THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2023 January.; 34(1), 49～56.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2023.34.1.49
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

텐션막 구조물 드론 시험장의 전파환경 분석

Optimizing the Electromagnetic Environment at Tension Membrane Structured Drone Test Sites

김성건 · 조성실* · 홍익표* · 육종관

Sung-Geon Kim · Sung-Sil Cho* · Ic-Pyo Hong* · Jong-Gwan Yook

요 약

드론의 활용도가 높아지면서, 드론 대상 신뢰성 평가, 전파특성 시험 등을 진행하기 위한 시험장의 필요성이 강조되고 있다. 저비용, 대공간 구현 가능성의 이유로 텐션막 구조물 형태의 시험장이 많은 선택을 받고 있지만, 해당 구조물 내부에서의 전파환경, 특히 GPS 신호에 대한 분석은 미흡하여, 내부에서 드론을 자유롭게 운용하는 데에 한계가 있다. 본 논문에서는 텐션막 구조물 시험장에 대한 재료적 분석을 토대로 발생할 수 있는 GPS 신호 미수신 문제를 제시하고, 측정을 통해 확인한다. 이후, 시험장의 구조적, 재료적 특성을 반영한 전자기 시뮬레이션으로 GPS 중계기의 최적 위치를 선정하여 시험장 내부 전파환경을 최적화하는 과정을 보이고, 측정을 통해 검증하였다.

Abstract

The growing use of drones highlights the need for a reliable test site for electromagnetic and reliability evaluations. Tension membrane structures are popular for their low cost and large space, but their analysis of the electromagnetic environment, particularly GPS signals, is limited. This paper addresses the problem of weak GPS signals by analyzing the material properties of the tension membrane structure and confirming it through measurements. Electromagnetic simulation was then used to determine the optimal location of the GPS repeater and improve the electromagnetic environment. This process was verified through measurement.

Key words: Drone, Tension Membrane Structure, Test Site, GPS, Electromagnetic Environment

Ⅰ. 서 론

최근 드론 관련 기술의 혁신적인 발전으로, 민간 분야뿐 아니라, 군이나 국가, 공공기관 등에서 다양한 드론 활용 방안이 제시되고 있다[1],[2]. 드론의 활용범위가 넓어질수록 높은 수준의 보안성 및 안정성의 확보가 필수적이기 때문에, 드론을 대상으로 하는 신뢰성 평가, 전파특성 시험[3] 등을 진행하기 위한 시험장의 필요성이 대두되고 있다. 이처럼 드론을 대상으로 하는 시험장의 필요성이 강조되면서 국내 · 외의 많은 기관에서 다양한 형태의 시험장을 구축하였고[4]~[7] 그 형태는 크게 야외형, 차폐형, 비차폐형으로 구분된다. 야외형 시험장은 천장을 포함한

「이 논문은 ETRI부설연구소의 위탁연구과제[2022-068]로 수행한 연구결과입니다.」

연세대학교 전기전자공학부(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

*공주대학교 스마트정보기술공학과(Department of Smart Information Technology Engineering, Kongju National University)

· Manuscript received December 4, 2022 ; Revised January 7, 2023 ; Accepted January 30, 2023. (ID No. 20221204-019S)

· Corresponding Author: Jong-Gwan Yook (e-mail: jgyook@yonsei.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

사방이 막히지 않은 개방형 시험장으로 GPS 신호의 수신이 수월하여 여러 상용 드론을 별도의 처리 없이 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 개방형 구조의 특성상 의도치 않은 외부 전파나 날씨에 취약하며, 드론 시험 시 전파법이나 항공법 등에 대한 고려가 필요하다는 단점이 있다. 차폐형 시험장은 전파 관련 시험에 주로 활용되는 무반사실이 대표적이다. 외부 전자기파에 대한 완전한 차폐를 목적으로 설계되었으며, 내부에는 다수의 흡수체를 이용하여 실내에서의 전자기파 반사를 없애 마치 자유공간에 있는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 하지만, 차폐 시험장은 구축하는 데에 막대한 비용이 들며, 내부에서의 드론 운용이 어렵다는 단점이 있다. 비차폐형 시험장은 별도의 차폐 처리를 하지 않은 실내 시험장으로 외부 전파에 일부 영향을 받지만, 건물의 외벽, 천장 등의 영향으로 GPS 신호의 수월한 수신은 어렵다. 하지만, 실내에서 운용되기 때문에 전파법, 항공법 등 드론 관련 법규로부터 비교적 자유로우며 형태에 따라 저렴한 비용에 구축이 가능하다는 장점이 있어 드론 시험장으로 가장 많이 활용되는 형태이다.

