GPS/GLONASS 통합 수신기용 광대역 원편파 안테나

A Wideband Circularily Polarized Antenna for GPS/GLONASS Combined Receiver

정수영 · 이택경

Soo-Young Jung · Taek-Kyung Lee

요 약

GPS(Global Positioning System)는 항행, ITS(Intelligence Transportation System), 이동통신 등에서 널리 이용되고 있으며, 최근에는 GPS와 GLONASS(Global Navigation Satellite System)를 함께 수신하여 성능을 향상시키기 위한 방안이 연구되고 있다. 본 논문에서는 GPS/GLONASS 통합 수신기에서 사용할 수 있도록 광대역 원편파 특성을 나타내는 개구면 결합 패치안테나를 설계, 제작하였다. 제작된 안테나는 −15 dB 대역폭이 220 MHz, 축비 2.1 dB 이하로서 GPS 및 GLONASS 신호를 동시에 수신하기 위한 안테나의 특성을 만족하였다.

Abstract

GPS(Global Positioning System) is widely used in the navigation system, ITS(Intelligence Transportation System), and mobile communications. Recently, it is considered to combine the GPS receiver with the GLONASS for the improvement of performance and accuracy. In this paper, a wideband aperture-coupled patch antenna with circular polarization is designed and implemented for the use of GPS/GLONASS combined receiver. The measured characteristics of the manufactured antenna shows the −15 dB bandwidth of 220 MHz and the axial ratio less than 2.1 dB, and it satisfies the requirements of the GPS/GLONASS antenna.

Ⅰ. 서 론

미국에서 군사용으로 개발된 GPS(Global Positioning System) 시스템은 24시간 전천후 측위가 가능하도록 구현된 시스템으로서 육상교통의 ITS(Intelligence Transportation System)와 항공교통의 위성항행시스템(CNS/ATM: Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management), 그리고 해상교통 등에서 광범위하게 이용되고 있으 며, 이동통신이나 측량, 구조 등으로 용도가 확대되고 있다[1,2]. 특히 항공 분야에서는 GPS를 이용함으로써 기존의 항행 시스템에 비하여 정밀한 유도정보를 얻을 수 있고, 특수한 상황에 관련한 위험을 줄여 안전성을 향상시키며, 운영상의 효율성과 경제성 때문에 개발 초기부터 현재까지 전 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있다.

GPS 시스템을 민간용으로 사용할 경우에 SA (Selective Availability)에 의하여 정확도가 떨어지며, 이를 보완하기 위하여 DGPS(Differential GPS) 등이 개발되었으나 지상의 고정시스템이 추가적으로 필요하고 정확도의 한계가 있다. 최근 GPS의 기능을 보완하고 향상시키기 위하여 러시아의 GLONASS (Global Navigation Satellite System)를 함께 이용하는 방안이 연구되고 있다. 두 시스템의 신호

한국항공대학교 항공전자공학과(Dept. of Avionics, Hankuk Aviation Univ.)

· 논 문 번 호 : 20000420-043

· 수정완료일자 : 2000년 7월 28일

를 동시에 이용하는 수신기에서는 GPS의 SA에 의한 오차를 줄이고, 두 종류의 위성을 함께 사용함으로써 적절한 위성배치를 선택해 사용할 수 있다[3]. GPS와 GLONASS 시스템에서는 우선회 원형편파(RHCP, Right-Hand Circularly Polarized)를 사용하며, GPS의 중심주파수는 1.575 GHz(L1), GLONASS 중심주파수는 1.602 GHz(L1)이므로 두 신호를 함께 수신하기 위해서는 전체 주파수 대역에서 편파 특성을 만족하는 광대역 안테나를 설계하여야 한다.

