

무선측위국 보호를 위한 드론레이싱시스템의 간섭영향 분석

Interference Analysis of Drone Racing System for Protecting Radiodetermination System

조인경 · 이일규* · 김승남* · 주동만**

In-Kyoung Cho · Il-Kyoo Lee* · Seung-Nam Kim* · Dong-Man Joo**

요 약

본 논문에서는 민간분야에서 국내·외적으로 점점 매우 빠른 속도로 확장될 것으로 예상되는 드론레이싱시스템(drone racing system)과 인명안전과 관련성이 깊은 무선측위국(radiodetermination system)과의 간섭영향 분석을 수행하였다. 먼저 국제적으로 보편화되어 적용되고 있는 race band를 고려하여 무선측위국과 인접해 있는 채널 1(5,658 MHz)과 채널 2(5,695 MHz)에서의 운용 상황을 선정하였다. 그 결과, 채널 1의 경우 보호비가 I/N (interference to noise ratio) = -10 dB에서 7.38 km, 채널 2는 0.211 km가 도출되면서 인접한 주파수에 따라 영향성이 크게 나타남을 확인하였다. 또한, 무선측위국의 중심주파수인 5,637 MHz를 드론레이싱시스템에서 동시에 사용하였을 경우를 고려하였는데 보호비가 I/N = -10 dB에서 52.4 km가 도출되면서, 만약 드론레이싱시스템을 위한 신규 경기장을 설치할 경우 무선측위국을 보호하도록 적절한 주파수 및 보호이격거리 확보의 중요성을 확인하였다.

Abstract

In this study, the impact of the drone racing system, which is expected to be widely used in existing domestic radiodetermination systems, was investigated. In considering the race band of the drone racing system, two adjacent channels (Channel 1: 5,658 MHz and Channel 2: 5,695 MHz) to the radiodetermination system were selected. The simulation analysis results show that protection distances of 7.38 and 0.211 km were required to satisfy the requirement of -10 dB of I/N for Channels 1 and 2, respectively. When using the center frequency (5,637 MHz) of the radiodetermination system, a protection distance of 57.65 km was required. Therefore, it is necessary to select an appropriate frequency and distance for drone racing to ensure the protection of existing radiodetermination systems.

Key words: Drone Racing System, Radiodetermination System, Interference to Noise Ratio, Protection Distance

I. 서 론

드론시스템은 조종사가 탑승하지 않고 원격 조종 또는

자동 조종을 통해 임무를 수행할 수 있는 비행체를 의미한다. 이 시스템은 무인기, 무인항공기, RPV(remote piloted vehicle), UAV(unmanned aerial vehicle) 등의 다양한 용어

오송첨단의료산업진흥재단(Osong Medical Innovation Foundation)

*공주대학교 전기전자제어공학부(Division of Electrical, Electronic and Control Engineering, Kongju National University)

**공주대학교 정보통신공학과(Division of Information & Communication Engineering, Kongju National University)

· Manuscript received April 22, 2022 ; Revised June 23, 2022 ; Accepted June 28, 2022. (ID No. 20220422-001S)

· Corresponding Author: Il-Kyoo Lee (e-mail: leeik@kongju.ac.kr)

