

변조도를 정밀하게 조정 하는 TACAN 안테나용 변조신호발생기

김종원, 손경식, 임재현
공주대학교 컴퓨터공학과

TACAN modulation generator for antenna purpose that precisely adjusts factor of modulation

Jong-Won Kim, Kyong-Sik Son, Jae-Hyun Lim
Dept. of Computer Science & Engineering, Kongju National University

요 약 전술항행표지시설(TACAN : TACTical Air Navigation)은 군용항공기의 단거리(200~300mile) 항법 지원용으로 개발되었다. 따라서, TACAN은 미국 군용규격인 MIL-STD(Military Standards)-291C를 만족하도록 15Hz와 135Hz 변조도는 각각 $21\pm 9\%$ 를 준수 하여야 하며, 그 합이 55% 이내 이어야 한다. 기존 TACAN 안테나를 통해서 안테나의 직경, 파장길이, 수신 경사 각도, 내부 변조방식 및 사용 주파수에 따라 15Hz와 135Hz에서의 변조도가 상이하게 생성되어도 변조도 조정기능이 없어 변조신호가 기준치(MIL-STD-291C규격)를 벗어 났을 때는 운용중지 후 수리를 해야만 하는 문제가 있다. 이에, FPGA를 이용한 변조신호발생기를 설계 제작하고, 실험을 통하여 15Hz와 135Hz의 변조도를 각각 설정값에 따라 변화 시킬 수 있음을 확인하는 한편, 안테나에서 방사되는 전파의 모니터링 신호에 따라 자동 조정되게 하고, 기준치를 벗어 나면 경보가 울리도록 하는 기능을 추가 사용할 수 있도록 한다.

주제어 : 전술항행표지시설, 공중선, 방위정보, 변조신호, 변조도

Abstract TACAN(TACTical Air Navigation) was created to support military aircraft's short range navigation (200~300 mile). TACAN must fulfill a condition of MIL-STD-291C, the U.S. Military Standards, which addresses the sum of 15Hz and 135Hz should be within 55%, following the factor of modulations for both to be $21\pm 9\%$ each. Within the existing TACAN antenna, modulation factor for 15Hz and 135Hz are created differently depending on its diameter, wavelength, angle of gradient, internal modulation method or using frequency code. It brings up a problem where applications needed to be stopped and repaired when modulating signal exceeds the standard of MIL-STD-291C since the existing TACAN antenna does not have coordination function. Hence, plan and produce a modulating signal generator using FPGA, and check the changes in the modulation factor for 15HZ and 135Hz, depending on the values that have been set in each criteria. Moreover, allow the modulating signal generator to be automatically adjusted based on the monitoring signal emitted by antenna, and place alarm sound just in case if it exceeds the standard.

Key Words : TACAN, Antenna, Azimuth information, Modulating signal, Modulation factor

Received 27 February 2017, Revised 30 March 2017
Accepted 20 April 2017, Published 28 April 2017
Corresponding Author: Jae-Hyun Lim
(Kongju National University)
Email: defacto@kongju.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. 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.

1. 서론

전술항행표지시설(TACAN : TACTical Air Navigation)은 항공기와 지상국의 상대적인 방위와 거리를 알아내기 위한 항법 장비이다. 주 목적은 군용항공기의 단거리(200~300mile) 항법 지원용으로 개발되었다[1]. 항공기의 탑재된 TACAN 장치에서 지상 TACAN의 채널을 맞추기만 하면 자동적으로 지상국에 전파가 보내어지고, 지상국으로 부터 수신 되는 전파에 의해, 지상국과의 방위와 거리가 동시에 항공기의 지시기에 나타나서 항공기의 비행위치를 알 수 있다[2].

TACAN은 종래의 거리측정장치인 DME(Distance Measuring Equipment)와 옴니레인지 VOR (Very High Frequency omnidirection radio range : 초고주파 전방향식 레디오 레인지 비컨)과 같이, 항공기에 거리와 방위를 알려 주기 위한 장치라는 점에서는 동일하다[3]. 그러나, 거리정보 부분과 방위정보 부분을 분리하지 않고 통합하여 하나의 장치로 동작하게 만든 점이 특징이다. DME와 VOR은 각기 다른 주파수를 사용하고 있으나, TACAN 방식에서는 동일 주파수를 사용하고 거리정보와 방위정보를 pulse code에 의해서 구별하며, TACAN으로서의 채널 구성은 주파수만에 의존하고 있다. 사용주파수는 탑재장비의 송신에는 1,025~ 1,150MHz, 지상국의 송신용은 962~1,025MHz, 또는 1,151~1,213MHz가 사용된다. 탑재·지상 모두 126개의 채널(1MHz간격)을 가지며, 각 지상국에 하나의 채널이 할당되고, 송신출력은 탑재용 2kW, 지상국은 5kW 정도이다[4].

TACAN은 군용 항법시설로 개발된 것이나, 오늘날 국제민간항공기구(ICAO)에서도 거리정보 부분을 DME의 표준방식(DMET)으로서 정식으로 채택하고 있다[5]. 설치 조건·동작원리가 VOR과 거의 같으므로 VOR局과 같은 장소에 설치되어, VOR/TACAN局(볼택局)으로서 운용되기도 한다. 볼택局은 군과 민간이 함께 이용할 수 있으며, 군용기에 대해서는 TACAN에 의해서 거리와 방위정보를 제공하고, 민간 항공기에 대해서는 VOR에 의해서 방위정보, TACAN에 의해서 거리정보가 제공된다[6].

