접지면 위의 스텐브를 이용한 LTE-PIFA의 격리도 개선 연구

A Study on Isolation Improvement of LTE-PIFA Used Stub Structure on Ground Plane

박 찬 진 · 민 경 식

Chan-Jin Park · Kyoeng-Sik Min

요 약

본 논문은 Main 안테나와 LTE 대역을 커버하는 Sub 안테나로 구성되어 있는 휴대단말기의 접지면에 스텐브를 삽입하여 격리 특성을 향상시킬 수 있는 설계법을 제안한다. 제안된 안테나의 공진 길이를 보상하고 높은 격리 특성을 실현하기 위해, 한 쌍의 스텐브가 전류가 수렴되는 접지면 위에 삽입되었다. LTE class 13 대역에서 스텐브가 없는 안테나의 모의 실험된 격리 특성은 약 -5 dB였으나, 두 개의 스텐브를 가진 제안된 안테나의 격리 특성은 LTE class 13의 uplink($777 \sim 787$ MHz)와 downlink($746 \sim 756$ MHz)에서 약 -12 dB와 약 -15 dB의 높은 격리 특성을 나타냈다. 제작된 두 개의 스텐브를 가진 안테나의 평균 이득은 약 -2 dBi 이상으로 상업용 휴대단말기에 요구되는 -4 dBi보다 좋은 결과를 보였다. 측정된 산란 파라미터 특성과 방사 패턴은 모의 실험 결과와 합리적인 일치를 보였다.

Abstract

This paper presents a design for improvement of isolation characteristics by the inserted stub structure on ground plane of a handy terminal which is composed of a main antenna and a sub antenna covered LTE bandwidth. In order to compensate for a resonance length of proposed antenna and to realize a high isolation characteristic, a pair of stub was inserted and located on ground plane that currents from two antennas were converged. A simulated isolation characteristic of antenna without stub at the LTE class 13 band was about -5 dB, but its characteristics of proposed antenna with two stubs at uplink($777 \sim 787$ MHz) and downlink($746 \sim 756$ MHz) of the LTE class 13 band were about -12 dB and -15 dB, respectively. An average gain of a fabricated antenna with two stubs was observed about -2 dBi above and it showed good results with comparison of business condition that the average gain of commercial handy terminal has to appear -4 dBi above. The measured S -parameter characteristics and radiation patterns showed a reasonable agreement with the simulation results.

Key words : LTE(Long Term Evolution), Stub, PIFA, Isolation Characteristic, Average Gain

I. 서 론

MIMO 기술로 인해 높은 용량과 빠른 전송 속도를 갖는 휴대 단말기가 개발되고 있다.

최근 이동 통신 기술이 4세대로 접어들면서, LTE-

MIMO(Multi-Input Multi-Output) 기술은 고용량의

「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 February, 14, 2013 ; Revised March 8, 2013 ; Accepted March 11, 2013. (ID No. 20130214-022)

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

데이터의 빠른 전송을 위한 핵심 기술이며, 휴대단말기에서는 동일한 LTE 서비스 주파수에서 동작하는 두 개의 안테나가 요구된다. LTE 서비스를 위해 사용가능한 주파수는 699~3,800 MHz이며, 총 35개의 채널로 구성되어 있다. 특히, 1 GHz 이하의 주파수는 이동 통신의 다른 서비스를 지원하는 주파수에 비해 저주파수에 해당하며, 이로 인해 긴 파장을 가지며 이 덕분에 넓은 셀 커버리지를 가지므로, 기지국 투자 비용을 줄일 수 있고, 통신 품질 향상의 장점을 갖는다. 하지만 휴대단말기의 제한된 공간 내에서 저주파수 대역의 LTE 안테나를 설계하는 것은 매우 어려운 일이며, 또한 휴대단말기의 기존 멀티밴드로 동작하는 Main 안테나와 LTE 밴드에서 동작하는 Sub 안테나 사이의 높은 격리도를 갖는 LTE-MIMO용 안테나 설계는 매우 어렵다^[1].

Main과 Sub 안테나 사이의 격리도 개선을 위한 연구로는 교차 편파를 사용하는 방법^[2], Decoupling 회로를 사용하는 방법^{[3][4]}, EBG(Electromagnetic Band Gap) 구조를 사용하는 방법^[5], 다수의 안테나가 공동으로 접지된 그라운드 사이에 슬릿 또는 슬롯을 삽입하거나 그라운드를 확장하는 방법^[6] 등이 있으나, 위 방법들은 공간상 제약 및 안테나 성능의 한계 등으로 인해 실제 휴대단말기에 적용하기 위해서는 개선해야 할 문제들이 아직은 많이 존재한다.

