

# 차량 GPS용 프랙털 구조의 사다리꼴 마이크로스트립 패치 안테나 설계

## Design of a Trapezoidal Microstrip Patch Antenna with Fractal Structure for Vehicle GPS

성 하 원 · 손 태 호

Hawon Sung · Taeho Son

### 요 약

본 논문에서는 차량 GPS 안테나로 사용할 수 있는 프랙털 구조의 사다리꼴 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하고 이를 제작하였다. 기판 손실을 없애고 이득을 향상시키기 위하여 공기층을 갖는 패치 안테나로 설계하였다. 사다리꼴 패치에 프랙털 구조의 적용과 슬롯의 부설로 일반 삼각형 패치 안테나 면적 대비 42.5 % 크기로 소형화시켰다. 제작 후 측정된 결과, VSWR 2:1 기준으로 GPS 대역을 포함한 200 MHz의 대역폭을 얻었다. 이득은 공진 주파수에서 4.31 dBi로 일반 세라믹 패치 안테나의 이득보다 GPS 대역에서 2~5 dB 높은 이득을 얻었다.

### Abstract

In this paper, a slotted trapezoidal microstrip fractal patch antenna is designed and fabricated for the vehicle GPS antenna. We designed air substrate patch antenna to obtain gain improvement by the elimination of dielectric loss. By applying fractal structure with crossed slot to trapezoidal patch, we obtained 42.5 % as much patch size as conventional triangular patch antenna. Measured bandwidth was 200 MHz on GPS band under VSWR 2:1. And gain was 4.31 dBi at resonant frequency that is 2~5 dB higher gain than conventional ceramic patch antenna on GPS band.

Key words : Trapezoidal Patch, Vehicle GPS Antenna, Fractal Structure

### I. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 기존의 항법 시스템보다 정확성이 높고 사용이 간편하며 시간과 장소 그리고 기상 상황에 관계없이 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한, 이동하는 사용자의 3차원 위치, 속도, 자세 및 시간 등에 대한 여러 가지 정보를 동시에 제공할 수 있는 기능을 갖고 있다. GPS는 다른 전파 항법 시스템보다 높은 정밀도를 얻을 수 있는 장점 때문에 개발 초기부터 현재까지 전 세계적으로 많은 연구가 진행되어 소형이면서도 저가격의 수신기가 등장되고 있다. 또한, 항공기, 선박, 자

동차 항법 장치(CNS) 및 지리 정보 시스템(GIS) 등에 응용되고 있으며, 소형, 경량의 휴대용 수신기 구현을 통한 레저 스포츠 등에 활용이 기대되고 있다.

GPS는 전파 경로에 존재하는 대기에 의한 전파 손실을 줄이고, 송수신간 편파부정합을 방지하기 위하여 우회전 원편파를 사용한다. 기존의 GPS 수신용 안테나는 모노폴, 헤리컬, 마이크로스트립 패치 등의 형태로 구현되고 있다. 이들 중 소형, 경량이면서 대량 생산이 용이한 마이크로스트립 패치 안테나가 GPS용으로 가장 적합하다<sup>[1]~[4]</sup>. 근래 차량용 안테나로 각광을 받고 있는 샤크 꼬리(shark tail) 안테나에는 세라믹 패치 안테나를 GPS 안테나로 적용하고

순천대학교 정보통신공학과(Dept. of Infocom. Engineering, Soonchunhyang University)

· 논문 번호 : 20081008-126

· 수정완료일자 : 2009년 1월 16일

있다. 세라믹 패치 안테나는 소형이긴 하지만 밴드가 매우 좁고, 이득이 작으며 고가인 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 연구가 진행되고 있다<sup>[4],[5]</sup>.

