

가변 캐패시터를 이용한 초소형 GPS 패치 안테나

김기남*

Compact GPS Patch Antenna Using Variable Capacitor

Ki-nam Kim*

요 약

최근 GPS 안테나 성능개선에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 논문에서는 GPS 대역에 사용가능한 초소형 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 공진 주파수는 접지면과 가변형 캐패시터를 이용하여 조정하였다. 안테나 제작은 제작 난이도와 경제성을 고려하여 FR4 기판을 사용하였다. 안테나 측정결과 GPS 대역 중심 주파수 1575.42 MHz에서 정재파비(VSWR) 1.2, 수동형 안테나 이득 -0.6 dBi, 능동형 안테나 이득 29 dB의 우수한 특성을 얻었다.

Key Words : GPS Antenna, GPS Active Antenna, Compact Antenna, Variable Capacitor, Patch Antenna

ABSTRACT

Recently there have been much interest in the GPS antenna performance improvement. In this paper, we propose very small patch antenna for GPS band. The proposed antenna resonance frequency was adjusted using the ground plane and variable capacitor connected the frame. The fabricated antenna was used a FR4 substrate by considering the difficulty and economical efficiency. Antenna measurement results was obtained good characteristics of VSWR 1.2, the passive antenna gain -0.60 dBi, the active antenna gain of 29 dB in center frequency of 1575.42 MHz GPS band

I. 서 론

최근 무선기기들의 복잡화, 다기능화에 따라 안테나를 비롯한 모든 부품들의 소형화가 진행되고 있다. 무선 기기의 사이즈가 소형화되면서 RF 부품중 하나인 안테나의 사용 공간도 협소해지고 있어 안테나 소형화는 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 이동 휴대 단말기는 복잡한 통신 환경과 다양한 기능 구현 등으로 인하여 부품의 소형화가 더욱 요구되고 있다.

최근 GPS는 육상분야뿐만 아니라 해양분야 항법, 레저 등의 분야에서도 널리 사용되고 있으며, 대부분

의 GPS안테나는 소형 능동 안테나 형태로 구현되고 있다.

마이크로스트립 패치(patch) 안테나는 제작의 용이성, 저렴한 제작비용, 경량 등의 특성으로 많이 이용되고 있지만, 휴대 단말기에 사용하기에는 크기 때문에 적합하지 않다. 이에 따라 면적에 비례하여 공진주파수가 결정되는 안테나의 특성상 원하는 공진주파수를 보다 작은 면적에 구현하고자 하는 안테나 소형화 방법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 패치 안테나 소형화 기법 중 마이크로스트립 유전체를 안테나 크기에 맞게 선택하는 방법은 대역폭, 방사 효율

* First Author : (주) 네트워크 텔레콤 기업부설 연구소, UCAMPUS@daum.net, 정회원
논문번호: KICS2013-12-531, Received December 11, 2013; Reviewed January 20, 2014; Accepted March 5, 2014

등의 안테나 특성을 변화시키기 때문에 소형화 방법으로 한계가 있으며, 접지면과 복사 패치에 슬롯(slot)을 이용하는 방법^[1-3], LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 공정을 이용하는 방법, 최근에는 Meta-material 기법을 이용하는 방법, 미앤더(meander) 형태의 안테나 등 많은 방법이 연구되고 있다^[4]. 하지만, 이러한 방법 등은 안테나를 제작하는데 공정이 복잡하기 때문에 한계를 보인다.

이 논문에서는 가변형 캐패시터를 이용한 초소형 GPS 안테나를 제안하였다. 안테나가 시스템에 위치할 영역을 접지면으로 형성할 수 있다는 점에 착안하여, 접지면에 따라 공진주파수가 변하는 영향을 최소화하였다. 또한, 접지면과 복사 패치 사이에 가변 캐패시터를 삽입하여, 캐패시터의 값을 조정함으로써 복사 패치의 크기와 접지면의 크기의 변동없이 안테나를 소형화 하였다.

