

다중 대역 서비스를 위한 지그재그 선로를 이용한 이중 소자 폴디드 다이폴 안테나의 소형화

Miniaturization of Dual-Element Folded Dipole Antenna Using Zigzag Line for Multi-Band Service

전 후 동 · 고 지 환

Hoo-Dong Jeon · Ji-Hwan Ko

요 약

5세대(5-Generation) 통신이 다가옴으로써 기존에 사용되어지고 있는 LTE 주파수 대역(1.7~2.7 GHz)과 새롭게 할당되는 주파수 대역(3.4~3.7 GHz)을 포함하는 광대역 안테나가 필요로 한다. 광대역 특성을 만족하는 안테나는 여러 종류가 있지만 이중 소자 폴디드 다이폴 안테나를 들 수 있다. 이 안테나를 좀 더 소형화하기 위하여 안테나의 폭을 지그재그 선로를 이용하였다. 이는 전기적 길이는 유지하면서 물리적 길이를 줄임으로써 가능하다. 제안한 안테나를 검증하기 위해 PCB 기판(ϵ_r :4.4, 높이: 1.6 mm)을 사용하여 실제 제작 및 성능을 측정하였으며, 계산 결과와 비교하여 양호한 결과를 얻었다.

Abstract

Fifth-generation communications are approaching, and they will require broadband antennas that include the existing LTE frequency band (1.7 GHz to 2.7 GHz) and the newly allocated frequency band (3.4 GHz to 3.7 GHz). Many kinds of antennas satisfy the required broadband characteristics, including the dual-element folded dipole antenna proposed in this paper. A zigzag line was used to make the antenna more compact. This was accomplished by reducing the physical length while maintaining the electrical length. To validate the proposed antenna, a prototype was fabricated using PCB (ϵ_r :4.4, Height: 1.6 mm) and its performance was evaluated. Results obtained by simulation and experiment showed good agreement.

Key words: Broadband, Dual Element, Zigzag-Line, Miniaturized

I. 서 론

현재 이동통신은 4세대인 LTE(Long Term Evolution)가 널리 사용되고 있지만, 향후 5세대(5-Generation) 통신을 대비하여 연구 개발이 활발하게 추진되고 있다. 최근 몇 년 동안 무선 기술의 급속한 기술개발로 2G, 3G, LTE,

Wifi, WLAN 등과 같은 다양한 무선 통신 서비스가 제공되고 있다. 이러한 통신 서비스를 제공하기 위해서는 다수의 주파수 대역이 요구되며, 이런 다수 대역을 전부 수용하려면 광대역 특성을 갖는 안테나가 필수불가결하다. 앞으로 더 빠른 전송 속도 및 통신 용량 증가로 인하여 5세대용으로 새롭게 할당된 주파수는 3.5 GHz대(3.4~3.7

「이 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임」

금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· Manuscript received September 22, 2017 ; Revised November 3, 2017 ; Accepted April 18, 2018. (ID No. 20170922-097)

· Corresponding Author: Ji-Hwan Ko (e-mail: kojh@kumoh.ac.kr)

GHz)와 28 GHz대(26.5~29.5 GHz)를 결정하였다.^[1] 여기서 3.5 GHz대는 1 km² 이상의 영역을 커버하는 매크로 셀 (macro cell)용의 전용 주파수 대역으로 사용되며, 28 GHz 대는 고 밀집 지역의 대역으로 사용될 것이다.

향후 5세대 통신 시대가 완전히 적용되기 전까지 당분 간은 기존 LTE 서비스 주파수대와 새롭게 할당된 주파수 대 모두 함께 사용해야 하므로 기존에 서비스하고 있는 1.7~2.2 GHz(3G/LTE-A/LTE)대역과 2.5~2.7 GHz(LTE) 대역, 그리고 새롭게 할당될 주파수 3.4~3.7 GHz대역까 지 포함된 1.7~3.7 GHz까지의 광대역 안테나가 필요로 할 것이다. 이러한 광대역 특성을 만족하는 안테나는 여 러 종류가 있지만 이동 통신 중계기용에 적합한 안테나 는 참고문헌 [2]에 제시한 이중 소자를 갖는 폴디드 다이 폴 안테나를 들 수 있다.^{[2]~[7]} 그렇지만 제안한 안테나는 실내에 설치되는 안테나로써 설치 장소 및 미관을 고려 하여 현재 이동 통신 사업자는 광대역 특성을 유지하면 서 안테나의 소형화를 요구하고 있다.

