

능동 발진 안테나를 이용한 소형 도플러 센서

Compact Doppler Sensor Using Oscillator Type Active Antenna

윤기호*
Gi-Ho Yun*

Abstract

In this paper, a compact doppler sensor with oscillator type active antenna operating at 2.4GHz frequency band is proposed to measure the distance or speed of a moving object. The active antenna has been realized by oscillator using radiator, patch antenna, as its resonator. The oscillation frequency is shifted depending on approaching of the object, and a detection circuit discriminates the frequency deviation. The oscillator type active antenna has been designed and simulated. The prototype fabricated has a very small circular disk type of diameter 30mm and height 4.2mm. As for antenna performance, broadside radiation pattern with beamwidth of 130° and oscillation frequency of 2.373GHz has been measured. Test results as a doppler sensor shows that doppler signal voltage of about 190mV has been obtained for conducting plate moving 1 meter away from the sensor. And, doppler signal voltage has been linearly increased to the ground from 4.5m height by free-falling the sensor.

요 약

본 논문에서는 고주파 발진회로의 공진기를 패치 안테나로 사용하는 능동발진 안테나를 2.4GHz 대역에서 제안하여 소형 무선도플러 센서로서 이동체의 거리나 속도 등을 측정할 수 있게 하였다. 이동체의 움직임은 고주파 발진 주파수의 천이를 발생시키며 이를 검출하는 회로를 통해 제안된 구조의 동작을 확인하였다. 설계·제작된 무선 도플러 센서는 직경이 30mm, 높이 4.2mm 정도로 매우 작은 원형디스크 형태를 갖으며, 안테나는 2.373GHz에서 약 130도의 빔폭과 전방향 방사특성을 나타내었다. 센서의 감도 측정결과, 1m 떨어져 움직이고 있는 도체판에 대해 최소 190mV의 도플러 신호 전압을 얻었고, 센서의 자유낙하 실험으로부터 지표상의 4.5m 지점에서 부터 지표면까지 전압크기가 선형적으로 증가하였다.

Key words : Doppler sensor, Active Antenna, Oscillator, Microstrip, Patch

1. 서론

적외선이나 초음파, 레이저들을 이용한 도플러 센서들이 이동체의 거리와 속도, 움직임 등을 측정하는 수단으로 자동차, 의료용, 군사용 및 보안시스템 등에

널리 사용되어 왔다. 이들은 외부 환경의 의존성이 높으며 장치 규모가 크고 고가로 사용에 제한이 있었다. 또한 점차 다양한 응용에 적용되면서 경제적이면서 작고 성능이 우수한 장치의 필요성이 대두되었으며 최근 반도체 기술의 발달로 마이크로파를 이용한 소형 무선 도플러 연구가 진행되었다[1][2]. 그러나 간단한 도플러 레이더 송수신 시스템조차도 송신회로, 수신회로 및 기준발진기 회로 등으로 구성되는 일반적인 양방향 송수신 시스템 구조에서 벗어나지 못해 소형화에 한계를 노출하고 있다.

본 연구에서는 고주파 트랜지스터와 안테나 방사체

*성결대학교 정보통신공학부

(Dept. of Information and Communication Engineering, Sungkyul University)

接受日: 2011年 3月 4日, 修正完了日: 2011年 3月 29日

로 사용되는 공진기를 케환시켜 고주파 발진회로를 구성하는 능동발진 안테나를 설계하였으며 이를 기반으로 도플러 신호를 검출하는 새로운 구조의 소형 무선 도플러 센서를 제안하였다. 이를 통해 근접거리에 있는 이동체의 이동이나 여타 변화는 안테나에서 공간상에 방사된 발진 주파수 천이로 표현되며, 검출회로에서 도플러 신호를 얻어낼 수 있도록 하였다.

본 연구의 구성은 본문에서 제안된 구조의 동작이론을 서술하고 설계하였으며, 이를 토대로 실험결과들을 제시하여 분석하였고, 최종 결론을 도출하였다.

II. 본론

그림 1(a)에 전형적인 소형 도플러 송수신 시스템 구성을 보여준다[3]. 발진기(oscillator)신호를 안테나를 통해 송신하고 이동체에 의해 반사되어 돌아온 수신주파수를 혼합기(Mixer)에서 발진 신호와 혼합하여 기저대역 신호를 얻어낸 후, 증폭 및 여파(filtering)하여 이동체의 거리 또는 속도 등에 대한 신호정보를 얻어낸다. 그러나 이러한 구조는 고주파 신호처리를 위해 발진기, 혼합기, 방향성 결합장치(directional coupler)와 안테나 등이 요구되며 필요에 따라서 증폭장치 등이 추가되기 때문에 회로 크기를 작게 하여 경제적인 도플러 시스템을 구현하는데 한계가 있다.

