

700 MHz 대역 LTE용 광대역 PIFA 설계

A Design of Wide-Band PIFA for 700 MHz LTE Band

박찬진 · 민경식 · 김정원 · 안성용

Chan-Jin Park · Kyoeng-Sik Min · Jeong-Won Kim · Seong-Yong An

요 약

본 논문은 휴대폰용 700 MHz 대역 LTE용 안테나의 광대역 설계 기법을 제안한 것이다. 제안한 안테나는 역 F(Planar Inverted - F) 구조를 기본으로 설계되었다. 광대역을 실현하기 위해 전기적 길이를 제어하는 방법으로 라운드 구조와 이중 공진 특성을 얻을 수 있는 지선 소자가 설계에 도입되었다. 그 결과, 복소비 유전율이 4.4인 FR-4 기판에서 30×34 mm의 협소한 공간임에도 불구하고, 약 95 MHz의 대역폭을 실현했다. 측정된 반사 손실, 대역폭과 이득 방사 패턴은 계산 값과 잘 일치하였다.

Abstract

This paper proposes a design technique of wide-band antenna for handy phone with 700 MHz LTE(Long Term Evolution) low frequency bandwidth. The proposed antenna based on the PIFA(Planar Inverted-F type Antenna) structure was designed and considered. In order to realize the wide bandwidth, a round structure which is able to control the electric path length of current and a branch line element which can be obtain the dual resonance characteristics were introduced in this design. As a result, It was realized about 95 MHz bandwidth in spite of very small space of 30×34 mm used for FR-4 substrate with relative permittivity of 4.4 at 700 MHz band. Measurement results of return loss, bandwidth and gain radiation pattern were agreed well with their calculation results.

Key words : LTE(Long Term Evolution), Round Structure, Branch Line Element, Wide Bandwidth, Dual-Resonant, PIFA

I. 서 론

최근 이동 통신 기술은 3세대에서 4세대로 넘어가고 있으며, 4세대의 가장 각광받고 있는 이동 통신 기술은 LTE(Long Term Evolution)의 도입이라 할 수 있다. LTE 기술은 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술과 융합되어 기존 3세대 이동 통신 기술보다 증가된 채널 용량과 빠른 전송속도를 가진다. 또한, 휴대단말기의 4세대 안테나 주파수 동작 대역

은 기존 3G 서비스 주파수인 CDMA(824~894 MHz), GSM900(880~960 MHz), DCS(1,710~1,880 MHz), USPCS(1,850~1,990 MHz), WCDMA(1,920~2,170 MHz), WiBro(2,330~2,360 MHz), WiFi(2,400~2,499 MHz)와 700 MHz 대역의 LTE 주파수를 포함한 다중대역 안테나부(여기서는 Main 안테나라고 칭함, 그림 1 참조)와 Main 안테나부의 LTE 주파수 대역과 같은 주파수 대역에서 공진하는 단독 안테나부(여기서는 Sub 안테나라고 칭함, 그림 1 참조)를 둔 2×2 MIMO

「본 연구는 교육과학기술부가 지원하는 Post-BK21사업과 지식경제부의 산업핵심기술개발사업(주관기관: (주)HCT)의 지원으로부터 이루어졌음.

한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime University)

· Manuscript received November 25, 2011 ; Revised February 21, 2012 ; Accepted March 5, 2012. (ID No. 20111125-12S)

· Corresponding Author : Kyoeng-Sik Min (e-mail : ksmin@hhu.ac.kr)

기술을 사용한다^[1].

LTE 사용 주파수 대역으로는 699~3,800 MHz이며, 1~43번의 채널을 가진다^{[2],[3]}. LTE 서비스의 주파수가 낮을수록 통신 품질은 좋아지지만 파장(λ)이 길어져서 안테나의 크기가 커지기 때문에, 파장이 긴 안테나를 제한된 기판 크기를 가지는 휴대단말기에 적용하기 위해서 안테나의 소형화 기술이 요구된다.

