

## UAM 복합 항법을 위한 C 밴드 지상기반 전파 항법 시스템 연구

# A Study of the C-band Ground-based Radio Navigation System for UAM Cooperative Navigation

이경순<sup>1</sup> · 조용운<sup>1</sup> · 김민정<sup>1</sup> · 구경현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>우리항행기술 기술연구소

<sup>2</sup>인천대학교 전자공학과

Kyung-Soon Lee<sup>1</sup> · Yong-Un Cho<sup>1</sup> · Min-Jung Kim<sup>1</sup> · Kyung Heon Koo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Research & Development Center, Woori Navigation Technology, Gimpo 10090, Korea

<sup>2\*</sup>Department of Electronics Engineering, Incheon University, Incheon 22012, Korea

### [요 약]

본 연구는 기존 UAM에서 주로 사용하는 GNSS 항법과 협동 운용할 수 있도록 지상기반 C밴드 주파수 (5.03~5.15GHz)를 이용한 전파항법 VOR/DME 구현에 관한 것이다. 이것은 항공우주를 감독하는 미연방항공국 규칙 Title 14 CFR- Aeronautics and Space 135.165에서 제시한 ‘2개 이상의 독립적인 항법소스를 비행체에 적용’ 규정사항을 충분히 만족할 수 있는 항법기술 중 하나이다. 본 연구에서는 무인항공기용 주파수 5.03~5.15 GHz를 사용하였으며, 무인항공기에서 도착 버티포트까지의 방위각과 거리정보를 획득에 필요한 VOR/DME 시스템 구현을 수행하였다. 이를 위하여, 전파 전파경로 손실분석에 의한 링크버짓 도출, 소형화된 도플러 VOR용 안테나 형상설계 및 기존 항공기용 보다 측위거리 해상도가 향상된 DME 설계 등을 수행하였다. 본 연구 결과물은 지상기지국과 UAM에 장착할 수 있는 단말기로 구성되며, 각각 시제품 제작 및 주요 성능검증을 수행하였다.

### [Abstract]

This study focuses on the implementation of C-band radio navigation in the 5.03 ~ 5.15 GHz terrestrial band to cooperate with GNSS navigation mainly used in existing UAMs. This is one of the navigation technologies that can fully satisfy the requirements of Title 14 of CFR-135.165. According to the FAA, the use of two or more independent navigation sources for aircraft is proposed for aircraft. This study proceeded with the link budget derivation through radio wave propagation path loss analysis, and antenna shape design for miniaturized Doppler VOR, and DME design with enhanced positional distance resolution compared to conventional aircraft. The ground navigation system which is the result of this study, consists of a VOR/DME ground station and a terminal that can be mounted on UAM. Significant performance was confirmed through the production and testing of each prototype.

**Key word** : C-Band frequency, Doppler VHF omni range, Distance measurement equipment, Ground-based radio navigation, Urban air mobility.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.4.374>



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.

Received 1 August 2023; Revised 10 August 2023  
Accepted (Publication) 29 August 2023 (30 August 2023)

\*Corresponding Author : Kyung Heon Koo

Tel: +82-32-835-8446

E-mail: khkoo@inu.ac.kr

## 1. 서론

도심항공교통 (UAM, Urban air mobility)은 친환경·저소음 소형항공기와 버티포트를 활용하여 도심에서 승객과 화물을 안전하고 편리하게 수송하는 항공교통체계로, 초기에는 조종사가 탑승하여 기존 헬기고도로 운항하지만 2035년 이후 자율비행으로 운항할 것으로 전망된다. UAM은 기체 양산에서부터 인프라 구축, 인력 관리, 운송서비스 및 플랫폼 등 다양한 산업 분야가 유기적으로 연결된 거대 모빌리티 생태계이다.

UAM 시장 선점을 위한 전기동력 수직이착륙 항공 (eVTOL, Electric vertical take-off and landing) 개발에 세계 각국의 경쟁이 날로 치열해지고 있으며, 주요 eVTOL 스타트업은 조비 에비에이션(미국), 릴리움(독일), 블로콥터(독일), 이항(중국) 등이며, 볼러콥터, 이항(이하 멀티콥터 방식), 조비 에비에이션(틸트로터 방식), 위스크 에어로(복합형) 등은 시험 비행에 성공하였으며, 차후 국가 인증 절차 후 2025년을 전후로 상용화가 예상된다. 우리나라는 eVTOL 기체 개발 초기 단계로, 한화시스템이 '19년 미국의 오버에어사와 '버티플라이' 개발에 착수한 이후 '20년 실물 모형을 첫 공개하면서 한 단계 진척되었으며, 현대자동차는 '26년 화물용 UAM, '28 여객용 UAM(수소연료 전지) 출시 목표로 대규모 투자에 나서고 있다 [1].

