

IMT-2000용 광대역 단일 패치 마이크로스트립 안테나

정회원 유태훈*, 이승엽**, 박한규*

A Novel Broadband Single-Patch Microstrip Antenna for IMT-2000

Tae-Hoon Yoo*, Seung-Yeop Rhee**, Han-Kyu Park* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 IMT-2000 시스템에 응용될 수 있는 새로운 구조의 광대역 단일 패치 안테나를 제안하였다. 이 안테나는 사각형 금속 패치의 두 방사 모서리에 역시 사각형의 스테브가 각각 연결되어 있는 작고 간결한 구조이면서도 IMT-2000에 할당된 주파수 대역을 포함하는 광대역 특성을 나타내었다. 세그멘테이션 방법과 공동 모델을 함께 사용하여 안테나의 특성을 이론적으로 해석하였고, 실험 결과를 통해 비교·분석하였다. 제안된 구조로 제작된 안테나의 대역폭은 정재파비(VSWR) 2.0 이하를 기준으로 할 때, 230MHz(11.9%)로 측정되었으며, 스테브가 달려 있지 않은 사각형 패치 안테나(4.5%)에 비해 대역폭이 2.65배만큼 넓어졌음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a novel type of wideband single-patch microstrip antenna using the reactive-loading technique is presented. We demonstrated that, by inserting stubs at both of the radiating edges, the frequencies of the two resonant modes are closely spaced to form a wide operating bandwidth. Segmentation technique and cavity model are used to analyze the antenna characteristics and experimental data are shown to be in good agreement with the calculated results. With the proposed structure, the measured antenna bandwidth of 230MHz is obtained, which is almost 2.65 times larger than that of an unloaded rectangular patch antenna and fully covers the whole frequency range of 1.885GHz~2.025GHz allocated to IMT-2000.

I. 서론

최근 이용자가 폭증하고 있는 이동 통신 분야와 무궁화 위성의 성공적인 발사로 더욱 주목을 받고 있는 위성통신 분야에서는 고품질의 다양한 통신 서비스를 더욱 효과적으로 제공할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 차세대 이동 통신 시스템으로 대두되고 있는 IMT-2000(International Mobile Telecommunication -2000)의 서비스를 빠른 시간 안에 제공하기 위해 치열한 기술 개발 경쟁을 벌이고 있다. 음성뿐만 아니라 영상 등의 고속 데이터 통신이 가능한 이 시스템의 주파수 대역으로 현재 1.885GHz에서

2.025GHz까지의 140MHz 대역과 2.11GHz에서 2.20GHz의 90MHz 대역이 할당되어 있다.

마이크로스트립 안테나의 기본 구조는 금속 패치(patch)와 얇은 유전체 기판으로 이루어진 Q(quality factor)가 매우 높은 공진기(cavity) 형태이므로 대역폭이 수 퍼센트에 불과할 정도로 매우 좁고 방사효율도 낮다는 단점이 있다. 마이크로스트립 안테나를 실제 통신시스템에 사용하기 위해서는 안테나의 대역폭을 더욱 넓혀야 하므로 이와 관련하여 많은 연구가 수행되어 왔다^[1-18]. 그 가운데에서 대표적인 것이 여러 개의 방사 패치를 동일한 유전체 기판 위에 배열하거나 여러 층의 기판을 이용하여 쌓아 놓은 “다중 공진기 안테나”(multi-resonator antenna)이다^{[3][4]}. 이러한 구조에서는 여러 개의 방사 패치물

* 연세대학교 전기·컴퓨터공학과(thyoo@dongyang.ac.kr), ** 여수대학교 전자통신과
논문번호 : 99418-1019, 접수일자 : 1999년 10월 19일

