
마이크로스트립 U 슬롯 패치 안테나의 설계

이진선*, 강치운**, 윤서용***, 이봉석***, 김우수**, 이문수***

A Design of Microstrip U-slotted Patch Antenna

Jin-Son Lee*, Chi-Woon Kang**, Seo-Yong Yoon***,
Bong-Seok Lee***, Woo-Soo Kim**, Mun-Soo Lee***

본 연구는 1999년 연암공업대학 산학협동연구소의 지원에 의한 것임

요 약

본 논문에서는 대역폭을 향상시키기 위하여 이중공진을 갖는 마이크로스트립 U형 슬롯 패치 안테나를 설계·제작한다. U형 슬롯 패치 안테나를 설계하는데 있어서 입력 임피던스, 패치 폭, 슬롯의 전체길이, 발포형 유전체의 높이, 급전 위치 및 핀의 반경 등을 고려해야 한다. 안테나의 광대역 특성을 얻기 위해서는 슬롯의 폭과 길이를 조절한다. 안테나의 방사는 수직슬롯에 평행인 E면 패턴과 수평슬롯에 평행인 H면 패턴을 갖는 선형편파 특성을 갖는다. 안테나의 방사패턴, 임피던스 도표, 전압정재파비는 "ENSEMBLE"을 사용하여 계산하고 실험결과와 비교한다. 실험 결과 $VSWR \leq 2:1$ 인 임피던스 대역폭은 약 28.6%이며, 6.040GHz에서 지향성 이득은 14.18dBi 이다.

Abstract

In this paper, it is designed a microstrip U-slotted patch antenna with double resonances to enhance the bandwidth. In the design of an U-slotted patch antenna, there are considered the input impedance, the width of patch, the total length of the slot, the height of foam, the position of the probe and the radius of feed pin. The broadband behavior of antenna can be obtained by adjusting the length and width of the slot. The radiation from the antenna is linear polarized with the E-plane parallel to the vertical slots and the H plane

* 연암공업대학 컴퓨터 정보기술과

** 동의공업대학 전자통신과

*** 경상대학교부설 정보통신연구센터

접수일자 : 1999년 8월 7일

parallel to horizontal slot. The radiation pattern, impedance locus, and VSWR of the antenna are calculated using "ENSEMBLE" software, and compared with the experimental results. Experimental results show that the bandwidth for VSWR \leq 2:1 is about 28.6%, a directivity 14.18dBi at 6.040GHz

I. 서론

마이크로스트립 안테나는 본질적으로 대역폭이 1~5%로 좁고 이득이 낮은 단점이 있다. 이는 보다 광범위한 활용에 많은 제약을 수반한다. 따라서 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 개선하기 위한 많은 방법이 연구되고 있다.

Derneryd와 Murphy^{[1],[2]}는 유전체 기판의 두께를 증가시켜 안테나의 방사 효율을 높혀 10%정도 대역폭을 향상시키는 기법을 개발하였으나, 가장자리에서 회절이 발생하여 방사효율을 저하시키는 문제가 있다. 다른 방법은 슬롯 결합 적층 안테나로^{[3],[4]}, 접지면에 의해 분리된 서로 다른 기판에 급전선과 방사소자를 각각 배치하고, 이들을 접지면에 있는 슬롯을 이용하여 급전시켜 30%정도 대역폭을 개선한 것이다. 이 방식은 접지면이 방사 패턴이나 편파 특성을 열화시키는 급전선의 기생방사를 막을 수는 있지만, 전자기적 결합을 위한 패치 안테나의 슬롯, 패치, 급전선의 정렬이 어렵고 안테나의 부피를 크게 하는 단점이 있다. 또 다른 방법으로는 여러개의 패치를 적층 배열하거나^{[6],[7]} 동일 평면상에 배열하므로 20%정도 대역폭이 개선 될 수 있지만, 방사 패치와 기생 패치간의 간격이나 패치의 크기에 따라 방사 특성의 변화가 크며 안테나의 두께나 넓이가 커지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 방법들이 갖는 단점을 보완하고 마이크로스트립 안테나의 장점을 유지하면서 대역폭을 개선시키는 방법을 제시한다. 안테나 방사소자에 U형 슬롯을 에칭하고 발포형 유전체 ($\epsilon_r=1.06$)로 패치를 접지판 위에 지지하는 구조로 한다. 여기에서 대역폭이 넓어지는 원인은 패치와 슬롯에 의한 이중공진(double resonances) 효과에 의한 것으로 두 공진주파수를 적절히 위치시켜 원하는 대역폭을 얻을 수 있다. U형 슬롯 마이크로스트립 패치 안테나의 공진주파수를 결정하는 요소는 패치의 길이와 폭, 급전선의 위치 그리고 슬