본 논문에서는 공기층을 사용하여 유전체 손실을 제거함으로써 이득을 향상시킬 수 있는 GPS 차량 수신(1.564~1.585 GHz)용 사다리꼴 패치 안테나를 설계, 제작한다. 급전은 프로브 급전 방식을 사용한다. 패치에 십자 슬롯을 부설하고 프랙털 이론을 적용하여 안테나의 소형화를 유도한다<sup>[6],[7]</sup>. 십자 슬롯의 가로와 세로의 비와 급전점의 위치를 조절하여 우회전 원편파를 유도한다. 또한, 차량용 수신 안테나인 샤크 꼬리 안테나에 적용하기 위해 패치를 접음으로써 공간의 활용도를 높인다. 기존의 GPS 안테나인 세라믹 패치 안테나와 제반 특성을 비교하여 3장에 나타낸다. 제안된 안테나 설계는 상용 시뮬레이션 툴인 HFSS를 사용하여 검토하고, 최적화된 안테나는 network analyzer와 무반사실을 사용하여 측정하여 그 결과를 고찰한다.

## II. 안테나 구조 및 설계

본 연구에서는 이득을 높이고 저가적 실현을 위하여 공기층을 유전체로 사용하였다. 안테나가 샤크 꼬리 형상을 갖는 하우징(housing) 내에 설치되어야 하며, 제안한 사다리꼴 패치와 소형화를 비교하기 위한 기존 안테나로는 삼각형 패치가 가장 적절하다. 안테나의 설계는 먼저 공기층을 유전체로 사용한 단일 삼각 패치 안테나를 설계한다. 이후 설계된 삼각 패치의 변형으로 슬롯과 프랙털 구조를 삽입한 사다리꼴 안테나를 설계하여 삼각 패치 대비 소형화 정도 및 제반 특성을 비교한다. 그림 1은 공기층을 유전체로 사용한 삼각 패치 안테나의 형태이다.

그림 1에서 짙은 부분인 삼각 패치 안테나의 크기는 한 변이 120 mm인 정삼각형이다. 하단의 열은 부분은 접지 면으로 크기는 밑면×높이=140×130 mm이다. 패치와 접지면 간격 즉 공기층의 두께는 3 mm이다. 우회전 원편파 특성을 갖기 위해 구한 프로브 급전의 위치는 삼각 패치 상단 꼭지점에서 중앙으로 45 mm 되는 지점이다. 그림 2는 그림 1과 같이 설계된 삼각 패치 안테나의  $S_{11}$  시뮬레이션 결과이다.

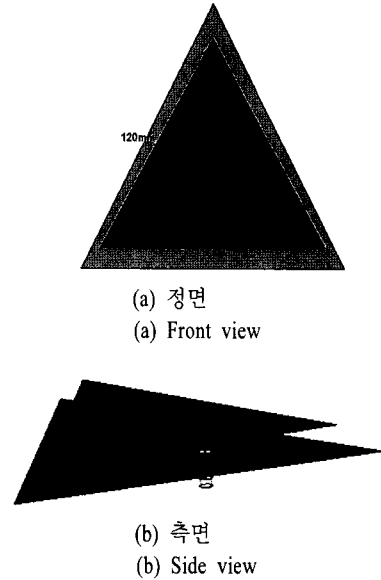


그림 1. 삼각 패치 안테나

Fig. 1. Triangular patch antenna.

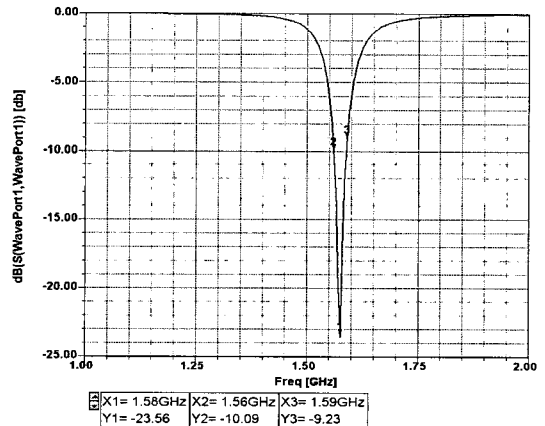


그림 2. 삼각 패치 안테나의 시뮬레이션  $S_{11}$

Fig. 2. Simulated  $S_{11}$  of triangular patch antenna.