기존의 GPS용 안테나로는 모노폴, 헬리컬, 마이크로스트립 등의 형태로 구현되고 있다. 모노폴 안테나는 측량용으로 주로 사용되며, spiral helix와 quadrifilar helix등의 헬리컬 안테나는 선박용으로 주로 사용된다. 마이크로스트립 패치 안테나는 소형으로서 대량생산이 용이하므로 최근 많이 사용되고 있으며, 1~2 GHz 주파수대에서 약 1~2%의 좁은 대역폭을 나타내므로 GPS 단일 용도로 사용되고 있다[4]. 또한 GPS의 L1/L2 수신 안테나는 다중 패치 개구면 결합 방식에 의하여 구현되고 있다[5]. GPS/GLONASS 통합 수신기의 안테나는 두 시스템의 주파수 대역을 포함하는 광대역 특성을 나타내도록 하여야 하므로 기존의 GPS 안테나로는 사용이 불가능하다. 마이크로스트립 패치 안테나에서 광대역 특성을 얻기 위해서 다중 패치나 기생 소자를 사용하는 방법 등이 소개되고 있으며[6~11], GPS/GLONASS 통합 시스템에서 사용하기 위해서는 두 시스템의 주파수 특성을 만족하는 광대역 특성과 편파특성을 동시에 만족하여야 한다.

본 논문에서는 GPS/GLONASS 통합 수신기에서 사용하기 위한 광대역 특성과 편파특성을 만족하는 개구면 결합 단일 패치 마이크로스트립 안테나를 설계, 제작하였다. 광대역 특성을 얻기 위하여 개구면과 패치 사이를 공기층으로 하였고, 광대역에서 원편파의 축비를 개선하기 위하여 대칭인 구조를 사용하였다. 또한 십자형 슬롯에 두 편파 사이에 90°의 위상차가 나도록 급전회로를 구성하여 넓은 주파수 대역에서 축비가 양호한 원편파 특성을 얻었다.

Ⅱ. GPS/GLONASS 통합 안테나 설계

GPS 시스템은 6개의 궤도에 배치된 24개의 위성 중 4개의 위성으로부터 수신되는 신호를 이용하여 수신지점의 위치와 정밀 시각을 결정한다. 사용주파수는 L1과 L2의 두가지 주파수 대역을 이용하고 있으며, L1 대역의 C/A(Coarse/Acquisition or Clear/Access) 코드는 민간에 개방되었다. L1과 L2의 중심주파수는 각각 1575.42 MHz와 1227.6 MHz이며, 주파수 대역은 C/A 코드만 사용하는 경우에 2.046 MHz 이고, 군사용으로 이용하기 위한 P 코드는 20.46 MHz이다. 러시아에서 개발된 GLONASS에서는 24개 혹은 12개의 채널을 사용하고 있으며, 각 채널의 중심주파수는

$$f_k = f_0 + k\Delta f \tag{1}$$

이다. L1대역에서 $f_0 = 1602$ MHz, $\Delta f = 562.5$ kHz 이며, L2 대역에서 $f_0 = 1246$ MHz, $\Delta f = 437.5$ kHz 이다. k는 채널 수에 따라 0~24 혹은 0~12이다. 각 채널의 대역폭은 C/A 코드 1.022 MHz, P 코드 10.22 MHz이다.

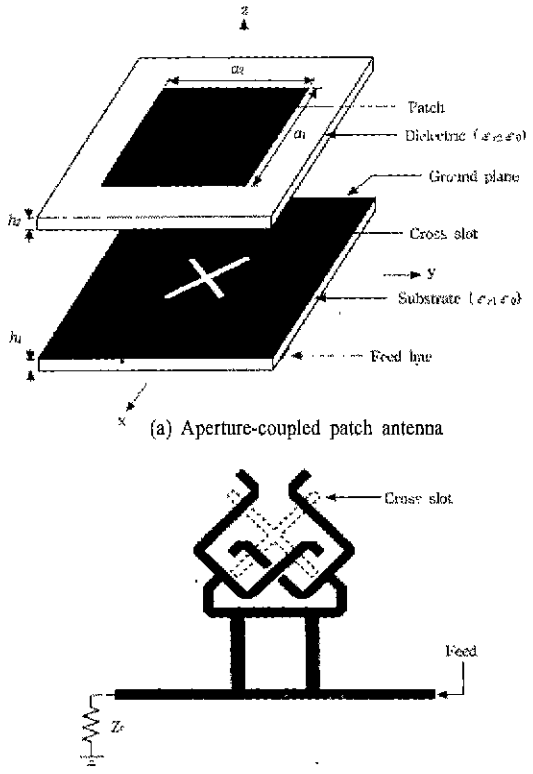
GPS와 GLONASS의 L1 신호를 모두 수신하기 위해서는 P 코드를 고려하면 1564 MHz~1621 MHz의 신호를 수신할 수 있는 안테나를 사용하여야 한다. 설계하고자 하는 안테나는 80 MHz의 대역폭(1552.5 MHz~1632.5 MHz)에서 VSWR 1.5:1 이하가 되도록 설정하였다. GPS와 GLONASS 신호는 우선회 원편파를 이용하므로 사용 주파수 대역에서 축비 3 dB 이하가 되도록 설정하였다. 수신기의 위치에 관계없이 GPS와 GLONASS 위성으로부터 도달하는 신호를 수신하기 위해서는 수신기의 위쪽으로부터 도달하는 신호를 모두 수신할 수 있도록 설계하여야 하며, 따라서 안테나의 빔 폭이 매우 넓은 특성이 요구된다. 표 1은 설계하고자 하는 GPS/GLONASS 안테나의 규격을 나타내고 있다.