비차폐형 시험장 중 드론 대상 시험장으로 최근 많은 관심을 받고 있는 형태는 텐션막 구조물 시험장이다[8]. 텐션막 구조물 시험장의 경우, 철재 골조와 막재로 이루어진 구조물이다. 일반적인 건축 방식에서는 천장의 하중으로 인해 넓은 대공간을 구현하기 위해서는 중앙부에 기둥이 필수적이지만, 텐션막 구조물에서는 경량화된 하중으로 인해 그림 1과 같이 내부의 장애물 없이 넓은 실내 공간 구현이 가능하다는 장점이 있다. 이는 비행을 하는 드론을 대상으로 매우 큰 장점이며, 구축 시 요구 비용도 일반적인 건축물에 비해 매우 저렴하여 드론 대상 시험장으로 텐션막 구조물 형태가 많이 채택되고 있다. 이러한 형태의 시험장이 드론 대상 시험장으로 활용되기 위해서는 사전에 텐션막 구조물 내부의 전파 환경 특히 GPS 신호에 대한 분석이 필수적이지만, 많은 경우 내부의 전파 환경에 대한 고려 없이 설계되어 실제 활용에는 어려움을 겪는 사례가 많다.

그림 1. 텐션막 구조물 예시(출처: 애그로이엔씨)
Fig. 1. The internal structure of tension membrane structured test site.

따라서, 본 논문에서는 기구축된 텐션막 구조물 시험의 전파환경을 분석하고자 한다. Ⅱ장에서는 시험장 구축에 사용된 구축재료의 전자기 특성을 분석하고, Ⅲ장에서는 실제 측정을 통해 시험장 내부의 전파환경을 분석하고, GPS 신호 감쇄 문제의 해결방안을 시험장 구축재료에 대한 분석, 전자기 시뮬레이션 및 측정을 기반으로 제안하고 검증한다.

Ⅱ. 텐션막 구조물의 전자기 특성

2-1 텐션막 구조물

텐션막을 활용한 실내 시험장의 경우, 건축법상 건축물 내의 작업을 위한 공간으로 '거실'로 구분된다. 이러한 구조물 건축 시 소방 안전 및 에너지 절약을 위해 '건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙'에서는 건축물의 외벽에는 불연재료 또는 준불연재료를 마감 재료로 사용하도록 하고 있으며, '건축물의 에너지절약설계기준'에서는 정해진 열관류율 기준 또는 단열재 두께 기준을 준수하도록 의무화하고 있어, 텐션막과 더불어 단열재가 필수적으로 삽입되어야 한다. 그러므로 텐션막 구조물 시험장의 천장부는 그림 2와 같이 내부의 단열재를 두 겹의 텐션막이 감싸고 있는 구조로 이루어져 있다. 따라서, 텐션막 구조물의 전자기 특성을 파악하기 위해서는 텐션막과 내부 단열재 모두에 대한 고려가 필수적이다.

그림 2. 텐션막 구조물 시험장의 천장재 구조
Fig. 2. Ceiling structure of tension membrane structured test site.

2-2 텐션막 및 단열재의 전자기 특성

먼저, 텐션막의 전자기 투과 및 반사 특성을 분석하기 위해 그림 3과 같은 자유공간 측정 환경을 구성하여 시편의 투과 및 반사 특성 측정을 진행하였다. 측정은 광대역 혼 안테나와 VNA(vector network analyzer)를 이용하여 1 GHz~10 GHz에 대해 진행하였으며, 텐션막 시편 모서리에서 발생하는 회절의 영향을 줄이기 위해 45 cm×45 cm의 개구면 크기를 갖는 흡수체 벽을 사용하였다. 먼저 측정에 활용된 케이블에 대해 short, open, load, thru (SOLT) 결과를 이용하여 캘리브레이션을 진행하였다. 이후 텐션막에 대한 자유공간 측정을 진행하고, 그 결과를 금속판에 대한 반사특성 측정 결과와 자유공간에 대한 투과특성 측정 결과와 비교하여 텐션막의 유무에 따른 상대적 반사/투과 특성을 확인하였다[9],[10]. 이 과정에서 두 안테나 사이의 상호결합 및 회절의 영향을 제거하기 위해 시

