

FMCW 레이다 신호에 의한 전자파노출량 평가 연구

Assessment Study of Electromagnetic Wave Exposure by FMCW Radar Signal

김태홍¹ · 권재광² · 안준오³ · 백정기^{*4} · 이종일^{**5} · 최동근^{**6} · 김기회^{**7}

Tae-Hong Kim¹ · Jae-Gwang Kwon² · Jun-Oh An³ · Jeong-Ki Pack^{*4} · Jong-Il Lee^{**5} ·
Dong-Geun Choi^{**6} · Ki-Hwea Kim^{**7}

요 약

차량용 레이다 활용의 증가로 FMCW 방식의 레이다가 많이 이용되고 있다. 이러한 차량용 레이다에 의한 전자파 인체 노출에 대하여 우려가 증가하고 있다. 하지만 국내에 FMCW 파형에 대한 전자파 인체보호기준이 현재 없는 상태이다. 이를 위해 이 논문에서는 다양한 종류의 FMCW 파형을 시험하고 측정하여 인체 노출량 평가에 대한 기초자료를 제시하는 데 있다.

Abstract

Owing to the increase in the use of radars in vehicles, FMCW-type radars are being widely used. Concerns regarding the exposure of the human body to electromagnetic waves by such vehicle radars are increasing. However, there is currently no standard for human body protection against FMCW waveforms in Korea. In this study, various types of FMCW waveforms were tested and measured to present basic data for human exposure assessment.

Key words: FMCW, EMF, Radar, Exposure, Assessment

I. 서 론

최근 전파기술의 발전으로 레이다의 원리를 이용한 차량용 레이다 및 물체감지 레이다, 심박 및 호흡감지 레이다 등 RF 대역을 이용한 다양한 감지센서가 실생활에 이용되고 있어 이러한 기기로부터 발생하는 전자파에 대한

인체영향 우려 또한 증가하고 있다. RF 물체 및 인체감지 센서는 연속파인 CW(continuous wave)뿐만 아니라, 펄스(pulse), FMCW(frequency modulation continuous wave), UWB 등 다양한 파형을 이용하고 있다. 그러나, 현재 국내 전자파인체보호기준은 1998년 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)의 기준으로

「이 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국립전파연구원의 지원을 받아 수행된 연구임(전파연구지원, 안전한전파환경 기반조성.)
(쑤미래전파공학연구소(Institute for Future Radio Engineering))

*충남대학교 전파공학과(Department of Radio & Information Communications Engineering, Chungnam National University)

**국립전파연구원(National Radio Research Agency)

1: 책임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-9065-1645>), 2: 연구원(<https://orcid.org/0000-0001-7957-9374>), 3: 소장(<https://orcid.org/0000-0003-3640-9062>),
4: 명예교수(<https://orcid.org/0000-0003-3185-6939>), 5: 주무관(<https://orcid.org/0000-0002-4818-0974>), 6: 연구사(<https://orcid.org/0000-0003-0845-291X>),
7: 연구관(<https://orcid.org/0000-0003-2003-5529>)

· Manuscript received November 9, 2022 ; Revised December 1, 2022 ; Accepted January 2, 2023. (ID No. 20221109-004S)

· Corresponding Author: Tae-Hong Kim (e-mail: thkim@ifre.re.kr)

CW와 펄스파에 대한 기준값만 있기 때문에 FMCW 같은 새로운 파형에 대한 전자파 노출량 평가를 위한 연구가 필요하다. 차량용 FMCW 주파수는 77~81 GHz까지 최대 4 GHz의 대역폭이 사용가능하다. 대역폭이 증가할수록 보다 작은 물체까지 탐지할 수 있기 때문에 차량용 레이더의 성능이 높아질수록 대역폭이 증가한다. 그러나, 대역폭이 수 GHz 이상으로 커지면 RBW(resolution bandwidth)가 충분히 지원되지 않은 스펙트럼 분석기는 정확한 값을 측정할 수 없다^[1]. ETSI(European Telecommunication Standards Institute)는 77~81 GHz에서 동작하는 레이더로부터 전력 측정을 위해서는 50 MHz의 RBW를 요구한다. 이 논문은 FMCW 파형에 대한 노출량 평가를 위한 시험 및 결과에 관한 내용이다.

