

의복에 실장되는 웨어러블 GPS 안테나에 대한 연구

† 박동국

† 한국해양대학교 전자통신공학과 교수

A Study on Wearable GPS Antenna Integrated into Garment

† Dong-Kook Park

† Department of Electronic & Communication Engineering, Korea Maritime & Ocean University

요 약 : 최근에 인체 중심의 무선통신 기술에 대한 관심이 증가하면서 입을 수 있는 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 GPS 주파수를 수신할 수 있는 입을 수 있는 안테나를 제안하였다. 두께 0.7mm의 염소가죽을 유전체 기판으로 사용하고, 두께 0.08mm의 구리 폴리에스터 천을 방사체 및 접지판으로 사용하여 안테나를 제작하였다. 원형 편파 특성을 얻기 위해 정사각형의 패치에 대각선 방향에 놓인 모서리를 잘라서 방사체를 만들었고, 도전성 천과 가죽을 에폭시를 사용하여 접착하였다. 먼저 염소가죽의 유전율을 구하기 위해 크기가 다른 3개의 정사각형 패치 안테나를 만들고, 실험 및 시뮬레이션을 통해 염소가죽의 유전상수를 구하였다. 이것을 바탕으로 GPS 대역에서 동작하는 안테나를 설계하고, 제작하여 실험을 통해 안테나의 성능을 검증하였다. 옷의 어깨 부분에 설치하여, 사람이 입고 측정하여 특성의 변화를 실험하였고, 상용 세라믹 GPS 안테나와 수신 감도 특성을 비교하여 제작된 안테나가 비슷한 수준의 감도를 갖고 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 착용형 안테나, 유연한 안테나, 내장형 안테나, GPS 안테나, 직물 안테나

Abstract : In recent years, wireless communication technologies in human body have received an increasing attention and the research on an antenna that can be worn also has been actively conducted. In this paper, an wearable antenna that can receive GPS signal frequency is proposed. The antenna was manufactured by using a copper polyester fabric with thickness of 0.08mm as a radiator and a ground plate, and a goatskin with thickness of 0.7mm as dielectric substrate. Cutting edges placed in diagonal direction of square patch in order to obtain a circular polarization characteristic, and the conductive cloth and leather was laminated by using a conductive epoxy. First, goatskin dielectric constant was obtained through the simulation and measurement of resonance frequency of the three square patch antennas with different size. On the basis of the results, an antenna operating in the GPS band was designed and the performance of the antenna was validated by making the experiment. The change of the characteristic of the antenna that is located on the shoulder parts of the clothing and wearing person were measured. And it was confirmed that the reception sensitivity has a similar level as compared to the commercially produced ceramic GPS antenna.

Key words : Wearable antenna, flexible antenna, integrated antenna, GPS antenna, fabric antenna

1. 서론

최근 인체 중심의 무선통신 기술에 대해 많은 관심을 가지면서 입을 수 있는(wearable) 제품에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 가까운 미래에 전자 및 통신 부품의 많은 부분이 웨어러블(wearable) 될 것으로 전망이 된다(Yilmaz, 2008). 이러한 연구의 일환으로 무선 통신 단말에 없어서는 안될 안테나에 대해서도 웨어러블 안테나에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다(Klemm, 2006; Rais, 2009; Salonen, 2005; Santas, 2007). 대부분 2.4GHz 대역 LAN용 안테나와 900MHz 대역

RFID 태그(Tag)용 등 ISM 밴드(Industrial Scientific Medical band) 대역의 안테나로서, 도전사로 옷감에 자수를 놓거나 전도성 직물을 이용하여 제작한 웨어러블 안테나들에 대한 논문이 많이 발표되었다(Kim, 2008; Tronquo, 2006; Tak, 2014)

웨어러블 안테나는 의복의 일부로 구성이 되어 네비게이션 및 개인의 안전을 위한 통신 등에서도 사용될 수 있다. 이러한 측면에서 GPS용 안테나를 웨어러블 안테나로 구현하는 것은 의미가 있을 것으로 사료된다. 웨어러블 GPS 안테나에 대해 Salonen (2004)는 구리 테이프(copper tape)를 사용하여 방사패치를 구현하고, 접지면 크기가 130mm × 130mm 의 안테나

† Corresponding author : 연희원, dkpark@kmou.ac.kr 051)410-4311

를 제안하였다. Vallozzi (2010)는 전도성 천 (Flectron)을 사용하여 방사체를 구현하였으나 두께 5.55mm의 폼(foam)을 기판으로 사용하고 있다.

