

CMOS UWB 레이더 센서의 첨두전력 계산에 관한 연구

Peak Power Calculation of CMOS Ultra-Wideband Radar Sensor

김홍희 · 어윤성* · 김인복 · 한성연 · 주현준 · 조경환

Hong-Hee Kim · Yun-Seong Eo* · In-Bok Kim · Sung-Yoen Han · Hyoun-Joon Joo · Kyoung-Hwan Jo

요약

본 논문에서는 스펙트럼 분석기로 측정된 UWB(ultra wide-band) 펄스 신호의 평균전력과 10 dB 대역폭으로부터 UWB 펄스 신호의 첨두전력을 근사화하는 계산식을 제안한다. 오실로스코프로 측정된 UWB 펄스 신호의 순간 첨두 전압을 전력으로 변환하고 제안된 계산식의 결과값과 비교하여 두 결과가 근사함을 보였다. 시험에는 3~5 GHz CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) UWB 레이더 센서를 사용하였다. 중심주파수는 4 GHz이고, 펄스 반복율은 10 MHz, 10 dB 대역폭은 500 MHz~1 GHz이다. UWB 펄스 신호의 크기와 대역폭 그리고 스펙트럼 분석기의 RBW를 바꿔가면서 시험하였고, 제안된 계산식을 사용하여 얻은 첨두전력과 오실로스코프 측정치로부터 얻은 첨두전력을 비교했을 때 오차 범위는 0.05~1.71 dB로 두 결과가 근사함을 확인하였다.

Abstract

This paper presents the calculation of the approximate peak power of an ultra-wideband (UWB) pulse based on average power and 10 dB bandwidth measured using a spectrum analyzer. The instantaneous peak power of the UWB pulse signal converted from the instantaneous peak voltage measured using an oscilloscope and the result of the proposed calculation method are compared and shown to be approximately equal. A 3~5 GHz CMOS UWB radar sensor is used for verification. The center frequency, pulse repetition frequency, and bandwidth are 4 GHz, 10 MHz, and 10 dB, respectively. The center frequency and pulse repetition frequency are 4 GHz and 10 MHz respectively. 10 dB bandwidth can be adjusted in the range 500 MHz to 1 GHz. The test was performed while varying amplitude and 10 dB bandwidth of UWB pulse. And the resolution bandwidth of the spectrum analyzer was also varied. The result indicates an error of approximately 0.05~1.7 dB.

Key words: UWB, Pulse, Radar, CMOS, Instantaneous, Peak Power, Bandwidth, RBW

I. 서론

최근 소형 무인기 비행체 탐지에 대한 군사적 관심이 높아지고 있다. 이에 상업용, 의료용으로 주로 사용되고 있는 UWB(ultra wide-band)레이더(radar)는 낮은 송신전력

으로 FMCW(frequency modulation continuous wave) 레이더에 비해 탐지거리가 짧은 단점이 있지만, 매우 정밀한 고해상도 거리 분해능의 장점을 가지고 있다. 또한 송수신 구조가 간단하여 고집적이 가능해 저전력, 소형화에 유리하고, 고속의 신호처리가 가능하다. 이를 기반으로

LIG 넥스원(주)(LIG Nex1 Co, Ltd)

*Silicon R&D

· Manuscript received January 5, 2022 ; Revised February 17, 2022 ; Accepted August 29, 2022. (ID No. 20220105-002)

· Corresponding Author: Hong-Hee Kim (e-mail: honghee.kim@lignex1.com)

군사용 초근거리 탐지 레이더에 CMOS(complementary metal- oxide semiconductor) 기반의 UWB 레이더 센서 기술을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1],[6]}.

본 논문에서 사용된 UWB 레이더 센서는 0.18 μm CMOS 기반의 공정을 통해 제작된 3~5 GHz CMOS UWB IC(integrated circuit)가 적용되었으며^{[2]-[5]}, 중심주파수는 4 GHz, 대역폭은 500 MHz~1 GHz의 범위를 갖는다. 펄스 반복율은 10 MHz이고, UWB 펄스 신호는 가우시안 형태로 출력되도록 설계되었다. 사용된 UWB 레이더 센서는 그림 1에 나타내었다.

