

고해상도 강수 관측을 위한 K-대역 전파강수계 송수신기 설계 및 구현

최정호¹ · 임상훈² · 박형삼³ · 이배규^{4*}

Design and Implementation K-Band EWRG Transceiver for High-Resolution Rainfall Observation

Jeong-Ho Choi¹ · Sang-Hun Lim² · Hyeong-Sam Park³ · Bae-Kyu Lee^{4*}

¹Adjunct Professor, Department of Mechatronics Engineering, Chosun College of Science & Technology, Gwangju, 61453 Korea

²Research Fellow, Department of Land, Water and Environment Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi, 10223 Korea

³Researcher, Department of Computer Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 61186 Korea

^{4*}Assistant Professor, Department of Mechatronics Engineering, Chosun College of Science & Technology, Gwangju, 61453 Korea

요 약

이 논문은 강수의 공간분포를 측정할 수 있는 전자파 기반 센서를 개발하는 것이며, 악천후 관측의 핵심인 강우, 강설, 바람장을 동시 측정할 수 있는 전파강수계(EWRG, Electromagnetic Wave Rain Gauge)에 관한 것이다. 본 연구를 통해 LFM 방식의 송수신 신호를 이론적으로 분석하였다. 또한 전파강수계 송수신기를 개발하기 위해서 LFM 송수신기 설계 및 모의실험을 수행하였다. 본 논문은 소형 HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuit)를 사용하여 K-BAND 펄스 구동형 6W SSPA(Solid State Power Amplifiers) 송수신기 개발을 하였다. 65도의 고온의 환경에서 1%의 짧은 Duty를 가지는 6W 이상의 출력파워, 5dB이하의 수신 NF(Noise Figure)를 가지고 있다. 제작된 모듈은 파형발생부가 내장되어 LFM과 Square Pulse 파형을 방출하며 수신부는 40dB이상의 수신 이득을 가진다. 이 논문에서 개발된 송수신기는 다른 소형 기상 레이더에 적용할 수 있다.

ABSTRACT

This paper is to develop an electromagnetic wave-based sensor that can measure the spatial distribution of precipitation, and to a electromagnetic wave rain gauge (hereinafter, "EWRG") capable of simultaneously measuring rainfall, snowfall, and wind field, which are the core of heavy rain observation. Through this study, the LFM transmission and reception signals were theoretically analyzed. In addition, In order to develop a radar transceiver, LFM transceiver design and simulation were conducted. In this paper, we developed a K-BAND pulse-driven 6W SSPA(Solid State Power Amplifiers) transceiver using a small HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuit). It has more than 6W of output power and less than 5dB of receiving NF(Noise Figure) with short duty of 1% in high temperature environment of 65 degrees. The manufactured module emits LFM and Square Pulse waveform with the built-in waveform generator, and the receiver has more than 40dB of gain. The transceiver developed in this paper can be applied to the other small weather radar.

키워드 : K-대역, 전파강수계, 송수신기, 선형 주파수 변조, 펄스압축

Keywords : K-Band, EWRG, Transceiver, LFM, Pulse compression

Received 27 April 2020, Revised 29 April 2020, Accepted 1 May 2020

* Corresponding Author Bae-Kyu Lee(E-mail:yes7200@cst.ac.kr, Tel:+82-62-230-8290)

Assistant Professor, Department of Mechatronics Engineering, Chosun College of Science & Technology, Gwangju, 61453 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.5.646>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

최근 반도체 기술의 발전과 더불어 RF 회로들은 점차 고집적화 IC칩으로 대체되기 시작하였다. 레이더 부품의 HMIC 또는 MMIC화는 수신부품 뿐만 아니라 최근에는 송신기 부품에까지 파고들고 있다. 레이더용 송수신기는 일반적으로 큰 출력을 요구하므로 과거에는 Klystron, TWT(Traveling-Wave Tube), Magnetron 등을 사용하여 왔으나 신뢰성 문제로 인해 반도체를 이용한 SSPA(Solid State Power Amplifier)의 사용이 늘고 있는 추세이다. 특히, 효율성 및 경제적 측면과 신호 처리 기술의 발달로 인해 SSPA가 유리하며, 위상변위기, 가변 감쇠기 등과 모듈화하여 능동형 위상 배열 레이더에 적용되고 있다[1][2].

