유도 전류의 커플링 효과를 이용한 모노폴 안테나 설계

Design of a Double-Faced Monopole Antenna Using the Coupling Effect of Induced Currents

최 영 · 이 승 우 · 김 남

Young Choi · Seungwoo Lee · Nam Kim

요 약

본 논문에서는 안테나의 크기를 소형화하고, 동시에 다중 대역 서비스를 만족하는 다중 링 패치를 이용한 양면형 모노폴 안테나를 제안하였다. 사각 링 형태의 패치를 사용하여 대역폭을 증가시키고, 다수의 링 패치를 연속적으로 배열함으로써 링 패치의 단점인 빔 폭을 증가시켰다. 다수의 링 패치를 연속적으로 삽입하면, 첫 번째 패치로부터 전류가 연쇄적으로 흘러 공진이 발생한다. 이는 패치 간의 간격이 매우 좁기 때문에 가능하다. 다중 링 패치를 동일면에 모두 배열할 경우, 패치 간의 간격이 매우 좁아, 이를 해결하기 위하여 기판의 앞면과 뒷면에 순차적으로 설계하였다. 다중 대역 특성을 얻기 위해서 패치를 기판의 양면에 순차적으로 배열하였기 때문에 안테나의 기판 두께와 비유전율이 본 안테나의 중요한 파라미터가 된다. 따라서 두 파라미터에 대해 모의실험을 통해 최적의 값을 찾아내고, 한쪽 면에 패치가 있는 경우와 거의 동일한 효과를 발생시켰다. 전체적인 패치는 기본 링형 패치에서 단계별로 85 %를 감소시켜, 총 4단계의 패치로 구성하였다. 이로 인하여 제안된 안테나는 1.75~2.6 GHz(850 MHz), 3.24~3.46 GHz(220 MHz), 3.8~4.0 GHz(200 MHz), 4.4~4.9 GHz(500 MHz)의 주파수 대역을 만족한다.

Abstract

In this paper, the dual-faced monopole antenna, which is arranged by numerous rectangular ring patches in sequence for the multi-bands is proposed. The ring type structure of the patch can be increased the bandwidth. Therefore the bandwidth and beam width are improved by using multiple arrayed patches. When the ring type patches are inserted serially, the resonance frequencies are occurred by the current flow from the first ring patch. It is possible because the gap between the patches is very narrow. In addition, if the patches are composed on the same plane as the feed-line, fabrication could be very difficult because the gap between the patches is extremely narrow. The thickness and permittivity of the antenna, moreover, are very important parameters because both sides of the substrate are used. We finally found the optimal thickness and permittivity to generate the coupling effect by simulation. All patches are consisted of 4-steps which the patch size was decreased 85 % by each step. In conclusion, the resonant frequency bands are 1.75~2.6 GHz(850 MHz), 3.24~3.46 GHz(220 MHz), 3.8~4.0 GHz(200 MHz), and 4.4~4.9 GHz(500 MHz).

Key words : Ring Antenna, Monopole, Double-faced, Coupling Effect

I. 서 론

최근 통신 트렌드는 통화나 문자 메시지를 송수

충북대학교 전자정보대학(College of Electrical and Computer Engineering, Chungbuk National University)

· Manuscript received May 2, 2012 ; Revised November 5, 2012 ; Accepted November 13, 2012. (ID No. 20120502-055)

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

신하는 것 이외에 인터넷이 가능한 통신으로 발전하고 있다. 따라서 기존의 CDMA 혹은 WCDMA 통신을 기반으로 LTE 통신, Wifi(WLAN) 통신 등이 복합적으로 이루어져야 한다. 이러한 여러 가지 통신을 복합적으로 사용하기 위해서는 제공하는 주파수 대역이 광대역 혹은 다중 대역을 만족해야 한다. 또한, 통신 방식이 다양해짐에 따라 다양한 형태 및 방식의 안테나가 개발되고 있으며, 소형화 및 경량화가 되는 추세이다. 이에 따라 최근에는 내장형 안테나가 주로 개발되며, 제작이 쉽고 개발이 용이한 모노폴 구조를 주로 사용한다. 안테나의 소형화 방법에는 집중소자 기술을 사용하는 방법, 기하학적 구조를 사용하는 방법, 기생소자를 사용하는 방법 등이 있다^[1]~^[3]. 또한, 마이크로스트립 급전과 접지면을 사용하여 안테나의 크기를 파장의 1/4로 줄이고, 추가적인 패치를 사용함으로써 기본 패치의 방사를 보충하여 성능을 향상시켜주는 기법을 주로 사용한다^[11]~^[4].

