

AM/FM/TDMB/GPS 수신용 전장 안테나 제작

Implementation of the Vehicle Antenna for the AM/FM/TDMB/GPS Receiver

김 주 만* 손 태 호**
(Joo-Man Kim) (Tae-Ho Son)

요 약

본 논문에서는 AM, FM, TDMB, GPS 수신용 전장 안테나를 설계하고 이를 제작하였다. 소형의 샤크 안테나에 탑재하기 위한 AM 안테나는 페라이트 턴 스타일 안테나로 설계하였다. FM, TDMB 수신용으로는 헬리컬 소자를 접은 접힌 모노폴 안테나로 설계하였다. 대역확보 및 이득향상을 위한 GPS 수신 안테나는 프랙털 구조의 공기층 사다리꼴 마이크로스트립 패치 안테나로 설계하였다. 제작된 AM 수신용 안테나의 수신신호 세기는 -65.7dBm 으로 기존의 외장형 폴 안테나의 -63.5dBm 과 비교하면 소형이면서도 유사한 수신 성능을 나타냄으로써 외장형 폴 안테나 및 glass 안테나 대체품으로 적용할 수 있음을 보였다. FM 및 TDMB 수신신호 세기는 각각의 중심 주파수에서 -55.66dBm , -43.50dBm 측정됨으로써 기존 안테나에 비해 $5\sim 10\text{dB}$ 높은 특성이 나타났다. GPS 안테나에 대한 측정은 VSWR 2 : 1 기준으로 135 MHz의 넓은 대역특성과 4.31dBi의 이득이 측정되어, GPS 전 대역에서 일반 세라믹 패치안테나의 이득보다 3~5dB 높은 이득을 얻었다.

Abstract

In this paper, a vehicle antenna for AM, FM, TDMB, GPS systems was designed and implemented. AM antenna loaded into small space of shark shape was designed by ferrite turn style antenna. For the FM and TDMB antenna, folded monopole antenna which helical is folded was applied. GPS antenna for achieving characteristics both bandwidth and gain improvement was designed microstrip patch that has air substrate and fractal structure. Receiving signal strengths by the measurement were presented for the AM, FM and TDMB antenna. AM signal strength was -65.7dBm , this strength is almost as same conventional pole antenna as -63.4dBm . It can be replaced conventional pole or glass antenna by the studied antenna. Signal strengths for FM and TDMB were -55.66 and -43.50dBm at center frequency, they are $5\sim 10\text{dB}$ higher than conventional antenna. Measurements of bandwidth and gain for the GPS antenna showed 135 MHz under VSWR 2 : 1 and 4.31dBi, gains over GPS band were 3~5dB higher than ceramic patch antenna.

Key words: Vehicle antenna, shark tail, TDMB, GPS, microstrip patch

* 주저자 : 순천향대학교 정보통신공학과 석사과정

** 공저자 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 8월 12일

† 논문심사일 : 2009년 9월 25일

† 게재확정일 : 2009년 9월 28일

I. 서 론

최근 자동차에 대한 관심이 높아지면서 자연스럽게 자동차의 디자인에도 많은 관심을 갖기 시작하였다. 또한 라디오 서비스만 이용했던 시대와 달리 최근에는 라디오 서비스를 비롯해 이동 중인 자동차 내에서 고음질, 고품질의 방송을 제공 받는 TDMB (Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting) 서비스와 연계, 어디서나 위성통신을 통해 자신의 위치를 파악할 수 있는 GPS(Global Positioning System) 서비스를 어렵지 않게 이용할 수 있다. 이러한 서비스를 제공 받기 위해서는 각각의 서비스에 맞는 다수의 안테나들이 필요하게 된다. 하지만 다수의 안테나들은 원가 상승을 야기하고 동시에 자동차 디자인의 큰 저해요소들이 된다. 그리하여 최근에는 디자인을 중요시하는 소비자들의 성향과 더불어 복잡한 다수의 안테나를 하나로 통합한 통합형 안테나가 주목을 받고 있다. 그 중 가장 널리 사용되고 있는 것이 샤크 안테나이다. 초기 샤크 안테나는 TDMB 수신 전용으로 널리 사용되었지만 최근에는 GPS, 라디오 수신 기능을 추가로 탑재, 통합하여 안테나의 효율 및 자동차 전장품 디자인 향상에 크게 기여하고 있다. 하지만 이러한 샤크 안테나는 가격이 고가이고 수신 특성이 외장형 안테나보다 떨어지는 단점이 있다[1,2].