제안한 안테나는 실제 GPS 시스템에 적용하기 위해 르네사스사의 uPC8240으로 LNA(Low noise Amplifier)를 구성, 안테나와 결합한 초소형 능동형 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 총 2개의 부분으로 이루어져 있으며, 안테나를 이루는 1개의 패치 안테나와 LNA로 이루어져 있다.

II. 안테나 구조 및 특성

2.1 GPS 기본 안테나

그림 1은 두께 1 mm, 유전율(ϵ_r) 4.6인 FR4 기판으로 GPS 대역의 패치 안테나를 마이크로스트립 패치 안테나를 구하는 식(1),(2),(3),(4)에 의해 기본 패치 안테나를 설계하였다. 안테나 폭(W)은 약 57 mm, 안테나 길이(L)은 약 40 mm로 도출되어, CST Microwave Studio로 모의실험을 하였다.

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} h \quad (3)$$

$$L = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (4)$$

모의 실험을 통해 패치 안테나 길이를 미세 조정하여 GPS 대역의 중심주파수인 1575.42 MHz로 이동하였다. 이때 안테나 폭은 약 50 mm, 길이는 약 47 mm로 나타났다. GPS 대역 패치 안테나의 입력 반사손실은 공진주파수 1575.42 MHz에서 -27.5 dB, GPS 대역인 하한 주파수 1574.42 MHz, 상한 주파수 1576.42 MHz를 VSWR 2:1 지점에 모두 포함하며, 안테나 이득은 1.5 dB로 나타났다.

그림 1에서 보여지는 안테나는 GPS 대역에서 우수한 특성을 나타내지만 휴대 단말기에 적용하기에는 면적이 크기 때문에 부적합하다.

2.2 GPS 대역 패치 안테나 소형화 기법

이 연구의 주 목적은 휴대 단말기용 GPS 시스템에 사용가능한 GPS 안테나 설계에 있다. 다시 말해 한정된 공간에서 안테나를 최소화하면서 성능을 효율적으로 유지할 수 있는 방법에 대한 연구이다. 휴대 단말기에서 GPS 시스템이 구성되는 부품들은 단말기 내부의 PCB의 일부분을 이용하여 설계되므로 GPS 안

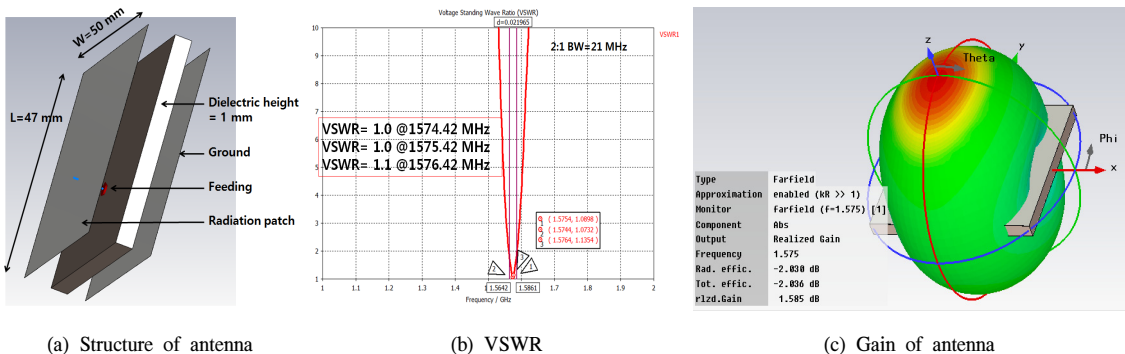
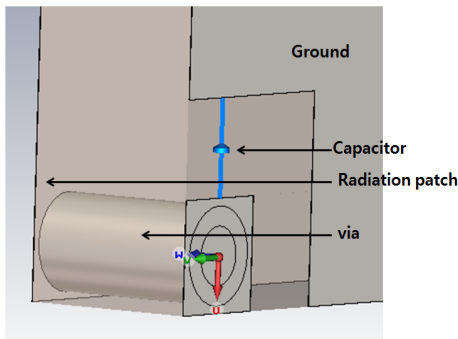


