초광대역 발룬을 이용한 Ku 대역 Quasi-Yagi 배열 안테나 설계

Design of a Ku-Band Quasi-Yagi Antenna Array Using an Ultra-Wideband Balun

우동식 · 김영곤 · 조영기 · 김강욱

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

요 약

본 논문에서는 초광대역 발룬을 이용한 quasi-Yagi 배열 안테나의 간단한 설계 과정이 소개되었다. 제안된 안테나는 발룬, 급전선 그리고 안테나간의 연결을 임피던스 정합의 관점에서 간단히 설계될 수 있음을 보였다. 이러한 광대역 및 고이득 배열 안테나는 초광대역 특성을 가지는 발룬을 이용하여 쉽게 설계할 수 있다. 실제 Ku 대역에서 설계된 1×4 및 1×8 quasi-Yagi 배열 안테나는 약 50 %의 대역폭을 가졌고, 9~12 dBi의 안테나 이득을 가졌다. 측정 결과 계산 값과 잘 일치하였고, 광대역이면서 좋은 복사 특성을 가졌다. 본 논문에서 제시된 새로운 방법의 초광대역 배열 안테나는 광대역 위상 배열 안테나 및 공간 전력 합성 시스템 등에 다양하게 응용될 수 있다.

Abstract

A simplified design procedure for quasi-Yagi antenna arrays using an ultra-wideband balun is presented. The proposed antenna design procedure is based on the simple impedance matching among antenna components: i.e., balun, feed, and antenna This new broadband and high gain antenna array is possible due to the ultra-wideband performance of the balun. As design examples, wideband 1×4 and 1×8 quasi-Yagi antenna arrays are successfully designed and implemented in Ku-band with frequency bandwidths of about 50 % and antenna gains of 9~10 dBi and 11~12 dBi, respectively. And the simulated and measured results demonstrate wide bandwidths and good radiation properties. These antenna arrays can be applied to various phased-array and spatial power combining systems.

Key words : Quasi-Yagi, Antenna Array, Broadband Balun, Coplanar Stripline(CPS), Planar Antenna

Ⅰ. 서 론

최근 상용 및 과학 기술용으로 사용될 수 있는 광대역 마이크로파 및 밀리미터파 센서 및 위상 배열(phased-array) 시스템 대한 연구에 관심이 증가되고 있다. 이러한 시스템 구성의 핵심 중의 하나는 높은 지향성을 갖는 진행파 형태(travelling-wave type)의 광대역 평면형(planar type) 안테나이다. 일반적인 평면형 안테나는 크기가 작고, 저가이면서, 가볍고, 효율이 높다. 그리고 설계 및 제작이 쉽고 간단하게 이루어지므로 현재까지 많은 연구가 진행되고 있다[1].

가장 일반적으로 사용되는 평면 안테나인 패치(patch) 안테나는 주파수 대역폭이 좁고 고차 모드 생성으로 인해 비교적 낮은 효율을 가진다. 비록 개구 결합형(aperture-cooupled) 패치나 다층 기판 기술을 이용하면 대역을 확장시킬 수 있지만 구현이 어렵고, 후방 복사 특성이 저하된다. 또한, 지향성(directivity)이 비교적 낮아 높은 지향성을 필요로 하는

「본 연구는 경북대학교 2단계 BK21 사업의 연구비 지원으로 수행되었음.」

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

· 논 문 번 호 : 20071130-16S

· 수정완료일자 : 2008년 1월 29일

레이더나 센서 및 통신 분야에 사용하기에는 한계가 있다.

TSA(Tapered Slot Antenna)와 같은 진행 파형(travelling-wave) 안테나는 지향성이 높고, 광대역 특성을 가지지만 일반적으로 공진형(resonant-type) 패치 안테나에 비해 전기적 길이가 큰 단점을 가져 소형 시스템에 적용하기에는 부적합하다. 또한, 급전을 위한 기존의 마이크로스트립-슬롯 혹은 CPW-슬롯 전이구조는 설계의 복잡도를 증가시킬 뿐 아니라 대역을 제한하게 되는 요소가 된다.

