

논문 2008-45TC-11-9

# 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈 설계

## (RF Front-End Module Design of UWB Radars for Vehicle)

박 지 호\*, 김 태 규\*\*

(Chi Ho Park and Tae Gyu Kim)

### 요 약

본 논문은 차량용 UWB 레이더 시스템의 RF front-end 개발에 그 목적이 있다. UWB 시스템은 1ns 이하의 매우 좁은 펄스폭을 갖는 임펄스를 전송한다. 따라서 수 GHz에 이르는 매우 낮은 전력의 초광대역 특성을 갖게 되어 기존의 무선 통신 시스템과의 공존이 불가피하다. UWB의 장점은 높은 채널 용량과 데이터 전송률을 가지며, 다중 경로에 대한 세밀한 분해가 용이하여 위치 예측과 Rake 수신이 가능하다는 점이다. 또한 UWB는 저전력의 초광대역 특성을 나타내므로 낮은 간섭 특성을 가지며, 초단거리의 정밀함에 의해 위치 추적이 가능하며, 시스템 구현 비용을 절감할 수 있다. RF front-end 모듈은 DCR(Direct ConveRision) 방식을 사용하여 설계하였으며, 저가의 차량용 RF단에 적합하게 구성을 하였다.

### Abstract

In this paper, we propose a RF front-end developments for vehicle UWB radar systems. UWB systems have a very narrow pulse width that is below 1ns. Therefore, UWB is designed to have broadband quality of low power several GHz and must coexist with the radio communication system. UWB's advantages include high channel capacity and data rate, because precise resolution for multi-path can easily position estimate and Rake receiver. Also, UWB has low interference because it displays broadband quality of low power. Positioning is made possible by short range accuracy, which can reduce the expense of system design. An RF front-end module is designed using the DCR(Direct ConveRision) method and is composed in RF for vehicles at a low-cost.

**Keywords :** Ultra Wide Band, Radar, Vehicle

### I. 서 론

최근 복잡한 도로 조건하에서 급속도로 증가하는 차량에 의해 교통사고가 대형화되어 인명 피해 또한 급속히 증가되고 있다. 대부분의 차량 사고는 운전자에 의해 발생한다. 이렇듯 운전자에 의해 발생하는 사고를 줄이기 위해서 자동차의 전/후/측방의 차량이나 장애물을 인식하는 장애물 인식시스템이 개발되어야 한다.

이러한 문제를 감소시키기 위해 ITS(Intelligent Transport System)와 관련하여 많은 연구가 이루어지

고 있다<sup>[1~8]</sup>. 그 중 차량 충돌 경보 및 방지(Collision Warning & Collision Avoidance : CW/CA) 시스템 개발을 위한 핵심 장치로 밀리미터파 레이더(Millimeter-Wave Radar)센서와 UWB 레이더(Ultra Wide Band)센서가 중점적으로 연구되고 있으며, 향후 주된 차량 센서로 이용될 전망이다<sup>[9~15]</sup>.

밀리미터파 레이더는 십년 전부터 연구를 하고 있으나, 기술적인 면에선 신호처리 부분과 사업적인 면에선 가격적인 부분 등에서 여러 가지 문제점을 보이고 있다. UWB 레이더는 최근에 활발히 진행되는 연구 분야로, 밀리미터파 레이더의 일부 문제점을 어느 정도 해결할 수 있고, 그 활용도 면에서도 많은 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 차량주행의 안정성 증대와 운전자의 편리성 획득을 목적으로 차량용 UWB 레이더 시스템의 RF front-end 개발에 그 목적이 있다. 연속적인 정현파

\* 정회원, 대구경북과학기술연구원 (DGIST)

\*\* 정회원, 경북대학교 전기전자컴퓨터학부 (Graduate School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 본 연구는 2008년 교육과학기술부/기관고유과제 연구지원사업의 일환으로 진행되었음.(과제번호:08CH-01)  
접수일자: 2008년6월11일, 수정완료일: 2008년11월14일

를 사용하는 기존의 무선 통신 시스템과는 달리, UWB 시스템은 1ns 이하의 매우 좁은 폭을 갖는 임펄스를 전송한다. 따라서 수 GHz에 이르는 매우 낮은 전력의 초광대역 특성을 갖게 되어 기존의 무선 통신 시스템과의 공존이 불가피하다.