따라서 본 논문에서는 1.7~3.7 GHz의 광대역 특성을 유지하면서 좀 더 소형화되게 변형된 폴디드 다이폴 안 테나를 제안하고자 한다. 이를 위해 참고문헌 [2]에서 언 급된 급전 중심축의 양쪽에 붙어있는 두 개의 폴디드 루 프 선로에서 가로 방향의 선로를 지그재그 형태로 변형 하여 소형화를 구현하였다. 그리고 반공간 영역인 전방으 로만 전파를 방사하기 위해 폴디드 다이폴의 후방쪽에 일정한 거리를 두고 반사판이 설치되어 있는데, 폴디드 다이폴의 소형화의 효과로 반사판도 축소 구현할 수 있 었다. 이렇게 설계된 안테나를 검증하기 위해 안테나를 제작하였고, 성능을 측정하여 측정 결과를 고찰하였다.

II. 안테나 설계

현재까지 발표된 광대역 특성을 나타내는 폴디드 다이 폴의 구조는 참고문헌 [2]에 제시되어 있다. 그림 1에서 보여준 바와 같이 급전 중심에 두고 양쪽에 병렬로 폴디 드 다이폴이 놓여 있다. 이 안테나는 유전율이 4.4, 두께 가 1.6 mm인 FR-4기판이 사용되었고, 안테나의 구성은 PCB 기판 윗면에 폴디드 다이폴이 인쇄되고, 뒷면에는 급전 스트립 선로가 인쇄되어 있으며, 급전 스트립 선로 끝부분은 윗면의 폴디드 다이폴과 Via로 연결되어 있다.

안테나의 주파수의 대역폭은 반사손실 10 dB 기준으로 약 1.23~4.07GHz로 약 107 %의 매우 넓은 대역폭을 갖 는다. 이는 현재 이동 통신에서 사용되고 있는 주파수대 와 더불어 향후 3.5 GHz대까지 포함하고 있어 5세대 통 신 안테나로도 사용이 가능할 것이다.

그리고 전방으로 전파가 방사되기 위해서는 그림 1(b)

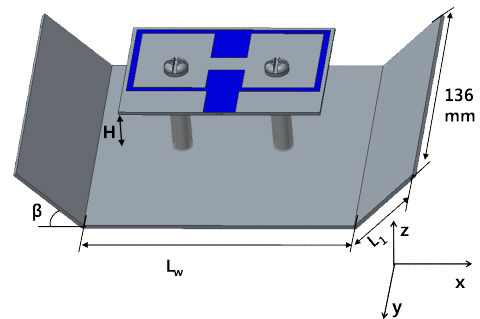
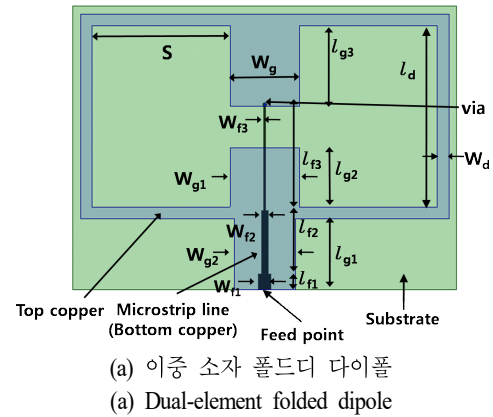
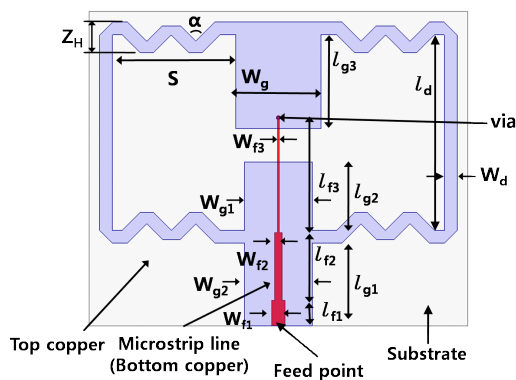