본 연구에서 기존 방식과는 달리 새롭게 제안된 소형 도플러 센서의 구조는 그림 1(b)과 같다. RF 트랜지스터(transistor)와 연결된 방사패치(patch)는 발진 회로에 필요한 공진기 역할과 안테나의 기능을 겸하고 있다. 즉, RF 트랜지스터와 방사체를 이용하여 2GHz 대역의 고주파 발진신호를 발생시키며 안테나로서 이동체가 있는 공간상에 에너지를 방사시키는 능동발진 안테나를 구현한다. 이는 근역장(near field) 또는 원역장(far field)에 위치한 물체의 이동에 따라 발진주파수 편이(deviation)가 형성된다. 발진주파수의 편이 폭과 편이속도는 능동발진안테나에 연결된 주파수 변별기(discriminator)에서 전압신호 변화로 바뀌며 이는 도플러 신호를 나타낸다. 주파수 변별기는 그림 1(b)과 같이 저역통과여파기(LPF)와 포락선 검파기(envelop detector)로 구성된다. 주파수 변별기의 출력인 도플러신호는 이동체와의 거리나 움직임 특성을 나타내며 도플러 신호처리기(processor)에서 필터링 또는 증폭되는 과정을 거친 후 최종 출력된다.

1. 능동발진안테나의 설계

발진기 회로를 그림 2(a)와 같이 1-포트(port) 부하와 1-포트 능동회로로 연결된 구조로 볼 경우 각각 이들의 1-포트 임피던스를 측정하여 얻어진 전체 임

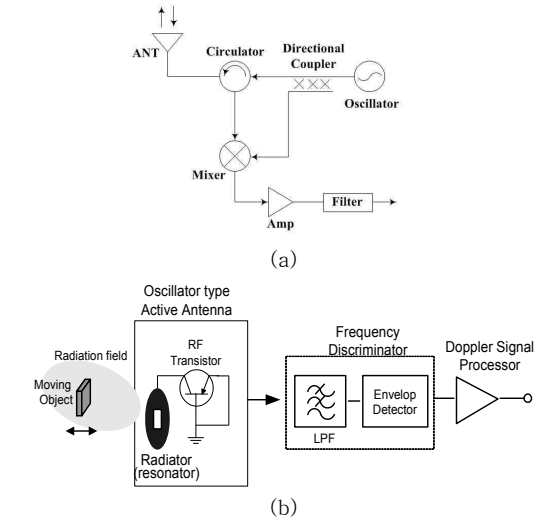


Fig. 1. (a) Typical blocks of a compact doppler sensor
(b) Block diagram of a proposed doppler sensor
그림 1. (a) 전형적인 소형 도플러 센서의 회로 구조
(b) 제안된 구조의 블록 다이어그램

피던스 합은 $Z_{in}(I, w) + Z_L(w)$ 으로 표시할 수 있다. 여기서 허수부 리액턴스가 0을 만족하는 특정주파수 w_0 에서 공진에너지를 갖는 발진이 형성된다.

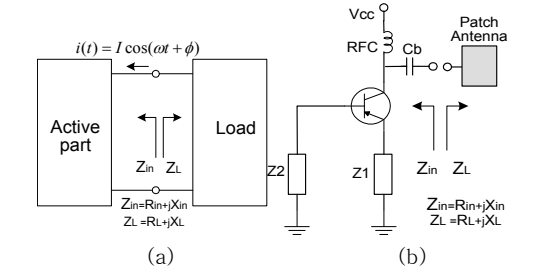


Fig. 2. Oscillation scheme by a series feedback
그림 2. 직렬 케환에 의한 고주파 발진 구조

그림 2(a)에서 발진신호에 해당하는 교류전류 $i(t)$ 의 진폭(I)은 발진초기부터 크기가 지수함수로 증가하게 되며, 능동회로의 실수부 및 허수부는 진폭이 커짐에 따라 변화하고 평형상태에서는 KVL을 적용할 경우

$$(Z_{in}(I, w) + Z_L(w))i(t) = (R_{in}(I, w) + R_L(w) + j(X_{in}(I, w) + X_L(w)))i(t) = 0 \tag{1}$$

을 얻게 되고, $i(t) \neq 0$ 이므로 실수부와 허수부에 대해 다음과 같은 평형 조건을 얻을 수 있다.

$$R_{in}(I, w) + R_L(w) = 0 \tag{2}$$

$$X_{in}(I, w) + X_L(w) = 0 \tag{3}$$

대신호 평형 상태에서 발진주파수는 (3)식으로 결정되며, 초기 발진상태인 소신호 발진주파수와는 다소 다를 수 있다. 또한 초기 발진에너지를 얻어내기 위해 R_{in} 은 (2)식 조건보다 약 3배정도의 부정저항이 확보되어야 한다.