최근 기상레이더에서 송수신기는 운용상 전력 소모와 전력 손실을 줄여 소형화할 뿐만 아니라 RF신호의 높은 선형성 또한 필수로 요구되고 있다. 특히 펄스 신호를 레이더 제어 신호에 연동하여 동작 시키는 방식으로 고효율의 송신기를 구현하고 있으며 송신 신호가 없을 경우 송신 전력을 차단하여 전력 소모를 줄이는 방식을 통해 기상레이더의 전력 소모와 손실을 줄이고 있는 실정이다. 본 논문에서도 최근 레이더 응용제품에서 요구되는 조건을 만족하는 송수신기 개발을 위해 Class A의 선형증폭기와 제어부의 Pulse를 사용하여 Pulse 증폭기를 개발하였고, 고주파 트랜지스터로는 최근 상용되는 GaN 소자를[3] 이용하여 송신부를 구현하였다.

본 논문에서는 기존 기상레이더 장비의 효율성 및 신뢰성 저하로 인해 레이더 송신기의 Klystron, TWT, Magnetron 등을 대신하여 SSPA 증폭기를 사용하고 [4][5] LFM파를 송신 디지털 신호처리를 수행하여 동등 이상의 탐지 성능을 가지는 송수신기를 개발하였다.

II. 적용 기술

2.1. 전송 파형

레이더는 전파의 전송파형에 따라 펄스레이더(Pulse radar)와 CW(Continuous Wave)레이더로 나눌 수 있다. CW레이더는 연속파 신호를 지속적으로 보내는 것이고, 펄스레이더는 일정 시간동안(펄스폭)에만 전파를 보내

게 되고 그 외의 시간에는 펄스를 보내지 않는 레이더이다.

펄스레이더는 펄스폭의 시간동안 전파를 보내고 남은 시간은 반사된 신호를 수신하는 방식으로 목표물의 거리계산에 용이하다. 반면 CW레이더는 연속파 신호를 송신하면서 동시에 목표물로부터의 반사 신호를 수신하는 레이더로[6], 수신한 연속파 신호의 위상을 통해 목표물의 속도 측정을 하는 용도로 사용된다. 다만 펄스 압축(Pulse Compression) 기술을 사용한 FW-CW (Frequency Modulation CW)레이더는 주파수 변조를 이용한 짧은 거리 측정에 용이하다.

2.2. 거리 분해능(Range Resolution) 계산

거리분해능이란 2개 이상의 근접한 표적을 구분하는 표적간의 거리를 나타낸다.

거리분해능은 식 (1)로 정의할 수 있으며, B 는 전송 펄스의 주파수 대역폭(Band Width, Hz)이다.

$$\Delta r = \frac{c\tau}{2} = \frac{c}{2B} \quad (1)$$

거리분해능이 좋다는 말은 2개의 인접한 표적이나 목표물을 구별하기 용이하다는 의미이다. 반대로 거리 분해능이 나쁘면 인접한 2개의 표적이나 목표물을 구별할 수 없음을 의미한다. 따라서 인접한 목표물을 구별해야 하는 상황이라면 반드시 고려해야 할 파라미터중 하나이다.

그림 1은 같은 펄스폭을 가진 송신파에 대한 서로 다른 간격으로 위치한 목표물의 거리분해능을 보여주고 있다. 그림 1(a)은 두 Target의 거리가 좁아 2개의 Target을 하나의 Target으로 보이는 현상이고(거리분해능이 나쁨), 그림 1(b)는 두 Target의 거리가 넓어 두 Target의 수신 신호가 겹쳐지지 않아 두 Target의 구별이 가능하다.

또한, 펄스폭을 줄여 거리 분해능을 늘리기에는 현실적인 제약이 많이 따른다. 레이더의 송신출력은 전파를 송신하는 에너지의 총량을 의미한다. 즉 펄스폭의 시간 동안 송신하는 전파의 에너지 총량이 레이더의 송신출력이고, 이는 전송펄스의 면적이 레이더의 송신출력을 의미한다. 따라서 그림 2와 같이 펄스폭을 좁히면서 동일한 송신출력을 얻기 위해서는 펄스폭을 넓히거나 송신출력의 Peak power를 높여야 하는데 그렇게 되면 송수신기의 크기가 커지고 전력을 많이 소모하게 되면서

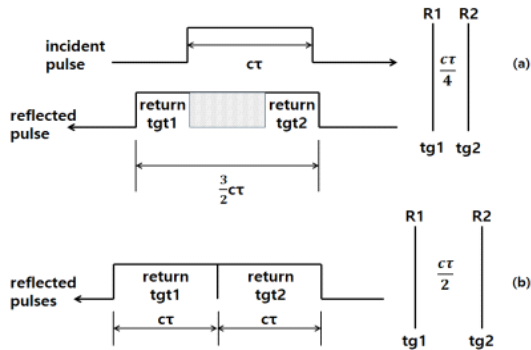


Fig. 1 (a)Two unresolved targets, (b)Two resolved targets.