안테나를 소형화하면 방사면의 면적이 작아짐으로 인해 이득 및 효율은 감소되고 협대역 특성을 가질 수 있다^[4]. 안테나의 소형화를 위해 휴대폰 안테나로 주로 사용되는 방법이 접힌 모노폴 안테나(Folded monopole antenna) 및 IFA(Inverted F Antenna)가 연구되어져 왔다. 접힌 모노폴 안테나는 대역이 넓은 특성을 가지는 반면 환경 변화에 민감하고, IFA는 안테나를 소형화시키기는 쉬운 반면 이득이 작은 단점을 가지고 있다^[5]. 또한, IFA는 소형이면서 제작이 쉽고, 안테나 특성이 우수하나 안테나의 높이가 낮아질수록 커패시턴스의 성분이 감소해 대역폭이 좁아지는 특성이 있기 때문에, 지금까지 연구해온 휴대폰 안테나 논문들을 보면 대역폭을 넓게 가져가기 위해 높이를 가지는 입체 구조의 IFA 구조가 주로 연구되어 왔다. 평면상에서 대역 특성을 개선하기 위한 여러 가지 방법 중 안테나의 전체 크기를 급격하게 변화시키지 않고 전류의 전기적 길이를 제어하는 구조를 사용하는 방법^[6]으로 미앤더 라인의 사용과 입력 임피던스의 변화를 작게 만들면서도 전기적 길이를 조절할 수 있는 라운드 구조 등이 있다. 여기서는 라운드 구조를 선택하여 저주파수 대역에서 전류의 방향을 조정하여 전기적 길이를 제어하는 방법을 선택한다. 또한, 다중 공진 특성을 얻을 수 있는 지선 소자(branch line element)를 사용하는 방법이 있다^[7]. 일반적으로는 부가적인 공간이 요구가 되나, 여기서는 미앤더 라인과 같은 방법으로 나선형으로 안쪽으로 지선을 주어 용량성 성분을 제어할 수 있도록 하여 고주파수 대역에서 공진을 일으켜서 이중 공진을 만들어 전체적으로 광대역으로 설계하는 방법을 제시한다^[8].

본 논문에서는 지선 소자를 사용하여 700 MHz 대역 LTE 안테나 대역폭을 만족시킬 수 있는 안테나의 설계법을 제안하고자 한다. 목표 설계 주파수 대

표 1. LTE 700 MHz 주파수 대역^[3]

Table. 1. LTE 700 MHz frequency band^[3].

Band	Up link		Down link		B.W.
	Low	High	Low	High	
12	699	716	729	746	17
13	777	787	746	756	10
14	788	798	758	768	10
17	704	716	734	746	12

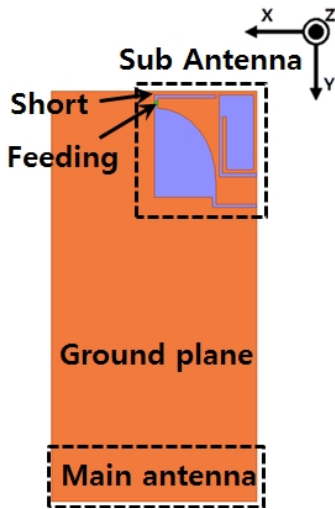
역은 LTE의 저주파수 영역에 해당하는 699~798 MHz이고, 휴대단말기의 핸드 그룹에 의한 반사 손실의 증가 문제점을 고려하여 본 논문에서는 VSWR 2:1을 기준으로 하는 엄격한 규격을 선택하였다.

표 1에서와 같이 LTE 700 MHz 대역에서는 12, 13, 14, 17 밴드를 가진다. 표 1의 LTE 대역에서 서비스를 위한 최저 주파수를 기준으로 한 1λ 의 크기는 약 430 mm이다. 따라서 휴대단말기에 사용할 수 있는 최적의 안테나 길이는 $\lambda/4$ (약 107 mm) 정도가 필요하다. 또한, 안테나의 소형화를 위해 평면형 역 F 구조(Planer Inverted-F type Antenna: PIFA)를 사용하였고, 다중 공진 특성을 이용한 목표 대역 달성을 위해 지선 구조를 사용하였다. 또한, 이를 HFSS 사용 시뮬레이션 툴로 안테나를 설계하였고, 제작된 안테나를 VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 반사 손실을 측정하였고, 무반사 전파 암실에서 회로 안테나의 방사 특성과 이득을 측정하여 성능을 검증하였다.