하지만, 소형 안테나에 상용화 통신 대역의 주파수를 만족하는 다중 대역 또는 광대역의 공진을 만들어 주는 것은 안테나의 집적도 문제 때문에 쉽지 않다. 또한, 안테나의 소형화는 전류밀도가 커지고 Q값이 커지게 되어, 대역폭이 감소하게 되는 문제점이 있다^[5]~^[8]. 이러한 문제를 해결하기 위해서 제시되는 방법이 고차 모드를 이용하는 방법, 평면형 방사소자에 슬릿을 추가하여 새로운 공진 특성을 구하는 방법, 선형 방사 구조를 사용하는 방법, CPW 급전 방식을 사용하는 방법, 주방사 소자에 기생패치를 추가하여 커플링 효과로 다른 공진 대역을 형성하는 방법 등이 있다^[8]~^[13]. 특히, 링 형태의 패치를 연속으로 배열할 경우 패치간의 커플링 효과를 이용하여 다중 공진 특성을 얻을 수 있으며, 패치의 크기를 조절하여 원하는 주파수 대역에서의 공진 특성을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 안테나의 소형화와 다중 대역 서비스를 만족하기 위한 마이크로스트립 양면형 모노폴 안테나를 제안하였다. 다중 대역 특성을 얻기 위해서 링 형태의 패치를 연속으로 배열하였으며, 안테나의 소형화를 위하여 기관의 양면에 패치를 순차적으로 배열하였다. 안테나의 기관 두께와 비유전율을 적절히 조절하여 한쪽 면에 패치가 있는 경우와 동일하게 커플링 효과를 발생시켰으며, 다수의 사각

링 패치를 기관의 앞면과 뒷면에 배치하여 다중 공진특성을 발생시켰다^[14]~^[15]. 이는 기관 앞면의 급전 부분과 1차 사각 링형 패치에 전류가 흐르면서 1차 방사가 이루어지고, 커플링 효과를 이용하여 기관의 뒷면에 위치한 다른 크기의 사각 링형 패치에 전류를 전달하여 2차 방사가 이루어진다.

기관의 앞면과 뒷면을 동시에 사용함으로써 패치의 체적량을 증가시킬 수 있으며, 다른 크기의 사각 링형 패치가 앞면과 뒷면에 연속적으로 위치하도록 이루어져 있어 원하는 주파수 대역에서 응용이 가능하다. 설계된 안테나의 공진 주파수 대역은 1.75~2.6 GHz(850 MHz), 3.24~3.46 GHz(220 MHz), 3.8~4.0 GHz(200 MHz), 4.4~4.9 GHz(500 MHz)이다.

II. 안테나 구조 설계

2-1 안테나의 설계

그림 1은 안테나의 기본 구조를 보여준다. 안테나는 기본적인 마이크로스트립 선로로 급전을 하는 모노폴 안테나이다. 그림 1의 (a)를 통해 알 수 있듯이 전면에 세 개의 링 형태의 패치가 있으며, (b)에서는 후면에 접지면과 두 개의 링 패치가 있다. 일반적으로 평면형 패치 안테나는 광대역 특성을 갖고 있다. 하지만 본 논문에서 제시한 구조의 안테나는 다수의 링 패치를 연속적으로 배열함으로써 다중 공진을 발생시킬 수 있으며, 동시에 원치 않는 대역을 제거(notch)할 수 있도록 설계되었다^[16].

설계된 안테나의 전체 크기는 30 mm(W)×60 mm

그림 1. 설계된 안테나의 구조

Fig. 1. The structure of the proposed antenna.