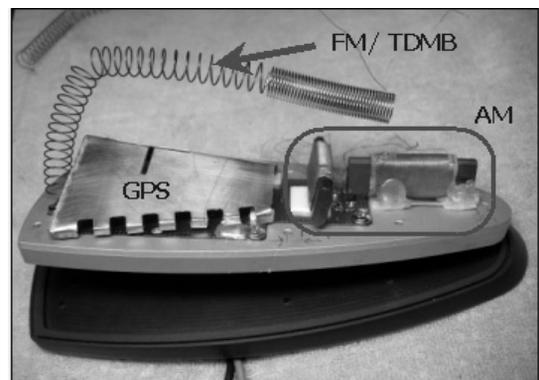
본 논문에서는 낮은 수신특성과 고가의 샤크 안테나의 단점을 향상시킨 수신 전력이 크면서도 가격 경쟁력이 있는 AM/FM/TDMB/GPS 수신용 전장 샤크 안테나를 설계하고 이를 제작한다.

기존의 AM 라디오 수신용 안테나는 낮은 주파수 대역(535~1605KHz)에서 안테나 길이를 길게 하는데 한계가 있다. 따라서 안테나를 소형화시키지 못하고 whip 안테나, 폴 안테나 등과 같이 자동차 외부에 돌출시키거나 glass에 탑재한 안테나를 사용할 수밖에 없었다. 하지만 whip, 폴 안테나는 자동차 외부에 돌출 되어있어 파손의 우려가 있으며, glass 안테나는 AM 파장에 비해 물리적인 길이가 매우 짧고, 유전율이 높은 유리에 장착됨으로써 방사효율이 떨어지며 또한, 평면에 장착됨으로써 방송용 안테나가 가져야하는 무지향 특성이 나빠지는 단점이 있다. 본

논문에서는 턴 스타일(turn style) 이론에 의해 무지향 특성을 갖는 AM 안테나를 설계한다. 2개의 동일한 페라이트 안테나를 90도 교차하고 90도 위상차를 갖도록 급전한다 [3]. FM(88~108 MHz), TDMB(174~216 MHz) 수신용 안테나는 헤리컬의 피치를 달리하여 이중 공진특성을 갖도록 한다 [4]. 수직 및 수평 편파 성분을 동시에 수신하기 위하여 헤리컬 소자를 90도 접은 접힌 노노폴 안테나를 적용한다 [1, 2]. GPS(1.564~1.585GHz) 안테나는 프랙털 구조 사다리꼴 마이크로스트립 패치 안테나로 설계하고 이를 제작한다. 공기층을 사용한 패치에 십자 슬롯을 부설하고 프랙털 이론을 적용하여 소형화를 유도한다 [5-8]. 십자 슬롯의 가로와 세로의 비와 급전 점의 위치를 조절함으로써 GPS가 사용하는 우회전 원편파 특성을 유도한다. 설계한 안테나를 제작하고 이를 측정하여 그 결과를 고찰한다.

II. 안테나 구조 및 원리

본 연구의 안테나는 4가지 밴드의 안테나를 샤크 구조물 내에 장착하는 안테나이다. 장착되어야 할 구조물의 크기는 75mm×164mm×70mm(폭×길이×높이)이다. 설계 제작된 샤크 안테나는 <그림 1>과 같다. 출력은 AM과 FM이 동시에 전송되는 동축선과 TDMB 및 GPS용 동축선으로 전송된다.



<그림 1> 제작한 샤크 안테나
<Fig. 1> Implemented shark antenna

1. AM용 턴 스타일 안테나

제안한 AM 라디오 수신용 턴 스타일 안테나는 2개의 방사 소자가 90도로 교차되어 샤크 안테나의 상단(<그림 1>에서 오른쪽)에 장착된다. 제안한 안테나는 소형화를 위하여 투자율이 높은 사각형의 페라이트를 사용하였다. 페라이트의 투자율(μ)이 클수록, 반경(a)이 컸을수록, 권선(N)이 많을수록 방사저항(R)이 증가한다. 원통형 혹은 사각형으로 구성되는 페라이트에 권선을 N 회 감을 경우의 임피던스는 다음 식으로부터 구할 수 있다 [4].

$$R = \mu_{reff}^2 \times 20\pi^2 \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^4 N^2 \quad [\Omega] \quad (1)$$

샤크 안테나에 내장이 가능하도록 최적화된 페라이트의 크기는 40mm×12mm(가로×세로)이다. 최적화된 페라이트에 권선을 조정하여 임피던스를 50옴에 맞추었다. 1개의 페라이트를 사용하여 턴 스타일 안테나를 구현하였을 경우, 안테나는 수평방향으로 8자의 지향특성이 나타난다. 지향성을 감소시켜 무지향 특성을 갖도록 하기 위하여 2개의 페라이트를 90도로 교차시켜 90도의 위상차를 가지게 한다.