VSWR 2:1 기준으로 대역폭은 30 MHz이며, 공진 주파수는 1,580 MHz이다. 그림 1과 같은 삼각 패치 안테나는 공기층을 사용하였기 때문에 패치 한 변의 길이가 120 mm로 상당히 크다. 이 크기로는 샤크 꼬리 안테나의 하우징(가로×세로=73×170 mm) 내 장착이 불가능하다. 따라서 하우징 내 장착이 가능한 사다리꼴로 변형한다. 소형화와 우회전 원편파 발생을 위하여 십자 슬롯을 부설하고 프랙털 구조를 삽입한 구조를 제안한다. 그림 3은 제안한 사다리꼴 패치 안

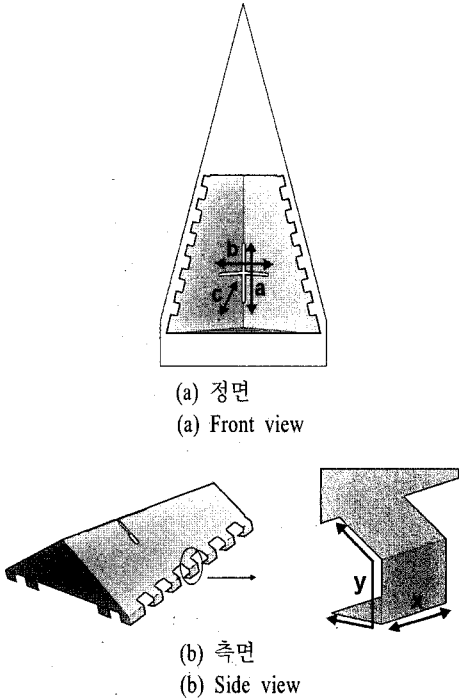
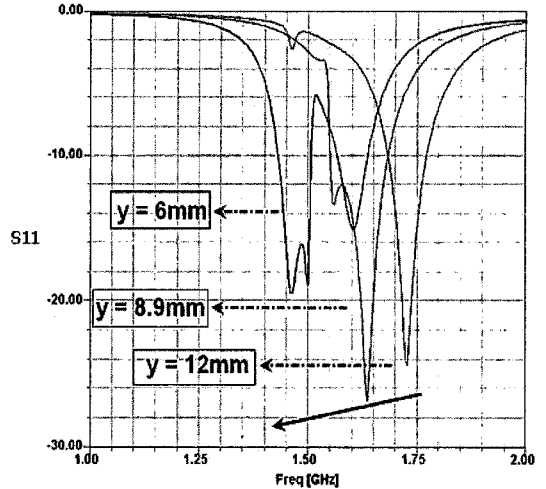


그림 3. 제안한 안테나의 구조.  
Fig. 3. Structure of proposed antenna.

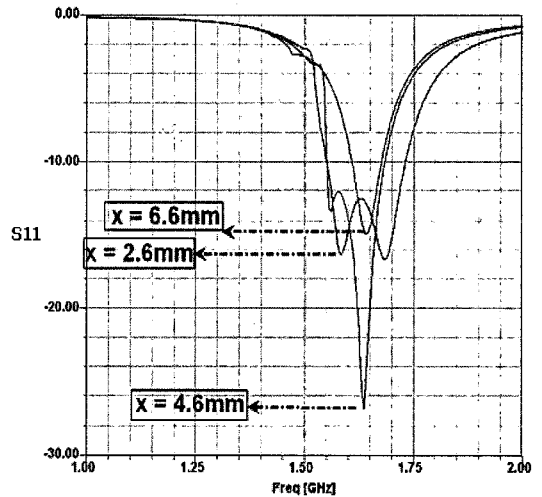
테나 그림이다. 그림 3에서 하단부 접지판은 샤크 꼬리 하우징에 탑재 가능한 크기이다.

사다리꼴 패치 안테나의 설계는 먼저 슬롯이 없는 상태에서 프랙털 구조의 길이인 폭  $x$ 와 깊이  $y$ 를 조절한다. 주어진 임의 크기에서 공진 주파수가 가장 낮게 형성되는 프랙털로 최적화한다. 이후 슬롯을 부설하여 세로 및 가로 길이  $a$ ,  $b$ 에 따른 최대한의 소형화를 유도한다. 이때 슬롯의 가로와 세로의 비율 및 급전점의 위치를 조절하여 우회전 원편파를 얻도록 축비와  $S_{11}$  특성을 보면서 trade off한다.