롯의 크기 등이 있다. 슬롯의 가장자리를 따라 흐르는 전류에 의해 상위 공진주파수가 얻어지고 패치에 의해 하위 공진주파수가 정해져 이중공진이 된다. 상위 공진은 슬롯의 전체 길이에 의해 결정된다. 즉 수직 슬롯과 수평 슬롯의 길이와 폭으로 공진주파수를 조절할 수 있다. 슬롯은 급전프루브의 유도성 리액턴스를 상쇄시키는 용량성 리액턴스 성분을 가지며, 안테나의 방사는 수직 슬롯에 평행인 E면 패턴과 수평 슬롯에 평행인 H면 패턴을 갖는 선형 편파특성을 갖는다. 이러한 안테나를 구현하기 위해 U형 슬롯이 포함된 사각 패치(rectangular patch)를 사용하였으며 실험을 통하여 비유전율이 공기와 거의 같은 발포형 유전체로 패치를 지지하고 패치의 폭 $W=3.658\text{cm}$, 길이 $L=2.072\text{cm}$, 슬롯의 전체길이 $LS=7.422\text{cm}$, 슬롯의 폭 $g=0.169\text{cm}$ 인 패치에 동축선로로 중앙급전을 하여 중심주파수 5.8GHz에 공진되도록 한다. 이와 같은 구조를 갖는 마이크로스트립 안테나를 안테나 해석 소프트웨어인 Ensemble 5.0에 의한 설계치와 제작된 안테나의 측정치를 비교하여 대역폭이 개선될 수 있음을 이론과 실험을 통하여 확인한다.

II. 기본 방사기 설계

마이크로스트립 안테나의 장점인 소형을 유지하며 대역폭을 확장하기 위해 단일 패치로 설계한다. 본 논문에서 설계하고자 하는 U형 슬롯 패치 안테나의 기본 방사기는 그림 1과 같이 서로 다른 공진주파수를 갖는 두 개의 방사기로 구성된다. 패치와 접지판 사이에 공기와 유전율이 거의 같은 발포형 유전체로 안테나를 고정시킨다. 기존 마이크로스트립 안테나의 기판 두께(h)는 일반적으로 $h=0.01\lambda$ 에서 $h=0.03\lambda$ 정도이며, 0.03λ 이상이 되면 유도성 리액턴스 성분이 크게 증가되어 입력 임피던스 정합이 어렵게 된다. 따라서 본 설계에서는 두꺼운($h=0.04\lambda$ 혹은 $h=0.08\lambda$) 발포형 유전체를

사용하였을 때의 유도성 리액턴스와 프루브가 갖는 유도성 리액턴스 성분을 상쇄시키기 위하여 패치의 중앙 급전점 부근을 U자 형태로 잘라내어 정전용량 성분을 갖게 한다. 또한 U형 슬롯의 가장 자리를 흐르는 전류가 패치 자체의 공진주파수에 인접한 주파수로 공진시켜 패치와 U형 슬롯에 의한 이중공진 효과로 임피던스 대역폭을 증가시키는 마이크로스트립 안테나를 설계한다.