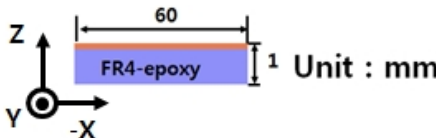
II. 안테나 설계

현재 Smart Phone이 대중화 되면서 많은 콘텐츠를 편리하게 사용하기 위해 휴대폰의 Display가 커지는 추세이다. Display가 커짐으로 인해 휴대폰의 기판 크기도 커지기 때문에, 본 연구에서도 국내 휴대폰 제조 업체의 휴대폰 크기를 참고로 하여 기판의 크기를 60×120×1 mm로 정하였다.

그림 1은 패치 안테나의 구조와 명칭을 나타낸다. 비유전율이 4.4이고, 크기가 120×60×1 mm³인 FR4-epoxy 기판을 설계에 고려하였다. 설계 안테나인 sub 안테나의 크기는 30×34 mm²이며, 구조는 소형이면서 제작이 쉬운 급전과 단락이 있는 PIFA(Planer Inverted-F Antenna)이다. 임피던스를 조절하여 대역



(a) 방사면
(a) Radiation plane



(b) 안테나 유전체 구조의 측면도
(b) Cross-sectional view of the antenna dielectric structure

그림 1. 패치 안테나의 구조와 명칭
Fig. 1. Structure and name for patch antenna.

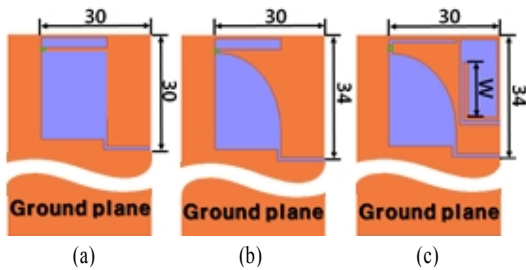


그림 2. 최적 설계를 위한 3가지 패치 안테나의 구조
Fig. 2. Structure of 3 types patch antenna for optimum design.

폭을 넓게 하기 위하여 급전 선로 부분에 라운드 구조^[6]와 지선 소자 구조^[7]를 적용하여 이중 공진을 유도하였다.

그림 2는 최적의 LTE 안테나를 설계하기 위하여 파라미터 연구를 한 구조를 제시하고 있다. 이들 구조에 대한 시뮬레이션을 통하여 최적 구조를 제안하였다. 특히 그림 2(c)의 구조는 광대역 특성을 얻기

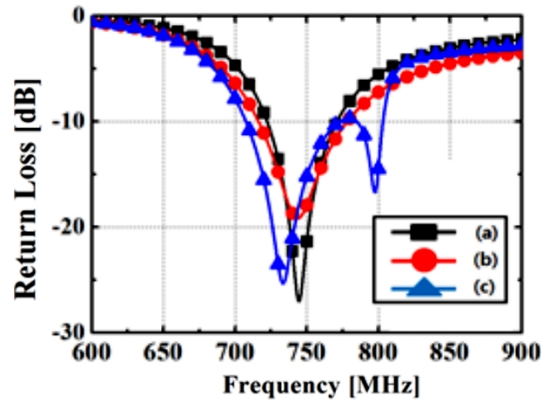


그림 3. 3가지 패치 안테나의 반사 손실
Fig. 3. Return loss of 3 type patch antenna.

위해 본 연구에서 주장하는 지선 소자를 적용한 이중 공진 특성을 가지는 구조이다. 또한, 기판을 고려한 안테나의 전체 구조는 그림 1에서 제안한 안테나의 모양이며, 이를 근거로 중요한 파라미터에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 3과 같이 제시한다.