여기서, FCC에 의한 UWB의 정의는 두 가지로 분류될 수 있는데, 첫 번째는 다음 식 (1)을 만족하는 시스템으로서 정의된다.

$$\text{Fractional Bandwidth} = \frac{f_u - f_l}{(f_u + f_l)/2} \geq 0.25 \quad (1)$$

$f_u = \text{Upper 10dB down point}$

$f_l = \text{Lower 10dB down point}$

$f_u - f_l : -10\text{dB down point}$

$(f_u + f_l)/2 : \text{Center frequency}$

두 번째는 식 (1)에서 비대역폭 (Fractional Bandwidth)과 관계없이 시스템 대역폭( $F_u - F_l$ )이 1.5GHz 이상인 시스템으로 정의된다.

UWB의 장점은 높은 채널 용량과 데이터 전송률을 가지며, 다중 경로에 대한 세밀한 분해가 용이하여 위치 예측과 Rake 수신이 가능하다는 점이다. 또한 UWB는 저전력의 초광대역 특성을 나타내므로 비화성과 낮은 간섭 특성을 가지며, 초단거리의 정밀함에 의해 위치 추적이 가능하고, 시스템 구현 비용을 절감할 수 있다. 이러한 UWB의 애플리케이션 분야로 위치추적 레이더 개발이 활발하다. 차량용 레이더 시스템의 개발에 있어, 특히 표적의 정확한 추적은 시스템의 신뢰도를 증가시키기 위해 매우 중요한 고려 사항이다<sup>[11]</sup>.

RF front-end 모듈은 DCR(Direct ConveRision) 방식을 사용하여 설계하였으며, 저가의 차량용 RF단에 적합하게 구성을 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 제안한 시스템 모델을 소개한다. 제 III장에서는 제안한 시스템 모델의 성능평가를 수행하고 결과를 기술하고, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 본 론

### 1. UWB 레이더의 RF front-end 구성

차량용 레이더는 대상 장애물이 주로 차량, 오토바이, 자전거 및 사람 등 측정 물체가 소형이며, 계측정도가 수십cm 이내로 되어야 원하는 목적을 달성할 수 있다. 그러므로 계측정도 및 소형 물체를 측정하기 위하여 사

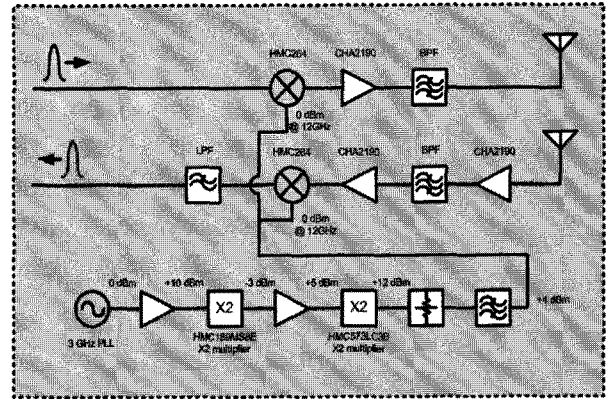


그림 1. 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈 블록 다이어그램

Fig. 1. RF front-end module block diagram of vehicle UWB radars.

용 주파수를 24GHz대역을 사용하고, 주파수 대역을 최소 1GHz대역 이상이어야 한다. 이는 임펄스 폭이 최소 1ns 이하이어야 한다. UWB 시스템에서는 매우 짧은 폭의 임펄스를 사용하기 때문에 일반적으로 펄스열의 형태로 신호가 구성된다. 또한 시간 부호화에 의해 랜덤한 시간 도약과 선 스펙트럼의 역제가 가능해 의사 잡음 특성을 얻을 수 있게 된다.

그림 1은 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈의 블록 다이어그램을 나타낸다.

그림 1과 같이 DCR방식의 RF front-end로 구성을 하였다. 발진기로는 3GHz의 위상 동기 루프(Phase Locked Loop)를 사용하여 구성하였고, 2차에 걸친 체배기를 사용하여 12GHz를 생성한다. 이 과정에서 깨끗한 신호 성분을 만들기 위하여 감쇠기(Attenuator)와 여파기를 사용하였다. 이 생성된 12GHz는 2개의 송/수신기 믹서로 입력되는데, 이 믹서는 서브 하모닉 믹서로써, 발진기에서 생성된 입력 12GHz를 받아서 24GHz를 다시 생성한다. 따라서 중심 주파수를 24GHz로 사용할 수 있다. 24GHz의 중심 주파수는 기저대역(Baseband)에서 만들어진 입력 임펄스 신호와 혼합하여 송신한다. 또한 수신단에서는 지연 입력 펄스(Delay Input Pulse)를 사용하여 수신되어 들어오는 신호와 상관관계(Correlation)하여 위상동기를 맞추어 거리를 계산하게 된다. 그림 2는 마이크로 스트립라인으로 구현한 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈을 구성하였다.