그림 4는 프랙털 구조의 변화에 따른  $S_{11}$  특성의 변화를 나타낸 그림이다. (a)의 경우 프랙털 폭인  $x=4.6$  mm로 고정시킨 상태에서 깊이  $y$  변화에 따른  $S_{11}$  특성이다. 깊이가 커질수록 공진 주파수가 높아지는데, 이는 패치 면적이 작아지기 때문이다. 반면에 깊이가 작을수록 면적이 증가함으로써 공진 주파수가 하향하지만 반사 손실 특성이 나빠지게 된다. (b)의 경우, 프랙털의 폭을 변수로 한 것이다. 프랙털의 폭은 공진 주파수에 영향을 미치지 않고, 다만  $S_{11}$  특성에 영향을 미친다. 폭이 좁으면 밴드 특성은 넓어



(a)  $y$  변화( $x=4.6$  mm)  
(a)  $y$  variation( $x=4.6$  mm)



(b)  $x$  변화( $y=8.9$  mm)  
(b)  $x$  variation( $y=8.9$  mm)

그림 4. 프랙털 치수에 따른  $S_{11}$  변화  
Fig. 4. Variation of  $S_{11}$  due to fractal dimension.

지나 반사 손실이 증가하고, 폭이 넓을 경우 밴드 특성과 반사 손실 모두 나빠지고 있다.

그림 5는 슬롯의 길이에 따른  $S_{11}$  변화를 보여준다. 그림 5에서 보듯이 슬롯의 길이가 길어질수록 공진 주파수가 낮아짐을 확인할 수 있다. 슬롯의 길이  $a$ 와  $b$ 를 동시에 변화시켜 급전 위치와 더불어  $S_{11}$ 과 축비 특성을 만족하는 슬롯의 크기를 찾아야 한다. 슬롯의 폭의 변화에 따른  $S_{11}$  변화는 미미하므로, 본 연구에서는 가공의 편리성을 위하여 폭을 1.0 mm로 하였다.

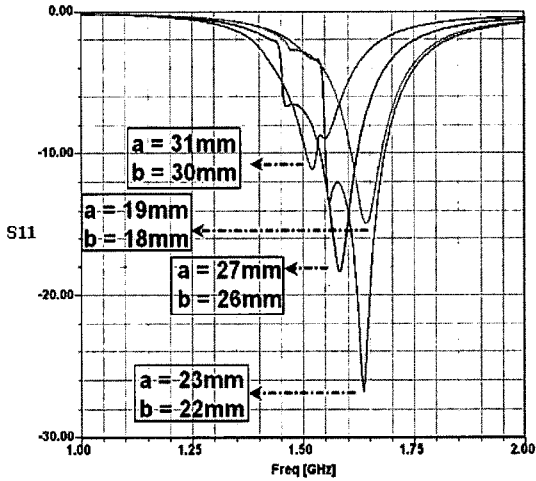


그림 5. 슬롯 길이에 따른  $S_{11}$  변화  
 Fig. 5. Variation of  $S_{11}$  due to slot length.

이상과 같이 설계된 슬롯  $a$ ,  $b$ 의 길이는 23 mm, 22 mm이고, 프랙털 구조  $x$ ,  $y$ 의 길이는 4.6 mm, 8.9 mm이다. 안테나의 전체 크기는 윗변×아랫변×높이 = 31.2×60.6×17.5 mm이다. 이 크기는 면적으로 볼 때 그림 1의 삼각 패치 안테나보다 42.5 % 정도로 축소된 크기이다.

그림 6은 급전점의 위치에 따른 축비 특성을 나타낸 그림이다.

급전 위치  $c$ 에 관한 그림은 그림 3에 나타나 있으며, 슬롯 중앙에서의 거리를 변수  $c$ 로 하여 축비를 시뮬레이션 하였다. 그림에서 급전 위치가 20 mm일 때의 축비의 값이 2.735 dB로 가장 양호하게 나타나고 있다.