종래의 원통형 TACAN 안테나를 통해서는 안테나의 직경, 파장길이, 수신 경사 각도, 내부 변조방식 및 사용 주파수에 따라 15Hz와 135Hz에서의 변조도가 상이하게 생성되어 TACAN에서 사용되는 전체주파수 대역에 대

해서 일정한 15Hz와 135Hz의 변조도를 얻지 못하는 문제가 있다[7].

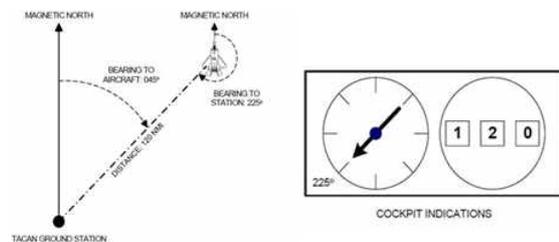
또한, 기존의 TACAN 안테나용 변조신호발생기는 변조도를 조절하는 기능이 없이 고정되어 생산되므로써, 주변환경의 변화나 변조신호발생기 내부 부품의 특성변화에 따른 변조도 변화에 적절히 대응할 수 없으며, 기준치(21±9%)를 벗어났을 때는 부득이 운용중지후 수리를 해야하는 심각한 단점이 있다. 이에 본연구에서는 TACAN 안테나용 변조신호발생기에 변조도 조정기능을 부가하여 어떠한 환경에서도 가장 적합한 변조도의 양질의 방위정보를 제공할수 있게 하고자 한다.

이러한 연구의 일환으로 본 연구논문의 2장에서는 TACAN 시스템의 구성, 기존 TACAN의 문제점에 대하여 기술 하며, 3장에서는 변조도 조정기능을 갖는 변조신호발생기를 구현하고, 신호 파형 생성 및 검증을 실시한다, 4장에서는 측정에 따른 실험 결과를 제시하고 성능을 평가 하며, 5장에서는 평가결과 추가로 개선할 사항을 제시함으로써 본 논문을 마무리 한다.

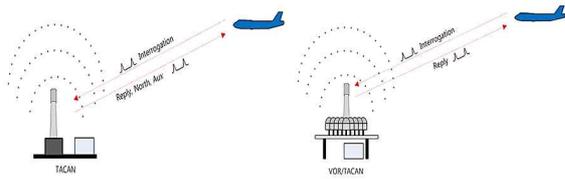
2. TACAN의 개요 및 구성

2.1 TACAN의 개요

전술항행표지시설(TACAN : TACTical Air Navigation)은 항공기의 탐색과 항공기에게 지상국의 상대적인 방위와 거리정보, 그리고 TACAN의 식별 부호를 제공하는 시스템으로써, 공항 또는 특정한 위치에 설치된다. 사용 주파수 대역은 962 ~ 1,215[MHz]이고, 지상국은 항공기로부터 질문(Interrogation)신호에 대한 응답(Reply)신호로 거리정보를 제공하며, 방위정보는 항상 제공하는 시스템이다[8]. [Fig. 1] 은 항공기 조종사 계기판에 표시되는 방위 및 거리 정보이며, [Fig. 2] 는 TACAN과 항공기의 신호 흐름을 나타낸다[9].



[Fig. 1] TACAN Indicator

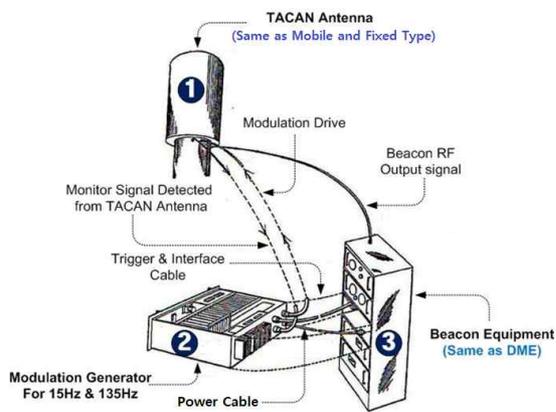


[Fig. 2] Interrogation and Reply Signal

TACAN의 거리정보 제공 부분은 거리측정시설(DME)과 동일하여 민간항공기도 이용할 수 있다. 따라서 단독으로 설치되기도 하지만 대개의 경우 VOR과 병설(Collocation) 된다. 기본적으로 지상 DME(Transponder)는 항공기에 거리정보(Slant Distance)를 제공하는 장비이다. 이때 통상 사용하는 거리의 단위로는 Nautical Mile(이하 NM)이 사용되며 미터법에 따라 변환하면 1NM은 약 1,852 meter가 된다. 거리측정시설(DME)과 달리 TACAN은 거리정보와 방위정보, 지상국의 식별 부호를 항공기 조종사에게 동시에 제공하는 장치이다[10].