각 패치가 가지고 있는 고유 주파수에 대해 동시에 공진 시킬 수 있으므로, 이때 발생하는 여러 개의 서로 다른 공진 주파수들이 서로 인접하도록 하면 대역폭이 넓어지는 효과를 얻을 수 있다. 하지만, 안테나의 크기가 커지고, 구조가 복잡해지므로 해석과 제작이 어렵다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 단일 패치에 리액턴스 성분을 더해줌으로써 대역폭이 넓어지도록 하는 방법이 제안되었다^{[3],[6]}. 리액턴스 성분은 칩 저항^[7]과 같은 집중 소자(lumped element)를 금속 패치와 접지판 사이에 연결하거나 금속 패치에 슬롯(slot)^[6]을 뚫어서 만들 수도 있지만 간편한 방법은 패치의 가장자리에 스테브(stub)^{[7],[8]}를 연결하는 것이다. 스테브를 이용하면 패치 고유의 공진 주파수에 인접한 주파수에서 공진이 일어나도록 할 수 있으므로 대역폭이 넓어지는 효과를 얻게 된다.

본 논문에서는 단일 사각형 패치 안테나에 개방된 마이크로스트립 선로 형태의 스테브를 더해줌으로써 간단한 구조와 소형의 특성을 그대로 유지하면서도 IMT-2000 시스템에 적용될 수 있는 광대역 안테나를 제안하였다. 이 안테나는 그림 1과 같이 두 방사 모서리(radiating edge)에 각각 사각형 스테브가 달려있는 구조로, 이 스테브에 의하여 방사 모서리의 유효 길이가 변하게 되므로 원래의 패치가 가진 TM_{10} 모드 주파수 이외의 다른 주파수들에서 공진이 일어난다. 스테브의 치수를 적절히 조정하여 두 주파수가 서로 근접하도록 설계하면 넓은 동작 대역폭을 얻을 수 있다. 세그멘테이션방법(segmentation method)과 공동 모델(cavity model)^{[9],[10]}을 함께 사용하여 제안된 안테나의 특성을 해석하였고, 실험 결과를 통해 비교·분석하였다. 또한 스테브의 치수, 스테브의 위치, 급전점(feed point) 등 안테나의 주요 설계 파라미터에 따른 안테나의 특성 변화를 측정하고 분석하였다. 이론적 해석 결과는 실제 동작을 비교적 정확하게 예측하였으며, 스테브가 달려 있지 않은 단일 사각형 패치 안테나와 비교하여 약 2.65배 정도의 넓은 대역폭을 얻을 수 있었다.

II. 안테나 구조의 해석

본 논문에서 제안한 안테나의 구조는 그림 1의 (a)와 같다. 유전체 기판 대신 공기 층($\epsilon_r=1$)을 그대로 이용하였고 접지판 위로 t 만큼 떨어진 곳 위에 방사용 금속 패치를 배치하였다. 치수가 각각 c_1

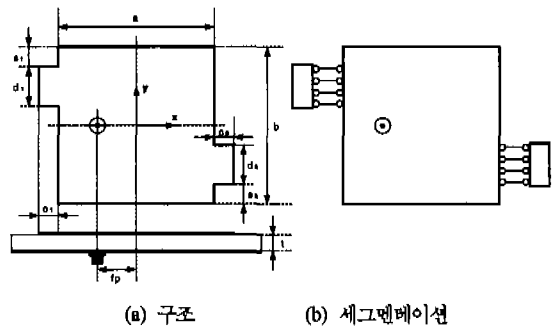


그림 1. 제안된 새로운 광대역 안테나의 구조와 세그멘테이션

$\times d_1, c_2 \times d_2$ 인 두 개의 스테브를 $a \times b$ 인 사각형 금속 패치의 두 방사 모서리에 연결하였는데, 이때 스테브의 위치 s_1, s_2 는 안테나의 중심에 대해 거의 대칭이 되도록 설계하였다. 스테브의 위치가 y 축에 대칭인 경우, 즉 서로 마주보고 있는 경우에는 광대역 특성을 얻을 수 없게 된다. 안테나의 급전은 동축 선로에 의해 안테나의 중심으로부터 방사 모서리 쪽으로 f_0 만큼 떨어진 곳으로 하였다.