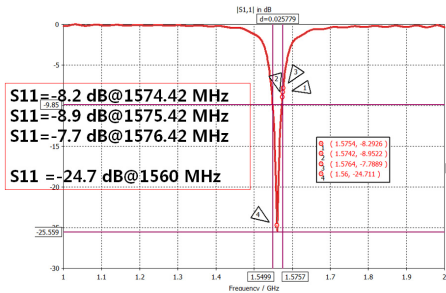
그림 1. GPS 대역 패치 안테나
Fig. 1. Patch antenna of GPS applications

테나의 경우, 시스템 전체 접지면의 영향을 많이 받게 되고, 노이즈에 취약하다. 따라서, 이 논문에서의 GPS 안테나는 안테나 고유의 접지면을 시스템 PCB를 이용하여 안테나 고유의 접지면의 영향을 최소화하여 노이즈의 영향도 감소하였다. 또한, 많이 사용하는 기존의 세라믹 계열의 안테나 보다 쉬운 공정, 저렴한 제작 비용, 초소형 등의 장점을 갖고 있다. 그림 2 (a)는 그림 1의 패치 안테나의 접지면에 캐패시터를 직렬 삽입할 수 있도록 접지면의 형태를 변경한 그림이다. 안테나 복사 패치와 캐패시터 삽입부는 via를 통해 연결이 된다. 소형화 기법중 하나인 가변 캐패시터는 공진주파수를 저주파 대역으로 이동시키기 위해 미앤더라인을 삽입하는 방식과 같이 사용하였지만, 이 연구에서는 접지면을 시스템 접지와 공통 사용하는 방식이기에 캐패시터의 용량값을 가변하는 방식만 사용하였다.

시스템 접지는 사용하는 시스템 전체 면적에 따라 달라지기 때문에 인덕턴스는 각각 변하게 된다. 따라서, 변하는 인덕턴스는 무시하고, 캐패시턴스를 변화시켜 공진 주파수를 이동시키는 방법으로 설계한다. 그림 2에서 가변 캐패시터를 접지면과 직렬로 연결하



(a) Structure of variable capacitor



(b) S11 using the variable capacitor

그림 2. 가변 캐패시터의 구조
Fig. 2. Structure of the variable capacitor

여 복사패치의 변경 없이 공진주파수를 저주파 대역으로 이동시킨다. 공진주파수가 저주파 대역으로 움직이면 복사패치를 줄이는 방법으로 소형화를 하였다. 캐패시터와 접지면 사이의 이격 거리는 실장 가능한 SMD 부품 크기로 약 2 mm로 고정하였다. 그림 2 구조는 via의 위치와 캐패시터의 용량값으로 공진주파수를 이동시킬 수 있다. 하지만 via의 위치를 복사 패치의 안쪽으로 이동시킬 경우 main lobe의 각도가 좌우로 틀어질 수 있기 때문에 최대한 바깥쪽으로 위치할 수밖에 없었다. via의 위치는 약 1 mm로 고정된 후 캐패시터의 용량을 가변하면서 공진주파수의 이동을 모의 실험하였다.

그림 2 (b)는 접지면의 형태를 그림 2 (a)의 형태로 변경을 한 후, 캐패시터 삽입부에 저항 0 Ω으로 연결하였을 때의 입력반사손실이다. 복사패치의 급전 위치와 lumped 소자인 저항이 삽입되면서 기본패치 안테나 특성 보다 다소 낮은 대역으로 이동된 공진주파수 특성을 나타낸다.

그림 3은 그림 2 (b)에서의 저항 0 Ω을 캐패시터 1 pF부터 80 pF까지 변경하면서 공진주파수의 이동을 확인하는 그림이다.