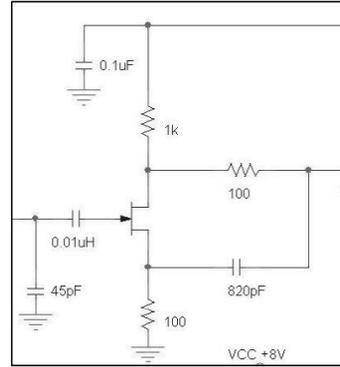
샤크 축 방향으로 놓인 안테나 1에 의한 전계를 E_1 , 이와 수직으로 위치한 안테나 2에 의한 전계를 E_2 라 하면 이들 방사전계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_1 = j \frac{60I_0}{r} \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos\phi)}{\sin\phi} e^{-jkr} \quad (2)$$

$$E_2 = - \frac{60I_0}{r} \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \sin\phi)}{\cos\phi} e^{-jkr} \quad (3)$$

안테나 간에는 90도 위상을 다르게 급전을 함으로 90도 위상차가 난 안테나의 총 전계는

$$E_{total} = E_1 + E_2 = \frac{j60I_0}{r} \left[\frac{\cos(\frac{\pi}{2} \cos\phi)}{\sin\phi} + j \frac{\cos(\frac{\pi}{2} \sin\phi)}{\cos\phi} \right] e^{-jkr} \quad (4)$$



<그림 2> 구현한 90도 위상변위회로
<Fig. 2> Implemented circuit for 90 phase shifter

로 된다. 따라서 지향성은

$$|D(\phi)| = \left[\frac{\cos^2(\frac{\pi}{2} \cos\phi)}{\sin^2\phi} + \frac{\cos^2(\frac{\pi}{2} \sin\phi)}{\cos^2\phi} \right]^{1/2} \quad (5)$$

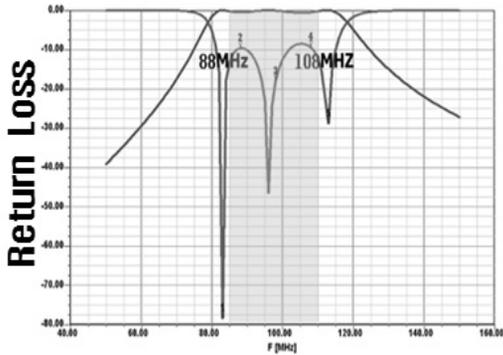
가 되어 거의 무지향 특성이 나타나게 된다.

본 연구에서는 90도 위상차가 나도록 급전하기 위하여 <그림 2>와 같은 회로를 적용하였다.

2. FM/TDMB용 이중 공진 접힌 헤리컬 안테나

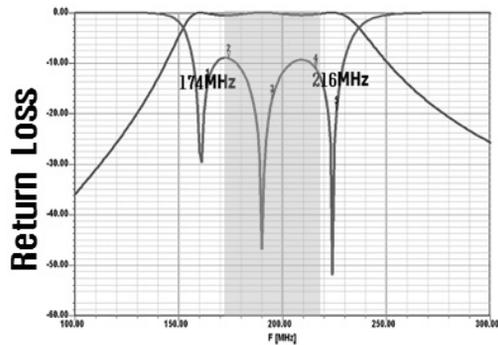
FM과 TDMB 수신용 안테나로는 헤리컬 모노폴 안테나를 적용하였다. 헤리컬의 피치를 달리할 경우 이중 공진이 발생한다. 여기서는 피치를 각각 1mm 3mm로 달리하여 이중 공진을 발생 시키는 방법을 사용하였다. 헤리컬의 설계는 참고문헌 [4]에 나타난 설계 식을 이용하여 설계하였다. 본 논문에서는 수직은 물론 수평편파성분을 효율적으로 받기위해 헤리컬 소자를 90도 구부려 적용하였다. 이렇게 제작한 안테나는 <그림 1>에서 확인할 수 있다. 헤리컬 안테나의 총 길이는 약 135mm로 FM 동작 주파수 대역인 100MHz 기준으로 안테나를 헤리컬 소자로 사용함으로써 전체적인 길이를 $\lambda/4$ 의 1/5 수준으로 감소시켰다.