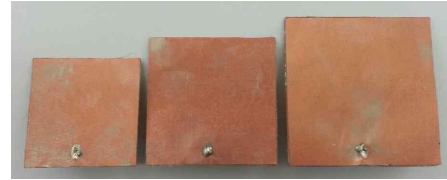
본 논문에서는 앞서 제안된 논문에 비해 두께가 얇고, 안테나의 크기도 소형이면서 전도성 천을 사용하여 보다 착용감이 좋은 GPS용 웨어러블 안테나를 구현하고자 한다. 안테나의 모양은 의복 상에 부착이 용이한 평판형으로 설계하고, 사용하는 천의 유전특성을 실험을 통해 추정하고, 이것을 이용하여 GPS 안테나를 설계하고 실험한 결과를 제시하였다.

2. 안테나 설계

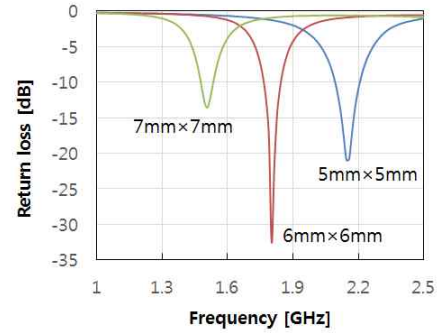
GPS 안테나의 모양은 정사각형의 패치에 대각선 방향의 모서리를 잘라 원형 편파 특성을 얻는 전형적인 방법을 사용하였다. 일반적인 마이크로스트립 패치 구조와 차이점은 방사체 및 접지면으로 사용되는 재질이 두께가 매우 얇은 도전성 옷감(conductive fabric)을 사용한다는 점과 유전체 기판으로 웨어러블 소재를 사용한다는 점이다. 본 논문에서는 두께 0.7mm의 염소 가죽(goatskin)을 유전체 기판으로 사용하였고, 도전성 옷감은 두께 0.08mm의 구리 폴리에스터 직물(Copper Polyester Taffeta Fabric)을 사용하였다. 도전성 직물과 염소 가죽을 도전성 에폭시(conductive epoxy)를 이용하여 접착하였다. 유전체 기판으로 사용되는 염소 가죽의 유전상수 값을 알 수가 없어, 먼저 유전율 특성을 조사하는 것이 우선적으로 이루어져야 정확한 안테나 설계가 가능하다.

염소 가죽의 유전율을 알아보기 위해 1차적으로 유사 가죽의 유전율에 대한 논문(Tak, 2014)을 근거로 유전상수를 비슷한 값으로 근사한 후, 크기가 다른 정사각형의 전도성 직물로 마이크로스트립 패치 안테나를 만들어 안테나의 공진 주파수를 측정한다. 여러 가지 많은 샘플(치수가 다른 안테나)을 제작하여 실험을 통해 공진 주파수를 측정하고, 시뮬레이션 결과값과의 차이를 구한다. 이것을 바탕으로 오차를 최소화 할 수 있는 유전율 값을 시뮬레이션을 통해 추정하는 통계적인 방법을 사용하였다. 따라서 측정하는 안테나의 개수가 많을수록 유전율의 값이 정확해 지지만, 본 논문에서는 Fig. 1과 같이 크기가 다른 3 종류의 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나만을 이용하여 유전율을 측정하였다. 따라서 오차가 있을 수 있지만 실험적으로 튜닝을 통해 GPS 대역에서 동작하는 안테나를 설계하고자 하였다.