설계를 위해 주어진 설계 제원으로는 사크 안테나 장착이 가능한 크기를 가지며, 우회전 원편파 방사

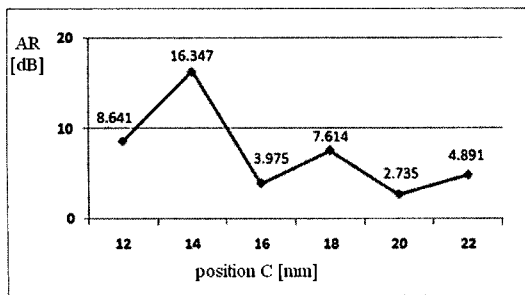


그림 6. 급전 위치  $c$ 에 따른 축비 변화  
 Fig. 6. Variation of axial ratio due to feeding point  $c$ .

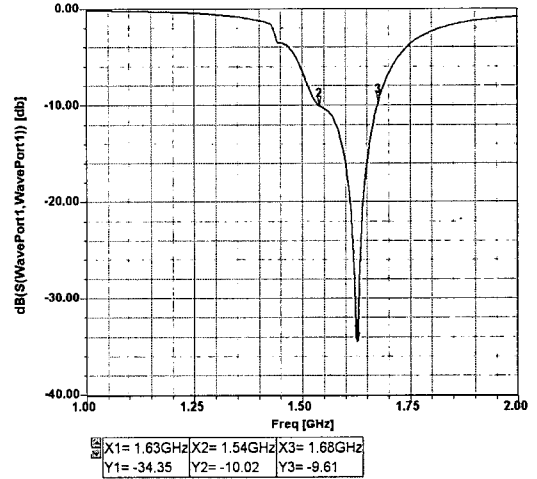


그림 7. 제안 안테나의 시뮬레이션  $S_{11}$   
 Fig. 7. Simulated  $S_{11}$  of proposed antenna.

특성으로 이득 4 dBi 이상, 전후방비(FB ratio) 20 dB 및 축비 3 dB 이하이다.

그림 7은 최종 설계한 안테나에 대한 시뮬레이션  $S_{11}$  값이다. 주파수 대역은 VSWR 2:1 기준으로 할 때 1.54~1.68 GHz 대역으로 GPS 대역을 만족하는 140 MHz의 광대역 특성을 보이고 있다. 같은 급전 위치에서 슬롯이 없을 경우 대역은 1.58~1.69 GHz로 비슷하지만, 축비가 나빠지게 된다.

설계한 안테나의 시뮬레이션 방사 패턴은 그림 8과 같다. 이득은 GPS 공진 주파수인 1.575 GHz에서

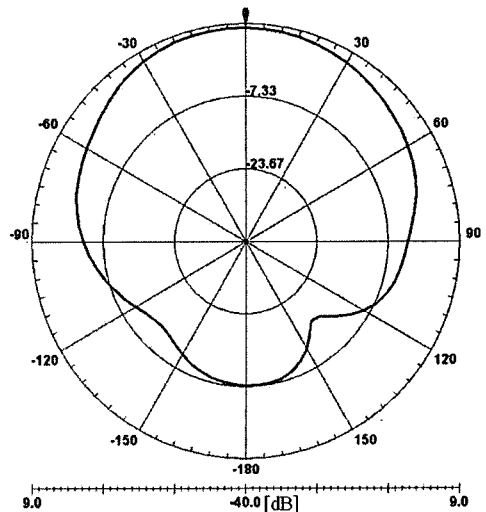


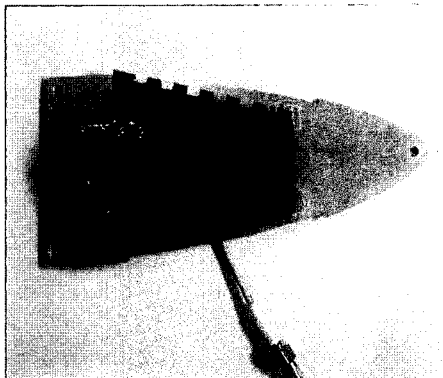
그림 8. 제안 안테나의 시뮬레이션 방사 패턴  
 Fig. 8. Simulated radiation pattern of proposed antenna.