Kaneda[2]에 의해 처음 소개된 진행 파형 안테나인 quasi-Yagi 안테나는 이러한 단점을 보완하여 비교적 작고 광대역 특성을 가져 위상 배열 안테나(phased array antenna) 및 공간 전력 합성기(spatial power combiner)에 가장 널리 사용되는 평면형 안테나이며, 다양한 연구가 선행되었다[5],[6]. 그러나 원하는 동작 주파수 및 대역폭을 가지는 quasi-Yagi 안테나를 위한 일반화된 설계 방법이 제시되지 않았다. 따라서 3차원 EM 시뮬레이터를 사용한 최적화 작업을 통해 설계되는 경우가 일반적인데, 많은 설계 파라미터로 인해 많은 시간을 필요로 하였다.

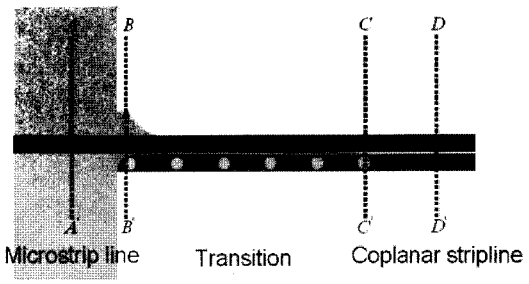
본 논문에서는 초광대역 마이크로스트립-CPS(Coplanar Stripline) 발룬(balun)을 이용한 Ku 대역 quasi-Yagi 배열 안테나를 설계하였다. 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬[3]을 적용하여 임피던스 매칭의 관점에서 쉽고 간편한 설계방법을 제시하였다. 또한, 이를 이용하여 지향성이 크고 광대역의 특성을 갖는 단일 안테나 및 선형 배열 안테나를 제작하고 이를 측정하였다.

Ⅱ. 본 론

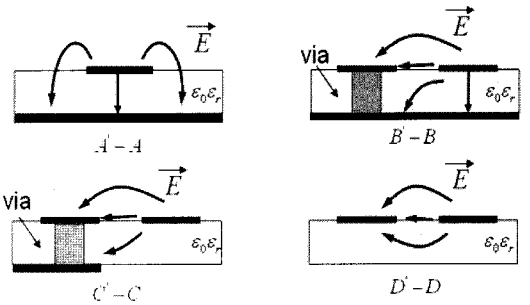
2-1 초광대역 발룬을 이용한 안테나 설계법

일반적인 quasi-Yagi 안테나는 마이크로스트립 선로, 마이크로스트립-CPS 발룬, 급전선(CPS)과 다이폴 기생 배열 소자(parasitic array), 즉, 복사기(driver), 도파기(director) 및 반사기(reflector) 등으로 구성된다. 기존에 소개된 quasi-Yagi 안테나 구조[2],[4],[5]에서 반사기는 발룬 밑면의 잘려진(truncated) 접지면을 사용하여 반사기의 역할을 하도록 하였다. 그리고 발룬으로는 3 dB 전력 분배기와 두 마이크로스트립 선로 사이에 180° 위상차가 발생하도록 한 쪽 선로를 $\lambda/2$ 더 길게 한 구조로 이루어져 있으며, 이를 통해 odd-mode 신호가 여기되도록 하였다. 그러나 마이크로스트립 결합선로와 CPS 발룬 간의 임피던스 정합에 대한 설명이 모호하고, 설계 중심 주파수에서만 정확히 180° 위상차의 odd-mode 신호가 여기(excitation)되기 때문에 광대역 안테나에 적용하기 어렵다. 또한, CPS의 임피던스를 낮추기 위해 높은 유전율의 기판만 안테나가 설계되어져 왔다[2][4][5].

그림 1은 본 논문에 사용된 초광대역 마이크로스트립-CPS 발룬의 구조이다[3]. 이 발룬은 마이크로스트립과 CPS 선로 간에 임피던스 정합과 필드 정합을 보다 자연스럽게 하도록 설계되었다. 그림 1(a)는 신호면 및 접지면의 구조를 보여주고 있으며, 접지면은 필드 정합과 임피던스 정합을 위하여 최적화된 테이퍼 선로(Klofenstein taper) 구조 형태로 설계하였다.



(a) 신호선 및 접지면
(a) Signal line and ground plane



(b) 전장의 분포
(b) Electric field distribution

그림 1. 초광대역 마이크로스트립-CPS 전이 구조[3]
Fig. 1. Ultra-wideband microstrip-to-CPS transition[3].