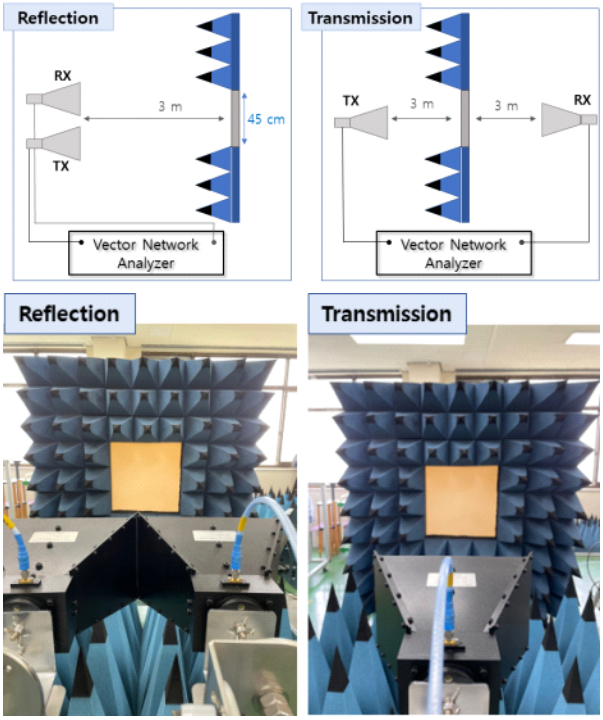


그림 3. 텐션막 반사 및 투과 특성 측정(자유공간 측정)
Fig. 3. Measurement setup of tension membrane reflection and transmission characteristics (free-space measurement).

편의 위치에 대한 시간 게이팅을 적용하였다[11]. 시간 게이팅을 적용하는 경우, 필터링에 의해 측정 주파수 대역의 양 끝 부분에서 오차가 발생하기 때문에 반사 및 투과 특성은 주파수 대역의 양 끝부분을 제외한 2 GHz~9 GHz에 대해 그림 4에 나타내었으며, 텐션막에 의한 감쇄는 적으며 신호의 대부분이 투과되는 것을 확인하였다.

자유공간 측정 결과를 검증하기 위해, 텐션막과 같은 얇은 막 구조의 유전체의 유전율 측정에 활용되는 SPDR (split post dielectric resonator) 방식을 통해 텐션막의 유전율을 측정하였다. 사용한 공진기는 3.2 GHz의 공진 주파수를 가지며, 텐션막의 두께는 평균 0.548 mm이다. 측정 결과, 텐션막은 $\epsilon_r = 2.636$의 유효유전율과 $\tan\delta = 0.0116$의 낮은 손실 탄젠트를 갖는 것을 확인하였으며, 이는 앞서 자유공간 측정을 통해 확인한 높은 투과특성과 일치하는 결과이다.

시험장 구축에 활용된 단열재의 경우에는 그림 5와 같이 대류열 차단을 위한 5 cm 두께의 발포 폴리스티렌 폼의 양면에 대류열 차단을 위한 금속 코팅이 된 형태이다. 단열재 코팅 물질의 특성 분석을 위해 단열재에 대해 주사전자현미경(SEM, scanning electron microscope) 분석을 진행하였고, 그 결과는 그림 6과 같다. 단열재의 윗면에는 약 4 μm의 알루미늄이 코팅되어 있으며, 아랫면에는 약 2 μm 알루미늄 코팅이 되어 있음을 확인하였다. 따라서, GPS L1 대역의 중심 주파수인 1,575.42 MHz에서 알

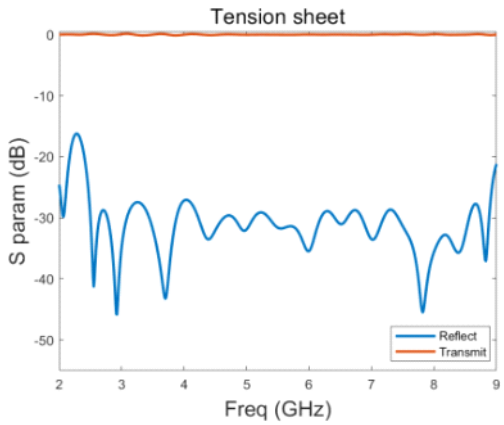


그림 4. 텐션막 반사 및 투과 특성
Fig. 4. Reflection and transmission charcateristic of tension membrane.