레이더의 전체적인 시스템이 커지는 문제점을 가지게 된다. 따라서 펄스폭을 좁히지 않고 거리분해능을 향상시키기 위해서 전송 펄스 내에 주파수가 선형으로 증가하는 LFM(Linear Frequency Modulation)방식을 사용하여 주파수를 변조하여 전송한다.

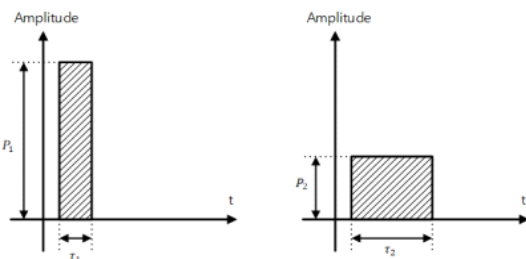


Fig. 2 Relation of pulse width and peak power

2.3. LFM(Linear Frequency Modulation) 및 펄스 압축 (Pulse compression)

펄스레이더는 탐지거리 향상을 위해서는 송신출력을 크게 해야 하고, 거리분해능을 높이기 위해서는 펄스폭을 좁게 해야 한다. 즉 탐지거리와 거리분해능을 높이는 것은 서로 상반되는 것을 의미한다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 주파수 변조를 통한 펄스압축을 사용 하였다.

탐지거리를 결정하는 것은 전송펄스의 침두 전력이 아니라 평균전력 즉 송신 에너지의 총량이다. 또한 식 (1)과 같이 거리분해능을 결정하는 것은 송신펄스폭이 아니라 송신펄스가 가진 주파수 대역폭 이다. 따라서 LFM 신호를 통해 넓은 펄스폭을 통해 송신출력을 확보 하고, 주파수대역폭을 넓혀 탐지거리와 거리분해능의 상반된 문제를 해결한다[7].

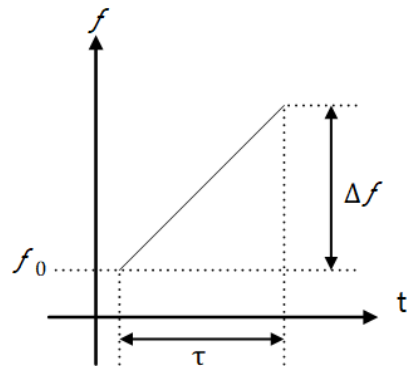


Fig. 3 LFM signal

그림 3은 시간이 지남에 따라 주파수가 선형적으로 증가하는 LFM 신호를 표현하고 있다. 가로축은 펄스폭 (τ)을 의미하며 세로축의 Δf는 대역폭을 의미한다. LFM 신호는 주파수 변조를 위해 주파수 대역폭을 가지기 때문에 주파수대역폭을 증가시키면 펄스폭과 무관하게 거리분해능이 향상되어 펄스폭을 넓힘으로써 탐지거리 또한 향상시킬 수 있다[8].

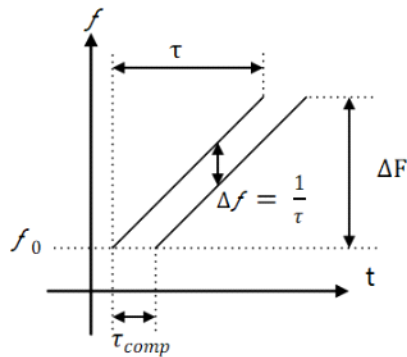


Fig. 4 Pulse compression ratio

그림 4는 송신신호의 펄스 압축정도를 보여주고 있다. 이 신호의 펄스 압축비(Pulse compression ratio)는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\frac{\tau}{\tau_{comp}} = \frac{\Delta F}{\Delta f} \tag{2}$$

여기서 τ는 펄스폭(s), τ_{comp}는 펄스 압축된 펄스폭, ΔF는 송신 신호의 대역폭(Band width), Δf는 주파수분해능을 나타낸다.

τ_{comp} 와 ΔF 그리고 ΔF 와 τ 는 식 (3), 식 (4)와 같은 관계에 있다.

$$\tau_{comp} = \frac{1}{\Delta F} \quad (3)$$

$$\Delta F = \frac{1}{\tau} \quad (4)$$

주파수 분해능(Δf)은 두 목표물을 구별할 수 있는 최소한의 값이며, 거리분해능만큼 떨어진 두 목표물의 주파수 간격을 나타낸 것이므로 식 (5)와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \Delta f &= f_2 - f_1 \\ &= \frac{2B}{c\tau} (R_2 - R_1) = \frac{2B}{c\tau} \Delta r \end{aligned} \quad (5)$$

식 (1)의 거리분해능(Δr)을 식 (5)에 대입하여 주파수 분해능(Δf)을 구한다. 다시 Δf 는 식 (6)과 같이 계산된다.

$$\Delta f = \frac{2B}{c\tau} \frac{c}{2B} = \frac{1}{\tau} \quad (6)$$

주파수분해능은 펄스폭에 따라 결정되어지며, FFT를 사용하는 경우 성능에 영향을 끼친다.