안테나의 특성을 해석하기 위해 세그멘테이션 방법과 공동 모델^{[9],[10]}을 함께 사용하였다. 이 방법은 본 논문에서 제안한 것과 같이 단일 평면형 구조로 되어있는 안테나의 해석에 특히 적합하며, 아주 복잡한 형태로 이루어진 안테나도 비교적 쉽게 해석할 수 있다. 또한, 여러 가지 전파 해석(full-wave analysis) 방법에 비해 계산 시간이 획기적으로 단축될 뿐 아니라, 해석 결과도 정확하다. 이 방법의 첫 번째 순서로서, 공동 모델을 적용하여 그림 1(a)의 구조에서 안테나의 가장자리 면은 모두 완전 자제벽(perfect magnetic wall)으로 가정한다. 다음으로 그림 1(b)와 같이 안테나를 세 개의 사각형 패치로 나누고, 각 패치 사이의 접합면에 여러 개의 포트를 할당한다. 이 때, 각 포트의 폭은 포트 안에서 필드의 변화가 거의 일어나지 않도록 작게 잡아주어야 한다. 다단자 회로망 모델(multiport network model)^{[9],[10]}을 이용하면 각 세그먼트의 임피던스 매트릭스를 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$Z_{ij}^s = \frac{1}{W_i W_j} \int_{w_i} \int_{w_j} G^s(x_i, y_j | x_j, y_i) ds_i ds_j \quad (1)$$

여기서, W_i, W_j 는 각각 i, j 번째 포트의 폭이고 s_i, s_j 는 해당 포트의 접합면의 좌표이다. 또한, 사각형 세그먼트에 대해서는 다음 식과 같은 그린 함수(Green's function)를 유도할 수 있다.

$$G^s(x, y | x_0, y_0) = \frac{j\omega\mu t}{a_s b_s} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\sigma_m \sigma_n}{k_x^2 + k_y^2 - k^2} \cdot \cos(k_x x_0) \cos(k_y y_0) \cos(k_x x) \cos(k_y y)$$

단, $k_x = \frac{m\pi}{a_s}$, $k_y = \frac{n\pi}{b_s}$, $k^2 = \omega^2 \mu \epsilon_0 \epsilon_r (1 - j\delta)$,

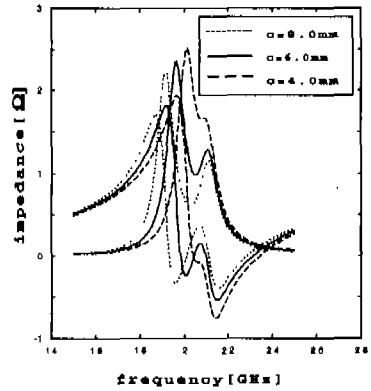
$$\sigma_i = \begin{cases} 1, & \text{if } i=0 \\ 2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, δ 는 손실 탄젠트(loss tangent), a_s 와 b_s 는 각 세그먼트의 가로, 세로 치수이다. 모든 세그먼트에 대해 임피던스 매트릭스를 구하게 되면, 다단자 결합 방법(multiport connection method)^{[9][10]}에 의해 이들을 결합하여 안테나의 입력 임피던스를 얻을 수 있다. 하지만 여기서 이 임피던스는 손실이 없는 공동(cavity)을 가정하여 얻은 것이므로, 안테나의 유전체 손실, 도체 손실, 방사 손실, 표면파 손실이 모두 고려된 임피던스를 다시 구해야 한다. 이 모든 손실을 포함하려면 (2)식의 손실 탄젠트 δ 대신 유효 손실 탄젠트(effective loss tangent) δ_{eff} 를 새롭게 사용하여야 한다. 그러면 파수(wave number) k 는 유효 파수 k_{eff} 로 바뀌며, 이를 사용하여 임피던스를 다시 구하면 실제 안테나의 임피던스를 얻을 수 있다.