UWB 신호의 특성상 순간적인 임펄스 형태를 가지고 있으므로 실제 스펙트럼 분석기에서 측정된 평균전력보다 상당히 큰 순간(instantaneous) 침투 전력이 발생하게 된다. 이는 UWB 레이더 송신기 설계에 있어 송신기 선형성을 결정하는 요인이 된다. 즉, 평균전력으로부터 순간적인 침투전력을 계산하는 방법이 필요하게 된다. 선형성의 관점뿐만 아니라, UWB 레이더의 송신기 link budget 계산을 할 경우, 평균전력보다 순간 침투전력을 토대로 SNR(signal to noise ratio)을 구하여 수신감도 및 탐지확률 계산이 가능한데, 이 또한 UWB 펄스 신호의 침투전력 계산의 필요성이라 할 수 있다.

제안된 계산식은 스펙트럼 분석기로 측정된 평균전력을 침투전력으로 변환해주는 계산식이며, 이를 검증하기 위해 오실로스코프를 사용하여 시간영역에서 UWB 펄스



그림 1. 3~5 GHz UWB 레이더 센서
Fig. 1. 3~5 GHz UWB RADAR sensor.

신호의 순간적인 침투전압을 측정하고, 이를 침투전력으로 변환한 결과와 비교하였다. 그리고 그 결과는 매우 근사함을 알 수 있었다.

오실로스코프로 측정이 가능한 비교적 낮은 주파수의 레이더 센서의 경우, 이와 같이 시간영역에서 신호를 측정하여 침투전력을 계산하는 게 가능하나, 일반적으로 Ku-band 이상의 주파수만 사용하더라도 실시간으로 UWB 펄스 신호를 측정하기 위해선 매우 고사양의 오실로스코프가 필요하며, 그보다 더 높은 주파수 대역에서는 측정이 불가능하다.

따라서 본 논문에서는 이러한 고성능의 오실로스코프가 없더라도 스펙트럼 분석기를 사용하여 UWB 펄스 신호의 평균전력과 10 dB 대역폭 측정을 통해 침투전력을 계산할 수 있는 계산식을 제안하였다.

II. UWB Peak Power Calculation

UWB 펄스 신호의 침투전력 계산식을 기술하기에 앞서 UWB 펄스 신호의 파형은 가우시안 형태로 출력되도록 설계되어 있는데, 본 논문에서는 계산의 편의를 위해 시간영역에서 측정되는 UWB 펄스 신호의 파형은 삼각파로 가정한다.

삼각파를 식 (1)과 같이 푸리에 변환 공식을 적용하여 주파수 영역으로 변환하면 그림 2와 같이 Sinc 함수 형태를 나타내게 된다^[8].

여기서 effective pulse width τ_{eff} 는 주파수 영역에서 측정되는 UWB 펄스 신호의 10 dB 대역폭에 해당하는 유효 펄스 폭이 된다.

전력은 전압의 제곱에 비례하는 관계로부터 침투전력

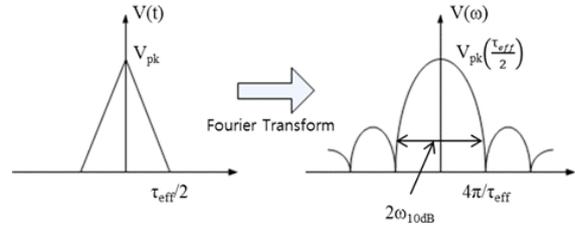


그림 2. 삼각파 푸리에 변환
Fig. 2. Fourier transform of triangular pulse.

대비 10 dB 낮은 전력레벨은 식 (1)에서 얻은 결과로부터 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$V(\omega) = V_{pk} \left(\frac{\tau_{eff}}{2} \right) \left(\frac{\sin(\omega(\tau_{eff}/2)/2)}{\omega(\tau_{eff}/2)/2} \right)^2$$

$$= V_{pk} \left(\frac{\tau_{eff}}{2} \right) \left(\frac{\sin(\omega\tau_{eff}/4)}{\omega\tau_{eff}/4} \right)^2 \quad (1)$$

$$\left[V_{pk} \left(\frac{\tau_{eff}}{2} \right) \left(\frac{\sin(\omega_{10dB}\tau_{eff}/4)}{\omega_{10dB}\tau_{eff}/4} \right)^2 \right]^2 = 0.1 \left[V_{pk} \left(\frac{\tau_{eff}}{2} \right) \right]^2 \quad (2)$$

식 (2)를 정리하면 $\omega_{10dB}\tau_{eff}/4 \approx 1.75$ 가 되는데, 여기서 $\omega_{10dB} = 2\pi f_{10dB}$ 로 10 dB 낮은 주파수를 나타내며, 중심 주파수를 기준으로 낮은 쪽 주파수(-f)와 높은 쪽(+f) 주파수가 존재한다.