그림 2와 같이 차량용 UWB 레이더의 RF front-end는 단일 모듈로 구성할 수 있도록 SMA 컨넥터(Connector)로 입/출력을 구성하였다. 이 모듈은 기본적으로 +5V, 접지(Ground), -2V의 전원부로 구성이 되어

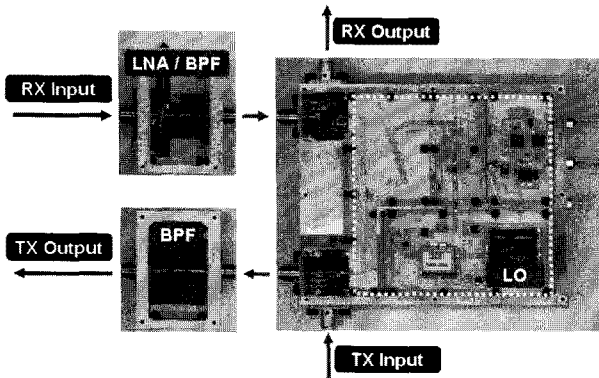


그림 2. 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈  
Fig. 2. RF front-end module of vehicle UWB radars.

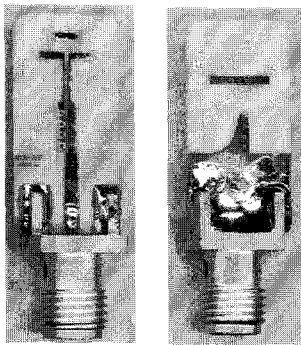
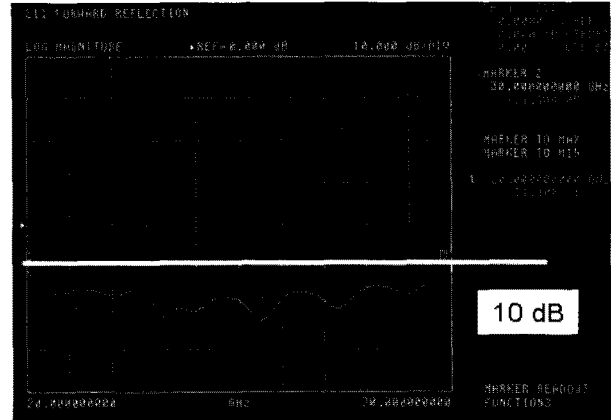


그림 3. 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈 안테나  
Fig. 3. RF front-end module antenna of vehicle UWB radars.

있고, 그림 1에서 설명한 내용과 같이 발진부로 구성되어 있다. 그리고 RF단으로 구성하였다. RF단은 믹서에서 생성된 신호를 바로 RF단으로 송수신하는 간단한 구조를 이루고 있다. 모듈의 성능 테스트를 하면서 RF단의 송신부에 대역 통과 여파기(Band Pass Filter)를 추가하였다. 그리고 RF의 수신부에 수신 감도를 높이기 위하여 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier)를 추가하고, 여기에 대역 통과 여파기를 추가하였다. 또한 수신단 믹서 후에 저역 통과 여파기(Low Pass Filter)를 설계하였다. 이 모듈은 하나의 모듈로 설계가 가능하다. 전체적으로 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈은 단일모듈의 간단한 구조를 이룰 수 있어 저가의 차량용 레이더에 적합하다.

그림 3은 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈 안테나를 구현하였고, 그림 4는 안테나의 반사파를 측정된 결과를 나타낸다.

차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈 안테나는 동작 주파수가 24GHz이며, 대역폭은 최소 1GHz이상이고, 이득은 최소 5dB이다. 또한 3dB 빔폭은 최대 60°을 이루고 있다.



• Frequency : 20 ~ 30 GHz

그림 4. 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈 안테나 반사파 측정  
Fig. 4. RF front-end module antenna return loss measurements of vehicle UWB radars.

### III. 실험

본 논문에서는 제안한 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 성능 분석을 위하여 보드 레벨의 성능 분석을 하였다. 그림 5와 같이 실험 환경을 구축 하였다.

표 1은 사용하는 MEGA사의 기저대역 송신기 입력단의 케이블 손실(Cable Loss)을 나타낸다.

