

거리 측정 정확도를 개선한 AM 레이더 모듈 설계

Design of an AM Radar Module with Improved Range Accuracy

최문각 · 우동식 · 강일흥 · 노형우 · 김강욱

Mun-Gak Choi · Dong-Sik Woo · Il-Heung Kang · Hyung-Woo No · Kang-Wook Kim

요 약

일반적으로 레이더 시스템은 제한된 주파수 대역폭에 의해 거리 측정의 정확도가 결정된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 AM(Amplitude Modulated) 레이더의 사용을 제안하였다. AM 레이더는 CW(Continuous Wave) 레이더의 일종으로 반송파와 진폭 변조된 양측파대 신호를 사용한다. AM 레이더는 펄스나 FMCW(Frequency Modulated CW) 등 타 방식의 레이더 시스템에 비해 좁은 주파수 대역폭을 사용하면서도 거리 측정 정확도를 개선할 수 있다. 제작된 AM 레이더 모듈은 중심 주파수 24.128 GHz에서 20 MHz의 주파수 대역폭을 사용하며 +10 dBm의 출력 전력으로 복사하며, 수신단은 35 dB의 이득을 가진다. 실험을 통해 얻어진 거리 측정 정확도는 약 ±15 cm이다.

Abstract

With limitation of frequency bandwidth, the range accuracy of typical radars is limited. In this paper, for short distance measurements, the use of an AM(Amplitude Modulated) radar which provides improved range accuracy is proposed. The AM radar signal consists of a carrier frequency signal and double-sideband components. The fabricated AM radar operates with +10 dBm output power and 35 dB receiver gain at 24.128 GHz center frequency with 20 MHz bandwidth, and the range accuracy is measured as ±15 cm.

Key words : Radar, Amplitude Modulated(AM), Short-Range, Range Accuracy

I. 서 론

레이더(Radar, Radio Detection And Ranging)는 물체에 전자파를 방사하여 되돌아오는 반사파에 의해 목표의 존재 유무, 거리, 상태 등을 확인하기 위한 무선 장치를 말한다^[1]. 레이더의 송신부로부터 방사된 송신 신호의 일부는 목표물에 반사되어 전 방향으로 재 방사되게 된다. 레이더의 수신 안테나는 이런 반사 에너지를 끌어 모아 수신기로 보내고, 수신기는 물체를 탐지하고 위치 및 상대 속도를 산출해 내기 위해 이 신호를 처리하게 된다. 목표물까지의 거리는 레이더 신호가 목표물로부터 송출되어 되돌

아오는데 걸리는 시간 혹은 위상을 산출함으로써 결정할 수 있다^[2].

레이더의 중요한 특성으로는 측정된 거리에 대한 정확도를 나타내는 거리 측정 정확도(range accuracy), 다중 목표물이 존재할 때 타 목표물과 구분할 수 있게 하는 거리 분해능(range resolution), 거리 측정 모호성 이내의 거리 측정 범위 및 속도 측정의 정확성 등이 있다. 또한, 레이더의 수신단에 목표물 이외의 간섭 에코에 해당하는 전파 장애물(clutter)에 의한 신호가 존재할 때, 이를 제거해 낼 수 있는 능력도 레이더의 매우 중요한 특성이라 할 수 있다.

거리 측정의 정확도 및 거리 분해능은 레이더가

경북대학교 전자전기컴퓨터학부(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20100604-10S

· 교신저자 : 김강욱(e-mail : kang_kim@ee.knu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 8월 5일

사용하는 주파수 대역에 비례하게 된다. 즉, 레이더의 사용 주파수 대역이 넓으면 거리 분해능이 향상되는데, 펄스 레이더 및 FMCW 레이더의 경우 거리 분해능 ΔR 은 $c/(2B)$ 로서 표현되며, 여기서, c 는 빛의 속도, B 는 레이더의 주파수 대역을 의미한다. 그러나 세계 각국 정부의 주파수 규제에 의해 거리 측정을 위해 넓은 주파수 대역의 사용이 일반적으로 허락되지 않고 있으며, 우리나라에서는 현재 물체 감지 무선 센서용으로 24.05~24.25 GHz의 200 MHz의 대역폭이 허용되어 있는데^[1], 이 경우 거리 분해능은 75 cm 정도이고, 거리 측정 정확도도 비슷하게 얻어진다. 물론, 응용 분야에 따라 이와 같은 정도의 거리 측정 정확도라도 충분한 경우도 많을 수 있지만, 레이더 센서를 차량 등에 적용하여 후방 탐지 센서 혹은 주차 보조 센서로 활용하거나, 고층 빌딩의 움직임 혹은 교량의 움직임 등을 측정하고자 할 때에는 수 cm 이내의 거리 측정 정확도를 요구하게 된다. 그러나 일반적으로 사용되는 펄스 레이더나 FMCW 레이더 센서로는 허용 주파수 대역 내에서 수 cm 이내의 거리 측정 정확도를 만족시킬 수 없으며, 제한된 협대역 초고주파 신호를 사용하면서 수 cm의 이내의 고정밀 측정을 위한 저가격 레이더 센서가 현재까지 개발되지 않은 상태이다.