UAM의 운항에 필요한 항법은 기존에 주로 위성항법시스템 (GNSS, Global navigation satellite system)을 사용하여 이륙, 운항 및 착륙 접근에 이르기까지 필수적으로 사용되는 기능이지만, 도시화에 의한 점점 더 많은 장애물이 발생하는 환경에 노출되어 GNSS의 음영 또는 간섭신호 등에 의한 정밀도 수준 또한 저하될 우려가 존재한다. 이러한 현상에 대응하기 위하여 미 연방항공국(FAA, Federal aviation administration)의 항공우주 규정집인 Title 14 of CFR-135.165에서는 2개 이상의 독립적인 항법소스를 적용하도록 규정하고 있으며, GNSS 항법을 기본으로 하면서 보완적인 항법을 추가로 복합하여 사용하는 복합항법 기술에 관한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다.

아래 기술 분류표에 의하면, GNSS에 추가적인 주요 항법기술로는 지상기반 전파항법 (GRNS, Ground-based Radio navigation

system), 관성항법 (INS, Inertial navigation system) 및 광학탐지 (LiDAR, Light detection and ranging) 등으로 제시된다. GRNS 항법은 수직에 대한 정밀도가 충분하지 않으며, INS 항법은 GNSS 신호 손실 시 단거리에서의 운항보정은 가능하나 관성 센서의 누적오차 증가 및 수직에 대한 정밀도가 충분하지 않으며, LiDar 항법은 전체 수준에서 측면 탐색 해상도에 불충분한 제한된 특성을 보여주는 것으로 알려져 있다 [2].

본 연구는 기존 민항기에서 수십년 이상 운용되며 안정성이 확보된 항행항법시스템인 DVOR (Doppler VHF omni-directional range)과 DME (Distance measuring equipment)를 기반으로 하고, 국제전기통신연합 (ITU, International telecommunication union) 산하의 세계전파통신회의(WRC-12)에서 할당된 무인항공기용 주파수 5.03~5.15 GHz를 사용한 GRNS 항법기술 개발을 목표로 수행하였다. 이를 위하여, 목표규격 분석, 전파전파 경로손실 분석에 의한 링크버킷 도출, 소형화된 DVOR용 안테나 형상 설계, 그리고 기존 항공기용보다 측위거리 해상도가 향상된 DME 설계 등을 수반하였으며, DVOR /DME 지상기지국과 UAM에 장착할 수 있는 단말기 시제품 제작 및 시험을 통해 주요 성능을 확인하였다.

## II. GRNS 설계 및 분석

### 2-1 UAM 항법 오차 규격 분석

UAM은 목적지까지 비행을 완료하고 알려진 장애물과 위험을 피하기 위해 자신의 위치를 알고 자체 위치를 찾을 수 있어야 한다. 자율적이거나 가시성이 낮은 경우 이러한 위치획득은 센서에 의존한다. 표 2는 각 운항 조건에서 요구되는 UAM 항법 오차이며, UAM 운항에서 일반적인 가정된 밀도에서의 수평 위치 확실성은 100 m 이내여야 한다 [3]. 본 연구에서는 UAM 운항과 관련하여 권고규격인 100 m 및 GNSS 정밀도 30 m 보다 정밀한 10 m 이내 달성을 목표로 설계 진행하였다.

표 1. 도심항공교통용 주요 복합항법 기술

Table 1. Key cooperative navigation technologies for UAM

Technology	En Route	Approach	Landing
GNSS(only)	Latitude only	Not recommended	Not recommended
GNSS+GRNS	Latitude only	Suitable	Latitude only
GNSS+INS	Latitude only	Not recommended	Not recommended
GNSS+LiDAR	Latitude only	Vertical only	Suitable

표 2. UAM 항법 위치오차 관련 주요 기술적 규격

Table 2. Main technical specifications related to UAM navigation position error

Description	En Route	Approach	Landing
Lateral Position Certainty	<100m	<4.5m	<1.5m
Vertical Position Certainty	<3m	<1.5m	<0.3m
Update Rate	10Hz	10Hz	10Hz

### 2-2 전파전파 경로손실 분석 및 링크버짓 도출

5.03~5.15GHz 주파수에서의 무선공간 경로손실 분석 및 RF Link Budget 도출을 위해 버티포트에서 LOS (line of sight) 10 km, 항로고도 200 m 범위를 분석하였다. 분석에는 다중경로 손실모델인 PropFlatEarth를 사용하였다. PropFlatEarth 모델은 편파 및 평평한 지구 속성을 기반으로 하는 직접파와 반사파의 채널의 합계 모델링으로 수신된 신호의 직접파와 반사파의 기여도를 합한 2선 LOS 모델을 기반으로 구성되며, 각 전파의 기여도를 합산한 한 쌍의 안테나에 대한 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다 [4].