그림 3에서 나타나듯 캐패시터 용량이 커질수록 공진 주파수가 낮아지고 있다. 캐패시터의 용량값을 80 pF으로 설정한 후, 복사패치의 크기(폭과 길이)를 줄여가면서 원하는 공진 주파수인 GPS 대역으로 이동시킨다. 복사패치의 폭은 일반적으로 임피던스 정합용으로 미세조정을 하고, 길이는 공진주파수 정합으로 미세조정을 한다. 그림 4는 복사패치 크기는 폭과 길이를 동일하게 설정하였다. 이유는 직사각형 기본 패치보다 급전부의 위치를 조정하기에 수월하며, 급전부 위치에 따른 임피던스의 변화가 없기 때문이다. 따라

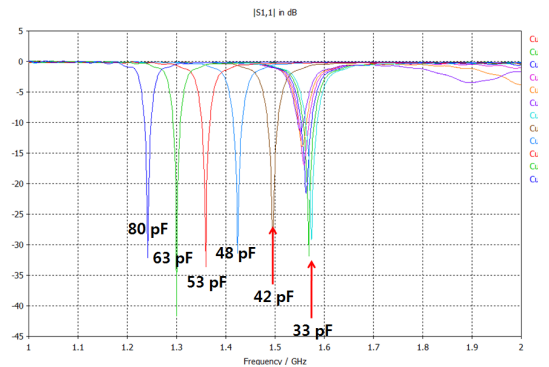


그림 3. 캐패시터 값을 변경한 후 공진주파수
Fig. 3. Change the value of the capacitor resonant frequency

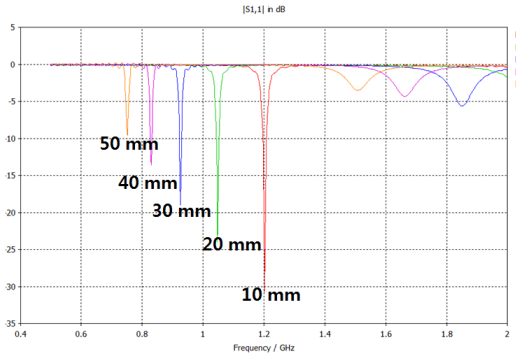


그림 4. 복사패치 크기를 변경한 후 공진주파수
Fig. 4. Change the size of the patch resonant frequency

서, 기존 복사패치의 길이 47 mm에서 10 mm 까지 감소 시킬 때, 같은 크기로 복사패치의 폭도 변화시킨다. 복사패치 길이를 10 mm로 제한한 것은 PCB 공정의 용이성과 작업의 용이성으로 정한 것이다. 복사패치의 면적을 많이 감소시키면 안테나 수신 효율 특성이 나빠지기 때문이기도 하다. 캐패시터의 용량이 80 pF이고 복사패치의 길이가 47 mm, 폭 50 mm일 때 가장 낮은 주파수 대역이 약 1,240 MHz였는데, 복사패치의 크기를 동일하게 감소하면 복사패치 길이, 폭 모두 10 mm, 캐패시터 용량 80 pF일 때 GPS 대역에 근접한 1,200 MHz에서 입력반사손실 S11이 약 -30 dB를 나타냈다. 1,500 MHz 대역에서 약간의 기생성분이 발생하였지만 대체적으로 원하는 결과를 얻을 수 있었다.

GPS 대역에 공진주파수를 이동시키기 위해 안테나 크기를 가로세로 모두 10 mm인 정사각형 패치 안테나로 설계한 후, 캐패시터를 가변하면서 공진주파수를 조정하였다. 캐패시터 용량값은 실제 제작에서 실장 가능해야하므로 모의실험을 통한 용량값은 근사치로 적용하기로 한다.

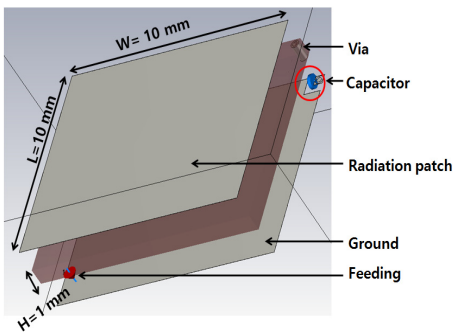


그림 5. GPS 패치 안테나의 구조
Fig. 5. Structure of the GPS patch antenna

그림 5는 복사패치와 via로 연결된 급전점과 접지 면 사이에 캐패시터를 삽입한 패치 안테나 구조를 나타낸다.