본 논문에서는 두 안테나가 공동으로 접지된 그라운드 사이의 전류 분포와 방향을 분석하여 전류의 전기적 길이를 증가시켜 두 안테나 사이의 격리도를 개선하는 설계법을 제안하였다. 목표 주파수 대역은 LTE class 13(746~787 MHz)이고, 휴대단말기에 요구되는 VSWR 3:1을 기준으로 하였다. Main 안테나와 Sub 안테나는 안테나의 소형화에 용이한 역 F 구조(Planer Inverted-F type Antenna: PIFA)를 사용하였고, 이를 HFSS 상용 시뮬레이션 툴을 이용하여 안테나를 설계하였다. 제작된 안테나를 VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 산란 파라미터를 측정하였고, 무 반사 전파암실에서 안테나의 방사 특성과 이득을 측정하여 성능을 검증하였다.

II. 안테나 설계

그림 1은 LTE 밴드를 포함하는 Main 안테나와

그림 1. 안테나 구조
Fig. 1. Antenna structure.

그림 2. 설계된 main과 sub 안테나 구조
Fig. 2. Designed main and sub antenna structure.

Sub 안테나 위치를 설계하기 위한 안테나 구조이다. 많은 콘텐츠를 편리하게 사용하기 위해 휴대 단말기의 Display가 커짐으로 인해 국내 휴대 단말기 제조업체의 휴대 단말기 크기를 참고로 하여 크기를 69×140×7.8 mm로 하였고, 비유전율이 4.4인 FR4 - epoxy 기판을 접지면으로 설계에 고려하였다.

그림 2는 설계된 Main 안테나와 Sub 안테나 구조를 나타낸다. 기존의 서비스에 사용되는 멀티밴드를 수용하면서도 저주파수 대역인 LTE class 13에서 동작하는 PIFA 구조의 Main 안테나를 그림 2와 같이 설계를 하고, 이 안테나를 동시에 Sub 안테나로 활용하였다. 이유는 LTE에서만 동작하는 안테나를 사

그림 3. 제안된 안테나의 모의 계산된 산란 파라미터
Fig. 3. The simulated S -parameter of proposed antenna.

용하는 것과 비교하여 특성의 차이가 크지 않았으며, 특성의 차이는 오히려 Sub 안테나의 위치에 의존하는 것을 확인하였다^[7]. 또한, Main 안테나와 동일한 구조를 사용함으로써 설계의 용이성과 격리도 개선을 위한 전류 제어의 용이성 효과를 기대할 수 있기 때문이다.

그림 3은 그림 1에서 제안된 안테나 구조를 이용하여 모의계산을 통해 얻은 산란 파라미터를 나타낸다. 제안된 Main 안테나와 Sub 안테나는 동일한 구조이며, -10 dB 선을 기준으로 $757 \sim 782$ MHz의 반사 손실 대역폭을 가지고 773 MHz에서 약 -4 dB의 매우 나쁜 격리도 값을 갖는다. 따라서 나쁜 격리도의 문제를 해결할 필요가 있으며, 이를 위해 먼저 그림 4와 같이 안테나의 표면에 흐르는 전류의 방향과 밀도를 살펴보았다.

그림 4는 제안된 두 안테나가 동시에 급전을 했을 때, 접지 면 위에서 위상에 따른 전류 방향을 나타낸다. 두 안테나는 같은 그라운드를 사용하고 있으며, 안테나가 동작함에 있어서 두 안테나의 급전으로부터 흐르는 전류의 방향이 반대방향이기 때문에 양호한 격리 특성을 얻기 위해서는 충분한 전기적 길이가 요구되나, 그림 5로부터 알 수 있는 것처럼, 충분한 전기적 길이를 갖지 못하고 있다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 A와 B의 위치로 전류가 수렴되는 것을 이용하여 이 부분에 스티브를 삽입하여 전류의 흐름을 원활하게 함과 동시에 전류의 방향을 독립시켜줌으로써 격리도를 개선하고자 하였다.

