

평면형 다이폴 안테나를 이용한 광대역 공간 전력 합성기에 관한 연구

준회원 이 성 호*, 권 세 웅**, 정회원 윤 영 중**, 송 우 영**

A Study on the Wideband Spatial Power Combiner with the Printed Dipole Antennas

Sungho Lee*, Sewoong Kwon** *Associated Members*, Youngjoong Yoon**, Wooyoung Song***
Regular Members

요 약

본 논문에서는 C-band의 중심 주파수인 6 GHz 대역을 중심으로 광대역 공간 전력 합성기를 설계, 제작하여 그 특성을 고찰하였다. 제안된 공간 전력 합성기는 광대역 특성을 갖는 입·출력 안테나에 평면형 다이폴 안테나를 사용함으로써 기존의 공간 전력 합성기의 대역폭의 제한을 극복하였고 입·출력 안테나의 편파를 교차편파가 되도록 사용하였기 때문에 입력단과 출력단의 격리도를 높여서 공간 전력 합성기의 안정성을 향상 시켰다. 설계된 입력부와 출력부 안테나의 대역폭은 각각 24.8%와 23%의 대역폭을 얻었다. 제작한 4×1 공간 전력 합성기는 6 GHz에서 24.04 dB의 유효 등방성 이득(EIPG), 17% 이상의 이득 대역폭, 68.69%의 전력 합성 효율을 얻었다.

Key words : Spatial power combiner, Wideband, High efficiency, Balanced amplifier, Printed dipole antenna

ABSTRACT

In this paper, A novel spatial power combiner with wideband printed dipole antennas and balanced amplifier is proposed. The wideband spatial power combiner is proposed to improve power capability and bandwidth by using balanced amplifier and wideband printed dipole antenna, respectively. The proposed 4×1 spatial power combiner with those components has the characteristics that the 3-dB bandwidth is 1.02 GHz (17 %), and the effective isotropic power gain (EIPG) is 24.04 dB at 6 GHz. Also, power combining efficiency is 68.69%.

1. 서 론

이동·무선통신의 지속적인 발전은 통신분야에서 눈부신 발전을 가져왔다. 이에 따라 여러 주파수 대역들을 사용하는 무선통신 방식들이 현재 상용화되고 있으며 이동·무선통신의 지속적인 발전 추세에 따라 안테나의 소형화, 고성능화, 그리고 광대역화 기술 개발이 꾸준히 연구되어 오고 있는 실정이며,

반도체 능동 소자를 안테나와 결합한 능동형 안테나 기술개발에 대한 관심도 점차 증대되고 있다[1].

반도체 소자들은 진공관 형태에 비해 수명이 길고 높은 전원이 필요하지 않으며 동작 대역이 넓고 작은 면적 내에 집적이 가능한 장점을 갖는다. 하지만, 제한된 전력 수용 때문에 아직도 고출력 마이크로파 회로에서 사용제한을 갖는다. 따라서 반도체 기술을 이용하여 고출력을 내기 위하여 공간 전력 합성들의

※ 「본 연구는 한국과학재단 목적 기초연구 (R01-2000-000-00270-0)지원으로 수행되었음」

* (주)LG전자

** 연세대학교 공과대학 전기전자공학과 마이크로파 및 안테나 연구실

*** 청주대학교 공과대학 정보통신공학부

논문번호 : 030537-1206, 접수일자 : 2004년 12월 6일

기술들이 연구가 계속 진행되고 있다[2][3][4]. 하지만, 기존의 공간 전력 합성기는 일반적으로 마이크로 스트립 안테나와 같은 협대역의 공진형 안테나를 사용하여 그 사용 대역폭이 제한되었다.

따라서, 본 연구에서는 광대역 평면형 다이폴 안테나와 평형 증폭기를 결합한 광대역 공간 전력 합성기를 제안한다. 본 연구에서 제안된 공간 전력 합성기는 평형 증폭기에서 전력 분배기를 사용하지 않고 안테나에서 직접 전력을 분배하고, 분배된 신호는 각각 선로를 따라 증폭기에서 증폭되기 때문에 단일 증폭기를 사용하였을 때 보다 포화 출력 전력을 3 dB 높일 수 있고, 광대역 특성을 갖는 다이폴 안테나를 입력과 출력단에 사용함으로써 광대역 특성을 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 단일, 2×1, 4×1 배열 확장하여 설계, 측정하여 합성효율과 EIPG를 제시하였다.