광대역 원형 편파 얻기 위하여 제안된 안테나는 개구면 결합 패치 안테나로서 구조는 그림 1과 같다. 개구면 결합 방식은 단일 기판상의 패치 안테나에 비하여 넓은 대역폭을 구현할 수 있다. 그림 1(a)는 패치 및 개구면의 형태를 나타내고 있다. 원형편파를 얻기 위하여 패치의 형태는 정사각형으로 하였으며($a_1 = a_2$), 광대역으로 구현하기 위하여 개구면

표 1. GPS/GLONASS 안테나의 규격

Table 1. Specification of GPS/GLONASS antenna.

구 분	규 격
Center Frequency	1.575/1.602 GHz
Bandwidth	80 MHz
VSWR	1.5:1
Impedance	50Ω
Polarization	RHCP
Axial ratio	3 dB



(a) Aperture-coupled patch antenna

(b) Feed network

그림 1. GPS/GLONASS 수신기용 개구면 결합 패치 안테나의 구조

Fig. 1. Structure of aperture-coupled patch antenna for GPS/GLONASS receiver.

과 패치 사이에는 유전체 대신에 공기층으로 하였으며($\varepsilon_{r2}=1$), 공기층의 두께는 h_2이다. 개구면은 원형 편파를 얻기 위해 십자형으로 하여 각각의 슬롯에 급전을 하였다. 접지면 아래의 기판은 급전선로를 위한 것으로 두께는 h_1, 비유전율은 ε_{r1}이다. 그림 1(b)는 십자형 개구면과 급전회로의 구조를 나타내고 있다. 대칭형의 십자형 개구면의 각 슬롯에 서로 직교하는 편파 사이에 90° 위상차가 나도록 하여 네 부분의 급전을 하였다. 급전회로는 branch-line 결합기로부터 나오는 두 개의 출력으로부터 각각의 편파 방향으로 두개씩의 개구면 결합을 하고 있다. Branch-line 결합기의 두 출력은 서로 90° 위상차가 있으며, 이들은 각각 두 선로로 나뉘어져서 각각의 편파방향의 급전 슬롯에 공급되어 우선회 원편파를 얻는다. 원편파 안테나의 축비를 향상시키기 위해서는 직교하는 두 축방향의 편파에 대해 같은 크기의 신호가 여기 되어야 한다. Branch-line 결합기는 구조의 대칭성으로부터 두 개의 출력의 크기가 매우 균일하므로 낮은 축비를 구현할 수 있다. 급전 개구면의 길이가 길수록 결합은 좋아지지만 필요하지 않은 뒤쪽 방향의 복사를 일으키므로 적절한 길이를 선택해야 한다. 최적의 결합을 유지하기 위해서 슬롯의 폭은 작게 하는 것이 좋으며, 대체로 슬롯 길이의 1/10정도로 선택한다. 급전선 기판의 두께와 유전율도 결합에 영향을 주며, 기판의 두께가 두꺼워질수록 결합은 적게 일어난다. 최종적인 치수는 시뮬레이션과 실험을 통하여 결정된다.