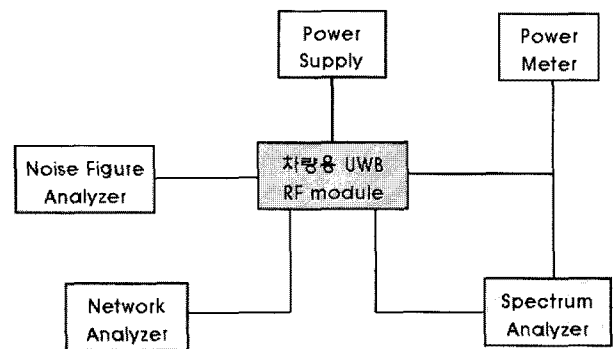


그림 5. 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈 실험 환경  
Fig. 5. RF front-end module test environments of vehicle UWB radars.

표 1. 기저대역 송신기 입력단의 케이블 손실  
Table 1. Cable loss of baseband transmitter input.

Frequency	Measurement(dB)
250MHz	0.5
500MHz	0.7
750MHz	0.86
1.00GHz	1.05

표 2는 MEGA사의 기저대역 수신기 출력단의 케이블 손실을 나타낸다.

표 2. 기저대역 수신기 출력단의 케이블 손실  
Table 2. Cable loss of baseband receiver output.

Frequency	Measurement(dB)
250MHz	0.1
500MHz	0.14
750MHz	0.26
1.00GHz	0.25

표 3은 MEGA사의 RF 수신기 입력단의 케이블 손실을 나타낸다.

표 3. RF 수신기 입력단의 케이블 손실  
Table 3. Cable loss of RF receiver input.

Frequency	Measurement(dB)
23.00GHz	3.53
23.25GHz	3.63
23.50GHz	3.72
23.75GHz	3.9
24.00GHz	3.9
24.25GHz	4.1
24.50GHz	4
24.75GHz	4
25.00GHz	4.1

표 4는 MEGA사의 RF 송신기 출력단의 케이블 손실을 나타낸다.

표 4. RF 송신기 출력단의 케이블 손실  
Table 4. Cable loss of RF transmitter output.

Frequency	Measurement(dB)
23.00GHz	1.7
23.25GHz	1.7
23.50GHz	1.8
23.75GHz	1.7
24.00GHz	1.76
24.25GHz	1.83
24.50GHz	1.85
24.75GHz	1.8
25.00GHz	1.85

표 5는 기저대역 송신기 입력단의 반사 손실 (Return Loss)을 나타내고, 그림 6은 이에 대한 결과 분석도이다.

표 5. 기저대역 송신기 입력단의 반사 손실  
Table 5. Return loss of baseband transmitter input.

Frequency	Measurement(dB)	VSWR
500MHz	21	1.2
1.00GHz	23	1.15

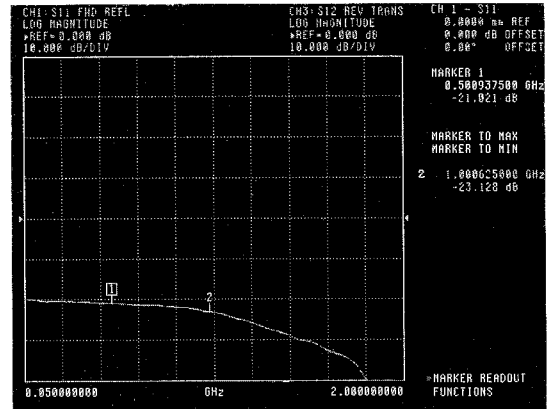


그림 6. 기저대역 송신기 입력단의 반사 손실  
Fig. 6. Return loss of baseband transmitter input.

표 6은 기저대역 수신기 출력단의 반사 손실을 나타내고, 그림 7은 이에 대한 결과 분석도이다.

표 6. 기저대역 수신기 출력단의 반사 손실  
Table 6. Return loss of baseband receiver output.

Frequency	Measurement(dB)	VSWR
500MHz	17.8	1.2
1.00GHz	13.6	1.53

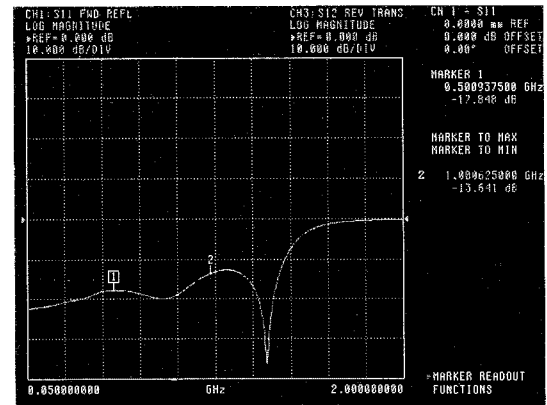


그림 7. 기저대역 수신기 출력단의 반사 손실  
Fig. 7. Return loss of baseband receiver output.