(H)×1 mm(T)이며, 비유전율이 4.6인 FR-4 기판에 설계되었다. 앞에서 언급하였듯이, 기본적인 구조는 마이크로스트립 급전 선로를 사용한 모노폴 안테나를 설계하였으며, 안테나의 모양은 광대역 특성을 얻기 위하여 사각 패치 형태로부터 출발하였다. 예전부터 링(원형 또는 사각형) 구조의 안테나는 광대역으로 만들기 위해 사용되었으며, 면 패치를 링 형태로 만들기 위해 중간 부분을 적절히 제거시키게 되면 넓은 광대역 특성이 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서도 기본적으로 2 GHz 대역에서 광대역 특성을 얻기 위하여 두께를 1 mm 정도로 만들고, 나머지 부분을 제거했다. 기본적인 공진이 2 GHz에서 발생하는 것을 확인하고, 추가적으로 3.5 GHz에서 공진을 만들어주기 위하여 두 번째 사각 링 패치를 삽입하였다. 이때 첫 번째 패치와 두 번째 패치의 커플링을 유도하기 위하여 간격을 약 0.25 mm 정도로 가깝게 하였다. 이를 적용하기 위하여 두 번째 패치의 크기와 위치는 첫 번째 패치 크기와 위치를 기준으로 85 % 축소하여 만들어 주었으며, 마찬가지로 세 번째 패치는 두 번째 패치 크기의 85 % 축소하였다. 이러한 방식으로 기본 패치를 제외하고 총 4개의 추가적인 패치를 부설하였다. 패치의 크기를 85 %로 감소시키는 것은 동일한 두께를 연속적으로 사용하면, 기본 패치 내부에 다수의 패치를 적재할 수 없으며, 이는 본 논문의 연구 목적인 다중 공진을 유도할 수 없기 때문에 패치의 두께도 함께 축소하여 부설한 것이다. 또한, 패치 간의 간격이 매우 중요한 요소인데, 그림 2에서 보여주듯이 크기를 85 %로 축소할

그림 2. 패치의 크기 변화율에 따른 공진 주파수의 변화

Fig. 2. The variation of the resonant frequency by varying the patch size.

경우 가장 좋은 특성을 보이고 있다.

두 패치의 커플링 유도로 원하는 특성을 얻을 수 있었으나, 간격이 너무 가까워 제작상의 문제가 발생하였고, 이를 해결하기 위하여 두 번째 패치를 접지면이 있는 면으로 이동시켰다. 이 경우, 기판의 두께가 최적의 커플링 효과를 유도할 수 있는 중요한 변수가 되며, 모의실험을 통하여 최적의 두께를 산출하였다. 이렇게 두 개의 링 패치를 배열할 경우, 커플링 효과로 인하여 원하는 대역에서 다중 공진이 가능할 뿐만 아니라 동시에 원치 않는 대역을 제거시킬 수 있다. 일반적으로 면 패치 안테나에서 대역 제거를 위해 링 또는 선 형태의 슬롯을 추가하는데, SRR(Split Ring Resonator) 및 CSRR(Complementary SRR), 스파이럴 공진기(Spiral Resonator), DGS(Defected Ground Structure) 등을 사용하는 경우가 대표적인 예이다. 이러한 효과로 인하여 3 GHz 대역을 제거시켰다. 마찬가지로 4 GHz 대역을 공진시키기 위하여 추가적인 링 패치를 삽입시켰다. 결론적으로 이렇게 다수의 링 패치를 연속적으로 배열할 경우, 면 패치와 유사한 효과를 내며, 원하는 주파수 대역에서 공진을 발생시키거나 대역 저지를 만들 수 있다. 또한, 단일 링 패치의 경우 대역폭이 넓어지는 대신 빔폭(beamwidth)은 좁아지게 되는데, 다수의 링 패치를 이용하는 경우 넓은 대역폭과 넓은 빔폭을 얻을 수 있다^[15]. 다른 특징은 패치를 기판의 앞면과 뒷면에 반복적으로 배열함으로써 제작상의 이점과 안테나 크기를 소형화 할 수 있다는 장점이 있다. 설계 초기에 50Ω 매칭을 위하여 마이크로스트립 선로(microstrip line)의 폭은 비유전율, 기판의 두께, 공진 주파수 대역 등의 요소(factor)를 이용하여 수치적으로 계산하였다. 안테나의 크기에 대한 파라미터는 다음의 표 1에서 정리하였다.

표 1. 안테나 크기에 대한 변수

Table 1. Parameters of the antenna dimension.