십자형 슬롯에서 서로 직교하는 편파의 위상이 90°의 위상차가 나도록 여기시키기 위하여 사용된 branch-line 하이브리드 결합기는 그림 2와 같다. 여기서 λ_g는 선로상의 파장을 나타내며, 단자 1은 입력단자이고, 단자 2와 3은 출력 단자이다. 모든 단자가 정합될 때, 단자 1로 들어오는 에너지는 단자 2와 단자 3에 균등하게 나누어진다. 이들 단자 출력은 서로 90°의 위상차가 있으며, 3 dB 방향성 결합기로 동작한다. 단자 4로는 결합되지 않으며, 각 단자들 간의 [S] 행렬은 구조의 대칭성으로부터 다음과 같다.

$$[S] = -\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

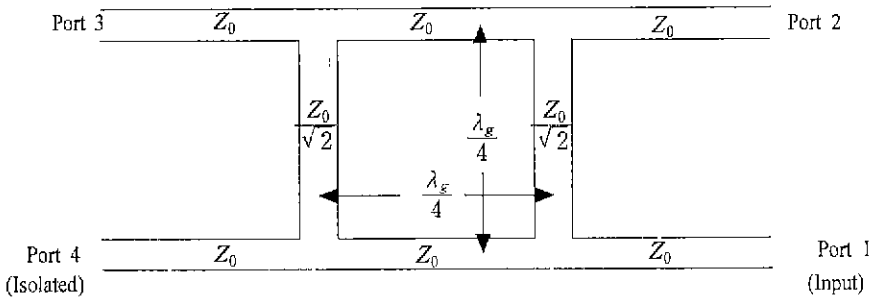


그림 2. Branch-line 결합기

Fig. 2. Branch-line coupler.

Ⅲ. 컴퓨터 시뮬레이션

제안된 안테나 구조에서 원하는 특성을 얻기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 설계하였다. 급전 회로에 사용된 기판은 RO4003으로서 비유전율은 $\varepsilon_{r1}=3.38$ 이며, 두께는 $h_1=0.81$mm 이다. 패치와 접지면 사이의 유전체는 공기로서 $\varepsilon_{r2}=1.0$이다. 사용된 프로그램은 주파수 영역 해석방법(FDA, Frequency Domain Analysis)를 바탕으로 하는 Ensemble 6.0이다. 공기층의 두께와 패치의 크기 및 급전선로 등을 조정하면서 여러 번의 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 특성을 만족하는 안테나를 설계하였다. 고려하는 안테나의 특성은 반사손실 및 VSWR, 안테나 축비, 그리고 원거리 패턴 등이다.

시뮬레이션을 통하여 최적의 상태로 조정된 안테나는 패치 크기 $a_1=a_2=76.5$ mm이며, 패치와 접지면 사이의 높이는 $h_2=10$ mm로 설계되었다. 그림 3은 설계된 안테나의 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 반사손실이 −15 dB (VSWR 1.5:1) 이하인 대역폭은 250 MHz로서 약 16%의 넓은 대역폭을 갖는다. 그림 4는 Smith 도표 상에서 50 Ω으로 정규화된 입력 임피던스를 나타낸 그림으로서, 동작주파수에서 도표의 중심 근방에 임피던스가 나타남을 알 수 있다. 원편파 수신 성능을 나타내는 축비는 그림 5에 나타나 있다. 설계된 안테나는 광대역의 임피던스 특성과 함께 매우 넓은 주파수 대역에서 우수한 축비

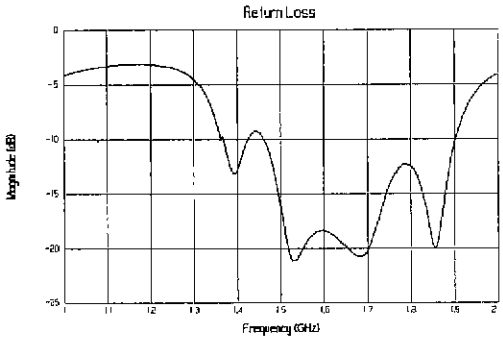


그림 3. 반사손실의 주파수 특성 계산 결과

Fig. 3. Simulated return loss vs. frequency characteristics.

