

이동통신 단말기용 마이크로 스트립 패치 안테나 설계

문선주*, 김석훈**, 최재연***

요약

준 마이크로파 대역의 단말기용 소형 패치 안테나를 설계, 제작한다. 개인용 단말기의 안테나는 낮은 전력으로도 우수한 특성을 가져야 하는데, ISM 대역의 이동통신용 단말기에 채택가능한 소형 패치 안테나를 설계하고 제작하여 특성을 측정한다. 마이크로 스트립 안테나의 협대역 특성을 보완하기 위하여 광대역 기법을 도입하여 설계한다. 이 설계의 토대로 두 종류의 유전율에 대하여 마이크로 스트립 안테나를 제작하고 특성을 측정한다. 주파수 대역 확장을 위해 패러시틱 요소를 추가하여 반복 실험하여 최대 대역폭을 요구한다.

Design of Microstrip Patch Antenna for Mobile Communication

Sun-Joo Moon*, Seok-Hun Kim**, Jae-Yeon Choi***

ABSTRACT

In this study, a very efficient small antenna used in ISM band is designed and implemented. Additionally the desirable characteristic of the antenna is obtained by analysis and experiments. The suitable types of antenna are determined by considering the bandwidth, the electric field intensity of transmitter and receiver and the cell size. It is shown that the separation height between the patches plays a significant role in improving the impedance bandwidth of the antenna. A wideband technique is introduced to design a microstrip antenna to improve the narrow band characteristic. Two types of the microstrip antennas are implemented. The maximum bandwidth of the antenna with parasitic elements is obtained by repeating a number of experimental trials and referring to the analytic approximation formula.

Key Words : ISM band, patch, cellular antenna, parasitic element, broadband

* Imperial college London, UK, Dept. of Communications and signal processing(✉sunjoo.moon08@imperial.ac.uk)

** (주)타임시스템

*** 남서울대학교 정보통신공학과

· 제1저자(First Author) : 문선주 · 교신저자(Correspondent Author) : 최재연

· 접수일(2010년 11월 4일), 수정일(1차 : 2010년 12월 1일), 게재 확정일(2010년 12월 3일)

I. 서 론

최근의 개인 휴대통신용 단말기는 사용자가 소형 단말기를 이용하여 시간과 장소에 관계없이 음성신호와 데이터를 교류할 수 있도록 제안된 무선 통신 서비스를 제공한다. 개인이동통신은 이미 차세대 이동 통신의 주역이 되었고, 앞으로도 그 수요가 증대될 것으로 예상되며 국가 통신 기간 망으로서의 중요성을 가지게 될 것이다. 또한 개인이동통신은 현재 영상, 데이터 등의 멀티미디어 서비스를 용이하게 제공하고 셀룰라와의 상호 보완적 망설계 등이 가능하다.[1] 개인이동통신에서 단말기의 안테나는 송수신 특성을 결정짓는 가장 중요한 부분이다. 특히 낮은 전력으로도 우수한 성능을 가져야 한다. 뿐만 아니라 크기를 최소화하면서도 이득을 가능한 한 높여야 한다.

본 논문에서는 개인이동통신용 단말기의 고효율 소형 안테나를 설계한다. 국내 규격을 바탕으로 상용주파수, 주파수대역, 송수신 전계강도 및 셀 크기 등을 고려하여 개인이동통신 서비스에 적합한 패치 안테나의 종류를 결정하여 편파, 빔 패턴, 이득, 교차 편파 등과 같은 안테나 특성을 결정하고 안테나가 최적의 효율을 갖도록 설계 파라미터를 결정한다. 또한 크기는 가능한 작게 하면서 이득을 최대로 한다.