표 7은 RF 송신기 출력단의 반사 손실을 나타내고, 그림 8은 이에 대한 결과 분석도이다.

표 7. RF 송신기 출력단의 반사 손실  
Table 7. Return loss of RF transmitter output.

Frequency	Measurement(dB)	VSWR
23.00GHz	10.8	1.8
23.50GHz	17.3	1.3
24.00GHz	15.3	1.4
24.50GHz	23.6	1.14
25.00GHz	13.7	1.5

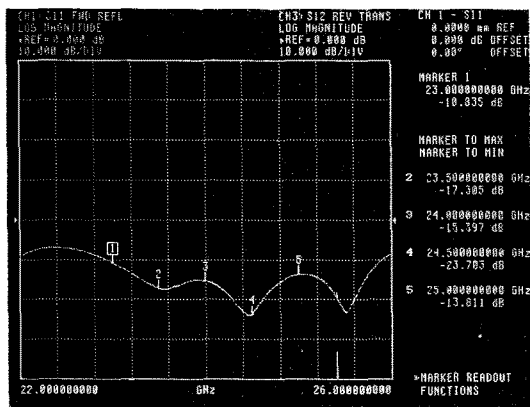


그림 8. RF 송신기 출력단의 반사 손실  
Fig. 8. Return loss of RF transmitter output.

표 8은 RF 송신기 입력단의 반사 손실을 나타내고, 그림 9는 이에 대한 결과 분석도이다.

표 8. RF 송신기 입력단의 반사 손실  
Table 8. Return loss of RF transmitter input.

Frequency	Measurement(dB)	VSWR
23.00GHz	7.7	2.39
23.50GHz	11.2	1.76
24.00GHz	16	1.37
24.50GHz	9.8	1.95
25.00GHz	9	2.1

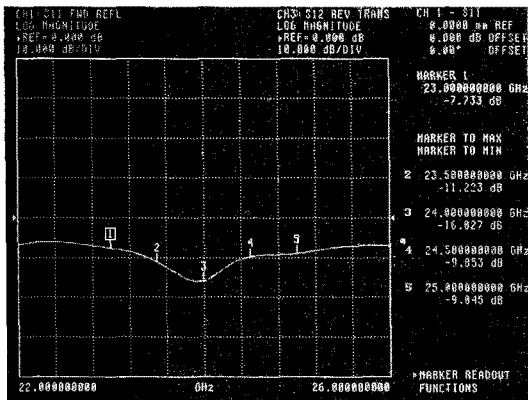


그림 9. RF 송신기 입력단의 반사 손실  
Fig. 9. Return loss of RF transmitter input.

표 9는 기저대역 입력단에서 RF의 출력단으로 파워를 20dBm으로 놓았을 때의 송신기 이득(Gain)을 나타내고, 그림 10은 이에 대한 결과 분석도이다.

표 9. 송신기 이득  
Table 9. Transmitter gain.

Frequency	Measurement(dB)
23.00GHz	-2.7
23.25GHz	-0.3
23.50GHz	-0.2
23.75GHz	1
24.25GHz	2.13
24.50GHz	2.35
24.75GHz	2.3
25.00GHz	3.25

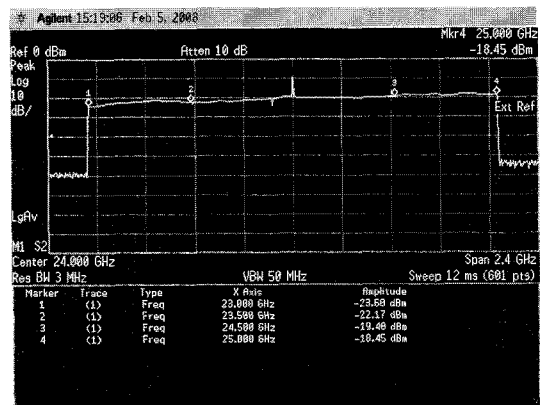


그림 10. 송신기 이득  
Fig. 10. Transmitter gain.

표 10은 RF 입력단에서 기저대역의 출력단으로 파워를 35dBm으로 놓았을 때 수신기 이득을 나타내고, 그림 11은 이에 대한 결과 분석도이다.

표 10. 수신기 이득  
Table 10. Receiver gain.