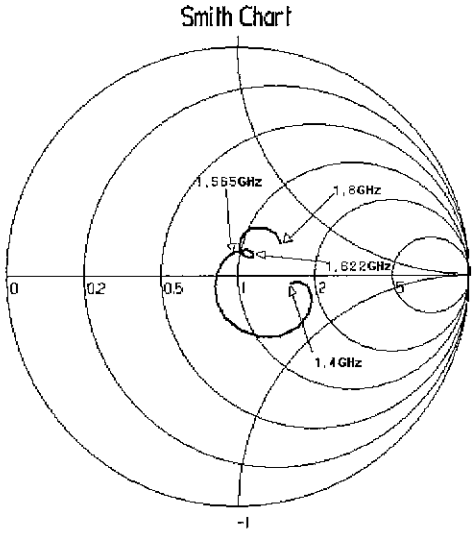


그림 4. 입력 임피던스 계산결과

Fig. 4. Simulated input impedance.

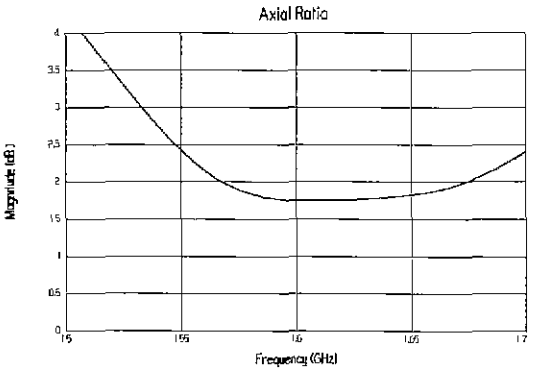
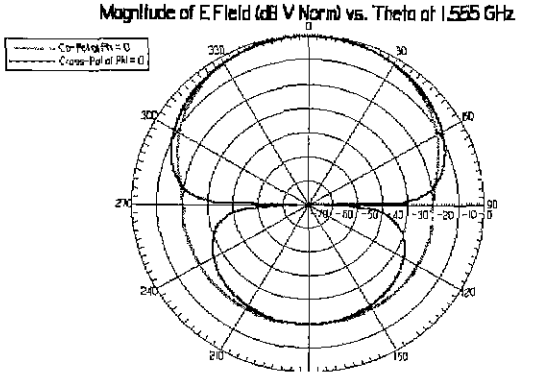
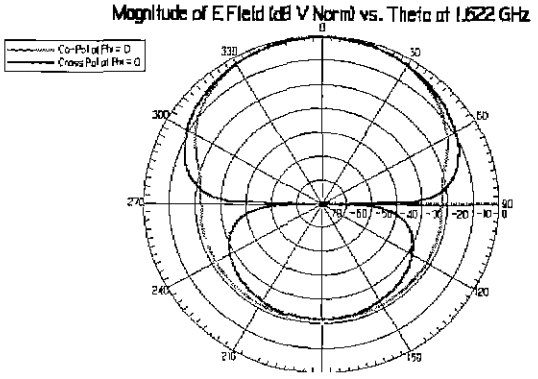


그림 5. 축비 계산결과

Fig. 5. Simulated axial-ratio.



(a)



(b)

그림 6. 원거리 복사 패턴 계산결과

(a) 1.555 GHz, (b) 1.602 GHz

Fig. 6. Simulated radiation pattern.

(a) 1.555 GHz, (b) 1.602 GHz

를 나타내고 있다. 1552.5 MHz~1632.5 MHz의 주파수 대역에서 축비는 2.5 dB 이하의 값을 갖는다.

그림 6(a)는 사용 주파수 대역의 낮은 쪽 주파수인 1.555 GHz에서 안테나 패턴을 나타내고 있다. 설계된 안테나의 빔폭은 매우 넓게 나타나므로 GPS와 GLONASS 신호를 수신하는 데 적합한 특성을 나타내고 있다. 또한 back lobe는 20 dB 이하로 나타나고 있다. Co-polarization 패턴과 cross-polarization 패턴은 크기가 거의 같게 나타나며, 이는 축비 특성이 양호함을 나타낸다. 시뮬레이션 결과 RHCP의 특성이 우수하게 나타남을 확인하였다. 그림 6(b)는 사용주파수 대역의 높은 쪽 주파수인 1.622 GHz에서 안테나 패턴을 나타내고 있으며, 원하는 특성을 나타내고 있다.