II. 안테나와 평형 증폭기 설계

설계된 공간 전력 합성기의 회로도도 그림 1에 보여주고 있다. 설계된 공간 전력 합성기의 동작은 수직 편파 특성을 갖고 입사된 신호는 수직 평면형 다이폴 안테나에 입사되고, 수직 평면형 다이폴 안테나는 입력 전력을 선로 1과 선로 2에 180도 위상차를 갖고 전력을 반씩 나누어 각 선로의 증폭기에서 신호를 증폭한다. 증폭된 신호는 각 선로를 따라 출력부 수직 편파 평면형 다이폴 안테나에 180도 위상을 갖고 급전된다. 입출력의 안테나를 교차편파 안테나를 사용하여 공간 전력 합성기의 입출력간 격리도를 높이며, 안정성을 확보하였다.

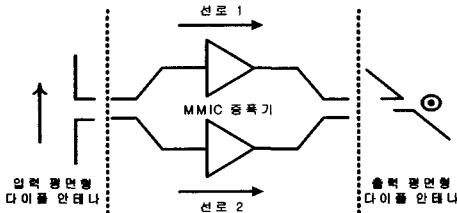
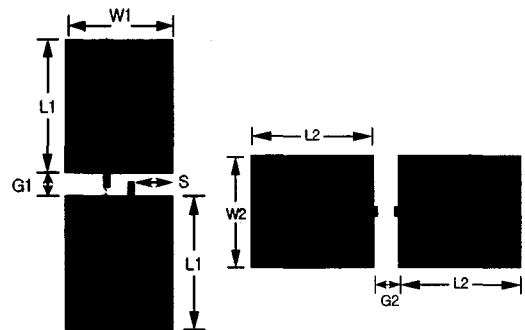


그림 1. 공간 전력 합성기의 회로도

그림 2는 설계한 공간 전력 합성기에 사용된 평면형 다이폴 안테나의 구조이다. 설계된 안테나는 증폭기의 발진을 야기할 수 있는 공간 전력 증폭기의 입력과 출력단 상호 커플링을 제거하기 위해서 입력 안테나와 출력 안테나의 편파를 서로 수직 편파를

갖도록 설계하였다. 그림 2(a)의 안테나는 공간 전력 증폭기의 입력부, 그림 2(b)는 공간 전력 증폭기의 출력부에 집적된 평면형 다이폴 안테나이다. 평면형 다이폴 안테나가 넓은 대역폭을 갖기 위해서는 안테나의 길이가 $\lambda/2$ 로 설계되어야 하고, 다이폴의 한 쪽 길이(L)와 폭(W)의 비가 0.9~1.1을 가져야 하며, 다이폴의 간격(G)이 0.1L로 설계 하여야 한다[6]. 하지만, 본 논문에서는 0.1L의 간격은 제작하는데 어려움이 있어, 간격은 2 mm로 정하고 최적의 대역폭을 얻기 위해서 다이폴 안테나의 길이와 폭을 조정하여 최적 설계하였다. 입력부 안테나는 안테나의 급전이 수직으로 급전되므로 출력부의 수평으로 급전되는 안테나에 비해서 교차편파 레벨 증가 및 안테나의 효율 저하에 의한 이득 감소도 예상된다. 또한, 안테나만의 특성을 알아보기 위해서 월킨스 전력 분배기와 180°지연 선로를 사용한 발룬을 설계하여 안테나의 특성을 살펴보았다. 그림 2의 평면형 다이폴 안테나의 구조를 CST Microwave Studio를 이용하여 시뮬레이션하여, 표 1과 같은 안테나의 파라미터로 얻었다.



(a) 입력부 안테나 (b)출력부 안테나

그림 2. 평면형 다이폴 안테나

표 1. 설계 파라미터

파라미터	길이(mm)	파라미터	길이(mm)
W1	8.5	W2	9
L1	12.03	L2	11.73
G1	2	G2	2
S	3.05		

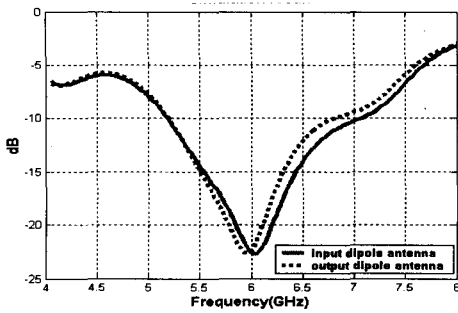


그림 3. 평면형 다이폴 안테나의 반사 손실

그림 3은 설계된 다이폴 안테나의 시뮬레이션된 임피던스 대역폭이다. 입력 다이폴 안테나는 5.18 GHz ~ 7.15 GHz까지 1.97 GHz의 대역폭을, 출력 다이폴 안테나는 5.19 GHz ~ 6.8 GHz까지 1.61 GHz를 나타내고 있다.