II. 마이크로스트립 안테나

2.1 안테나 설계[2][3][4]

마이크로 스트립 패치 안테나 설계의 주목적은 필요한 주파수 대역에서 원하는 동작특성을 만족시키기 위한 기판과 패치의 규격을 결정하는 것이다. 일반적으로 패치 안테나의 양호도가 기판의 파라미터들, 즉 공진 주파수, 두께, 유전상수등의 직접적인 함수로 표현될 수 없기 때문에 대역폭을 고려하기 매우 어렵다. 따라서 지금까지는 공진 주파수만을 고려하고, 필요

한 주파수 대역폭을 얻기 위하여 단계적이거나 시행착오적 설계 절차를 이용하였다. 설계 절차에서 우선 급전 위치를 결정해야 한다. 급전 위치는 급전선의 특성임피던스에 안테나를 정합시키기 위해서 수치 계산이나 실험에 의해서 얻어진 또 다른 설계 그래프를 이용함으로써 쉽게 설계될 수 있다. 기판의 두께와 유전상수가 정해지면 대역폭을 고려하여 개인 이동통신 사양에 따른 패치 안테나의 설계할 수 있는데, 패러시틱 요소가 없는 패치에 대해 다음 사항이 요구된다. [3][5][6][7]

주파수 범위 : 1885 ~ 2025 MHz

입 력 VSWR < 2, $Q_0 B_r = 0.75$

공진 주파수 $f_0 = 1955$ MHz

상대 대역폭 $B_r = x$ %

개인휴대전화에서 사용되는 주파수 대역폭은 약 104MHz(약 7%)이다. 실제 안테나 제작시 기판의 두께와 유전율을 임의의 값으로 조정하기는 힘들다. 위에서 상대 대역폭을 명시하지 않은 이유는 바로 이 같은 점을 고려하여 쉽게 구할 수 있는 기판의 두께와 유전율을 가지고 중심주파수 $f_0 = 1955$ MHz 가 되도록 넓이를 결정하기 위함이다. 이때 일단 대역폭은 고려하지 않지만 나중에 패러시틱 요소를 이용하여 요구되는 대역폭을 얻게된다. 그 과정은 다음과 같다.

원형 패치의 기본 모드에 대해서 다음 식이 성립한다.

$$f \sqrt{S} = A_0 / \{ \sqrt{\epsilon_r} F_1(\epsilon_r, \sqrt{S}/t) \} \quad (1)$$

$$A_0 = k' / (2 \sqrt{\pi \epsilon_0 \mu_0}) \quad (2)$$

$$k' = 1.8412$$

$$F_1(\epsilon_r, \frac{\sqrt{S}}{t}) = \left[1 + \frac{2t}{\pi a \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi a}{2t} + 1.7726 \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

패치의 면적 를 구하기 위해서 윗 식에 $a = \sqrt{S/\pi}$ 를 대입하고 난 뒤, $x = \frac{\sqrt{\pi S}}{2t}$ 로 치환하여 x 에 관해서 나타내고 F_1 을 대입하면

$$fx \frac{2t}{\sqrt{\pi}} = \frac{1.8412 \times 3 \times 10^8}{2\sqrt{\pi\epsilon_r} \times \sqrt{1 + \frac{1}{\epsilon_r x}(\ln x + 1.7726)}} \quad (4)$$

이다. 이 식을 이용하여 유전율과 두께가 서로 다른 유전체로 안테나를 제작한다.

먼저, $\epsilon_r = 2.50$, $t = 3.18\text{mm}$, $f = 1.955\text{GHz}$ 일 때, x 를 구하면 $x=13.203$ 이 되고, $a = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 26.73\text{mm}$, $Q_0 \cong 31.7$, $B_r = 2.366\%$ 이다. $R_{in} = 62.5$ 일 때 급전위치는 $\rho_0 = 6.86\text{mm}$ 이고, 즉, 패치의 중심에서 급전 점까지의 거리가 6.86mm 이다.