로 불리며^[1], 미국 연방항공청에서는 “UAs(Unmanned aircraft system)”라고 칭하기도 한다. 이는 운용목적과 모델 등에 따라 상이할 수 있지만, 비행체, 통제장비, 임무장비, 무인기의 운용에 필요한 분석, 정비 등에 활용되는 지원 장비가 하나의 시스템에 운용되는 장비라는 의미로 최근에는 무인기 체계라는 표현도 사용되고 있다^[2]. 또한, 드론시스템은 크기, 무게, 비행반경, 비행고도, 용도, 조종방식, 에너지원 등의 항목에 따라 분류되나, 특히 그중에서 형태에 따라 4종류로 구분된다. 먼저, 일반적인 형태인 고정익형 시스템, 산악이나 함상과 같은 좁은 공간에서 사용되는 헬리콥터 형태의 회전익형 시스템, 이착륙시와 비행시 모드가 다른 가변로터형 시스템, 우리가 흔히 알고 있는 드론시스템 구조인 3개 이상의 다중로터를 탑재한 멀티콥터형 시스템이 있다. 멀티콥터형 시스템은 초창기에는 군수분야에서 표적기 및 정찰용으로 활용되었지만, 근래에는 민간분야에서 정보통신 융합기술용, 드론레이싱시스템과 같은 레저스포츠용, 재난안전용, 상업용, 농업용 등을 바탕으로 국제적으로 다양하게 발전되고 있다^[3]. 따라서 본 논문에서는 민간분야에서 점점 빠른 속도로 확장되고 있는 멀티콥터형 구조의 드론레이싱시스템에 의한 전파간섭영향 분석을 하고자 한다. 보호되어야 할 시스템은 인접대역에서 운용 중에 있는 무선측위국(radiodetermination system)이며, 시스템의 특성은 현장에서 운용되고 있는 공항기상레이다를 고려하였고 간섭원인 드론레이싱시스템은 국제 Race band를 사용하고 있는 기기의 특성을 토대로 설정하였다. 또한, 전파간섭분석방법은 SEAMCAT(spectrum engineering advanced Monte Carlo tool)이라는 몬테 카를로 방식의 확률분포에 따른 분석 툴을 적용하였고, 주파수에 따른 운용방법을 적용해 간섭확률에 따른 보호이격거리를 산출하면서 분석결과를 도출하였다.

II. 간섭원 시스템

드론레이싱시스템은 영상송신기와 카메라가 장착된 드론시스템으로부터 실시간으로 수신된 영상을 모니터나 고글을 통해 관찰하면서 원격 조종하여 정해진 코스를 규정이 정한 규칙에 의해 통과하여 그 순위를 가르는

스포츠이다^[4]. 현재 국내 드론레이싱시스템은 기술과 실력을 향상시키기 위하여 개인 또는 팀 간 경쟁을 통해 각종 지역에서 대회를 주최하고 있으며, 나이 및 성별 불문한 선수들이 관심을 가지고 있는 신중스포츠이다. 경기는 1분 이내로 경기가 진행되며, 다음 경기와의 시간 간격은 약 5분 정도 차이를 두고 경기를 진행한다. 경기 진행을 위해 운용되고 있는 주파수는 표 1과 같이 국제 주파수 채널 분배표를 이용하고 있으며, 현재 국내에서는 한시적으로 race band를 사용하여 운용을 허가하고 있다^[5~7].

간섭분석을 위해 적용된 드론레이싱시스템의 파라미터는 표 2와 같으며^[8], 실제 운용되고 있는 드론레이싱시스템의 사양을 고려하여 설정하였다. 또한, 주파수는 인접대역에서의 영향분석을 할 때는 race band 중 채널 1인

표 1. 드론레이싱시스템의 국제 주파수 채널 분배표
Table 1. International channel and center frequency of drone racing system.

Ch.	1	2	3	4	5	6	7	8
Race band	5,658	5,695	5,732	5,769	5,806	5,843	5,880	5,917
Band E	5,705	5,685	5,665	5,645	5,885	5,905	5,925	5,945
Band B	5,733	5,752	5,771	5,790	5,809	5,828	5,847	5,866
Band A	5,725	5,745	5,765	5,785	5,805	5,825	5,845	5,865
IRC/FS	5,740	5,760	5,780	5,800	5,820	5,840	5,860	5,880

표 2. 드론레이싱시스템의 특성
Table 2. The parameter of drone racing system.