그림 6은 그림 5에서 나타나는 구조로 안테나를 설계하여, 캐패시터의 값을 가변하여 최적의 결과를 얻기 위해 50 pF부터 80 pF까지 5개의 단계로 모의실험한 입력반사손실 S11의 결과를 나타내며, 57 pF에서 약 -28.9 dB로 만족할만한 결과를 얻을 수 있었다.

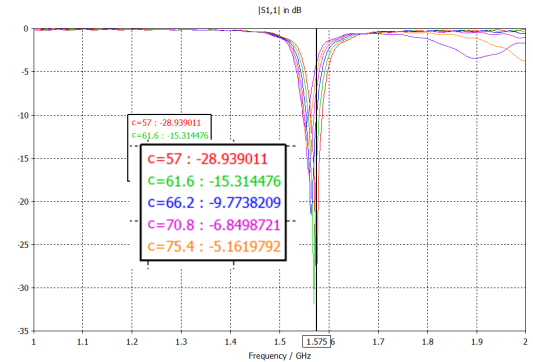
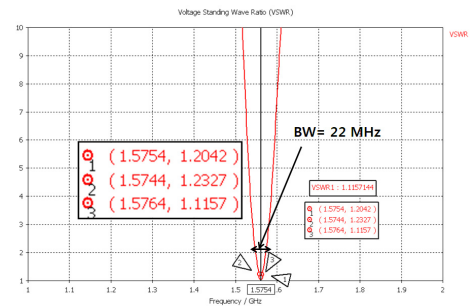
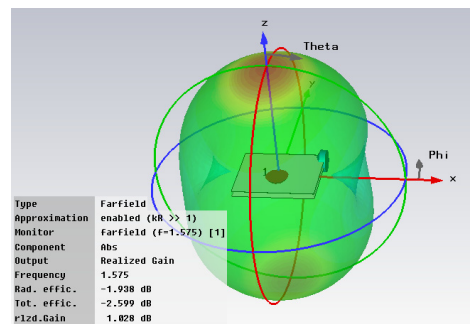


그림 6. GPS 대역으로 변화된 공진 주파수
Fig. 6. Change the resonant frequency of the GPS application



(a) VSWR



(b) Gain

그림 7. 안테나 특성
Fig. 7. Characteristics of the antenna

그림 7 (a)는 캐패시터를 56 pF으로 고정하여 모의 실험으로 나타난 VSWR 특성이다. 그림 6에서 나타나는 최적의 캐패시터 값 57 pF를 사용하지 않고, 56 pF으로 고정한 이유는 실제 제작을 위해 범용으로 쉽게 구할 수 있는 smd 타입의 캐패시터를 사용하기 위함이다. 중심주파수 1575.42 MHz에서 1.2로 매우 우수한 특성을 나타내며, GPS 대역에서 매우 우수한 VSWR 특성을 갖는다. 그림 7 (b)는 이때의 안테나 이득으로 약 1.0 dBi의 특성으로 나타난다. 앞에서 도출한 특성에 따라 캐패시터 56 pF, 가로,세로 10 mm인 안테나로 실제 제작을 하여 특성을 살펴본다.

III. 제작 및 측정

모의실험으로 최적화한 초소형 GPS 안테나는 비유전율 4.6인 FR4기판의 두께가 1 mm인 PCB를 사용하여 제작하였다. 급전방식은 via를 이용하였다. 모의실험에서 캐패시터의 용량값은 57 pF으로 나타났지만, 실제 제작 환경에서는 56 pF을 이용하였다.

Agilent사의 5070B Vector Network Analyzer를 사용하여 안테나 기본 특성을 측정하였으며, 전파무향실에서 지향성과 이득을 측정하였다. 또한, 실제 GPS

시스템에서 사용가능한지 검증하기 위해 르네사스사의 uPC8240의 LNA를 안테나 크기와 동일한 면적으로 구현하여 안테나와 결합하여, Agilent사의 Noise Figure Analyzer로 노이즈지수와 이득을 측정하고, 전파무향실에서 전체 이득을 측정하였다. 그림 8는 제작된 안테나이다.