그림 5(a)는 그림 4의 B 위치에 그림 5(b)의 스티

그림 4. 773 MHz에서 그라운드 면 위에서의 제안된 안테나의 위상에 따른 전류 방향
Fig. 4. Current direction of proposed antenna by phase on ground plane at 773 MHz.

브 1을 삽입한 안테나 구조를 나타내고 있다.

Main 안테나와 Sub 안테나는 대칭구조를 갖기 때문에 모의 실험된 산란 파라미터의 값이 같다. 따라서 그림 6~8, 13에서 모의 실험된 Main 안테나의 산란 파라미터만 나타내었다.

그림 6은 그림 5(a)에서 보여준 안테나의 L_2 가 4 mm이고, L_3 가 1.5 mm일 때, L_1 의 변화에 대한 산란 파라미터의 모의 실험 결과를 나타낸 것이다. 스티브의 길이 L_1 은 그라운드의 전기적 길이에 영향을 받기 때문에, L_1 이 길어질수록 공진 주파수가 낮은 쪽으로 천이가 일어난다. L_1 이 117 mm일 때, LTE 13 대역에서 Main안테나와 Sub 안테나의 반사 손실이 다른 길이에 비해 작기 때문에 이 값을 선택하였다.

그림 5. 그림 4의 B 위치에 스테르브 1이 위치한 안테나 구조

Fig. 5. Antenna structure with stub 1 at B position as shown in Fig. 4.

그림 6. L_1 변화에 대한 산란 파라미터의 분석
Fig. 6. Analysis of S-parameter with respect to change of L_1 .

그림 7. L_2 변화에 대한 산란 파라미터의 분석
Fig. 7. Analysis of S-parameter with respect to change of L_2 .

그림 7은 그림 6으로부터 얻은 L_1 을 117 mm로 고정하고, L_3 을 1.5 mm로 고정한 후, L_2 변화에 대한 산란 파라미터의 모의 실험한 결과의 분석을 나타낸 것이다. 접지면과 연결되는 스테르브의 폭 L_2 는 L_1 과 마찬가지로 그라운드층의 전기적 길이에 영향을 주기 때문에 L_2 가 길어질수록 공진 주파수가 높은 쪽으로 천이되는 것을 알 수 있다. L_2 가 4 mm일 때, LTE 13 대역에서 가장 낮은 격리도를 나타내어서 이 값을 L_2 의 적정값으로 정하였다.

그림 8은 L_1 을 117 mm로 고정하고, L_2 를 4 mm로 고정한 후, L_3 의 변화에 대한 산란 파라미터 분석을 나타낸 것이다. L_3 은 L_1 과 L_2 와는 다르게 주파수의 영향은 적게 받으며, L_3 의 크기에 따라 순저항 성분의 변화가 발생하므로 스테르브의 폭 L_3 을 적절히 선

(a) Main 안테나의 모의 실험된 산란 파라미터
(a) The simulated S -parameter of main antenna

(b) 제안된 안테나의 모의 실험된 격리도
(b) The simulated isolation of proposed antenna

그림 8. L_3 변화에 대한 산란 파라미터의 분석
Fig. 8. Analysis of S -parameter with respect to change of L_3 .

택함으로써 격리도의 레벨을 정할 수 있다. 또한, L_3 은 그라운드 면과의 갭으로 인한 용량성 성분에 영향을 끼치기 때문에 반사 손실 및 격리도의 값에 영향을 준다. 그림 8(b)에서는 L_3 가 3 mm일 때, 격리 특성이 양호한 것으로 보이나, 그림 8(a)를 보면 반사 손실이 나쁘다는 것을 알 수 있다. 따라서 L_3 가 1.5 mm일 때, 반사 손실도 -10 dB 아래를 유지하며, 격리 특성도 적절하여 여기서는 L_3 을 1.5 mm로 선택하였다.

그림 9는 최적화된 스텔브 1의 산란 파라미터를 나타낸다. 반사 손실 대역폭은 $746 \sim 803$ MHz로 LTE class 13 대역을 모두 만족하고 있으나, 격리도 대역폭은 $763 \sim 779$ MHz로 LTE class 13 대역을 완벽하

그림 9. 최적화된 스텔브 1의 산란 파라미터
Fig. 9. Optimized S -parameter of stub 1.

게는 만족하지 못하고 있다. 따라서 격리도 대역폭을 넓히기 위해 그림 5(a)의 A 위치에 스텔브 2를 추가하여 다중공진 설계를 하였다.