따라서 ω_{10dB} 는 $2\pi BW_{10dB}/2$ 로 표현할 수 있고, 정리하면 시간영역에서 UWB 펄스 신호의 effective pulse width τ_{eff} 는 식 (3)과 같이 주파수영역의 10 dB 대역폭으로부터 구할 수 있다. 여기서 10 dB 대역폭은 스펙트럼 분석기로 측정된 UWB 펄스 신호의 대역폭이 된다.

$$\tau_{eff} = 4 \times 1.75 \times \frac{1}{\omega_{10dB}}$$

$$= 4 \times 1.75 \times \frac{1}{(2\pi BW_{10dB}/2)}$$

$$= 2.228/BW_{10dB} \quad (3)$$

다음은 평균전력과 첨두전력과의 관계에 대해 기술한다. 전력을 일정시간 적분하면 에너지가 되는데, 삼각파의 펄스 에너지는 식 (4)에 나타낸 것처럼 첨두전력 P_{pk} 과 펄스 폭 τ_{eff} 의 형태로 나타낼 수 있다. 그리고 그림 3과

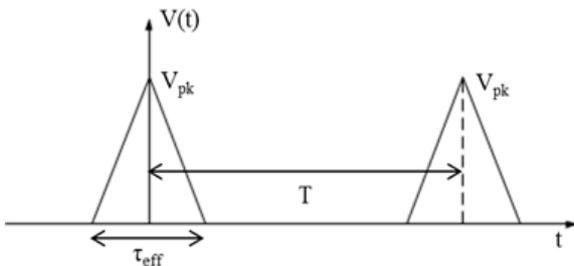


그림 3. 펄스 주기가 T인 삼각파
Fig. 3. Triangular pulse with pulse period T.

같이 펄스 반복 주기가 T인 삼각파의 평균전력은 식 (4)에서 얻은 펄스 에너지를 주기 T로 나누어 식 (5)와 같이

$$E_{tri_pulse} = 2 \times \frac{1}{3} \left(\frac{V_{pk}^2}{2Z_0} \right) \left(\frac{\tau_{eff}}{2} \right)$$

$$= \frac{1}{3} P_{pk} \tau_{eff} \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 식 (5)와 같이 정의된 평균전력과 첨두전력과의 관계에 삼각파에 대한 실효값을 적용하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 이는 흔히 알고 있는 평균전력과 첨두전력과의 관계로 평균전력은 첨두전력에 duty cycle을 곱해준 형태로 나타나게 되는데^[7] 여기서 펄스 폭 τ_{eff} 는 앞서 식 (3)에서 정의된 것처럼 단순히 시간영역에서의 펄스 폭이 아닌 주파수 스펙트럼상에서 10 dB 대역폭에 해당하는 유효 펄스 폭이 된다.

$$P_{avg} = \frac{E_{tri_pulse}}{T} = \frac{1}{3} \frac{P_{pk} \tau_{eff}}{T} \quad (5)$$

$$P_{pk} = P_{avg} \times \frac{T}{\tau_{eff}} \quad (6)$$

식 (6)을 사용하여 평균전력을 첨두전력으로 계산할 수 있으며, τ_{eff} 는 식 (3)으로부터 구할 수 있고, 주기 T는 펄스 반복율로서 UWB 레이다 센서 설계 시 시스템 운용 환경에 따라 최대탐지거리를 고려하여 결정되는 상수값이 된다. 마지막으로 평균전력 P_{avg} 는 식 (7)로부터 구할 수 있다.