Frequency	Measurement(dB)
23.00GHz	17.5
23.25GHz	17
23.50GHz	15.5
23.75GHz	15.5
24.25GHz	16.8
24.50GHz	17.2
24.75GHz	17.1
25.00GHz	17

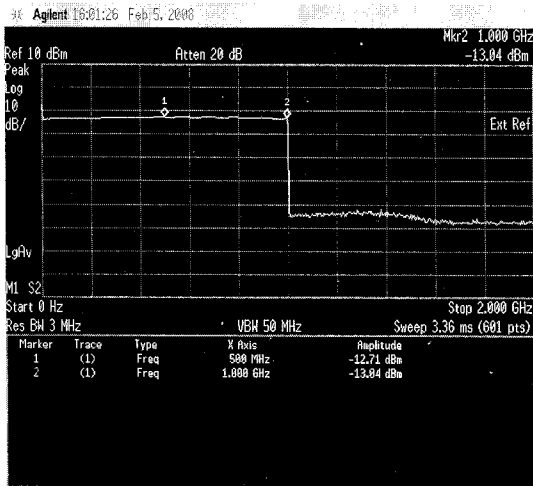


그림 11. 수신기 이득  
Fig. 11. Receiver gain.

표 11은 기저대역 입력단에서 RF 출력단으로 파워를 20dBm으로 놓았을 때의 출력 P1dB의 결과표를 나타낸다.

표 11. 출력단의 P1dB  
Table 11. P1dB of output.

Frequency	Measurement(dBm)
23.00GHz	-3
23.25GHz	-0.9
23.50GHz	-0.7
23.75GHz	-0.2
24.25GHz	0.63
24.50GHz	1.45
24.75GHz	1.5
25.00GHz	1.85

표 12는 RF 입력단에서 기저대역 출력단으로 파워를 35dBm으로 놓았을 때 입력 P1dB의 결과표를 나타낸다.

표 12. 입력단의 P1dB  
Table 12. P1dB of input.

Frequency	Measurement(dBm)
23.00GHz	-26
23.25GHz	-25
23.50GHz	-25
23.75GHz	-25
24.25GHz	-26
24.50GHz	-26
24.75GHz	-25
25.00GHz	-26

표 13은 RF 입력단에서 기저대역 출력단으로의 잡음 지수를 나타낸 결과표이고, 그림 12는 이에 대한 결과 분석도이다.

표 13. 잡음 지수  
Table 13. Noise figure.

Frequency	Measurement(dB)
100MHz	3.621
200MHz	3.583
300MHz	3.511
400MHz	3.432
500MHz	3.429
600MHz	3.457
700MHz	3.463
800MHz	3.450
900MHz	3.430
1.00GHz	3.500

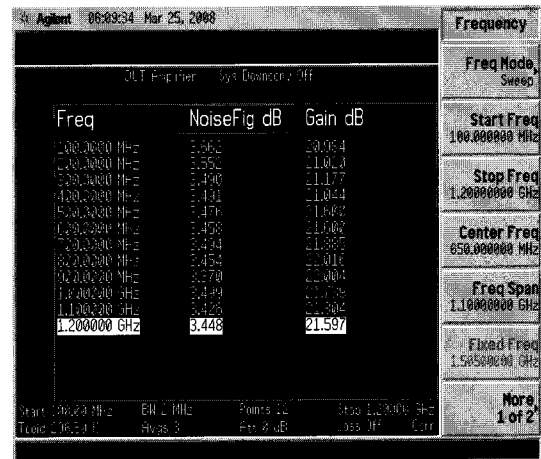


그림 12. 잡음 지수  
Fig. 12. Noise figure.

#### IV. 측정 결과

그림 13은 차량용 UWB 레이더의 RF 모듈에 8ns의 입력 임펄스 신호를 넣고, 주기를 100ns로 놓았을 때의 실제 송/수신 신호를 스펙트럼을 사용하여 측정된 환경 구축이다.

그림 14는 실제 송/수신 신호를 스펙트럼으로 위상차를 보여주고 있다. 실험의 정확성을 위해서 RF의 TX와 RX를 고주파 케이블로 연결을 하여 실험 하였다. 케이블 길이는 60cm이고, 송신 신호와 수신 신호의 차이는 모듈을 통한 시간 지연과 케이블을 통한 시간 지연의

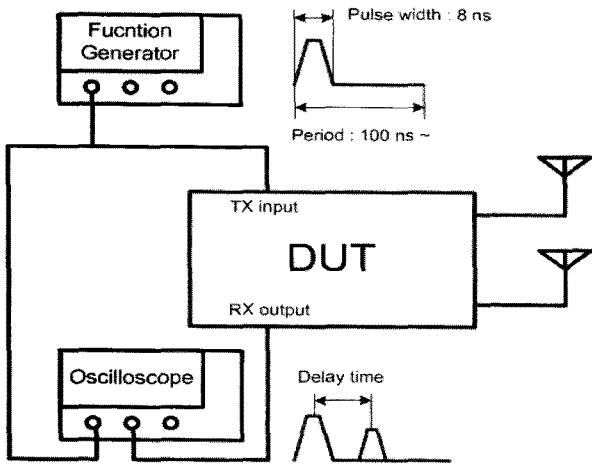


그림 13. 송/수신 실험 환경  
Fig. 13. Transmitter and receiver test environment.