$$P_r = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{1}{r_1} e^{-jkr_1} + \Gamma(\alpha) \frac{1}{r_2} e^{-jkr_2} \right|^2 \quad (1)$$

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\cos\theta - q\sqrt{e_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + q\sqrt{e_r - \sin^2\theta}} \quad (2)$$

여기서,  $P_t$  = 송신출력,  $r_1$  = 직접파 거리,  $r_2$  = 반사파 거리,  $\Gamma(\alpha)$  = 복소반사계수,  $\alpha$  = 각도,  $e_r$  = 지면 복소유전율 이며, 수직편파 또는 수평편파에서의  $\theta=90-\alpha$  and  $q=1$  or  $e_r-1$  이다.

Keysight 社 ADS 툴에서 제공하는 PropFlatEarth 모델을 적용한 전파경로손실 전산모의실험을 통해 10 km의 송수신기 거리에서 고도 10~200 m 사이의 경로손실은 최대 130 dB로 예상되며, 지상 반사파 중첩에 의해 약 30 dB의 손실 널 구간이 발생됨을 알 수 있다.

GRNS 수신기의 감도는 요구되는 최소신호대잡음비 20 dB, 신호대역폭 1 MHz, 잡음지수 4 dB를 적용하여 -90 dBm으로 예상되며, 송신기의 EIRP(Effective isotropically radiated power)는 최대경로손실 130 dB를 적용하여 40 dBm으로 도출되었다.

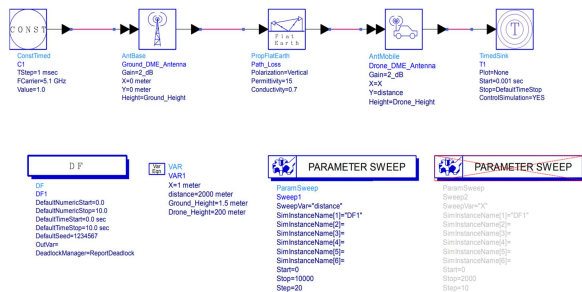


그림 1. 전파경로손실 전산모의실험 모델링  
Fig. 1. Computational simulation modeling of propagation path loss

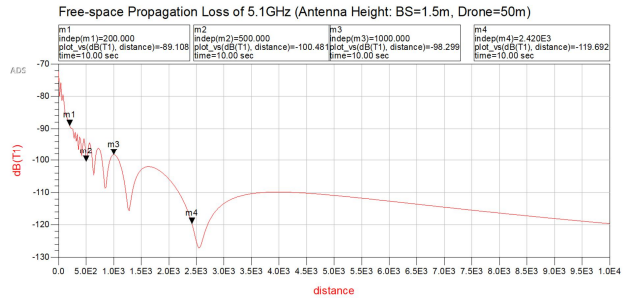


그림 2. 전파경로손실 전산모의실험 결과 (고도 50m)  
Fig. 2. Computational simulation results for propagation path loss (altitude 50m)

### 2-3 도플러 효과에 의한 방위각 발생 개요

현재 전세계적으로 운용중인 민항기용 DVOR은 국제민간항공기구 (ICAO, International civil aviation organization)에서 항공용 표준항법 시스템으로 지정한 전방향표지시설로 항공로 구성과 이착륙 경로를 만드는데 사용되고 있는 항법시스템이다. DVOR은 지상에서 방위각 정보를 송출하는 2개의 30Hz 신호 즉, 기준위상 신호 (Reference Phase Signal)와 가변위상 신호 (Variable Phase Signal)의 위상관계에 있다. 기준위상 신호는 30Hz 정현파로서 전방향 (Omni-directional)으로 복사되며, 수신기가 어느 방위에 있든지 위상은 동일하게 수신된다. 가변위상 신호는 동일한 30Hz 정현파이지만, 초당 30회 속도로 회전하며 복사되고 수신기의 위치에 따라 관측되는 위상이 달라진다. DVOR 수신기는 이들 두 신호의 위상차를 구하여 방위각을 얻는다.