$$P_{avg} = P_{marker} + 10 \log(BW_{10dB}/RBW) + \alpha \quad (7)$$

여기서 P_{marker} 는 스펙트럼 분석기로 측정된 UWB 펄스 신호 스펙트럼의 첨두값이며, BW는 첨두값 대비 10 dB 낮은 주파수 대역폭, RBW는 스펙트럼 분석기의 주파수 해상도 그리고 α 는 correction factor로서 -2.35 dB의 값을 가진다. Correction factor α 는 UWB 펄스 신호의 스펙트럼이 그림 4와 같이 $\sin^4 x/x^4$ 함수의 형태로 측정된다고 하면 스펙트럼에서 P_{marker} 의 전력을 1이라 할 때, 10 dB 대역폭 내의 전력의 합은 P_{marker} 전력의 2.35 dB 작은 대략 0.582 크기의 rectangular spectrum shape로 가정하여 BW를 곱한 값과 같다는 것을 의미한다. 이를 계산을 통해 알아보기 위해 그림 4의 $\sin^4 x/x^4$ 형태의 스펙트

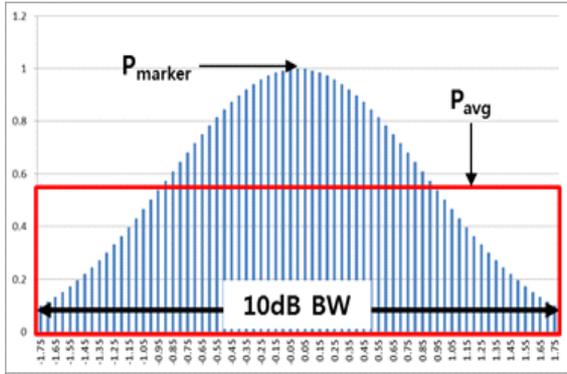


그림 4. $\sin^4 x/x^4$ 함수의 스펙트럼
Fig. 4. Spectrum of function $\sin^4 x/x^4$.

를 Shape 1이라 하고, 크기가 1이고 10 dB 대역폭에 해당하는 폭 3.4997을 갖는 rectangular shape를 Shape 2라고 하면 우선 Shape 1의 10 dB 대역폭 내 전력의 합은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\int_{-1.74985}^{1.74985} \frac{\sin^4(x)}{x^4} = 2.03599 \quad (8)$$

그리고 Shape 2의 전력의 합은 $1 \times 3.4997 = 3.4997$ 이 되고, dB 스케일로 변환한 Shape 1과 Shape 2의 전력의 차는 약 2.35 dB가 됨을 알 수 있다.

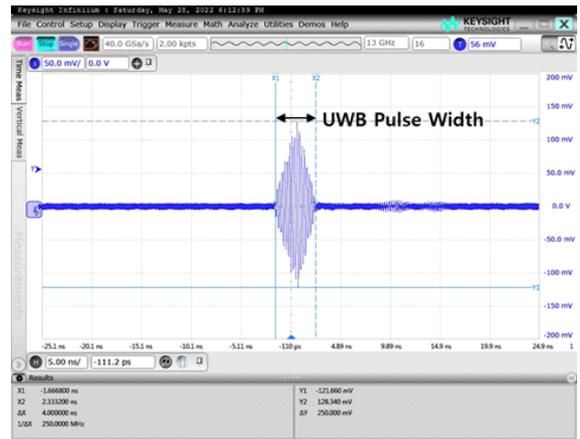
이렇게 구한 P_{avg} 와 식 (3)을 통해 얻은 τ_{eff} , 그리고 펄스 주기 T 를 식 (6)에 대입하면 UWB 펄스 신호의 침투전력 P_{pk} 를 계산할 수 있다.

다음은 해당 계산식을 통해 구한 UWB 펄스 신호의 침투전력이 오실로스코프로 측정된 실험치와 얼마나 근사한 값을 가지는지 확인하였다.

