LTE/WWAN 이동 통신 단말기 응용을 위해 커플드 급전된 평판 모노폴 안테나

Coupled-Fed Planar Monopole Antenna for LTE/WWAN Mobile Handset Applications

강 도 구 · 이 준 혁 · 성 영 제

Do-Gu Kang · Jun-Hyuk Lee · Young-Je Sung

요 약

본 논문에서는 LTE/WWAN 이동 통신 단말기 응용을 위해 커플드 급전된 모노폴 안테나를 제안하였다. 이 안테나는 모노폴, 커플링 스트립, 급전 패드, 스텐브, 단락 스트립으로 구성되어 있다. 모노폴의 기본 공진과 급전 패드와 커플링 스트립 사이에서 발생하는 커플링에 의한 공진이 결합하여 LTE700(698~787 MHz), GSM-850(824~894 MHz), GSM900(890~960 MHz) 대역을 포함한다. 스텐브의 공진은 모노폴의 고조파 성분과 결합하여 GSM1800(1,710~1,880 MHz), GSM1900(1,850~1,990 MHz), UMTS(1,920~2,170 MHz) 대역을 포함한다. 그러므로 제안된 안테나는 LTE700, GSM850, GSM900, GSM1800, GSM1900, UMTS 대역을 포함하는 육중 대역 이동 통신 단말기를 위한 안테나로써 적용이 가능하다. 동작 대역 내에서 방사 패턴은 안정적이고 전방향성이며, 안테나 이득은 적당하다.

Abstract

In this paper, a coupled-fed monopole antenna for LTE/WWAN mobile handset applications is presented. The antenna consists of a monopole, a coupling strip, a feeding pad, a stub, and a shorting strip. The basic resonance of the monopole combines with the resonance formed by the coupling that occurs between the coupling strip and the feeding pad to include LTE700(698~787 MHz), GSM850(824~894 MHz), and GSM900(890~960 MHz) bands. The resonance of the stub combines with the harmonics of the monopole to include GSM1800(1,710~1,880 MHz), GSM1900(1,850~1,990 MHz), and UMTS(1,920~2,170 MHz) bands. Therefore, the proposed antenna is suitable as antenna for hexa-band mobile handset applications, covering LTE700, GSM850, GSM900, GSM1800, GSM1900, and UMTS bands. A stable and omni-directional radiation pattern with reasonable gains is observed within the operating bandwidth.

Key words : Coupled-Fed Antenna, Monopole Antenna, Planar Antenna

I. 서 론

오늘날 무선통신의 기술과 다양한 요구에 따라

이동 통신 단말기는 점점 소형화, 경량화, 다기능화 되고 있다^[1]. 이에 따라 안테나는 외장형에서 내장형으로 바뀌고, 크기와 성능에서 많은 제약을 받게 되

「이 논문은 2012년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학창의재단(학부생 연구프로그램사업)과 한국연구재단 (KRF-2010-0021222)의 지원을 받아 수행된 연구임.」

경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

· Manuscript received January 21, 2013 ; Revised February 28, 2013 ; Accepted April 1, 2013. (ID No. 20130121-014)

· Corresponding Author : Young-Je Sung (e-mail : yjsung@korea.ac.kr)