2.2 TACAN의 구성

TACAN은 사용 목적에 따라 이동용, 고정용, 합정용으로 나누어지며, 장비는 안테나와 modulation generator 그리고 beacon으로 구성된다. 안테나는 omnidirectional 안테나로서 수직방사 패턴을 형성한다. 이동용 및 합정용 안테나는 지향성 이득이 5dBi이며, 고정용의 경우 8dBi 이다. [Fig. 3] 은 안테나, 안테나 제어장치인 변조신호발생기, 그리고, beacon으로 구성된 TACAN을 보여준다.



[Fig. 3] Structure of TACAN

2.3 TACAN의 운용 주파수 대역 및 변조도

TACAN의 사용 주파수대역은 962 ~ 1,213[MHz]이며, 지상 무선국으로부터 200[NM](370Km) 이내의 항행 중인 항공기에게 거리정보 및 방위정보를 제공한다.

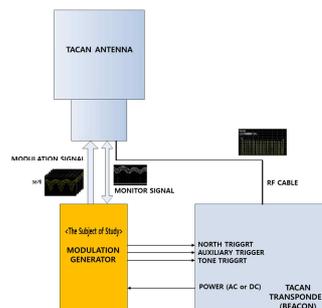
방위정보제공은 송신만 사용하게 되는데 변조도가 매우 중요한 역할을 하게 된다. TACAN의 변조도는 MIL-STD-291C 규격에 따라 TACAN 방사신호에서 15Hz와 135Hz의 변조도는 각각 21±9%를 만족해야 하며, 각변조도의 합이 55%이내이어야 한다[11].

그러나, 기존의 TACAN 안테나용 변조신호발생기는 변조도를 조절하는 기능이 없이 고정되어 생산되므로써, 주변환경의 변화나 변조신호발생기 내부 부품의 특성변화에 따른 변조도 변화에 적절히 대응할 수 없으며, 특히 본 연구대상인 Rantec 안테나는 사용주파수에 따라 변조도가 상이하게 생성되므로 고주파대역의 일부 채널에서는 변조도가 기준치를 벗어나게 되어 사용할수 없다는 것을 명시하고 있다[12].

3. 변조도 조정기능을 갖는 변조신호발생기의 구현

3.1 변조신호발생기 개요

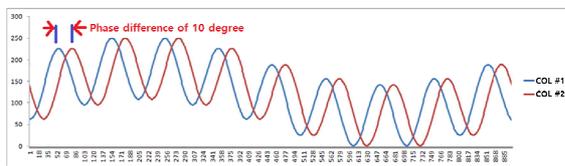
TACAN은 안테나, beacon, 그리고, 안테나에 변조신호를 공급하는 변조신호발생기로 구성된다. 변조신호발생기는 TACAN 안테나에 15Hz와 135Hz의 합성(composite) 신호를 생성하여 전달하고, beacon에는 트리거 신호(15Hz, 135Hz, 1350Hz)를 생성하여 전달하는 역할을 한다[13]. [Fig. 4] 는 TACAN 구성에서 연구개발 대상으로 변조도 조정기능을 부가하고자 하는 변조신호발생기의 위치를 보여준다.



[Fig. 4] Diagram of TACAN ,the subject of study

본 연구에서는 변조신호발생기가 제어할 대상 안테나로 Rantec社 AT-100 안테나를 사용한다. AT-100 안테나는 36개의 컬럼으로 구성되어 있으며, 변조신호발생기에서는 10도씩 위상 차이가 있는 36개의 15Hz와 135Hz가 합성된 신호를 36개의 안테나 컬럼에 각각 전달한다. 10도씩 위상 차이가 있는 합성신호가 안테나 컬럼에 전달 되면 전자적으로 36개의 컬럼이 회전하는 효과를 발생하여 항공기에 방위각 정보를 제공하게 된다[12].

[Fig. 5] 는 컬럼 1번과 컬럼 2번에 공급되는 신호의 위상 차이가 10도인 것을 나타낸다.



[Fig. 5] Synthesized signal that shows phase difference of 10 degree

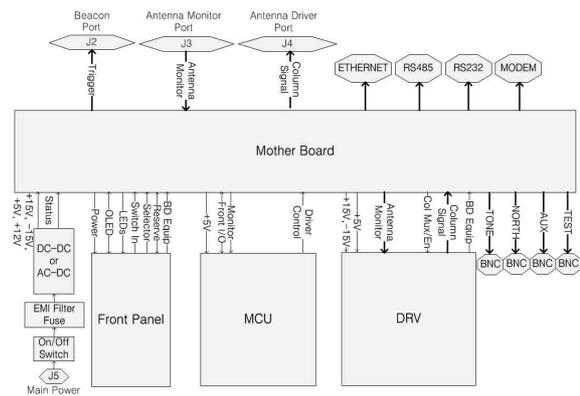
3.2 변조신호발생기 구성

변조도 조정기능을 갖는 변조신호발생기의 하드웨어 구성과 구성품의 주요 기능은 다음과 같다.