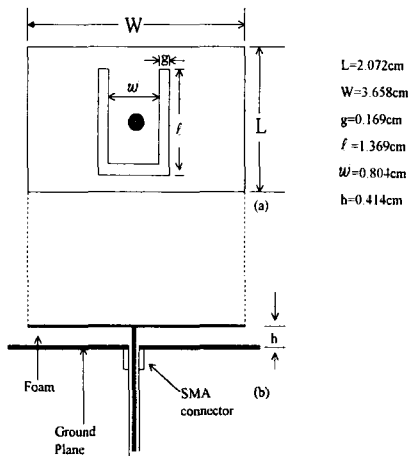


그림 1. 동축 급전형 U 슬롯 패치 안테나 구조
Fig. 1 Geometry of the coaxial-fed microstrip U-slotted patch antenna (a) Top view (b) Side view

1. 패치의 폭과 길이

유전체 기판의 두께 h, 공진주파수 f_r 인 마이크로스트립 패치 안테나의 유효방사기의 실제폭^[8]은

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_e + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

이다. 여기서 c는 광속이고 ϵ_e 은 유효유전율이다. 패치의 폭은 방사 효율이 최대가 되는 폭[9]으로 선정되어야 한다. 식 (1)보다 폭 W가 좁으면 방사 효율이 저하되고 넓으면 방사효율이 높아지나 고차모드가 여기되어 방사패턴이 나빠진다. 폭 W가 정해지면 유효유전율과 종단효과에 의한 길이 증

가분 Δl_{oc} 에 의해 패치의 유효길이 L은

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l_{oc} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-1/2} \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta l_{oc} = 0.412 \left(\frac{\epsilon_e + 0.3}{\epsilon_e - 0.258} \right) \left(\frac{W/h + 0.264}{W/h + 0.813} \right) h \dots\dots (4)$$

이며, 공진 주파수는 식 (2)에 의해

$$f_r = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}(L + 2\Delta l_{oc})} \dots\dots\dots (5)$$

이다.

2. 프루브 급전 패치 임피던스

그림 1에서 프루브로 급전된 패치의 입력임피던스는

$$Z_{in} = \left[\frac{Z_o}{f_1 + f_2} \right] + jX_p \dots\dots\dots (6)$$

여기서,

$$f_1 = \frac{Z_o \cos \beta l_1 + jZ_w \sin \beta l_1}{Z_w \cos \beta l_1 + jZ_o \sin \beta l_1} \dots\dots\dots (7)$$

$$f_2 = \frac{Z_o \cos \beta l_2 + jZ_w \sin \beta l_2}{Z_w \cos \beta l_2 + jZ_o \sin \beta l_2} \dots\dots\dots (8)$$

이고, Z_w 는 패치의 끝에서의 임피던스이며, 프루브 급전선로의 특성 임피던스 Z_o 는

$$Z_o = \frac{\eta_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_o}} \ln \left[\frac{8h}{w'} + 0.25 \frac{w'}{h} \right], w/h \leq 1 \dots\dots (9)$$

$$Z_o = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_e}} \left[\frac{w'}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w'}{h} + 1.444 \right) \right]^{-1}, w/h \geq 1 \dots\dots\dots (10)$$

이다.

그리고 프루브 리액턴스^[9]는

$$X_p = 120\pi \frac{h}{\lambda_0} \left(-\gamma + \ln \frac{2\lambda_0}{\pi d \sqrt{\epsilon_r}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

여기서, d는 프루브 반경이고, 오일러 상수 γ 은 0.5772이다.

