사각 루프와 T자형 패치를 결합한 광대역 평면형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석

Design and SAR Analysis of Broadband Monopole Antenna Using Loop and T-Shaped Patches

장주동 · 이승우 · 김 남 · 최동근*

Ju-Dong Jang · Seungwoo Lee · Nam Kim · Dong-Geun Choi*

요 약

본 논문에서는 다중 대역 서비스를 위한 평면형 모노폴 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나는 기본적인 사각 루프 구조를 내부로 접어 안테나의 크기를 소형화 시켰으며, T자형 패치의 끝단의 중앙 부분과 내부로 접은 사각 루프 선로에서의 커플링 현상을 이용하여 3.9 GHz 대역에서 추가 공진을 만들었다. 또한 사각 루프 형태의 모노폴 안테나에 T자형 사각 패치를 삽입시킴으로써 광대역 주파수 특성을 나타내도록 유도하였으며, 내부로 접은 사각 루프의 선로들의 간격 및 길이와 T자형 패치의 가로 길이를 조정함에 따라 주파수 특성을 최적화 하였다. 제안하는 안테나는 $40 \times 60 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 크기의 비유전율 4.4인 FR-4 기판 위에 설계하였으며, 급전은 임피던스 50 Ω 의 마이크로스트립 선로를 사용하였다. 측정 결과, VSWR 2:1 기준으로 대역폭은 162 MHz(815 ~ 977 MHz)와 2,530 MHz(1,430 ~ 3,960 MHz)으로 측정이 되었다. 제안된 안테나의 전자파 흡수율(SAR)을 알아보기 위하여 1 g 및 10 g 평균 SAR을 계산 및 측정을 실시하였으며, 모의실험 결과, 1 g 평균은 1.044 W/kg, 10 g 평균은 0.718 W/kg으로 SAR 기준치인 1.6 W/kg(1 g 평균) 및 2.0 W/kg(10 g 평균)을 만족하는 결과를 보였다.

Abstract

In this paper, a broadband planar monopole antenna for multi-band services is proposed. The physical size of the proposed antenna is miniaturized by folding a rectangular loop. And a resonance point in the 3.9 GHz band is reduced by a coupling phenomenon with the central part of the T-shaped patch and the folded rectangular loop. In addition, the T-shaped patch is inserted to the rectangular shaped monopole antenna due to deriving the broadband frequency characteristics. The frequency characteristic is optimized by adjusting the gap and length of the folded rectangular loops and a transverse diameter of the T-shaped patch. The antenna dimensions including the ground plane are $40 \times 60 \times 1.6 \text{ mm}^3$. It is fabricated on the FR-4 substrate($\epsilon_r=4.4$) using a microstrip line of 50 Ω for impedance matching. In the measured result, the bandwidth corresponding to the VSWR of 2:1 is 162 MHz(815 ~ 977 MHz) and 2,530 MHz(1.43 ~ 3.96 GHz). For analyzing the human effect by the proposed antenna, 1 g and 10 g averaged SARs are simulated and measured. As the simulated results, 1 g-averaged SAR is 1.044 W/kg, and 10 g-averaged SAR is 0.718 W/kg. This result are satisfied by the SAR guidelines which are 1.6 W/kg(1 g-averaged) and 2.0 W/kg(10 g-averaged).

Key words : Loop Antenna, Planar Monopole Antenna, T-Shaped Patch, Broadband, Specific Absorption Rate

「이 논문은 2012학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2012).」

충북대학교 정보통신공학부(School of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University)

*국립전파연구원(National Radio Research Agency)

· Manuscript received October 10, 2012 ; Revised December 4, 2012 ; Accepted December 27, 2012. (ID No. 20121010-111)

· Corresponding Author : Nam Kim (e-mail : namkim@chungbuk.ac.kr)