- EMI Filter : 전원 입력부의 전자기 노이즈를 제거하는 기능 수행
- DC/DC Power : 외부 입력전원 48V를 내부의 저전압(+/-12V, 5V)으로 변환하는 기능 수행
- AC/DC Power : 외부 입력전원이 AC 전원일 경우에 내부의 저전압으로 변환하는 기능 수행
- FRONT PANNEL : 장비를 제어 및 확인 할 수 있는 인터페이스 제공
- MCU Unit : 주제어 유니트로서, MGU와 beacon간의 통신, GUI와의 통신등 통신기능과, 안테나 Composite 신호 발생, 감시기능등 중요한 기능을 수행함
- DRV Unit : MCU에서 발생된 안테나 제어신호를 DeMUX및 각 채널 driver AMP를 통하여 안테나의 각 컬럼으로 전송하며, 이 출력신호의 감시 신호 선택 기능 등을 수행하는 유니트
- Beacon Port : Beacon과 연결 되는 접속부로서 트리거 신호, beacon과의 제어신호등의 신호를 인터페이스함

- Antenna Monitor Port : 안테나 온도 신호, 안테나 내부 BITE(Built In Test Equipment) 선택 신호, 안테나 감시용 신호등, 실시간 BITE를 위한 신호들의 인터페이스
- Antenna Driver Port : 안테나 컬럼 제어용 composite 신호 출력, PIN diode bias 신호등 안테나 컬럼 신호들이 인터페이스됨

[Fig. 6] 은 변조신호발생기의 하드웨어 구성을 보여준다.



[Fig. 6] Block diagram of Modulation generator

3.3 변조도 조정 기능

안테나의 방사신호에 대한 변조도를 조정하기 위해 다음과 같이 수행한다.

- ① 15Hz의 기본파형($\sin 30\pi t$)을 생성한다.
- ② 135Hz의 기본파형($\sin 270\pi t$)을 생성한다.
- ③ 변조신호 생성 시에 $\sin 30\pi t + \sin 270\pi t + DC$ offset으로 합성한다.
- ④ 안테나 귀환신호로 부터 DFT(Discrete Fourier Transform)연산으로 amplitude를 추출하여 변조도를 계산한다.
- ⑤ 변조도에 따라서 DC offset 값을 적당히 조절한다.

3.3.1 DFT 연산

N개의 이산적인 복소수 값 들을 복소수값 으로 변환하는 이산 푸리에 변환식은 다음과 같이 정의된다[14].

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn}, k = 0, \dots, N-1 \quad (1)$$

또한, 역변환(Inverse Discrete Fourier Transform, IDFT)은 다음과 같이 정의된다.

$$x_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{2\pi i}{N} kn}, n = 0, \dots, N-1 \quad (2)$$

DFT 계산을 위한 식은 다음과 같다.

$$ReX[k] = \sum_{i=0}^{N-1} x[i] \cos(2\pi ki/N) \quad (3)$$

$$ImX[k] = - \sum_{i=0}^{N-1} x[i] \sin(2\pi ki/N) \quad (4)$$

안테나에서 귀환된 신호를 450개 샘플링 하여 위 DFT연산으로 Real 및 Imaginary 값을 구한다. 그 값에서 0Hz(DC), 15Hz, 135Hz의 magnitude를 구하게 된다.

3.3.2 신호 생성

Composite 신호를 생성하기 위하여 다음 식을 사용하였다[11].

$$y = A \sin(2\pi ft + \gamma) + B \sin(18\pi ft + H) + DC \quad (5)$$

y : composite signal *A* : 15Hz Amplitude
f : 15Hz *t* : time, second
γ : 15Hz phase offset *B* : 135Hz Amplitude
H : 135Hz phase offset *DC* : DC offset

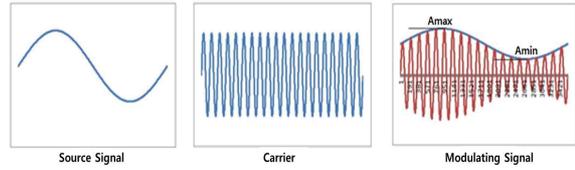
여기서는 15Hz와 135Hz의 sin wave를 각각 생성한 후 두개의 합과 DC 값을 합하여 생성 하기로 하였으므로 3개로 나누어서 정리한다. 최종 출력은 *y* 값으로 나가게 된다.

$$y_{15} = A \sin(2\pi ft + \gamma) \quad (6)$$

$$y_{135} = B \sin(18\pi ft + H) \quad (7)$$

$$y = y_{15} + y_{135} + DC \quad (8)$$

[Fig. 7] 은 하나의 변조 신호에 대한 진폭 변조 파형을 보여준다.



[Fig. 7] Amplitude modulation waveform

TACAN은 15Hz와 135Hz신호가 합성되었으므로, 각각의 변조도를 구한다.

$$\text{변조율}(\%) = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}} \times 100 \quad (9)$$

3.4 신호 파형 생성 및 검증

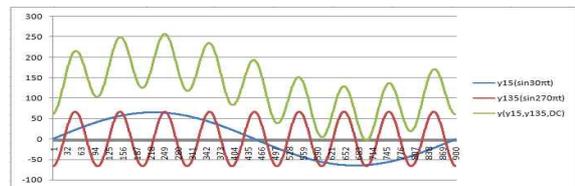
Composite 신호 생성을 위하여 식(5)를 엑셀로 구현하여 15Hz의 amplitude “A”와 135Hz의 amplitude “B”, 그리고, “DC offset”을 입력하여 파형을 생성하고, 식(9)에 따라 변조도를 계산한다. C언어를 사용하여 엑셀시트에서 구한 900개의 입력 데이터에 대한 DFT 연산을 수행한다[15].