그림 1. 광대역 특성을 갖는 이중소자 폴디드 다이폴 안 테나($S=36$ mm, $W_d=18$ mm, W_{g1} : 18 mm, W_{g2} : 16 mm, W_d : 3 mm, l_d : 46 mm, l_{g1} : 18 mm, l_{g2} : 15 mm, l_{g3} : 20.5 mm, W_{f1} : 3.2 mm, W_{f2} : 1.8 mm, W_{f3} : 0.5 mm, l_{f1} : 4 mm, l_{f2} : 16 mm, l_{f3} : 27 mm, L_w : 136 mm, L_1 : 45 mm, H : 44 mm, β : 45°)

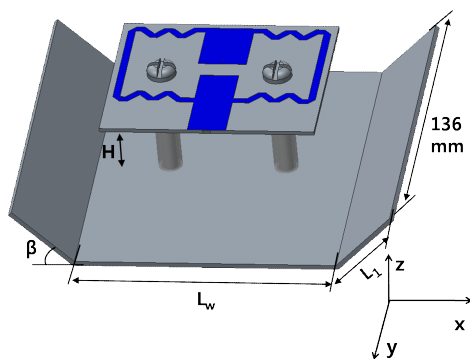
Fig. 1. Dual-element folded dipole antenna with broadband ($S=36$ mm, $W_g=18$ mm, W_{g1} : 18 mm, W_{g2} : 16 mm, W_d : 3 mm, l_d : 46 mm, l_{g1} : 18 mm, l_{g2} : 15 mm, l_{g3} : 20.5 mm, W_{f1} : 3.2 mm, W_{f2} : 1.8 mm, W_{f3} : 0.5 mm, l_{f1} : 4 mm, l_{f2} : 16 mm, l_{f3} : 27 mm, L_w : 136 mm, L_1 : 45 mm, H : 44 mm, β : 45°).

에서 보는 것처럼 폴디드 다이폴의 후방 일정 거리 떨어진 지점에 반사판이 놓여 있으며, 이 안테나의 전체 크기는 $102 \times 74 \times 49.6$ mm이다. 그렇지만 현재 이동 통신 사업자는 가능한 소형화를 요구하고 있어 소형화 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 그림 1의 다이폴 구조에서 소형화를 위해서 다이폴의 길이(l_d) 또는 폴디드 폭(S)를 감축해야 하는데 다이폴의 길이(l_d)의 단축은 동작 주파수 대역이 높아지게 되므로 변경이 불가능하고 폴디드 폭(S)을 작게 하여 소형화 하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 그림 2에서 제시된 바와 같이 전체 선로의 길이는 대략 유지하면서 폴디드의 가로 선로를 지그재그 형태로 변경하여 폴디드 폭(S)을 줄일 수 있게 되어 안테나를 축소 구현할



(a) 지그재그를 갖는 이중 소자 다이폴
(a) Dual-element folded dipole with zigzag



(b) 반사판을 갖는 이중 소자 다이폴
(b) Dual-element folded dipole with reflector

그림 2. 제안한 다이폴 안테나의 구조

Fig. 2. Configuration of proposed dipole antenna.

수 있었다. 안테나 시뮬레이션을 위한 사용된 전자파 해석 SW는 상용 시뮬레이터인 HFSS^[8]를 사용하였다.

그림 2에서 지그재그 선로의 변형으로 인한 입력 정합 특성을 알아보기 위해 참고문헌 [2]의 설계 수치를 그대로 적용하고 반사판을 제거한 상태에서 지그재그 개수와 각도(α)의 변화에 따른 반사손실(return loss)을 계산하여 그림 3에 나타내었다.