I. 서 론

무선 통신 기술이 나날이 발전하면서 통신기기도 또한 발전이 계속되고 있으며, 최근에는 이동통신의 발달로 인하여 최근에는 PCS, WCDNA, WiFi, LTE 등의 휴대전화 서비스가 급속하게 발전하였다. 이에 따라 휴대전화의 내장형 안테나는 음성 기능뿐만 아니라 데이터, 동영상 등 다양한 서비스가 가능한 다중 대역 안테나 개발이 요구되고 있다. 또한 개인 휴대 단말기의 소형화 직접화에 따라 안테나 역시 소형, 경량, 다기능 특성 및 대량 생산이 요구되고 있다. 현재 이동통신에서 단말기용으로 많이 사용되고 있는 안테나로는 평판형 안테나, PIFA(Planner Inverted-F Antenna) 등이 있다. PIFA 안테나는 소형이면서 경량이라는 장점이 있는 반면, 제한된 안테나의 높이에 따라 협대역이 되는 단점이 있다. 평면형 모노폴 안테나는 광대역 또는 이중 대역을 사용하는 안테나에 많이 사용되고 있으며, 제작이 용이할 뿐만 아니라 인쇄 회로 기술에 의한 대량 생산이 가능하다는 장점이 있지만, 임피던스 대역폭이 협대역이라는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 안테나의 크기를 줄이기 위해 비유전율이 높은 기판을 사용하는 방법, 적층하는 방법, 구조를 변형시키는 방법 등이 활발히 연구되고 있다^{[1]~[3]}.

본 논문에서 제안된 안테나는 구조를 변형시킨 사각 루프 안테나와 T자형 패치를 이용한 평판형 모노폴 안테나로써 GSM900(Global System for Mobile Communication, 824~960 MHz), DCS1800(Digital Cellular System, 1,710~1,880 MHz), WCDMA1900(Wideband Code Division Multiple Access, 1,850~1,990 MHz), IEEE802.11b(Wireless LAN 2,400~2,483 MHz), WiMAX(World Interoperability for Microwave Access 3,300~3,800 MHz), IMT-Advanced(International Mobile Telecommunications Advance 3,400~3,600 MHz) 대역에서 사용이 가능한 평면형 모노폴 안테나를 설계 및 제작하였다.

II. 안테나 설계 및 측정

2-1 안테나 구조

본 논문에서 제안된 안테나는 평면형 모노폴 안

테나로 급전 선로와 방사 패치가 연결되어 기판의 앞에 있으며, 유전체의 반대쪽에 평면 그라운드가 존재하는 평면형 모노폴 안테나이다. 평면형 모노폴 안테나는 공진이 발생하기 위해서는 $\lambda/4$ 의 길이가 필요하기 때문에 안테나의 크기가 크다는 단점이 있다. 제안된 안테나는 이러한 단점을 보완하기 위하여 사각 루프의 방사체 중앙 부분에서는 전류값이 0에 가까운 것을 이용하여, 사각 루프 중앙부를 내부로 접어 안테나의 물리적인 길이를 최소화 하여 목표로 하는 저주파 대역인 900 MHz를 만족시켰다^{[4]~[6]}. 또한 T자형 패치의 끝단의 중앙 부분과 내부로 접은 사각 루프의 선로에서 커플링 결합을 이용하여 원하는 주파수 대역인 3.9 GHz에서 공진을 발생시켰다. 다중 대역 서비스를 만족시키기 위해 급전선 부분에 사각 T자형 패치를 삽입하였으며^[7], 그라운드에 U자형 사각 슬릿을 부설하여 임피던스 정합을 향상시켰다^{[8],[9]}. 그림 1은 제안된 안테나를 보여주고 있으며, 안테나의 전체 면적 크기는 $40 \times 60 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 이다. 안테나의 뒷면 하단부에는 $40 \times 18 \text{ mm}^2$ 의 그라운드가 존재하게 되며, 안테나에 사용된 기판은 비유전율이 4.4이며, 손실 탄젠트는 0.015인 FR-4이다. 안테나의 급전 선로는 기판의 두께와 비유전율을 고려하여 폭 3 mm, 길이 23 mm의 50 Ω 마이크로스트립 라인으로 설계하였으며, 최종 설계된 안테나의 세부 파라미터는 표 1과 같다.