Item	Value
Frequency	5,637 MHz, 5,658 MHz, 5,695 MHz
Bandwidth	20 MHz
Power	25 mW
Sensitivity	-91 dBm
Protection ratio	C/I: 8 dB
Antenna pattern	Transmitter: patch antenna Receiver: omnidirectional antenna
Antenna height	Transmitter: 20 m~30 m Receiver: 3 m
Antenna gain	6 dBi
Propagation model	Free space

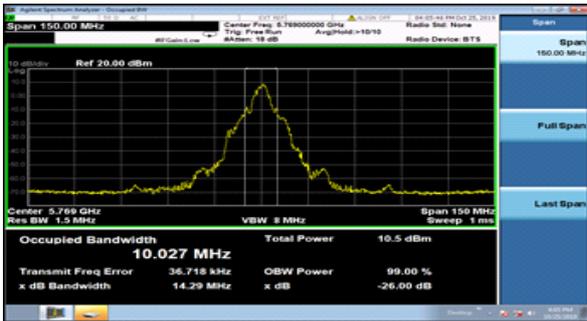


그림 1. 실제 경기장에서 측정된 송신신호의 스펙트럼 특성

Fig. 1. Spectrum characteristics the transmit signal measured at a actual site.

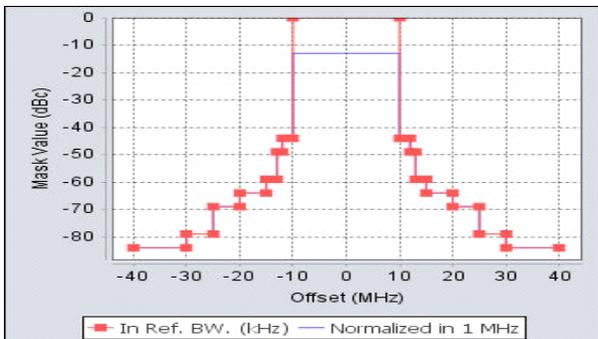


그림 2. 적용된 스펙트럼 방사 마스크

5,658 MHz와 채널 2인 5,695 MHz를 고려하였고, 동일대역에서의 영향분석을 할 경우에는 무선측위국의 주파수인 5,637 MHz를 적용하였다.

드론레이싱시스템의 스펙트럼 방사 마스크는 실제 경기장에서 운용되고 있는 송신전력을 샘플로 측정된 값과 국내 기술기준을 적용하여 가정하였다. 그림 1은 실제 경기장에서 측정된 송신신호의 스펙트럼 특성이다.

그림 2는 간섭분석을 위해 몬테 카를로 프로그램에 적용된 스펙트럼 방사 마스크이다.

III. 희생원 시스템

무선측위국 중 하나인 공항기상레이더는 대기 속의 구름의 분포, 강수의 강도, 바람시어나 마이크로버스트 같

은 난류 등 기상에 관련한 정보를 감지하는 시스템이다. 또한, 이 시스템은 TDWR(Terminal Doppler weather radar)이라고도 한다. 이 시스템으로부터 측정된 데이터는 공항통제를 위한 관제탑, 접근관제소, 항공교통관제소 등에 중요한 정보를 제공하여 운용될 수 있도록 한다. 또한 난류지역에 접근하는 항공기 조종사에게 기상정보를 제공해줌으로써 안전한 항공기 이·착륙을 위한 중요한 정보로도 활용된다. 표 3은 공항기상레이더에 대한 시스템 특성을 나타내고, 그림 3은 안테나 패턴을 나타낸다.

보호비는 국제전기통신연합(International Telecomm-Union Radiocommunication: ITU-R)의 인명안전보호를 위한 보호비 I/N 을 적용하여 간섭영향분석을 수행하였다.

표 3. 공항기상레이더의 특성

Table 3. The parameter of terminal Doppler weather radar.