그 다음, $\epsilon_r = 10.2$, $t = 0.6\text{mm}$, $f = 1.955\text{GHz}$ 일 때, x 를 구하면 $x=36.6$ 이 되고, $a = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 13.98\text{mm}$ 이다. $R_{in} = 62.5$ 일 때 급전위치는 $\rho_0 = 3.625\text{mm}$ 이고, 즉, 패치의 중심에서 급전 점까지의 거리가 3.625mm 이다.

2.2 광대역 기법

마이크로 스트립 안테나는 로우 프로파일의 장점이 있고, 대역폭이 좁다는 장점이 있다. 대역폭을 늘리는 방법에는 낮은 양호도를 갖는 기판을 사용하는 방법, 패러시틱 요소를 이용하는 방법, 광대역 임피던스 정합 회로를 이용하는 방법, 어레이 방법 등이 있다.

[8][9]

2.2.1 낮은 양호도를 갖는 기판을 사용하는 방법

대역폭과 양호도는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$Q_0 B_r = \sqrt{(\beta\rho - 1)(1 - \frac{\beta}{\rho})} \quad (5)$$

여기서 β 는 결합 계수이고, ρ 는 정재파비이다.

낮은 양호도를 얻기 위해서는 유전체 기판의 두께가 두껍고, 유전율이 낮은 것을 써야 한다.

그림 1은 낮은 양호도를 갖는 기판을 사용했을 때 주파수에 따른 반사손실(return loss)의 특성을 나타낸 그림이다.

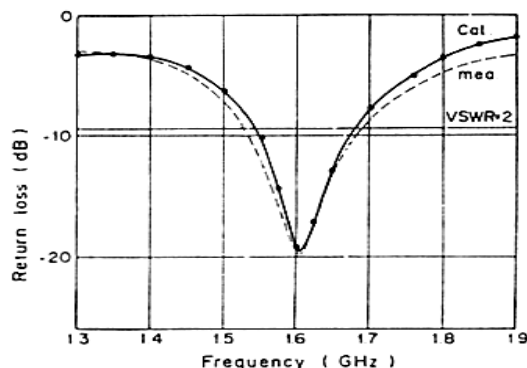


그림 1. 주파수에 따른 반사손실 특성

Fig. 1. Characteristics of Return loss according to the frequency

그림과 같이 대역폭이 약 8.75%로 증가되었음을 알 수 있다.

2.2.2 패러시틱 요소를 이용하는 방법

패러시틱을 이용한 대역폭 증가 방식은 복잡한 구조 때문에 정확한 해석이 거의 불가능하다. 따라서 특별한 해법이 없이 여러 가지 방법이 시도되고 있다.

그림 2는 패러시틱 요소가 있는 마이크로 스트립 안테나의 구조를 나타낸다.

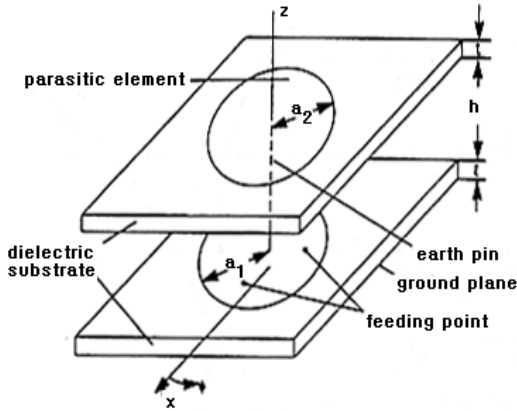


그림 2. 파라시틱 요소가 있는 마이크로스트립 안테나
Fig. 2. Microstrip Antenna with parasitic elements

여기서 원형 도체는 광대역을 위한 패러시틱으로 사용된다. 패러시틱이 있을 때의 대역폭 개선 효과를 항켈 변환 (Hankel Transform)에 의한 이론적 결과와 함께 비교하여 보면, 대역폭이 약 10배 정도 증가됨을 알 수 있다. 이 때의 복사 패턴과 이득은 패러시틱을 사용하지 않았을 때와 거의 차이가 없다.