그림 2는 기본적인 사각 루프 형태의 구조에서 안테나의 물리적인 크기를 줄이기 위하여 내부로 접은 형태의 변형된 사각 루프 구조를 보여주고 있으며, 내부로 접은 선로(L_1)의 길이가 15.6 mm까지 증가할

표 1. 제안된 안테나의 세부 파라미터

Table 1. Optimized parameters for the proposed antenna.

파라미터	길이(mm)	파라미터	길이(mm)
P_w	28	L_2	9
P_L	22	L_3	5
L_M	2	G	18
L_{M1}	5	G_1	2
L_N	21	G_2	8
L_{N1}	16	G_L	10
L_0	14	G_{L1}	3
L_1	7.6	P_G	0.4

그림 1. 제안된 평면형 모노폴 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of the proposed planar monopole antenna.

수록 약 2.5 GHz 대역에서 공진 주파수가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 900 MHz 대역의 저주파 대역을 만족시키기 위해서는 내부로 접은 선로의 길이가 길어져야 하는 문제점이 생긴다. 이때 안테나 내부로 단순히 선로를 접어 안테나의 물리적인 길이를 늘리는 것은 안테나 내부에서 공간적으로 제한이 되며, 내부로 접은 선로 간의 간격(G_1)을 증가시키게 되더라도 선로 L_0 의 길이는 줄어들게 되어 내부로 접은 사각 루프의 전체적인 안테나의 길이는 크게 변하지 않게 된다. 안테나의 물리적인 길이를 최소화하기 위한 다른 방법으로 사각 루프 안테나의 바깥쪽 부분에 미앤더 라인을 삽입하여 900 MHz 대역에서 공진을 발생시키면, 방사 패턴의 경우 본 논문에서 제안하는 사각 루프 구조와 유사하게 등방성 패턴을 보이지만, 1.5 GHz 대역에서는 공진이 발생되지 않으며, 입력 정합 또한 상대적으로 논문에서 제안하는 사각 루프 안테나보다 낮은 입력 정합을 가지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 안

그림 2. 사각 루프 안테나에서의 변수 L_1 길이에 변화에 따른 반사 손실
Fig. 2. The return loss variation of L_1 length.

테나 내부로 접은 선로의 형태를 십자 형태로 변형시켜 안테나의 선로의 길이를 길게 하여 목표로 하는 저주파 대역인 900 MHz 대역을 만족시켰으며, 또한 A 지점에서 선로 간에서 발생되는 전류에 의한 커플링 효과를 유도하여 WiMAX 대역인 약 3.9 GHz 대역에서 공진이 발생하도록 유도하였다.

그림 3과 그림 4는 사각 루프 내부를 십자 형태로 설계한 후 선로 간의 간격 변화에 따른 안테나의 특성 변화를 알아보기 위한 분석 결과이다. 먼저 그림 3은 사각 루프 안테나 내부에서 G_2 의 변화에 따른 결과를 보여주고 있다. G_2 의 길이가 8 mm에서 11 mm로 증가될수록 1.5 GHz 대역은 미세하게 변하는 반면, 900 MHz 대역 변화가 크게 생기며, 점차 저주파 대역으로 이동한다. 하지만 대역폭이 협대역으로 변하였으며, 간격이 8 mm일 때 목표로 하는 900

그림 3. 사각 루프 안테나에서의 변수 G_2 간격 변화에 따른 반사 손실

Fig. 3. In the rectangular loop antenna return loss variation with variation of G_2 length.

MHz 대역의 주파수를 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 인하여 선로 간의 간격(G_2)의 길이를 조정함에 따라 저주파 대역에 대한 원하는 주파수의 조정이 가능함을 알 수 있다.