제작된 평판 안테나는 방사 패치와 접지면의 크기가 동일한 형태의 마이크로스트립 패치 안테나 구조이며, 접지면의 크기는 각각 50mm × 50mm, 60mm × 60mm, 70mm × 70mm 이며, 기판의 두께는 0.7mm 이고, 안테나의 급전은 접지면에서 동축 케이블을 이용하였으며, 급전 위치를 조정하여 임피던스 정합을 구현하였다. 3개의 평판 안테나에 대한 방사 손실 측정 결과를 Fig 1 (b)에 제시하였다.



(a) Fabricated square patch antennas



(b) Measured return loss

Fig. 1 Configuration and return loss of fabricated wearable square patch antennas

측정 결과로부터 기판의 유전율을 조사하기 위해 동일한 구조의 안테나에서 기판의 유전율 변화에 따른 공진 주파수 변화를 시뮬레이션하여 본 논문에서 사용한 염소 가죽의 유전율은 유전상수가 약 2.0 정도가 되는 것을 확인하였다. Fig. 2에 유전율을 2.0으로 가정할 때 제작된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션과 실험 결과가 비슷한 것으로부터 기판의 유전율에 대한 가정이 적절함을 알 수 있다.

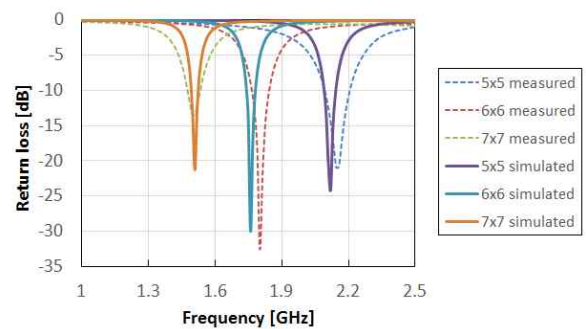


Fig. 2 Comparison simulation and experiment return loss

본 논문에서 사용하는 기판 천의 유전율을 구했으므로 이것을 이용하여 GPS 대역의 안테나를 설계하였다. GPS-L1 표준이 우선회 원편파 (Right hand circular polarized wave)를 사용하기 때문에, 우선회 원편파를 만들기 위해 정사각형의 마이크로스트립 패치에 정사각형의 두 모서리 부분을 Fig. 3과 같은 모양으로 잘라내어 GPS 안테나를 만들었다.

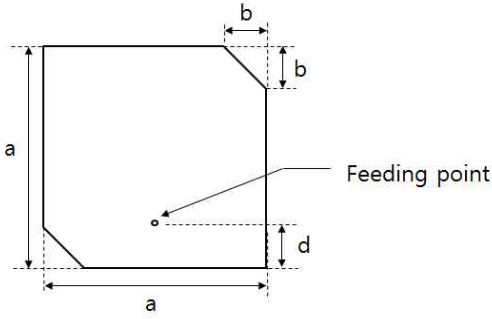
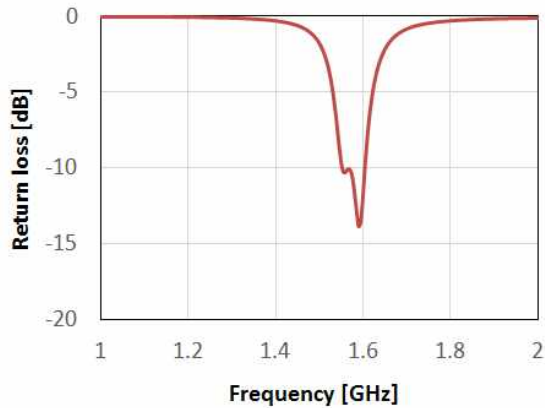
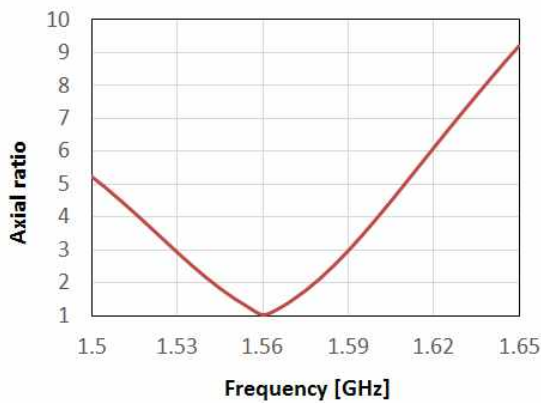