III. 전파강수계 송수신기 설계

3.1. 송신기 설계

K-BAND 전파강수계의 6Watt Pulsed SSPA 송신부 블록도는 그림 5와 같다. Pulsed SSPA의 송신부의 구성은 파형발생부에서 나오는 신호를 차단증폭기 및 믹서를 사용하여 중간주파수로 믹싱 후 2체배 하여 최종적으로 증폭하는 구조로 이루어져 있다. 전원기와 제어부의 펄스제어기와 함께 구성되어 있으며, 전원기와 펄스제어기는 증폭기들에 필요한 각각의 전원과 고속 펄스

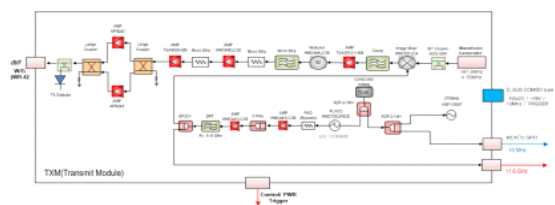


Fig. 5 Block diagram of K-Band 6Watt Pulsed Transmitter

변조에 필요한 신호를 제공하게 된다.

최종 증폭기에서는 고출력을 구현하기 위하여 90° 하이브리드 전력 분배/합성기를 사용하였다. 특히 그림 6과 같이 90° 하이브리드 전력 분배/합성기는 포트간의 위상차가 90°가 나며, 마이크로 스트립 전송 선로를 이용하여 제작하기가 용이하다. 또한 신호의 위상과 크기의 차이에 대해 민감하게 변하지 않는 것이 큰 특징이며, 입출력 임피던스 정합이 쉽고 상하좌우 대칭으로 어느 방향으로든 입력이 가능하기 때문에 전체적력 합성과 레이아웃이 쉬워지는 장점이 있다.

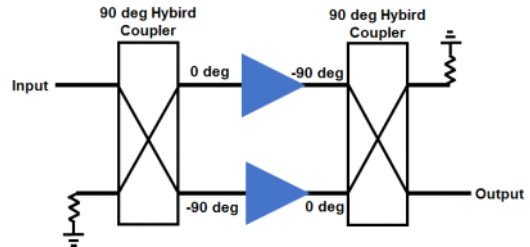


Fig. 6 90° Hybrid Balanced Amplifier

송신부 인터페이스는 동기 주파수(10MHz), Local 주파수(11.6GHz), 제어 및 전원, 최종출력으로 구성되어 있다. 펄스 제어기는 시스템 운용 모드에 맞게 증폭기의 Drain 전원을 고속 스위칭을 하도록 설계 하였다. 또한 일반 Class A RF 증폭기를 이용하고, 펄스 제어기는 시스템으로부터 트리거를 받은 후 일정시간 이내 동작하도록 구성 하였다. 그리고 그림 7과 같이 트리거 ON(High)신호 수신시 RF증폭기 구동, 트리거 OFF(Low)신호 수신시 RF증폭기를 OFF하는 방식으로 구동하도록

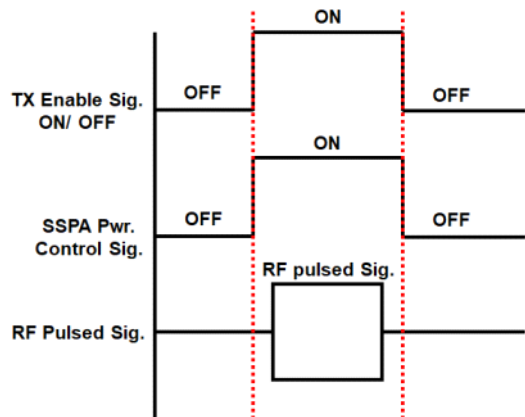


Fig. 7 Pulsed SSPA power control

펄스 제어를 구성하여 송신단 전체의 전력 효율을 높였다.

3.2. 수신기 설계

SSPA 전파강수계 시스템에서는 효과적인 영상신호를 얻기 위하여 RF 수신부에서 신호처리를 위한 ADC (Analog to Digital Converter)까지 이어지는 디지털 수신구조의 수신기가 널리 사용된다. 전파강수계는 목표물에서 반사된 신호를 수신부에서 수신하여 표적의 크기, 위치, 속도 등의 정보를 추출해야하기 때문에 RF 수신부의 설계는 매우 중요한 요소 중에 하나이다. 최적의 설계를 위해서는 RF 수신부에서의 잡음지수(Noise figure), 혼변조(Intermodulation), 그 외 스푸리어스(spurious) 등 비선형성 요소들에 대한 분석이 필요하다. 본 개발에서 수신부 블록도는 그림 8과 같으며 수신부의 인터페이스로는 동기 주파수(10MHz), Local주파수(11.6GHz), 제어 및 전원, RF 입력(24.15GHz), IF 출력(60MHz)으로 구성되며, 수직 및 수평(V/H)의 이중편파 구조로 되어 있다.