Item	Value
Frequency	5,637 MHz
Bandwidth	8 MHz
Power	250 kW
Sensitivity	-110 dBm
Protection ratio (I/N)	-6 dB, -10 dB
Antenna pattern	Horizontal pattern
Antenna height	127 m
Antenna gain	47.3 dBi
Noise floor	-115 dBm
Propagation model	Free space

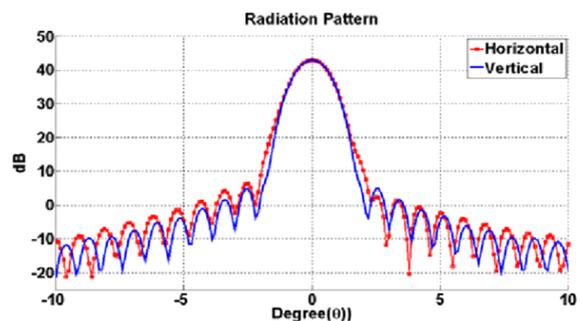


그림 3. 공항기상레이더의 안테나 패턴

Fig. 3. The antenna pattern of terminal Doppler weather radar.

IV. 몬테 카를로 분석방법

몬테 카를로 방법은 주어진 확률분포로부터 추출된 확률변수를 이용하여 원하는 방정식의 값을 확률적으로 구하는 방법으로, 몬테 카를로 방법에 기초하여 만들어진 프로그램이 SEAMCAT이다⁹⁾. SEAMCAT은 유럽우편전기통신주관총회의(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations) 산하 ECO(European Communications Office)에서 배포하는 전파간섭분석 시뮬레이션이다. 이 툴은 유럽에서 주로 사용되고 있으며, 무선통신 시스템 간의 분석을 위해 만들어진 분석 툴이다. SEAMCAT을 이용하여 분석하는 이유는 일반적인 시스템에 기초한 분석 툴로서 새로운 통신 기술, 시스템 등 시뮬레이션 수행자의 요구에 따라 분석할 수 있도록 구성되어 있고, 또한 시대의 흐름에 맞춰 주기적으로 업그레이드되는 신뢰도가 높은 시뮬레이션 툴로서 ITU-R에서 사용하도록 권고하고 있다¹⁰⁾. 이 시뮬레이션 툴은 시뮬레이션에 필요한 인자 즉, 주파수, 안테나 패턴, 안테나 높이, 민감도, 대역폭, 보호비 등을 자유롭게 시나리오 환경을 구성할 수 있으며, 반복 수행할 횟수를 지정하면 분석 결과를 도출할 수 있다. 또한, 희생원과 간섭원에 대한 간섭환경은 그림 4와 같으며, dRSS는 희생원의 원하고자하는 수신신호의 세기를 의미하며, iRSS는 간섭원에 의해 원하지 않는 희생원에 수신된 신호세기를 의미한다.

간섭분석결과는 간섭이 일어날 수 있는 확률에 따른 보호이격거리가 산출되며, 확률적으로 5 % 이하를 만족해야 거의 간섭이 없다고 할 수 있다. 간섭확률은 식 (1) 과 식 (2)를 따르며, P_I 는 희생원 수신기에 간섭이 있을 확

률이고, P_N 은 희생원 수신기에 간섭이 없을 확률이다.

$$P_I = 1 - P_N \tag{1}$$

식 (2)는 I/N , dRSS, iRSS, 송신기와 수신기 간의 수신 감도인 Sensitivity(Sens)를 통한 P_N 을 산출하기 위한 수식이다.

$$P_N = \frac{P(\frac{iRSS}{N} > \frac{I}{N}, dRSS > Sens)}{P(dRSS > Sens)} \tag{2}$$

V. 몬테 카를로 분석결과

5-1 드론레이싱시스템이 인접대역에서 운용되는 경우

드론레이싱시스템 분석을 하기 위해 설정한 채널은 국제적으로 허용하고 있는 주파수 채널인 race band를 고려하였다. 채널 중 무선측위국과 인접해 있는 채널 1(5,658 MHz)과 채널 2(5,695 MHz)에서의 전파간섭을 가정하였으며, 주파수 시나리오는 그림 5와 같다.

간섭분석은 보호비 I/N 에 따라 간섭확률 5 % 이하를 만족할 때의 보호이격거리를 산출하였고 표 4와 같다.