그림 3은 그림 2의 3가지 안테나 구조에 대해 시뮬레이션을 통해 얻은 반사 손실 그래프이다. (b)의 구조는 (a) 구조의 협대역 특성을 개선하기 위해 급전부에 라운드 구조를 추가한 모양이다. 이 라운드 구조를 적용함으로써 그림 2(a)의 전기적인 길이가 짧았던 문제를 개선하는 효과를 얻을 수 있었으며, 전체적으로 안테나의 길이를 다소 늘려 주는 효과로부터 전류의 길이를 보상을 하였다. -10 dB 반사 손실 기준선을 근거로 하여 그림 3의 (a)와 (b)의 계산된 손실 특성을 비교분석해 보면, (a)에 비해 (b)가 대역폭이 약 10 MHz 정도 개선되었지만, 목표 대역(699~798 MHz)을 완벽하게는 만족하지 않는다. 이 문제를 해결하기 위해 그림 2의 (c)와 같이 그림 2의 (b) 구조에 이중 공진 유도로부터 대역폭을 개선할 수 있도록 하기 위해 안테나 구조를 변화시켰다. 그 결과, 그림 3의 (c)에서 보는 바와 같이, 추가된 공진에 의해서 대역폭이 늘어났고, 목표로 하는 공진 주파수를 95% 이상 만족하는 효과를 얻을 수 있었다.

그림 4는 그림 3의 결과를 근거로 하여, 넓은 대역폭을 가지는 그림 2(c)의 안테나 구조를 선택하였고, 좀 더 넓은 대역폭을 얻기 위해 그림 2(c)의 W의 길이 변화에 따른 파라미터 값을 계산한 결과를 나

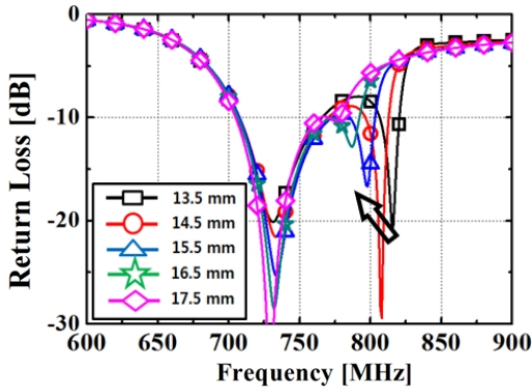
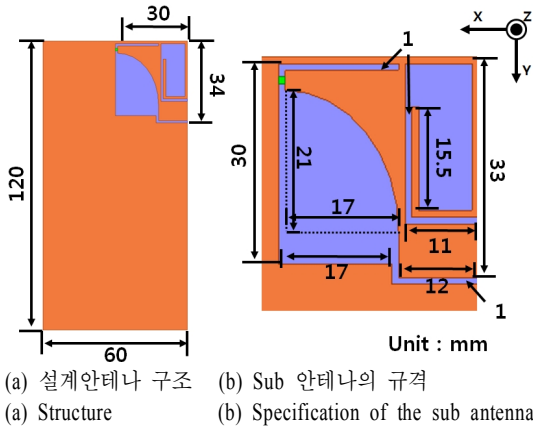


그림 4. 간격 W 변화에 의한 반사 손실
Fig. 4. Return loss by length W variation.



(a) 설계안테나 구조 (b) Sub 안테나의 규격
(a) Structure (b) Specification of the sub antenna

그림 5. 제안된 안테나의 최적화된 크기
Fig. 5. The optimized size of the proposed antenna.

타내었다. W 길이 변화는 2번째 공진 주파수에서 영향을 주고 있다. 따라서 본 설계에서는 목표 주파수를 만족시키는 15.5 mm를 W 의 최적 값으로 선정하였다.

그림 5는 설계한 sub 안테나의 최적화된 크기를 나타낸다. 그림 5(b)의 규격과 그림 5(a)의 구조를 가지고 방사 패턴과 이득을 계산하였다. 그 결과를 그림 6과 그림 7에 제시한다.

그림 6은 그림 4에서 얻은 두 공진 지점(733 MHz, 798 MHz)에서의 계산된 이득 방사 패턴이다. 안테나의 방사 패턴은 무지향성을 가지고, 계산된 최대 이득은 733 MHz 대역에서 약 2.07 dB(90° 방향: Bore sight), 798 MHz에서는 약 -2.36 dB(90° 방향: Bore sight)의 이득을 보이고 있다. 설계 안테나의 두 번째

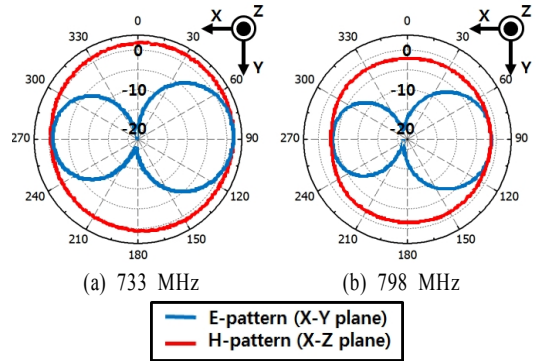


그림 6. 설계 안테나의 계산된 방사 패턴
Fig. 6. Calculated radiation patterns of design antenna.