여기서 각도 $\alpha = 0^\circ$ 일 때는 참고문헌 [2]에서 제시한 반사손실이며, 지그재그 개수가 증가함에 따라 1.25 GHz대의 하한 주파수는 거의 변화가 없지만 4 GHz대의 상한 주파수는 낮은 쪽으로 약간 변동되는 모습을 볼 수 있다. 그림에서 보면 지그재그 개수가 $N=2$, 각도 $\alpha = 90^\circ$, $Z_H = 7.2$ mm일 때 요구 주파수의 범위를 만족하였고, 폴디드 폭 $S=29$ mm로 그림 1의 구조보다 7 mm나 줄일 수 있었다. 따라서 제안한 소형화된 폴디드 다이폴의 크기는 $89 \times 74 \times 1.6$ mm로서 참고문헌 [2]에서 제시한 폴디드 다이폴보다 가로 길이에서 20 %정도 소형화될 수 있었다.

다음은 앞서 지그재그 개수가 2개인 경우에 대해 급전 포트의 설계 치수를 조정하여 입력 임피던스 정합의 향상을 찾아보았다. 여러 설계 파라미터 중에서 입력 급전 스트립 선로와 연결되는 폭 W_g 을 변화시켰을 때 약간 개선되었으며, 반사 손실을 그림 4에 나타내었다.

그림에서 보면 $W_{g1}=16$ mm일 때 전체 요구 주파수 범위를 만족하면서 임피던스 정합 특성은 약간 개선됨을 볼 수 있다. 이상으로 앞서 언급한 지그재그로 소형화된

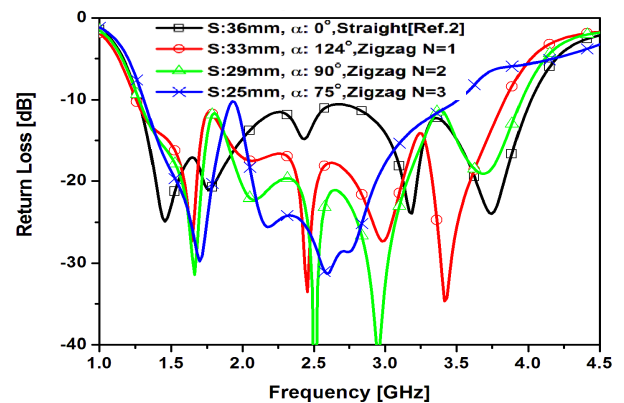


그림 3. S 변화와 지그재그 개수 변화에 따른 반사손실

Fig. 3. Return loss of S and zigzag number variation.

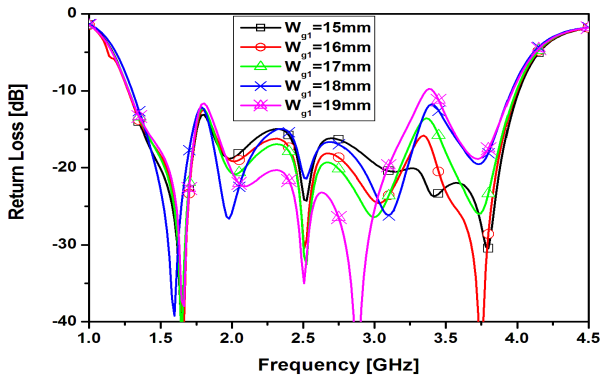
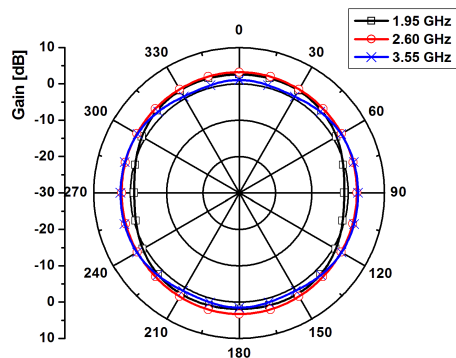


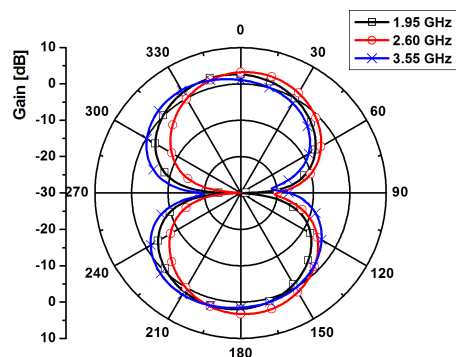
그림 4. W_{g1} 변화에 따른 반사손실

Fig. 4. Return loss of W_{g1} variation.