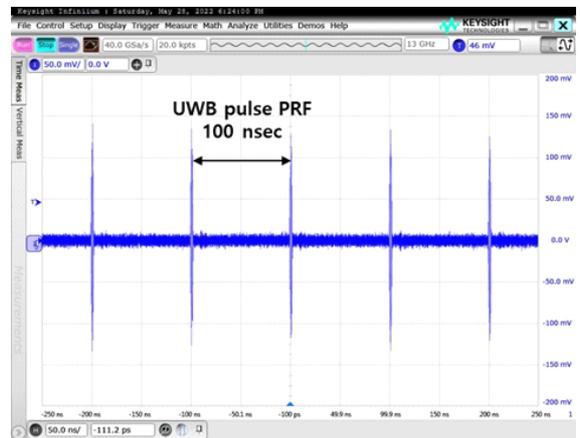
III. 실험 및 결과

식 (6)을 통해 계산한 UWB 펄스 신호의 침투전력과 오실로스코프로 UWB 펄스 신호 측정을 통해 얻은 값과 근사한지 비교하기 위해 시험을 수행하였다. 시험에는 3~5 GHz CMOS UWB 레이더 센서를 사용하였고 UWB 펄스 신호의 크기 및 펄스 폭 그리고 스펙트럼 분석기의 RBW를 바꿔가며 수행하였으며 각각의 결과가 식 (6)의 제안된 계산식 결과와 얼마나 근사한지 확인하였다.

그림 5는 오실로스코프로 측정한 시간영역에서의 UWB 펄스 신호를 나타낸다. 측정에 사용된 오실로스코프는 Keysight사의 DSA91304A이다. 그림 5(a)는 단일 UWB 펄스 신호 파형이고, 그림 5(b)는 UWB 펄스 신호가 100 nsec 간격으로 주기적으로 송신되고 있음을 보여준다. 먼저 UWB 펄스 신호의 크기를 바꿔가면서 측정한 결과와 제안된 계산식의 결과가 근사한지 확인하였다. 신호 크기 조절은 감쇄기를 사용하였다. 그림 6은 UWB 펄스 신호의 크기를 조절함에 따른 오실로스코프로 측정한 결과이다. 이때 UWB 펄스 신호의 펄스 폭은 3.16 nsec로



(a) 단일 UWB 펄스 신호
(a) Single UWB pulse signal



(b) UWB 펄스 신호 반복율
(b) PRF of UWB pulse signal

그림 5. 오실로스코프로 측정한 UWB 신호
Fig. 5. UWB pulse signal measured by oscilloscope.

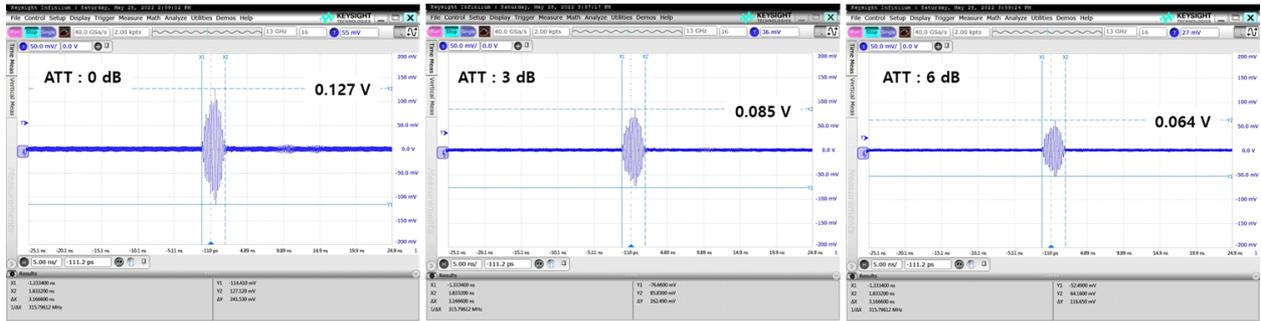


그림 6. 감쇄량에 따른 UWB 펄스 신호 크기
Fig. 6. UWB pulse signal amplitude by attenuation.

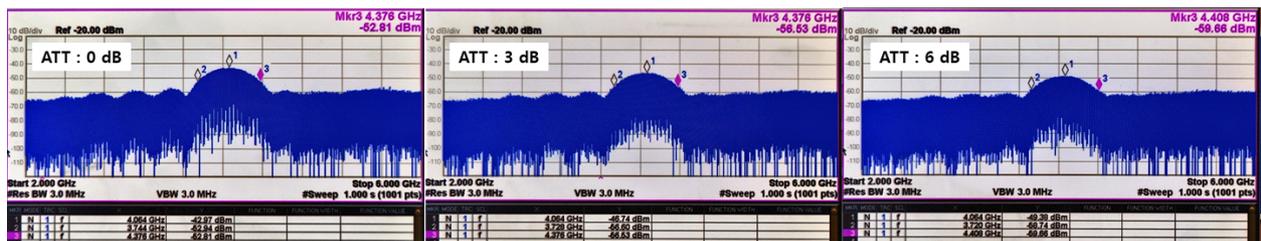


그림 7. 감쇄량에 따른 UWB 펄스 신호 스펙트럼
Fig. 7. UWB pulse signal spectrum by attenuation.