그림 8은 실제 제작된 안테나와 측정값을 나타낸다. 가로*세로*높이(mm)는 LNA의 마이크로키넥터를 포함하여 각각 10*10*2.3(mm)이며, VSWR은 중심주파수 1575.42 MHz에서 1.2로 우수한 특성을 보인다. 안테나 이득은 중심주파수 1575.42 MHz에서 -0.648 dBi로 다소 낮게 측정이 되었으며, 이 때의 안테나 효율은 약 21%로 나타났다. 그림 8 (b)는 안테나를 실제 GPS 시스템에서 사용 가능한지 검증하기 위해 르네사스사의 uPC8240의 GPS 대역의 LNA를 이용하여 안테나와 결합하였다.

그림 9는 안테나의 접지로 사용한 실제 LNA와 캐패시터, 급전 위치를 나타낸다. 그림 9 좌측은 실제 LNA이며, 우측은 안테나 검증을 위한 bare board로 사용한 PCB이다. 캐패시터는 가변이 용이하도록 LNA부에 삽입을 하여 접지와 직렬 연결하였다. 그림 9의 좌측 LNA의 특성은 그림 10에서 나타낸다. LNA

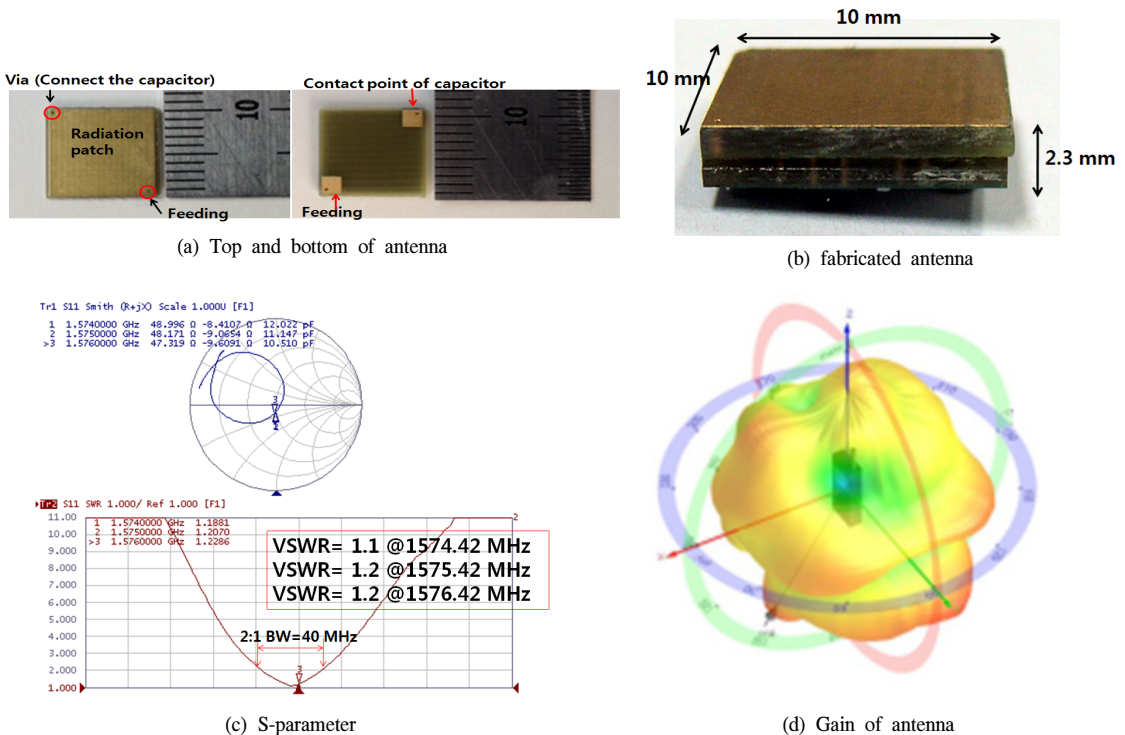


그림 8. 초소형 GPS 안테나
Fig. 8. Compact antenna of GPS application

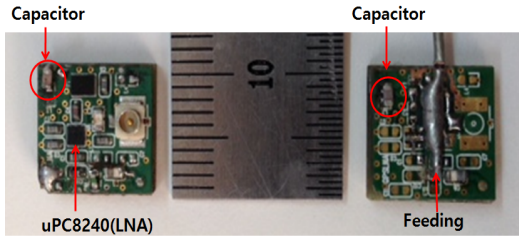


그림 9. 급전 및 캐패시터
Fig. 9. Feed and capacitor.