FM, TDMB용 접힌 헤리컬 안테나의 수신대역 이외의 잡음을 제거하기 위한 BPF(Band Pass Filter)의



(a) FM용 BPF 특성

(a) BPF characteristics for the FM band



(b) TDMB용 BPF 특성

(b) BPF characteristics for the FM band

<그림 3> 제안한 FM/TDMB 안테나 시스템의 BPF 특성
<Fig. 3> BPF characteristics of proposed FM/TDMB antenna system

결과를 <그림 3>에 나타내었다. BPF를 통과한 신호는 증폭을 위한 LNA(Low Noise Amplifier)를 거친 뒤 시스템과 연결된다.

3. GPS 수신용 사다리꼴 패치 안테나

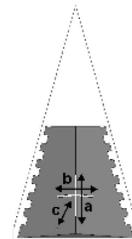
<그림 4>는 제안한 사다리꼴 패치안테나의 그림이다. 사다리꼴 패치안테나의 설계는 먼저 슬롯이 없는 상태에서 프랙털 구조의 길이인 폭 x 와 깊이 y 를 조절한다. 주어진 임의 크기에서 공진주파수가 가장 낮게 형성되는 프랙털로 최적화한다. 이후 슬롯을 부설하여 축비 및 반사손실 특성을 보면서 세로 및 가로길이 a, b 와 급전 점의 위치를 조절하여

우회전 원편파(RHCP)를 얻도록 trade-off 설계한다. 설계는 시뮬레이션을 통하여 설계하였으며, 시뮬레이션 툴은 상용화된 Ansoft사의 HFSS v10.0을 사용하였다.

시뮬레이션 결과 슬롯의 폭의 변화에 따른 반사손실의 변화는 거의 차이가 없다. 본 연구에서는 제작의 편리성을 위하여 폭을 1.0mm로 하였다. 앞에서 언급한 방법으로 설계된 슬롯 a, b 의 길이는 23mm 22mm이고 프랙털구조 x, y 의 길이는 4.6mm, 8.9mm이다. 안테나의 전체 크기는 60.6mm×31.2mm×58.8mm(윗변×아랫변×높이)이다. 이 크기는 면적으로 볼 때 동일한 공진주파수를 가지는 일반 삼각 패치 안테나보다 42.5 % 정도로 축소된 크기이다.

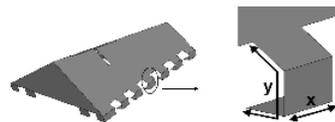
급전위치 c 는 <그림 4>에 나타나 있으며, 슬롯 중앙에서의 거리를 변수 c 로 하여 축비를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 급전위치가 20 mm일 때의 축비의 값이 2.735dB로 가장 양호하게 나타나 그 값을 설계 값으로 정하였다.

<그림 5>는 최종 설계한 안테나에 대한 시뮬레이션 반사손실 값이다. 주파수대역은 반사손실 -10dB 기준으로 할 때 1.54~1.68GHz대역으로 GPS 대역을



(a) 정면

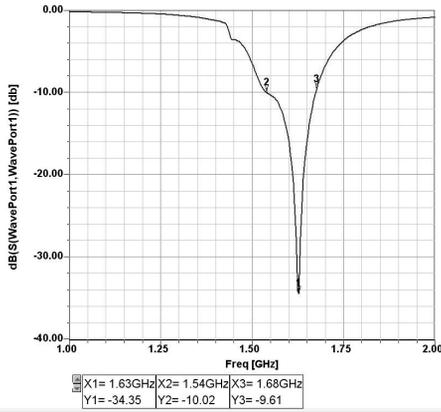
(a) Front view



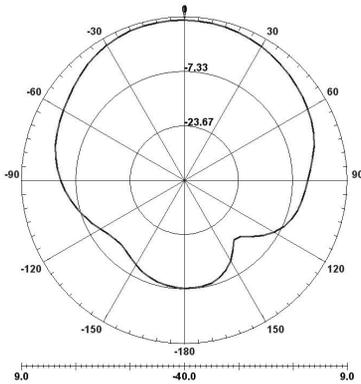
(b) 측면

(b) Side view

<그림 4> 제안한 사다리꼴 패치 안테나의 구조
<Fig. 4> Geometry of proposed trapezoidal microstrip patch antenna