공진 주파수(798 MHz)는 그림 2(c)의 구조에서 지선의 폭을 1 mm로 하여 계산한 결과이다. 따라서 지선 선로의 면적이 그림 2의 (a)와 (b)에 비해 상대적으로 작기 때문에, 두 번째 공진 주파수(798 MHz)에서 이득이 첫 번째 공진 주파수(733 MHz)에서 보다 이득 값이 감소되었다고 판단된다.

III. 제작 및 측정

설계된 안테나는 FR4-epoxy 기판을 사용하여 패턴을 제작하였다. 제작된 안테나는 Anritsu사의 Vector network Analyzer 37369D와 16 mm×8 mm×6 mm 크기의 전파 압실에서 측정을 하였고, 그 결과를 계산된 값들과 비교를 통하여 설계의 타당성을 입증하였다.

설계된 안테나의 신뢰성 확인을 위해 그림 7과 같

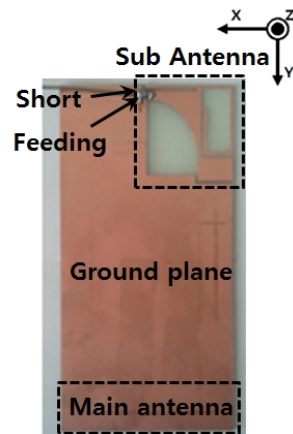


그림 7. 제작된 안테나의 사진
Fig. 7. Photograph of a fabricated antenna.

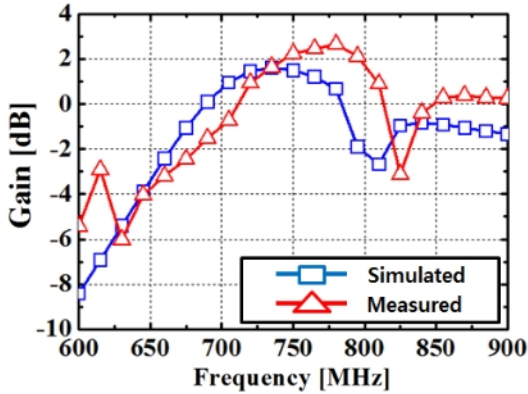


그림 8. 시뮬레이션과 측정값의 반사 손실 비교
Fig. 8. Comparison of the simulated and measured return loss.

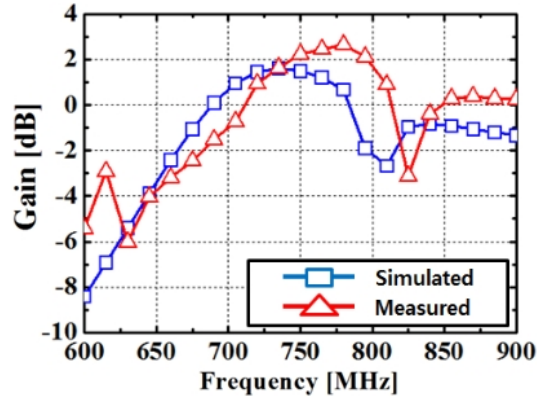


그림 10. 시뮬레이션과 측정값의 이득 비교
Fig. 10. Comparison of the simulated and measured gain.

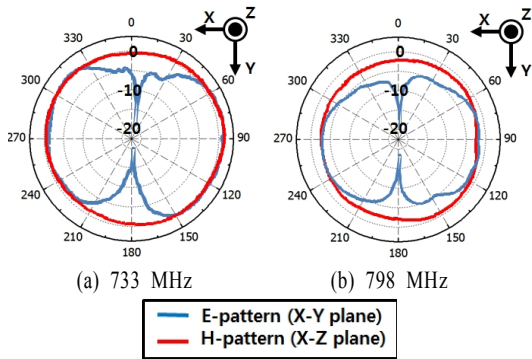


그림 9. 측정된 방사 패턴
Fig. 9. Measured radiation patterns.