본 논문에서는 협대역의 주파수 대역을 사용하면 서도 단거리에서 거리 측정 정확도가 우수한, 다중 주파수 CW 레이더의 일종인 AM 레이더 센서의 동작 원리와 실험 결과를 보여주고 있다. 논문의 순서는 먼저 AM 레이더의 원리와 특징을 살펴본 후, 설계시에 고려된 사항들을 설명하며, 실제 제작된 모듈을 이용하여 모의 시뮬한 결과와 그 결과를 고찰하는 순으로 되어 있다.

II. AM 레이더의 원리와 특징

2-1 AM 레이더의 원리

간단한 AM 레이더의 구조를 그림 1에서 보여주고 있다. AM 레이더에서 발생하는 신호는 반송파 신호(f_0), 상측파대 신호($f_0 + f_m$), 하측파대 신호($f_0 - f_m$)로서 이루어져 있다. 이러한 진폭 변조 신호는 아날로그 통신 DSB-TC(Double Sideband - Transmitted Carrier)의 신호와 동일하고, 식 (1)로 표현할 수

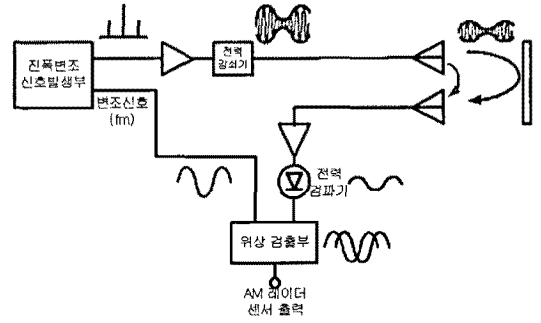


그림 1. AM 레이더의 블록도
Fig. 1. Block diagram of an AM radar.

수 있다.

$$S_{TX} = A[1 + m \cdot \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

이때 m 은 진폭 변조 지수이고, A 는 반송파 신호의 진폭을 나타내는 상수이다. 목표물을 향해 송신되는 진폭 변조된 RF 신호는 거리 R 을 진행한 후 목표물로부터 반사되고, 이 반사된 신호 전력의 일부를 수신 안테나를 통해 수신하게 된다. 이때 목표물로부터 반사되어 수신된 진폭 변조 신호는 목표물까지의 거리 R 을 왕복으로 전파하는 동안 위상 지연이 발생하게 되고, 이는 식 (2)로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{RX} &= B[1 + m \cdot \cos(2\pi f_m(t - t_d))] \cos(2\pi f_0(t - t_d)) \\ &= B[1 + m \cdot \cos(2\pi f_m(t - \frac{2R}{c}))] \cos(2\pi f_0(t - \frac{2R}{c})) \\ &= B[1 + m \cdot \cos(2\pi f_m t - \frac{4\pi f_m R}{c})] \cos(2\pi f_0 t - \frac{4\pi f_0 R}{c}) \end{aligned} \quad (2)$$

이때 B 는 수신된 신호의 크기에 비례하는 상수이다. 이 수신된 신호를 전력 검파기 및 저역 대역 필터를 통과하게 하여 얻어지는 신호는 진폭 변조된 반송파의 포락선 신호로서 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$S_{FE} \approx C \cos\left(2\pi f_m t - \frac{4\pi f_m R}{c}\right) \quad (3)$$

이때 C 는 상수이다. 따라서 수신 신호의 포락선 신호와 기준 변조 신호의 위상을 비교하면 거리를 측정할 수 있다. 즉, 수신 신호의 포락선과 기준 변조 신호의 위상차는 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$\Phi_m = \frac{4\pi f_m R}{c} \quad (4)$$

따라서 AM 레이더 센서를 사용하여 위상차를 측정하면, 목표물까지의 거리 R 은 식 (5)로서 구할 수 있다.

$$R = \frac{c \cdot \Phi_m}{4\pi f_m} \quad (5)$$

이 경우, 위상차 검출의 정밀도에 의하여 거리 측정 정확도(range accuracy)가 결정된다. 이러한 위상차는 반송파 신호의 주파수에 상관없이 포락선의 주파수(진폭 변조 주파수)에 의해 결정된다. 또한 AM 레이더 송신 신호의 다중의 주파수 성분들이 동일한 목표물 지점으로부터 동시에 반사되기 때문에 도플러 주파수 천이에 대한 효과를 거의 없앨 수 있어, 순수하게 목표물까지의 거리를 측정할 수 있는 장점이 있다^[4].