Ⅳ. 제작 및 측정 결과

설계된 구조의 개구면 결합 원편파 안테나를 제작하여 특성을 측정하였다. Branch-line 결합기의 반대쪽 종단은 50 Ω 저항으로 정합을 하였으며, 개구면과 급전선로는 하나의 기판을 사용하여 에칭을 하였다. 급전회로에서 중첩되는 부분은 점퍼를 이용하였다. 제작된 안테나의 임피던스 특성은 HP 8720C를 사용하여 측정하였으며, 사용 주파수 대역내에서 복사 패턴과 이득, 축비 등은 한국표준과학연구소에서 측정하였다. 그림 7은 제작된 안테나의

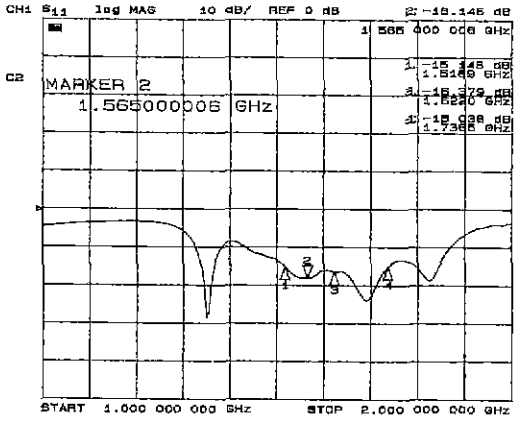


그림 7. 측정된 반사손실의 주파수 특성

Fig. 7. Measured return loss vs. frequency characteristics.

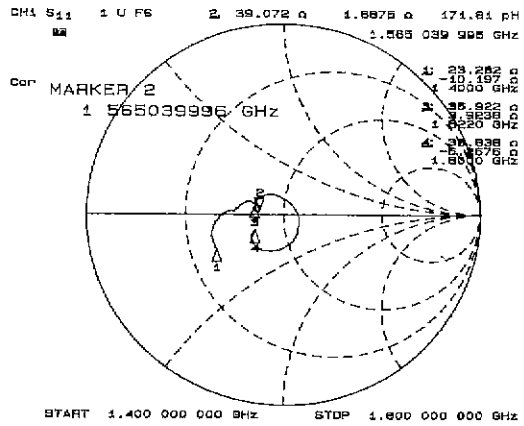
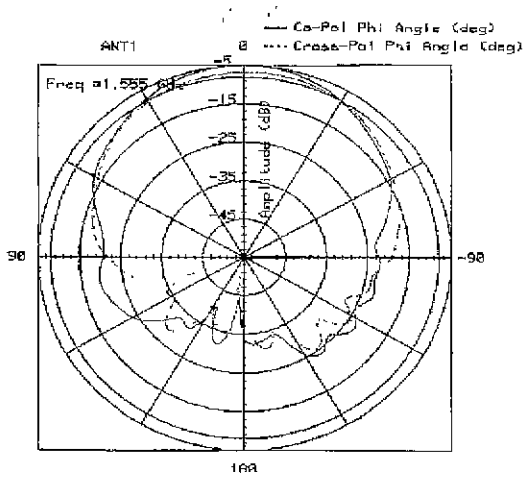


그림 8. 측정된 입력 임피던스

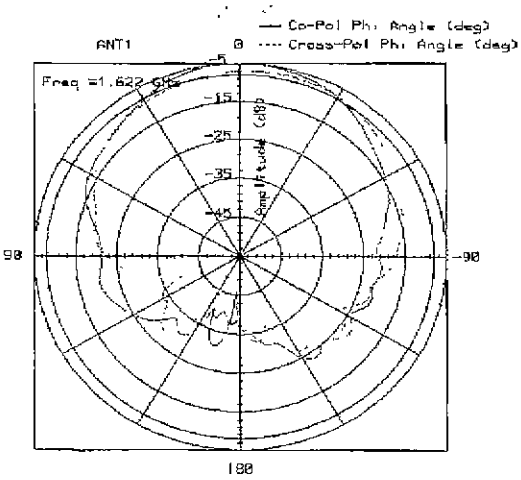
Fig. 8. Measured input impedance.