DVOR에서 필요한 가변 신호를 얻기 위해서는 안테나를 물리적으로 회전시키는 것은 여러 가지 어려움이 많다. 기존 항공기용 DVOR에서는 48개의 안테나를 일정한 원주상에 배치하고 순차적으로 급전함으로써 전기적으로 회전하는 효과를 얻는다. 안테나의 순차적인 급전은 안테나를 스위칭함으로써 이루어진다. 그러나 안테나의 순차적인 스위칭만으로는 그 회전 효과가 불연속적이므로 연속적인 회전효과를 내기 위해 블렌딩 (Blending)이 사용된다. 즉, 연속적인 회전 효과를 내기 위해 두 개의 인접한 안테나에 서로 다른 크기의 전력을 동시에 공급한다. 이때 두 안테나에 가해지는 전력은 정해진 블렌딩 함수에 따라 변조되며, 한쪽 변조 신호의 크기가 최대가 되는 순간에 다른 쪽 변조 신호의 크기는 0 이 되도록 선택된다. 이렇게 두 안테나에 변조 위상이 다른 두 신호를 가함으로써, 특정 수신지점에서는 두 안테나로부터의 신호가 벡터 합성되어 나타난다.

결국 안테나 스위칭 타이밍과 블렌딩 함수를 적절히 선택하면 안테나가 연속적으로 회전하며 복사하는 것 같은 효과를 얻을 수 있다 [5].

DVOR은 가변위상신호를 얻기 위해 도플러 효과를 이용한 다. 가변위상신호는 주반송파에 진폭변조된 9960 Hz 부반송파에 실려 송출된다. 실제로는 9960 Hz 부반송파가 주반송파에 직접 변조되는 것은 아니고 별도의 안테나에서 방사되어 공간적으로 주반송파에 진폭변조된다. 9960 Hz 부반송파는 주반송파 안테나를 중심으로 일정 거리에 있는 측파대 안테나에서 방사된다. 측파대 안테나는 주반송파 안테나를 중심으로 초당 30회의 비율로 연속적인 회전효과를 갖는다. 따라서 어느 특정 수신지점에서 9960 Hz 부반송파는 초당 30회의 비율로 변화된다. 송수신 지점 사이의 거리가 시간에 따라 변화하므로 도플러 효과가 일어나고 9960 Hz 부반송파 신호에 30 Hz 주기의 주파수 편이가 발생된다. 이것은 9960 Hz 부반송파신호가 30 Hz 가변 위상신호에 의해 주반송파에 주파수 변조된 것과 같은 형태가 된다.

가변위상신호가 도플러 효과에 의해 주파수 변조될 때 그 최대주파수편이  $\Delta f$ 은 아래의 식에 따른다.

$$\Delta f = \frac{vf}{c} = \frac{\omega Rf}{c} \quad (3)$$

여기에서  $c$  = 빛의 속도 ( $3 \times 10^8$  m/sec),  $R$  = 측파대 안테나의 회전 반경,  $f$  = 송신 주파수이며, 5.1 GHz의 주파수에서  $\Delta f = 480$  Hz를 얻기 위해서는 측파대 안테나 반경 0.15 m가 필요하다.

### 2-4 방위각 발생기용 안테나 네트워크 설계

본 연구에서는 UAM의 통달거리와 운항고도를 고려하여 양 각 및 방위각 30° 이내의 지향성을 갖도록 설계하였다.

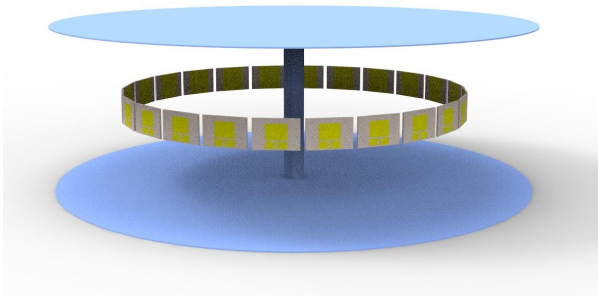


그림 3. 24개 배열된 DVOR 안테나 네트워크 모델링  
Fig. 3. DVOR antenna network configuration with 24 antennas

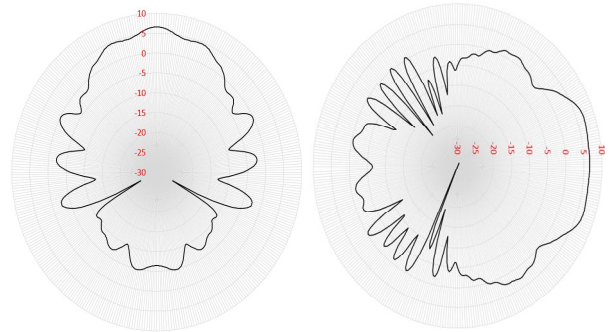


그림 4. 전산모의실험에 의한 24개 배열 안테나 빔패턴 결과, 방위각(좌) 양각(우)  
Fig. 4. 24 array antenna beam pattern results by computer simulation, azimuth (left) elevation (right)

이를 위해 안테나 단일소자는 FR-4 ( $\epsilon_r = 4.3$ ) 1.6t를 사용한 Microstrip Patch 안테나로 설계하였으며, 전산모의실험에 의해 수평면 HPBW 79.5° 4.73 dBi, 수직면 전방향의 특성을 얻었다. 설계된 단일 Microstrip Patch 안테나를 반경 0.15 m에 15° 간격으로 총 24개 배열하고 안테나 상하로 1λ 거리에 직경 0.42 m의 카운터포이즈를 추가한 뒤, 전산모의실험에 의해 설계 목표치인 방위각 HPBW  $\pm 26.75^\circ$  6.58 dBi, 양각 HPBW  $\pm 30.15^\circ$  빔범위를 얻었다.