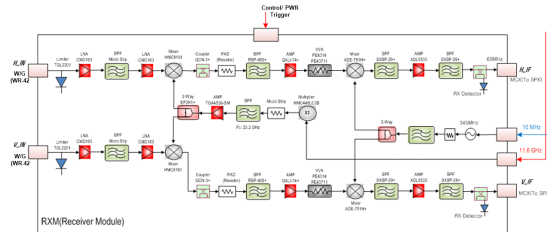


Fig. 8 Block diagram of K-Band dual polarization receiver

IV. 전파강수계 송수신기 구현

본 개발에서는 파형발생기로부터 만들어진 신호를 믹싱 및 체배하여 만들어진 24.15GHz 송신신호를 방사하였고 방사된 신호가 강우 및 강설 등 목표물에 부딪혀

서 반사되어 들어오는 신호를 수신안테나를 통하여 받아들인 후 주파수혼합기를 통해 IF주파수로 변환하여 신호처리부로 전달한다. 이때 수신신호가 매우 약하기 때문에 LNA 증폭부와 중간주파수 증폭부를 거쳐 40dB 이상의 이득을 가지도록 설계하였다. 또한 송신안테나를 통해 방사 시 이중편파로 구성되어 안테나에 도달 전력이 6Watt를 만족하기 위하여 종단 Divider loss 3dB를 고려하여 최종 출력을 39dBm으로 설계하였고, 전력 소모량은 송수신 통합하여 Duty 1%의 설계로 700mA 이내로 설계하였다. 전파강수계 송수신부의 정확한 목표 성능은 표 1과 같다.

Table. 1 K-band EWRG transceiver specifications

Items	Performance
Frequency	24.15 GHz
Output power	36 dBm
Waveform	5 MHz(Up chirp)
Pulse width	1 μ s
Duty	1 %
Noise figure	5 dB
Receiver gain	40 dB
Applied voltage	28 V
Current consumption	700 mA

4.1. 송신기 구현

전파강수계 송신부 설계 시뮬레이션 결과는 그림 9와 같으며, 시뮬레이션 결과 최종 출력이 36dBm 이상임을 알 수 있다. 송신부의 출력 파형을 측정할 장비는 Rohde-schwarz 사에서 제작한 FSW43 제품으로 2Hz ~ 43GHz 대역에 대한 측정이 가능한 스펙트럼 분석기이다. 그림 10은 각각 H, V 편파에 대한 출력을 측정한 결과이다.

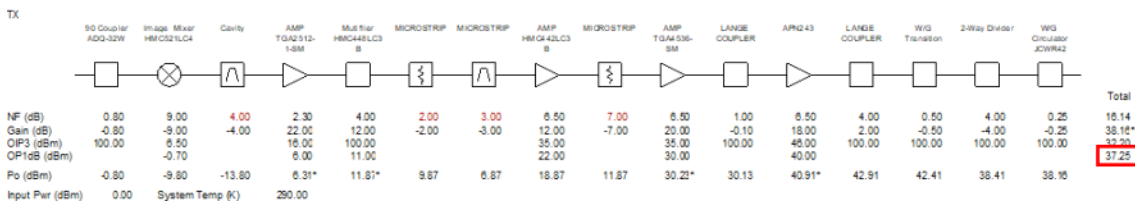
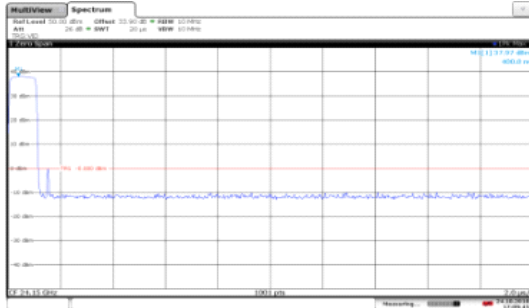
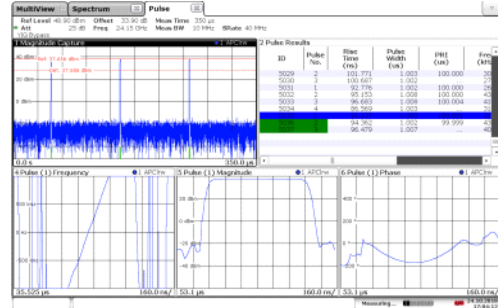