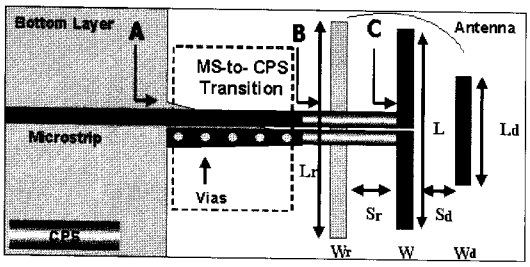


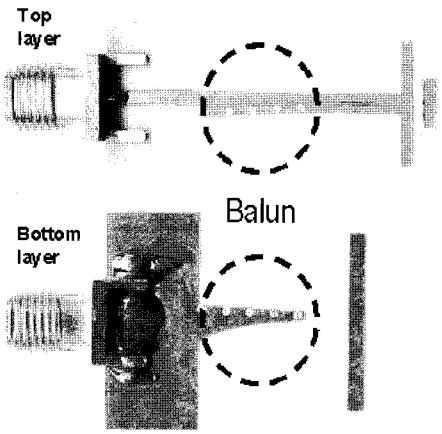
그림 2. 초광대역 발룬을 사용한 quasi-Yagi 안테나
Fig. 2. Quasi-Yagi antenna using ultra-wideband balun.

그림 1(b)는 발룬의 전장의 분포이다. 본 발룬은 1 dB 이하의 삽입 손실을 가지는 주파수 범위가 수 GHz에서 40 GHz 이상인 초광대역의 특성을 가진다. 이를 이용한 quasi-Yagi 안테나의 구조는 그림 2와 같다. 그림 2에서 제안된 안테나는 다음과 같은 방법으로 쉽고 간략하게 설계할 수 있다. 첫째, quasi-Yagi 안테나 소자의 복사기(driver), 도파기(director) 및 반사기(reflector)의 최적화 작업을 수행한다. 안테나 파라미터의 초기값은 Yagi-Uda 안테나의 배열 원리를 통해 구하는데, 이때 복사기의 설계는 CPS 선로의 특성 임피던스(characteristic impedance)의 값을 안테나의 입력 임피던스로 설정하여 최적화(optimization) 작업을 수행한다. 최적화 작업에는 3차원 구조 해석 시뮬레이터인 Ansoft HFSS™를 사용하였고, CST Microwave Studio™를 이용하여 검증하였다. 이러한 방법은 발룬을 포함한 전체 안테나를 EM 시뮬레이터로 최적화 하는 기존의 방법에 비해 훨씬 간단하다.

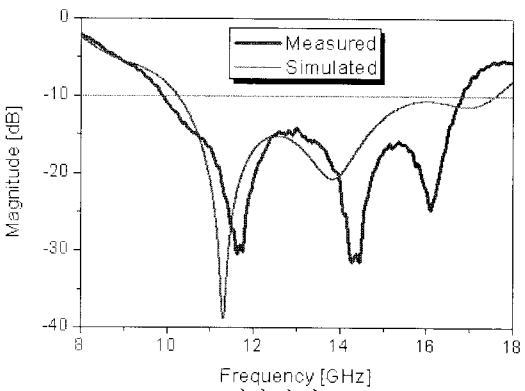
다음으로, quasi-Yagi 안테나 소자의 최적화 설계가 이루어지면, 설계된 안테나에 초광대역 발룬을 연결하면 전체 안테나의 설계가 완성된다. 이때 발룬의 특성이 초광대역이므로, 전체적인 대역 특성과 방사 특성은 초기 quasi-Yagi 안테나 자체의 특성과 거의 동일하다.

2-2 단일 Quasi-Yagi 안테나 설계

먼저 제안한 안테나 설계 과정을 이용하여 단일 quasi-Yagi 안테나를 설계하였다. 사용된 기판은 ROGERS사의 0.508 mm 두께의 RO4003®(ε_r = 3.38)을 이용하였고, 3차원 구조 해석 시뮬레이터는 Ansoft HFSS™ 를 사용하여 수행하였다. 사용된 발룬은 5~20 GHz까지 0.8 dB 이하의 적은 삽입 손실을 가지는 초광대역 발룬을 사용하였다. 일반적으로 CPS 선로의 특성 임피던스는 마이크로스트립 선로에 비하여 비교적 크다(>100 Ω). PCB 제작의 한계에 따라 본 논문에서는 선로 사이의 간격이 0.127 mm인 107 Ω의 임피던스를 가지는 CPS를 급전선으로 사용하였다. 설계 중심 주파수는 14 GHz로 선택하였고, CPS 급전선의 초기 길이는 $\lambda/4$로 설정하여 최적화하였다. 최적화된 CPS의 길이는 8.5 mm이며, 도출된 CPS를 포함한 안테나에 광대역 발룬을 연결하여 전체 안테나를 완성하였다. 제작된 안테나의 사진과 반사 손실 특성은 그림 3과 같다.