폴디드 다이폴에 방사패턴을 계산하여 그림 5에 제시하였다. 이 방사패턴은 반사판이 없는 경우로 이동 통신 사용 주파수 범위에서 2개의 3G 및 LTE 대역과 새롭게 할당될



(a) xz - plane



(b) yz - plane

그림 5. 반사판이 없는 폴디드 다이폴의 방사패턴

Fig. 5. Radiation pattern of folded dipole without reflector.

주파수대의 중간 주파수인 1.95 GHz, 2.6 GHz 3.55 GHz에 대해 방사패턴을 비교하였다. 예상되는 바와 같이 yz-plane 방사패턴은 8자 형태이고, xz-plane 방사패턴은 전 방향성 형태임을 볼 수 있다.

그림 1(b)와 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 전파를 전방으로 방사하기 위하여 안테나 뒤쪽에 반사판이 부착되어야 한다. 안테나 전체를 소형화하려면 반사판도 축소해야 하며, 반사판이 축소되어도 입력 임피던스 정합은 유지되어야 한다. 이를 위해 반사판의 설계치수 L_w , L_l 를 최적화하였고, 결과로 $L_w=110$ mm, $L_l=35$ mm를 도출하였다. 전기적 성능을 비교로 반사판이 부착된 폴디드 다이폴 안테나의 반사손실을 계산하여 참고문헌 [2]와 비교하여 그림 6에 보였다. 그림에서 보면 낮은 주파수 쪽으로 약간 이동하였지만, 요구 주파수 범위를 만족하였다. 그림 7과

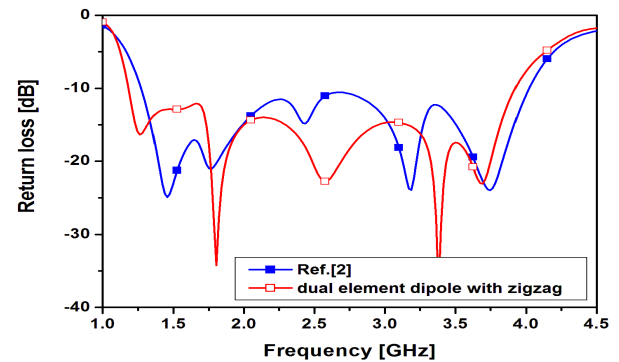


그림 6. 반사판이 부착된 안테나의 반사손실

Fig. 6. Return loss of the antenna with reflector.

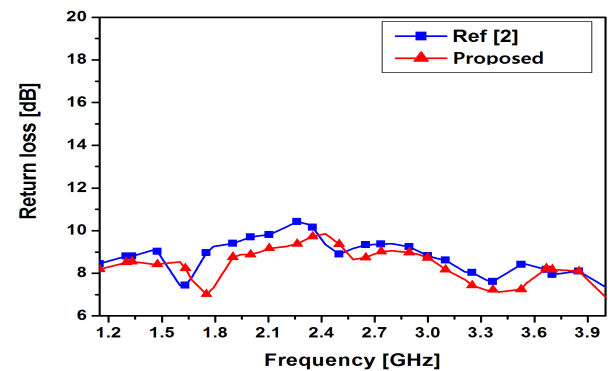
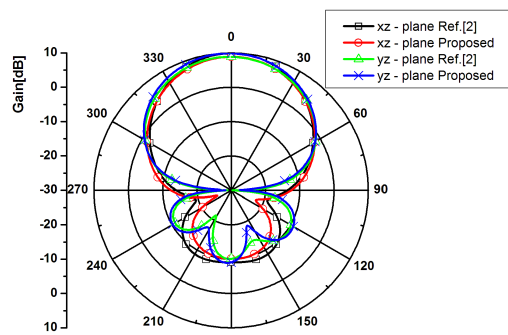


그림 7. 참고문헌 [2]와 안테나 이득 비교

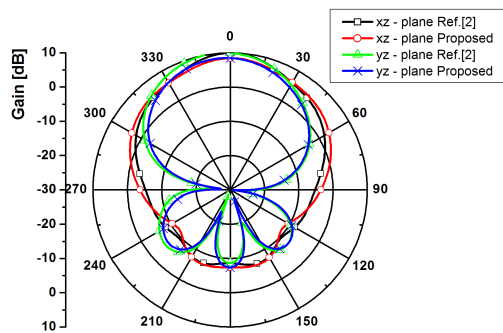
Fig. 7. Ref. [2] and antenna gain comparison.