3. U형 슬롯의 폭과 길이

마이크로스트립 급전선로의 임피던스와 패치 임피던스를 정합시키기 위해 선로 폭은 기판 두께가 증가됨에 따라 넓어져야 한다. 마이크로스트립 선로 폭이 커지면 마이크로스트립 선로에서 방사하여 방사패턴에 간섭을 준다. 이런 단점과 구조상의 문제 때문에 프루브 모델^[11]에 의한 급전을 사용한다. 프루브급전은 그 자체가 가지고 있는 유도성 리액턴스 성분으로 입력 임피던스 정합을 어렵게 한다. 이러한 프루브 유도성 리액턴스를 보상하기 위해 직렬 정전용량을 추가하여 안테나의 입력 임피던스가 실수로 되게 하여야 하므로 U형의 슬롯을 패치의 중앙 급전점 부근에 만들어 정전용량 성분이 생기게 한다. U형 슬롯에 의하여 형성되는 정전용량은 유도성 리액턴스를 충분히 상쇄시킬 정도의 값을 필요로 한다.

그러므로 필요한 U형 슬롯의 정전용량 C_{slot} 은^[10]

$$C_{slot} = \frac{1}{\omega_r^2 L_p} \dots\dots\dots (12)$$

이다. 여기서 ω_r 는 공진주파수, L_p 는 프루브 유도성 리액턴스이다^[11].

$$L_p = -\frac{\mu_0 h}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{kb}{2} \right) + \gamma \right] \dots\dots\dots (13)$$

프루브의 유도성 리액턴스를 보상하기 위해 패치상에 만든 U형 슬롯의 정전용량의 근사값^[10]은

$$C_{slot} = \pi^{0.5} \left(\frac{w'}{l} \right) \epsilon_0 (\epsilon_r + 1) (w' + l) \dots\dots\dots (14)$$

이고, $w' = w - 2g$ 이다.

그림 1 (b)에서 접지판에서 패치까지 커넥터의 심선이 프루브가 되며, 프루브 직경은 0.127cm이고

길이는 0.414cm이다.

III. 안테나 설계 및 제작

사용될 기판상에서 5.8GHz에서 공진하는 U형 슬롯이 없는 패치의 치수는 폭 3.658cm이고, 길이는 1.906cm이다. 여기에 U형 슬롯을 패치상에 만들 경우, 패치폭을 3.658cm로 고정시키면, 길이가 2.072cm로 된다. 안테나 중심주파수 5.8GHz에서 사용될 기판($\epsilon_r=1.06$, $h=0.414$)과 커넥터의 치수에 대한 식 (13)으로부터 구한 프루브 리액턴스값은 $L_p = 2.393nH$ 이다. L_p 을 식 (12)에 대입하면 U형 슬롯의 정전용량값은 $C_{slot}=0.315pF$ 이 된다. 패치상 U형 슬롯의 설계는 그림 1의 슬롯치수 w , l , g 중에서 우선 g 와 w 의 초기치를 먼저 정한 후 l 값을 식 (14)를 사용하여 구한다. C_{slot} 이 L_p 를 충분히 상쇄시키도록 슬롯 치수를 설계한다. 최종 설계된 슬롯의 치수는 $g=0.169cm$, $w=1.142cm$, $l=1.369cm$ 일 때 $C_{slot}=0.391pF$ 가 되므로 프루브 유도성 리액턴스를 충분히 보상할 수 있는 값이 된다.

위에서 기술한 설계 방법으로 폭을 고정하고 기판 두께와 패치 길이를 다르게 하여 실험한 결과 안테나 치수는 표 1의 경우가 안테나 제특성이 뛰어나므로 제작하여 실험한다. 제작된 안테나는 사진 1과 같으며 방사 소자는 두께 0.01cm의 순동판을 이용한다.

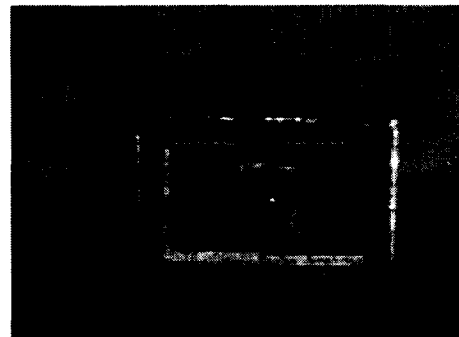


사진 1. 제작된 안테나
Photo 1. The fabricated antenna

표 1. 안테나 크기

Table 1. The dimensions of antenna

폭(cm)	길이(cm)	높이(cm)	슬롯길이(cm)
3.658	2.072	0.414	7.422

여기서 슬롯의 길이는 $L_s=4l+2(w-g)$ 이다.