Fig. 9 Simulation result of the transmitter

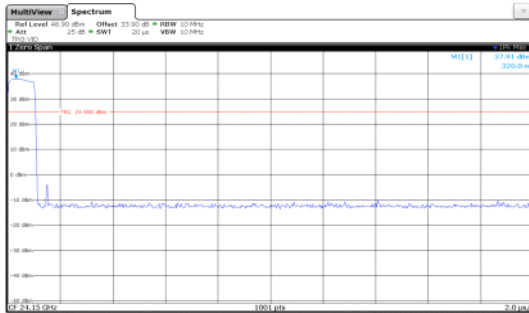
고해상도 강수 관측을 위한 K-대역 전파강수계 송수신기 설계 및 구현



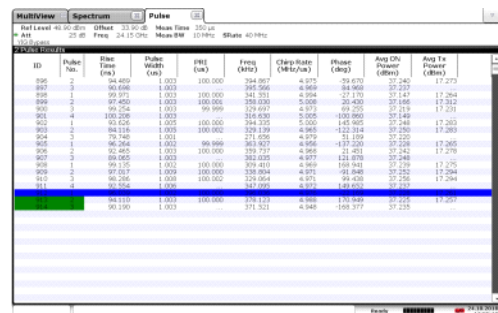
(a) H-port : 37.9dBm



(b) V-Port LFM Measurement waveform



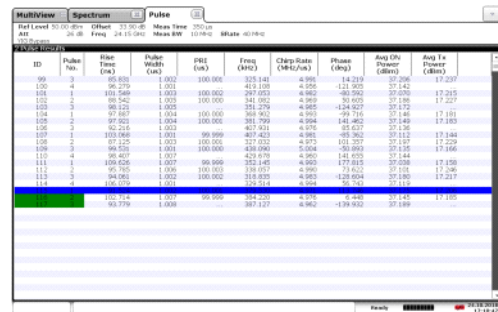
(b) V-port : 37.9dBm



(c) H-Port Pulse width : 5MHz

Fig. 10 Transmission power measurement result by polarization

그림 11은 각각 편파에 대한 Pulse width, PRI, Chirp rate(Band width)등 파라미터들에 대한 분석 결과를 보여주고 있다. 그림 11의 (a), (b)의 왼쪽 하단을 보면 주파수가 선형적으로 올라가는 모습을 볼 수 있다. 또한 그림 11의 (c), (d)그림에서는 송신파형의 Pulse width : 1 μ s, PRI : 100 μ s, Band width : 5MHz로 측정된 것을 확인할 수 있다.

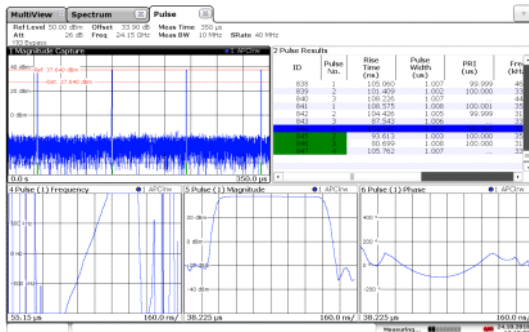


(d) V-Port Pulse width : 5MHz

Fig. 11 Transmission waveform analysis result by polarization

4.2. 수신기 구현

수신부의 시뮬레이션 결과는 그림 12와 같다. 수신부 시뮬레이션 결과 NF가 목표치인 5dB 이내로 나머지를 예측할 수 있었다. 수신부 실험은 Agilent사에서 제작한 E8257D 신호 생성기와 N8975A NF 분석장치를 사용하였다. 실험은 24.15GHz, 10MHz Band width를 가진 신호를 수신부 입력단에 입력 후, 출력단에서 나오는 IF주파수를 측정하여 NF와 수신이득 결과 값을 얻을 수 있었다.



(a) H-Port LFM Measurement waveform

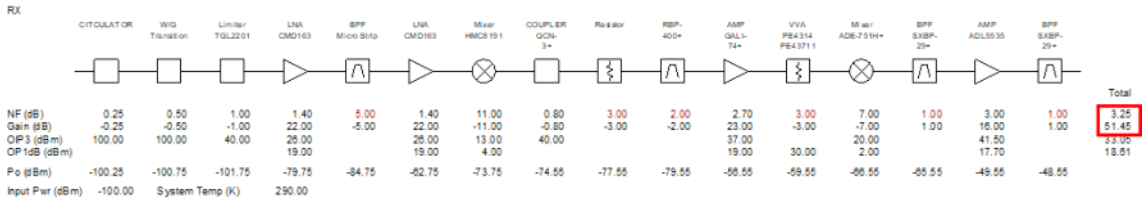
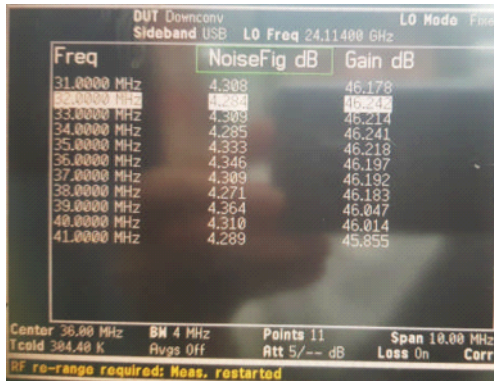