었다. 따라서 평판 모노폴이 주목 받게 되었는데, 평판 모노폴은 공진 길이에서 동작할 뿐만 아니라 간단하고 가볍고 높이가 낮은 구조이기 때문에 내장형 안테나에 적합하다^{[2],[3]}. 또한, 평판 모노폴은 시스템 회로 기판의 윗면에 구현된 프린트형 안테나에 적합하기 때문에 제작이 용이하고, 인쇄 회로 기술에 의한 대량 생산이 가능하다^[4]. 하지만 기존의 평판 모노폴^{[5]~[7]}들은 일반적으로 GSM850, GSM900, GSM1800, GSM1900, UMTS 대역들을 포함하는 오중 대역 WWAN(wireless wide area network)을 제공하기 힘들다. 게다가, 최근 들어 LTE 대역이 전송 및 수신 속도가 기존의 GSM, DCS 밴드보다 더 뛰어나다고 알려짐에 따라 LTE 대역에 대한 관심이 증가하고 있다^{[8],[9]}. 따라서 WWAN 및 LTE 대역을 포함하기 위해 광대역을 형성한 커플드 급전된 평판 모노폴들이 연구되고 있다^{[10]~[12]}. 광대역을 구현한 모노폴들은 칩 인덕터가 내장된 모노폴^[10], 인쇄된 인덕터 분포소자를 가진 모노폴^[11], 커플드 급전된 단락형 모노폴^[12]이 있다. 첫 번째 구조는 안테나의 길이를 줄였을 때 발생하는 캐패시턴스를 보상하기 위해 칩 인덕터를 사용함으로써 전기적인 길이를 증가시켰다. 하지만 칩 인덕터를 사용하면 안테나 제작시 추가적인 공정이 요구되고 제작 비용도 증가하게 된다. 따라서 두 번째 구조에서는 칩 인덕터를 인쇄된 인덕터 분포소자로 대체하여 시스템 회로 기판에서 안테나를 제작할 수 있도록 하였다. 인쇄된 인덕터 분포소자를 추가한다는 것은 안테나의 길이가 길어질 뿐만 아니라 구조가 더 복잡해진다는 것을 의미한다. 이를 해결하기 위해 세 번째 구조에서는 커플드 급전을 통해 안테나의 큰 인덕티브 리액턴스를 보상하여 광대역 특성을 구현하였다. WWAN/LTE 대역에서 동작하는 모노폴들은 밀접하게 결합된 기생 단락 스트립을 가진 모노폴^[13], 인덕티브 미오티 단락 스트립을 가진 모노폴^[14], 긴 기생 스트립을 가진 모노폴^[15]이 있다.

본 논문에서는 WWAN/LTE 대역을 위해 커플드 급전된 모노폴 안테나를 제안하였다. 제안된 평면 구조는 PCB 윗면에 구현되어 있어서 제작에 용이하다. 이 구조는 모노폴, 커플링 스트립, 급전 패드, 스테르브, 단락 스트립으로 구성되어 있다. 모노폴의 기본 공진과 급전 패드와 커플링 스트립 사이에서 발

생하는 커플링에 의한 공진이 결합하여 저주파 대역 LTE700, GSM850, GSM900을 포함한다. 이는 다른 안테나에 비해 상대적으로 저주파 대역에서 넓은 대역폭을 확보할 수 있는 장점을 갖고 있다. 스테르브는 모노폴의 크기 변화없이 추가되었다. 스테르브의 공진은 모노폴의 고주파 성분과 결합하여 GSM1800, GSM1900, UMTS 대역을 포함한다. 그러므로 제안된 안테나는 LTE700, GSM850, GSM900, GSM1800, GSM1900, UMTS 대역을 포함한다.

본 논문의 제 II, III, IV장으로 구성되어 있다. 제 II장에서 제안된 안테나의 구조를 설명하였다. 제 III장에서는 시뮬레이션된 반사 손실과 임피던스를 분석하여 동작원리를 알 수 있었다. 또한, 방사 패턴과 이득 및 효율을 통해 방사 특성을 알 수 있었다. 마지막으로 제 IV장에서는 결론을 내렸다.

그림 1. 제안된 안테나
Fig. 1. Proposed antenna.

II. 안테나 구조

그림 1은 긴 방사체($\overline{AB}$), 커플링 스트립($\overline{AC}$), 급전 패드, 스테브($\overline{DE}$), 단락 스트립으로 구성된 제안된 안테나를 보여준다. l_1 은 긴 방사체의 길이를 의미한다. l_2 는 커플드 급전이 발생하는 부분의 길이를 의미하고, g 는 급전 패드와 커플링 스트립 사이의 gap을 의미하는데, 두 파라미터는 커플드 급전에 영향을 준다. l_3 는 급전 패드의 길이를 의미하고, l_4 는 스테브의 길이를 의미한다. 제안된 방사체는 두께가 0.6 mm인 FR4 기판의 윗면에 $47 \times 18 \text{ mm}^2$ 의 면적을 차지하고 있다. 기판의 전체 크기는 $118 \times 47 \text{ mm}^2$ 이고, 기판의 아랫면에는 $100 \times 47 \text{ mm}^2$ 의 면적을 차지하는 그라운드판이 존재한다.