이 안테나를 직접 제작하여 측정하였다. 안테나 급전부의 입력 임피던스는 50 Ω이다.

그림 8은 시뮬레이션에 의해 계산된 반사 손실과 측정된 반사 손실을 비교한 것이다. 제작된 안테나의 반사 손실은 계산된 값과 유사한 특성을 보이고 있다. 측정된 반사 손실은 약 20 MHz 정도의 주파수 천이를 보이고는 있으나 대체로 의도한 특성을 잘 보이고 있다.

그림 9는 제작된 안테나의 측정 방사 패턴을 나타내었다. 그림 6의 시뮬레이션 방사 패턴 결과와 매우 유사한 패턴을 보이고 있다.

그림 10은 안테나의 시뮬레이션과 측정값의 이득을 비교한 것이다. 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이, 측정된 공진 주파수가 800 MHz 근처에서 반사 손실 특성이 열화하는 것으로부터 이득도 저하되는 특성

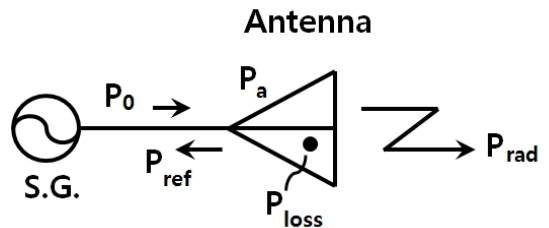


그림 11. 안테나의 효율 계산을 위한 전력 다이어그램^[9]
Fig. 11. Power diagram for efficiency calculation of antenna^[9].

을 보이고 있다. 또한, 시뮬레이션 결과와 비교하여 측정된 이득이 약 20 MHz 정도 천이하였고, 이는 그림 8과 그림 10에 잘 나타나고 있다. 측정된 이득 특성은 약 20 MHz의 천이를 보이고는 있지만 대체로 예측되었던 시뮬레이션 결과와 잘 일치하고 있다.

그림 11은 안테나의 효율을 계산하기 위한 전력 관계를 다이어그램으로 나타낸 것이다. 여기서, P_{rad} 는 안테나로부터 방사되는 전력, P_a 는 안테나에 입력된 전력, P_0 는 전원으로부터 공급된 전력, P_{loss} 는 안테나에서 소모되는 손실 전력, P_{ref} 는 반사되는 전력을 나타낸다. 따라서 효율은 아래의 식 (1)과 같이 정리할 수 있다.

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_0} = \frac{P_{rad}}{P_{ref} + P_{rad} + P_{loss}} \quad (1)$$

여기서 안테나의 입력전력을 이용하여 간략화를 시켜보면,

$$P_a = P_{loss} + P_{rad}$$

이므로

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_0} = \frac{P_{rad}}{P_{ref} + P_a} \quad (2)$$

가 되어 측정으로부터 얻어진 수치를 규격화하고 백분율로 계산하여 나타내면 설계된 안테나의 효율은 그림 12와 같다.

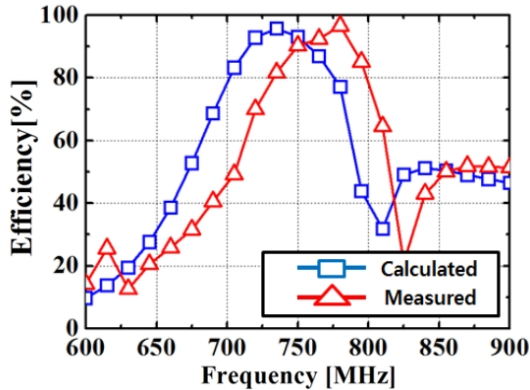


그림 12. 시뮬레이션과 측정값의 효율 비교

Fig. 12. Comparison of the simulated and measured efficiency.