2.2.3 광대역 임피던스 정합회로를 이용하는 방법

마이크로 스트립 안테나는 좁은 대역폭을 가지면서, 넓은 주파수 대역에 걸쳐서 좋은 복사 패턴과 지향성 이득을 준다. 즉 광대역 임피던스 정합 회로를 사용하면 광대역을 가지는 마이크로 스트립 안테나를 제작할 수 있다. [9]

2.2.4 어레이 방법

원형 편파를 갖는 안테나로 이루어진 어레이 안테나는 안테나 요소들을 배열하는 방식에 따라 대역폭을 증가시킬 수 있다. 그 중에서 순차 회전(sequential rotation) 배열 방식은 가장 좋은 효과를 나타낸다. 이 방식은 다음과 같은 배열 규칙에 따른다.

$$\phi_n = (n - 1) \frac{\pi}{N} \tag{6}$$

여기서 ϕ_n 은 n 번째 요소의 회전 각도이고, N 은 요소의 개수이다. 그림 3은 $N=2$ 일 때 이 규칙에 의해 배열한 구조를 나타낸다. 어레이 방법에서의 각각의 요소들은 입력에서의 반사파들이 서로 상쇄되도록 하기 위해서, 반사파들이 서로 다른 위상 천이를 갖도록 급전선의 경로 길이를 다르게 한다.

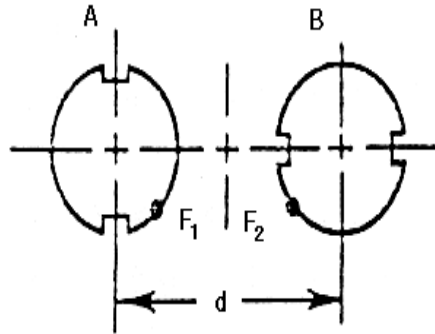


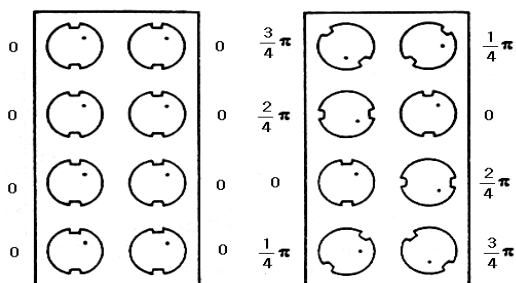
그림 3. N=2일 때의 배열 구조
Fig. 3. Array Configuration with N=2

그림 4는 이차원일 때의 어레이 안테나의 구조이다. 그림 4(a)는 기존의 방식에 의한 배열이고, 그림 4(b)는 순차 회전 방식에 의한 배열을 나타낸다.

어레이를 이차원으로 배열했을 때의 방식은 다음과 같다.

$$\phi_{mn} = (n - 1) \frac{\pi}{N} + (m - 1) \frac{\pi}{M} \tag{12}$$

여기서 ϕ_{mn} 은 m, n 번째 요소의 회전 각도이고, M, N 은 각각에서의 요소의 개수이다.



(a)기존방식 (b)순차회전방식
(a)existing method (b)sequential rotating method

그림 4. 2차원일 때의 배열 구조

Fig. 4. 2 dimensional array configuration

그림 5는 이 때의 정재파비에 의한 대역폭을 비교하여 나타낸 그림이다.

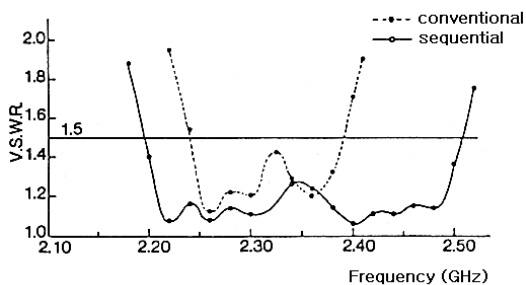


그림 5. 정재파비 특성

Fig. 5. Characteristic of VSWR

III. 안테나 제작 및 측정

3.1 안테나 제작

사용된 기판은 Roger사의 제품으로 $\epsilon_r=2.5$ 의 경우 ULTRA LAM 2000 계열이다.