그림 10과 11은 Main 안테나에만 급전을 했을 때,

그림 10. 스텔브가 없는 경우 773 MHz에서 접지 면 위에서의 제안된 안테나의 위상에 따른 전류 밀도.

Fig. 10. Current density of proposed antenna without stub by phase on ground plane at 773 MHz.

그림 11. 스테르브가 있는 경우, 773 MHz에서 접지 면 위에서의 제안된 안테나의 위상에 따른 전류 밀도

Fig. 11. Current density of proposed antenna with stub by phase on ground plane at 773 MHz.

접지 면 위에서 제안된 안테나의 위상에 따른 전류 밀도를 스테르브의 유무에 따라 나타내었다. 스테르브가 없는 경우, Main 안테나의 전류 에너지가 Sub 안테나에 강하게 영향을 주고 있고, 스테르브가 있는 경우 Main 안테나의 전류 에너지의 대부분이 스테르브로 유기되어 Sub 안테나에는 미미한 영향을 주어 격리도 개선에 큰 효과가 있음을 알 수 있다.

그림 12는 스테르브 1이 $L_1=117$ mm, $L_2=4$ mm, $L_3=1.5$ mm일 때, 그림 12(b) 위치에 그림 12(a)의 스테르브 2를 삽입한 안테나 구조를 나타내고 있다. 스테르브 1과 같이 스테르브 2 또한 L'_1 파라미터에 의해 그라운드의 전기적 길이에 영향을 받기 때문에 L'_1 의 최적값을 구할 필요가 있다.

그림 13은 그림 12에서 보여준 안테나의 L'_1 에 대한 모의 실험된 산란 파라미터를 나타낸다. 그림 13에서 알 수 있듯이 스테르브 2는 두 번째 공진 주파

그림 12. 최적화된 안테나의 구조

Fig. 12. Structure of optimized antenna.

(a) Main 안테나의 모의 실험된 산란 파라미터

(a) The simulated S -parameter of main antenna

(b) 제안된 안테나의 모의 실험된 격리도

(b) The simulated isolation of proposed antenna

그림 13. L'_1 변화에 대한 산란 파라미터의 분석

Fig. 13. Analysis of S -parameter with respect to change of L'_1 .

그림 14. 최적화된 안테나의 모의 실험된 산란 파라미터

Fig. 14. The simulated S -parameters of optimized antenna.

수에 영향을 주고 있고, L'_1 이 길어질수록 두 번째 공진 주파수가 낮은 쪽으로 천이가 일어난다. L'_1 이 116 mm일 때, LTE 13 대역에서 반사 손실이 -10 dB 이하의 값을 가지며, 격리도 또한 LTE class 13의 관심 대역(uplink: 777~787 MHz, downlink: 746~756 MHz)에서 -12 dB와 -15 dB의 높은 격리도 특성을 얻을 수 있기 때문에 L'_1 을 116 mm로 선택을 하였다.

그림 14는 제안된 안테나의 최적화된 산란 파라미터를 나타낸다. 그림 13으로부터 알 수 있는 것처럼 -10 dB 이하의 반사 손실은 약 735~813 MHz로 LTE class 13 대역과 비교하여 광대역의 특성을 나타냈으며, 격리도의 대역폭도 -10 dB 이하를 기준으로 LTE class 13 대역의 상향 및 하향 링크 대역을 만족하고 있음을 알 수 있다.

III. 제작 및 측정

그림 1에서 보는 바와 같이 실제로 사용되는 휴대 단말기는 FR4-epoxy 기판과 Polyamide 재질의 플라스틱 하우징을 사용하고 있다. 본 논문에서는 제작을 용이하게 하기 위하여 하우징으로 사용되는 Polyamide($\epsilon_r=4.1$) 대신, FR4-epoxy($\epsilon_r=4.4$) 하우징을 제작하여 스테브 1과 2가 있는 경우와 스테브가 없는 경우에 대해 시뮬레이션과 측정을 행하였다.