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

그림 2는 제안된 안테나, reference 1, reference 2의 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실을 보여준다. 제안된 안테나의 파라미터들은 다음과 같이 $l_1=70 \text{ mm}$, $l_2=20 \text{ mm}$, $g=0.4 \text{ mm}$, $l_3=20 \text{ mm}$, $l_4=27 \text{ mm}$ 로 설정

그림 2. 제안된 안테나, reference 1, reference 2의 시뮬레이션 및 측정된 반사 손실

Fig. 2. Simulated and measured return loss for the proposed antenna, reference 1, and reference 2.

그림 3. 제작된 제안된 안테나

Fig. 3. Fabricated proposed antenna.

하였다. 그림 3은 상위의 최적화된 파라미터들을 바탕으로 하여 제작된 제안된 안테나를 나타낸다. 시뮬레이션은 HFSS(Ansoft High-Frequency Structure Simulator)를 사용하여 실행하였다. 그림 2에서 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 거의 일치하였다. 제안된 안테나는 4중 공진 특성(f_1 , f_2 , f_3 , f_4)을 가지고 있으며, 하위 대역의 두 공진을 통해 LTE700, GSM-850, GSM900을 포함하고, 상위 대역의 두 공진을 통해 GSM1800, GSM1900, UMTS를 포함한다. 동작 대역은 실제 휴대폰 응용에서 널리 쓰이는 내장형 W-WAN 안테나의 6 dB 대역폭을 만족한다.

만약 제안된 안테나와 reference 1(스테브가 없는 제안된 안테나)의 결과를 비교하면, 스테브를 추가함에 따른 영향을 볼 수 있다. 그림 2에서 reference 1 결과는 하위 동작 대역을 포함하고, 상위 대역의 하위와 상위에지는 각각 1.89와 2.28 GHz이다. 이것은 GSM1800을 포함하지 않는다. 스테브의 추가는 하위 대역폭에 영향을 주지 않으며, 상위 대역의 상위 에지가 2.28에서 2.19 GHz로 감소하는 상태에서 f_3 를 형성하여, 하위 에지를 1.89에서 1.71 GHz로 감소시킨다. 따라서 제안된 안테나는 스테브를 통해 GSM1800을 포함하게 된다. 커플드 급전의 영향을 보기 위해, reference 1 결과를 reference 2(직접 급전을 가진 reference 1) 결과와 비교하였다. 스테브 및 커플드 급전 설계로 인한 효과는 다른 커플드 급전된 모노폴 안테나 논문에도 나와 있듯, 스테브와 기본 공진의 정합 특성을 개선시키고, 전기적 길이를

그림 4. 제안된 안테나, reference 1, reference 2의 시뮬레이션된 입력 임피던스

Fig. 4. Simulated input impedance for the proposed antenna, reference 1, and reference 2.

증가시킨다^{[10]~[12]}. 이러한 효과로 기본 공진과 커플드 급전에 의한 두 번째 공진이 결합하여 하위 광대역을 형성한다.

그림 4는 제안된 안테나, reference 1, reference 2의 시뮬레이션된 입력 임피던스를 나타낸다. 그림 4(a)는 임피던스의 허수부이며, 가로 방향의 실선은 0 Ω 을 의미하고, 그림 4(b)는 임피던스의 실수부이며, 가로 방향의 실선은 50 Ω 을 의미한다. 세로 방향의 점선은 제안된 안테나의 공진 주파수들을 나타낸다. 그림 4에서 상위 대역의 1.73 GHz 대역을 제외한 제안된 안테나의 결과는 reference 1의 결과와 유사하다.

그림 4(a)를 보면 reference 1의 1.73 GHz 대역에서 단일 영점 리액턴스가 형성되고, 제안된 안테나의 1.73 GHz 대역에서 리액턴스가 0 Ω 이하로 감소한다. 결과적으로 추가의 영점 리액턴스가 형성된다. 게다가, 그림 4(b)를 보면 영점 리액턴스가 추가된 주파수에서 레지스턴스가 50 Ω 이 된다. 이것은 f_3 가 스테터브에 의해 형성된다는 것을 입증한다. 그림 4(a)에서 만약 reference 1과 reference 2의 결과를 비교하면 커플드 급전이 직접 급전에 의해 형성된 큰 리액턴스를 보상한다는 것을 알 수 있다. 따라서 커플드 급전은 하위 대역의 정합 특성을 개선한다. Reference 2의 기본 공진으로부터 정합 특성이 개선된 공진과 커플드 급전에 의해 형성된 공진은 각각 제안된 안테나의 f_1 과 f_2 가 된다. 그림 4(b)에서 커플드 급전은 직접 급전에 의해 형성된 하위 대역의 큰 레지스턴스를 감소시키고 50 Ω 이하의 넓은 레지스턴스를 형성한다. 그러므로, 커플드 급전이 하위 대역폭을 넓힌다는 것을 알 수 있다.