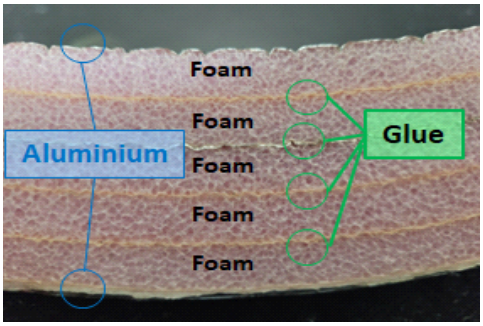


그림 5. 단열재 단면 구조
Fig. 5. The sectional structure of the insulator.

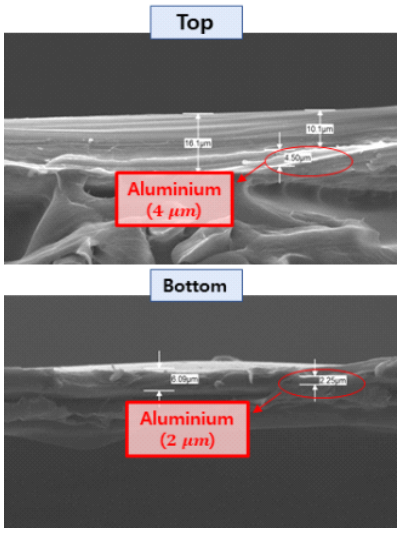
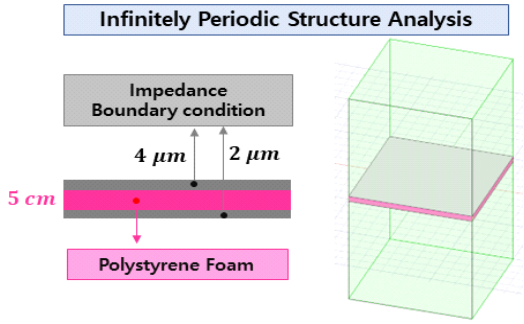


그림 6. 단열재 SEM 분석 결과
Fig. 6. SEM analysis results of the insulator.

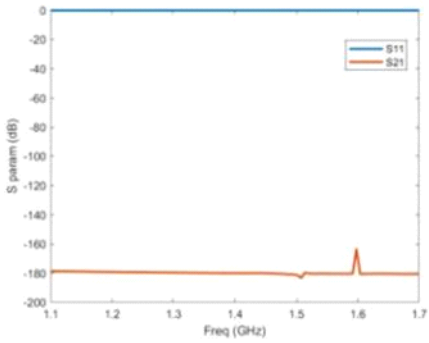
루미늄의 침투 깊이가 $\delta = 2.066\ \mu$m인 것으로부터 단열재를 통한 GPS 신호의 투과는 거의 없을 것으로 예측할 수 있다.

이를 확인하기 위해, 획득한 두께 정보를 활용하여 그림 7과 같이 full-wave EM 시레이션 툴인 HFSS를 이용하여 해석을 진행하였다. 시뮬레이션은 알루미늄을 반영하기 위한 임피던스 경계조건과 무한 구조 해석을 위한 Floquet port 해석 방식을 적용하였고, 그 결과 GPS 신호는 단열재를 투과할 수 없음을 확인하였다. 이는 GPS L1 대역의 중심 주파수인 1,575.42 MHz에서 알루미늄의 침투 깊이가 $\delta = 2.066\ \mu$m인 것에 부합하는 결과이다.

종합하자면, 텐션막 구조물 시험장을 구성하는 텐션막



(a) 시뮬레이션 셋업
(a) Simulation setup



(b) 투과 및 반사 특성
(b) Reflection and transmission characteristic

그림 7. 단열재 투과 및 반사 특성 시뮬레이션
Fig. 7. Reflection and transmission characteristic simulation of the insulator.

과 단열재의 전자기 특성을 분석한 결과, 외부의 GPS는 시험장 내부로 투과될 수 없어, 실내에서는 외부 GPS의 활용이 어렵다는 것을 예측할 수 있다. 이는 3-2절에서 진행한 GPS 신호 수신 강도 측정 결과로 다시 확인할 수 있으며, 이러한 문제를 극복하기 위해 시험장 내부에서는 GPS 중계기 사용이 필수적이기 때문에, 3-3절에서는 시험장의 구조적 특성을 반영한 시뮬레이션을 토대로 최적의 GPS 중계기 위치를 선정하고, 측정을 통해 검증하였다.