변수	크기	변수	크기
w	30	h	60
w_{p1}	17	w_{p2}	14.45
h_{p1}	18	h_{p2}	15.3
w_f	1.86	h_f	38
g_h	35	t	1

2-2 안테나 구조 분석

안테나의 설계 및 해석을 위하여 상용 EM 시뮬레이터를 사용하였다. 설계 초기 기본적으로 2 GHz 대역에서 공진을 발생시키기 위하여 사각 링 구조의 패치 안테나를 설계하였다. 패치의 넓이는 17 mm, 높이는 18 mm로 하였으며, 패치의 두께는 1 mm이다. 안테나는 넓이와 높이의 크기에 따라 공진 주파수 대역이 변하며, 다음의 그림 3에서는 각각의 크기에 따른 공진 대역의 변화를 보여주고 있다.

그림 3(a)를 통해 알 수 있듯이 넓이가 변하면서 공진 주파수가 변하는 것을 알 수 있다. 크기가 커질수록 공진 주파수는 낮은 주파수 대역으로 이동하며, 임피던스 매칭 특성도 좋아지는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 3(b)에서도 마찬가지로 패치의 높이 크기가 변하면서 공진 주파수 대역이 변하는 것을 볼 수 있는데, 길이가 길어질수록 공진 주파수는 우리가

(a) 패치의 넓이에 따른 변화

(a) The variation of the width of basic patch

(b) 패치의 높이에 따른 변화

(b) The variation of the height of basic patch

그림 3. 패치의 크기 변화에 따른 공진 대역의 변화
Fig. 3. The variation of the resonant frequency by varying the size of basic patch.

그림 4. 두 번째 삽입된 패치에 따른 공진 주파수의 변화

Fig. 4. The variation of the resonant frequency by inserted the second patch.

원하는 대역인 2 GHz로 이동하지만, 동시에 대역폭이 좁아지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 원하는 주파수 대역에서 공진이 발생하도록 패치의 넓이와 높이를 각각 17 mm와 18 mm로 선정하였다.

다음의 그림 4는 두 번째 패치를 삽입 결과를 보여주고 있다. 첫 번째 패치만 있는 경우에 비해 2 GHz의 대역폭이 감소하였으나, 3.5 GHz 이상에서 다른 공진이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 게다가 두 안테나의 크기와 위치를 적절히 조절하면, 3 GHz 대역을 공진이 발생하지 않도록 제거할 수 있다. 이때 두 번째 패치가 첫 번째 패치와 동일면상에 있는 경우와 접지면 상에 있는 경우를 비교한 결과, 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 이는 기판의 두께와 비유전율에 따라 특성이 매우 크게 변하는데, 그림 4에서 모의 실험한 결과를 보여주고 있다.

연속적으로 패치를 배열하기 위하여 두 번째 패치는 첫 번째 패치의 크기를 85 % 축소한 다음, 이에 비례하여 이동을 시켰다. 앞서 설명하였듯이 이러한 방법은 두 패치 간의 간격을 일정하게 축소시키기 때문에 다중 패치를 배열하는데 위치의 정확성을 높일 수 있으며, 패치를 기판의 앞면과 뒷면에 순차적으로 적재함으로써 발생하는 영향 등을 분석하는데 효과적이다.

본 논문에서는 총 5개의 패치를 삽입하였으며, 그림 5에서 보여주듯이 패치를 삽입함에 따라 새로운 공진 주파수가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 첫 번째 기본 패치에서는 1.9 GHz 대역의 기본 공진이 발생하는 것을 알 수 있으며, 약 3.2 GHz 대역에서도

그림 5. 패치의 개수에 따른 공진 주파수의 변화
Fig. 5. The variation of the resonant frequency by the number of the patches.

약간의 공진이 발생하는 것을 알 수 있다. 하지만 패치가 정확히 되지 않아 반사 손실이 약 -13 dB 정도로 크지 않은 것을 알 수 있으며, 이를 보완하기 위하여 두 번째 패치를 삽입한 결과, 3.7 GHz 대역에서 공진이 발생하고 동시에 두 패치 사이의 간격으로 인하여 커패시터 성분이 생성되어 3 GHz 대역이 제거되는 것을 확인할 수 있다. 세 번째 패치를 삽입한 결과, 공진 주파수 대역이 이동하였으며, 네 번째 및 다섯 번째 패치를 삽입할수록 추가적인 공진 대역이 생성되는 것을 알 수 있다. 이는 링 형태의 패치가 추가될수록 패치의 크기에 따라 새로운 공진 주파수가 발생하는데, 첫 번째로 부설된 패치로부터 전류가 연쇄적으로 흘러 공진이 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 패치 간의 간격이 전류가 흐를 수 있을 정도로 매우 좁기 때문에 가능하다. 또한, 발생하는 커플링으로 인해 커패시터 성분이 증가하여 대역폭과 매칭 특성에 영향을 미치는데, 간격이 감소함에 따라 커플링에서 발생하는 커패시터 성분이 증가하여 임피던스 성분 중 허수 임피던스(리액턴스)값이 작아져서 손실이 적어지고 임피던스 매칭이 좋아진다^[7].