그림 2(b)에 본 연구의 직렬레환 발진회로의 설계 개념도를 보여준다. 능동회로의 출력단에 발진기의 공진기로 사용되는 방사 패치(patch)가 연결되었다. 연결단자에서 방사체를 바라본 임피던스를 Z_L , 능동회로를 바라본 임피던스를 Z_{in} 이라 할 때 발진조건은 (2)(3) 식을 만족해야 한다. 본 연구에서는 방사패치를 설계할 때 방사체의 공진주파수에서 부하단 리액턴스(X_L)가 zero 가 되도록 하고, 부하 저항이 $R_L = 50\Omega$ 되게 한다. 또한 직렬레환 소자 임피던스 $Z1$ 와 배이스 임피던스인 $Z2$ 값을 이용하여 방사체의 공진주파수에서 능동회로의 임피던스 $Z_{in} = R_{in}$ 이 되도록 한다. RFC는 전원공급용 인덕터를, Cb는 방사패치를 연결하기 위한 블로킹(blocking) 캐패시터이다. 그림 3에 2.4GHz 대역에서 발진 주파수를 얻을 수 있도록 설계된 회로를 보여준다. 회로의 우측 종단에 방사패치(patch radiator)를 볼 수 있다. 이 회로는 그림 4와 같이 상용 툴인 Ansoft design을 이용하여 시뮬레이션(simulation) 되었으며 발진 프로브(probe)를 이용하여 발진 예상 주파수에서 부정 저항값과 임피던스의 리액턴스(reactance)가 zero가 되는 것을 확인하였다. 이 조건에 맞는 주파수로 2.44GHz가 얻어졌다. 그림 5와 같이 하모닉 발란스(harmonic

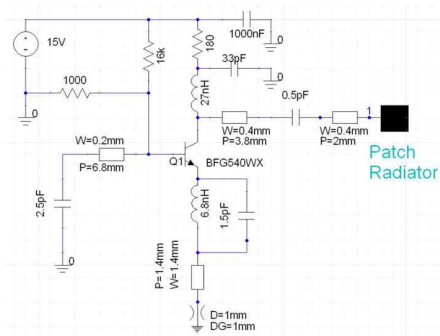


Fig. 3. Oscillation circuit combined with a resonator
그림 3. 공진기와 결합된 발진회로

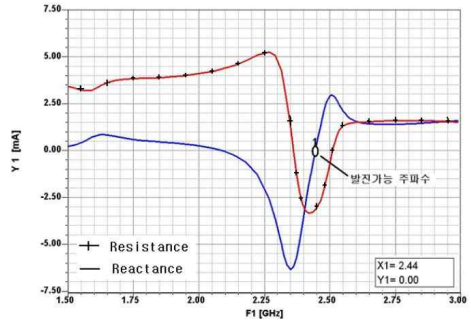


Fig. 4. Simulated oscillation conditions of an oscillator
그림 4. 발진조건 시뮬레이션결과

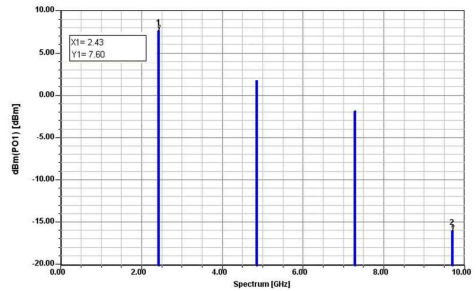


Fig. 5 Simulated frequency spectrum of an oscillator
그림 5. 발진회로의 주파수 스펙트럼 시뮬레이션

balance) 기법에 따른 비선형 시뮬레이션을 실행함으로써 발진 신호에 대한 최종 주파수 스펙트럼을 얻어내고 주파수를 확인한다. 2.43GHz에서 약 8dBm의 출력력을 볼 수 있다. 그림 3 발진회로의 우측종단에 있는 공진기인 Patch radiator는 전자파 전력을 공간에 방사하는 방사체로서 안테나 특성을 나타낼 수 있어