Ⅲ. 텐션막 구조물 시험장의 전파 환경 특성

3-1 주변 잡음 측정

기구축된 텐션막 구조물 시험장의 전파 환경을 분석하기 위해, 시험장 내부에서 아무런 시험도 진행하지 않을

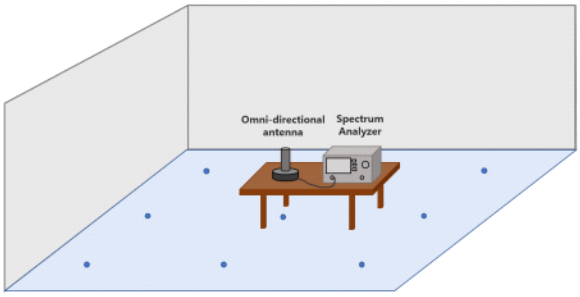


그림 8. 주변 잡음 측정 환경
Fig. 8. Measurement setup for ambient noise.

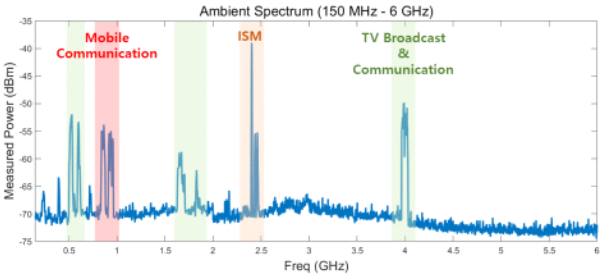


그림 9. 주변 잡음 측정 결과
Fig. 9. Ambient noise measurement result.

때의 주변 잡음(ambient noise)을 측정하였다. 주변 잡음 측정은 그림 8과 같이 150 MHz~6 GHz의 광대역 전방향 안테나와 스펙트럼 분석기를 사용하여 시험장의 중앙부에서 진행하였으며, 충분한 시간 동안 측정 진행 및 평균화 과정을 통해 최종 데이터를 획득하였다. 주변 잡음 측정 결과는 그림 9와 같다. 텐션막 구조물 시험장이 전파 차폐에 대한 고려 없이 구축되었기 때문에 특정 주파수에서 외부 신호들이 관측되었다. 관측된 신호들은 과학기술정보통신부의 '대한민국 주파수 분배표'에 근거하여 각각 TV 방송 및 통신 중계, 이동 통신, ISM 대역에 해당한다. 이러한 정보는 추후 실내 시험장에서 전파 관련 시험을 진행할 때, 기준 데이터로서 활용할 수 있다.

3-2 GPS 신호 수신 강도 측정

텐션막 구조물 시험장을 드론 대상 시험에 활용하기 위해서는 시험장 내부에서의 GPS 환경에 대한 분석이 필요하여, 시험장 내부 각 위치에서의 GPS 신호 수신 강도 측정을 진행하였다.

GPS 신호의 경우에는 각 GPS 위성의 정보를 담은 코드를 이용한 확산 스펙트럼 방식으로 신호의 전력이 GPS 신호의 주파수 대역에 걸쳐 확산되어 잡음 신호보다 낮은 전력을 갖기 때문에 일반적인 스펙트럼 분석기로 측정이 어렵다. 이러한 GPS 신호를 수신하기 위해 GPS 수신용 RF front-end가 포함된 Ublox사의 EVK-M8 GNSS evaluation kit와 Ublox사의 자체 소프트웨어인 U-center를 이용하여 GPS 신호에 대한 분석을 진행하였다.

그림 10은 측정 환경을 나타낸 것이다. 측정은 30 m×30 m 크기의 시험장 중앙의 20 m×20 m 영역에 대해 9개의 지점에 대해 진행하였고, 잡음 대비 신호의 세기를 신호의 대역폭을 고려하여 나타내는 값인 반송파 대 잡음비(C/N_0)를 측정하였다. GPS 신호는 1초에 한 번씩 120초 이상 측정을 진행하였고, 그림 11은 각 측정 위치

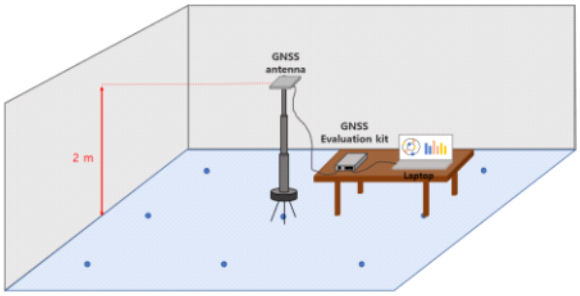


그림 10. 시험장 내부 GPS 신호 수신 세기 측정 셋업
Fig. 10. Measurement setup for GPS signal strength inside the test site.