반사손실에 대한 주파수 특성을 보여주고 있다. 측정결과에 의하면 매우 넓은 주파수 대역에서 동작함을 알 수 있으며, 반사손실 −15 dB 이하로 측정된 대역폭은 220 MHz로서 약 14%이다. 그림 8은 측정된 임피던스 값을 Smith 도표 상에 나타내었다. 넓은 주파수 대역에서 반사손실이 적음을 알 수 있다.

그림 9(a)와 (b)는 각각 1.555 GHz와 1.622 GHz의 주파수에서 원거리 복사패턴을 보여주고 있다. 매우 넓은 빔폭을 나타내므로 위치에 관계없이 GPS 및 GLONASS 신호의 수신이 가능하고, back lobe는 -25 dB 이하로 나타난다. Co-polarization과 cross-polarization의 크기는 거의 차이가 없으며, 이는 원편파의 축비가 양호함을 나타낸다. 그림 10은 제작된 원편파 안테나의 축비를 측정하기 위한 그림으로서 제작된 안테나에 신호를 공급하고 안테나 축상에서 각 방향의 편파에 대한 성분의 세기을 측정한 결과이다. 여기서 최대치와 최소치 사이의 차이가 원편파 안테나의 축비를 나타낸다. 모든 편파 방향에 대해 거의 균일하게 나타나므로 축비가 양호함을 알 수 있다. 표 2는 사용 대역내의 각 주파수에서 측정된 안테나의 이득과 축비를 나타내고 있다. 전 대역에서 축비가 1.5~2.1 dB의 범위에 들어 있다. 이상의 측정결과에서 보듯이 제작된 개구면 결합 패치 안테나는 −15 dB의 대역폭이 약 220 MHz이고, 사용 주파수 대역에서 축비가 3 dB 이하이다. 따라서 GPS와 GLONASS의 주파수를 모두 포함하



(a)



(b)

그림 9. 측정된 원거리 복사 패턴

(a) 1.555 GHz, (b) 1.602 GHz

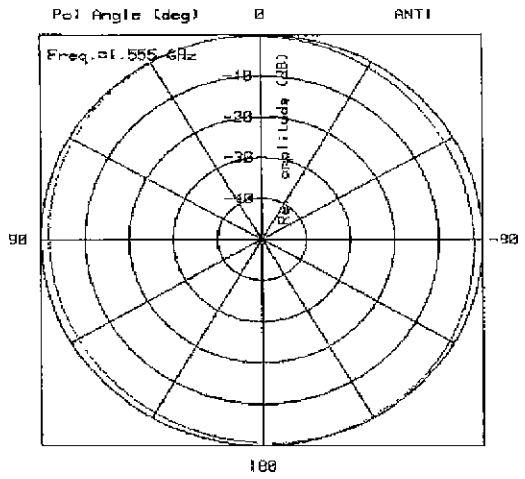
Fig. 9. Measured radiation pattern.

(a) 1.555 GHz, (b) 1.602 GHz

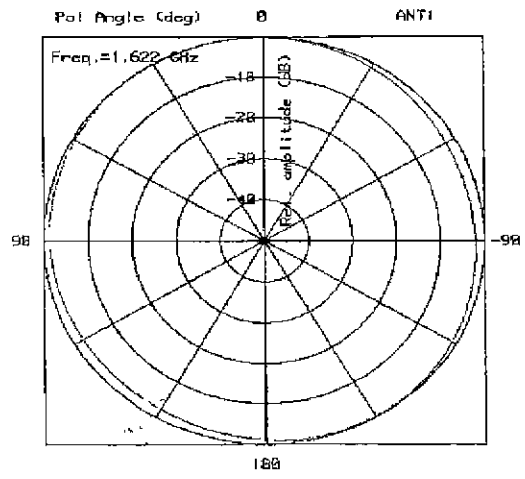
고 수신주파수 대역을 만족하는 광대역 원형 편파 안테나로서 두 시스템의 통합 안테나로 사용될 수 있다.