IV. 실험 및 고찰

본 연구에서 제작된 안테나의 입력 임피던스와 VSWR 등은 벡터 회로망 분석기(Vector Network Analyzer)로 측정했다. 마이크로스트립 U형 슬롯 패치 안테나의 VSWR과 임피던스 도표에 대한 계산치와 실험치는 각각 그림 2, 그림 3에 비교하였다. 그림 4에서 최대 공진 주파수는 설계 주파수보다 약간 위로 천이한 현상을 볼 수 있으나 이것은 분산 효과 및 유효 유전율의 비선형 특성에 의하여 실제 패치의 폭과 길이보다 감소되어 공진주파수가 이동되었다고 볼 수 있다. 방사패턴의 실험치와 E면 H면은 각각 그림 5, 그림 6와 같다. 그림 7은 그림 1의 설계치로 제작할 때 -10dB 이하 대역폭이 28.5%이고 길이 L과 높이 h를 변화 시킬 경우 대역폭이 L=1.906cm, h=0.414cm 일 때 23.5%와 L=1.930cm, h=0.207cm일 때 20.3%로 저하되어 길이 L 보다 높이 h가 더 민감함을 알 수 있다.

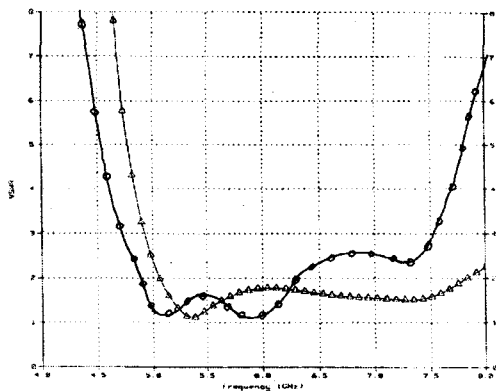


그림 2. VSWR의 계산치 및 측정치 비교
Fig. 2 Comparison of the calculated and measured VSWR ○: measured △: calculated

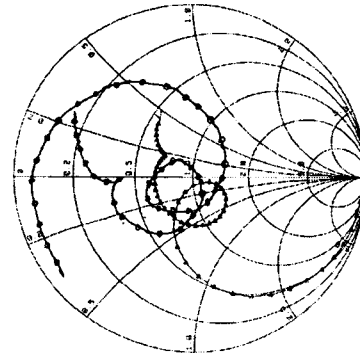


그림 3. 안테나의 임피던스 도표
Fig. 3 Impedance locus of antenna
○: measured △: calculated

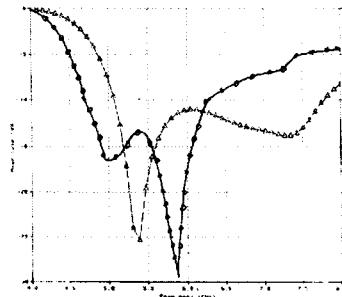


그림 4. 안테나의 공진주파수와 대역폭
Fig. 4 Bandwidth and resonances of antenna
○: measured △: calculated