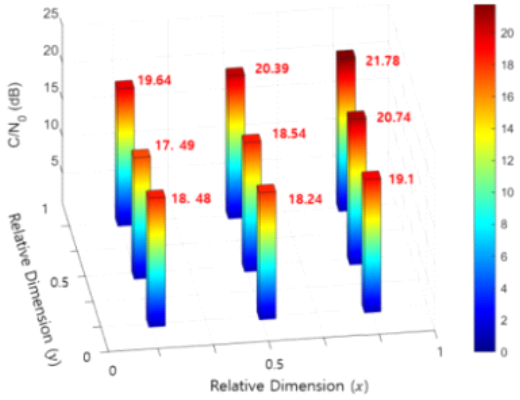


그림 11. 시험장 내부의 GPS 수신 C/N_0
Fig. 11. Received GPS C/N_0 inside the test site.

에서 수신된 위성의 C/N_0의 평균값을 나타낸 것이다. 시험장 내부의 평균 수신 C/N_0는 18.85 dB/Hz이다. Ⅱ장에서의 단열재 투과 특성 분석 결과보다 비교적 높은 수신 세기를 갖는 것은 창문을 통한 유입, 단열재 시공 오차 등의 원인을 예측할 수 있다.

그러나 일반적으로 GPS 신호가 잘 수신되기 위해서는 약 40 dB/Hz의 C/N_0가 권장되는 것에 비하면 GPS 신호의 세기가 매우 미약하여 실내에서 드론이 GPS 신호를 정상적으로 수신하기에는 어려움이 있다.

3-3 GPS 중계기 기반 전파 환경 구축

앞서 측정을 통해 파악한 낮은 GPS 신호 수신 세기의 해소방안으로 외부의 GPS 신호를 시험장 내부로 중계하는 GPS 중계기가 있다. GPS 중계기는 건물 외부의 GPS 수신 안테나가 수신한 신호를 적절히 증폭하여 실내로 재방사하는 시스템으로, 실내 공간에 중계된 GPS 신호를 적절한 출력으로 고르게 분포시키는 것이 중요하다. 실제 GPS 중계기를 설치하여 사용하는 경우, GPS 중계기 안테나의 특성, 설치 위치, 각도 등에 따라 시험장 내부의 전파 환경 구성이 달라지기 때문에 중계기의 최적 위치 선정을 위해 광선 추적(ray tracing) 방식 기반의 전자기 시뮬레이션 툴인 Wireless Insite를 이용하여 GPS 중계기에 의한 시험장 내부 전파환경을 분석하였다.

앞서 진행한 텐션막 구조물 시험장 구축재료의 물질 특성 분석 결과와 기구축된 시험장의 실제 크기 및 구조적 특성을 반영하여 시험장에 대한 3D 모델과 GPS 중계기 안테나를 그림 12와 같이 구성하여 시뮬레이션을 진행하였다. 표 1은 시뮬레이션에 활용한 안테나의 특성을 정리한 표이다. 중계 안테나로는 원형 패치 안테나를 사용하였으며, 주파수 대역은 GPS L1 대역을 사용하였다. 출력 전력은 안테나의 송신 전력 대비 수신 전력의 상대값이 중요하기 때문에, 0 dBm으로 설정하였다.

그 결과, 그림 13은 시험장 내부 높이 2 m에서의 수신 전력과 지연 확산을 나타낸 것이다. 그림 13(a)와 같이 시험장 내부에서 수신 신호 세기가 고르게 분포하는 것을 확인할 수 있으며, 그림 13(b)와 같이 모든 위치에서 0.078 μs 이하의 낮은 지연 확산을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 수신 세기와 지연 확산 모두를 고려하여 선정

표 1. 시험장 내부 전파환경 시뮬레이션 안테나 정보
Table 1. Antenna setup for internal environment of the test site.