<그림 5> GPS 안테나의 시뮬레이션 반사손실
<Fig. 5> Simulated return loss of GPS antenna



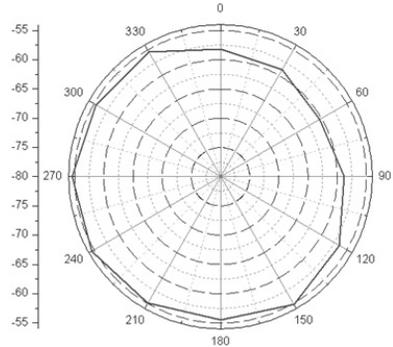
<그림 6> GPS 안테나의 시뮬레이션 방사패턴
<Fig. 6> Simulated radiation pattern of GPS Antenna

만족하는 140MHz의 광대역 특성을 보이고 있다. 설계한 안테나의 시뮬레이션 방사패턴은 <그림 6>과 같다. 이득은 GPS 공진주파수인 1.575GHz에서 8.75dBi를 보이고 있다.

III. 안테나 측정

1. AM 수신 성능 측정

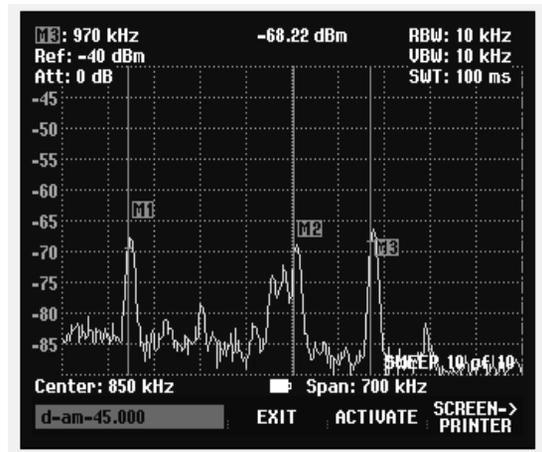
Portable spectrum analyzer를 사용하여 AM 수신용 안테나의 수신특성을 측정하였다. <그림 7>은 제안한 AM 수신용 안테나의 각도별 수신특성이다. 제안



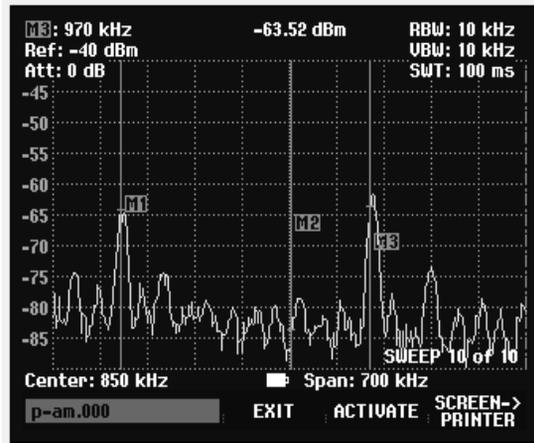
<그림 7> AM 수신용 안테나의 측정된 각도별 수신특성
<Fig. 7> Measured receiving characteristic from all angles of AM antenna

한 AM 수신용 안테나가 무지향성 특성을 나타냄을 확인 할 수 있다.

제한한 안테나와 상용화 된 A사의 외장형 폴 안테나의 수신 신호세기를 비교 측정 하였다. <그림 8>과 <그림 9>는 연구된 안테나 및 A사의 외장형 폴 안테나의 AM 라디오 수신 신호세기를 실외에서 측정한 그림이다. 970KHz를 기준으로 제안한 안테나의 수신 신호세기는 -65.7dBm으로 A사의 외장형 폴 안테나의 -63.5dBm과 수신 성능을 비교했을 때 그다지 뒤 떨어지지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서 샤크 안테나에 탑재된 소형 안테나가 외장형 폴 안테나를 충분히