그림 5는 긴 방사체의 전체 길이 l_1 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실을 나타낸다. l_1 을 제외한 다른 파라미터들은 고정되어 있다. 기본 공진 f_1 은 긴 방사체의 길이에 의해 형성되고, 이때 긴 방사체의 길이는 $\lambda/4$ 공진 길이이다. f_2 는 커플드 급전에 의해 형성된다. l_1 이 길어짐에 따라 f_2 의 정합 특성이 상당히 악화되면서 f_1 과 f_2 가 감소한다. l_1 의 변

그림 5. 길이 l_1 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실

Fig. 5. Simulated return loss relative to changes in the length l_1 .

그림 6. 길이 l_2 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실

Fig. 6. Simulated return loss relative to changes in the length l_2 .

화가 f_2 에 영향을 미치는 이유는 l_1 이 길어지면 긴 방사체가 커플링 스트립에 가까워지기 때문이다. 따라서 l_1 의 변화는 커플드 급전에 영향을 주므로 커플드 급전에 의해 형성된 공진이 변하게 되는 것이다. 또한, f_3 의 변화 없이 f_4 가 감소하는데, 이는 f_4 가 f_1 의 고조파 성분이라는 것을 증명한다. l_1 이 64이거나 67 mm 일 때 f_3 와 f_4 사이 정합 특성은 6 dB 보다 악화되어 제안된 안테나가 GSM1800을 제외한 상위 동작 대역을 포함한다. l_1 이 64로부터 70 mm 까지 증가함에 따라 f_3 와 f_4 사이 정합 특성이 6 dB 보다 향상되어 안테나가 GSM1800을 포함하게 된다. 또한, 하위 대역은 LTE700, GSM850, GSM900을 포함한다. 그러므로 상위 대역을 고려하여 l_1 을 70 mm로 설정하였다.

그림 6은 커플드 급전이 발생하는 부분의 길이 l_2 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실을 보여준다. l_2 는 커플드 급전에 영향을 주기 때문에, l_2 가 변함에 따라 커플드 급전에 의한 공진이 주로 영향을 받게 된다. l_2 가 증가함에 따라 f_2 가 감소하면서 정합 특성이 향상된다. 반면에 f_1 의 이동이 적게 발생하여 하위 대역의 하위 에지는 거의 변하지 않았다. 상위 대역폭도 또한 거의 변화가 없었다. l_2 가 길어짐에 따라 긴 방사체에 의한 기본 공진과 커플드 급전에 의한 공진이 결합하였다. 제안된 안테나가 LTE700, GSM850, GSM900을 포함하는 광대역 특성

그림 7. Gap g 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실
Fig. 7. Simulated return loss relative to changes in the gap g .

그림 8. 길이 l_3 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실

Fig. 8. Simulated return loss relative to changes in the length l_3 .

을 갖도록 l_2 를 20 mm로 선택하였다.

그림 7은 급전 패드와 커플링 스트립 사이의 gap g 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실을 보여준다. g 이 증가함에 따라 f_1 의 정합 특성이 악화되면서 f_2 의 정합 특성이 향상된다. 반면에 상위 대역은 그림 6과 같이 변화가 없었다. 그러므로 커플드 급전이 상위 대역보다 하위 대역에 더 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 하위 대역을 고려하여 g 는 0.4 mm로 선택되었다. 그림 8은 급전 패드의 길이 l_3 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실을 나타낸다. l_3 가 길어짐에 따라 f_1 의 이동이 적은 상태에서 f_2 의

그림 9. 길이 l_4 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실

Fig. 9. Simulated return loss relative to changes in the length l_4 .