	TX Ant	RX Ant
Antenna	Circular patch	Isotropic
Freq	GPS L1 (1,575.42 MHz)	GPS L1 (1,575.42 MHz)
Input power	10 dBm	-
Height	11.3 m	2 m
Tilt angle	x=60° z=60°	-

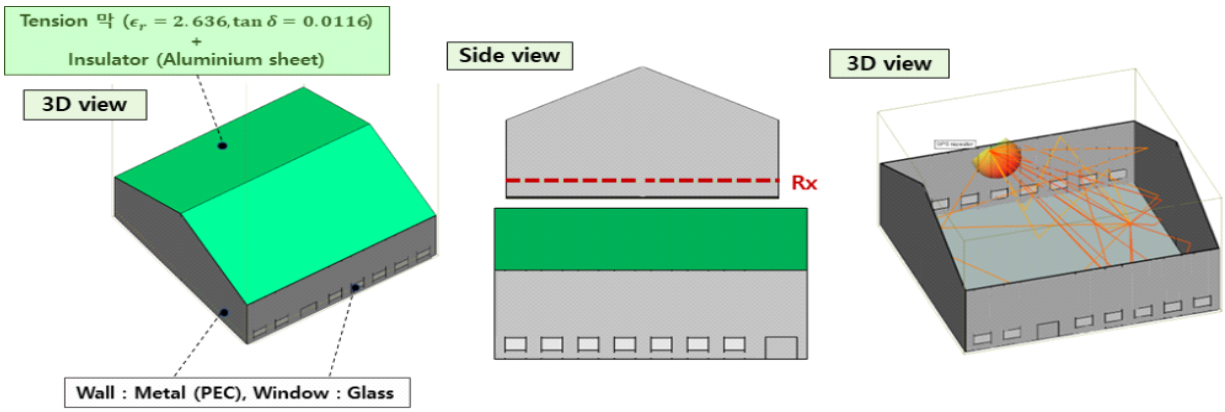
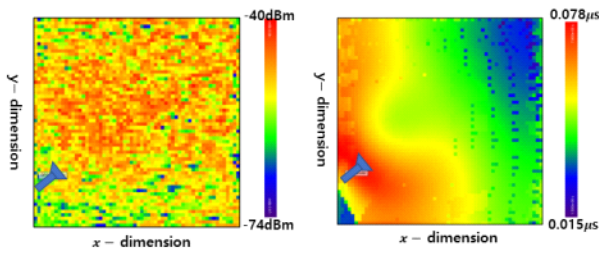


그림 12. GPS 중계기 설치 시 시험장 내부 전파환경 시뮬레이션 셋업
Fig. 12. Simulation setup for internal electromagnetic environment of the test site with GPS repeater.



(a) 수신 전력 (b) 지연 확산
(a) Received power (b) Delay spread

그림 13. 시험장 내부 전파환경 시뮬레이션 결과
Fig. 13. Simulation results of the electromagnetic environment inside the test site.

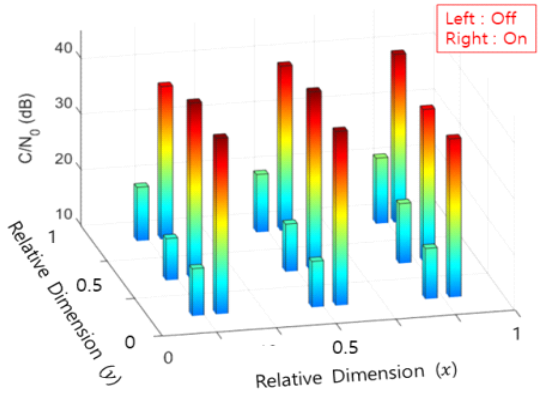


그림 14. GPS 중계기 on/off에 따른 C/N_0
Fig. 14. Measured C/N_0 according to GPS repeater on/off.

된 최적의 위치에 중계기를 설치하였으며 그림 14와 같이 설치 전후의 실내 GPS 수신 세기를 측정 및 비교하였다. GPS 중계기가 동작하는 경우, 신호가 적절히 증폭되어 평균 42.11 dB/Hz의 C/N_0가 측정되며, 신호도 고르게 분포하는 것을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 최근 드론 대상 실내 시험장으로서 많은 장점을 갖는 텐션막 구조물 형태의 시험장의 건축법상 불가피하게 발생하는 GPS 신호 미수신 문제를 구축재료에 대한 분석을 토대로 제시하고, 실제 측정을 통해 확인하였다. 이후 이러한 문제를 해선 추적 방식 기반의 시뮬레이션을 통해 최적의 중계기 위치를 선정하여 시험장 내부에 GPS 신호가 고르게 분포되는 것을 측정함으로써 검증하였다. 이러한 연구는 최근 많은 기관에서 주목하는 텐션막 구조물 드론 시험장 구축 시 발생할 수 있는 문제를 제시하고 적절한 해결방안을 제시함으로써 큰 가치를 갖는다. 또한, 기구축된 시험장의 전파환경 최적화를 통해 다양한 시험 기반의 드론의 보안성 및 안전성 검증 테스트베드로 활용될 수 있을 것이다.