<그림 8> 연구한 AM 안테나의 수신 신호세기
<Fig. 8> Signal strength of studied AM antenna



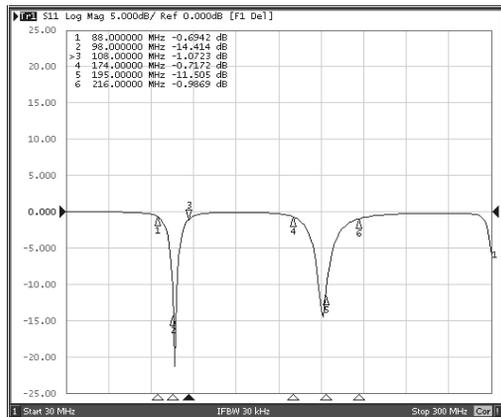
<그림 9> A사 폴 안테나의 수신 신호세기
 <Fig. 9> Signal strength of A company Pole Antenna

히 대신할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

2. FM/TDMB 수신 성능 측정

FM, TDMB 수신용 안테나의 반사손실을 측정하였다. 이중 공진 헤리컬 모노폴 소자인 FM, TDMB 수신 안테나의 반사손실 측정 결과는 <그림 10>과 같다.

측정 결과 FM 대역, TDMB 대역에서 반사계수는 중심 주파수에서 각각 -20dB, -15dB로 우수한 특성으로 측정되었다. <표 1>은 TDMB 대역에서 제안한 안



<그림 10> 연구한 FM/TDMB 안테나의 측정 반사손실
 <Fig. 10> Measured return loss of studied FM/TDMB antenna

<표 1> TDMB 안테나의 측정 이득 및 효율
 <Table 1> Measured gain and efficiency of TDMB antenna

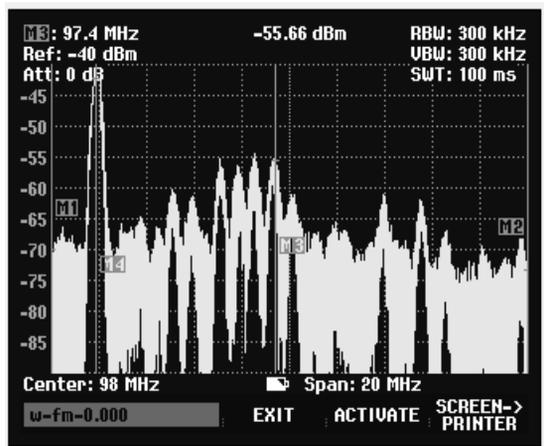
Frequency [MHz]	Avg. Gain [dB]	Efficiency [%]	Frequency [MHz]	Avg. Gain [dB]	Efficiency [%]
175.28	-10.757	8.36%	175.28	-13.253	4.71%
177.008	-10.37	9.14%	177.008	-12.644	5.42%
178.736	-9.951	10.07%	178.736	-12.076	6.17%
181.28	-9.236	11.87%	181.28	-11.28	7.41%
183.008	-8.713	13.39%	183.008	-10.799	8.28%
184.736	-8.237	14.94%	184.736	-10.416	9.05%
187.28	-7.692	16.94%	187.28	-10.057	9.83%
189.008	-7.449	17.94%	189.008	-9.951	10.07%
190.736	-7.269	18.67%	190.736	-9.953	10.06%
193.28	-7.024	19.75%	193.28	-10.097	9.73%
195.008	-6.887	20.39%	195.008	-10.206	9.28%
196.736	-6.723	21.17%	196.736	-10.493	8.89%
199.28	-6.599	21.78%	199.28	-10.85	8.19%
201.008	-6.641	21.57%	201.008	-11.173	7.60%
202.736	-6.78	20.89%	202.736	-11.577	6.92%
205.28	-7.017	19.78%	205.28	-12.362	5.78%
207.008	-7.258	18.71%	207.008	-13.026	4.96%
208.736	-7.576	17.40%	208.736	-13.761	4.19%
211.28	-8.18	15.14%	211.28	-14.855	3.26%
213.008	-8.642	13.61%	213.008	-15.566	2.76%

(a) 제안한 안테나 (b) B사 안테나
 (a) Proposed antenna (b) B Company's antenna

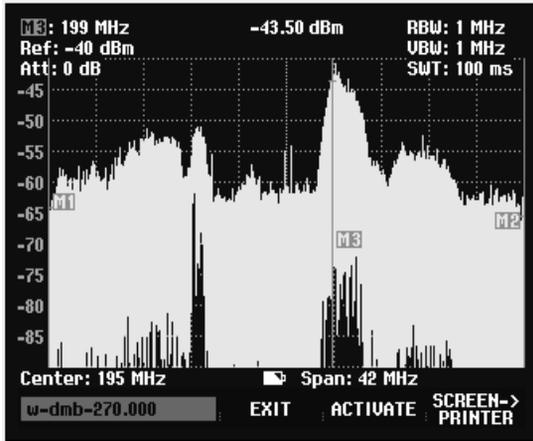
테나(a)와 상용화된 B사(b)의 안테나의 방사 이득 및 효율을 비교 측정한 것이다. 비교 측정결과 제안한 TDMB 수신용 안테나가 평균 3dB 높게 측정되었다.