① <Table 1> 과 같이 파형값을 설정한 경우 : [Fig. 8] 과 같이 파형이 생성된다.

<Table 1> First Set Point for Verification

Item	Setting Value	Formula for Modulation	Modulation factor(%)
A (15Hz)	65.00	A÷(DC offset) × 100	51.18
B (135Hz)	66.00	B÷(DC offset) × 100	51.97

DC offset : 127,
 15Hz Phase offset : 0, 135Hz Phase offset : -90(=270)



[Fig. 8] Setting 1 Waveform creation

엑셀시트에서 *y*(*y*₁₅+*y*₁₃₅+*DC*) 값 900개를 DFT 연산하여 얻은 결과 값이 [Fig. 9] 와 같다.

```

Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Wroot>a
array=900
k=0 [0 Hz], [DC Offset=127.000]
k=1 [15 Hz], [DC Offset=0.003], Amp=65.005, phase=-1.571, degree=0.005
k=9 [135 Hz], [DC Offset=-32.993], Amp=65.987, phase=-3.141, degree=-89.981
C:\Documents and Settings\Wroot>
    
```

[Fig. 9] Verification 1 Results of DFT operation

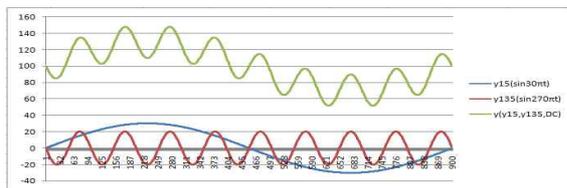
DC offset과 15Hz sin wave의 amplitude와 phase, 135Hz sin wave의 amplitude와 phase가 생성한 파형의 설정값과 매우 근사함을 확인할 수 있다.

② <Table 2> 와 같이 파형값을 설정한 경우 : [Fig. 10] 과 같이 파형이 생성된다.

<Table 2> Second Set Point for Verification

Item	Setting Value	Formula for Modulation	Modulation factor(%)
A (15Hz)	30.00	$A \div (\text{DC offset}) \times 100$	30.00
B (135Hz)	20.00	$B \div (\text{DC offset}) \times 100$	20.00

DC offset : 100,
15Hz Phase offset : 0, 135Hz Phase offset : 180



[Fig. 10] Setting 2 Waveform creation

엑셀시트에서 $y(y_{15}+y_{135}+DC)$ 값 900개를 DFT 연산 하여 얻은 결과 값이 [Fig. 11] 과 같다.

```

Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Wroot>a
array=900
k=0 [0 Hz], [DC Offset=100.000]
k=1 [15 Hz], [DC Offset=0.000], Amp=30.002, phase=-1.571, degree=0.000
k=9 [135 Hz], [DC Offset=0.000], Amp=20.003, phase=1.571, degree=180.000
C:\Documents and Settings\Wroot>
    
```

[Fig. 11] Verification 2 Results of DFT operation

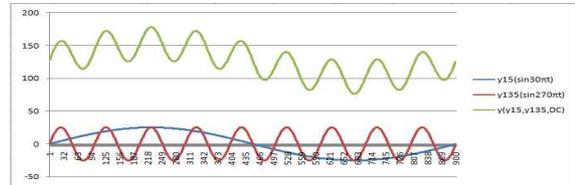
DC offset과 15Hz sin wave의 amplitude와 phase, 135Hz sin wave의 amplitude와 phase가 생성한 파형의 설정값과 매우 근사함을 확인할 수 있다.

③ <Table 3> 과 같이 파형값을 설정한 경우 : [Fig. 12] 와 같이 파형이 생성된다.

<Table 3> Third Set Point for Verification

Item	Setting Value	Formula for Modulation	Modulation factor(%)
A (15Hz)	25.40	$A \div (\text{DC offset}) \times 100$	20.00
B (135Hz)	25.40	$B \div (\text{DC offset}) \times 100$	20.00

DC offset : 127,
15Hz Phase offset : 0, 135Hz Phase offset : 0



[Fig. 12] Setting 3 Waveform creation

엑셀시트에서 $y(y_{15}+y_{135}+DC)$ 값 900개를 DFT 연산 하여 얻은 결과 값이 [Fig. 13] 과 같다.

```

Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Wroot>a
array=900
k=0 [0 Hz], [DC Offset=127.000]
k=1 [15 Hz], [DC Offset=0.000], Amp=25.391, phase=-1.571, degree=0.000
k=9 [135 Hz], [DC Offset=0.000], Amp=25.441, phase=-1.571, degree=0.000
C:\Documents and Settings\Wroot>
    
```

[Fig. 13] Verification 3 Results of DFT operation

DC offset과 15Hz sin wave의 amplitude와 phase, 135Hz sin wave의 amplitude와 phase가 생성한 파형의 설정값과 매우 근사함을 확인할 수 있다.

4. 성능 평가

4.1 기준치 및 평가 방법

성능 평가를 위한 기준치는 MIL-STD-291C 규격에 따라 15Hz와 135Hz의 변조도는 각각 $21 \pm 9\%$ 를 만족해야 하며, 각변조도의 합이 55%이내이어야 함을 적용한다[11].