III. 실험 및 결과 분석

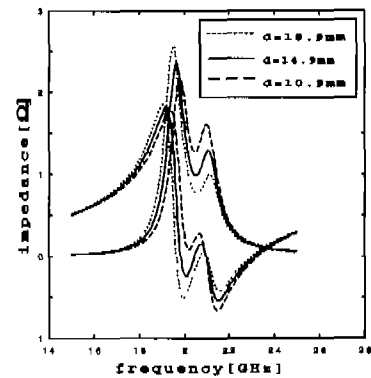
스터브가 달려있지 않은 원래의 사각형 패치 안테나는 급전 위치가 x 축 상에 있으므로 TM_{01} 모드는 여기되지 않고, TM_{10} 모드만이 발생되지만, 방사 모서리에 달려있는 스텐브에 의해 원래의 안테나가 가진 공진(resonance) 조건이 변하게 된다. 따라서 원래의 패치가 가진 TM_{10} 모드 근처의 두 주파수에서 공진이 발생한다. 이때, 이 공진 주파수들은 패치의 치수 a , b 는 물론 스텐브의 치수 $c_1(c_2)$, $d_1(d_2)$ 와 연결 위치 $s_1(s_2)$ 에 의해 조절될 수 있다.

스터브의 치수, 연결 위치에 따른 안테나의 특성 변화를 분석하기 위해 두 스텐브를 동일한 조건 ($c_1=c_2=c$, $d_1=d_2=d$, $s_1=s_2=s$)이 되도록 하여 이론적인 해석을 수행하였다. 치수가 $a=64.8mm$, $b=65.6mm$, $c=6.0mm$, $d=14.9mm$, $s=8.3mm$, $f_p=20.7mm$ 인 안테나를 기준으로 하여 각 파라미터의 값을 변화시키면서 안테나의 특성 변화를 관찰하였는데, 먼저 스텐브의 길이 c 에 대한 변화를 그림 2(a)에 나타내었다.