본 대학 연구실내에서 portable spectrum analyzer를 사용하여 제안한 FM, TDMB 수신용 안테나의 수신 신호세기를 측정하였다.

<그림 11>, <그림 12>는 연구한 안테나의 측정된 수신 신호세기이다. FM 대역에서 최대 -55.66dBm, TDMB 대역에서 최대 -43.50dBm 값이 측정되었다.



<그림 11> 측정된 FM 수신 신호세기
 <Fig. 11> Measured FM signal strength



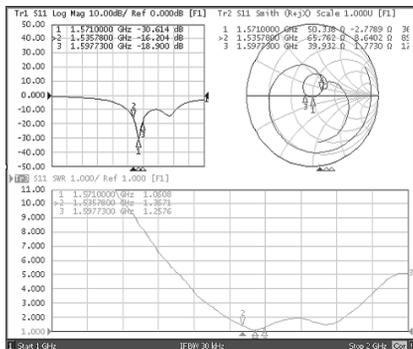
<그림 12> 측정된 TDMB 수신 신호세기
<Fig. 12> Measured TDMB signal strength

이 값은 시중 자동차에 설치된 샤크 안테나의 측정치보다 5~10dB 높은 값으로 본 안테나 성능의 우월함을 나타내주고 있다.

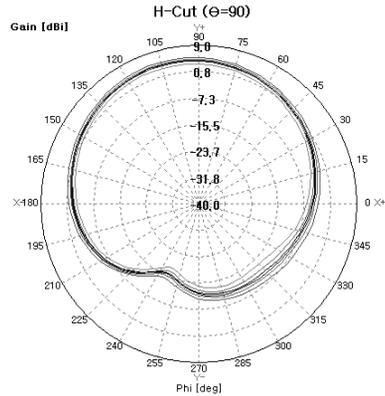
3. GPS 안테나 측정

설계한 사다리꼴 패치안테나를 제작하고 이를 측정하였다. 패치의 재질은 납땀이 가능한 동판을 이용하였고, 접지 판의 재질은 샤크 안테나의 밑면으로 사용될 알루미늄이다. 제작한 안테나의 측정된 반사손실 및 VSWR은 <그림 13>과 같다.

VSWR 2 : 1 기준으로 대역폭은 시뮬레이션 대역



<그림 13> GPS 안테나의 측정 반사손실
<Fig. 13> Measured return loss of GPS antenna



<그림 14> GPS 안테나의 측정 방사패턴
<Fig. 14> Measured radiation pattern of GPS antenna

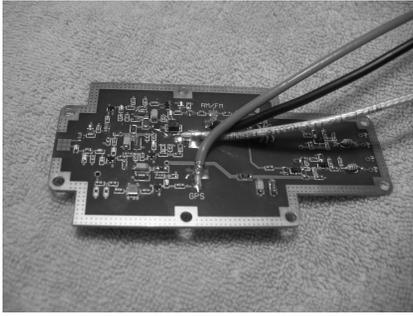
폭과 거의 일치하는 135MHz(1.491~1.63GHz)이다. <그림 14>는 무반사 챔버실에서 측정된 RHCP H면 방사패턴 측정결과이다. 접지 면이 작은 관계로 후방방사가 다소 발생하고는 있으나, 전체적으로 볼 때 패치안테나의 방사패턴 형태를 잘 유지하고 있다.

<그림 14>의 방사패턴에 대한 세부적인 데이터 값을 나타낸 표는 아래의 <표 2>와 같다.

GPS 안테나의 이득은 중심주파수인 1.575GHz에서 4.31dBi의 값으로 측정되었다. 표 2에서 보듯이 GPS 대역에서의 안테나의 이득은 4.13~4.78dBi이며 효율은 50.41~59.49 %의 양호한 특성을 보이고 있다. 측비는 중심주파수에서 2.85dB로 설계치 2.7dB와 근접하게 측정되었다. 본 안테나는 차량용이므로 이미 상용화된 차량용 세라믹 패치 안테나와 비교하면, 본 안테나가 3~5dB 높은 이득 특성을 나타내고 있다.

