에서의 급격한 축비의 열화는 급전되는 발룬 및 via 연결에 의한 영향으로, 향후 cavity와 흡수체를 사용하여 개선될 수 있다. 그리고 전 대역에서 90 % 이상의 좋은 방사 효율을 가졌다. 측정된

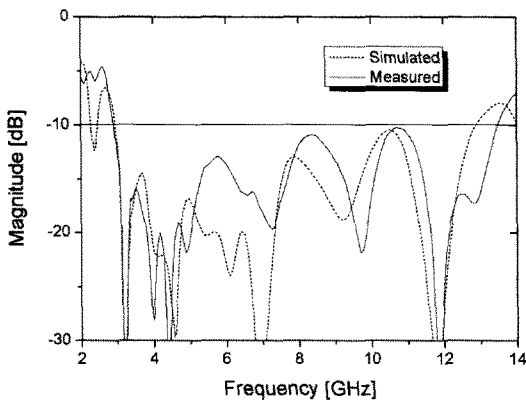
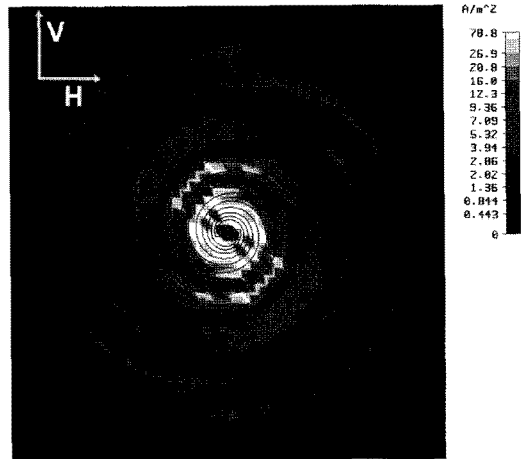
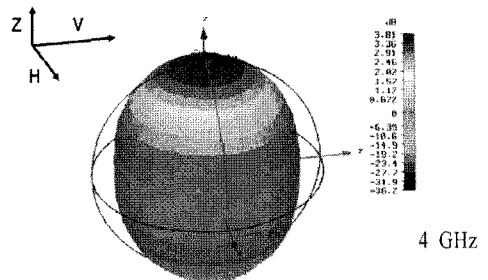


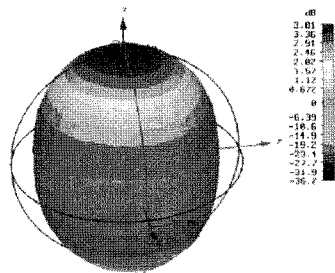
그림 4. 제안된 전체 스파이럴 안테나의 반사 손실
Fig. 4. Return loss of the fabricated spiral antenna.



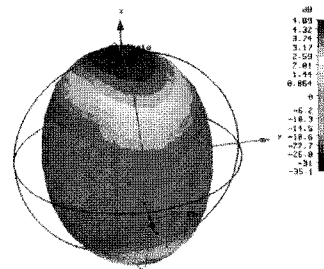
(a) 시뮬레이션된 전류 분포(8 GHz)
(a) Simulated current distribution(8 GHz)