### 2-5 UAM 수신기용 안테나 설계

UAM에 장착되는 수신기는 버티포트와 전방향으로 수신할 수 있어야 한다. 안테나는 Teflon ( $\epsilon_r = 2.2$ ) 1.6t를 사용한 Microstrip Alford-loop 안테나와 직경 0.16 m Gnd를 추가한 형상으로 설계하였으며, 전산모의실험에 의해 방위각 전방향, 양각 0~75° 범위에서 최대 3.44 dBi의 특성을 얻었다.

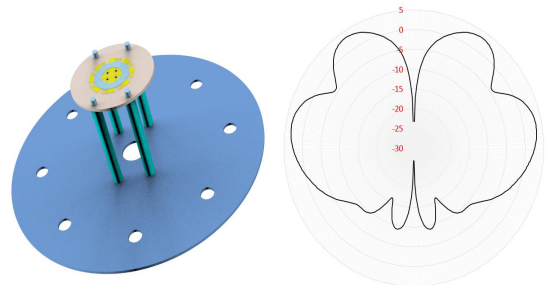


그림 5. 수신기 안테나 모델(좌), 빔패턴 결과 양각(우)  
Fig. 5. Receiver antenna model (left), beam pattern elevation angle (right)



2-6 방위각 발생기 설계

지상국용 방위각 발생기는 기준신호 30 Hz 발생, Sine & Cosine 각 12개의 안테나에 연속회전 효과를 위한 360 Hz Blending 발생, RF 증폭기 및 Sine & Cosine 안테나 스위칭으로 구성된다.

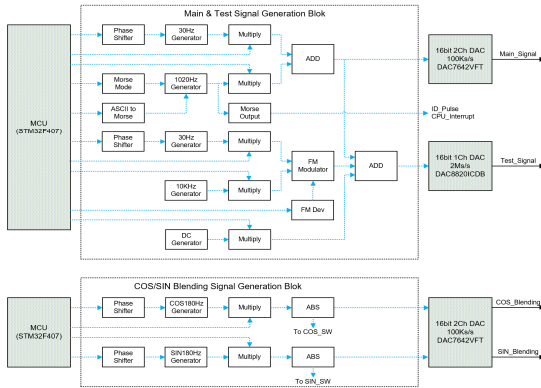


그림 6. DVOR 방위각 발생기 구성도  
Fig. 6. DVOR azimuth generator block diagram

방위각 발생 및 신호처리는 16bit 해상도의 DAC (Digital to analog converter), ADC (Analog to digital converter) 및 FPGA (Field-programmable gate array)를 사용하여 설계하였다.