2-2 거리 측정 정확도, 모호성 및 오차의 원인

AM 레이더 센서에서는 수신 후 복조된 변조 신호의 위상 오차가 거리 측정의 정확도로서 나타나게 된다. 예를 들면, 위상 오차가 2° 이고, 변조 주파수 (f_m)가 10 MHz라고 할 때, 거리 측정 오차는 식 (6)과 같이 8.3 cm로 계산된다.

$$\Delta R = \frac{(3 \cdot 10^8)(2 \cdot \pi / 180)}{4\pi(10 \cdot 10^6)} = 8.3 \text{ cm} \quad (6)$$

위상 측정 오차가 일정하다고 할 때 거리 측정의 정확도를 높이기 위해서는 변조 주파수를 높이면 된다. 즉, 위상 측정 오차가 2° 로 일정하고, 변조 주파수 (f_m)가 20 MHz로 두 배가 되면, 거리 측정 정확도는 절반인 4.2 cm로 줄어들게 된다. 한편, AM 레이더는 송·수신 주파수가 같고, CW(Continuous Wave) 방식의 시스템이므로, 필연적으로 송·수신단 간의 누설 전력이 존재한다. 이러한 누설 전력을 고려한 수신 신호는 식 (7)과 같이 표현되는데, 여기서 α 와 β 는 각각 수신 전력과 누설 전력의 비율을 의미한다. 이러한 누설 전력은 결과적으로 위상 오차를 야기하게 된다. 표 2에서 정리한 바와 같이 허용되는 위상 오차가 $\pm 3^\circ$ 라면 수신 전력은 누설 전력보다 적어도 10 dB 이상 커야만 한다^[6].

표 1. α 와 β 의 비에 따른 위상 오차^[6]

Table 1. Phase error by fraction of α and β ^[6].

α/β	6 dB	10 dB	14 dB	20 dB
위상 오차	$\pm 7.3^\circ$	$\pm 2.9^\circ$	$\pm 1.2^\circ$	$\pm 0.3^\circ$

$$S_{RX} = B e^{j2\pi f_0 [t - 2(R/c)]} \{ \alpha [1 + m \cos 2\pi f_m (t - 2\frac{R}{c})] + \beta [1 + m \cos 2\pi f_m (t - 2\frac{R}{c})] e^{j2\pi f_0 2(R/c)} \} \quad (7)$$

한편, AM 레이더 센서의 위상 측정에 있어서 2π 불확실성에 의해 거리 측정에 대한 모호성이 발생하는데, 송신 신호와 수신 신호의 포락선 신호의 위상차가 2π 를 초과하면, 단일 주파수의 진폭 변조 신호의 포락선과 기준 변조 신호의 위상차로서는 거리를 정확하게 측정할 수 없게 된다. 하나의 예로서 변조 주파수를 10 MHz라고 할 때 거리 측정에 대한 모호성이 없는 최대 측정 거리는 15 m가 된다. 목표물의 거리가 이 거리보다 더 원거리일 때에는 거리 측정에 대한 모호성이 발생하게 되는데, 이러한 모호성을 해결하기 위한 방안으로는 2개의 변조 주파수를 이용하여 두 주파수의 차이에 해당하는 거리만큼 모호성 없이 측정이 가능하다^{[4][5]}. 예를 들어 10 MHz와 10.1 MHz의 주파수를 이용한다면, 차 주파수인 0.1 MHz에 해당하는 1.5 km까지 모호성 없이 측정할 수 있게 된다.

III. AM 레이더 설계

AM 레이더는 그림 2와 같이 크게 3가지 블록으

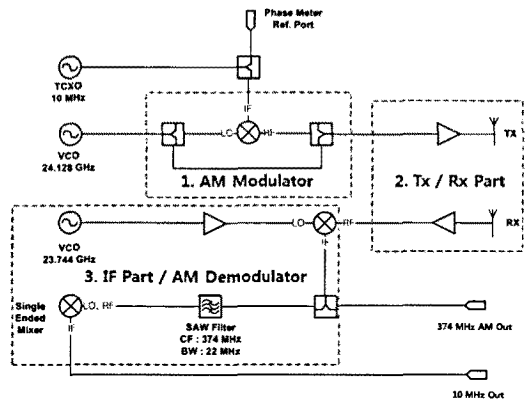


그림 2. 24 GHz AM 레이더의 블록도
Fig. 2. Block diagram of the 24 GHz AM radar.

로 나누어 설계되었다. AM 신호를 생성해 내는 AM 변조부와, 둘째는 안테나를 분리하여 설치한 송수신부, 그리고 마지막으로 IF 및 AM 신호 복조부이다. 본 논문에서는 진폭 변조 신호의 주파수는 10 MHz로, 반송파 주파수는 방통위에서 물체 감시 센서용으로 허용한 대역인 24.128 GHz로 선정하였다.