4 GHz



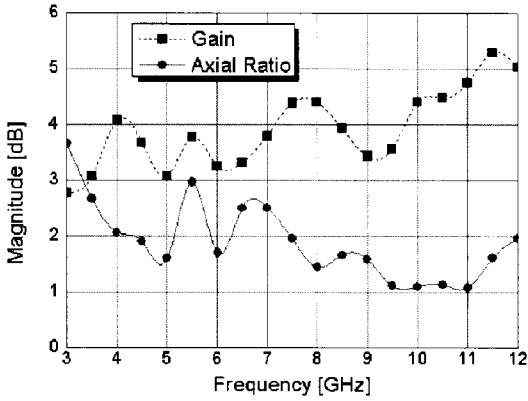
7 GHz



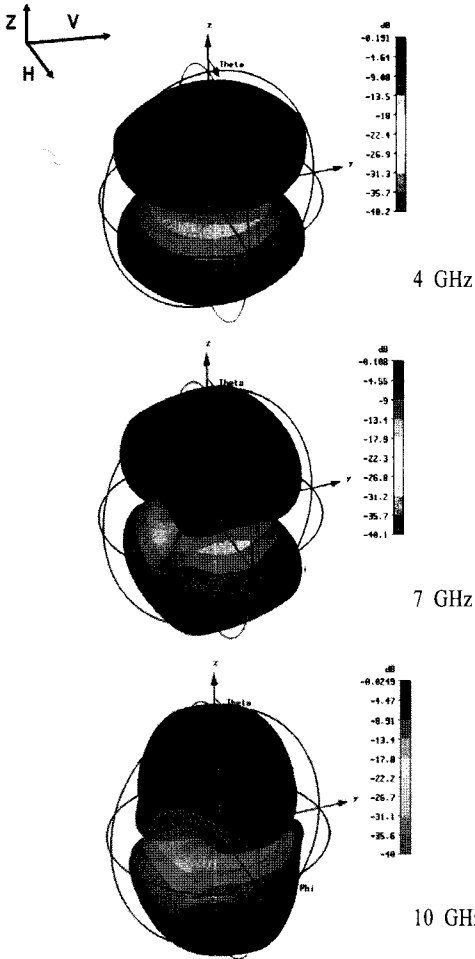
10 GHz

(b) 시뮬레이션된 방사 패턴
(b) Simulated radiation patterns

그림 5. 스파이럴 안테나의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulated result of the spiral antenna.

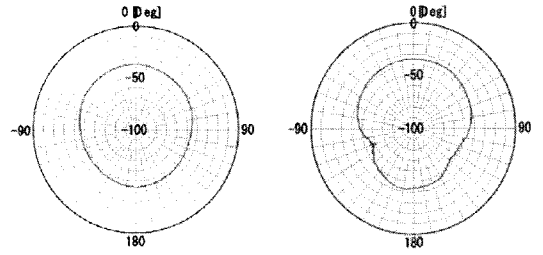


(a) 이득과 축비
(a) Gain and axial ratio

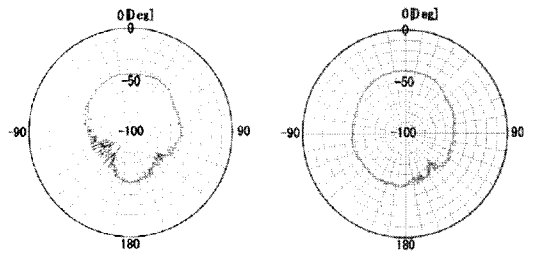


(b) 축비
(b) Axial ratio

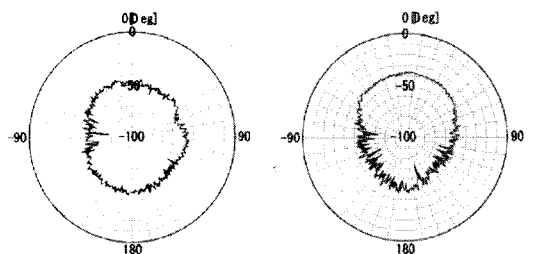
그림 6. 시뮬레이션된 이득 및 축비
Fig. 6. Simulated gain and axial ratio.



(a) 4 GHz(H, V-Plane)



(b) 7 GHz(H, V-Plane)



(c) 10 GHz(H, V-Plane)

그림 7. 측정된 방사 패턴(H, V-Plane)
Fig. 7. Measured radiations(H, V-Plane).

H와 V-Plane의 방사 패턴은 그림 7에서 보는 바와 같이 비교적 대칭적임을 알 수 있으며, 70° 이상의 3-dB 빔 폭을 가졌으며, 비교적 평탄한 방사 패턴을 얻을 수 있었다.