그림 4는 G_2 의 간격을 8 mm로 고정하고, A 부분(position A)에서 선로 간의 커플링 영향의 변화에 따른 결과를 보여주고 있다. 전송 선로 부분에서 선로 간의 간격(P_G)이 점점 증가함에 따라 선로 간의 결합으로 생긴 커플링 현상이 점점 감소하여 3.9 GHz 대역의 임피던스 특성이 변하는 것을 확인할 수 있으며, P_G 의 간격이 점점 증가할수록 안테나의 전체적인 길이가 감소하게 되므로 안테나의 전체적인 주파수 특성이 점점 고주파로 이동이 된다.

그림 5는 1.5~3.9 GHz 대역까지의 광대역을 만족하기 위하여 사각 루프 구조의 안테나에 T자형 패

그림 4. 변수 P_G 간격 변화에 따른 반사 손실
Fig. 4. The return loss variation of P_G length.

치를 결합하여 가로 크기 변화에 따른 주파수 특성을 알아보기 위한 파라미터이다. 사각 루프 구조의 특성에서 나타난 저주파 대역인 860~980 MHz 대역에서는 전혀 간섭 영향을 미치지 않는 T자형 패치를 삽입하여 가로 길이의 조절에 따라 T자형 패치의 간섭의 영향으로 상대적으로 고주파 대역인 2.5~3.9 GHz 대역을 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 L_N 의 길이가 21 mm와 17 mm일 때, 3.9 GHz 대역에서 공진점이 발생하게 되는데, 이러한 특성은 T자형 패치의 가로 길이가 점점 줄어들수록 내부로 접은 사각 루프 구조의 A 지점에서 발생하는 3.9 GHz 대역의 공진 주파수 특성과 결합되어 공진이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 이용하여 T자형 패치의 가로 길이를 21 mm로 고정하여 안테나 주파수 특성이 1.5~3.9 GHz 대역까지 광대역 특성

그림 5. 변수 L_N 간격 변화에 따른 반사 손실
Fig. 5. The return loss variation of L_N length.

그림 6. 변수 G_L 간격 변화에 따른 반사 손실
Fig. 6. The return loss variation of G_L length.

이 나타나도록 설계하였다.

그림 6은 T자형 패치의 가로 길이를 21 mm로 조정함에 따라 2.5 GHz 주파수 대역에서 발생한 낮은 임피던스 정합 문제점을 개선하기 위하여 안테나의 뒷면의 그라운드 면에 사각 슬릿(slit)을 삽입하고, 크기(G_L)의 변화에 따른 특성을 확인하기 위한 분석 결과이다. 그라운드 면에 사각 슬릿의 세로 길이가 증가할수록 2.5 GHz 대역뿐만 아니라 제안한 안테나에서 발생하는 모든 주파수 대역에서 임피던스 정합이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 사각 슬릿의 세로 길이가 증가될수록 임피던스 정합이 향상되지만, 세로 길이가 15 mm일 때는 오히려 임피던스 정합이 세로 길이가 10 mm일 때보다 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 특성 변화로 인하여 세로 길이가 10 mm일 때 임피던스 정합이 최적화되는 것을 확인할 수 있다. 최적화된 파라미터를 계산한 결과, 공진 주파수 대역은 860~980 MHz로 162 MHz의 대역폭을 가지며, 1.5~3.94 GHz로 2.53 GHz 대역폭을 가지는 이중 대역의 특성을 나타내고 있다.

2-2 안테나 제작 및 측정

그림 7은 표 1에서 제시한 최적화된 안테나 파라미터들을 이용하여 실제 안테나를 제작한 사진이다. 회로망 분석기를 이용하여 반사 손실을 측정하였는데, 그림 8에서는 제작된 안테나의 모의실험 결과와 실제 측정값을 비교한 그래프를 보여준다. 측정

(a) 앞면 (b) 뒷면
(a) Front (b) Back

그림 7. 제작된 안테나의 사진

Fig. 7. Photograph of the fabricated antenna.

그림 8. 제안된 안테나의 계산치와 측정치의 반사 손실 비교

Fig. 8. Comparison of the simulated and measured return loss for the proposed antenna.