설계된 평형 증폭기는 50Ω으로 정합 되어있는 Minicircuit사의 Gali-1 MMIC 증폭기 칩 모듈을 사용하였으며, 각 선로는 50Ω 마이크로스트립 라인으로 설계하였다. 바이어스 전압은 $V_d = 3.4\text{ V}$, $I_d = 40\text{ mA}$ 로 동작하도록, $V_{cc} = 7\text{ V}$ 와 저항 90.9Ω을 사용하였으며 제조사에서 제공하는 S-파라미터에 의해 설계하였다.

설계는 Agilent사의 ADS로 설계 및 시뮬레이션하여 증폭기의 특성을 고찰하였다. 설계된 증폭기는 평형 증폭기와 같이 각 선로에 평행하게 위치하며 또한 회로 설계시 각 선로의 증폭기를 독립적으로 설계할 수 있으므로, 간단하게 회로를 설계할 수 있다. 각 회로는 동일하게 설계되어 제작되었다.

증폭기의 안정도는 설계 주파수 전 대역에서 $K > 1$ 보다 높게 설계되었다. 증폭기의 S-파라미터 특성은 그림 4에서 보여주고 있다. 각 선로의 결과는 동일하게 나왔으며, 설계주파수 6 GHz에서 9.87 dB의 이득을 얻을 수 있었고, 넓은 대역에서 동작함을 확인할 수 있었다.

III. 실험 및 측정결과

기판은 유전율(ϵ_r) 2.5, $h=1.524\text{ mm}$, $t=0.034\text{ mm}$ 의 기판을 사용하였다. 제작된 수직편파 평면형 다이폴 안테나와 수평편파 평면형 다이폴 안테나를 3-dB 윌킨슨 전력 배기와 180°지연 선로를 이용한 발룬으로 급전하여 측정하였다. 그림 5은 입력부 수직 편파 다이폴 안테나와 출력부 수평 편파 다이폴 안테

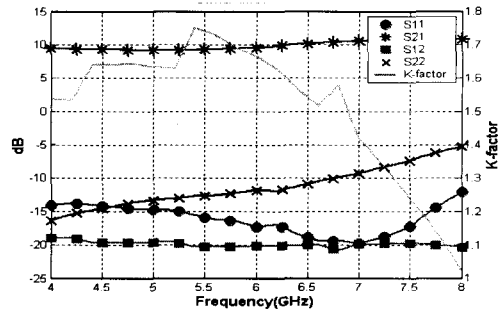


그림 4. 평형 증폭기의 S-파라미터

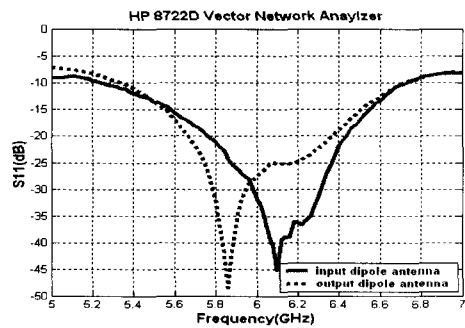


그림 5. 제작된 안테나의 반사손실

나의 공진 특성을 나타내었다. 시뮬레이션의 결과와 유사하며 두 안테나의 임피던스 특성은 유사함을 볼 수 있다. 하지만, 공진 주파수가 중심 주파수 6 GHz에서 약간 벗어나 있는 것을 볼 수 있다. 이는 시뮬레이션에서는 고려가 되지 않았던 안테나 제작시에 안테나와 발룬의 연결하기 위한 단락핀의 영향으로 생각된다. 단락핀과 단락핀을 고정하기 위한 납땀에 의해 리액턴스 성분이 생겨서 공진 주파수가 약간은 이동하였다.