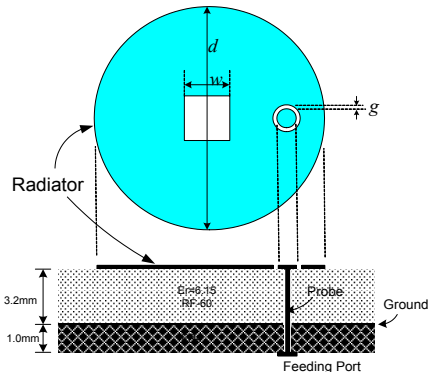


Fig. 6. Geometry of a microstrip patch radiator
그림 6. 마이크로스트립 방사패치 구조

야 한다. 또한 이동체의 위치나 움직임을 충분히 포착할 수 있는 전 방향 지향성을 나타내야 하고 소형 도플러 센서에 적합한 구조이어야 한다. 이를 위한 방사체에 적합한 구조를 그림 6에 제안하였다. 전통적인 원형 마이크로스트립 패치의 내부에 정사각형 빈 공간을 두고 이를 45도 회전한 구조이다[4][5]. 한 변의 길이가 w 인 사각형 빈 공간은 방사체를 기구에 고정하기 위한 지지대를 삽입시킬 수 있게 할 수 있을 뿐 아니라 전류 경로를 길게 하여 안테나를 작게 한다. 방사체의 급전은 프로브급전(probe feeding) 방식이며, 급전 부 주위에 간격 g 의 원형 gap을 두어

급전선로에 따른 인덕턴스 성분을 상쇄하여 임피던스 정합을 용이하게 하였다. 설계된 패치는 직경이 약 24mm다. 그림 7은 원거리 방사패턴에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. E면 방사패턴은 90도의 빔폭을 가지고 있으며, H면 방사패턴은 약 130 이상의 빔폭을 나타낸다. 사용된 툴에서는 무한 접지면을 기준으로 시뮬레이션한 결과이며, 제품의 소형화에 따라 접지면을 제한할 경우 전자파 전력의 누수가 커져 접지면 아래로 부엽이 커질 것으로 예상된다.

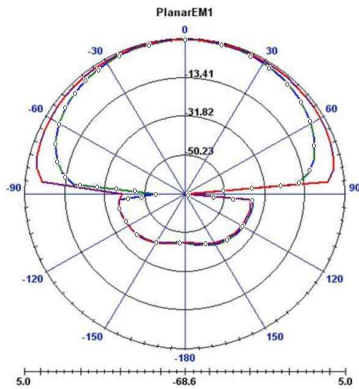


Fig. 7. Simulated radiation pattern of a radiator (dotted line: E plane, solid line: H plane)
 그림 7. 방사체의 방사패턴 시뮬레이션결과 (점선은 E 면, 실선은 H면)

2. 도플러신호의 검출회로 설계

안테나의 방사에너지가 분포되어 있는 근접 또는 원거리 영역에 존재하는 물체의 재료나 크기 등에 의해 임피던스를 비롯한 방사특성들이 변화된다[6][7]. 특히, 그림 8(a)과 같이 안테나의 방사체가 발진기 구성요소인 공진기로 사용되어 발진주파수를 결정하는 구조에서는 방사체 주변의 이동체(moving object)의 움직임이 방사체의 입력임피던스(Z_m)를 변화시켜 발진주파수의 편이(deviation)를 가져온다. 그림 8(a)에 이를 등가적으로 표현하였다. 캐패시터 C_b , RF transistor 및 임피던스 Z_1, Z_2 는 발진기의 능동회로들을 상징적으로 표시한 소자들이며, Z_m 은 A-A' 단자에서 방사체를 바라본 임피던스이다. 그림 8(b)에서는 이동체의 움직임에 따라 방사체 양단자의 입력 임피던스(Z_m)의 변화를 등가적으로 표현하였다. Z_m 의 변화는 식(3)에서 주어지는 발진주파수를 변화시켜 발진 주파수의 편이(deviation) 현상을 가져온다. 이는 그림 9(a)에서 살펴볼 수 있다. 즉, 이동체의 위치변경에 따라 발진주파수 편이(deviation) 폭이 변하고, 접근 속도에 따라 주파수 편이 속도가 달라지는 도플러 특성을 능동 발진안테나의 발진신호가 나타나고 있다. 그림 9(a)에서는 능동발진 안테나가 발진 중심주파수(f_0)를 중심으로 f_1 에서 f_2 까지 이동한 것을 보여주며 이의 주파수