그 결과, 보호비가 $I/N = -10$ dB일 경우에 채널 1은 7.38 km, 채널 2는 0.211 km가 도출되면서, 인접한 주파수대역에 따라 큰 영향성을 끼칠 수 있음을 확인하였다.



그림 5. 인접대역에서의 주파수 시나리오
Fig. 5. The frequency scenario in adjacent bands.

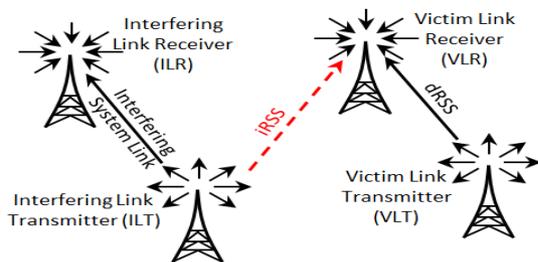


그림 4. 희생원과 간섭원 간의 간섭환경
Fig. 4. The interference environment between victim and interferer.

표 4. 인접대역에서의 간섭영향분석 결과
Table 4. Results of interference impact analysis in adjacent bands.

I/N	Frequency of interferer (MHz)	Protection distance (km)	Interference probability (%)
-6 dB	5,658	4.66	4.8
	5,695	0.111	4.9
-10 dB	5,658	7.38	5.0
	5,695	0.211	4.8

5-2 드론레이싱시스템이 동일대역에서 운용되는 경우

최악의 상황을 고려하기 위하여 회생원의 운용주파수인 5,637 MHz의 동일 중심주파수에서 운용되고 있을 때의 간섭영향에 대해 분석하였고, 주파수 시나리오는 그림 6과 같다.

동일대역에서의 간섭분석은 보호비 I/N 에 따라 간섭확률 5% 이하를 만족할 때의 보호이격거리를 산출하였고, 표 5와 같이 분석되었다.

분석 결과, 무선측위국의 중심주파수인 5,637 MHz를 드론레이싱시스템에서 동시에 운용할 경우에 시뮬레이션을 수행하였는데, 보호비가 $I/N=-10$ dB에서 최소 52.4 km 이상이 요구됨을 확인하였다.

VI. 결 론

드론레이싱시스템은 전 세계적으로 전문적인 레저스포츠로서 급속도로 대중화되고 있다. 국내에서도 역시 인기가 높아지고 있는 만큼 많은 단체들이 늘고 있고, 경기를 할 수 있는 경기장 또한 확장되고 있는 상황이다. 현재 기준으로 한국에서 개최되고 있는 드론레이싱시스템의 현황을 살펴보면, 허가 무선국 제도를 활용하여 일시적인 주파수 및 무선국 운용을 허가하여 경기를 진행하고 있다. 그런데 인접 주파수를 사용하고 있는 무선측위국 주변에 임시로 허가하여 운용함에 따라 전파간섭이 발생할



그림 6. 동일대역에서의 주파수 시나리오
Fig. 6. The frequency scenario in same bands.

표 5. 동일대역에서의 간섭영향분석 결과
Table 5. Results of interference impact analysis in same bands.

I/N	Frequency of interferer (MHz)	Protection distance (km)	Interference probability (%)
-6 dB	5,637	33.1	4.7
-10 dB	5,637	52.4	4.8