References

[1] D. Cvitanić, "Drone application in transportation," in *2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies(SpliTech)*, Split, Sep. 2020, pp. 1-4.

[2] P. M. Asaro, "The labor of surveillance and bureaucratized killing: New subjectivities of military drone operators," *Social Semiotics*, vol. 23, no. 2, pp. 196-224, Mar. 2013.

[3] S. G. Kim, E. Lee, I. P. Hong, and J. G. Yook, "Review of intentional electromagnetic interference on UAV sensor modules and experimental study," *Sensors*, vol. 22, no. 6, p. 2384, Mar. 2022.

[4] S. G. Kim, Y. H. Noh, I. P. Hong, and J. G. Yook, "Stepwise RF measurement method for the analysis of drone's communication signals," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 370-376, Apr. 2021.

[5] B. Smith, B. Stark, T. Zhao, and Y. Chen, "An outdoor scientific data drone ground truthing test site," in *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Denver, CO, Jun. 2015, pp. 436-443.

[6] A. Szabo, "GNU radio based testbed(GRaTe-BED) for evaluating the communication link of unmanned aerial systems," *Acta Universitatis Sapientiae Electrical and Mechanical Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 5-18, Dec. 2017.

[7] S. H. Joo, T. W. Ha, "Introduction to radio playground of Korea Radio Promotion Association," *The Proceeding*

of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, vol. 31, no. 5, pp. 56-60, Sep. 2020.

[8] W. J. Lewis, *Tension Structures: Form and Behavior*, London, Thomas Telford, 2003.

[9] I. G. Lee, Y. J. Yoon, K. S. Choi, and I. P. Hong, "Design of an optical transparent absorber and defect diagnostics analysis based on near-field measurement," *Sensors*, vol. 21, no. 9, p. 3076, Apr. 2021.

[10] H. M. Lee, H. S. Lee, "A method for extending the bandwidth of metamaterial absorber," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2012, p. 859429, Nov. 2012.

[11] Y. H. Noh, C. S. Park, K. J. Kim, Y. H. Jang, and J. G. Yook, "Measurement method for monostatic radar cross section of a scaled aircraft model in non-anechoic environment," *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 7, pp. 583-590, Jul. 2019.

김 성 건 [연세대학교/석·박사 통합과정]

https://orcid.org/0000-0003-1471-7371

2020년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)

2020년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석·박사 통합과정

[주 관심분야] 전자기 수치해석, 전자파 보안, 드론, 마이크로파 구조 해석 및 설계

조 성 실 [국립공주대학교/박사과정]

https://orcid.org/0000-0003-0878-077X

2016년 2월: 국립공주대학교 정보통신공학부 (공학사)

2018년 2월: 국립공주대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2018년 3월~2022년 2월: 국립공주대학교 스마트자연공간연구센터 연구원

2022년 3월~현재: 국립공주대학교 정보통신공학과 박사과정

[주 관심분야] 주파수 선택구조 설계 및 응용

홍 익 표 [국립공주대학교/교수]

https://orcid.org/0000-0003-1875-5420

1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1996년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2000년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)

2000년 3월~2003년 2월: 삼성전자 무선사업부 책임연구원

2006년 2월~2007년 2월: Texas A&M University, Visiting Scholar

2012년 2월~2013년 2월: Syracus University, Visiting Scholar

2003년 3월~현재: 국립공주대학교 정보통신공학부 교수

[주 관심분야] 전자기 수치해석, EMI/EMC, 안테나

육 종 관 [연세대학교/교수]

https://orcid.org/0000-0001-6711-289X

1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수

2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

2012년~2013년: IEEE Distinguished Lecturer (EMC Society)

[주 관심분야] 수치해석, 마이크로파 구조 해석 및 설계, EMI/EMC, HEMP, RF 바이오/가스 센서 등