Fig. 3 Configuration of GPS antenna

Fig. 3의 GPS 안테나에서 $a=68\text{mm}$, $b=8.5\text{mm}$, $d=6\text{mm}$ 일 때 안테나의 반사손실 및 축비를 시뮬레이션하여 Fig. 4에 제시하였다. 반사손실이 -10dB 이하인 대역폭은 $1,550 \sim 1,600\text{MHz}$ 로서 50MHz 대역폭을 가지며, 축비(Axial ratio)가 2 이하인 대역폭은 $1,540 \sim 1,580\text{MHz}$ 로서 GPS 주파수인 $1,575\text{MHz}$ 에서 반사손실 -10dB 이하, 축비 2이하의 특성을 갖는 것을 볼 수 있다.



(a) Simulated return loss



(b) Simulated axial ratio

Fig. 4 Simulated antenna characteristics

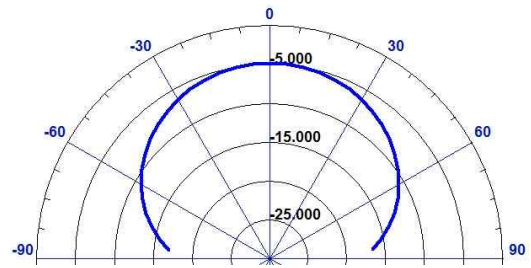


Fig. 5 Simulated gain radiation pattern

Fig. 5에 시뮬레이션한 GPS 안테나의 방사패턴을 제시하였다. 안테나의 이득은 약 -5dBic 정도로 작게 나왔는데, 이것은 염소 가죽 유전체의 손실 탄젠트를 유사 다른 가죽의 손실 탄젠트 값을 참조하여 0.028 로 설정하고 시뮬레이션을 한 결과 값이며, 손실 탄젠트 값에 따라 이득이 변하게 된다.

3. 측정 및 분석

Fig. 6에 시뮬레이션을 바탕으로 제작한 안테나의 모양을 나타내었다. 안테나의 전체 크기는 $68\text{mm} \times 68\text{mm}$ 이며, 기판의 두께는 0.7mm 이고, 안테나의 급전은 접지면에서 동축 케이블을 이용하였다. 회로망 분석기를 이용하여 측정한 반사손실 특성을 Fig. 7에 나타내었다.



Fig. 6 Fabricated GPS wearable antenna

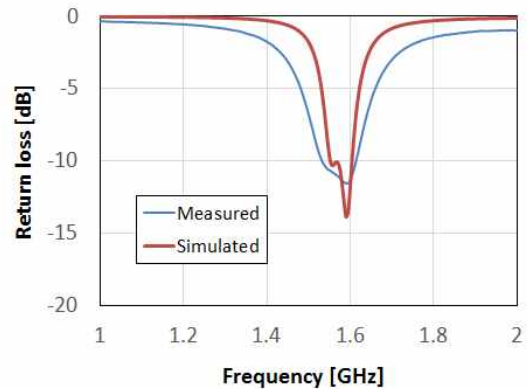


Fig. 7 Return losses of wearable GPS antenna

Fig. 7에서 시뮬레이션 결과에 비해 실험 결과의 대역폭이 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 시뮬레이션을 할 때 방사체 및 접지면은 구리(copper)도체를 사용하였으나 제작된 안테나는 전도성 직물을 사용하므로 전도도(conductivity)가 작아서 손실이 발생하고, 따라서 Q 값이 작아지므로 대역폭이 크게 되는 것으로 사료된다.

제작된 안테나는 웨어러블 안테나를 목적으로 개발한 것이므로 일반적인 의복에 장착하여 안테나의 특성의 변화를 관측하였다. Fig. 8에 의복에 장착한 상태에서 안테나의 특성 변화를 관측하는 모습을 제시하였다. 의복의 어깨 부분에 안테나를 두었다.