8에 이득 비교 및 주파수 별 방사 패턴을 참고문헌 [2]와 비교하였다.

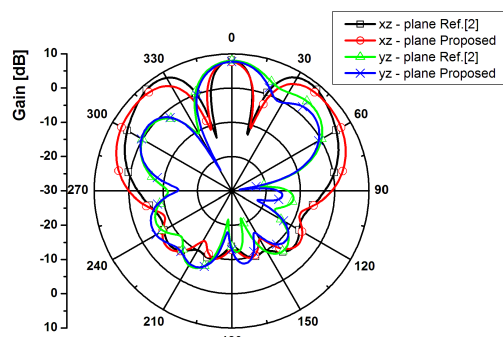
안테나를 소형화함으로써 참고문헌 [2]보다 이득이 1.8 GHz에서 약 2 dB 정도 차이가 있고, 대부분 약 1 dB내에서 차이를 보이고 있다. 그리고 패턴형상을 보면 참고문헌 [2]와 유사하게 나타났다. 그리고 반사판의 크기를 보



(a) 1.95 GHz



(b) 2.6 GHz



(c) 3.55 GHz

그림 8 참고문헌 [2]와 방사패턴 비교

Fig. 8. Ref. [2] and radiation pattern comparison.

표 1. 최적화된 설계 치수

Table 1. Optimized design dimension.

Parameter	Value(Mm)	Parameter	Value(Mm)
S	29	W_{β}	0.5
l_d	46	l_{f1}	4
W_d	3	l_{f2}	16
W_g	18	l_{f3}	27
W_{g1}	16	L_w	110
W_{g2}	16	L_1	35
l_{g1}	20.5	Z_H	7.2
l_{g2}	15	H	44
l_{g3}	18	β	45°
W_{f1}	3.2	α	90°
W_{f2}	1.8		

면 참고문헌 [2](그림 1)는 199×136 mm이지만 제안한 안테나 반사판(그림 2)은 159.5×136 mm로 가로 길이를 약 20 % 정도 소형화할 수 있었다.

제안한 다이폴 안테나의 설계 치수를 요약하여 표 1에 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 안테나는 참고문헌 [2]와 비교하여 보면 전기적 성능이 유사하지만, 소형화로 인해 설치 장소의 용이 및 미관에 다소 이점이 있는 것으로 사료된다.

Ⅲ. 안테나 제작 및 측정 결과

앞 절에서 설계한 지그재그 선로를 갖는 이중 소자 폴 디드 다이폴 안테나의 설계 성능을 검증하기 위하여 안테나를 제작 및 측정하였다. 제작에 사용된 PCB 기판은 비유전율이 4.4, 높이가 1.6 mm인 FR-4를 사용하였다. 제작이 완성된 안테나의 사진은 그림 9에 보였다. 그림에서 제작된 안테나를 보면 기판 윗면에 다이폴이 인쇄되고, 아랫 면에는 마이크로스트립 급전 선로가 인쇄되어 있다. 그리고 SMA 콘넥터가 급전 선로에 직접 연결되어 있다. 그리고 안테나의 외피는 외부 환경의 노출 및 보호하기 위하여 레이돔으로 덮일 것이다.