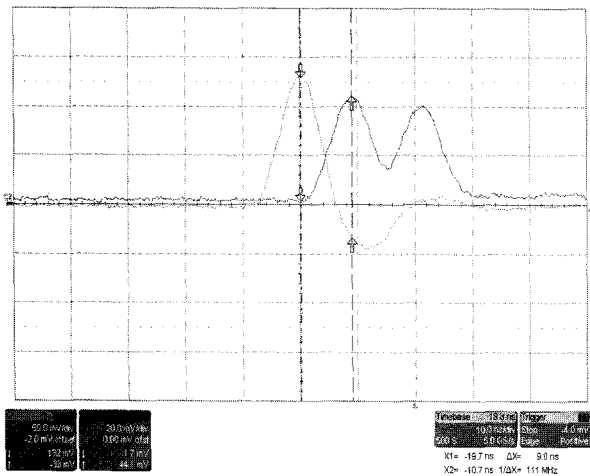


그림 14. 송/수신 신호 결과  
Fig. 14. Transmitter and receiver signal measurement.

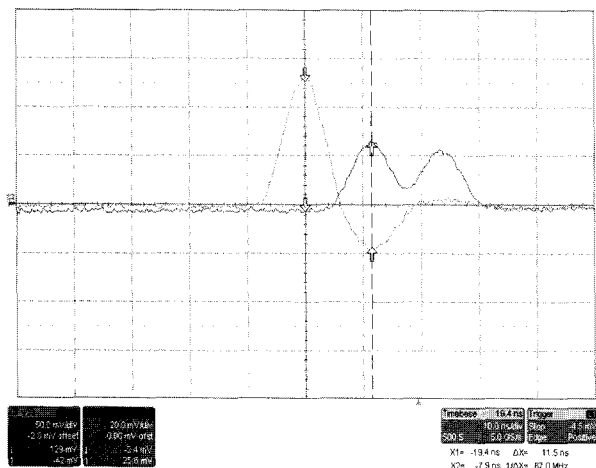


그림 15. 60cm 케이블을 연장한 송/수신 신호 결과  
Fig. 15. Transmitter and receiver test environment to extend 60cm cable.

함을 나타낸다.

그림 15는 레퍼런스에 60cm 케이블을 추가하였을 때

의 실제 송/수신 신호를 스펙트럼으로 위상차를 보여주고 있다.