Fig. 8 Configuration of antenna integrated on cloth

Fig. 8의 실험 모습으로 실험실 내에서 측정케이블을 안테나에 연결하여 측정한 안테나의 반사손실 특성을 Fig. 9에 제시하였다. Fig. 9에서 “air”은 안테나를 의복에 부착하지 않고 실험실 내의 자유공간에 있을 때의 반사손실을 나타낸다.

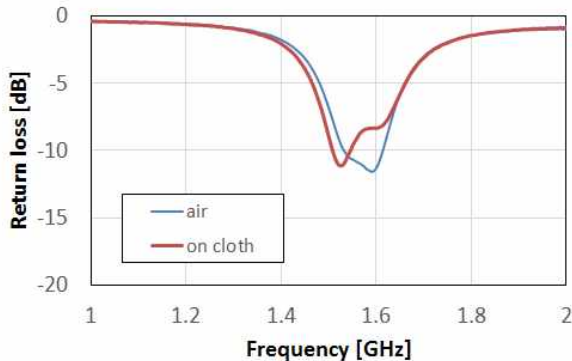
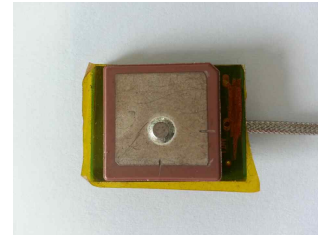
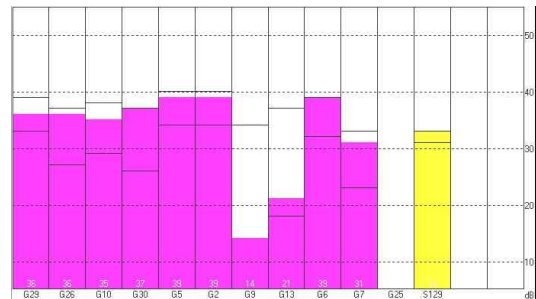


Fig. 9 Comparison return loss on air and on cloth

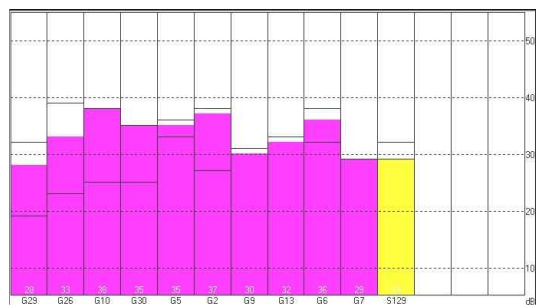
의복에 장착이 되면서 안테나의 공진 주파수가 변하는 것을 볼 수 있으나 GPS 주파수 대역은 여전히 -10dB 이하가 되는 것을 볼 수 있다. 실제 상용 제품과의 수신율 비교를 통해 제작한 안테나의 특성을 평가해보기 위해, Fig. 10 (a)에 제시된 상용 세라믹 GPS 안테나와 제작된 안테나의 수신감도를 비교 측정해 보았다. 상용 안테나는 GPS 주파수대역에서 축비가 3dB 이하이며, 이득이 2.5 dBic 로 제시된 모델을 사용하였다.



(a) Commercial ceramic GPS antenna



(b) Receiver sensitivity of commercial antenna



(c) Receiver sensitivity of proposed antenna

Fig. 10 Comparison of receiver sensitivity

안테나 측정은 건물의 옥상에서 상용 안테나 및 제작한 안테나를 각각 Fig. 8과 같이 의복에 부착하여 U-blox 회사의 GPS 모듈을 통해 수신되는 신호의 세기를 노트북에 설치된 u-center 프로그램을 통해 측정하였다(U-blox, 2014). 측정한 수신 세기를 Fig. 10 (b), (c)에 각각 제시하였다. 각 안테나는 의복에 순차적으로 부착하여 측정하다 보니 측정 간격이 약 5 분 정도 시차가 있는 상태이다.