(a) 제작된 단일 안테나
(a) Fabricated single antenna



(b) 반사 손실
(b) Return loss

그림 3. 제작된 단일 quasi-Yagi 안테나
Fig. 3. Fabricated single quasi-Yagi antenna.

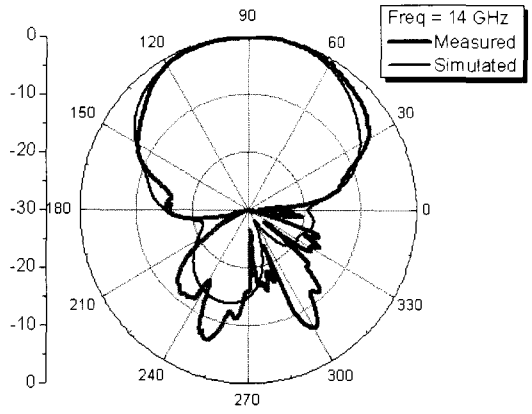


그림 4. 단일 안테나의 방사 패턴(E-plane)
Fig. 4. Radiation pattern of single antenna(E-plane).

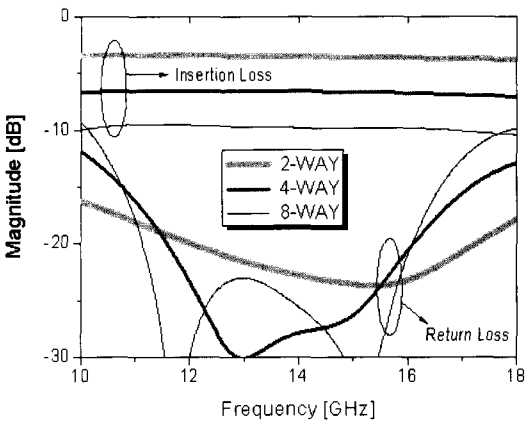


그림 5. 전력 분배기의 EM 해석 결과
Fig. 5. EM simulation results of the power divider.

표 1. 안테나 설계 파라미터(단위: mm)
Table 1. Design parameters of the antenna(unit: mm).

안테나 크기	W	L	W_d	L_d	S_d	W_r	L_r	S_r
	1.0	11.3	1.27	4.57	1.0	1.52	16.5	3.3

CPS 길이	CPS 임피던스	크기(mm^2)	중심 주파수
8.5	107 Ω	37×20	14 GHz

시뮬레이션 및 측정된 반사 손실은 그림 3(b)와 같이 비교적 잘 일치하였다. 구현된 단일 quasi-Yagi 안테나는 측정 결과를 통해 9.9~16.8 GHz의 주파수에서 동작하여, 51.7 %의 넓은 대역폭을 가지는 것을 알 수 있다. 단일 안테나의 복사 패턴은 그림 4에 나타내었다. 또한, 측정을 통해 안테나의 이득은 동작 주파수 범위 내에서 4~5 dBi가 되었다. 여기에 도파기 하나를 더 추가하면 약 1 dB 정도의 이득이 증가하지만 대역폭이 줄어들고 설계 변수가 증가하게 된다. 단일 안테나의 크기는 30×27 mm^2이고, 최적화된 안테나 설계 파라미터들은 표 1과 같다.

2-3 1x4 및 1x8 선형배열 안테나의 설계

배열 안테나의 설계에 있어서 중요한 소자 중의 하나는 전력 분배기이다. 전력 분배기는 안테나에 충분한 전력을 공급하기 위해 손실이 적어야 하며, 안테나에 비해 넓은 대역 특성을 가져야 한다. 본 논문에서는 테이퍼 선로를 이용한 Tee 접합 분배기를 사용하였다. 설계된 전력 분배기의 EM 해석 결과는 그림 5와 같다. 중심 주파수에서의 전력 분배량은 각각 −3.5 dB, −6.6 dB, −9.8 dB로 이론값과 거의 일치함을 알 수 있으며, 사용 주파수 범위 내에서 평탄한 특성을 가짐을 알 수 있다. 또한, 배역 소자간의 간격은 안테나의 이득, 부엽 레벨 및 안테나 간의 상호 결합(mutual coupling)을 고려하여 결정해야 한다. 본 논문에서는 이득과 패턴을 고려하여 안테나 간의 간격을 0.8 λ_0로 최적화 하였다.