II. 본 문

FMCW 레이더는 펄스형 레이더보다 분해능이 높고, 실시간으로 위치정보를 파악할 수 있는 장점이 있다. 그림 1은 일반적인 FMCW 파형의 특성을 나타낸다. FMCW 파형은 chirp duration time, idle time, bandwidth 등 대표적인 3가지 매개변수를 가지고 있다^[2]. Chirp duration과 대역폭의 비가 기울기로 레이더 성능은 대역폭과 기울기 요소는 시스템 성능을 정의하는 중요한 요소이다.

그림 2는 FMCW 신호의 노출량 측정 시스템의 구성을 나타낸 것으로 FMCW 신호발생기, 스펙트럼 분석기, 송수신용 체배기 및 안테나 등으로 구성되어 있다.

FMCW 신호 발생기로부터 중심주파수 79 GHz에 대역폭은 4 GHz, chirp duration 시간은 10 μ s인 FMCW 파

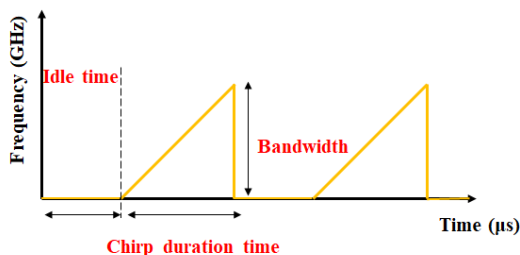


그림 1. FMCW 파형 변수

Fig. 1. FMCW waveform parameters.

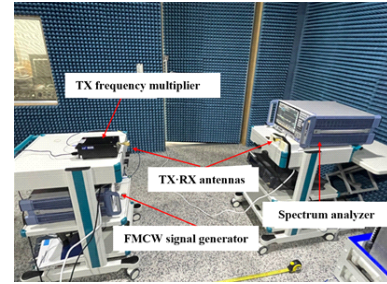
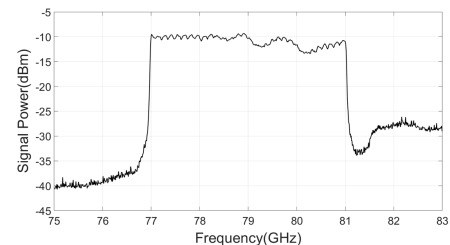


그림 2. 측정 시스템 구성

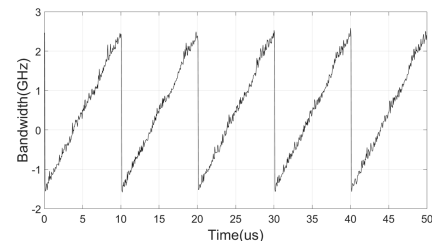
Fig. 2. Measurement system setup.

형을 송신하였다. 측정은 송신 안테나로부터 1 m부터 50 cm 간격만큼 이동하면서 3 m까지 1 m 높이에서 측정하였다. 수신 스펙트럼 분석기의 분해능은 40 MHz로 셋팅하였다. 그림 3은 1 m 떨어진 거리에서 스펙트럼 분석기의 max hold mode로 측정한 결과로 그림 3(a)는 스펙트럼 분석기상에서 측정 데이터를 나타내고, 그림 3(b)는 트랜시트 모드를 통해 측정한 파형이다^[3].



(a) 주파수 스펙트럼

(a) Frequency spectrum



(b) 트랜시트 chirp 신호파형(대역폭 4 GHz, chirp duration time: 10 μ s)

(b) Transient chirp signal waveform (bandwidth 4 GHz, chirp duration time: 10 μ s)

그림 3. 측정 결과

Fig. 3. Measurement results.

표 1은 송·수신 거리를 조정하면서 측정한 FMCW 대역폭 내의 전송손실과 중심주파수에서 자유공간에서의 기본전송손실을 비교한 결과를 보인 것이다. 측정 장비의 송·수신 안테나 이득은 24.3 dBi, 송신 출력은 중심주파수 79 GHz에서 16 dBm, 케이블 손실은 6.5 dB이고, 거리별 평균 수신전력은 1 m에서 3 m까지 0.5 m 간격에서 -12.67, -15.72, -17.87, -19.20, -21.61 dBm이었으며 이 값을 기본전송손실값으로 환산하면 1 m에서 70.8 dB가 되어 이론값인 70.39 dB와 유사하게 측정되었다. 거리별 측정값이 이론값과 비슷한 값이 측정되었다.