$V_{SWR} < 2$ 를 기준으로 제작된 수직 편파 평면형 다이폴 안테나의 임피던스 대역폭은 5.24 GHz에서 6.73 GHz까지 설계 주파수 6 GHz에서 24.8%의 임피던스 대역폭을 얻었다. 그리고, 수평 편파 평면형 다이폴 안테나의 임피던스 대역폭은 5.34 GHz에서 6.72 GHz까지 설계주파수 6 GHz에서 23%의 임피던스 대역폭을 얻었다.

그림 6과 그림 7은 제작된 입·출력부 수직편파 다이폴 안테나를 NSI사의 근거리장 측정 시스템 (near field measurement system)으로 측정하고 방사 패턴을 정규화하여 나타내었다. 안테나 설계 시에 예상되었던 것처럼 입력부와 출력부의 안테나의 교차편파와 이득은 차이를 보이고 있다. 안테나 정 중앙

에서의 교차편파 레벨은 입력부 안테나는 -19.7 dB, 출력부 안테나는 -27.7 dB를 보이는 것을 알 수 있다. 입력 평면형 다이폴 안테나의 이득은 3.35 dBi에 비해, 출력 평면형 다이폴 안테나의 이득은 4.29 dBi를 얻었다.

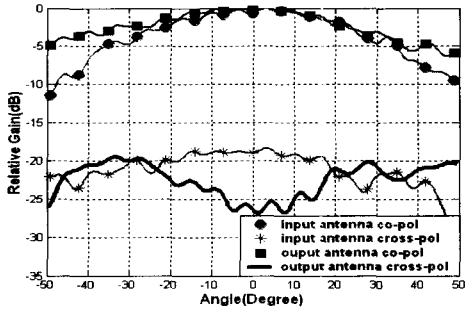


그림 6. 다이폴 안테나의 E-평면 방사패턴 (6GHz)

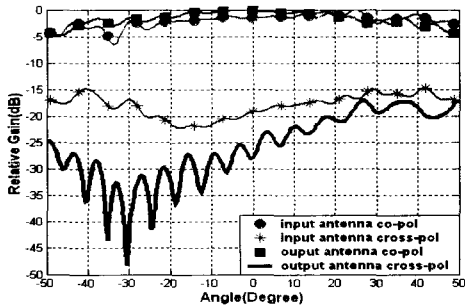


그림 7. 다이폴 안테나의 E-평면 방사패턴 (6GHz)

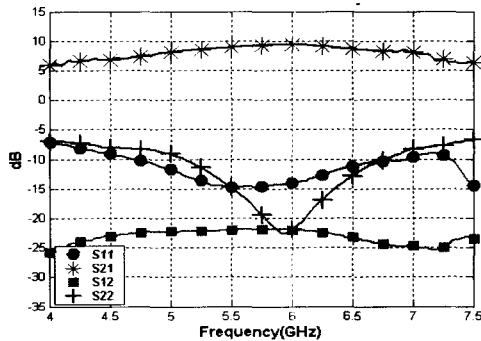


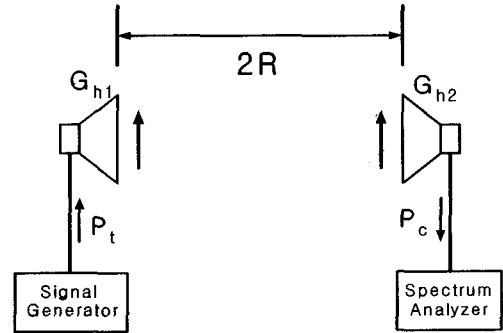
그림 8. 평형 증폭기의 S-파라미터

설계된 안테나와 증폭기를 결합한 공간 전력 합성기의 성능을 기본적으로 나타낼 수 있는 원거리 측정에 의한 유효 등방성 이득(EIPG: Effective Isotropic Power Gain)을 측정하였다[7].

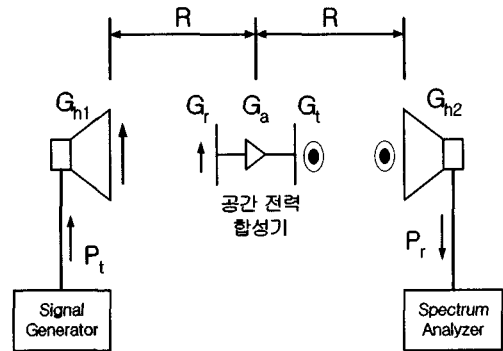
그림 9(a)은 제작된 공간 전력 합성기를 측정하기 위한 시스템을 교정(calibration)하는 방법이고, 그림 9(b)에서 보여주는 시스템으로 제작된 공간 전력 합성기의 유효 등방성 전력 이득을 측정할 수 있다. 위 측정으로 공간 전력 합성기증폭기의 이득을 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$EIPG = G_r G_a G_t = \frac{P_r}{P_c} \left(\frac{8\pi R}{\lambda} \right)^2$$

G_r 은 입력부 안테나의 이득, G_a 는 증폭기의 이득, G_t 는 출력부 안테나의 이득이고, R 은 송신 또는 수신 안테나에서 공간 전력 합성기까지의 거리, λ 는 자유공간 파장이다.