평가 방법은 Composite 신호 생성을 위하여 식(5)를 엑셀로 구현하고, 15Hz의 amplitude “A”와 135Hz의 amplitude “B”, 그리고, “DC offset”을 입력하여 파형을 생성하고, 식(9)에 따라 변조도를 계산한 후, 장비에서 출력되는 composite 신호와 안테나를 통하여 방사된 신호에 대하여 Rodhe&Schwarz사 EDS-300 TACAN

analyzer를 이용하여 측정하고 최종 방사신호의 변조도가 기준치내에서 조정될 수 있음을 확인한다.

4.2 측정 결과

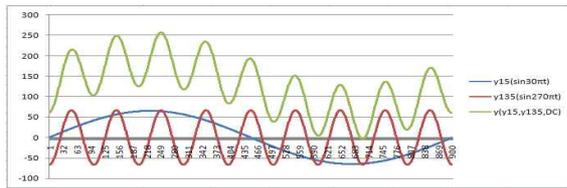
① <Table 4> 와 같이 과형값을 설정한 경우 (변조도 조정 기능 실험을 위한 최초의 임의 설정값) : 이론상 생성되는 파형은 [Fig. 14] 와 같다.

<Table 4> First Set Point for Evaluation

Item	Setting Value	Formula for Modulation	Modulation factor(%)
A (15Hz)	65.00	$A \div (\text{DC offset}) \times 100$	51.18
B (135Hz)	66.00	$B \div (\text{DC offset}) \times 100$	51.97

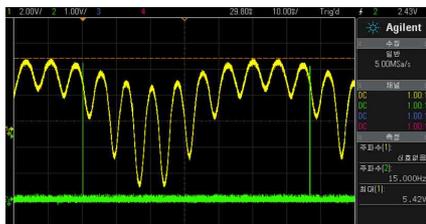
DC offset : 127,

15Hz Phase offset : 0, 135Hz Phase offset : -90(=270)

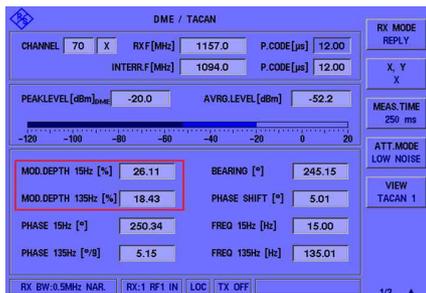


[Fig. 14] Experiment 1 Theoretical study of waveform

변조신호발생기의 출력 파형은 [Fig. 15] 와 같고 안테나 방사신호 측정값은 [Fig. 16] 과 같다.



[Fig. 15] Experiment 1 Output of waveform of modulation generator



[Fig. 16] Experiment 1 reading of Antenna radiation signal

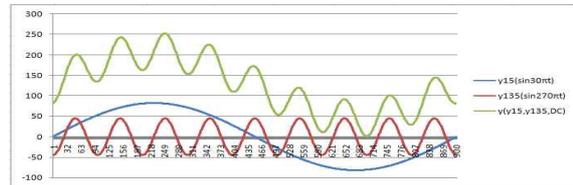
② <Table 5> 와 같이 과형값을 설정한 경우(실험 ①에서 15Hz 변조도를 올리고, 135Hz 변조도를 낮게 조정) : 이론상 생성되는 파형은 [Fig. 17] 과 같다.

<Table 5> Second Set Point for Evaluation

Item	Setting Value	Formula for Modulation	Modulation factor(%)
A (15Hz)	82.00	$A \div (\text{DC offset}) \times 100$	64.57
B (135Hz)	45.00	$B \div (\text{DC offset}) \times 100$	35.43

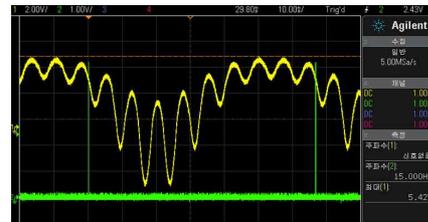
DC offset : 127,

15Hz Phase offset : 0, 135Hz Phase offset : -90(=270)



[Fig. 17] Experiment 2 Theoretical study of waveform

변조신호발생기의 출력 파형은 [Fig. 18] 과 같고, 안테나 방사신호 측정값은 [Fig. 19] 와 같다.



[Fig. 18] Experiment 2 Output of waveform of modulation generator



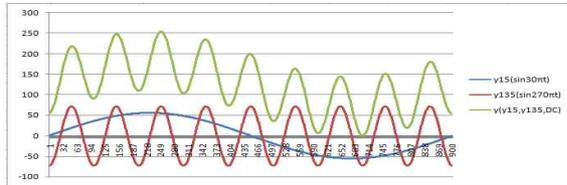
[Fig. 19] Experiment 2 reading of Antenna radiation signal

③ <Table 6> 과 같이 과형값을 설정한 경우(실험 ②에서 15Hz 변조도를 내리고, 135Hz 변조도를 높게 조정) : 이론상 생성되는 파형은 [Fig. 20] 과 같다.