고정하였고, 침두전압은 10회 평균한 측정값이다.

그림 7은 스펙트럼 분석기로 측정한 UWB 펄스 신호의 스펙트럼 신호 감쇄량에 따라 나타내었다. UWB 펄스 신호의 크기 및 스펙트럼 분석기의 RBW값에 따른 측정결

과와 제안된 계산식의 결과를 표 1에 나타내었다.

감쇄량에 따라 오실로스코프로 UWB 펄스 신호의 침두전압을 각각 측정하였고, 이를 침두전력으로 변환한 결과를 표 1의 (1)에 나타내었다. 그리고 스펙트럼 분석기로

표 1. 크기 및 RBW에 따른 UWB 펄스 신호의 침두전력 비교

Table 1. A comparison of peak power for UWB pulse signal according to amplitude and RBW.

Oscilloscope measurement results				Spectrum analyzer measurement results			(2) Calculated P_{peak} [dBm]	Error (1)-(2)
Pulse width [ns]	ATT [dB]	V_{peak} [V]	(1) Calculated P_{peak} [dBm]	Measured P_{avg} [dBm]	Measured BW_10 dB [MHz]	RBW [MHz]		
3.16	0	0.127	-7.92	-42.97	632	3	-7.52	0.30
				-42.93	632	4	-8.77	0.84
				-41.64	632	5	-8.44	0.52
	3	0.085	-11.41	-46.74	648	3	-11.11	0.30
				-46.41	680	4	-11.61	0.20
				-44.96	664	5	-11.34	0.08
	6	0.064	-13.88	-49.38	688	3	-13.23	0.65
				-49.03	712	4	-13.83	0.05
				-47.66	704	5	-13.53	0.35

측정한 평균전력과 10 dB 대역폭 그리고 RBW를 식 (3)과 (7)에 대입하여 effective pulse width τ_{eff} 와 P_{avg} 를 구한 뒤 식 (6)의 제안된 계산식으로 계산한 침투전력을 표 1의 (2)에 나타내었다. 이 때 스펙트럼 분석기의 측정결과와 스펙트럼 분석기의 RBW를 3 MHz부터 5 MHz까지 다르게 설정하였다. 측정을 통해 얻은 침투전력(1)과 계산식을 통해 구한 침투전력(2)를 비교했을 때 1 dB 이내의 오차를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

다음은 UWB 펄스 신호의 펄스 폭을 변화시켰을 때 제안된 계산식의 결과가 측정결과와 근사한지 확인하였다. 그림 8과 그림 9는 UWB 펄스 신호의 펄스 폭에 따른 신호 파형과 스펙트럼을 나타내고 있다. UWB 레이더 센서 제어어를 통해 펄스 폭은 2.44 ns, 3.16 ns, 4.0 ns가 되도록 하였으며, 이 때 스펙트럼 분석기로 측정된 10 dB 대역폭은 각각 920 MHz, 632 MHz, 536 MHz이다. 식 (3)을 이용해 effective pulse width τ_{eff} 를 각각의 경우에 대해 계산해보면 2.42 ns, 3.52 ns, 4.15 ns로 실제 오실로스코프를 통해 측정된 펄스 폭과 유사함을 확인할 수 있었고, 펄스 폭 변화에 따른 측정결과와 제안된 계산식의 결과를 비교하

였으며, 이를 표 2에 나타내었다. 그 결과, 스펙트럼 분석기의 RBW값에 따라 약간의 차이는 있지만 측정결과와 계산결과와의 오차는 펄스 폭이 2.44 ns일 때 RBW 3 MHz에서 최대 1.71 dB, 펄스 폭 3.16 ns일 때 RBW 3 MHz에서 최소 0.37 dB의 오차가 발생함을 확인할 수 있었다.