결과, 공진 주파수 대역은 VSWR 2:1 기준으로 815~977 MHz, 1.43~3.96 GHz으로 이중 대역 특성을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 모의실험 결과와 매우 유사한 것을 알 수 있으며, 계산된 결과와 측정 결과 모두 GSM900, DCS1800, WCDMA1900, IEEE 802.11b, Wi-MAX, IMT-Advanced 서비스를 만족하고 있다. 그림 9는 0.9 GHz, 1.9 GHz, 2.4 GHz, 3.5 GHz의 대역에서 측정된 방사 패턴 결과를 나타내고 있으며, 일반적인 모노폴 안테나의 방사 패턴인 등방성의 패턴을 보이고 있다.

표 2. 측정된 최대 이득 및 방사 효율

Table 2. The measured maximum gain and radiation efficiency.

주파수(GHz)	최대 이득(dB)	방사 효율(%)
0.9	-3.3	53.27
1.9	0.59	34.56
2.4	1.74	37.75
3.5	3.81	35.79

(a) H-plane(X-Z)

(b) E-plane(Y-Z)

그림 9. 측정된 방사 패턴

Fig. 9. Measured radiation patterns.

III. SAR 계산 및 측정

휴대전화와 같은 통신기기는 사람의 인체 중에서도 특히 두부에 가장 가까이 사용되고 있다. 이에 따라 휴대전화의 전자파가 인체에 미치는 영향 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 국가마다 인체의 전자파 흡수율(Specific Absorption Rate: SAR)에 대한 기준을 정하고 있다. 우리나라에서는 미국과 함께 조직 1 g 평균에 대하여 1.6 W/kg을 넘지 못하도록 규정하고 있으며, 유럽 및 일본 등은 10 g 평균에 대해

2.0 W/kg을 넘지 못하도록 규정하고 있다.

본 논문에서 제안된 안테나는 휴대전화 내장형 안테나임을 감안하여 SAR 계산 및 측정을 실시하였다. 먼저 SAR 해석 툴을 이용하여 바(bar) 형태의 휴대전화를 모델링 하였고, 내부에 설계된 안테나를 탑재하여 인체의 두부 오른쪽에 접촉시켜 SAR 값을 계산하였다. 이후 제작된 안테나의 반사계수 특성에 영향을 거의 주지 않는 케이스를 제작하여 안테나를 탑재시켜 측정하고 계산된 값과 비교하였다. 이때 제작한 케이스의 크기는 실제 휴대전화의 크기를 고려하여 $110 \times 60 \times 1.6 \text{ cm}^3$ 크기로 제작하였다. 케이스 제작에 사용된 매질의 두께는 1 mm이며, 유전율(ϵ_r) 2.56, 전도도(S/m) $2e-2$ 를 가지는 아크릴을 이용하였다. 그림 10은 SAR 측정을 위해 실제 제작한 휴대전화 케이스를 나타내며, 그림 11은 제작된 케이스에 안테나를 탑재하여 측정한 결과를 보여준다. 측정 결과, VSWR 2:1 기준으로 816~1,023 MHz, 1.44~3.96 GHz의 대역폭을 얻을 수 있었으며, 케이스에 안테나를 탑재하지 않을 때의 측정 결과와 거의 동일하게 측정이 되었다.

3-1 SAR의 계산

SAR은 전자파와 인체 사이의 상호 작용을 정량하는 가장 효과적인 파라미터로 인식되어 왔고, 그 분포를 계산하기 위한 식은 다음과 같다^[10].

(a) 제작된 케이스

(a) Fabricated case

(b) 안테나 탑재한 모습

(b) Antenna in the case

그림 10. 제작된 케이스

Fig. 10. Fabricated case.

그림 11. 케이스에 안테나 탑재 유무에 따른 반사계수 비교

Fig. 11. Comparison of the return loss for the existence of the case.

표 3. 인체 두부 모델의 파라미터

Table 3. Parameter of the human head phantom.