제작한 안테나에 대해 반사 손실의 측정 결과와 계산 결과를 그림 10에 비교 제시하였다. 그림을 보면 시뮬레

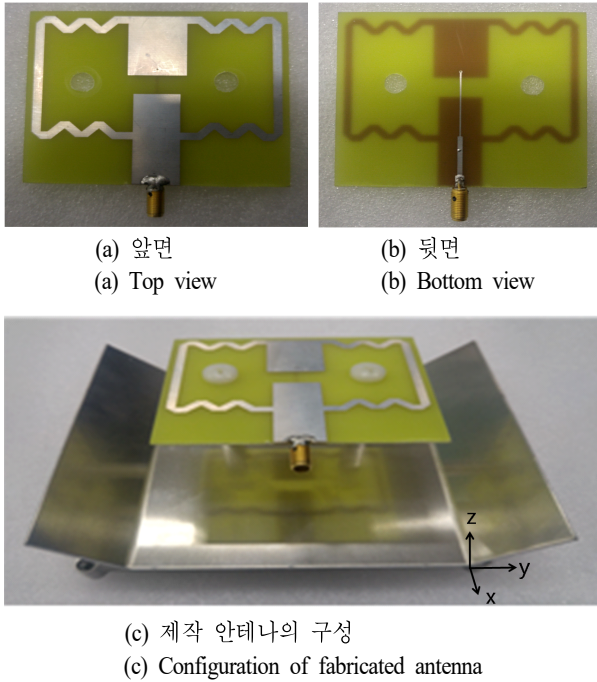


그림 9. 제작 안테나
Fig. 9. Fabricated antenna.

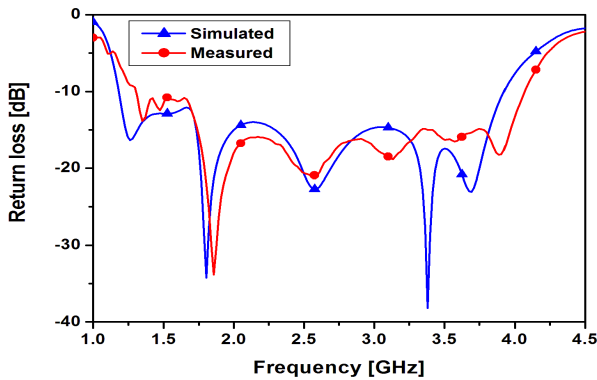
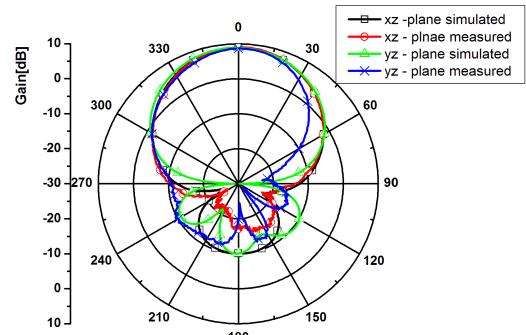


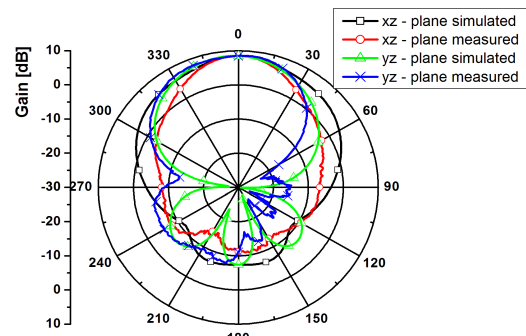
그림 10. 제작된 안테나의 반사 손실
Fig. 10. Return loss of fabricated antenna.

이선 결과와 비교하여 제작상의 도금의 영향으로 인하여 전체적으로 약 140 MHz 정도 높은 주파수 쪽으로 이동이 되었지만 시뮬레이션 결과와 비슷한 모습을 볼 수 있으며, -10 dB 기준으로 1.32~4.06 GHz로 요구 주파수 범위를 만족하였다.

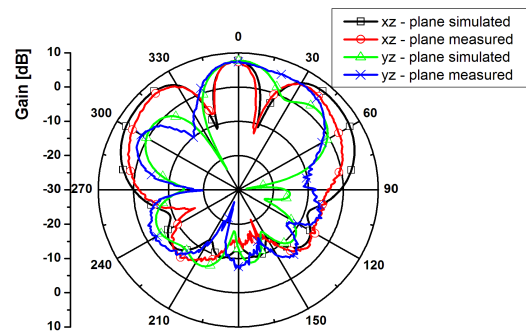
그림 11은 이동 통신에서 사용 중인 2개의 대역 3G/LTE



(a) 1.95 GHz



(b) 2.6 GHz



(c) 3.55 GHz

그림 11. 제작 안테나 방사 패턴
Fig. 11. Radiation pattern of fabricated antenna.