따라서 펄스 폭 변화에 따른 침투전력 계산 결과 또한 측정치와 비교했을 때 근사한 값을 가짐을 보인다. 그리고 오차가 발생하는 부분에 대해서는 사용자가 스펙트럼 분석기로 평균전력과 10 dB 대역폭을 측정하는데 이 때 생길 수 있는 측정 오차가 계산에 반영된 결과로 볼 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 스펙트럼 분석기로 측정된 UWB 펄스 신호의 평균전력과 10 dB 대역폭을 사용해 UWB 펄스 신호의 침투전력을 근사화하는 계산식을 제안하였다. 시험에는 3~5 GHz CMOS UWB 레이더 센서를 사용하였고, UWB 펄스 신호의 출력 레벨 및 펄스 폭을 가변하면서

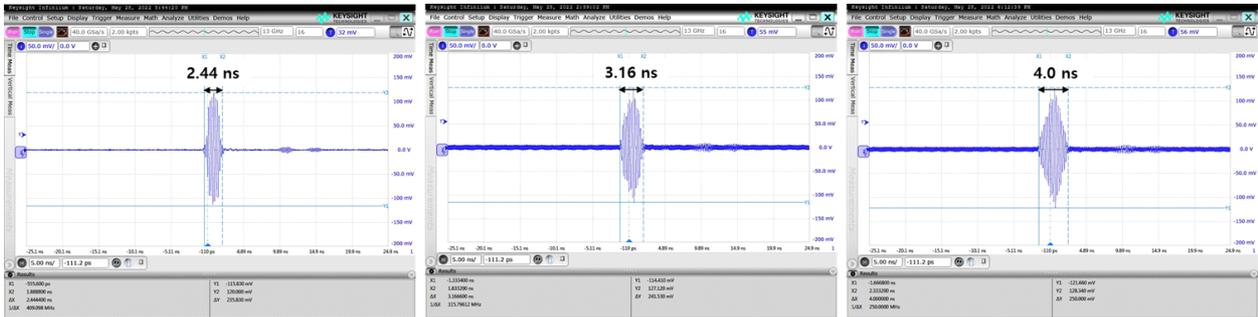


그림 8. 펄스 폭 변화에 따른 UWB 펄스 신호
Fig. 8. UWB pulse signal by pulse width variation.

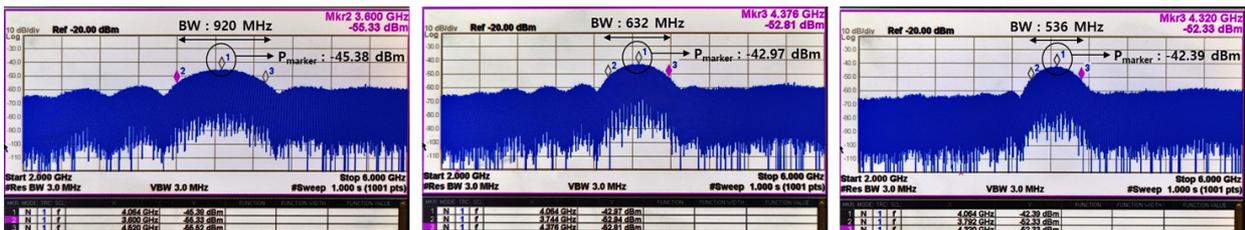


그림 9. 펄스 폭 변화에 따른 UWB 펄스 신호 스펙트럼
Fig. 9. UWB pulse signal spectrum by pulse width variation.

표 2. 펄스 폭 및 RBW에 따른 UWB 펄스 신호의 침투전력 비교

Table 2. A comparison of peak power for UWB pulse signal according to pulse width and RBW.

Oscilloscope measurement results				Spectrum analyzer measurement results			(2) Calculated P_{peak} [dBm]	Error (1)-(2)
Pulse width [ns]	ATT [dB]	V_{peak} [V]	(1) Calculated P_{peak} [dBm]	Measured P_{avg} [dBm]	Measured BW_10 [MHz]	RBW [MHz]		
2.44	0	0.120	-8.42	-45.38	920	3	-6.70	1.71
				-45.39	936	4	-7.81	0.60
				-44.35	928	5	-7.82	0.60
3.16		0.127	-7.92	-42.97	632	3	-7.56	0.37
				-42.93	632	4	-8.77	0.84
				-41.64	632	5	-8.44	0.52
4.0		0.128	-7.86	-42.39	536	3	-8.41	0.55
				-41.93	536	4	-9.20	1.34
				-40.86	536	5	-9.10	1.24

계산식의 결과와 오실로스코프로 측정된 값을 비교하였다. 그 결과, 1.71 dB 이내의 오차를 가지며 두 결과가 근사함을 보였다.