V. 결 론

GPS/GLONASS 통합 수신기에서 사용하기 위한 광대역 원편파 안테나를 단일 패치 개구면 결합 방



(a)



(b)

그림 10. 안테나의 편파 특성

Fig. 10. Measured polarization characteristics.

표 2. 개구면 결합 패치 안테나의 이득과 축비

Table 2. Gain and axial ratio of aperture coupled patch antenna.

주파수(GHz)	안테나 이득 (dBi)	Axial ratio(dB)
1.555	8.03	1.97
1.575	8.02	1.65
1.602	7.27	1.69
1.622	6.56	2.08

식의 안테나로 구현하였다. 광대역에서 원편파의 원하는 축비를 얻기 위하여 패치의 구조를 정사각형으로 구현하였으며, 직각인 두 편파 사이에 90°의 위상차가 나도록 급전하였다. 개구면은 십자형 슬롯으로하여 대칭 구조를 만들었으며, 각각의 편파에 대해 대칭인 위치에 두 지점에서 급전하였다. 급전 회로에서는 branch-line 결합기를 이용하여 90°의 위상차가 나는 두 신호를 얻었다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 설계된 안테나를 제작하여 측정한 결과 대역폭 220 MHz, 축비 2.1 dB 이하의 결과를 얻어 GPS/GLONASS 통합 수신 안테나에서 요구되는 특성을 만족하였다. GPS/GLONASS 통합 안테나는 항행 시스템을 비롯하여 육상교통의 ITS, 이동통신 시스템 등에서 GPS 단독시스템의 단점을 개선하여 성능을 향상시키게 되므로 사용이 증가될 것이며, 앞으로 소형화의 연구가 요구되고 있다.

참 고 문 헌

[1] D. Wells. *Guide to GPS Positioning,* Canadian GPS Associates. 1987.

[2] D. Eliott, *Understanding GPS Principles and Applications,* Artech House, London, 1996.

[3] A. Mattisek et al., "ASN-22. The 12/6(12) channel GPS/GLONASS engine board," *DSNS,* no. 38, pp. 1-7, 1996.

[4] Y. T. Solomon and W. F. Richards, "Theory and experiment on microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.,* vol. 27, pp. 137-145, 1979.

[5] D. M. Pozar and M. Duffy, "A dual-band circularly polarized aperture-coupled stacked microstrip antenna for global positioning satellite," *IEEE Trans. Antennas Propagat.,* vol. 45, pp. 1618-1625, 1997.

[6] G. Kumar and K. C. Gupta, "Trapezoidal shaped microstrip antennas for wider bandwidth and beamwidth," *Int. Conf. Commun. Circuits and Syst.,* Calcutta(India), p7, Dec., 1981.

[7] P. S. Hall, C. Wood, and C. Garrett, "Wide bandwidth microstrip antennas for circuit

integration," *Electron. Lett.*, vol. 15, no. 15, pp. 458-460, July, 1979.

[8] P. S. Hall, "New wideband microstrip antennas using log-periodic technique," *Electron. Lett.*, vol. 16, no. 4, pp. 127-128, Feb., 1980.

[9] H. Pues et al., "Wideband quasi-log-periodic microstrip antenna," *Proc. Inst. Elect. Eng.*, MOA, vol. 128, no. 3, pp. 159-163, June, 1981.

[10] C. Wood, "Improved bandwidth of microstrip antennas using parasitic elements," *Proc. Inst. Elec. Eng.*, MOA, vol. 127, no. 4, pp. 231-234. Aug., 1980.

[11] G. Kumar and C. Gupta, "Broad-band microstrip antennas using additional resonators gap-coupled to the radiating edges," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 32. no. 12, Dec., 1984.

정 수 영

1998년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
1998년 3월~2000년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
2000년 3월~현재: (주) 감마누 재직중
[주 관심분야] 안테나 설계, 초고주파 회로설계, 레이다 등

이 택 경

1983년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1990년 3월~1991년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 연구원
1990년 5월~1991년 4월: Univ. of Texas at Austin. Post-Doctoral Fellow
1991년 9월~1992년 2월: 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원
1992년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 부교수
[주 관심분야] 마이크로파, 안테나, 전자파 전파 및 산란, 레이다 등