그림 15는 그림 1의 하우징이 Polyamide($\epsilon_r=4.1$) 대신 FR4-epoxy($\epsilon_r=4.4$)로 하였을 때, 안테나의 주파

수 영향을 알아보기 위해 모의 실험 결과를 보여주고 있다. 하우징의 복소 비유전율의 차이가 있었지만, 그림 15(b)의 결과는 그림 14와 매우 유사한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 하우징 재료의 복소 비유전율이 다소 틀리더라도 산란 파라미터에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

그림 15로부터 알 수 있는 또 다른 사실은 격리도를 개선하기 위해 스테브를 사용하면 대역폭의 증가와 4 dB 이상의 격리도 개선 효과가 얻어진다는 것을 알 수 있다. 이를 확인하기 위해 스테브가 없는 안테나와 두 개의 스테브를 가진 안테나를 제작하여 비교를 통해 격리도 개선의 결과를 입증하고자 하였

(a) 스테브가 없는 안테나의 경우

(a) A case of antenna without stub

(b) 스테브 1과 2를 가진 제안된 안테나의 경우

(b) A case of proposed antenna with stub 1 and 2

그림 15. FR4-epoxy 하우징이 고려된 휴대단말기 안테나의 모의 계산된 산란 파라미터

Fig. 15. The simulated S -parameters of mobile terminal antenna considered housing made by FR4-epoxy dielectric.

(a) 스테브가 없는 경우
(a) Without stub
(b) 스테브가 있는 경우
(b) With stub 1 and 2

그림 16. 제작된 안테나
Fig. 16. Fabricated antenna.

다. 제작된 안테나의 산란 특성은 Anritsu 사의 VNA (Vector Network Analyzer 37369D)에 의해 측정되었고, 안테나의 방사 패턴과 이득은 7×20×6 m 크기의 전파 암실에서 측정되었다.

그림 17의 (a)와 (b)를 그림 15의 모의 실험 결과와 비교해 보면, 주파수의 천이가 발생하고는 있으나, 매우 유사한 경향의 결과를 보이고 있어 설계가 타당하였음을 보여주고 있다. 또한, 스테브를 그라운드에 삽입함으로써 전류의 전기적 길이 제어와 다중 공진의 효과를 구현함으로써 LTE Class 13 대역과 비교하여 비교적 광대역의 반사 손실 특성을 얻었고, 격리도도 개선되었음을 확인하였다. 위에서도 언급하였지만 스테브를 삽입함으로써 약 4 dB 이상의 격리도 개선과 대역폭의 개선 효과를 구현할 수 있었다.

그림 18과 19는 스테브 1과 2가 있는 경우의 계산 및 측정된 방사 패턴을 나타내고, 그림 20은 스테브가 없는 경우의 계산 및 측정된 방사 패턴을 나타낸다. 스테브 유무에 따른 방사 패턴이 크게 달라지지 않는 것을 볼 수 있고, 휴대단말기가 요구하는 무지향성 패턴을 보이고 있으며, 측정값과 계산값이 잘 일치한다.

표 1은 제안된 안테나의 계산 및 측정 평균 이득을 나타낸다. 휴대단말기 업계에서 일반적으로 사용하는 평균 이득인 -4 dBi보다 양호한 값을 나타내며, 측정하는 환경이 모의 실험처럼 이상적이지 않기 때문에 다소 값의 차이는 발생하였지만 납득할

(a) 스테브가 없는 경우 제작된 안테나의 측정된 산란 파라미터
(a) The measured S -parameter of fabricated antenna without stub

(b) 스테브 1과 2를 가진 제작된 안테나의 측정된 산란 파라미터
(b) The measured S -parameter of fabricated antenna with stub 1 and 2

그림 17. FR4-epoxy 하우징이 포함된 휴대단말기 안테나의 측정된 산란 파라미터

Fig. 17. The measured S -parameters of mobile terminal antenna with housing made by FR4-epoxy dielectric.

만큼의 수준이며, 측정값과 비교하여도 유사한 값을 보이고 있다.

IV. 결 론

본 논문은 접지면에 스테브를 삽입하여 휴대단말기에 있는 Main 안테나와 LTE 대역을 커버하는 Sub 안테나 사이의 양호한 격리도를 얻기 위한 방법을 제안하였다. Main 안테나와 Sub 안테나는 역F 안테나 구조를 사용하였고, LTE class 13에서 동작하는

그림 18. 스텐브 1과 2가 있을 경우 752 MHz에서 2D 방사 패턴의 측정값과 계산값

Fig. 18. The measured and simulated 2D radiation pattern at 752 MHz when with stub 1 and 2.