2-7 DME용 쌍펄스 발생 질문기 및 회신기 설계

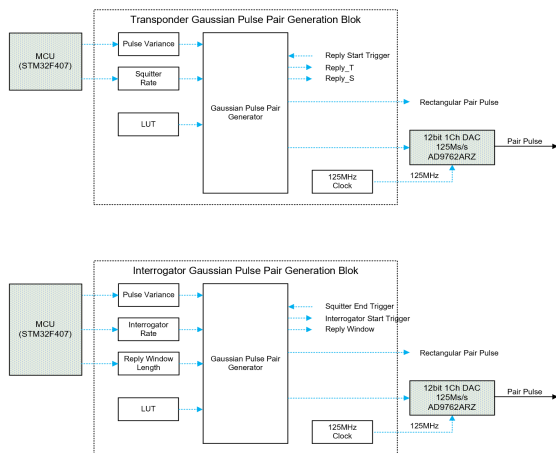


그림 7. DME용 쌍펄스 발생기 구성도  
Fig. 7. DME pair pulse generator block diagram

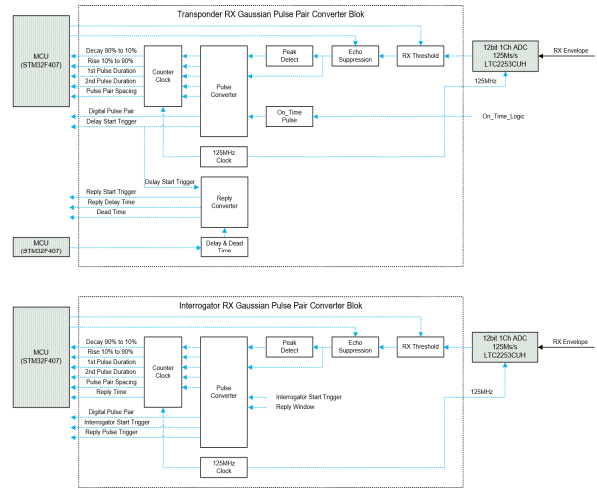


그림 8. DME용 쌍펄스 수신기 구성도  
Fig. 8. DME pair pulse receiver block diagram

DME는 UAM과 지상국 사이의 경사거리 (Slant distance)를 획득하는 시스템이다. UAM에 탑재된 질문기 (Interrogator)에서 지상국 (Transponder)으로 쌍펄스 질문신호를 송신하면, 지상국은 정해진 지연시간 (50µs) 후에 UAM에게 쌍펄스 응답신호를 회신한다. 질문신호와 응답신호의 시간 간격은 경사거리에 비례하며, 쌍펄스신호의 왕복 소요시간을 측정하여 거리 D를 도출한다.

$$D = \frac{\Delta t - 50\mu s}{2} \times c \quad (4)$$

여기에서  $c$  = 빛의 속도 ( $3 \times 10^8$  m/sec),  $\Delta t$  = 쌍펄스 왕복시간으로, 약속된 송수신 지연 시간을 제외한 소요된 시간에서 두 지점간의 거리를 획득할 수 있다. DME 질문기에서 거리를 계산할 때, 거리 오차를 10 m 이하로 하려면 약 30 MHz (33ns) 이상의 샘플링 속도가 필요하다. 본 연구에서는 125 MHz (8ns) 샘플링 속도를 갖는 12bit DAC, ADC 및 FPGA로 디지털 신호처리를 구성하여 2.4m 해상도를 갖도록 설계하였다.

III. 시제품 제작 및 측정

3-1 DVOR 수신기용 안테나 제작 및 측정

제작된 Microstrip Alford-loop 형상의 수신기용 안테나를 송도 정보통신산업진흥원 7m 무반실에서 측정한 결과에 의하면, 전산모의실험과 유사한 3.85 dBi의 최대이득을 얻었다.

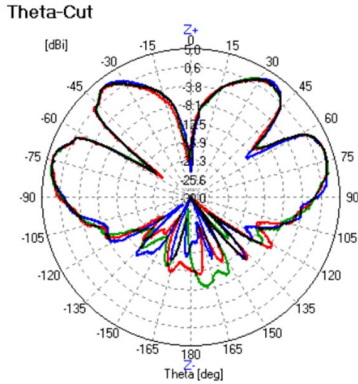
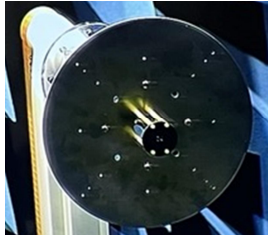


그림 9. 제작된 안테나(상), 빔패턴 측정결과(하)  
 Fig. 9. Fabricated antenna (left), beam pattern measurement result (right)

### 3-2 DVOR 방위각 발생기 제작 및 측정

방위각 발생기는 기준신호와 가변신호를 발생하는 디지털 신호처리 보드와 5.1 GHz RF로 변조 및 송출하는 RF 보드로 구성된다. 또한 디지털 신호처리 보드에는 쌍펄스 발생기 기능도 포함되어 있다. 제작된 디지털 신호처리 보드와 RF 보드는 다음 사진과 같다.

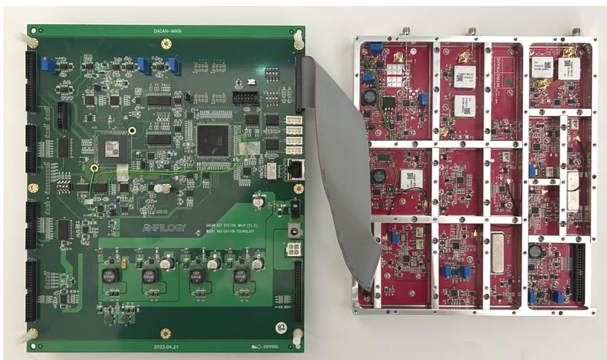


그림 10. 제작된 디지털 보드(좌) 및 RF 보드(우) 사진  
 Fig. 10. Photo of the fabricated digital board (left) and RF board (right)