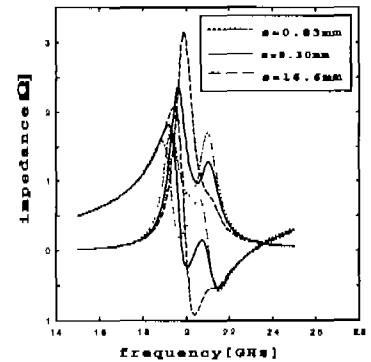
(a) 스텐브 길이 c에 따른 변화

$a=64.8mm$, $b=65.6mm$, $d=14.9mm$, $f_p=20.7mm$, $s=8.3mm$, $t=4mm$



(b) 스텐브 폭 d에 따른 변화

$a=64.8mm$, $b=65.6mm$, $c=6.0mm$, $f_p=20.7mm$, $s=8.3mm$, $t=4mm$



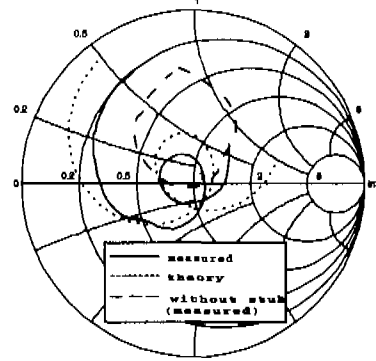
(c) 스텐브 연결위치 s에 따른 변화

$a=64.8mm$, $b=65.6mm$, $c=6.0mm$, $d=14.9mm$, $f_p=20.7mm$, $t=4mm$

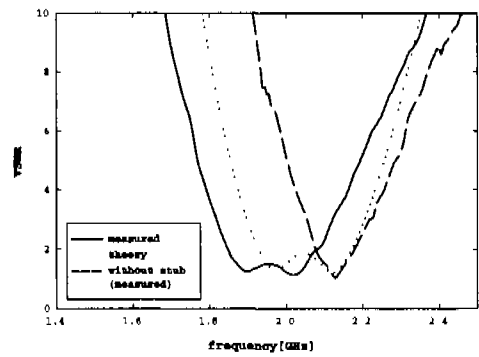
그림 2. 스텐브의 치수, 연결 위치에 따른 입력 임피던스의 변화

그림에서 알 수 있듯이 c 의 길이가 증가할수록 낮은 쪽 공진 주파수가 내려간다. 또한 임피던스는 c 의 길이에 비례하여 작아지는데, 위쪽 공진 주파수에서의 영향이 더욱 크다. 그림 2(b)에는 기준 안테나에서 스테브의 폭 d 만 변할 때의 입력 임피던스를 나타내었다. 공진 주파수는 거의 변하지 않는 대신 아래쪽 공진 주파수에서의 임피던스의 크기가 d 에 비례하여 커지는 것을 알 수 있다. 그림 2(c)에서는 스테브의 위치 s 에 따른 영향을 살펴보았다. 스테브의 위치가 안테나의 중심에 가까워질수록, 위쪽 공진 주파수에서의 임피던스가 점점 작아지므로, 광대역 특성이 점점 사라진다는 것을 알 수 있다. 여기에 결과물 실지는 않았지만 급전점의 위치에 대한 임피던스의 변화는 급전점이 중심에 가까워질수록 임피던스의 크기가 작아지는 마이크로스트립 패치 안테나의 일반적인 특성을 그대로 따른다. 이상의 분석결과에서 알 수 있듯이 스테브와 관련된 이 파라미터들의 값을 적절하게 선택하면 두 공진 주파수가 서로 가까워지도록 할 수 있으며, 결과적으로 넓은 주파수 범위에서 동작하는 광대역 특성을 얻을 수 있다. 또한 안테나의 입력 임피던스도 조절할 수 있으므로, 임피던스 정합을 쉽게 이룰 수 있다.

각 설계 파라미터에 따른 안테나 특성 변화의 양상들을 참고하고, 이론적인 해석과 실험을 여러 번 수행하여 IMT-2000 시스템에 적용될 수 있는 최적의 안테나의 치수를 구하였다. 그림 3은 $a=61.2mm$, $b=64.7mm$, $c_1=8.5mm$, $d_1=18.2mm$, $c_2=9.0mm$, $d_2=17.6mm$, $s_1=10.3mm$, $s_2=9.8mm$, $f_p=23.1mm$ 로 설계된 안테나에 대한 해석과 실험 결과이다. 그림을 보면 해석 결과는 측정 결과에 비해 임피던스가 약간 크고, 공진 주파수도 높게 나왔지만, 전체적인 변화의 추세를 거의 정확하게 예측하고 있음을 알 수 있다. 안테나의 중심 주파수는 $1.937GHz$, 두 공진 주파수는 각각 $1.877GHz$ 과 $2.02GHz$ 이며, 대역폭은 정재파비(VSWR) 2 이하를 기준으로 할 때, $1.85GHz$ 에서 $2.08GHz$ 까지 $230MHz$ 로 측정되어 IMT-2000에 해당되어 있는 $1.885GHz$ 에서 $2.025GHz$ 까지의 주파수 대역을 충분히 포함하고 있음을 알 수 있다. 이 대역폭은 중심주파수의 11.9%에 해당하는 값으로, 스테브가 없는 단일 사각형 패치 안테나의 대역폭 4.5%와 비교하면 2.65배가 된다. 따라서 기존 안테나에 비해 매우 우수한 광대역 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 안테나의 중심 주파수에 근처에 해당하는 $1.955GHz$ 에서 측정된 방사패턴으로