수 있다. 따라서 본 논문에서는 시스템간의 전파간섭을 고려하여 드론레이싱시스템과의 인접한 운용채널 및 동일채널에서의 분석을 수행하였다. 그 결과, 보호비가 $I/N=-10$ dB를 기준으로 5,658 MHz에서는 최소 7.38 km 이상, 5,695 MHz에서는 최소 0.211 km 이상의 보호이격거리를 검증하였고, 동일 대역인 5,637 MHz는 최소 57.65 km 이상이 요구됨에 따라 적정한 주파수 및 보호이격거리를 충분히 확보해야 함을 확인하였다. 기존 운용되고 있는 인명안전과 관련성이 있는 무선측위국의 원활한 운용을 보장하기 위해 분석결과인 보호이격거리를 제시함으로써 두 시스템 간의 양립성 방안 마련에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] S. H. Son, J. H. Gang, and K. J. Park, "Overview and issues of drone wireless communication," *Information and Communications Magazine*, vol. 33, no. 2, pp. 93-99, Feb. 2016.
- [2] B. G. Lee, "A study on radio wave utilization and interference avoidance in broadcast drone using wireless power transmission technology," Korea Communications Agency, Gwacheon, *KCA report 2016-5*, pp. 9-15, Sep. 2016.
- [3] A. R. Lee, "Overview and issues of drone wireless communication," *Convergence Weekly TIP*, vol. 53, Jan. 2017.
- [4] Korea Drone Racing Association, "2020 Regulations and rules for FPV drone racing in Korea by KDRA," 2020. Available: https://kdra.org/download/?action=readpost&post_id=7764&bbbspaged=1#
- [5] FURIOUSFPV, "FURIOUSFPV stealth race VTX V3 video transmitter: User manual version 1.1." Available: https://furiousfpv.com/document/Manual_Furious_/Stealth_Race_Version_final.pdf
- [6] Immersion RC, "TNR tramp HV 5.8 GHz video transmitter preliminary operator's manual international edition, Rev 1.2," 2016. Available: <https://manuals.plus/wp-con>

tent/sideoads/video-transmitter-tnt-tramp-hv-5-8-ghz--operator-s-manual-optimized.pdf

[7] TBS Unify, "TBS Unify pro 5G8(HV) video transmitter," 2018. Available: <https://www.team-blacksheep.com/tbs-unify-pro-5g8-manual.pdf>

[8] I. K. Cho, I. K. Lee, "A study on improvement of technical regulation for drone racing system operating in 5.8 GHz band," *The Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 7,

pp. 577-583, Jul. 2020.

[9] European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, "ECC report 252: SEAMCAT handbook edition 2," 2016. Available: <http://spectrum.welter.fr/international/cept/ecc-reports/ecc-report-252-seamcat-handbook.pdf>

[10] Monte Carlo Simulation Methodology for the Use in Sharing and Compatibility Studies between Different Radio Services or Systems, *ITU-R SM.2028-2*, Jun. 2017.

조 인 경 [오송첨단의료산업진흥재단/주임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6893-0384>



2009년 2월: 공주대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2012년 2월: 공주대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2020년 8월: 공주대학교 정보통신공학과 (공학박사)
 2012년~2016년: 한국항공우주연구원 연

구원

2017년~현재: 오송첨단의료산업진흥재단 주임연구원
 [주 관심분야] 시스템 간섭분석, EMI/EMC

김 승 남 [공주대학교/공학박사]

<https://orcid.org/0000-0002-6961-1462>



2016년 2월: 공주대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2015년 3월~2016년 8월: 한국전자통신연구원 위촉연구원
 2022년 2월: 공주대학교 전기전자제어공학과 (공학박사)
 [주 관심분야] 전파간섭, 무선전력전송

이 일 규 [공주대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-7287-6250>



1992년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
 1997년~2004년: ETRI 선임연구원

2012년~2013년: 미국 조지아텍 교환교수
 2004년 3월~현재: 공주대학교 전기전자제어공학부 교수
 [주 관심분야] RF 시스템, 스펙트럼 공학, 이동통신 시스템

주 동 만 [공주대학교/박사수료]

<https://orcid.org/0000-0002-3586-4111>



2000년 8월 : 목원대학교 컴퓨터교육과 (공학사)
 2005년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2012년 3월~현재: 공주대학교 정보통신공학과 박사수료
 2000년~2003년: (주)맥스웨이브 연구원

2004년~2022년: (주)티오피씨 대표
 [주 관심분야] 마이크로파 응용 전자 통신 제어 장비, 실내 식물 재배용 인공 재배 장치