조직 타입	900 MHz		밀도 (kg/m ³)
	상대 유전율 [ε _r]	전도도 [S/m]	
SAM liquid	41.5	0.97	1,000
SAM shell	3.7	0	

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad [W/kg]$$

여기서 σ 는 조직의 전기전도도(S/m), ρ 는 조직의 밀도(kg/m³), E 는 실효 전자기장 강도(V/m)를 말한다. 인체 두부에 흡수되는 전계 분포를 계산하기 위해 시간 영역-유한 차분(Finite Difference Time Domain: FDTD) 수치 해석 방식을 사용하였다^{[11],[12]}. 표 3은 인체 두부 모델의 조직 값을 나타내고 있으며, 모의 인체 모델의 파라미터는 전자파 인체 보호 기준을 참고하였다.

SAR 계산시 사용하는 상용 해석 툴을 이용하여 단말기를 모델링하였다. 실제 휴대전화의 경우 LCD, PCB 기판 외부 케이스 등 여러 가지 부품들이 존재하지만, 본 논문에서는 실제 측정시 사용할 케이스의 비유전율을 고려하여 모델링하였다.

3-2 SAR 모의실험 및 측정

SAR은 단말기의 위치뿐만이 아니라 단말기와 인체의 간의 거리, 손의 위치 등 여러 외부 요인에 따

그림 12. 휴대전화 단말기 모델링

Fig. 12. The physical parameters of the modeled handset.

라 서로 다른 값을 가지게 된다. 이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 SAR 해석 툴인 SEMCAD-X를 이용하여 휴대전화 단말기를 모델링하고, SAR 계산을 실시하였다. 휴대전화 모델링 시 고려된 단말기는 스마트폰의 크기나 외형을 바탕으로 하였다. 모델링된 휴대전화의 단말기는 그림 12와 같다.

실험을 위해 전자파 흡수율 측정 기준에 따라 모의 인체 모델의 오른쪽과 접촉 위치에서 계산을 하였다. 그림 12에 표시된 바와 같이 휴대전화 단말기의 수화부 위치의 점 A를 SAM 모의 인체의 레퍼런스 포인트(reference point)에 접촉시켰으며, A-B를 잇는 단말기의 중앙선을 SAM 모의 인체의 오른쪽 귀 기준점과 입 기준점에 위치시켰다. 이때의 인체 모델의 상대 유전율과 전도도의 경우는 전자파 인체 보호기준을 참고, 표 3과 같이 유전율과 도전을 결정하고 모의실험을 실시하였다.

그림 13은 두부 팬텀에 모델링된 휴대전화 단말기를 접촉시킨 모습을 보여준다. SAR 계산은 900 MHz의 주파수로 입력 전력이 0.25 W일 때 각각 1 g과 10 g의 평균 SAR 값을 계산하였다.

그림 14는 제작한 안테나를 휴대전화 단말기의

그림 13. 두부 팬텀과 모델링된 휴대전화 단말기 위치

Fig. 13. Head phantom and mounted position of modeled handset.

그림 14. 입력 전력 0.25 W일 때의 1 g 및 10 g SAR 분포

Fig. 14. Distribution of 1 g and 10 g averaged SARs having the input power of 0.25 W.

그림 15. SAR 측정사진

Fig. 15. Photograph of the SAR measurement.

하단부에 위치시키고, 인체 두부 팬텀과 접촉하였을 때 계산된 SAR 분포를 보여준다. 계산 결과, 휴대전화 단말기의 하단부가 인체 두부 팬텀의 접촉하게 되므로 SAR 최댓값은 피부 표면에서 나타나는 것을 확인할 수 있다. 입력 전력이 0.25 W일 때 1 g 평균 SAR 값은 1.044 W/kg, 10 g 평균 SAR 값은 0.718 W/kg으로 나타났다.