그림 14와 15의 결과 그래프에서 보면 송신 신호가 펄스 신호가 아닌 사인과 비슷한 신호가 입력되고, 따라서 반사되어 수신된 신호도 싱글 신호가 아닌 더블 신호로 출력 되는 것을 볼 수 있다. 이는 실험상 입력 임펄스 신호를 사용하기 위하여 함수 발생기(Function Generator)를 사용하였는데, 송/수신 신호를 동시에 보기 위하여 함수 발생기의 신호 출력단에 분배기(Divider)를 사용하였기 때문에 생기는 현상이다. 따라서 실제로 송/수신 신호를 동시에 디스플레이하지 않고, 분배기를 사용하지 않으면 이런 현상은 발생하지 않는다. 위의 그림 14에서는 60cm 기본 케이블을 사용하였고, 그 결과에서 송신 신호와 수신 신호와의 차이인  $\Delta t$ 가 9.0ns인 것을 알 수 있다. 또한 그림 15에서는 기본 60cm 케이블 외에 추가로 60cm 케이블을 하나 더 사용하였고, 그 결과 송신 신호와 수신 신호와의 차이인  $\Delta t$ 가 11.5ns인 것을 알 수 있다. 기본적으로 30cm 정도의 거리에서 1ns의 지연이 생기는 것을 감안한다면 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 모듈의 지연은 7ns정도 지연됨을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문은 차량용 UWB 레이더의 RF front-end 개발의 내용이다. 현재 국내에서는 차량용 UWB 레이더에 대한 시스템이 개발되어 있지 않은 상태이다. 차량용 레이더에 대한 시스템으로는 밀리미터웨이브를 이용한 제품이 10여년 전 부터 연구하고 있다. 물론 현재 밀리미터웨이브의 경우 RF front-end 부분은 개발되어졌다. 하지만 고가이고, 신호처리부분의 어려움으로 그 성능에 한계가 있는 상태이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 차량용 UWB 레이더 개발이 더욱 발전하여야 하고, 제안한 시스템 후속으로 다음 버전의 차량용 UWB 레이더 시스템 개발을 진행하여야 한다. 따라서, 다음에 제작하는 차량용 UWB RF front-end의 모듈은 I/Q quadrature를 적용한 DCR방식으로, 입력 신호에 1ns의 입력 임펄스 신호를 발생시킬 것이며, 지연 입력 펄스(Delay Input Pulse)를 제작하여, 수신되는 신호와 모듈 내부의 지연 입력 신호와 상관기(Correlator)를 제작하여 실제 지연 시간을 추출하여 움직이는 물체의 거리를 측정하도록 할 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Kong-Pang, Jose Epifanio da Franca and Carlos Azerdo-Leme, "Circuit Design For Wireless Communications", 2003.
- [2] Behzad Razavi. "Design Considerations for Direct-Conversion Receivers" IEEE Transactions on Circuit and Systems-11, Analog and Digital signal Processing, Vol. 44, No. 6, pp.428-435. June. 1997.
- [3] Sangyoub Lee, "Design and Analysis of Ultra-Wide Bandwidth Impulse Radio Receiver" University of Southern California.
- [4] Anh-Tuan Phan, Chang-Wan Kim "A High Performance CMOS Direct Down Conversion Mixer for UWB System". ICU
- [5] M. Hotti, J. Ryyanen, K. Kivekas, and K. Halonen, "An IIP2 calibration technique for direct conversion receivers", in proceedings of IEEE international Symposium on Circuits and Systems(ISCAS), pp. 257-260, May 2004.
- [6] K. Kivekas, A. Parssinen, and K. Halonen, "Characterization of IIP2 and DC-Offsets in Trans-conductance Mixers", IEEE trans. on Circuits and Systems-II : Analog and Digital Signal Processing, Vol. 48, pp.1028-1038, Nov. 2002.
- [7] D. Manstretta, M. Brandolini, and F. Svelto "Second-order intermodulation mechanisms in CMOS Down-converters", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 38, pp.394-406, March. 2003.
- [8] M. Hotti, J. Ryyanen, and K. Halonen "IIP2 calibration methods for current output mixer in direct-conversion receivers", in proceedings of IEEE international Symposium on Circuits and Systems(ISCAS), pp.5059-5062. May. 2005.
- [9] 광재광, 고광철 "RF Front-end를 응용한 UWB (초광대역)수신부의 LNA와 Mixer에 대한 분석 및 설계" 2004년도 대한전자공학회 학계종합학술대회 논문집 27권 1호, pp225-228. 2004.
- [10] 정재훈, 황보현, 김신녕, 정찬영, 이미영, 유창식 "무선 수신기용 Down-Conversion mixer의 2차 비선형성과 DC-Offset 제거 기법" 전자공학회 논문지 제 43권 SD편 제 10호, pp97-103, Oct. 2006.
- [11] 신요안, 양석철 "UWB 기술 개요" EP&C, 01. 2003. pp80~85
- [12] A. G. Stove, "Linear FMCW radar techniques". IEE Proceedings-F, Vol. 139, No. 5, pp.343-350, Oct, 1992.
- [13] K. C. Chang and Y. Bar-Shalom, "Joining Probabilistic Data Association for Multitarget Tracking with Possibly Unresolved Measurements and Maneuvers". IEEE transaction on Automatic Control, Vol. AC-29, pp.585-594, Jul. 1994.
- [14] John A. Lawton and Paul Zarchan, "Comparison of four Filtering Options for a Radar Tracking Problem", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.21, No. 4, pp.618-623, Jul.-Aug. 1998.
- [15] 김찬현, 김수범, 공영균, 김영수 "차량용 근거리 계측을 위한 고분해능 FMCW 레이더의 구현" 2001년도 한국전자과학기술 종합학술발표회 논문집, Vol.11. No 1. pp324-327, Nov. 2001.

## 저 자 소 개

박 지 호(정회원)

대한전자공학회 논문지

제43권 TC편 제2호 참조

<주관심분야 : 이동통신, 무선네트워크, USN>

김 태 규(정회원)

2004년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부

학사 졸업.

2008년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.

2008년 경북대학교 전자공학과 박사 재학중.

<주관심분야 : 마이크로파 통신시스템 및 서비스 시스템>