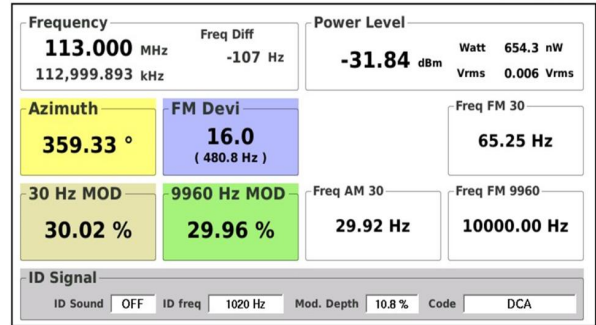


그림 11. 방위각 발생 측정결과  
 Fig. 11. Azimuth occurrence measurement result

디지털 신호처리 보드의 방위각 발생 성능을 확인하기 위하여 한국공항공사의 항행장비 분석기인 FTS (Field test set)를 사용하였다. FTS의 DVOR 분석 기능을 사용하려면 108~118 MHz 범위의 주파수를 입력하여야 한다. 제작된 RF 보드의 신호출력 주파수는 5.1 GHz 이므로, 외부에 주파수 하향변환기를 사용하여 113 MHz로 낮추어서 FTS에 입력하였다.

FTS에서 획득된 방위각 결과에 의하면, 방위각 발생오차  $\pm 0.67^\circ$ , AM변조도 30%, FM Deviation 480 Hz 등 ICAO Annex-10 DVOR 규격을 만족하고 있음을 확인하였다 [6].

### 3-3 DME 쌍펄스 발생기 제작 및 측정

제작된 디지털 신호처리 보드의 쌍펄스 발생 성능을 확인하기 위하여 씨엔테크의 DME 분석기인 PDA (Portable DME signal analyzer)를 사용하였다. PDA의 DME 기능은 1088 MHz 입력이 필요하므로, 주파수 하향변환기를 사용하여 5.1 GHz에서 주파수를 1088 MHz로 낮추어 PDA에 입력하였다.

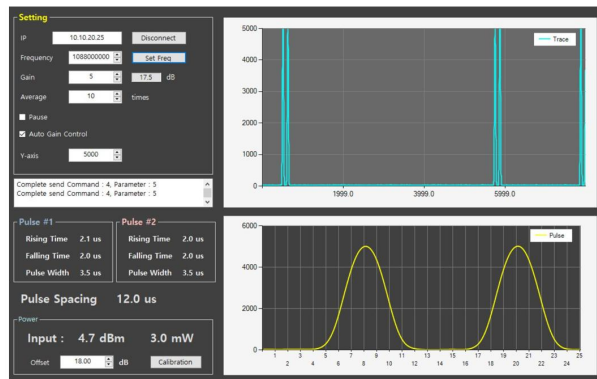


그림 12. 쌍펄스 발생 측정결과  
 Fig. 12. Pair pulse generation measurement result

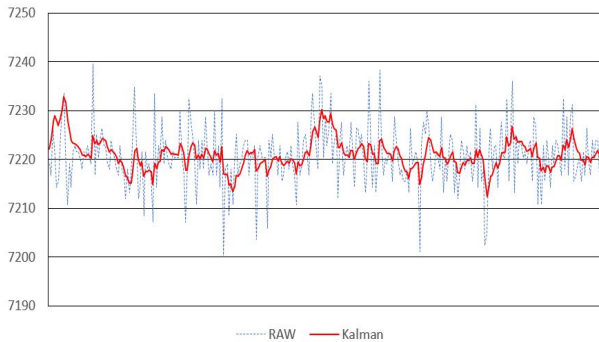


그림 13. 거리측위 측정결과  
**Fig. 13.** Distance positioning measurement result

PDA에서 획득된 결과에 의하면, 쌍펄스 주기 12 us, 펄스폭 3.5 us 등 ICAO Annex-10 DME 규격을 만족하고 있음을 확인하였다.

제작된 디지털 신호처리 보드의 거리측위 성능을 확인하기 위하여 DAC에서 출력된 송신 쌍펄스 신호를 수신 ADC로 자체 루프백하는 방식으로 시험하였다. 거리측위는 최대 측정거리 10 km 까지 약 1 km 간격으로 나누어 측정하였으며, 그 결과는 모든 구간에서 거의 유사한 오차를 보여주었다. 측정 결과는 최대  $\pm 20$  m의 오차였으며, 이는 설계 해상도인 2.4 m 보다 약 8 배 오차를 보여준다. 이러한 오차는 디지털 신호처리에 사용되는 클럭신호의 잡음 및 지터 등에 기인하는 것으로 추정된다.