3-1 AM 변조부

본 논문에서는 AM 변조기를 RF 혼합기와 전력 분배기를 이용하여 구현하였다. 다른 변조 방식으로 전압 조절형 가변 감쇄기의 역할로서 PIN 다이오드를 이용하여 AM 변조기 구현이 가능하지만, 이 방법은 감쇄기의 비선형성 때문에 불요 신호를 유발하게 되어 변조도를 조정하기가 어렵다. 24.128 GHz의 신호원으로부터 나온 신호를 두 패스로 나누어서 하나는 혼합기의 LO로 사용하고, 다른 하나는 AM 신호의 캐리어로 사용한다. RF 혼합기의 IF 단에 10 MHz의 신호를 인가하면 RF 단에는 $24.128 \text{ GHz} \pm 10 \text{ MHz}$ 의 두 가지 신호가 나오게 되는데, 이것과 캐리어 신호를 전력 분배기를 통해 합치게 되면 결과적으로 그림 3의 스펙트럼과 같이 DSB-TC AM 신호가 된다.

AM 변조기와 증폭기를 통과한 후 안테나로 복사되는 신호의 전력은 중심 주파수(f_0) 24.128 GHz에서 약 +10 dBm이고, 양측파대 신호($f_0 \pm f_m$)의 전력은 10 dBc 차이가 나도록 하였다. 이때의 변조도(modulation index, μ)는 약 32 %이다.

3-2 송수신부

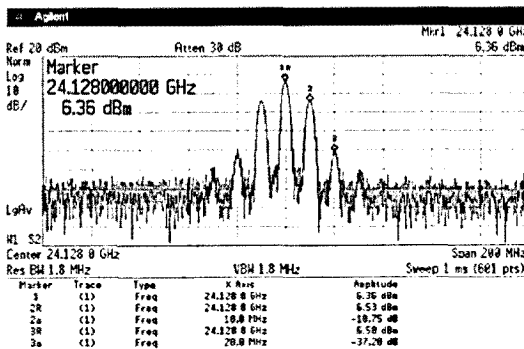
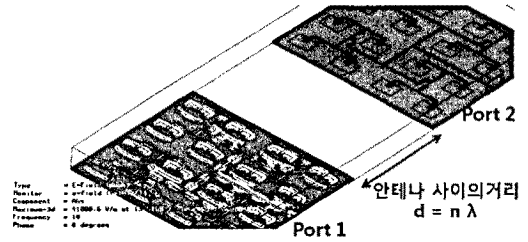
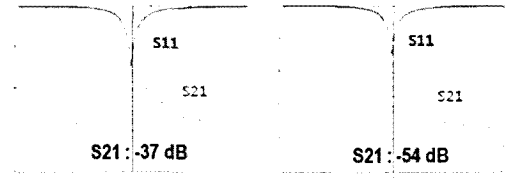


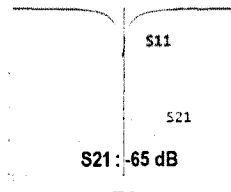
그림 3. AM 변조 회로의 신호 스펙트럼
Fig. 3. Signal spectrum of the AM modulation circuit.



(a) 안테나 시뮬레이션
(a) Configuration of the proposed antenna simulation



(b) $d=1 \lambda$ (c) $d=2 \lambda$



(d) $d=3 \lambda$

그림 4. 두 개의 패치 안테나 사이의 결합도
Fig. 4. Antenna coupling between two 4x4 patch antennas.

2-2절에서 누설 전력이 위상 오차를 유발함을 언급하였다. 따라서 송·수신 안테나를 단일 안테나로 사용하는 Monostatic 방식으로는 만족할 만한 수신 전력 대 누설 전력의 비율을 유지하기 힘들다. 그러나 송·수신 안테나를 각각 따로 사용하는 Bistatic 방식은 두 안테나 사이의 거리에 따라 누설 전력이 결정된다. 따라서 본 논문에서는 신호 대 누설 전력 비를 높이기 위하여 Bistatic 방식을 사용하였다. 그림 4에서는 본 논문에서 사용된 두 개의 4x4 패치 안테나 사이의 이격 거리에 따른 결합도의 정도를 3-D EM 시뮬레이터인 CST Microwave Studio™를 사용하여 예측한 결과를 보여주고 있다. S_{21} 이 두 안테나 사이의 결합도를 의미하며, 송수신 안테나 간의 누설 전력의 양을 나타내게 된다.