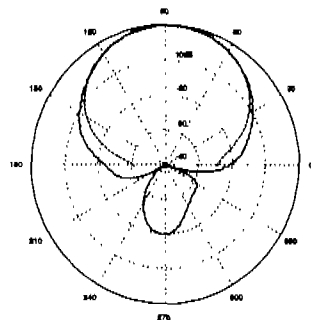
(a) 임피던스 궤적



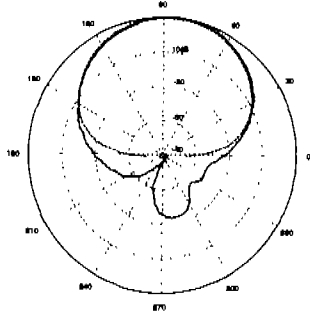
(b) 정재파비(VSWR)

그림 3. 설계된 광대역 안테나의 해석 결과와 측정 결과의 비교

$\phi=0^\circ$ 인 평면에서의 반전력, 즉 $3[db]$ 빔폭은 63° , $\phi=90^\circ$ 인 평면에서는 64° 로 각각 측정되었으며 브로드사이드 방향으로 방사 전력이 최대인 방사 특성을 가진다는 것을 알 수 있다. 방사 패턴에 대한 수치 해석은 세그멘테이션 방법과 공동 모델을 통해 패치 가장자리에 설정한 다수의 포트에서 전압을 구한 다음 이를 등가 전류원(equivalent



(a) $\phi=0^\circ$ (y-z 평면)



(b) $\phi = 90^\circ$ (x-z 평면)

그림 4. 설계된 광대역 안테나의 방사 패턴
(— : measured, --- : theory)

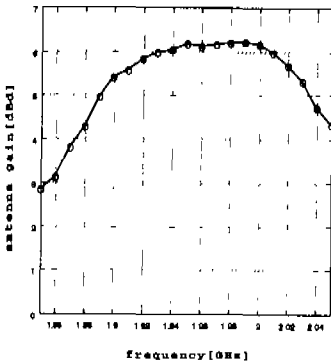


그림 5. 설계된 광대역 안테나의 이득 곡선

magnetic current source)으로 나타내고 이 전류원들에 의한 전계를 중첩(superposition)하는 방법^[11]을 통해 수행하였으며 그 결과를 측정 결과와 함께 표시하였다.

표 1. 설계된 광대역 안테나의 주요 전기적 특성(측정값)

항목	주파수 [GHz]			
	1885	1955	2025	
입력 임피던스 [Ω]	34.67 -j6.28	60.86 -j14.51	39.68 +j5.42	
정재파비	1.48	1.38	1.29	
반사손실 [dB]	-14.26	-15.81	-17.85	
3[dB] 반폭 [°]	$\phi = 0^\circ$ 평면	X	63	X
	$\phi = 90^\circ$ 평면	X	64	X
이득 [dBi]	4.58	6.27	5.22	

그림 5는 표준 혼 안테나(standard horn antenna)를 사용하여 측정된 안테나 이득(gain)으로 동작 주파수 대역 내에서 최소 4.58[dBi]에서 최대 6.27[dBi]의 값을 나타내고 있으며 다이폴 안테나에 비해 높은 이득 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 표 1에 안테나에 대한 주요 전기적 특성의 측정값을 요약하여 나타내었다.