목표치인  $\pm 10$  m를 달성하기 위하여 획득된 측정거리 데이터에서 잡음을 제거하여 새로운 결과를 추정하는 기법으로 알려진 Kalman 필터를 적용하였으며, 필터는 MCU STM32F407를 사용하여 소프트웨어로 구현하였다. 본 논문에서는 약 70% 정도인 중심거리 7,222 m 조건에서 측정한 RAW 데이터와 Kalman 필터 적용 후  $\pm 10.2$  m의 결과를 그림 12에 제시하였다.

## V. 결론

본 연구에서는 드론 및 UAM 등 유무인항공기에서 사용 중인 GNSS 항법과 복합항법을 구성하는 방법으로 C 밴드 5.03~5.15 GHz 주파수를 사용한 지상기반 전파항법시스템에서 방위각 발생기인 DVOR과 거리측위 장치인 DME 구성에 필요한 24 배열 안테나와 디지털신호처리 등에 대한 전산모의 실험과 시제품 제작결과를 제시하였다. 방위각 송출에는 Microstrip Patch 형상의 싱글 안테나를 반경 0.15 m에 15° 간격으로 총 24개를 배열하고, 상하 1λ 거리에 직경 0.42 m의 카운터포이즈를 추가한 뒤, 전산모의실험에 의해 설계 목표치인 방위각 HPBW  $\pm 26.75^\circ$  6.58 dBi, 양각 HPBW  $\pm 30.15^\circ$  빔범위를

얻었다.

디지털 신호처리 보드에서 DVOR 기준신호 및 가변신호용 Blending 신호를 생성하여 도플러 효과에 의한 방위각 발생과 발생오차  $\pm 0.67^\circ$ 의 성능을 확인하였으며, 쌍펄스 신호 생성과 수신을 통해 거리측위  $\pm 10.2$  m의 이내의 편차분포 성능을 확인하였다. 본 연구를 통해 C 밴드 주파수를 사용한 지상기반 전파항법 시스템이 GNSS 항법과 복합항법으로 적용에 대한 기초적인 연구결과를 습득하였다. 앞으로 실제 필드 환경조건에서의 성능시험 및 성능 안정화를 위한 고도화 개발을 추진할 예정이다.

## Acknowledgments

본 연구는 2022년도 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 기술키움지원사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

## References

- [1] H. J. Sim, *도심항공 모빌리티(UAM) 글로벌 산업동향과 미래과제*, Institute for International Trade, Seoul, Trade Focus 21-22, pp. 14-17, Jun. 2021.
- [2] V. L. Stouffer, and R. D. Lehmer, : Reliable, Secure, and Scalable Communications, Navigation, and Surveillance (CNS) Options for Urban Air Mobility (UAM), Science Applications International Corporation, Reston,; Technical Report GS00Q14OADU130, pp. 15-20, Aug. 2020.
- [3] M. Eltahier, and K. Hamid, "Review of Instrument Landing System," *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, Vol. 12, No. 3, pp. 1106-1113, Mar. 2017.
- [4] H. Xia, and L. Bertoni, "Radio Propagation Characteristics for LOS Microcellular and Personal Communications," *IEEE Transaction on antenna and propagation*, Vol. 41, No. 10, pp. 1439-1447, Oct. 1993.
- [5] K.W. Lee, : MARU220 DVOR Technical Manual, Mopience Corporation, Seoul,; Technical Manual, 2007.
- [6] ICAO, Annex 10 Volume I Aeronautical Telecommunications, 7th ed. Montréal, International Civil Aviation Organization, 2018.



**이 경 순 (Kyung-Soon Lee)**

우리항행기술(주) 기업부설연구소  
1993년 2월: 인천대학교 전자공학 학사  
2003년 8월: 연세대학교 경영학 석사  
2018년 8월: 인천대학교 전자공학 박사  
※관심분야: 위성통신, 항행항법, 마이크로파 회로해석



**조 용 운 (Yong-Un Cho)**

우리항행기술(주) 기업부설연구소  
1992년 2월: 동아대학교 전기공학 학사  
※관심분야: 이동통신, 항행안전시설, 고주파 회로해석



**김 민 정 (Min-Jung Kim)**

우리항행기술(주) 기업부설연구소  
2008년 2월: 성신여자대학교 컴퓨터공학과 학사  
2019년 2월: 숙명여자대학교 전자계산교육학 석사  
※관심분야: 위성통신, 항행항법, 소프트웨어 설계



**구 경 현 (Kyung Heon Koo)**

인천대학교 전자공학과 교수  
1981년 2월: 서울대학교 전자공학 학사  
1983년 2월: 서울대학교 전자공학 석사  
1991년 2월: 서울대학교 전자공학 박사  
※관심분야: 마이크로파 회로 및 안테나 설계, 전파 신호처리, 항행 시스템 설계