의 전체 면적은 안테나의 면적과 동일하게 구성하였다. 이 논문에서는 초소형 안테나의 연구이기 때문에 LNA의 설계 과정은 생략한다. GPS 대역의 중심주파수 1575.42 MHz에서 이득 27.4 dBm, 노이즈지수 0.5로 우수한 성능을 나타낸다.

그림 11은 GPS 시스템에 적용할 수 있도록 안테나와 LNA를 그림 8(b)와 같이 상하로 결합하여, GPS 시스템에서 사용이 가능한지 안테나 이득을 확인한다.

GPS 대역의 중심주파수 1575.42 MHz에서 29.8 dBm으로 uPC8240 LNA의 최대 성능인 30 dBm에 근접한 매우 우수한 성능을 나타낸다.

표 1. 특성 비교
Table 1. Comparison of characteristics

Comparison	Simulation		fabricated antenna
	Basic Antenna	Compact Antenna	
Bandwidth (VSWR 2:1)	21 MHz	22 MHz	40 MHz
VSWR (1575.42 MHz)	1.0	1.0	1.2
Gain	1.5 dBi	1.0 dBi	-0.6 dBi

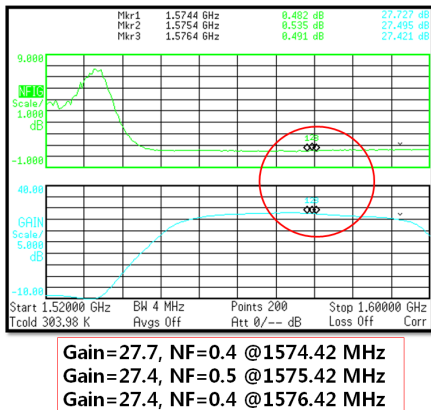
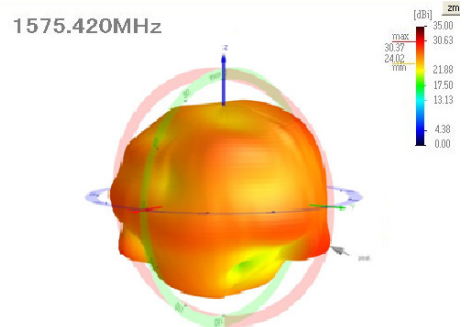
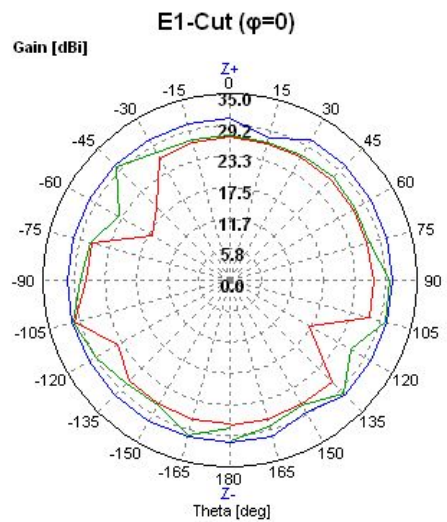


그림 10. LNA의 특성
Fig. 10. Characteristics of the LNA



(a) 3D gain



(b) 3D gain

그림 11. 능동형 안테나 이득
Fig. 11. Characteristic of the active antenna

표 2. 능동형 안테나 특성
Table 2. Characteristics of active antenna

Characteristic	Gain Polarization	
	Gain	28.9 dBi @ 1574.42 MHz
VSWR	< 2	
Polarization	Vertical	
Dimension	10 * 10 * 2.3 (mm)	
Weight	1 (g)	