<Table 6> Third Set Point for Evaluation

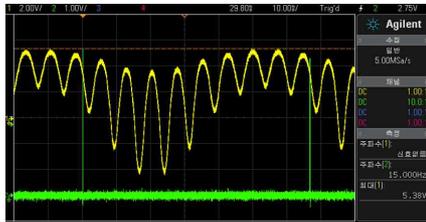
Item	Setting Value	Formula for Modulation	Modulation factor(%)
A (15Hz)	55.43	$A \div (\text{DC offset}) \times 100$	43.64
B (135Hz)	72.07	$B \div (\text{DC offset}) \times 100$	56.74

DC offset : 127,
15Hz Phase offset : 0, 135Hz Phase offset : -90(=270)

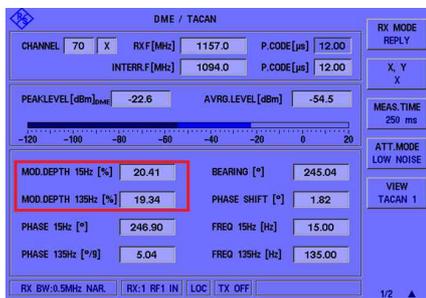


[Fig. 20] Experiment 3 Theoretical study of waveform

변조신호발생기의 출력 파형은 [Fig. 21] 과 같고, 안테나 방사신호 측정값은 [Fig. 22] 와 같다.



[Fig. 21] Experiment 3 Output of waveform of modulation generator



[Fig. 22] Experiment 3 reading of Antenna radiation signal

4.3 평가

고정용 TACAN 안테나 변조신호발생기를 구현하여 변조도 설정에 따른 다양한 경우에 대하여 실험하고 측정결과를 얻었다. <Table 7>은 파형 설정값에 따른 변조도 측정값을 보여 준다.

<Table 7> Results of Evaluation

Item	Setting Value		Calculation of Modulation(%)		Modulation Reading(%)	
	15Hz	135Hz	15Hz	135Hz	15Hz	135Hz
Experiment ① (First Set Point)	65.00	66.00	51.18	51.97	26.11	18.43
Experiment ② (15Hz ↑, 135Hz ↓)	82.00	45.00	64.57	35.43	30.04	12.08
Experiment ③ (15Hz ↓, 135Hz ↑)	55.42	72.07	43.64	56.74	20.41	19.34

실험을 위한 TACAN 채널(주파수)는 1~126X 중에서 70X(1157MHz)으로 하였으며 채널에 따라 고정용 TACAN 안테나에 의하여 방사되는 변조도는 안테나 상태 및 주파수에 따라 달리 측정되는데, 실험 ①은 15Hz와 135Hz의 파형의 크기를 각각 임의로 설정하였고, 이를 기준으로 파형 설정값을 조정하여 실제 변조도 측정값이 변화하는지 확인하였다. 실험 ②는 실험 ①에서 15Hz 설정값을 높이고, 135Hz 설정값을 낮게 조정하여 측정하였으며, 마지막 실험 ③은 국토교통부 비행점검센터 TACAN 비행검사 시 권장하는 변조도 값으로 안테나 방사신호의 15Hz와 135Hz 변조도 측정값이 약 20%가 형성되도록 실험 ②에서 15Hz 설정값을 다시 낮추고, 135Hz 설정값을 높게 올려서 조정하여 측정하였다.

실험 결과와 같이 파형 설정값에 따라 최종 측정값이 변화하는 것을 확인하였다, 즉, 파형 설정값을 높게 하면 변조도 측정값이 높게 측정이 되고, 낮게 설정하면 변조도 측정값 역시 낮게 측정이 되는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험을 통하여 변조도를 MIL-STD-291C 규격에 따른 가변 범위내에서 자유로이 조절할 수 있는 성능을 최종 확인 하였다.

5. 결론

본 연구에서는 MIL-STD-291C 규격에 따라 TACAN 방사신호의 주요 성분인 방위각을 산출 하기에 적절한 변조도를 생성할 수 있는 변조신호발생기를 구현하였으며, 생성된 신호에 대한 DFT 처리를 하여 신호의 정확성 검증 및 분석을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 고정용 TACAN 안테나를 통하여 방사된 신호를 측정함으로써 성능을 검증하였다.

파형 설정값 및 변조도 계산값과 안테나로 부터 방사된 신호의 측정값이 차이가 발생하는 것을 확인 하였으며, 이에 대한 원인 및 상관성을 분석하여 측정값 기준으로 파형값을 설정하여 변조도 조정이 이루어 지도록 개선해야 하는 필요성을 확인하였다.

따라서, GUI 프로그램을 수정 보완하여 화면에 보이는 설정값은 실제 요구되는 변조도 값으로 표시하고, 모니터링 측정값이 가장 근접할 때까지 파형 설정값을 자동 조정토록 구현 하였으며, MIL-STD-291C 규격에서 벗어 났을 때 경보가 울리도록 하는 기능을 추가하여 사용할 수 있도록 하였다.

한편, 본 실험에서는 고정된 채널(70X)에서만 실험을 실시 할 수 있었는데, 향후 전 채널에 걸쳐 여러차례 실험을 실시하여 각 채널별로 15Hz와 135Hz의 파형크기에 대한 가장 적합한 설정값을 산정하고, 그 값들을 각 채널 별 초기값(기본값)으로 설정 하여 프로그램 한다면 현장에서 훨씬 유용하게 사용될 것이다.

현재 전량 수입에 의존하던 고정용 TACAN 안테나 제어에 필수 장비인 변조신호발생기의 기술을 확보하고, 더 나아가 현존하는 변조신호발생기에는 없는 변조도 조정기능을 구현 및 검증함으로써 상용화를 통하여 국산화 및 수출도 가능하리라 본다.