그림 6은 앞서 언급하였듯이 기판의 두께와 비유전율에 따른 공진 주파수의 변화를 보여주고 있다. 비유전율이 커질수록 높은 주파수 대역의 공진 특성이 좋아지는 것을 알 수 있으며, 낮은 주파수 대역의 매칭도 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 1 mm와 1.2 mm의 차이는 크게 보이지 않았으며, 본 논문에서는 모노폴 안테나에 주로 사용되는 1 mm 두께의 기판

(a) 두께에 따른 변화
(a) The variation of the thickness

(b) 비유전율에 따른 변화
(b) The variation of the permittivity

그림 6. 기판의 두께 및 비유전율에 따른 공진 주파수의 변화

Fig. 6. The variation of the resonant frequency by the thickness and relative permittivity of the substrate.

을 선택하였다. 비유전율도 커질수록 공진 주파수 대역이 전체적으로 낮은 쪽으로 이동하는 양상을 보이며, 원하는 공진 주파수 대역을 고려하였을 때 4.5 정도의 값이 가장 적절하다고 판단하였다. 따라서 비유전율도 일반적으로 사용되는 4.6 의 FR-4를 사용하였다.

그림 7은 최종적으로 제안된 안테나의 모의실험 결과를 보여주고 있다. 반사 손실 -10 dB를 기준으로 공진점은 1.95 GHz, 3.36 GHz, 3.92 GHz, 4.82 GHz이며, 공진 대역은 $1.75 \sim 2.6$ GHz(850 MHz), $3.24 \sim 3.46$ GHz(220 MHz), $3.8 \sim 4.0$ GHz(200 MHz), $4.4 \sim 4.9$ GHz(500 MHz)이다. 각각의 공진 대역은 안테나 크기에 비례하여 결정할 수 있으므로 원하는 대역에서 공진을 발생시키기 위하여 적절하게 크기를 조절할 수 있다.

그림 7. 최종 제안된 안테나의 모의실험 결과
Fig. 7. The simulation results of finally proposed antenna.

III. 제작 및 측정 결과 분석

그림 8은 설계된 안테나의 제작된 사진을 보여주 고 있다. 이미 언급되었듯이 비유전율 4.6의 FR-4 기 판에 제작되었으며, 설계된 모델과 동일한 크기와 구조로 제작된 것을 확인할 수 있다. 측정은 전자파 무반사실에서 진행되었으며, 표준 혼 안테나를 사용하여 방사 패턴을 측정하였다.

그림 9에서는 각 공진점에서의 전류 분포를 보여 주고 있다. 높은 주파수 대역으로 높아짐에 따라 전류가 안쪽에 있는 링 패치에 집중해서 흐르는 것을 알 수 있다. 하지만, 메인 패치에 인접한 패치에서 전류가 역방향으로 흐르는 것을 확인할 수 있으며, 이는 방사 패턴의 이득이나 방사 효율이 감소하는 결과를 초래할 수 있다. 하지만, 인접한 패치에 흐르는 전류의 크기가 메인 패치에 비해 상대적으로 매

그림 8. 최종 제안된 안테나의 제작 사진
Fig. 8. A photograph of the fabricated antenna.

그림 9. 공진점에서의 전류 분포
Fig. 9. Currents distribution at resonant points.

우 작으며, 방사 효율에 아주 크게 영향을 주지는 않는 것으로 분석되었다. 또한, 본 논문에서 제시한 안테나는 다수개의 링 패치를 적절한 간격으로 배치함으로써 공진 대역의 조절과 더불어 대역 노치를 가능하게 할 수 있는 특징이 있으며, 이를 위하여 방사 효율이 다소 감소되더라도 원하는 대역을 조절할 수 있는 특징이 있다.

그림 10은 네트워크 분석기를 사용하여 제작된 안테나의 측정된 반사 손실과 그림 7에서 보여주고 있는 모의실험 된 반사 손실을 비교하여 보여준다.