본 논문에서 제안한 계산식을 통해 C-band UWB 레이더 센서의 침투전력을 계산하고, 이를 레이더의 탐지거리 및 수신전력 계산을 위한 link budget^[7]을 산출하는 데 유용하게 적용할 수 있을 것으로 생각한다. 더 나아가 군사용 목적의 RF 레이더 센서의 점점 더 높아지고 있는 운용 주파수 측면을 고려했을 때, 계측기로 측정이 어려운 부분을 해당 계산식을 통해 어느 정도 근사화하여 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] T. Chu, J. Roderick, S. Chang, T. Mercer, C. Du, and H. Hashemi, "A short-range UWB impulse-radio CMOS sensor for human feature detection," in *2011 IEEE International Solid-State Circuits Conference*, San Francisco, CA, Feb. 2011, pp. 294-296.

[2] S. H. Jung, J. O. Ha, H. J. Yoo, C. W. Cheong, Y. S. Eo, and Y. H. Chun, et al., "A 3-5 GHz fully integrated CMOS UWB radar chip," in *2013 European Radar Conference(EuRAD)*, Nuremberg, Oct. 2013, pp. 57-60.

[3] S. G. Kim, Y. S. Eo, and H. C. Park, "A CMOS UWB RFIC based radar system for high speed target detection," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 5, pp. 419-425, May 2017.

[4] S. H. Jung, S. G. Kim, W. S. Choi, J. Y. Jeon, J. G. Kim, and Y. S. Eo, et al., "A CMOS UWB radar sensor for high speed moving objects," in *2016 European Radar Conference(EuRAD)*, London, Oct. 2016, pp. 1489-1492.

[5] W. S. Choi, M. C. Park, H. J. Oh, and Y. S. Eo, "A switched VCO-based CMOS UWB transmitter for 3~5 GHz radar and communication systems," *Journal of Semiconductor Technology and Science*, vol. 17, no. 3, pp. 326-332, Jun. 2017.

[6] G. H. Kim, "UWB radar technology trend," *The Proceeding of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 13, no. 3, pp. 52-62, Jul. 2002.

[7] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, 3rd ed. New York, NY, McGraw-Hill, 2001.

[8] S. Haykin, M. Moher, *Communication Systems*, 5th ed. Hoboken, NJ, John Wiley&Sons, 2009.

김 홍 희 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3853-1811>



2013년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2015년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
2015년 3월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] UWB 레이더 센서, FMCW 레이더 센서, 레이더 고도계, RF회로 및 시스템, 초고주파 회로 등

한 성 연 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-4599-0928>



2014년 2월: 경희대학교 전자전파공학과 (공학사)
2014년 2월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 신관, 전자식 안전장전장치, UWB레이더센서, FMCW 레이더 센서, 고전압 회로등

어 윤 성 [광운대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0003-4508-6672>



1993년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
1995년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2001년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2000년 8월~2002년 8월: LG 전자기술원 RF Team 선임연구원

2002년 9월~2005년 8월: 삼성종합기술원 Chip Solution Center/삼성전자 DM연구소 책임연구원

2004년 3월~2004년 5월: 그리스 Athena Semi사 파견 공동연구

2005년 9월~현재: 광운대학교 전자공학과 교수

2009년 9월~현재: 실리콘알앤디(주) 대표이사

[주 관심분야] UWB CMOS 레이더 IC 및 센서모듈, FMCW CMOS 레이더 IC 및 모듈, 초고주파 CMOS 시스템 설계, CMOS/GaN 전력증폭기 설계

주 현 준 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5042-0906>



2009년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)

2020년 2월: 고려대학교 전기전자컴퓨터공학과 (공학석사)

2009년 1월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 신호처리, RF 등

김 인 복 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0718-2025>



2008년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

2010년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

2015년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

2015년 3월~현재: LIG넥스원 수석연구원

[주 관심분야] RF/MW/MMW 회로 및 시스템, 초광대역 소자, UWB/FMCW 레이더 센서 등

조 경 환 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4269-8035>



2006년 2월: 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)

2008년 8월: 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학석사)

2008년 7월~현재: LIG넥스원 PGM2연구소 수석연구원

[주 관심분야] RF회로 및 시스템, RF SoC