감소와 함께 f_1 과 f_2 사이의 정합 특성이 향상된다. l_3 는 급전 패드와 커플링 스트립 사이에 형성된 커플드 급전의 길이에 영향을 주기 때문에 하위 대역에서 l_3 의 영향은 l_2 , g 와 유사하다. l_3 가 증가함에 따라 f_3 와 f_4 의 대역폭이 넓어져서 f_3 와 f_4 사이의 정합 특성이 향상된다. 하위와 상위 대역의 영향을 고려하여 l_3 는 20 mm로 설정하였다. 만약 l_3 의 파라미터 스터디를 상위 파라미터 스터디들과 비교하면 급전 패드와 단락 스트립 사이의 gap에 의해 형성된 커플링이 상위 대역에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 스터브의 길이 l_4 의 변화에 따른 시뮬레이션된 반사 손실을 나타낸다. l_4 가 증가함에 따라 하위 대역은 변화가 없다. 반면에 f_4 의 정합 특성이

그림 10. 제안된 안테나의 측정된 2D 방사 패턴

Fig. 10. Measured 2D radiation patterns of the proposed antenna.

그림 11. 제안된 안테나의 평균 이득 및 효율

Fig. 11. Average gain and efficiency of the proposed antenna.

변하면서 f_3 가 감소하였는데, 이는 f_3 가 스테르브에 의해 형성되었다는 것을 의미한다. l_4 가 21 mm일 때 f_3 는 f_4 보다 더 높은 주파수에 위치하게 된다. 상위 대역의 영향을 고려하여 l_4 는 27 mm로 설정하였는데, 이때 l_4 는 f_3 (1.73 GHz)의 $\lambda/4$ 공진 길이이다.

그림 10은 $f_1=0.72$ GHz, $f_2=0.94$ GHz, $f_3=1.73$ GHz, $f_4=2$ GHz에서 측정된 제안된 안테나의 2D 방사 패턴을 보여준다. 방사 패턴은 그림 1(a)에서 제안된 안테나가 놓인 방향을 기준으로 H-plane, E₁-plane, E₂-plane에서 측정하였다. 그림 10(a)에서 하위 대역의 두 공진 주파수를 보면 azimuthal plane(H plane)에서 전방향성 방사 패턴을 가진 다이폴 형태의 방사 패턴이 존재한다. 반면에, 그림 10(b)를 보면 상위 대역의 두 공진 주파수에서 방사 패턴에 더 많은 null과 변화가 발생하였다는 것을 알 수 있다. 이 방사 패턴들은 WWAN 휴대폰 안테나의 방사 패턴들과 유사하였다^{[16],[17]}. 그림 10(a)를 통해 하위 대역에서 주파수의 변화에 따른 방사 패턴의 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 그림 10(b)에서 상위 대역의 방사 패턴도 변화가 거의 없었다. 그러므로 하위와 상위 대역에서 방사 패턴이 안정적이다. 그림 11은 제안된 안테나의 평균 이득 및 효율을 보여준다. LTE-700/GSM850/GSM900 대역에서 평균 이득 및 효율은 $-5.23 \sim -3.43$ dBi, 29.60~45.42 %로 변하고, GSM-1800/GSM1900/UMTS 대역에서 평균 이득 및 효율은 $-5.37 \sim -2.01$ dBi, 29.00~62.98 %로 변한다. 측정 시, 하위 대역의 평균 이득 및 효율이 감소한 이

유는 그라운드의 영향이 크기 때문에 이 점을 보완하기 위해서는 그라운드 크기를 늘리면 될 것이나, 본 논문의 안테나는 평균 이득 및 효율이 우수함을 보여줬다.

IV. 결 론

본 논문에서는 LTE/WWAN 이동 통신 단말기 응용을 위해 커플드 급전된 모노폴 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 PCB 윗면에 구현된 평면구조이므로 제작이 용이하다. 모노폴의 기본 공진과 커플드 급전 구조에 의한 공진이 결합함으로써 하위 대역에서 광대역 특성(0.69~1.03 GHz)을 얻을 수 있다. 모노폴의 크기 변화없이 스테르브가 추가되었다. 스테르브의 공진과 모노폴의 고조파 성분이 결합하여 상위 광대역 특성(1.7~2.34 GHz)을 구현하였다. 따라서 제안된 안테나의 하위와 상위 대역은 각각 LTE700, GSM850, GSM900과 GSM1800, GSM1900, UMTS를 포함하게 된다. 동작 대역의 주파수에서 우수한 방사 특성을 보여준다. 그러므로 제안된 안테나는 다중대역 이동 통신 응용에서 뛰어난 잠재력을 가지고 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. A. Bhatti, S. O. Pack, "Hepta-band internal antenna for personal communication handsets", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 12, pp. 3398-3403, Dec. 2007.
- [2] J. -H. Chen, C. -J. Ho, C. -H. Wu, S. -Y. Chen, and P. Hsu, "Dual-band planar monopole antenna for multiband mobile systems", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 769-772, 2008.
- [3] Y. -S. Shin, S. -O. Park, and M. Lee, "A broadband interior antenna of planar monopole type in handsets", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 4, pp. 9-12, 2005.
- [4] 이호민, 이승우, 김남, "Z자형 패치를 갖는 광대역 평판형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 해석", *한국전자과학회논문지*, 18(2), pp. 1391-1401, Dec. 2007.
- [5] S. -Y. Lin, "Multiband folded planar monopole an-