8.75 dBi를 보이고 있다.

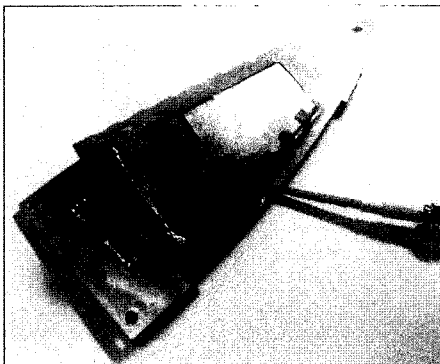
### III. 제작 및 측정

앞장에서 설계한 사다리꼴 패치 안테나를 그림 9와 같이 제작하고 이를 측정하였다. 그림 9 상단과 같은 패치의 재질은 납땀이 가능한 동판을 사용하였고, 하단의 접지판 재질은 알루미늄이다. 안테나는 샤크 꼬리 형상의 하우징 내 장착이 가능하도록 하였다.

제작된 안테나를 Agilent사의 network analyzer로 측정한 반사 손실과 VSWR은 그림 10과 같다. VSWR 2:1 기준으로 대역폭은 200 MHz(1.49~1.69 GHz)이다. 시뮬레이션 대역폭보다 다소 넓은 특성을 보이고 있으나 시뮬레이션 대역을 포함하고 있으므로 문제가 되지 않는 것으로 판단된다. 1.70 GHz에서 1.82



(a) 정면  
(a) Front view



(b) 측면  
(b) Side view

그림 9. 제작된 안테나  
Fig. 9. Fabricated antenna.

GHz까지 제 2의 공진 특성이 나타나 마치 전체적으로 330 MHz의 넓은 대역 특성을 보이고 있다. 이는 패치가 평면이 아닌 입체적인 형상에 의한 것으로 생각되며, 넓은 대역이 확보됨은 대역이 좁은 패치 안테나의 단점을 보완할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

그림 10에서 상단 좌측은  $S_{11}$ , 상단 우측은 smith chart 및 하단은 VSWR 특성을 나타낸 것이다.

그림 11은 MTG사의 무반사실(anechoic chamber)에서 측정된 H-면 우회전 원편파 방사 패턴 측정 결과

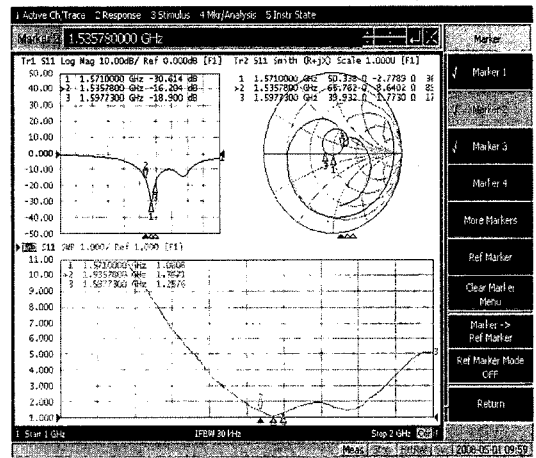


그림 10. 제작된 안테나의 반사 손실 측정 결과  
Fig. 10. Measured return loss of fabricated antenna.

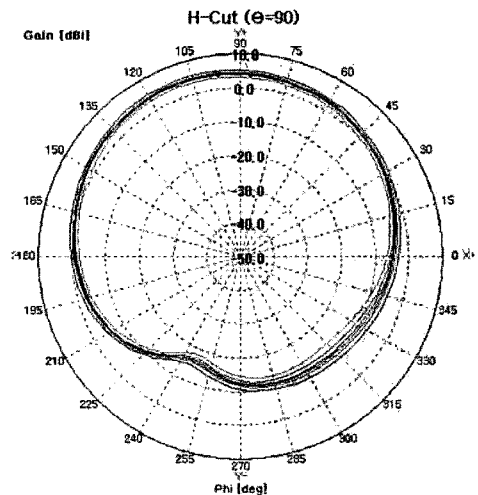


그림 11. 제작된 안테나의 방사 패턴 측정 결과  
Fig. 11. Measured radiation pattern of fabricated antenna.