그림 19. 스텐브 1과 2가 있을 경우 786 MHz에서 2D 방사 패턴의 측정값과 계산값

Fig. 19. The measured and simulated 2D radiation pattern at 786 MHz when with stub 1 and 2.

그림 20. 764 MHz에서 2D 방사 패턴의 측정값과 계산값

Fig. 20. The measured and simulated 2D radiation pattern at 764 MHz.

동일한 구조의 안테나를 사용하였다. 같은 주파수에서 동작하는 두 개의 안테나가 동일한 그라운드

표 1. 제안된 안테나의 모의실험 및 측정 평균 이득
Table 1. The simulated and measured average gain of proposed antennas.

	Average gain	
	Simulation	Measurement
Main antenna (with stub at 752 MHz)	-0.08 dBi	-1.14 dBi
Main antenna (with stub at 786 MHz)	-1.31 dBi	-1.83 dBi
Main antenna (without stub at 764 MHz)	-1.44 dBi	-2.01 dBi

사용하고 있기 때문에 안테나의 공진하는 전기적 길이가 부족하여 상호 전류가 강한 간섭과 결합으로 인하여 스텐브를 삽입하지 않았을 때, 약 -5 dB의 나쁜 격리 특성을 보인다. 안테나의 공진 길이를 보상하고 높은 격리 특성 값을 얻기 위해, 접지면 위의 전류가 수렴되는 두 부분에 두 개의 스텐브를 삽입하였다. 그 결과, LTE class 13의 관심 대역의 uplink와 downlink에서 각각 약 -12 dB와 약 -15 dB의 높은 격리도 특성을 나타냈다. 측정된 방사 패턴은 휴대단말기에서 요구되는 무지향성 방사 패턴을 만족하며, 제작된 두 개의 스텐브를 가진 안테나의 평균 이득은 약 -2dBi 이상으로 상업용 휴대단말기에 요구되는 -4 dBi보다 좋은 결과를 보였다. 측정된 산란 파라미터 특성과 방사 패턴은 모의 실험 결과와 합리적인 일치를 보였다.

참 고 문 헌

- [1] S. -Y. Suh, V. -K. Nair, D. Souza, and S. Gupta, "High isolation antenna for multi-radio antenna system using a complementary antenna pair", *IEEE Antennas and Propagation Society (APS), International Symposium (IS)*, pp. 1229-1232, Jun. 2007.
- [2] X. Wang, W. Chen, Z. Feng, and H. Zhang, "Compact dual-polarized antenna combining printed monopole and half-slot antenna for MIMO applications", *IEEE Antennas and Propagation Society (APS), International Symposium (IS)*, pp. 1-4, Jun. 2009.
- [3] S. -C. Chen, Y. -S. Wang, C. -W. Ling, and S. -J. Chung, "A new high isolation dual-antennas with

- miniature decoupling network design", *IEEE Antennas and Propagation Society(APS), International Symposium(IS)*, pp. 3125-3128, Jun. 2007.
- [4] C. -Y. Lui, Y. -S. Wang, and S. -J. Chung "Two nearby dual-band antennas with high port isolation", *IEEE Antennas and Propagation Society(APS), International Symposium(IS)*, pp. 1-4 Jun. 2008.
- [5] J. Itoh, N. Michishita, and H. Morishita, "A study on mutual coupling reduction between two inverted-F antennas using mushroom-type EBG structures", *IEEE Antennas and Propagation Society (APS), International Symposium(IS)*, pp. 1-4, Jul. 2008.
- [6] T. Kokkinos, L. Qian, "Isolation enhancement of monopole antennas and PIFAs on a compact ground plane", *2009 Loughborough Antennas & Propagation Conference*, pp. 465-468, Nov. 2009.
- [7] C. -J. Park, K. -S. Min, J. -W. Kim, and I. -H. Kim, "Fundamental approach of isolation loss control between two patch antennas for LTE-MIMO mobile handy terminal", *Asia-Pacific Microwave Conference(APMC)*, pp. 1169-1171, Dec. 2012.

박 찬 진

2011년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 2011년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] LTE MIMO 안테나, 원형편파 안테나, Spiral 안테나 설계 등

민 경 식

1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1991년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 1996년 2월: 일본동경공업대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1997년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수
 [주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID, MDM (Magneto-Dielectric Material), MIMO 안테나, 위성 통신 및 이동 통신용 안테나 설계 등