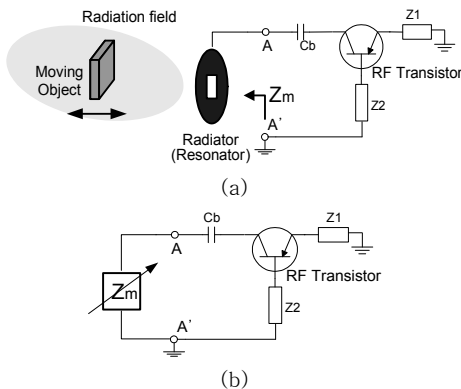


Fig. 8. Oscillation freq. deviation over a moving object (a) mobile object in the field (b) equivalent circuit
 그림 8. 이동체 접근에 따른 발진주파수 편이 (a) 방사체 내의 이동체 움직임, (b) 등가회로

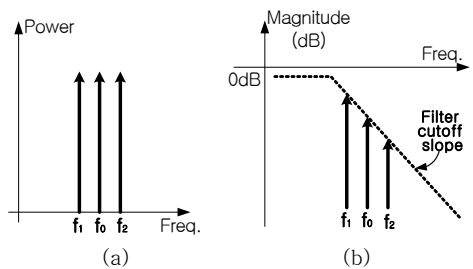


Fig. 9. (a) Frequency deviation of an oscillator (b) Frequency discrimination by a low pass filter
 그림 9. (a) 발진기의 발진주파수 편이현상 (b) 저역통과 필터를 이용한 주파수 변별

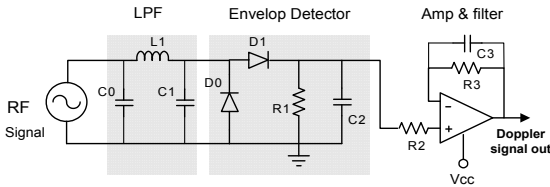


Fig. 10. A block diagram of doppler signal detector
 그림 10. 도플러 신호 검파회로의 블록 구조

변화를 전압크기 등으로 변화시키기 위해서 그림 9(b)처럼 저역통과 필터의 차단 경사면을 이용하게 되면 주파수 변별(discrimination) 능력을 갖게 된다. 이때 필터종류는 중요하지 않으며 필터의 차단 경사가 예리한 특성을 가져야 주파수변별 능력이 향상된다. 능동발진안테나의 출력 단자에 그림 10처럼 도플러 신호의 검출회로를 연결하였다. 그림 10에서 좌측의 RF signal은 이동체의 움직임을 반영하여 발진 주파수가 천이되는 능동발진 안테나 출력 신호이다. 인덕터(L1)와 2개의 캐패시터(C0, C1)로 구성되는 저역통과여파기(LPF)의 차단영역의 경사(slope)에 따라 주파수변화가 전압크기 변화로 전환된다. 이때 필터의 차단기울기가 중요한데 구성소자들의 높은 Q(quality factor)값이 요구된다. 필터 출력은 포락선 검파기(envelop detector)를 통해 도플러 신호로 검출된다. 2개의 다이오드(D0, D1)에 의해 검파효율이 배가된다. 이들 저역통과 여파기(LPF)와 포락선검파기에 의해 일종의 주파수변조 신호에 대한 주파수 변별(discriminator) 기능을 수행한다. 포락선 검파기 출력 신호는 최종단의 OP Amp를 이용한 능동 필터(filter) 회로에서 전압신호크기가 증폭되며 잡음이 제거된다.

III. 제작 및 실험결과

제작된 무선 도플러 센서의 보드별 사진을 그림 11에 나타내었다. 능동 발진기에 적용될 고주파 소자는 Philip사의 BFG540WX를 이용하였다. 그림 11(a)는 마이크로스트립 선로를 이용한 패치(patch) 구조의 방사체로 유전율 6.15, 기판높이 3.2mm 인 Taconic 사의 보드를 사용하였다. 그림 11(b)은 높이 1mm 인 경제적인 FR4 보드를 사용하여 고주파 발진회로와 도플러 신호의 검출을 위한 회로들이 구현되었다. 이들은 모두 직경이 30mm인 원형이며, 이들 사이는 그림 11과 같이 2개의 연결점(connection points)을 0.5mm 직경의 와이어를 통해 연결한 프로브(probe) 급전방식이다. 그림 12에서는 2개의 보드를 기구(mechanical housing)에 체결하여 제작한 도플러 센