표 1. 제안 안테나의 측정 이득 및 효율  
Table 1. Measured gain and efficiency of proposed antenna.

Freq. (MHz)	Eff. (%)	Peak (dBi)	$\theta$ (deg)	$\phi$ (deg)
1,555	68.49	5.35	90	105
1,565	59.49	4.78	90	105
1,570	54.78	4.44	90	105
1,575	52.76	4.31	90	105
1,585	50.41	4.13	90	105
1,595	42.03	3.36	90	105

과이다. 접지면이 작은 관계로 후방 방사가 크게 발생하고는 있으나, 전체적으로 볼 때 패치 안테나의 방사 패턴 형태를 유지하고 있다. 그림 11의 방사 패턴에 대한 데이터 값을 나타낸 표는 표 1과 같다. 이득과 반전력 빔 폭(HPBW)은 GPS 중심 주파수인 1.575 GHz에서 각각 4.31 dBi 및 115도로 측정되었다. 측정된 전후방비는 -14 dB로 설계치에 미치지 못하고 있다. 이는 패치의 접지가 작기 때문에 발생하는 것으로 이 안테나가 차체에 부착되면 큰 차체 접지면에 의해 향상되리라 생각된다. 무반사실에서 측정된 GPS 중심 주파수에서의 축비는 2.85 dB로 앞장에서 나타낸 시뮬레이션치 2.735 dB와 유사하게 측정되었다.

표에서  $\theta$ 와  $\phi$ 값은 방사 최대 방향을 나타낸 것이다. 본 연구의 타당성을 보이기 위하여 기존 차량용 샤크 꼬리 GPS 안테나로 널리 적용되고 있는 세라믹 패치 안테나와 특성을 비교하였다. 비교 측정을 위해 사용된 세라믹 패치의 크기는 가로×세로×높이=20×20×4 mm이며, 유전체 재질은 세라믹이다. 세라믹 패치 안테나가 장착된 샤크 꼬리 안테나를 이용하여 세라믹 안테나의 반사 손실 및 이득 특성을 측정하였다.

그림 12는 샤크 꼬리 안테나의 GPS 안테나인 세라믹 패치 안테나의 반사 손실을 측정한 것이다. 잘 알려진 바와 같이 세라믹 패치 안테나의 단점인 좁은 밴드 특성을 확인할 수 있다. VSWR 2:1 대역폭은 10 MHz에 불과하다. 이 대역폭은 GPS 주파수 대역인 1.564~1.585 GHz에 만족하지 못하는 실정이다. 따라서 본 연구에서 제안한 사다리꼴 패치가 갖는 대

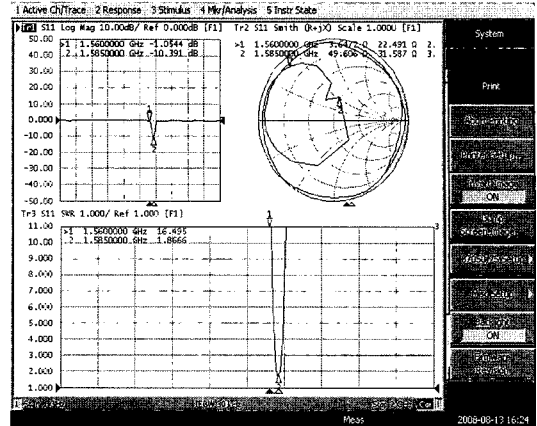


그림 12. 세라믹 안테나의 반사 손실 측정 결과  
Fig. 12. Measured return loss of ceramic antenna.

역폭 200 MHz에 비하면 매우 좁은 특성을 갖고 있다. 제안한 안테나와 세라믹 안테나 특성을 비교하는 것은 다소 무리가 있으나, 같은 샤크 안테나 내에 장착되므로 의미가 있다. 본 안테나는 광대역 특성으로 안테나 제작 오차 및 허용 공차 입장에서 기존의 세라믹 패치 안테나보다 우월하기 때문에 생산성이 크게 향상된다고 할 수 있다.

표 2는 세라믹 패치 안테나의 방사 패턴에 대한 데이터 값을 나타낸 표이다.