3-3 IF단 및 AM 신호 복조부

DSB-TC AM 신호의 복조는 일반적으로 Square Law 검파기를 이용한 포락선 검파가 이용된다. 반송파의 주파수를 중심으로 진폭 변조된 신호는 주파수 대역이 좁아, 목표물로부터 반사되는 신호의 경우 양측파대 신호의 크기가 같을 것으로 예상하였으나, 실제로는 반사체의 각도에 따라 수신 신호의 상측파대(USB: Upper Side Band)와 하측파대(LSB: Lower Side Band)가 번갈아가며 커지고 작아지는 현상이 발생함을 관찰하였다. 그러나 USB 및 LSB의 신호의 크기가 다른 상태에서 수신 신호를 포락선 검파를 하게 되면 위상의 오차를 유발하게 된다. 따라서 본 논문에서는 수신된 DSB-TC AM의 스펙트럼 중 USB 신호를 제거하고, Single Ended Mixer를 통해 반송파와 LSB 신호를 혼합하여 10 MHz의 신호를 복조하였다. 그림 5(a)에는 USB 신호가 필터를 통해 제거된 측정 신호를 보여주고 있고, 그림 5(b)는 복조된

10 MHz 신호와 기준 10 MHz 신호 간의 위상차를 측정할 예를 보여주고 있다.

RF단에서는 USB 신호를 효과적으로 제거할 수 없기 때문에, 수신된 신호를 중간 주파수로 한 단계 하향 변환하는 헤테로다인 방식을 이용하였다. USB 신호의 제거를 위하여 상용으로 판매되고 있는 중심 주파수가 374 MHz이고, 대역폭이 22 MHz인 SAW (Surface Acoustic Wave) 필터를 사용하였고, IF 주파수는 필터의 대역에 맞도록 조절하였다.

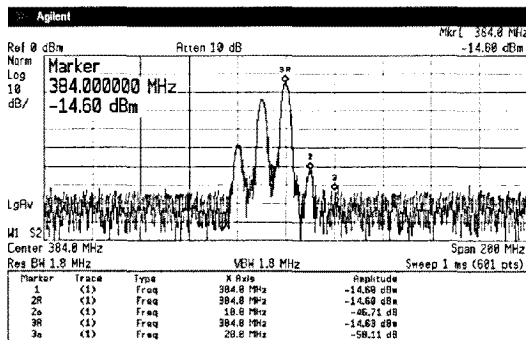
IV. AM 레이더 제작 및 측정 결과 분석

4-1 AM 레이더 제작

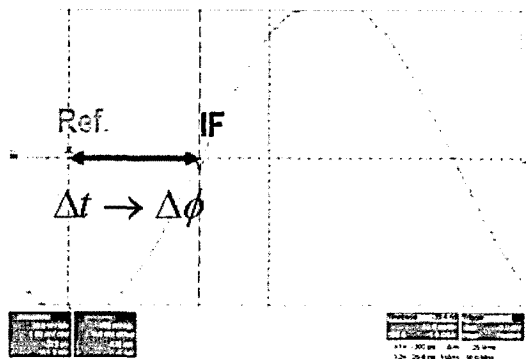
24 GHz AM 레이더의 RF 보드 제작에 사용된 기판은 Rogers사의 유전율이 3.38인 4003 12 mil 기판이다. 하우징의 윗면에는 RF 회로를 집적하였고, 아랫면에는 DC 전원공급부와 IF 회로를 집적하였다. 하우징의 윗면과 아랫면은 RF Coaxial feed thru로 연결되었다. 제작된 모듈의 사진을 그림 6에 나타내었고, RF 모듈의 특성을 표 2에 보여주고 있다.

4-2 AM 레이더 모의시험

제작한 모듈을 그림 7과 같이 설치한 후, 50×50 cm²의 금속 반사판의 거리를 조절해 가며 위상 검출기의 전압의 값을 비교하였다. 위상 검출기는 위상의 차이에 비례하는 전압을 발생하도록 플립 플롭을 이용한 간단한 회로를 구현하였다. AM 레이더의 송신 신호는 반송파 신호(f_0), 상측파대 신호($f_0 + f_m$), 하측파대 신호($f_0 - f_m$)로 구성되어 있는데, 반사판으로부터 반사되는 신호는 USB 및 LSB 신호의 크기가 동 일할 것으로 생각하였으나, 실제로는 USB 신호 및



(a) USB 신호 제거
(a) Rejection of USB signal

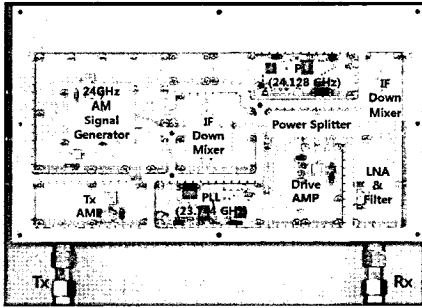


(b) 복조된 신호와 기준 신호의 위상 비교
(b) Phase comparison between Ref. and IF signal

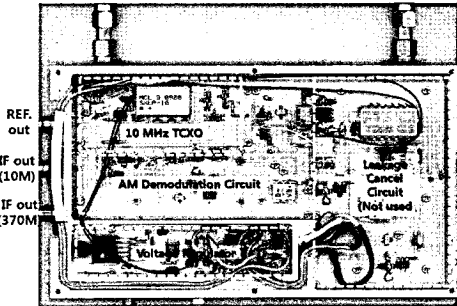
그림 5. USB를 제거 후 AM 신호 복조
Fig. 5. AM demodulation with USB rejection.