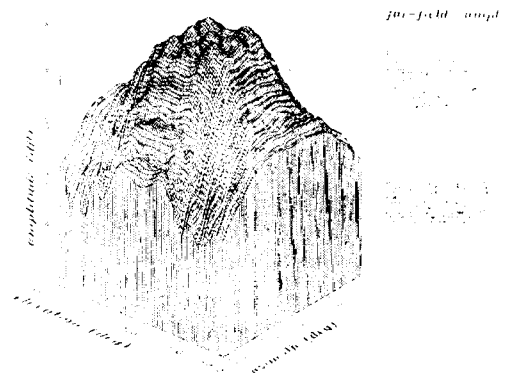


그림 5. 측정된 방사패턴(실험치)
Fig. 5 Measured radiation pattern

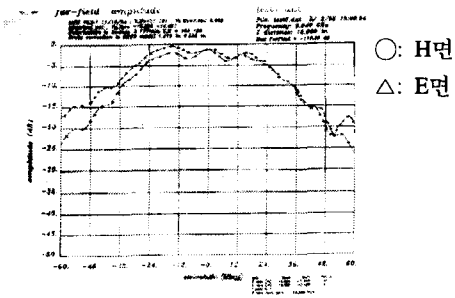


그림 6. 안테나의 E면 H면(실험치)
Fig. 6 E-plane and H-plane of antenna

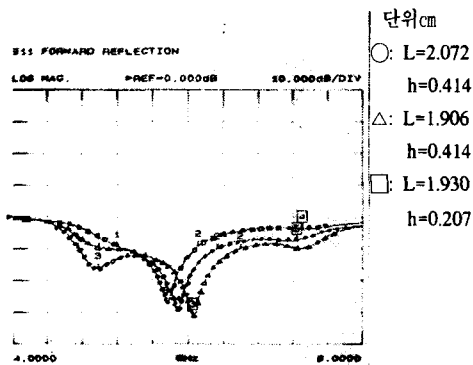


그림 7. 패치의길이(L)과 유전체 높이(h) 변화에 따른 반사손실.
Fig. 7 Return loss variation by patch length and foam height

VI. 결론

본 논문에서는 소형이면서 광대역 특성을 가진 6 GHz대의 마이크로스트립 U형 슬롯 패치 안테나를 설계·제작하였다. 마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭을 개선하고자 단일층 패치에 발포형 유전체를 접지판과 패치사이에 삽입하고 U형 슬롯을 가진 패치의 중앙에 프루브 급전을 하였다. 이 구조는 적층구조나 기생소자를 사용한 패치안테나보다 안테나의 크기를 크게 줄일 수 있으며, 또한 우수한 광대역특성을 얻을 수 있었다. 마이크로스트립 패치 안테나는 모멘트법으로 작성된 Ensemble 5.0으로 설계하고 그 특성을 계산하였다. 제작된 안테

나는 벡터회로망분석기(Wiltron 360)와 근접 전계 측정 시스템(NSI 255)을 이용하여 전압정재파비(VSWR)와 방사패턴을 측정하였다. 실험을 통하여 U형 슬롯과 패치에 의한 이중공진으로 VSWR이 2 이하인 주파수 대역폭이 28.6%로 광대역 특성이 얻어짐을 실험적으로 확인하였다. 중심주파수인 6.040GHz에서 측정 지향성 이득은 14.18dBi 이다. 광대역 U형 슬롯 패치 안테나의 제작에서 중요한 파라미터는 입력 임피던스, 패치의 폭, 슬롯의 전체길이, 발포형 유전체의 높이, 급전프루브의 위치, 급전프루브의 직경 등이다. 앞으로 연구해야 할 과제는 U형 슬롯 마이크로스트립 안테나의 방사 특성을 이론적으로 규명하는 일이다.

참고문헌

- [1] A. G. Demeryd, A. G. Lind, "Extended analysis of rectangular microstrip resonator antenna", IEEE Trans., Ap-27 pp. 846-849, 1979
- [2] L. Murphy, "SEASAT and SIR-A microstrip antennas", Proc, Workshop on printed circuit antenna technology, Oct. paper 18, 1979
- [3] Eli Aloni & Raphale Kastner, "Analysis of a dual circularly polarized microstrip antenna fed by crossed slots", IEEE trans. antenna propagat, Vol. 42 No. 8 Aug. pp. 1053-1058, 1994
- [4] Frederic Croq & David M. Pozar, "Millimeter-wave design of wide-band aperture stacked microstrip antennas", IEEE trans. antenna propagat, Vol. 39 No.12 Dec. pp. 1770-1776, 1991
- [5] S.D Targonski & R.B. Waterhouse, "An aperture coupled stacked patch antenna with 50% bandwidth", IEEE antenna propagat. Soc. Int. symp. dig, pp.18-21, 1996
- [6] C.K Aanandan, P.Mohanan & K.G. Nair, "Broad-band gap coupled microstrip antenna", IEEE trans. antennas propagat, Vol.38 No.10 Oct pp. 1581-1586, 1990