Fig. 10에서 가로축에는 GPS 위성의 번호가 제시되어 있고, 세로축에 각 위성별 수신 신호 세기를 dB로 나타내고 있다. Fig. 10에 제시된 자료의 수신 감도를 수치로 정리하여 Table 1에 제시하였다. 제작된 안테나의 시뮬레이션 안테나 이득과 상용 안테나의 이득이 차이가 있음에도 불구하고, 제작된 웨어러블 안테나와 상용 안테나의 수신 감도 특성을 비교해보면, 10개의 인공위성 데이터에서 6개가 3dB 이내의 차이를 나타내고 있으며, 3개의 위성에서는 오히려 제작된 웨어러블 안테나가 상용 안테나보다 감도가 좋게 측정이 되었다.

Table 1 Numerical comparison of receiver sensitivity between two antennas

Satellite numbers	Commercial antenna (dB)	Proposed antenna (dB)
G29	36	28
G26	36	33
G10	35	38
G30	37	35
G5	39	35
G2	39	37
G9	14	30
G13	21	32
G6	39	36
G7	31	29

4. 결론

본 논문에서는 GPS 대역에서 동작하는 웨어러블 안테나를 설계하고 제작 및 실험을 통해 안테나의 성능을 확인하였다. 본 논문에서 제시된 안테나는 크기는 68mm × 68mm 이며, 두께가 0.7mm 인 염소가죽과 두께 0.08mm의 폴리에스터 전도성 천(fabric)을 도전성 에폭시를 이용하여 접착하여 평판형 원형편과 안테나를 구현하였다. 안테나의 급전은 접지면에서 동축 케이블을 이용하였고, 상용 안테나와 대등한 성능을 가지며 의복에 장착이 될 수 있는 안테나를 개발하였다.

본 논문에서 개발된 안테나는 의복 특히 등산용 조끼 및 구명조끼 등에 삽입되어 조난을 당하는 경우 자신의 위치를 탐색하는 시스템에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

References

[1] Kim, Y.H. and Chung, Y.C, (2008), "Uhf rfid dipole tag antenna design using flexible electro-thread", The Journal of Korean Inst. of Electromagnetic Eng. and Science, Vol. 19, No. 1, pp. 1-6.
 [2] Klemm, M. and Troester, G. (2006), "Textile UWB antennas for wireless body area networks", IEEE

Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 54, No. 11, pp. 3192-3197.
 [3] Rais, N.H.M., Soh, P.J., Malek, F., Ahmed, S., Hashim, N.B.M., and Hall, P.S. (2009), "A review of wearable antenna", IEEE Antennas & Propagation Conference, pp. 225-228.
 [4] Salonen, P., Jaehoon, K. and Rahmat-Samii, Y. (2005), "Dual-band E-shaped patch wearable textile antenna", IEEE the Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 1A, pp. 466-469.
 [5] Salonen, P., Rahmat-Samil, Y., Schaffrath, M. and Kivikoski, M. (2004), "Effect of textile materials on wearable antenna performance: a case study of GPS antennas", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 1, pp. 459-462.
 [6] Santas, J.G., Alomainy, A. and Yang, H.(2007), "Textile antennas for on-body communications: Techniques and properties", European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2007, pp. 1-4.
 [7] Tak, J.P., Jin, Y.N. and Choi, J.H. (2014), "Design of an all-textile Louis Vuitton logo antenna", Conference of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 2, No. 1, p. 26.
 [8] Tronquo, A., Rogier, H., Hertleer, C. and Langenhove, L.V. (2006), "Robust planar textile antenna for wireless body LANs operating in 2.45GHz ISM band", Electronics Letters, Vol. 42, No. 3, pp. 142-143.
 [9] U-blox, (2014), "u-center GNSS evaluation software for windows", <http://www.u-blox.com/ko/evaluation-tools-a-software/u-center/u-center.html>
 [10] Vallozzi, L., Vandendriessche, W., Rogier, H., Hertleer, C. and Scarpello, M.L. (2010), "Wearable textile GPS antenna for integration in protective garments", Proc. of 5th European Conference on Antenna and Propagation (EuCAP), pp. 1-4.
 [11] Yilmaz, E., Kasilingam, D.P. and Notaros, B.M. (2008), "Performance analysis of wearable microstrip antennas with low-conductivity materials", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, AP-S 2008, pp. 1-4.

Received 27 October 2014
 Revised 26 November 2014
 Accepted 26 November 2014