IV. 결론

본 논문에서는 광대역 특성을 나타내는 새로운 구조의 단일 패치 안테나를 제안하였다. 세그멘테이션 방법과 공동 모형을 사용하여 제안된 안테나의 특성을 해석하고, 실제 측정 결과와 비교·분석하였다. 이론적 해석을 통해 실험 결과를 정확하게 예측할 수 있었으며, 따라서 짧은 계산 시간과 정확성을 고려할 때, 이 방법이 여러 형태의 평면형 안테나의 해석에 적용될 수 있음을 보였다. 제안된 안테나의 구조는 보통의 사각형 패치에 두 개의 스텐브가 연결되어있는 간결한 단일 패치 형태로, 스텐브가 달려있지 않은 사각형 패치 안테나보다 동작 대역폭이 매우 넓은 광대역 특성을 나타낸다는 사실을 이론적인 해석과 실험을 통해 확인할 수 있었다. 또한 스텐브의 치수가 안테나의 특성에 미치는 영향을 분석하여 안테나 제작시, 주요 설계 파라미터로 활용될 수 있음을 보였다. 제안된 구조의 안테나에서는 기존의 패치 안테나에서는 어려운 주파수 미세 조정(trimming)을 간편하게 할 수 있으므로, 이 구조를 적용하면 안테나를 쓰이는 곳에 맞추어 쉽게 설계·제작할 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] S. Maci and G. B. Gentili, "Dual frequency patch antennas," *IEEE Antennas Propagat. Magazine*, vol. 39, No. 6, pp. 13-20, Dec. 1997.

[2] A. G. Derneryd, I. Karlsson, "Broadband microstrip antenna element and array," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-29, pp. 140-144, Jan. 1981.

[3] R. Q. Lee, K. F. Lee, and J. Bobinchak, "Characteristics of a two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna," *Electron. Lett.*, vol. 23, pp. 1070-1072, 1987.

[4] G. Kumar and K. C. Gupta, "Nonradiating edges and four edges gap-coupled multiple resonator broad-band microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-33, pp. 173-185, Feb. 1985.

[5] K. L. Wong and Y. F. Lin, "Small broadband rectangular microstrip antenna with chip-resistor loading," *Electron. Lett.*, vol. 33, No.19, pp. 1593-1594, Sep. 1997.

[6] T. Huynh and K. F. Lee, "Single-layer single patch wideband microstrip antenna," *Electron. Lett.*, vol. 31, No.16., pp. 1310-1312, Aug. 1995.

[7] S. E. Davidson, S. A. Long and W. F. Richards, "Dual-band microstrip antennas with monolithic reactive loading," *Electron. Lett.*, vol. 21, No.20., pp. 936-937, Sep. 1985.

[8] S. K. Palit and A. Hamadi, "Design and development of wideband and dual-band microstrip antennas," *IEE Proc. Microw. Antennas Propagat.*, vol. 146, pp. 35-39, Feb. 1999.

[9] V. Palanisamy and R. Garg, "Analysis of arbitrary shaped microstrip patch antennas using segmentation technique and cavity model," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, pp. 1208-1213, Oct. 1986.

[10] J. G. George, C. K. Anandan, P. Mohanan and K. G. Nair, "Analysis of a new compact microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-46, pp. 1712-1717, Nov. 1998.

[11] A. Sabban and K. C. Gupta, "Characterization of radiation loss from microstrip discontinuities using a multiport network modeling approach," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-39, No. 4, pp. 705-712, Apr. 1991.

1994년 8월~현재: 연세대학교 전기·컴퓨터 공학과 박사과정
 <주관심 분야> 안테나, 초고주파 회로설계 및 전자기 해석

이 승 엽(Seung-Yeop Rhee) 정회원



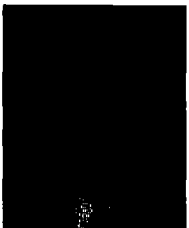
1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
 1993년 8월 : 연세대학교 전자공학과 공학 박사

1993년 9월~현재: 여수대학교 전자통신과 부교수
 <주관심 분야> 안테나, 초고주파 회로설계 및 전자기 해석, 광음 이용한 마이크로파소자 제어

박 한 규(Han-Kyu Park) 정회원

한국통신학회 논문지 제25권 제2호 참조
 현재: 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 교수
 <주관심 분야> 이동통신, 안테나, 마이크로파 통신, 전파전파

유 태 훈(Tae-Hoon Yoo) 정회원



1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
 1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
 1987년 2월~1993년 2월 : 삼성 전자 정보통신 연구소
 1993년 3월~현재: 동양공업전문 대학 전자통신과 부교수