표 2. 제작된 AM 레이더 모듈의 RF 특성
Table 2. RF specifications of the fabricated AM radar module.

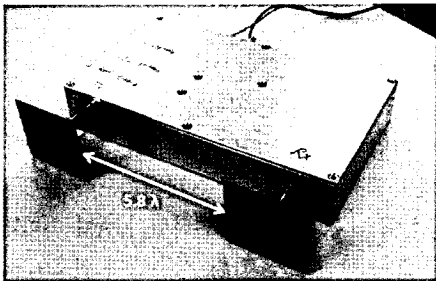
Parameter	Units	Value
Center frequency(f_0)	GHz	24.128
Output power	dBm	10
Modulation freq.(f_m)	MHz	10
Modulation index	%	30
Harmonic spurious	dBc	< 34



(a) RF 부
(a) RF part



(b) IF 부
(b) IF part



(c) 안테나와 조립된 AM 레이더 모듈
(c) Fabricated AM radar module

그림 6. 제작된 AM 레이더 모듈
Fig. 6. Fabricated AM radar module.

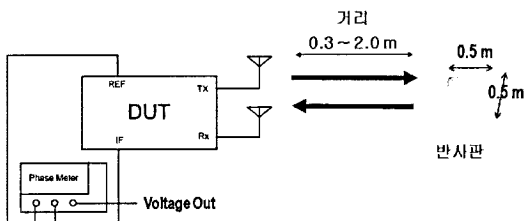


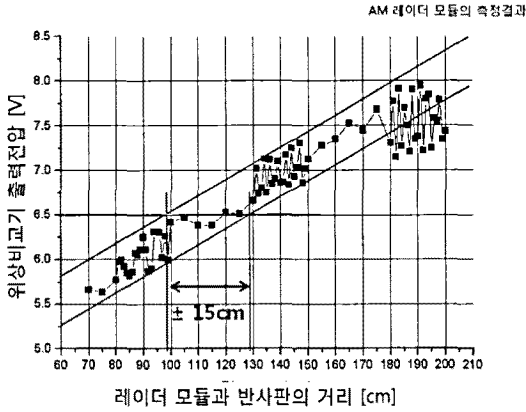
그림 7. AM 레이더 모듈의 모의 시험 환경
Fig. 7. AM radar module demonstration(test setup).

LSB 신호의 크기가 반사판의 각도 및 거리에 따라 변경됨을 관찰하였다. 이러한 불균형 AM 신호를 직접 복조하면 위상에 큰 오류를 가져오기 때문에 본 논문에서는 USB 신호를 제거하고, 반송파와 LSB 신호를 혼합함으로써 10 MHz의 진폭 변조 신호를 복조하는 방식을 사용하였다.

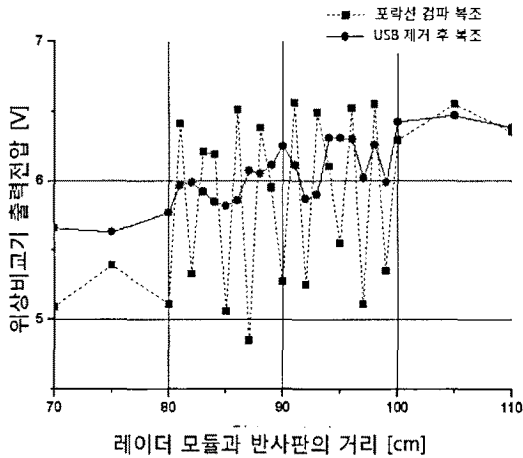
4-3 결과 분석

그림 8(a)에는 제작된 AM 레이더 모듈을 이용하여 금속 반사판과의 거리를 측정된 결과를 나타내었다. 5 cm 단위로 반사판을 옮기면서 측정하였고, 부분적으로는 1 cm 간격으로 측정하여 누설 전력에 의한 위상 오차를 확인하였다. 반사판의 거리가 멀어짐에 따라 오차가 커지는데, 이것은 누설 전력은 고정되어 있는데 반해, 수신되는 전력은 거리에 따라 점점 감소하기 때문이다. 측정된 자료로부터 도출한 거리 측정의 정확도는 ± 15 cm 정도이다. 처음 예상한 수 cm대의 정확도를 얻을 수 없었는데, 그 이유는 두 송수신 안테나 사이의 누설의 양이 시뮬레이션 결과보다 크기 때문이다. 이것은 두 안테나 사이에 전자파 흡수체를 세워놓고 실험할 경우 오차가 상당 부분 줄어들음을 확인할 수 있었다. 이것으로 안테나 사이의 누설이 크게 존재함을 유추할 수 있다. 그 외에도 모듈 내부에서의 누설과, 위상을 측정하는데 있어서 생기는 오차도 실험 결과에 반영된 것으로 보인다.