그림 12에서 보는 바와 같이 식 (2)로부터 계산된 결과를 측정된 효율 그래프와 비교해 보면, 그림 8과 10처럼 다소의 주파수 천이는 생기지만, 유사한 양상을 보이고 있다. 또한, 측정된 효율은 천이의 효과도 있고 하여 750 MHz 대역에서 약 90%의 효율을 보이고 있다. 식 (1)로부터 P_0 를 일정하다고 하면 효율은 P_{rad} 에 의존하기 때문에, 효율을 개선하기 위해서는 고이득의 안테나 설계가 중요하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 4G LTE 이동 통신 서비스를 위한 700 MHz 대역 Sub 패치 안테나를 제안하였다. 휴대단말기에 주로 사용되는 역 F 안테나 구조를 사용하였고, 대역폭을 넓히기 위해 급전 부분의 라운드 구조와 이중 공진 특성을 얻을 수 있는 지선 소자 구조를 사용하였다. 그 결과, -10 dB의 반사 손실을 기준으로 약 95 MHz의 광대역 특성을 얻을 수 있었다.

또한, 공진이 발생하는 두 주파수 지점에서 살펴본 이득 방사 패턴은 무지향성 패턴을 보였고, 안테나의 효율도 중심 주파수인 750 MHz에서 약 90%로 높게 측정되었다. 실제로 안테나를 제작을 하여 측정해 본 결과, 시뮬레이션 값과 잘 일치하였다. 향후 연구 방향으로는, MIMO 안테나로 동작할 Main 안테나부를 포함한 설계를 할 필요가 있으며, 향후 설계에서는 Sub 안테나 부(LTE 안테나)와 Main 안테나부(MIMO) 사이의 Isolation 특성과 ECC(Envelope Correlation Coefficient)의 특성을 분석하여 최적의 값을 구하는 방법을 모색하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 권성락, 김홍직, 박동주, 이영조, 연철흠 "3GPP LTE에서의 MIMO 기술 동향", 한국통신학회지 (정보와 통신), 23(6), pp. 39-52, 2006년 6월.
- [2] 이경실, 석왕현, 송영근, "LTE 시장 현황 및 전망", 전자통신동향분석, 26(4), pp. 152-164, 2011년 8월.
- [3] http://niviuk.free.fr/lte_band.php
- [4] 김상원, 최학근, 박재현, "커플링 급전 구조를 사용한 역 F형 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, 27(7), pp. 726-733, 2010년 7월.
- [5] 임승진, 손태호, "LTE를 포함한 전 휴대폰 서비스 대역 하이브리드 안테나", 한국전자과학회논문지, 22(7), pp. 737-743, 2011년 7월.
- [6] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd Edition, pp. 278-279, Wiley, New York, 1998.
- [7] D. Liu, B. Gaucher, "A branched inverted-F antenna for dual band WLAN application", *IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium*, vol. 1, pp. 2623-2626, Jun. 2004.
- [8] G. Kumar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, pp. 7-61, Artech House, 2003.
- [9] 김기채, "소형 안테나의 방사효율 측정법", 한국전자과학회 전자파기술지, 14(2), pp. 18-23, 2003년 4월.

박 찬 진



2011년 2월: 한국해양대학교 전파
공학과 (공학사)
2011년 3월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 석사과정
[주 관심분야] LTE-MIMO 안테나,
NLJD용 원편파 안테나, Spiral 안
테나 설계 등

김 정 원



2011년 2월: 한국해양대학교 전파
공학과 (공학사)
2011년 3월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 석사과정
[주 관심분야] LJD용 원편파 안테
나, LTE MIMO 안테나, Spiral 안
테나 설계, 안테나 측정 시스템
구축 및 운영 기술 등

민 경 식



1989년 2월: 한국해양대학교 전자
통신공학과 (공학사)
1991년 2월: 한국해양대학교 전자
통신공학과 (공학석사)
1996년 2월: 일본동경공업대학교 전
기전자공학과 (공학박사)
1997년 3월~현재: 한국해양대학교

전파공학과 교수

[주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID, MDM
(Magneto-Dielectric Material), LTE-MIMO 안테나, 위성
통신 및 이동 통신용 안테나 설계 등

안 성 용



2007년 3월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 학사과정
[주 관심분야] LTE MIMO 안테나,
NLJD용 원편파 안테나 설계 등