III. 결론

UWB 대역에서 USPR 시스템에 응용 가능한 self-complementary 스파이럴 안테나의 설계와 실험적 결과를 제시하였다. 초광대역 특성을 갖는 평면형 마이크로스트립-CPS 발륜을 적용하여 스파이럴 안테나 고유의 초광대역 특성을 유지하게 하였고, 각각 설계된 안테나와 발륜을 임피던스 정합의 방법을 이용하여 연결함으로써 간단한 안테나 설계 과정을 보였다. 제작된 안테나는 2.9 GHz에서 12 GHz의 넓은 주

파수 특성을 가지며, 2.7에서 5.3 dB의 비교적 평탄한 이득을 가졌다. 이를 통해 기존의 발룬과 다른 형태인 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬의 스파이럴 안테나의 적용 가능성을 검증하였고, 최근 연구되고 있는 UWB 초단파 펄스 레이더를 이용한 유방암 진단에 응용될 수 있는 가능성을 검증하였다. 제안된 안테나는 또한 다양한 광대역 마이크로파 센서 및 군용 레이더 시스템에 적용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. Takaichi, A. Mase, Y. Kogi, and K. W. Kim, "Application of ultrashort-pulse radar to non-destructive inspection", *IEEE Int. Conf. Communication Tech.*, pp. 316-318, Nov. 2008.

[2] E. C. Fear, S. C. Hagness, P. M. Meaney, M. Okoiewski, and M. A. Stuchly, "Enhancing breast tumor detection with near-field imaging", *IEEE Microw. Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 48-56, Mar. 2002.

[3] S. C. Hagness, A. Taflove, and J. E. Bridges,

"Three-dimensional FDTD analysis of a pulsed microwave confocal system for breast cancer detection: design of an antenna-array element", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 47, no. 5, pp. 783-791, May 1999.

[4] J. D. Dyson, "The equiangular spiral antenna", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 7, pp. 181-187, Apr. 1959.

[5] Johnson J. H. Wang, Victor K. Tripp, "Design of multioctave spiral-mode microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, no. 3, pp. 332-335, Mar. 1991.

[6] J. Thaysen, K. B. Jakobsen, and Jorgen Appel-Hansen, "A logarithmic spiral antenna for 0.4 to 3.8 GHz", *Applied Microwave & Wireless*, vol. 13, no. 1, pp. 32-45, Feb. 2000.

[7] Y. G. Kim, D. S. Woo, K. W. Kim, and Y. K. Cho, "A new ultra-wideband microstrip-to-CPS transition", *IEEE Int. Symp. Microwave*, pp. 1563-1566, Jun. 2007.

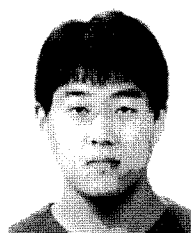
우 동 식



2002년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
 2004년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 안테나 및 시스템 설계, 마이크로파 라디오미터 설계

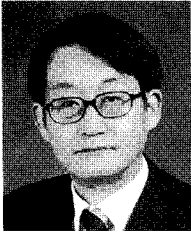
김 영 곤



2006년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
 2008년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2008년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 초광대역 발룬, 광대역 믹서 및 주파수 체배기

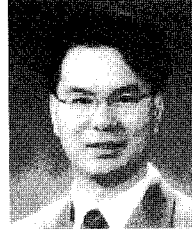
조 영 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1992년~현재: 국제전파연합(URSI)

Commission B Fields & Waves, Korea representative
 2002년~2007년: 경북대학교 공과대학 BK 사업 단장
 2004년~2007년: 한국전자과학회 수석부회장
 2008년: 한국전자과학회 회장
 1981년~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
 [주 관심분야] 전자기 산란 및 복사, 주기 구조, 안테나 이론

김 강 욱



1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1987년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
 1996년 7월: University of California, Los Angeles. 전자공학과 (공학박사)

1987년~1990년: 한국전기연구소 연구원
 1996년~1998년: University of California Los Angeles. post-doctor 연구원
 1998년~1999년: P-Com, Inc. 마이크로파 설계연구원
 1999년~2001년: Narda DBS Microwave, RF 설계연구원
 2001년~2005년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수
 2006년~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수
 2007년 5월~현재: 이엠와이즈통신(주) 대표이사
 [주 관심분야] 마이크로파 통신시스템 및 서브시스템, 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징, 무선통신용 안테나, 전자기 상호 작용 및 전자기 수치 해석