이를 이용하여 1×4와 1×8 배열 안테나를 각각 설계하였다. 그림 6은 제작된 1×8 배열 안테나의 사진이다. 각 배열 안테나의 측정된 반사 손실은 그림 7(a)와 같다. 측정 결과 단일 안테나와 배열 안테나의 임피던스 대역폭이 약 50 %로서 잘 일치함을 알 수 있다. 그리고 14 GHz에서 시뮬레이션 된 단일 및 배열 안테나의 방사 패턴은 그림 7(b)에 각각 나타내었다. 각각 4.4 dBi, 9.3 dBi, 11.8 dBi의 이득과 비교적 양호한 부엽 레벨 및 빔 폭을 가짐을 알 수 있다.

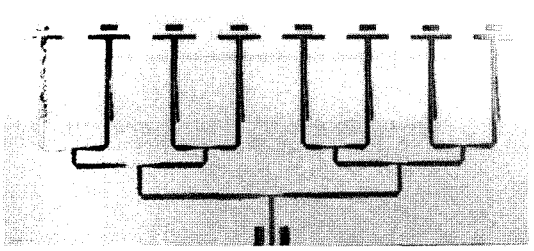
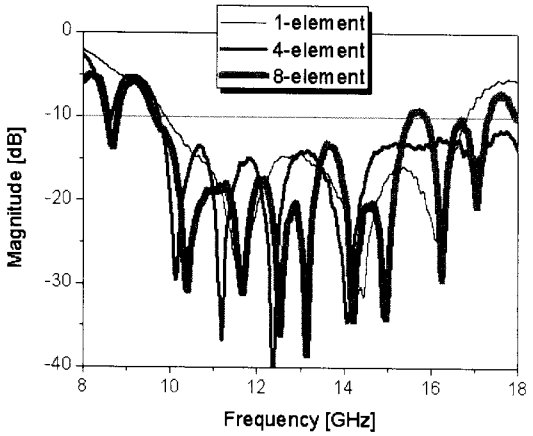
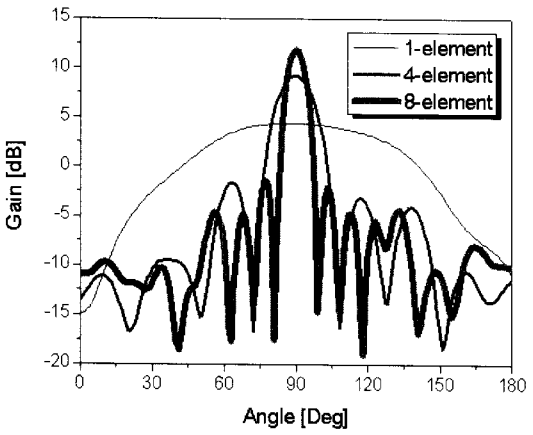


그림 6. 제작된 1×8 배열 안테나
Fig. 6. Fabricated 1×8 antenna array.



(a) 측정된 반사 손실
(a) Measured return losses



(b) 시뮬레이션된 방사 패턴(E-plane)
(b) Simulated radiation patters(E-plane)

그림 7. 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실 특성
Fig. 7. Simulated and measured return loss.