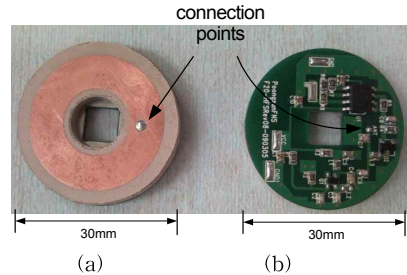


Fig. 11. Photos of the fabricated proto
 (a) radiator board, (b) circuit board
 그림 11. 제작된 시제품의 보드별 조립사진
 (a)방사체, (b)회로부(발진회로 및 검파회로)

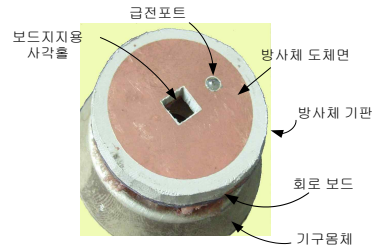


Fig. 12. Photo of circuit boards assembled with housing
 그림 12. 결합된 2개의 보드와 기구와의 조립 사진

서의 사진을 볼 수 있다. 방사체 보드와 회로보드는 접지면이 공유되도록 back to back 연결을 하고 있다.

능동발진 안테나의 방사특성은 간이 무반사 실 (5.1x4.1x2.5m³)에서 실험하였다. 그림 13의 (a)와 (b)에 각각 E 면과 H 면의 전 방향 방사패턴에 대해 측정된 결과를 보여준다. H면의 경우 약 130도의 3dB 빔폭을 나타내며 시뮬레이션 결과와 유사한 결과를 보여주나 E면의 경우 급전구조와 작은 접지면 등으로 인해 빔폭이 넓어졌다. 안테나 소형화를 위해 접지면을 줄인 결과, 그림 13(a)에서 후방 방사량이 커진 것을 볼 수 있다. 전체 이득은 약 4dBi로 시뮬레이션 결과와 유사하다. 그림 14는 능동발진안테나의 발진 특성을 측정된 결과이다. 출력이 작은 것은 고주파 발진회로의 출력 단자가 별도로 없어 공간상의 전력을 간접 측정하였기 때문이다. 발진 주파수는 설계 결과보다 약간 작은 2.373GHz 이다.

본 연구에서 제작된 능동발진 안테나 방식의 도플러 센서(이하 도플러 센서라 약칭함)의 특성은 실험 및 측정환경 등을 고려하여 다음 2가지 방법으로 제한되어 측정되었다. 도플러 센서를 특정위치에 고정시키고 이동체를 나타내는 일정크기(20x20cm²)의 도체 판을 이동하는 방법과, 도플러 센서를 지표면에

부착된 도체 망(mesh)위에서 자유 낙하시키는 방법을 이용하였다.

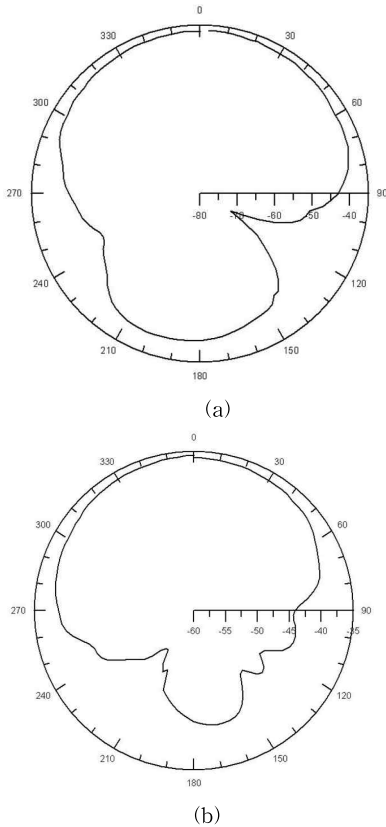


Fig. 13. Measured radiation pattern
 (a) E-plane, (b) H-Plane
 그림 13. 안테나의 방사특성 측정결과
 (a) E-plane, (b) H-Plane