IV. 결론

이 논문에서는 GPS 대역에서 사용할 수 있는 초소형 패치안테나를 설계하였다. 설계 방법과 순서는 마이크로스트립 패치 안테나 기본 공식에 의하여 GPS 중심 주파수 1575.42 MHz 패치 안테나를 설계하여, 특

성을 확인한 후 접지면에 직렬로 캐패시터를 삽입하여 공진 주파수를 저주파 대역으로 이동시켜 최종적으로 복사 패치의 크기를 감소시켜 소형화 하였다. 안테나는 비유전율 4.6 기판의 두께가 1 mm인 FR4 기판을 사용하였고, 3D 설계가 가능한 CST Microwave Studio 2010 버전에서 안테나의 제반 특성을 예측하였다. 모의실험의 결과보다 실제 제작한 안테나의 이득이 낮은 것은 정확하게 결합이 되지 않았기 때문으로 보이며, 또한 PCB 공정상의 문제로 약간의 오차가 발생한 것으로 파악된다. 또한 실제 제작한 안테나에서의 대역폭이 증가한 것은 LNA와 임피던스 정합을 하면서 입력 임피던스가 개선된 것으로 파악된다. 목표한 GPS 대역에서 모의실험보다 넓은 대역폭 특성을 얻었고, 중심주파수 1575.42 MHz에서 약 29.8 dB의 높은 이득 특성을 얻을 수 있었다. 안테나 접지면과 복사 패치 사이에 캐패시터를 삽입하여 공진 주파수를 저주파 대역으로 이동시키는 방법은 시스템 접지면적과 위치에 따라 안테나 특성이 변하는 것을 최소화하는 방안 중 하나이다. 이 연구의 결과는 GPS 대역뿐만 아니라 여러 가지의 무선 통신 분야 안테나설계에 활용될 수 있을 것이라 예측된다. 특히 2018년부터 1m 이내의 위치정보 시험서비스를 제공할 예정인 ‘초정밀 GPS 보정시스템’, 일명 ‘SBAS(Satellite Based Augmentation System)’용 안테나설계에도 유용하게 활용될 것으로 보인다. 최근 GPS 시스템의 수신감도가 많이 개선되어 안테나 편파가 원형편파가 아니어도 고정 통신에서는 문제는 없으나, 육상, 해상 이동 통신에서는 통신 장애가 발생할 수 있으므로, 향후 편파 특성 개선에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다. 이 논문에서 제안한 패치의 좌측이나 우측에 모따기(Chamfer)를 하여 길이를 줄이는 방식(Truncate)을 적용하면 쉽게 원형편파를 구현할 수 있다.

참고문헌

[1] S. H. Cho, S. Pyo, J.-M. Kim, I.-Y. Lee, and Y.-S. Kim, "A compact circular-polarized microstrip antenna using the slit and multi-layer structure," *J. KEES*, vol. 20, no. 3, pp. 296-302, Mar. 2009.

[2] W. S. Chen, C. K. Wu, and K. L. Wong, "Compact circularly polarized microstrip antenna with bent slots," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 13, pp. 1170-1171, Jun. 1998.

[3] W. W. Roh and J. M. Woo, "Miniaturization

of microstrip antenna using folded structure with attaching plates for satellite communication terminal," *IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, pp. 4709-4712, Jun. 2007.

김기남 (Ki-nam Kim)



1994년 2월 : 서울과학기술대학교 전자공학과(공학사)
 1997년 2월 : 고려대학교대학원 전파공학과(공학석사)
 2007년 8월 : 한국항공대학교대학원 정보통신공학과 (공학박사)

1986년 8월~1991년 5월 : (주) PAN OCEAN 통신국장
 1991년 6월~1997년 12월 : 한국기술연구소 수석연구원
 1998년 1월~2002년 2월 : 김기남 정보통신학원장
 2002년 3월~2013년 2월 : 동양공업전문대학 전기전자통신공학부 겸임교수
 2002년 4월~현재 : (주) 네트웍텔레콤 대표이사
 <관심분야> 해상 무선통신, 이동통신, 위성통신, RF 부품 및 시스템, 디지털 방송 시스템