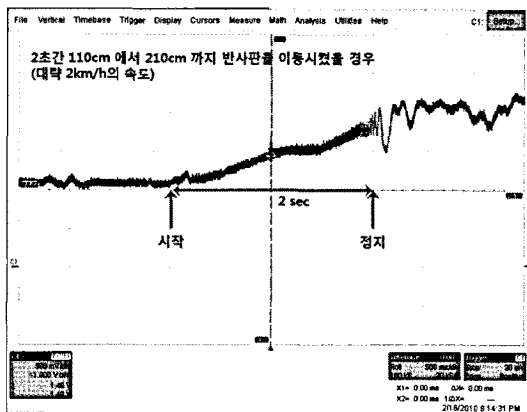
그림 8(b)에서는 USB를 제거한 후 진폭 변조 신호를 복조한 경우와 USB를 제거하지 않고 복조한 경우를 비교한 그림이다. 실선은 USB 신호를 제거한 후 복조한 신호로부터 위상을 측정된 것을 나타낸 것이고, 점선은 USB 신호를 제거하지 않은 상태의 수신된 신호를 포락선 검파한 것을 나타낸다. 그래프에서 보여주듯이 USB 신호를 제거한 후 single ended mixer를 이용한 복조하는 것이 위상 오차를 줄일 수 있는 방법임을 알 수 있다. 그림 8(c)는 반사판을 일정한 속도로 움직였을 때의 출력 전압을 오실로스코프를 이용해서 측정된 결과이다. 이때 그림 8(a)에서의 결과와 비교하여 리플이 상당히 감소되었는데, 그 이유는 반사판이 일정 속도로 움직이면서 위상의 오차들이 위상 검출기를 통해 적분되어 줄어들었기 때문이다.



(a) 제작된 모듈의 거리 측정 결과
(a) Measured results of the fabricated module



(b) 복조 방식에 따른 차이
(b) Differences due to the demodulation methods



(c) 움직이는 물체에 대한 측정 결과
(c) Measured results for the moving target

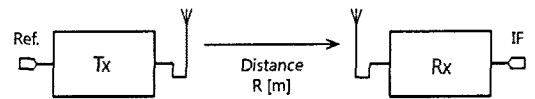
그림 8. 제작된 AM 레이더 모듈의 측정 결과
Fig. 8. Measurement of fabricated AM radar module.

표 3. 레이더 방식에 따른 거리 정확도 비교

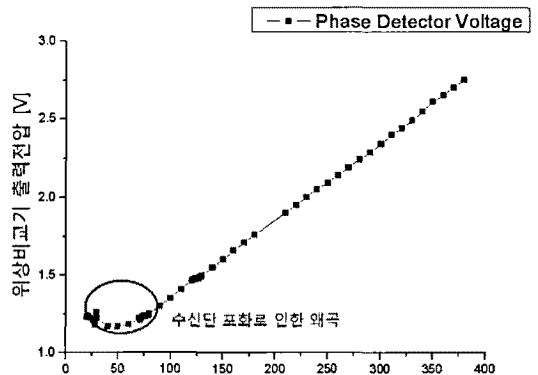
Table 3. Comparison of range accuracy by radar mode.

구분	참고문헌 [7]	참고문헌 [8]	본 논문	본 논문 (추정)
중심 주파수 [GHz]	24.15	10.5	24.128	24.128
대역폭 [MHz]	1,000	1,000	20	100
정확도 [cm]	±5	±2.5	±15	±3
레이더 방식	Pulse	FMCW	AM	AM

표 3에는 FMCW나 펄스 방식의 레이더와 제작된 AM 레이더의 정확도를 비교하였는데, 보통은 높은 정확도를 확보하기 위해서 넓은 대역폭을 사용하게 된다. 여기에 펄스 레이더의 경우 IQ 신호를 이용하거나^[7], FMCW의 경우 VCO의 선형성을 개선시키면^[8] 좀 더 나은 거리 측정 정확도를 확보할 수 있다. 한편, AM 레이더의 경우 제작된 레이더 모듈과 동일한 누설 전력이라고 가정하면 변조 주파수를 높임으



(a) 추가실험을 위한 레이더 모듈 구성
(a) Block diagram of the AM radar module for additional experiments



(b) 송·수신단을 분리하여 측정한 결과
(b) Measured results for separated TX and RX

그림 9. 제작된 AM 레이더 모듈의 추가 실험
Fig. 9. Additional measurement of fabricated AM radar module.

로 개선된 거리 측정 정확도를 확보할 수 있다.

또한 송신 부분과 수신 부분을 따로 제작하여 송신부를 고정해 놓은 후 수신부를 움직이며 복조한 신호의 위상의 변화를 측정한 결과를 그림 9(b)에 나타내었다. 송수신단을 분리해 놓으면 누설의 영향을 무시할 수 있는데, 결과에서 보듯 그림 8(a)과는 다르게 위상 오차에 의한 리플이 나타나지 않음을 알 수 있다. 이 결과를 기초로 하여 능동반사기를 이용한 거리 측정 시스템을 이용하면, 송수신 주파수가 다르게 되므로, 누설의 영향은 여파기를 이용하여 제거함으로써 무시할 수 있으므로 그림 9(b)에서 보여진 결과와 비슷한 성능의 거리 측정 시스템을 구현할 수 있다^[9].