무반사실에서 측정된 기존 세라믹 패치 안테나의 이득은 주파수 1.575 GHz에서 2.28 dBi이며, 5 MHz 정도 벗어날 경우 이득이 급격히 감소함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 안테나와 기존 세라믹 패치 안테나를 비교할 경우, 대역 특성 200 MHz 대비 10 MHz이고, 이득은 4.13~4.78 dBi 대비 -1.23

표 2. 세라믹 패치 안테나의 측정 이득 및 효율  
Table 2. Measured gain and efficiency of ceramic patch antenna.

Freq. (MHz)	Eff. (%)	Peak (dBi)	$\theta$ (deg)	$\phi$ (deg)
1,555	10.13	-2.49	165	215
1,565	12.76	-1.23	165	215
1,570	20.89	1.23	165	210
1,575	24.84	2.28	165	205
1,585	23.08	1.6	165	185
1,595	22.86	-1.28	90	80

~+2.28 dBi로 전 대역에서 약 2~5 dB 높은 이득 특성을 보임으로써 기존 안테나보다 우월함을 보이고 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 차량 GPS 안테나용 프랙털 구조의 사다리꼴 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하고 이를 제작하였다. 기판에 의한 손실 제거와 저가 실현을 위하여 공기층을 갖는 패치를 적용하였고, 사크 꼬리 하우스에 탑재할 수 있는 형태로 설계하였다. 일반 삼각형 패치 안테나를 설계하고 소형화를 위하여 프랙털 구조를 갖는 사다리꼴 패치 안테나를 제안하였다. 사다리꼴 패치에 십자 형태의 슬롯을 부설하고 적절한 급전 위치를 설정함으로써 우회전 원편파 특성을 얻었다.

제작 후 측정 결과 VSWR 2:1 기준 200 MHz 대역폭으로 GPS 대역을 만족하는 넓은 대역폭을 얻었다. 이는 기존 세라믹 패치 안테나가 갖는 10 MHz 대역폭보다 20배 넓은 대역폭이다. 이득 또한 공진 주파수에서 4.31 dBi로 세라믹 패치 안테나의 이득보다 GPS 대역에서 2~5 dB 높은 이득을 얻었다. 본 연구는 차량 전장용 GPS 안테나 설계에 도움을 주리라 생각한다.

#### 성 하 원



2007년 2월: 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)  
 2007년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나 및 전자파 이론, RFID

#### 손 태 호



1979년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
 1986년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
 1990년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)  
 1980년~1981년: 영국 Ferranti사 연구원

1978년~1987년: LG이노텍(주) 연구소 근무  
 1992년~1994년: 천문우주연구원 객원연구원  
 1999년~2000년: University of Illinois 연구교수  
 2000년~2003년: (주)네티텔콤 위촉연구소장  
 2002년~2006: (주)에스비텔콤 기술고문  
 2005년~2007: (주)하이트렉스 기술고문  
 2006년~현재: (주)동원 위촉연구소장  
 2007년~현재: (주)스카이크로스 코리아 기술고문  
 1990년~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 교수  
 [주 관심분야] 위성통신, 휴대폰, RFID용 안테나 설계, 자동차용 전장품 개발, 전자파 생체 영향 등

#### 참 고 문 헌

- [1] E. D. Kaplan, *Understanding GPS Principle and Application*, Artech House, Inc., 1996.
- [2] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [3] Kin-Lu Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.
- [4] Girish Kumar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, Inc., 2003.
- [5] 이원규 외 2인, "GPS와 DMB 신호 수신을 위한 단일 급전 이중 대역 원형 편파 삼각 패치 안테나 설계 및 구현", *추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집*, pp. 893-902, 2005년 9월.
- [6] J. Lu, C. Tang, and K. Wong, "Single-feed slotted equilateral-triangular microstrip antenna for circular polarization", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 7, pp. 1174-1178, Jul. 1999.
- [7] 김태환, 이재욱, 조춘식, 이윤현, "자기 아파인 프랙털 구조를 이용한 CPW 급전 크로스 안테나", *한국전자과학회논문지*, 16(9), pp. 949-956, 2005년 9월.