그림 10. 최종 제안된 안테나 구조의 측정 및 계산된 반사 손실 비교

Fig. 10. Comparison of the return loss between simulated and measured.

반사 손실 -10 dB를 기준으로 보았을 때, 두 값이 상당히 유사한 패턴을 보이는 것을 확인할 수 있었으며, 약간의 오차가 발생하는 것은 실제 측정 환경에서 실험실의 환경적인 요인이나 측정자의 영향 등으로 볼 수 있다.

그림 11에서는 안테나의 측정된 방사 패턴을 보여주고 있다. 방사 패턴은 공진점인 4개의 주파수 (1.9 GHz, 3.3 GHz, 3.9 GHz, 4.7 GHz)와 통신 서비스 대역인 2.4 GHz에서 측정하였으며, 각각의 주파수에 대한 E-plane과 H-plane을 보여준다. 측정 데이터와

모의실험 데이터를 비교하였으며, 안테나의 편파 특성을 확인하기 위하여 측정된 교차 편파(cross polarization)의 방사 패턴도 함께 보여준다. 모노폴 안테나의 일반적인 방사 패턴 형태인 전방향 패턴(omni-directional pattern)이 되는 것을 확인할 수 있으며, 최대 이득(gain)은 E-plane에서 1.56, H-plane에서 1.2로 측정되었다.

표 2는 모의실험을 통하여 링 패치가 한 개일 경우와 본 논문에서 제안한 다중의 패치가 있을 경우의 빔폭을 보여주고 있다. 단일 링 패치에 비해 다중

(a) E-plane at 1.9 GHz

(b) H-plane at 1.9 GHz

(c) E-plane at 2.4 GHz

(d) H-plane at 2.4 GHz

(e) E-plane at 3.3 GHz

(f) H-plane at 3.3 GHz

그림 11. 측정된 방사 패턴

Fig. 11. The measured radiation patterns.

(g) E-plane at 3.9 GHz

(h) H-plane at 3.9 GHz

(i) E-plane at 4.7 GHz

(j) H-plane at 4.7 GHz

그림 11. 계속
Fig. 11. Continued.

표 2. 단일 링 패치와 다중 링 패치의 빔폭

Table 2. Beamwidth of single and multiple ring patch.

주파수	단일 링 패치	다중 링 패치
1.9 GHz	81.5°	81.7°
2.4 GHz	75.0°	75.2°
3.3 GHz	57.4°	59.2°
3.9 GHz	52.7°	52.0°
4.7 GHz	56.4°	104.6°

표 3. 방사 패턴의 최대 이득 및 방사 효율

Table 3. Gain and efficiency of radiation patterns.

주파수	최대이득	방사 효율
1.9 GHz	1.5 dB	97.44 %
2.4 GHz	1.2 dB	78.75 %
3.3 GHz	0.4 dB	76.80 %
3.9 GHz	-0.16 dB	86.43 %
4.7 GHz	-1.06 dB	82.47 %

링 패치가 더 넓은 빔폭을 갖는 것을 보여주고 있으며, 4.7 GHz에서는 훨씬 더 넓은 빔폭을 가졌다. 표

3은 측정된 방사 패턴의 최대이득 및 방사 효율에 대해 주파수 별로 정리하였다. 1.9 GHz 대역에서는 약 1.5 dB의 이득을 보였으며, 주파수가 높아질수록 이득이 감소하였다.

IV. 결 론

본 논문은 전류의 커플링 효과를 이용하여 다중 대역 특성을 보이는 링형 모노폴 안테나를 설계하였다. 공진 주파수 대역을 결정하기 위하여 대역폭을 증가시킬 수 있는 기본적인 링 형태의 패치를 설계하였고, 85 %씩 안테나의 크기와 위치를 감소시켜 연속적으로 배열함으로써 다중 공진 특성을 얻을 수 있었다. 또한, 제작상의 이점과 안테나의 소형화를 위하여 설계된 안테나의 패치를 기판의 앞면(급전선이 있는 부분)과 뒷면(접지면이 있는 부분)에 순차적으로 배열하였다. 링 패치의 단점인 빔폭이 좁아진다는 단점을 연속적으로 배열함으로써 보완하였으며, 패치 간의 간격을 적절히 조절하여 원치 않는 대역을 제거시킬 수 있었다. 또한, 안테나의 파라미터