- [7] Mohamed Sanad, "A compact dual-broadband microstrip antenna having both stacked and planar parasitic elements", IEEE antennas propagat. Soc. Int Symp. Dig pp. 6-9, 1996
- [8] D. C. Youla, "A new theory of broadband matching", IEEE trans, circuit theory, Vol. CT-11, pp. 30-50, Mar, 1964
- [9] Dearnely, R.W., A.R.F Barel, "A broad-band transmission line model for a rectangular microstrip antenna", IEEE trans, antenna and propagation, Vol. 33, No.4, April, pp. 369-374, 1985
- [10] Bernard, R. R. Tchanquiz, and A. papiernik, "Capacitors provide input matching of microstrip antennas", Microwaves & RF, Vol.33, no.7, July pp. 103-106, 1994,
- [11] Zheng, J. X., D.C.Chand, "End-correction network of a coaxial probe for microstrip patch antennas," IEEE trans. on antenna and propa., Vol.39, No.1, Jan. pp.115-118, 1991

이 진 선(Jin Son Lee)

1977년 2월 숭실대학교 전자계산과 졸업
 1980년 10월 연세대학교 산업대학원 전자계산과
 1999년 2월 경상대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1977년 7월~1982년 6월 국방과학연구소 연구원
 1984년 1월~현재 연암공업대학 컴퓨터정보기술과 교수



강 치 운(Chi-Woon Kang)

1986년 제주대학교 통신공학과 (공학사)
 1988년 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 1999년 경상대학교 대학원 전자통신과 부교수

1991~현재 동의공업대학 전자통신과 부교수

*관심분야 : 초고주파 회로 및 안테나



윤 서 용(Seo-Yong Yoon)

1980년 숭실대학교 전자공학과 (공학사)

1982년 숭실대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1999년 경상대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

1997년~현재 텔슨정보통신 대표이사

*관심분야 : 초고주파 회로 및 안테나



이 봉 석(Bong-Seok Lee)

1980년 광운대학교 통신공학과 (공학사)

1991년 경희대학교 산업정보대학원 전자공학과(공학석사)

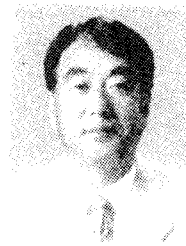
1997년~현재 경상대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

1980년~1982년 동아건설산업(주) 통신주임

1983년~1986년 Ericsson system Manager

1986년~현재 한국통신기술(주) NI 사업부장

*관심분야 : 이동통신, 마이크로파, GIS 등



김 우 수(Woo-Soo Kim)

1981년 동아대학교 전자공학과 (공학사)

1990년 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)

1999년 경상대학교 대학원 전자공학과(박사과정)

1978년~현재 동의공업대학 전자통신과 교수

*관심분야 : 초고주파 회로 및 안테나



이 문 수(Mun-Soo Lee)

1970년 2월 한국항공대학교 통
신공학과 졸업

1984년 8월 한양대학교 대학원
전자통신과(공학박사)

1981년 3월~1986년 3월 제주
대학교 부교수

1986년 9월~1987년 8월 미국 COMSAT연구소 연
구원

1986년 3월~현재 경상대학교 전자공학과 교수

1997년 9월~현재 경상대학교 부설 정보통신연구
센터 소장

*관심분야 : 이동통신, 마이크로파, 안테나, GIS 등