REFERENCES

- [1] K. H. Lee, The Use of Airforce Microwave, "The Magazine of the IEEE", Vol. 1, No. 1, pp.61-71, 1963.
- [2] W. L. Garfield, "TACAN: a navigation system for aircraft", Proceeding of the IEEE - Part B: Radio and Electronic Engineering, Vol. 105, Issue9, Part S, pp.298-306, 1958.
- [3] S. J. Park and K. H. Koo, "Optimization of Broadband Antenna Parasitic Elements for TACAN", Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 26, No. 5, pp.483-491, 2015.
- [4] DNC News, Updated Business Project Plan of a Portable TACAN from the 55th Policy and Planning Subcommittee, etc. <http://dcn.or.kr/66344>
- [5] S. H. Dodington, "Development of 1000-mHz Distance Measuring" IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. ANS-16, NO. 4, pp.533-540, 1980.
- [6] T. W. Kim and J. Grabowski, "Validation of GPS L5 coexistence with DME/TACAN and link-16 systems", Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS/GNSS 2003), pp.1455-1469, 2003.
- [7] T. H. Kim, "Study on Structure and Performance Improvement of TACAN(Tactical Air Navigation) Antenna", Kwangwoon University, 2010.
- [8] M. T. Decker, "Tacan Coverage and Channel Requirements" IRE Transactions on Aeronautical and Navigational Electronics, Vol. ANE-4, Issue 4, pp.135-143, 1957.
- [9] Korea Office of Civil Aviation at MOLIT, "Theory and Practice of Checkout Flight for navigation safety facility(1)" VOR / DME / TACAN, National Archive, Policy Information, 2005.
- [10] W. T. De and T. Latimer, "Azimuth Errors of the TACAN System" Aeronautical and Navigational Electronics, IRE Trans, Vol. ANE-3, Issue 4, pp.150-156, 1956.
- [11] MIL-STD-291C, "Standards Tactical Air Navigation Signal" Dept. of Defense Interface Standard, 10 Feb. 1988.
- [12] Rantec Document, "Technical Manual for TACAN ANTENNA GROUP" 30 June. 1935.
- [13] H. von Viebahn, H. Brandtberg, "Advances in Avionics and Navigation Systems" International Council of the Aeronautical Sciences 2006, pp. 7-9, 2006.
- [14] L. D. Van, C. T. Lin, Y. C. Yu, "Digital Signal Processing" IEICE transactions on fundamentals of electronics, communications and computer sciences Vol. 90 No. 8, pp. 1644-1652, 2007.
- [15] Y. H. Seo, H. J. Chio and D. W. Kim, "FPGA Design of Digital Circuit for TACAN", Korea Institute Of Communication Sciences, Vol. 35, No. 12, pp.1775-1782, 2010.
- [16] J. S. Lim and G. S. Chae, Analysis of Direction Finding Accuracy for Amplitude-Phase Comparison

- and Correlative Interferometer Method. Journal of Digital Convergence, Vol. 14, No. 1, pp.195-201, 2016.
- [17] S. W. Lee, A Study on 8kbps PC-MPC by Using Position Compensation Method of Multi-Pulse, Journal of Digital Convergence, Vol. 11, No. 5, pp.285-290, 2013.
- [18] S. H. Lee, N. S. Park, K. H. Lee, A remote device authentication scheme in M2M communications, Journal of Digital Convergence, Vol. 11, No. 2, pp.309-316, 2013.
- [19] Joong-Soo Lim, Gyoo-Soo Chae, Min-Nyun Kim, Young-Ho Kim, "Analysis of DOP using Radio-navigation Transmitter", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 2, No. 2, pp. 7-12, 2011.
- [20] AutJunyan TAN, Virginie FRESSE, Frederic ROUSSEAU, A Generic Design Flow for the Generation of a Dedicated Emulation Noc-Based Plateform on FPGA, Journal of Small & Medium Business Convergence Society, Vol. 1, No. 1, pp.221-230, 2014.

임 재 현(Lim, Jae Hyun)



- 1986년 2월 : 중앙대학교 전자계산학과(이학사)
 - 1988년 8월 : 중앙대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)
 - 1998년 8월 : 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
 - 1998년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학부 교수
- 관심분야 : 상황인식, 시스템조명, IoT서비스, 에너지관리, 식물공장
- E-Mail : defacto@kongju.ac.kr

김 중 원(Kim, Jong Won)



- 1990년 6월 ~ 2014년 12월 : 한국항공공사(항공연구소장)
 - 1997년 2월 : 한국방송통신대학교 컴퓨터과학과(이학사)
 - 2014년 8월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
 - 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학과(박사과정)
- 관심분야 : 항행안전시설, IoT, 자연광 LED조명, 건강조명
- E-Mail : jwkim5608@naver.com

손 경 식(Son, Kyong Sik)



- 1999년 9월 ~ 현재 : (주)비전하이텍(대표이사)
 - 2013년 2월 : 숭실대학교 경영학과(경영학사)
 - 2015년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
 - 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 컴퓨터공학과(박사과정)
- 관심분야 : 영상처리, 지능형영상분석, IOT
- E-Mail : ceo@visionhitech.co.kr