V. 결 론

본 논문에서는 좁은 대역폭을 사용하면서도 개선된 거리 측정 정확도를 가지는 AM 방식의 레이더를 구현하고 실험 결과를 얻었다. 반송파의 주파수는 24.128 GHz이고, 변조 주파수는 10 MHz를 사용하였고, 변조도는 32 %, 출력 전력은 +10 dBm을 사용하였을 때, 거리 측정의 정확도는 약 ± 15 cm로 측정되었다. 실험을 통해 누설 전력이 AM 레이더의 위상 오차를 유발함을 확인하였으며, 복조의 방법에 있어서 양측파 신호 중 하나를 제거하고 복조하는 것이 오차를 줄일 수 있는 방법이라는 것도 제시하였다.

AM 레이더 시스템은 누설 전력에 매우 취약한 단점이 있다. 따라서 근거리에서의 거리 측정용으로 응용이 제한된다. 하지만 동일한 위상 오차($\Delta \phi$ rad)를 가질 때, 변조 주파수를 높이면 그에 반비례해서 거리 오차(Δr m)가 줄어들게 된다. 또한 목표물이 움직이고 있는 상태에서는 위상 오차가 적분되어 줄어들게 되는 장점이 있다. 따라서 선박 카고 탱크의 수위 측정용 등의 특정한 제한된 분야의 응용에서 유용하게 사용이 가능할 것이다.

향후 안테나 사이의 커플링을 줄임으로서 누설을

줄이는 연구가 필요할 것이며, 누설 전력과 180° 위상 차이가 나는 신호를 합하여 누설을 제거하는 방안을 연구하여 제작된 AM 레이더 시스템의 성능을 개선할 필요가 있다. 또한 추가로 송수신단을 분리하여 진행한 실험을 바탕으로 능동 반사기를 이용한 시스템에서 AM 변조 방식을 적용하여 정밀 거리 측정 시스템을 구현하는 연구도 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 이상설, 레이더 공학, 보성문화사, pp 17-18, 1999년.
- [2] Skolnik, Merrill Ivan, *Introduction to Radar System*, McGraw-Hill, 2003.
- [3] 방송통신위원회 고시 제2008-136호, "대한민국 주파수 분배표", 2008년.
- [4] 이엠와이즈통신(주), "진폭 변조 레이더 및 그 거리 측정 방법", Korea patent #10-0940577, 2010년.
- [5] Bassem R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design using MATLAB*, Chapman & Hall/CRC, 2005.
- [6] Ole K. Nilssen, W. D. Boyer, "Amplitude modulated CW radar", *IRE Transactions on Aerospace and Navigational Electronics*, pp. 250-254, 1962.
- [7] 김태규, 최문각, 박정호, 장태경, 김강욱, "장애물 감지를 위한 차량용 short-pulse 레이더에 적용 가능한 RF front-end 모듈의 구현", 마이크로파 및 전파전파 학술대회, p. 76, 2010년.
- [8] 조정현, 이현수, 박동국, "PLL 주파수 합성기를 이용한 거리 측정용 FMCW 레이더 개발에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회 후기학술대회 논문집, pp. 191-192, 2006년.
- [9] 노형우, 최문각, 박정호, 강일홍, 김강욱, "능동반사기를 이용한 진폭 변조 방식의 거리 측정시스템 개발", 마이크로파 및 전파전파 학술대회, pp. 170, 2010년.

최 문 각



2008년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2010년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2010년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정
2010년 3월~현재: 이엠와이즈통신

선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 근거리 레이더, 위상동기 루프 응용회로

노 형 우



2009년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 근거리 레이더

우 동 식

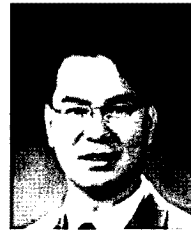


2002년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2004년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파

안테나 및 시스템 설계, 마이크로파 라디오미터 설계

김 강 욱



1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1987년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1996년 7월: University of California, Los Angeles. 전자공학과 (공학박사)

1987년~1990년: 한국전기연구소 연구원

1996년~1998년: University of California, Los Angeles. Post-Doctor 연구원

1998년~1999년: P-Com, Inc. 마이크로파 설계연구원

1999년~2001년: Narda DBS Microwave, RF 설계연구원

2001년~2005년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수

2006년~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수

2007년 5월~현재: 이엠와이즈통신(주) 대표이사

[주 관심분야] 마이크로파 통신시스템 및 서브시스템, 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징, 무선 통신용 안테나, 전자기 상호 작용 및 전자기 수치 해석

강 일 흥



2010년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)

2010년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 마이크로파 능동 소자 설계