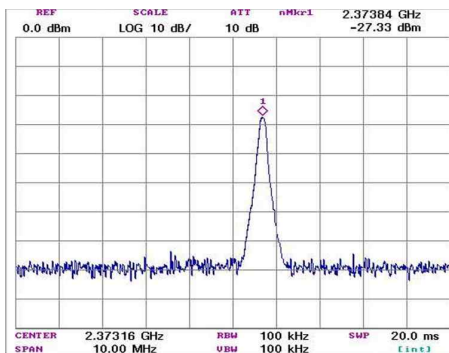


Fig. 14. Measured oscillation waveform
 그림 14. 제작된 발진기의 발진신호 측정결과

먼저 도플러 센서를 고정시키는 방법은 그림 15와 같이 간이 무반사 실내에서 실험하여 외부 간섭신호를 최대한 억제하였다. $20 \times 20 \text{cm}^2$ 크기의 도체판을 이동시켜 거리 변화에 따른 도플러 센서의 감도를 확인한다. 즉, 고정된 도플러 센서와의 이격거리(D) 0.5m와 1m 사이에서 전·후 왕복한다. 오실로스코프로 도플러 신호 주파수의 시간축 파형을 측정하였고 그림 16에서 $D=1\text{m}$ 일 때 그 결과를 나타냈다. 이와 동시에 스펙트럼(spectrum)분석기를 이용하여 고주파 발진신호의 주파수 편이(deviation)를 측정하였다. 그림 16에서 파형의 첨두치들 사이 값(peak to peak)이 도플러 신호의 크기이며, 반복 신호의 주기를 통해 이동체의 속도를 계산할 수 있다. 표 1에 이들의 측정결과를 정리하였다. 이때 고주파 발진 중심주파수는 약 2.373GHz 이다. 0.5m 와 1m 두지점 사이의 도플러 신호 크기와 주파수 편이 차이가 확연히 구분되는 것을 알 수 있으며, 발진 주파수 편이(deviation)가 클수록 비례하여 도플러신호 전압이 커진다.

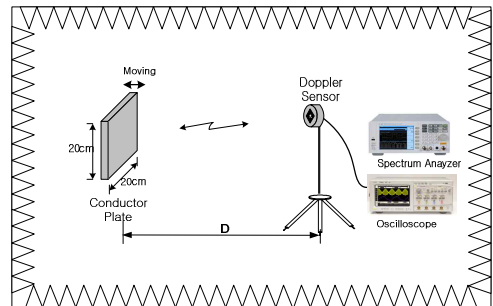


Fig. 15. Test setup in the anechoic chamber
 그림 15. 무반사 챔버 내의 측정환경

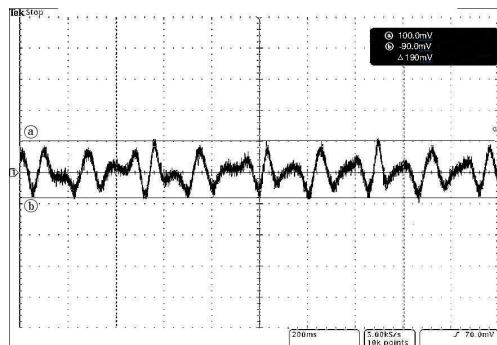


Fig. 16. Time axis waveform of measured doppler signal
 그림 16. 측정된 도플러 신호의 시간축 파형

Table 1. Measured doppler signal magnitude
표 1. 도플러신호 측정결과(도플러센서 고정)

센서와의 거리(D)	발진주파수 편이	도플러 신호크기
0.5m	700KHz	420mV
1m	300KHz	190mV

두 번째로 도플러 센서를 자유낙하 시켜 도플러 신호를 측정하기 위해 지표면에 8x8m² 크기를 갖는 도체망(mesh)을 놓고 바로 위의 7미터 높이에서 자유 낙하시킨다. 이때 도플러 센서 출력단에 X-Y plotter를 연결하여 도플러 신호를 측정한다. 낙하시험을 통해 측정된 출력 결과를 그림 17에 나타내었으며 그림에서 가로축은 시간 변화를 나타내며 지표면으로 부터 거리를 도플러 신호 파형위에 직접 표기하였다.