(a) 공간 전력 합성기 이득 측정을 위한 교정



(b) 공간 전력 합성기의 측정

그림 9. 공간 전력 합성기의 측정 구성도

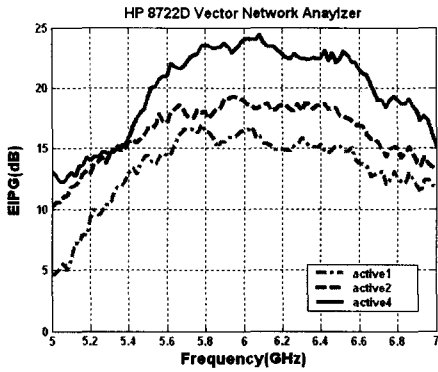


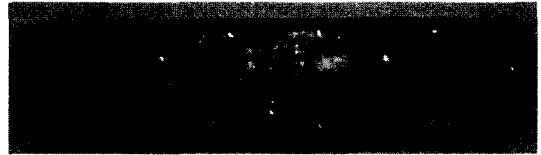
그림 10. 공간 전력 합성기의 유효 등방성 전력 이득

송신혼은 Flann Microwave사의 6 GHz에서 15 dBi의 표준 혼 안테나를 사용하였으며 수신 안테나는 6 GHz에서 6.93 dBi의 이득을 갖는 WR-159 프루브를 이용하여 측정하였고, 측정거리 R은 250 mm의 거리로 측정하였다. 측정된 유효 등방성 전력 이득은 그림 10에서 보여주고 있다. 단일 공간 전력 합성기는 설계 주파수 6 GHz에서는 16.64 dB의 값을 얻었으며, 3 dB 이득 대역폭은 5.55 GHz에서 6.59 GHz까지 1.04 GHz의 대역폭을 갖는다. 2×1 공간 전력 합성기는 설계 주파수에서는 19.04 dB의 값과 3 dB 이득 대역폭은 5.48 GHz에서 6.52 GHz까지 1.04 GHz의 대역폭을 얻을 수 있었다. 4×1 공간 전력 합성기는 6.08 GHz에서 최대 이득 24.75 dB를 보이며, 설계 주파수 6 GHz에서 24.04 dB의 이득을 얻었다. 3 dB 대역폭은 5.6 GHz에서 6.62 GHz까지 1.02 GHz의 대역폭을 얻었다. 이는 설계주파수 6 GHz를 중심으로 17%의 대역폭을 나타내고 있다.

공간 전력 합성기의 이상적인 경우, 즉 각 배열에 사용된 증폭기가 모두 동일한 특성을 보이고, 각 안테나에 동일 크기와 동일 위상의 신호가 들어오는 경우에는 배열 확장시 입·출력 안테나의 이득이 3 dB 씩 증가함에 따라 단일 공간 전력 합성기에 비해서 2×1 공간 전력 합성기는 6 dB, 4×1 공간 전력 합성기의 경우에는 12 dB의 이득 증가가 있어야 한다. 하지만, 실제로 제작 시 증폭기의 약간의 오차와 각 안테나에 입사되는 신호가 동일 위상, 동일 크기의 신호를 얻을 수 없다.

또한, 전력 합성 효율은 6 GHz에서 2×1 공간 전력 합성기는 43.44%를 얻었으며, 4×1 공간 전력 합성기의 경우에는 68.69%의 높은 전력 합성 효율을 얻었다. 그림 11은 제작한 4×1 공간 전력합성기의

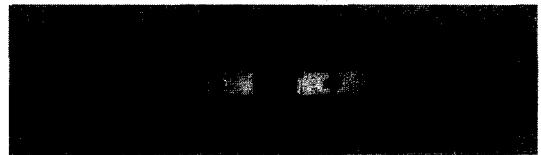
사진이다.