재질은 PTFE(poly-tetrafluoroethylene)이고 두께는 $t=3.18mm$ 이다. $\epsilon_r=10.2$ 의 경우 RT/duroid 6010 계열이다. 재질은 세라믹과 PTFE의 합성 물질이고 두

께는 $0.6mm$ 이다. 규격에 따라 패치의 크기는 동일하게 놓고 급전점의 위치는 설계 값을 중심으로 약간의 변화를 주어 여러 개를 제작하였다. 이는 입력 임피던스를 구하는 식의 오차를 감안하여 한 것이다. 또한 패러시틱 요소도 패치의 크기를 중심으로 변화를 주어 여러 개를 제작하였다. $\epsilon_r=2.5$ 와 $\epsilon_r=10.2$ 인 경우에 대한 패치 안테나의 설계 도면은 그림 6, 그림 7과 같다. 안테나의 급전점의 위치는 입력임피던스식을 이용하여 입력 임피던스가 62.5 인 점을 찾았다. 각각에 대한 위치에 대한 입력 임피던스의 값은 다음 표와 같다.

표 1. 급전점 위치에 따른 임피던스

Table 1. Impedance according to the feeding point

위치(mm)	임피던스 값(Ω)	위치(mm)	임피던스 값(Ω)
3.58	61.10	6.79	61.67
3.59	61.42	6.80	61.84
3.60	61.74	6.81	62.01
3.61	62.06	6.82	62.19
3.62	62.38	6.83	62.36
3.63	62.71	6.84	62.53
3.64	63.03	6.85	62.71
3.65	63.36	6.86	62.88
3.66	63.68	6.87	63.06
3.67	64.01	6.88	63.23

(a) $\epsilon_r=10.2$ $a=13.98mm$ (b) $\epsilon_r=2.5$ $a=26.56mm$
 $\tan\delta=0.0023$ $h=0.6mm$ $\tan\delta=0.0018$ $h=3.18mm$

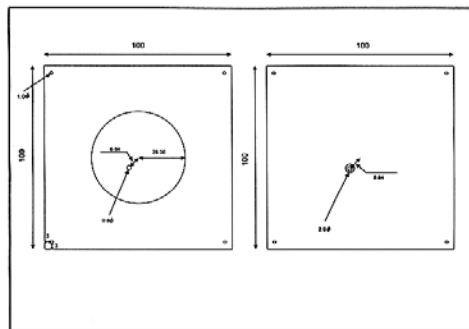


그림 6. $\epsilon_r=2.5$ 일 때의 설계도면

Fig. 6. Schematic diagram($\epsilon_r=2.5$)

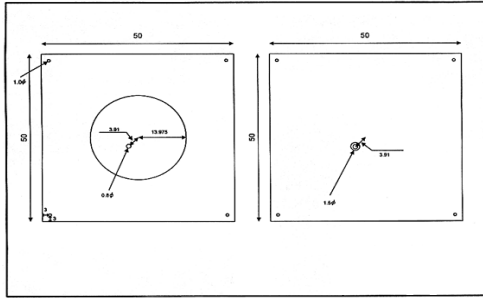


그림 7. $\epsilon_r = 10.2$ 일 때의 설계도면
Fig. 7. Schematic diagram($\epsilon_r = 10.2$)

3.2 측정 결과

제작한 안테나에 대한 측정은 크게 원거리 필드 패턴, 입력 정재 파비, 급전선의 길이에 따른 공진 주파수, 입력임피던스, 대역폭의 변화량을 알아보는데 중점을 두었다. 회로망 분석기(HP 8720C)와 제어기(controller)와 NSI사의 필드 측정 시스템(field measurement system)을 이용하여 원거리 필드 패턴의 V cut을 구하면, 빔폭은 $\epsilon_r = 10.2$ 의 경우 72° 이고 $\epsilon_r = 2.5$ 의 경우 62° 이다. $\epsilon_r = 2.5$ 의 경우 설계치보다 공진 주파수가 높게 제작되었기 때문에 빔폭이 좁아졌다고 볼 수 있다.