그림 15는 안테나를 제작한 케이스 내부 하단부에 탑재하여 측정 모습을 보여주고 있다. SAR 측정은 EMF Safety사의 ESSAY-3 장비를 사용하였으며, SAR 계산과 마찬가지로 입력 전력을 0.25 W로 하여 측정을 실시하였다. 표 4는 SAR 측정 환경과 규격을 나타내며, SAR 측정 결과는 표 5에 나타내었다.

측정 결과, 1 g 평균 SAR 값은 0.869 W/kg, 10 g 평균 SAR 값은 0.587 W/kg으로 측정이 되었다. 이는 우리나라의 SAR 평균 제한치인 1.6 W/kg과 10

그림 16. 측정된 SAR 분포 (1g 평균)

Fig. 16. Distribution of measured SAR. (1g averaged)

표 4. SAR 측정 규격

Table 4. Specification of SAR measurement.

항목	규격
측정 장비	ESSAY-3
모의 인체 액체	Head
유전율[ϵ_r]	43.07
도전율[S/m]	0.9
모의인체 모델	Right SAM
온도[$^{\circ}\text{C}$]	23

표 5. SAR 계산치와 측정치 비교

Table 5. Comparison of simulated and measured SAR result.

주파수 [MHz]	입력 전력 [W]	계산치		측정치	
		1 g [W/kg]	10 g [W/kg]	1 g [W/kg]	10 g [W/kg]
900	0.25	1.044	0.718	0.869	0.587

g 평균으로 하였을 때의 평균 제한치인 2.0 W/kg을 모두 만족하는 결과임을 확인할 수 있었으며, 안테나가 위치한 부근에서 가장 큰 SAR 값이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안된 안테나는 다중 대역 서비스를 위한 평면형 모노폴 안테나를 제작하였다. 제작한 안테나는 십자 형태의 루프 구조의 안테나에 T자형 패치를 추가한 모노폴 안테나이며, 십자 형태의 루프 구조의 안테나의 주파수 특성과 T자형 패치의 주파수 특성이 서로 결합하여 광대역 특성이 나타나

도록 설계 및 제작하였다. 또한 임피던스 정합 향상을 위하여 그라운드 면에 사각 슬릿을 삽입시켰다. 제작된 안테나의 반사 손실 측정 결과, VSWR 2:1 기준으로 815~977 MHz, 1.43~3.96 GHz의 광대역 특성을 확인할 수 있었으며, 일반적인 모노폴 안테나의 방사 패턴을 보였다. 따라서 제안된 안테나는 GSM900/DCS1800/WCDMA1900/IEEE802.11b/WiMAX/IMT-Advanced 대역을 만족시키며, 휴대 통신 기기의 내장형 안테나에 응용하기 적합하게 구현하였다.