(a) 공간 전력 합성기의 증폭단



(b) 공간 전력 합성기의 입력 안테나



(c) 공간 전력 합성기의 출력 안테나

그림 11. 4×1 공간 전력 합성기

IV. 결 론

본 논문에서는 C-band의 중심 주파수인 6 GHz 대역을 중심으로 광대역 공간 전력 합성기를 설계, 제작하여 그 특성을 고찰하였다. 제안된 공간 전력 합성기는 광대역 특성을 갖는 입·출력 안테나에 평면형 다이폴 안테나를 사용함으로써 기존의 공간 전력 합성기의 대역폭의 제한을 극복하였고 입·출력 안테나의 편파를 교차편파가 되도록 사용하였기 때문에 입력단과 출력단의 격리도를 높여서 공간 전력 합성기의 안정성을 향상 시켰다. 단일 공간 전력 합성기는 6 GHz에서는 17.3%의 대역폭과 16.64 dB의 유효 등방성 전력 이득을 얻었으며, 2×1 공간 전력 합성기는 17.3%의 대역폭과 19.04 dB의 전력 이득을 얻었다. 그리고 4×1 공간 전력 합성기는 17%의 대역폭과 24.04 dB의 전력 이득을 얻었다. 또한, 전력 합성 효율 경우에는 2×1에서는 43.44 %와 4×1에서는 68.69 %의 비교적 높은 전력 합성 효율을 얻었다.

향후에는 본 논문에서 제안한 공간 전력 합성기에

서 보다 높은 효율 및 전력을 얻기 위해서는 보다 많은 배열 확장과 그에 따른 최적의 배열 구조가 요구되며, 각 배열에 위상 보상 회로에 관한 연구가 요구된다.

참고 문헌

[1] Sung Ho Lee, Se Woong Kwon, Byoung Moo Lee, Young Joong Yoon, "A study on a Wideband Active Printed Dipole Antenna Using a Balanced Amplifier", KJMW, pp.61-64, 2002.

[2] Kim, M., Rosenberg, J.J., Smith, R. P., Weikle, R.M., II, Hacker, J.B., DeLisio, M.P., and Rutledge, D.B., "A Grid Amplifier", IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol 1, Issue 11, pp.322 -324, Nov. 1991

[3] S. Ortiz, A. Al-Zayed, and A. Mortazawi, "A Ka-band perpendicular-fed patch array for spatial power combining", 2002 IEEE MTT-S International, Vol 3, pp. 1519 -1522, 2002

[4] M. P. DeLisio, and R. A. York, "Quasi-optical and spatial power combining", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol 50 Issue 3, pp. 929-936, March 2002

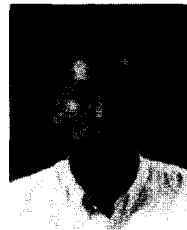
[5] G. D. Vendelin, A. M. Pavio, and U. L. Rohde, Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques, JOHN WILEY & SONS, 1991

[6] J. I. Kim, B. M. Lee, Y. J. Yoon, "Wideband printed dipole antenna for multiple wireless services," IEEE RAWCON 2001. pp.153-156, 2001

[7] R. A. York, Z. B. Popovic, Active and Quasi-optical Arrays for Solid-State Power Combining, JOHN WILEY & SONS, 1997

이 성 호(Sung-ho Lee)

준회원



2001년 2월 : 광운대학교 전자공학부 졸업
 2003년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업
 2003년 3월~현재 : (주)LG전자

<관심분야> 안테나, 마이크로파 소자

권 세 웅(Se-woong Kwon)

준회원



1999년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 2002년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업(공학석사)
 2002년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

<관심분야> 안테나, 마이크로파 소자

윤 영 중(Young-joong Yoon)

정회원



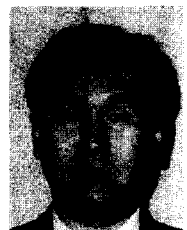
1981년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1991년 : Georgia Institute of Technology 졸업(공학박사)
 1992년~1993년 : ETRI 위성통신기술연구단

1993년 ~현재 : 연세대학교 전기전자공학부 정교수

<관심분야> 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, EMI/EMC

송 우 영(Woo-young Song)

정회원



1977년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1988년 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)

1982년 ~현재 : 청주대학교 전자공학과 정교수

<관심분야> 마이크로파 소자, 안테나