- tenna for mobile handset", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 7, pp. 1790-1794, Jul. 2004.
- [6] J. -S. Kuo, C. -Y. Huang, "Triple-frequency planar monopole antenna for side-feed communication device on GSM/DCS/PCS operation", *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 5, pp. 268-270, Mar. 2006.
- [7] W. J. Krzysztofik, "Monopole-like antenna for GSM, UMTS, and WLAN applications", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 49, no. 11, pp. 2766-2769, Nov. 2007.
- [8] Jie-Bang Yan, Jennifer T. Bernhard, "Design of a MIMO dielectric resonator antenna for LTE femto-cell base stations", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 2, pp. 438-444, 2012.
- [9] S. Jeon, Y. Liu, S. Ju, and H. Kim, "PIFA with parallel resonance feed structure for wideband operation", *Electron. Lett.*, 47, no. 23, pp. 1263-1265, 2011.
- [10] K. -L. Wong, S. -C. Chen, "Printed single-strip monopole using a chip inductor for penta-band WWAN operation in the mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 3, pp. 1011-1014, Mar. 2010.
- [11] C. -H. Chang, K. -L. Wong, "Small-size printed monopole with a printed distributed inductor for pentaband WWAN mobile phone application", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 51, no. 12, pp. 2903-2908, Dec. 2009.
- [12] W. -Y. Chen, K. -L. Wong, "Small-size coupled-fed shorted T-monopole for internal WWAN antenna in the thin-profile mobile phone", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 52, no. 2, pp. 257-262, Feb. 2010.
- [13] F. -H. Chu, K. -L. Wong, "Planar printed strip monopole with a closely-coupled parasitic shorted strip for eight-band LTE/GSM/UMTS mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 10, pp. 3426-3431, Oct. 2010.
- [14] C. -T. Lee, K. -L. Wong, "Planar monopole with a coupling feed and an inductive shorting strip for LTE/GSM/UMTS operation in the mobile phone", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 7, pp. 2479-2483, Jul. 2010.
- [15] Y. -L. Ban, J. -H. Chen, S. -C. Sun, J. L. -W. Li, and J. -H. Guo, "printed monopole antenna with a long parasitic strip for wireless USB dongle LTE/GSM/UMTS operation", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 767-770, 2012.
- [16] C. -L. Liu, Y. -F. Lin, C. -M. Liang, S. -C. Pan, and H. -M. Chen, "Miniature internal penta-band monopole antenna for mobile phones", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 3, pp. 1008-1011, Mar. 2010.
- [17] B. -N. Kim, S. -O. Park, J. -K. Oh, and G. -Y. Koo, "Wideband built-in antenna with new crossed c-shaped coupling feed for future mobile phone application", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 9, pp. 572-575, 2010.

강 도 구

2011년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
2013년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

이 준 혁

2012년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
2012년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] Cell-Phone Antenna, Reconfigurable Antenna, Wideband and Compact UWB Antenna

성 영 제

2000년 2월: 고려대학교 전기전자전
파공학부 (공학사)

2002년 2월: 고려대학교 전파공학
과 (공학석사)

2005년 2월: 고려대학교 전파공학
과 (공학박사)

2005년 3월~2007년 2월: 삼성전자

무선사업부 안테나개발팀 선임연구원

2007년 3월~2008년 2월: 삼성전자 무선사업부 안테나개발
팀 책임연구원

2008년 3월~2010년 2월: 경기대학교 전자공학과 전임강사

2010년 3월~2013년 2월: 경기대학교 전자공학과 조교수

2013년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 부교수

[주 관심분야] Reconfigurable Antenna, Circular Polarization
Antenna, Dual-Mode Filter, Cell-Phone Antenna