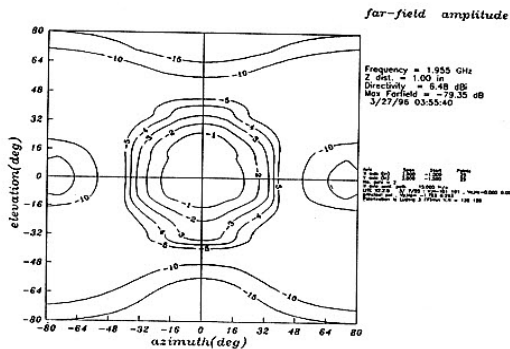


그림 8. 전체필드($\epsilon_r = 10.2, t = 0.6mm$,패러시틱요소 없을 때)
Fig. 8. total field contour plot ($\epsilon_r = 10.2, t = 0.6mm$,no parasitic element)

H cut 과 그림 8과 그림9의 전체 필드 세기를 통하여 살펴보면, $\epsilon_r = 10.2$ 인 패치 안테나의 경우 지향성 이득은 6.48dBi이고 패러시틱 요소를 추가한 것은 2.55dBi, $\epsilon_r = 10.2$ 인 패치 안테나의 경우 9.07dBi이다.

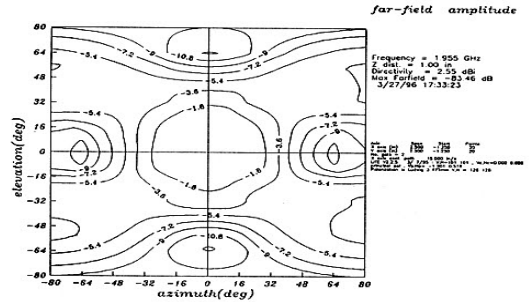


그림 9. 전체필드($\epsilon_r = 10.2, t = 0.6mm$,패러시틱요소 있을 때)
Fig. 8. total field contour plot ($\epsilon_r = 10.2, t = 0.6mm$,parasitic element exists)

그림10~12는 입력 정재파비를 나타내었다. 그림 10은 $\epsilon_r = 10.2$ 인 패치 안테나의 정재파비로서 VSWR<2인 주파수 대역이 15~16MHz이다. 이 패치 안테나에 패러시틱 요소를 가하여도 입력 정재파비의 특성은 변화가 없다. 2GHz, $\epsilon_r = 10.2$ 에서 $t=0.6mm$ 는 두께의 한계점으로 생각된다.

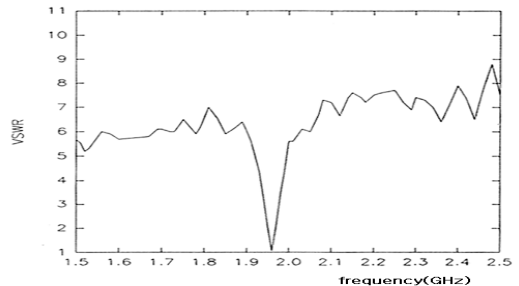


그림 10. 주파수에 따른 입력 정재파비 ($\epsilon_r = 10.2, t = 0.6mm$,패러시틱요소 없을 때)
Fig. 10. VSWR vs. frequency plot ($\epsilon_r = 10.2, t = 0.6mm$,no parasitic element)

그림 11은 패치안테나에 패러시틱 요소를 추가하여 측정된 것으로 $VSWR < 2$ 인 주파수 대역이 110MHz이다.