그림 4(a)는 중심주파수 79 GHz를 고정시키고, 대역폭을 0.5, 1, 2, 4 GHz로 변경하면서 1 m에서 측정한 결과이다. 대역폭에 상관없이 대역폭 내의 평균수신전력은 기본 전송손실의 이론값과 일치하는 것을 확인하였고, 그림 4(b)는 chirp duration 시간의 변화에 따라 측정한 결과로 이 경우에도 chirp duration 시간과 무관하게 기본전송손실의 이론값과 일치하는 것을 확인할 수 있다.

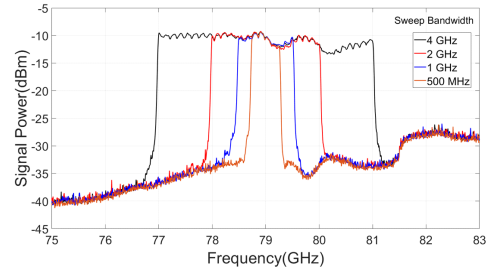
그림 5는 중심주파수 79 GHz에서 대역폭 2 GHz를 가지는 chirp 신호를 2 m 떨어진 거리에서 수신 스펙트럼 분석기의 RBW값을 10 MHz부터 40 MHz까지 10 MHz 씩 증가하면서 측정한 결과를 비교한 것이다. RBW가 10 MHz인 경우에는 측정된 FMCW 신호 세기는 다른 것과 충분하지 않고, 20 MHz 이상부터는 비슷한 값이 측정된 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 실제 사용 중인 상용 FMCW 차량용 레이더를 보인 것이다. 레이더의 컨트롤은 USBCAN 방식으로 하고, 직류전원을 인가하여 구동시킨다. 주파수 대역은 76~77 GHz 대역이고, 안테나의 빔폭은 수평은 18°, 수직

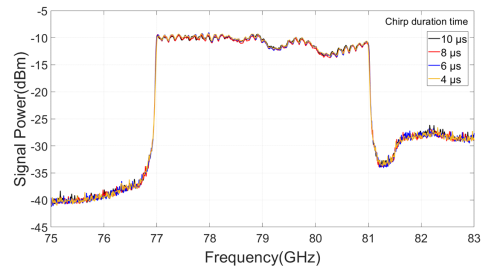
표 1. 거리에 따른 FMCW 레이더 측정 결과

Table 1. FMCW radar measurement results according to distance.

Distance	1	1.5	2	2.5	3
Average received power (dBm)	-12.67	-15.72	-17.87	-19.20	-21.61
Basic transmission loss (mea.) (dB)	70.8	73.82	75.97	77.3	79.71
Basic transmission loss (theory) (dB)	70.39	73.91	76.41	78.35	79.94



(a) 대역폭의 변화에 따른 결과
(a) Result according to bandwidth change



(b) Chirp duration 시간 변화에 따른 결과
(b) Result according to chirp duration time

그림 4. 주파수 스펙트럼상의 측정결과

Fig. 4. Measurement results on frequency spectrum.

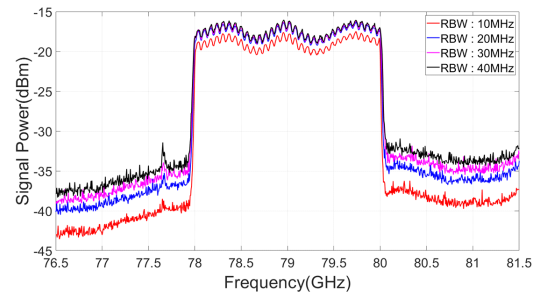


그림 5. RBW에 따른 측정결과 비교

Fig. 5. Comparison of measurement results according to RBW.

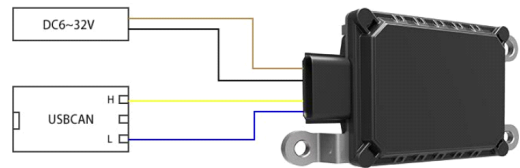


그림 6. 상용 FMCW 차량용 레이더

Fig. 6. Commercial FMCW vehicle radar.

은 14° 이고, EIRP는 29.8 dBm이다.