주파수 범위의 중간 주파수와 새롭게 추가될 3 GHz 대역의 중간 주파수(1.95 GHz, 2.6 GHz, 3.55 GHz)에서 실제 측정치와 계산치의 방사패턴을 나타내었다. 패턴 그림을 보면 2.6 GHz에서 계산치와 조금 차이가 있지만, 전반적으로 계산 결과와 유사한 특성을 가지는 것을 볼 수 있다.

제작한 안테나의 측정 결과의 요약을 표 2에 보았다.

표 2. 제작 안테나 측정 결과 비교

Table 2. Comparison of fabricated antenna measurement.

Performance		1.95 GHz		2.6 GHz		3.55 GHz	
		Simulation	Measured	Simulation	Measured	Simulation	Measured
S.W.R		Simulated: 1.7(worst), Measured:1.88(worst)					
Gain (dBi)		8.8	8.7	8.7	8.6	7.5	7.5
F/B	xz-plane (dB)	19.3	24.3	15.8	19.8	13.6	12.1
	yz-plane (dB)	20.7	20.8	14.9	15.0	12.2	10.4

표에서 보듯이 전반적으로 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때 유사한 특성을 가짐을 볼 수 있고, 향후 기존에 사용되어지고 있는 3G/LTE 주파수 2개의 대역과 새롭게 할당되는 주파수 대역(3.4~3.7 GHz)까지 서비스가 가능할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 5세대 통신이 도래하면서 새롭게 할당되는 매크로 셀(Macro cell)용 주파수가 3.5 GHz 대역으로 윤곽이 잡힘으로써 기존에 사용되어지고 있는 주파수 대역(1.7~2.7 GHz)과 새롭게 할당되는 주파수 대역(3.4~3.7 GHz)까지 동작하는 소형화된 광대역 폴디드 다이폴 안테나를 제안하였다. 요구 성능을 만족하면서 안테나를 소형화하기 위하여 다이폴의 가로 폭(S)을 지그재그 선으로 변형하여 안테나의 가로 길이를 20 % 정도 축소하였

고, 실제 안테나를 제작하여 설계 성능을 검증하였다.

따라서 제안한 안테나는 향후 이동통신용 인빌딩 중계기 안테나로 사용이 가능할 것으로 사료된다.

References

- [1] 전자신문, "3.5 GHz · 28 GHz, 3GPP 네트워크 아이템 선정 ... 글로벌 표준 주파수 가능성 ↑," 2017년 3월 9일.
- [2] Z. Wang, J. Wu, Y. Yin, and X. Liu, "A broad-band dual-element folded dipole antenna with a reflector," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, no. 4, pp. 750-753, 2014.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, New York, John Wiley & Sons, 2005.
- [4] M. Li, K. M. Luk, "A low-profile wideband planar antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 9, pp. 4411-4418, Sep. 2013.
- [5] P. Fei, Y. Qi, and Y. C. Jiao, "Design of a wideband dual-element slot loop antenna array with adjustable back-reflector," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 11, no. 9, pp. 1014-1017, Aug. 2013.
- [6] 전후동, 허수영, 고지환, "양방향 지향성을 갖는 이중 대역 전기적 빔 틸팅 배열 안테나 설계," 한국전자과학회논문지, 27(7), pp. 612-619, 2016년 7월.
- [7] 이광재, 우덕제, 김상진, 이재욱, 이택경, "이동통신용 소형 방향성 다이폴 안테나," 한국전자과학회논문지, 19(12), pp. 1416-1426, 2008년 12월.
- [8] ANSYS, HFSS 17.0.

전 후 동



2003년 2월: 경일대학교 전자정보공학과 (공학사)
 2005년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
 2008년 8월: 금오공과대학교 전자공학과 박사수료
 2008년 11월~2017년 04월: (주)하이게인

안테나 선임연구원

2017년 05월~현재: KMW 책임연구원

[주 관심분야] 마이크로파, 안테나 설계

고 지 환



1982년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1985년~2000년: 한국전자통신연구원 연구원
 2000년~현재: 금오공과대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 안테나 설계, 초고주파 도파관 및 수동 부품 설계, 전자파 산란, 위성 통신