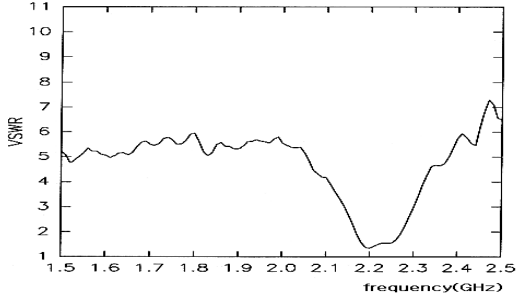


그림 11. 주파수에 따른 입력 정재파비 ($\epsilon_r = 2.5$, $t = 3.18mm$, 패러시틱요소 있을 때)
 Fig. 11. VSWR vs. frequency plot
 ($\epsilon_r = 2.5$, $t = 3.18mm$, parasitic element exists)

그림 12는 $\epsilon_r = 2.5$ 의 패치 안테나만의 정재파비로 $VSWR < 2$ 인 주파수 대역이 60MHz이다. 패치 안테나만의 상대대역폭이 3%에 근접한다. 상대대역폭이 5.5%로 목표로 정한 7%에는 모자라지만 대역폭이 두 배정도 확장되었다. 또한 $\epsilon_r = 2.5$ 의 패치 안테나는 제작 과정의 오차로 인하여 공진 주파수가 1955MHz에서 2050MHz로 이동하였다.

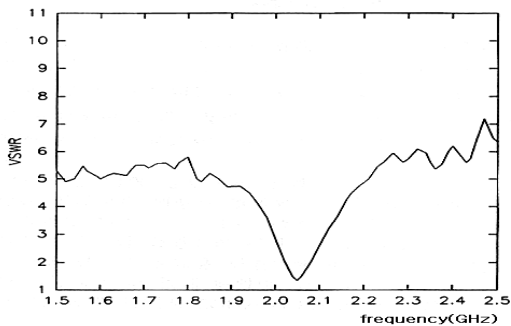


그림 12. 주파수에 따른 입력 정재파비 ($\epsilon_r = 2.5$, $t = 3.18mm$, 패러시틱요소 없을 때)
 Fig. 12. VSWR vs. frequency plot
 ($\epsilon_r = 2.5$, $t = 3.18mm$, no parasitic element)

또한 패러시틱 요소를 추가하여 광대역화하는 과정에서 중심주파수가 이동하였다.

표 2는 $\epsilon_r = 2.5$ 인 안테나의 급전선의 길이가 3λ ($\lambda = 14.634 \text{ cm}, f_0 = 2.05 \text{ GHz}$) 근처에서 변할 때 공진 주파수, 입력임피던스, 대역폭의 변화량을 나타낸다.

표 2. 급전선의 길이에 따른 특성변화
 Table 2. Variation of characteristic according to the feeding line

$l(\text{mm})$	$f_0(\text{GHz})$	$Z_{in}(\Omega)$	BW(MHz)
46	2.051	44.2 + j12.0	50
45.7	2.0514	35.8 + j11.8	39
45.3	2.05	35.9 + j0.3	60
45.0	2.0504	42.0 - j0.6	68
44.6	2.0508	39.6 - j10.8	57
44.3	2.0498	42.07 - j17.2	52
44.0	2.0502	50.0 - j22.0	45
43.7	2.0498	61.0 - j12.5	60
43.4	2.0512	58.0 - j17.68	53

급전선의 길이= l , 공진 주파수= f_0 , 입력 임피던스= Z_{in} , 대역폭 = BW

위의 결과로부터 급전선의 길이가 아주 작게 변해도 그에 따른 입력임피던스와 대역폭의 변화량은 큼을 알 수 있다.