그림 8은 14 GHz에서 1×8 배열 안테나의 E-plane 방사 패턴을 나타내었다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 잘 일치함을 알 수 있다. 이때의 빔 폭은 8°, 부엽(sidelobe) 레벨은 −12 dB 정도이다. 그리고 방사 효율은 전 대역에서 82~87 %이며, 전체 안테나의 크기는 140×60 mm^{2}이다. 설계된 안테나의 전체 성능은 표 2에 요약하였다.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 초광대역 발룬을 사용함으로써, 안테나와 발룬간의 임피던스 간단한 정합으로 Ku 대역 quasi-Yagi 배열 안테나를 설계하고 제작하는 방법을 제시하였다. 단일 안테나의 설계를 기초로 하여 광대역 특성을 가지는 1×4 및 1×8 quasi-Yagi 선형 배열 안테나를 설계하고 제작하였다. 전력 분배기는 테이퍼 선로를 이용한 Tee 접합을 이용하여 구성하였다. 제안된 안테나는 50 % 이상의 넓은 대역폭과 9~12 dBi의 안테나 이득을 가졌다. 측정값은 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였고, 광대역이면서 좋은 복사 특성을 가졌다. 본 논문에서 제안한 고이득, 고지향성, 광대역 quasi-Yagi 배열 안테나는 광대역 공간 전력 합성 및 각종 광대역 위상 배열 안테나 등에

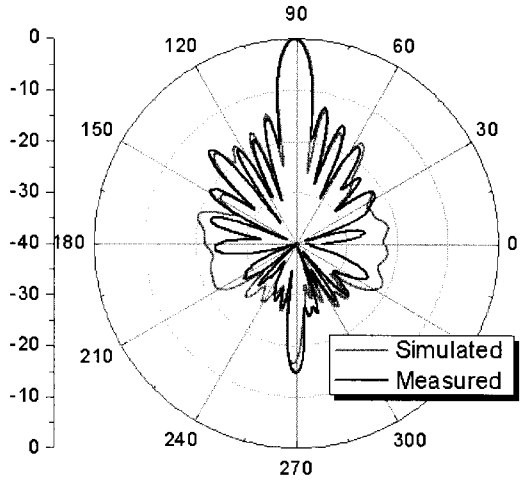


그림 8. 1×8 배열 안테나의 방사 패턴(E-plane @ 14 GHz)
Fig. 8. Radiation pattern of 1×8 antenna array(E-plane @ 14 GHz).

표 2. 설계된 안테나의 성능
Table 2. The performance of the antenna.

소자 개수	Bandwidth (GHz/%)	Gain (dBi)	HPBW (degree) E-plane	SLL (dBc)	Front-back ratio(dBc)
1	9.9~16.8 /51.7	4~5	75~85	9~14	8~15
4	9.8~17.4 /55.8	9~10	13~22	8~12	12~13
8	9.7~15.5 /46	11~12	7~11	11~13	14~17
[6]	6.9~11.7 /51.6	10~14	10~17	11~14	20 @ 9 GHz

다양하게 적용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] L. G. Maloratsky, "Reviewing the basics of Microstrip lines", *Microwave & RF*, pp. 79-88, Mar. 2000.

[2] Y. Qian, W. R. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh, "Microstrip fed quasi-Yagi antenna with broadband characteristics", *Electron Lett.*, vol. 34, no. 23, pp. 2194-2196, 1998.

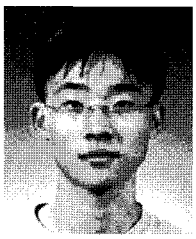
[3] Y. G. Kim, D. S. Woo, K. W. Kim, and Y. K. Cho, "A new ultra-wideband microstrip-to-CPS transition", *IEEE Int'l, Symp. Microwave*, Honolulu, HI. pp. 1563-1566, Jun. 2007.

[4] N. I. Dib, R. N. Simons, and L. P. B. Katehi, "New uniplanar transitions for circuit and antenna applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol 43, no. 12, pp. 2868-2873, Dec. 1995.

[5] N. Kaneda, W. Deal, Y. Qian, R. Waterhouse, and T. Itoh, "A broad-band planar quasi-Yagi antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 50, no. 8, pp. 1158-1160, Aug. 2002.

[6] W. Deal, Kaneda. N, James Sor, Y. Qian, and T. Itoh, "A new quasi-Yagi antenna for planar active antenna arrays", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol 43, no. 6, pp. 910-918, Jun. 2000.

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

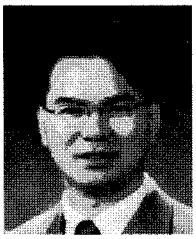
김 영 곤

2006년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2006년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정
[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)
1981년~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수
1992년~현재: 국제전파연합(URSI) Commission B Fields & Waves, Korea representative
2002년~2007년: 경북대학교 공과대학 BK 사업단장
2004년~2007년: 한국전자파학회 수석부회장
2008년~현재: 한국전자파학회 회장
[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