제안된 안테나의 SAR을 계산 및 실제 측정 하였다. 계산된 SAR 값은 1 g 평균으로일 때 1.044 W/kg, 10 g일 때 0.718 W/kg이며, 측정된 SAR 값은 1 g일 때 0.869 W/kg, 10 g일 때 0.587 W/kg로 유사한 값을 얻을 수 있었으며, 계산 및 측정된 결과, 값은 1g과 10g에 대한 국제 기준을 모두 만족하였다. 향후 SAR의 계산과 측정 시의 환경과 측정하는 단말기의 매질 특성이나 형태에 대한 차이에 대한 보완이 필요하며, 인체의 두부에 대한 SAR 분석뿐만 아니라 휴대전화가 인체에 자주 접촉이 되는 가슴, 허벅지, 엉덩이 등에 대한 SAR 분석에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이호민, 이승우, 김남, "Z자형 패치를 갖는 광대역 평면형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 해석", 한국전자과학회논문지, 18(12), pp. 1391-1401, 2007년 12월.
- [2] 이성훈, 이승우, 김남, "U자형 패치라인과 사각 패치를 결합한 삼중 대역 평면형 모노폴 안테나 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 22(8), pp. 745-753, 2011년 8월.
- [3] 김남, 박상명, 김종면, "이중 대역 스파이럴 평면형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석", 한국전자과학회논문지, 18(12), pp. 1370-1382, 2007년 12월.
- [4] 이현진, 정진우, 임영석, "평면형 변형된 모노폴 안테나 설계", 대한전자공학회논문지, 45(7), pp. 72-76, 2008년 7월.
- [5] 이현진, 최태일, "다중 폴드 이중 사각 루프형태의 이중 모노폴 안테나", 전기학회논문지 P, 61P(1), pp. 5-8, 2012년 3월.
- [6] 이상훈, 김기준, 정종호, 윤영중, 김병남, "기생 루프 구조를 이용한 휴대 단말기용 다중 대역 초소형 루프 안테나에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 21(6), pp. 706-713, 2010년 6월.
- [7] 이동현, 박위상, "표면 전류 분포를 이용한 T 자형 UWB평면형 모노폴 안테나 해석", 한국전자과학회논문지, 16(9), pp. 883-892, 2005년 9월.
- [8] M. Ojaroudi, S. Yazdanifard, N. Ojaroudi, and M. Naser Moghaddasi, "Small square monopole antenna with enhanced bandwidth by using inverted T-shaped slot and conductor-backed plane", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 2, pp. 670-674, Feb. 2011.
- [9] Mohamed M. Morsy, Muhammad R. Khan, "Planar microstrip monopole antenna for UPCS UWB applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 2, pp. 496-500, Feb. 2012.
- [10] "IEEE recommended practice for determining the peak spatial-average specific absorption rate(SAR) in the human head from wireless communications devices: measurement techniques", *IEEE Std. 1528-2003*, pp. 1-149, Dec. 2003.
- [11] 이애경, 최형도, 최재익, "이동 통신 단말기에 노출된 인체 두부에 따른 전자파 비흡수율 비교", 대한전자공학회논문지, 37(11), TC편, pp. 33-41, 2000년 11월.
- [12] 최윤희, 신호섭, 김남, 박주덕, "이중 대역(PCS/IMT-2000) 마이크로스트립 패치 안테나 설계 및 구조에 따른 SAR 분석", 한국전자과학회논문지, 15(1), pp. 12-20, 2004년 1월.

장 주 동

2011년 2월: 충북대학교 정보통신
공학과 (공학사)
2011년 3월~현재: 충북대학교 정보
통신공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 안테나 설계, 전자파
인체영향, 무선전력전송

김 남

1981년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학사)
1983년 2월: 연세대학교 전자공학
과 (공학석사)
1988년 8월: 연세대학교 전자공학
과 (공학박사)
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stan-

ford 대학교 방문교수

2000년 3월~2001년 2월: 미국 California Technology Insti-
tute 방문교수

1989년~현재: 충북대학교 전자정보대학 교수

1999년~2000년: 컴퓨터정보통신연구소 연구소장

1996년~현재: 한국전자과학회 전자장과 생체관계위원회
위원장

2000년~현재: 한국전자과학회 평의원/이사

2006년~2009년: BEMS(Bioelectromagnetics Society) 이사

2004년~2010년: 방송통신위원회 방송통신국가표준심의회
위원

2008년~현재: 중앙전파관리소 자문위원회 위원

2008년~현재: 방송통신위원회 자체평가위원회 위원

[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전파, 마이크로파 전송
선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체보호 규격

이 승 우

2003년 2월: 충북대학교 정보통신
공학과 (공학사)
2006년 2월: 충북대학교 정보통신
공학과 (공학석사)
2012년 2월: 충북대학교 정보통신
공학과 (공학박사)
2012년 7월~현재: 충북대학교 리

서치 펠로우

[주 관심분야] Meta-material, 안테나 설계, EMI/EMC 및 전
자파 인체영향, 무선전력전송

최 동 근

2003년 2월: 충북대학교 정보통신
공학과 (공학사)
2005년 2월: 충북대학교 정보통신
공학과 (공학석사)
2006년 7월~현재: 국립전파연구
원 공업연구사

[주 관심분야] 안테나 설계 및 SAR
분석, 전자파, 메타 물질