를 조절하여 원하는 주파수 대역에서 공진이 발생하도록 조절이 가능하며, 본 논문에서는 총 4단계의 패치로 구성하여 0~5 GHz 사이에서 4개의 공진 주파수를 만들었다. 제안된 안테나는 1.75~2.6 GHz (850 MHz), 3.24~3.46 GHz(220 MHz), 3.8~4.0 GHz (200 MHz), 4.4~4.9 GHz(500 MHz)의 주파수 대역을 만족하는 결과를 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 이승우, 김남, 이승엽, "CPWG 구조를 이용한 Wi-bro 및 WLAN 통신용 안테나 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 19(10), pp. 1086-1095, 2008년 10월.
- [2] K. Hiraswa, M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*, Artech House, London, 1992.
- [3] 최순신, 김준일, 지용, "CPW 급전 광대역 사각 슬롯 안테나 설계", 대한전자공학회논문지, 42 TC (11), pp. 107-116, 2005.
- [4] 김재희, 우대웅, 박위상, "커플링 급전을 이용한 이중 모드 Annular Ring 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 20(4), pp. 351-356, 2009년 4월.
- [5] X. Ren, Y. Yin, W. Hu, and Y. Wei, "Compact tri-band rectangular ring patch antenna with asymmetrical strips for WLAN/WIMAX applications", *Journal of Electromagnetics Waves and Applications*, vol. 24, pp. 1829-1838, 2010.
- [6] Y. Lee, H. Chung, and J. Choi, "Improving the isolation of MIMO antennas using split ring resonators", *Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 10, no. 4, pp. 303-308, 2010.
- [7] 이성훈, 이승우, 김남, "U자형 패치 라인과 사각 패치를 결합한 삼중 대역 평면형 모노폴 안테나 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 22(8), pp. 745-753, 2011년 8월.
- [8] S. Park, N. Kim, S. Rhee, and S. Lee, "Spiral slot antenna fed by coplanar waveguide using magnetic phase difference", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, no. 1, pp. 28-30, 2010.
- [9] 김용진, 김정환, 이흥민, "가변 원형편파 모드 특성을 갖는 원형 링 슬롯 안테나", 대한전자공학회논문지 TC, 45(1), pp. 78-84, 2008년.
- [10] J. Chen, S. Lin, "Triple-frequency rectangular-ring slot antennas fed by CPW and microstrip line", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 37, no. 4, pp. 243-246, 2003.
- [11] Q. Zhang, Q. Chu, "Triple-band dual rectangular ring printed monopole antenna for WLAN/WiMAX applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 12, pp. 2845-2848, 2009.
- [12] J. Liang, C. Chiau, X. Chen, and C. Parini, "Printed circular ring monopole antennas", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 45, no. 5, pp. 372-375, 2005.
- [13] N. Zainudin, M. Kamarudin, "Rectangular ring antenna for on-body communication system", *PIERS Proceedings*, pp. 882-884, 2010.
- [14] A. Mirkamali, L. Akhoondzadeh-Asl, P. S. Hall, and K. Moussakhani, "Modified multiband multiple ring monopole antenna", *PIERS C*, vol. 14, pp. 173-183, 2010.
- [15] J. -S. Chen, S. -Y. Lin, "Triple-frequency rectangular ring slot antennas fed by CPW and microstrip line", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 37, no. 4, pp. 243-246, 2003.
- [16] D. -O. Kim, N. -I. Jo, H. -A. Jang, and C. -Y. Kim, "Design of the ultrawideband antenna with a quadruple-band rejection characteristics using a combination of the complementary split ring resonators", *PIER*, vol. 112, pp. 93-107, 2011.
- [17] C. R. Rowell, R. D. Murch, "A capacitively loaded pifa for compact mobile telephone handsets", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 5, pp. 837-842, 1997.

최 영

1997년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
2012년 8월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 안테나 설계, EMC, 전자파 차폐

김 남

1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stanford 대학교 방문교수

2000년 3월~2001년 2월: 미국 California Technology Institute 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: 중앙전자관리소 자문위원회 위원

2008년~현재: 방송통신위원회 자체평가위원회 위원

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

이 승 우

2003년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)

2006년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2012년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)

2012년 7월~현재 : 충북대학교 리

서치 펠로우

[주 관심분야] Meta-material, 안테나 설계, EMI/ EMC 및 전자파 인체 영향, 무선전력전송