IV. 결론

개인휴대통신용 단말기의 마이크로 스트립 안테나를 설계, 제작하였다. 마이크로 스트립 안테나는 이동통신 단말기에 아직까지는 적용되지 않고 있으나 앞으로 활용 가능성이 높은 안테나로 주파수 대역폭이 좁다는 단점이 있다. 개인휴대통신의 주파수 대역을 맞추기 위해서는 중심주파수(1.955GHz)를 기준으로 7%의 상대대역폭이 요구된다. 마이크로 스트립 안테나의 광대역 기법은 패러시틱 요소를 추가하는 방법으로 $\epsilon_r = 10.2$ 와 $\epsilon_r = 2.5$ 인 두 종류의 안테나를 제작하였다. $\epsilon_r = 10.2$ 의 안테나는 대역폭이 1%이하

로 나타났고 패러시틱 요소를 추가하여도 대역폭의 변화는 없었다. $\epsilon_r = 2.5$ 의 안테나는 대역폭이 3%이고 패러시틱 요소를 추가한 경우 5.5%까지 확대되었다. 복사 패턴, 입력 정재파비, 입력 임피던스 등을 측정하였다. 복사 패턴은 설계시에 예상한 결과와 거의 일치하였고 입력 임피던스는 설계 값과는 다소 다른 값이 측정되었다. 이는 급전위치를 정하는 근사식의 오차와 급전선의 길이에 따른 변화가 원인으로 추정된다. 이 연구 결과로 휴대용 단말기에 마이크로 스트립 안테나의 크기를 더 작게 하면서 2GHz 기준으로 7%대의 대역폭을 유지하는 것이다. 마이크로 스트립 소자 및 기초 소재의 발달이 전제되어야 하고, $\epsilon_r > 10$ 이고 광대역 특성을 갖는 재질 개발과 아울러 정밀한 제조 기술이 뒷받침되어야 한다. 또한 패러시틱 요소에 따른 광대역 특성에 대한 이론적 해석도 병행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] K. Fujimoto, J. R. James, Mobile Antenna Systems Handbook, 1994, Artech House.
 [2] R. F. Harrington, Time-Harmonic Electromagnetic Fields, 1966, McGraw-Hill.
 [3] Kazuhiro Hirasawa, Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-profile Antennas, 1992, Artech House.
 [4] Constantine A. Balanis, Antenna Theory, 1982, John Wiley & Sons.
 [5] Sergei A. Schelkunoff, Harald T. Friis, Antennas Theory and Practice, 1952, Bell Telephone Laboratories.
 [6] Howard H. Xia, Henry L. Bertoni, "Radio propagation Characteristics for Line-of-sight Microcellular and Personal Communications", IEEE Trans, Antennas and Propagation, Vol. 41 No. 10, October 1993.
 [7] H. F. Pies, A. R. Van De Capelle, "An Impedance-Matching Technique for Increasing the Bandwidth of Microstrip Antennas", IEEE Trans.

Antennas and Propagation, Vol. AP-37, November 1989.

[8] J. Richmond, "Coupled Linear Antennas with Skew Orientation", IEEE Trans, Antennas and Propagation, Vol. AP-37, September 1989.
 [9] Jean-Francois Zurcher and Fred E. Gardiol, Broadband Patch Antennas, 1995 Artech House.
 [10] I. J. Bahi, P. Bhartia, Microstrip Antennas, 1982, Artech House.



문선주(Sun-joo Moon)

2007 남서울대학교 정보통신공학과

현재 Master's course, Dept. of Communications and signal processing, Imperial college London, UK



김석훈(Seok-Hun Kim)

2003년 한남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
 2006년 한남대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)

2007년~ 2010년 (주)파라곤베이스

2010년~현재 (주)타임시스템

※ 관심분야: 컴퓨터 네트워크, VoIP, 모바일컴퓨팅



최재연(Jae-Yeon Choi)

1987년 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 1998년 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)

삼성종합기술원, LG정보통신연구소

1996년~현재 남서울대학교 정보통신공학과 교수

남서울대학교 정보통신연구소

※ 관심분야: MMIC, 안테나공학