그림 7은 77 GHz 대역 상용 레이더의 측정결과를 보인 것이다. 중심주파수는 76.46 GHz, 스윙 대역폭은 214 MHz, chirp duration 시간은 48 μ s, idle 시간은 44 μ s로 duty 비는 52 %이다. 측정한 차량용 레이더의 FMCW 파형은 동작하면 주파수가 증가하였다가 idle 시간은 정지한 후 다시 최소주파수에서 시작하여 최대주파수로 증가한다. 측정은 0.5 m에서 2 m까지 50 cm 간격으로 측정하였고, 거리별 대역내 평균 수신전력은 -19.46, -23.73, -27.20, -29.52 dBm이었다. 이 결과도 이론적인 기본전송손실과 비슷하게 나오는 것을 확인할 수 있다.

국내 인체보호기준은 국제 1998년 ICNIRP 지침을 기반으로 과학기술정보통신부 고시 제2019-4호로 지정되어 있다. FMCW 파형은 주파수가 변하는 연속파이면서 진폭은 변하지 않기 때문에 일반 CW처럼 노출되는 전자파 크기는 동일하지만, 펄스처럼 시간에 따라 신호가 발생하지 않는 idle time이 있다. 그래서 FMCW 파형은 일반 CW처럼 기준을 적용하면 과대평가가 될 수가 있다. 현재 펄

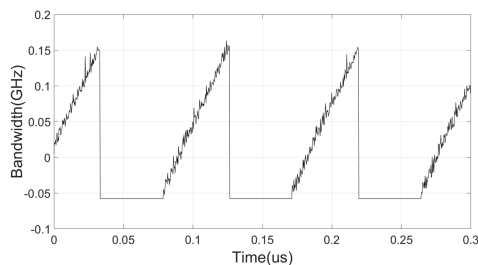
스 고시기준인 10 MHz 이상 주파수에서 펄스파는 펄스폭에 해당하는 시간에 대해 평균을 하기 때문에 FMCW 파형도 한 주기의 노출량은 한 주파수에서 노출량에 duty 비를 곱하므로 구할 수 있다.

III. 결 론

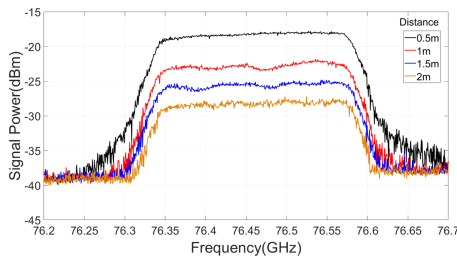
본 논문에서는 FMCW 신호에 대한 인체노출량 평가를 위한 시험을 수행하였다. 실험실 환경에서 다양한 FMCW 파형에 대하여 측정을 하였고, 실제 상용 차량용 FMCW 레이더를 이용하여 측정을 수행하였다. 거리에 따른 다양한 FMCW 신호에 대한 전송손실을 측정하였으며, 대역폭 내의 평균 전송손실값은 이론적인 자유공간의 기본전송손실과 유사한 결과를 얻었다. 이러한 측정결과를 바탕으로 펄스파에 적용되는 시간 평균의 노출량값을 FMCW 파형의 duty cycle에 따라 적용하는 게 가능하다. 측정을 통한 노출량 평가는 시간영역 및 주파수 영역 모두 측정을 수행을 해야지만, FMCW 레이더의 제원만 정확히 안다면 간단한 계산을 통해서도 노출량을 예측하는 것이 가능한 것을 이 연구결과로 확인할 수 있다. 이 결과가 FMCW 파형에 대한 노출량 평가에 도움이 되리라 생각된다.

References

- [1] V. Dham, "Programming chirp parameters in TI radar devices," 2017. Available: https://www.ti.com/lit/an/swra553a/swra553a.pdf?ts=1673823989671&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [2] R&S FSW, "Peak and mean power measurements on wideband FMCW radar signals: Application note." Available: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/download/loads/dl_application/application_notes/1ef107/1EF107_1E_FMCW_Radar_p.pdf
- [3] *Short Range Devices; Measurement Techniques for Automotive and Surveillance Radar Equipment*, ETSI EN 303 396 V1.1.1, Dec. 2016.



(a) 트랜센트 chirp 신호파형
(a) Transient chirp signal waveform



(b) 주파수 스펙트럼
(b) Frequency spectrum

그림 7. 상용 레이더 측정 결과

Fig. 7. Measurement results.