<표 2> GPS 안테나의 측정 이득 및 효율
<Table 2> Measured gain and efficiency of GPS antenna

Freq. (MHz)	Eff. (%)	Peak (dBi)	θ (deg)	ϕ (deg)
1555	68.49	5.35	90	105
1565	59.49	4.78	90	105
1570	54.78	4.44	90	105
1575	52.76	4.31	90	105
1585	50.41	4.13	90	105
1595	42.03	3.36	90	105



<그림 15> 제작된 전자회로
<Fig. 15> Implemented circuits

본 안테나는 AM을 제외한 FM, TDMB 및 GPS는 각각 BPF와 LNA를 채택하고 있는 능동형안테나이다. 이는 미약한 신호를 저잡음 증폭시키고 더불어 케이블 손실에 의한 수신부 잡음지수의 저하를 막기 위함이다. 이상과 같은 회로는 안테나하단 주물 내 위치하도록 하였으며, 인쇄회로기판으로 제작된 회로는 <그림 15>와 같다.

IV. 결론

본 논문에서는 AM, FM, TDMB, GPS 수신용 전장 샤크 안테나를 설계 제작하여 수신 성능을 측정하였다. AM 안테나는 샤크 안테나에 탑재 가능하도록 소형의 페라이트 턴 스타일 안테나로 설계하였다. FM 및 TDMB 안테나로 헤리컬 소자를 접은 접힌 모노폴 안테나로 제작하였다. GPS 안테나는 샤크 안테나 구조물에 용이하게 탑재되기 위하여 사다리꼴 패치로 설계하였다. 패치크기를 줄이기 위하여 프랙털 구조를 적용하였으며, 십자슬롯 및 급전위치를 조절하여 우회전 원편파 특성을 가지도록 하였다.

제작한 AM 안테나는 기존의 외장형 폴 안테나에 비해 소형이면서도 수신 성능이 거의 유사하게 측정

되었다. FM 및 TDMB용 이중 공진 헤리컬 안테나의 수신 신호세기 최대치는 각각 -55.66dBm , -43.50dBm 측정되어 기존 상용 샤크 안테나 보다 $5\sim 10\text{dB}$ 높게 측정되었다. GPS 안테나는 VSWR 2 : 1 기준으로 135 MHz의 넓은 대역특성을 얻었다. 이득은 공진주파수에서 4.31dBi 로 측정되어 GPS 전 대역에서 일반 세라믹 패치안테나의 이득보다 $3\sim 5\text{dB}$ 높은 이득을 얻었다.

본 연구결과는 전장용 안테나를 통합하고 동시에 소형화하는데 도움을 줄 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] 현재성, 손태호, 박영태, “AM FM DMB 수신이 가능한 차량 탑재형 안테나 시스템,” *추계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집*, 제30권, 제1호, pp. 127-130, 2007. 5.
- [2] 김주만, 손태호, “TDMB 및 GPS 수신용 전장용 샤크 안테나,” *한국ITS학회논문지*, 제7권, 제6호, pp. 57-62, 2008. 12.
- [3] 이상설, *안테나 및 전자과전파*, 형설출판사, 1995.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [5] K. L. Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [6] R. Garg, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, 2001.
- [7] 성하원, 손태호 “차량 GPS용 프랙털 구조의 사다리꼴 마이크로스트립 패치안테나 설계,” *한국전자과학회논문지*, 제20권, 제3호, pp. 215-221, 2009. 3.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, New York, 1998.

저자소개



김 주 만 (Kim, Joo-Man)

2008년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부(공학사)

2008년 2월 ~ 현재: 순천향대학교 정보통신공학과(석사과정)



손 태 호 (Son, Tae-Ho)

1979년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학사)

1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)

1990년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)

1980년 ~ 1981년 : 영국 Ferranti사 연구원

1978년 ~ 1987년 : LIG넥스원 연구소 근무

1992년 ~ 1994년 : 천문우주연구원 객원연구원

1999년 ~ 2000년 : University of Illinois 연구교수

2000년 ~ 2003년 : (주)넷시텔레콤 위촉 연구소장

2006년 ~ 2009년 : (주)동원 위촉 연구소장

2007년 ~ 현재 : (주)스카이크로스 기술고문

1990년 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 위성통신, 휴대폰, RFID용 안테나설계, 자동차용 전장품 개발, 전자파 생체영향