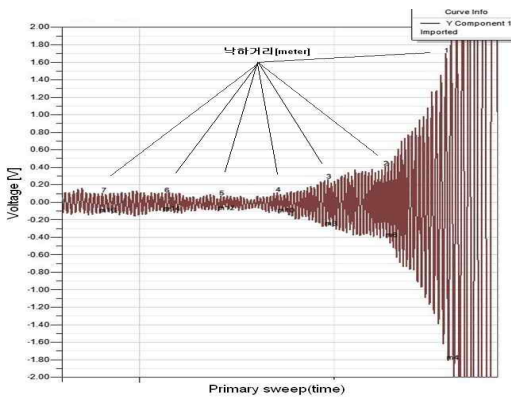


Fig. 17. Doppler signal measured during free fall
그림 17. 자유낙하시 도플러신호 크기 측정결과

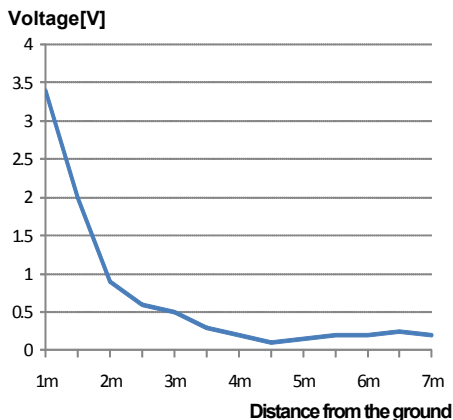


Fig. 18. Doppler signal magnitude over distance to ground
그림 18. 접지면 거리에 따른 도플러신호 크기

그림에서 낙하가 진행되어 지면에 접근할수록 신호의 크기가 커지는 것을 알 수 있으며 파형의 주기를 통해 낙하속도를 계산할 수 있다. 그림 18에 이를 다시 지표면 높이에 대한 도플러 신호를 전압으로 표시하였으며 지표면 높이 4.5미터 이하부터는 거리에 따른 선형성도 어느 정도 확보하고 있어 전압크기로 부터 이동체의 접근 거리를 유추해볼 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 이동체들의 거리나 속도들을 측정하는 소형 무선 도플러 센서를 제안하였다. 이를 위해 도플러 신호 감지를 위한 고주파 발진회로와 패치 안테나를 결합시켜 소형화된 능동 발진안테나를 설계하였고 도플러 검출회로와 결합된 시스템 구현을 통해 동작을 확인하였다. 설계·제작된 능동발진 안테나는 2.373GHz에서 약 130도의 빔폭을 가지며 전방향 방사특성을 나타내었다. 또한 2개의 보드들이 결합되어 제작된 무선 도플러 센서는 직경이 30mm, 높이 4.2mm 정도로 매우 작은 크기를 갖는다. 한편 센서의 감도 측정결과, 이동체를 나타내는 도체판이 1m 떨어져 있을 때 최소 190mV의 도플러 신호전압이 측정되었고, 무선 도플러 센서를 자유 낙하시켰을 때 지표상의 4.5m 높이에서 지표면까지 선형적인 전압크기의 증가를 보이며 거리나 속도 측정에 적용될 수 있는 가능성을 나타냈다.

그러나 제안된 도플러 센서가 이동체와의 접근 거리, 속도나 기타 움직임들을 정확하게 얻어내기 위해서는 고주파회로에서 원거리 감도개선과 선형성의 확대 및 도플러 신호를 검출하는 신호처리방법이 개선되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] R.H. Rasshofer and E.M. Biebl, "A Direction Sensitive, Integrated, Low Cost Doppler Radar Sensor for Automotive Appl.," *IEEE MTT-S Digest*, pp1055-1058, 1998

[2] J.Y. Lee, K.B. Lee and S.H. Choi, "A design of motion detecting sensor using microwave," *Proceeding of APMC 2007*, pp.1-4, 2007

[3] 한석균, "차량감지용 FMCW 레이더의 단일평형 다이오드 주파수 혼합기 설계 및 제작," 한국전자과학회 논문지, 제14권, 제12호, pp.1335-1340, 2003.

[4] Wen-Shyang Chen, "Single feed dual frequency rectangular microstrip antenna with square slot," *Electronic Letters*, Vol.34 No.3, Feb. 1998

- [5] 윤기호, "UHF RFID Reader용 사각환형 소형능동 안테나," 한국전자과학회논문지, 제 18권, 제3호, pp.315-322, 2007
- [6] D. M. Dobkin and S. M. Weigand, "Environmental Effects on RFID Tag Antennas," *IEEE MTT-S Intl Microwave symposium digest*, pp. 135-138, 2005
- [7] T. Onishi and K. Ito, "Consideration on the Characteristics of Antennas Close to Lossy Objects," *IEEE AP International symposium*, vol. 1, pp. 440-443, 2002

저 자 소 개

윤 기 호 (정회원)


1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1986년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1999년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1985년 1월 ~ 1997년 2월 : 삼성종합기술원, 삼성전기 근무

1997년 3월 ~ 2009 2월 : 호남대학교 전파공학과 부교수

2009년 3월 ~ 현재 : 성결대학교 정보통신공학과 조교수
 <주관심분야> RF 능동 및 수동회로/시스템, 안테나