Fig. 12 Receiver simulation result



(a) H-Port

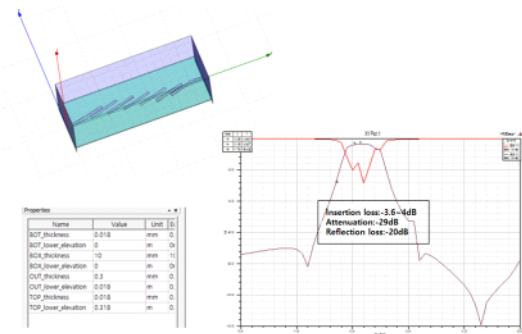


(b) V-Port

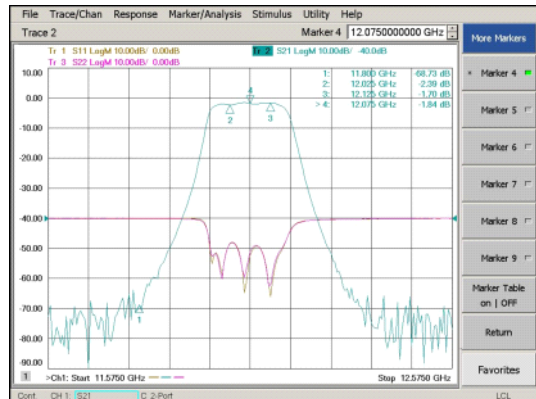
Fig. 13 NF and gain measurement results of receiver by polarization

그림 13의 (a), (b)는 각각 H, V 편파 채널에 대한 측정 결과이다. H 채널에서는 NF가 4.34dB 이내, 이득은 45.8dB 이상이 나오는 것을 확인했으며, V 채널에서는 NF가 4.34dB 이내, 이득은 46.1dB 이상의 결과값으로 시뮬레이션 데이터와 거의 유사한 결과를 확인하였다.

그 외 Passive 설계는 그림 14, 그림 15와 같이 시뮬레이션 되었다. 또한 그림 16은 전파강수계의 송수신장치 개발 사진이다.

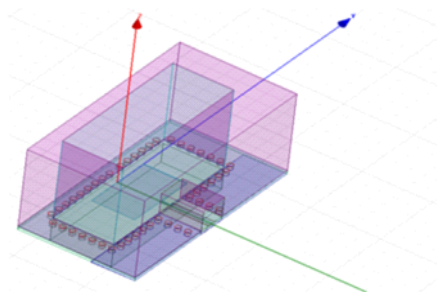


(a) Simulation



(b) Measure value

Fig. 14 Small signal response of transition structure



V. 결론

본 개발에서는 전파강수계용 K-밴드 대역 6Watt Pulsed 송수신기를 설계 및 제작하였다. 전파강수계에서 요구되는 고속 펄스 특성도 만족하였으며, 특히 출력의 LFM 특성과 수신기의 최소 수신레벨도 우수하게 제작된 Pulsed 송수신기의 재현성 및 안정성을 확인 할 수 있었다. 또한 수신부의 디지털 감쇠기를 사용하여 수신단의 이득을 0.5dB단위로 조정하여 수신 이득편파를 줄일 수 있었으며 송신 단 증폭기의 Drain의 스위칭제어를 통해 전력 소모 또한 줄일 수 있었다. 최근 Pulsed 송수신기는 소형 경량화, 저전력을 요구하고 있으며, 각종 레이더, 위성통신 등에 사용이 확대되고 있다. 특히 반도체 기술 발달로 Solid State를 적용한 시스템이 증가하고 있고 유지 보수뿐만 아니라 반영구적인 수명으로 다른 튜브계열의 증폭기 대용으로 각광을 받고 있다. 출력과 크기를 증가시킨다면 다른 소형, 대형 기상 레이더 시스템에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was conducted with financial support from the Ministry of Environment National R&D Program (Integration of Electromagnetic Wave Precipitation Gauge System and Its Performance Testing, 18AWMP-B114125-03-000000).

REFERENCES

- [1] M. Jang, and H. Na, "A Development of the X-Band 63 Watt Pulsed SSPA for Radar," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 3, pp. 380-388, 2011. DOI: 10.5515/KJKIEES.2011.22.3.380.
- [2] F. Gerigk, "Status and Future Strategy for Advanced High Power Microwave Sources for Accelerators," *9th International Particle Accelerator Conference*, 2018.
- [3] D. Kang, and B. Min, "0.25 μm AlGaIn/GaN HEMT Devices and 9 GHz Power Amplifier," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 1, pp. 76-79, 2016. DOI: 10.5515/KJKIEES.2016.27.1.76.

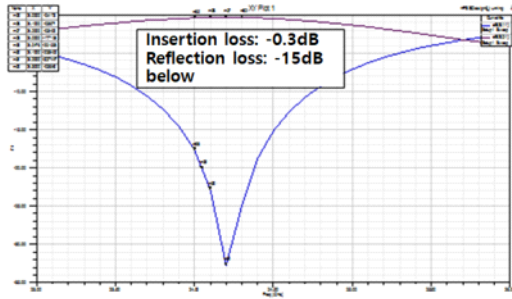
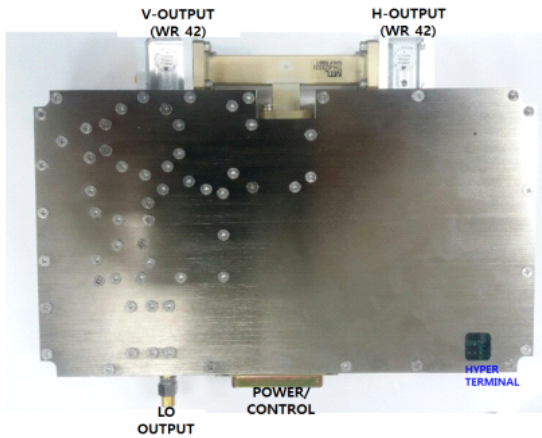
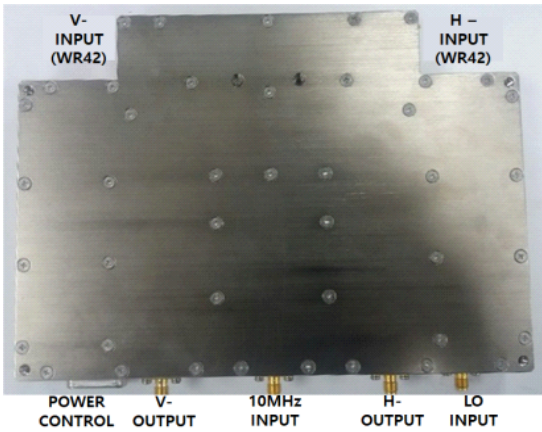


Fig. 15 Waveguide for receiving (analysis: HFSS)



(a) Transmitter



(b) Receiver

Fig. 16 EWRG transceiver development

- [4] N. Tsukamoto, and H. Yamauchi, "JMA's C-band dual-polarization Doppler weather radars with SSPAs," WMO CIMO TECO-2016, 2016.
- [5] T. Soren, "Weather radar rainfall data in urban hydrology," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 21, pp. 1359-1380, 2017. DOI: 10.5194/hess-21-1359-2017.
- [6] K. Kwon, "Modified LFM Signal in Radar Application," M. D. dissertation, Gyeongsang National University, 2013.
- [7] J. Yoon, and S. Yoo, "LFM Radar Implemented in SDR Architecture," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 4, pp. 308 - 315, 2018. DOI: 10.5515/KJKIEES.2018.29.4.308.
- [8] C. Ha, and B. Kwon, "Radar Signal Processor Design Using FPGA," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 20, no. 4, pp.482-490, 2017. DOI: 10.9766/KIMST.2017.20.4.482.



최정호(Jeong-Ho Choi)

고려대학교 사회환경시스템공학과 공학박사
광주과학기술연구원(GIST) 기전공학 Post-Doc
조선이공대학교 메카트로닉스공학과 겸임교수
※관심분야: 레이더 시스템 및 신호처리



임상훈(Sang-Hun Lim)

콜로라도주립대 전자컴퓨터공학과 공학박사
한국건설기술연구원 국토보전본부 연구위원
※관심분야: 레이더 시스템 및 신호처리



박형삼(Hyeong-Sam Park)

전남대학교 컴퓨터공학과 박사수료
전남대학교 컴퓨터공학과 연구원
※관심분야: IOT 시스템 및 인공지능



이배규(Bae-Kyu Lee)

조선대학교 전자공학과 공학박사
조선이공대학교 메카트로닉스 공학과 조교수
※관심분야: 임베디드 시스템 및 원격 제어