

Spatiotemporal analysis of drone operations using armed conflict location and event data (ACLED): Focusing on the Russia–Ukraine war*

Kim, Hyungsuk** · Cho, Jaehee***

ABSTRACT

This study was designed to determine the characteristics and tendencies of drones, which have emerged as a key weapon system in the Russian–Ukrainian War since 2022, and their use in modern warfare. A spatiotemporal analysis was conducted on 5,491 coordinates of drone–based battles within the city with a multidimensional model. The analysis revealed extensive drone operations by both Russia and Ukraine, with Ukraine shifting to offensive actions in 2023, and distinct temporal patterns by day of the week at battle sites, as indicated by the frequency of drone–based battles. Moreover, Russia maintained the momentum of offensive drone operations, intercepting 85.1% of Ukrainian drones and achieving a 54.0% success rate in drone–based attacks, whereas Ukraine intercepted 43.3% of Russian drones, with a success rate of only 14.3%. Based on this study, the spatiotemporal analysis of drone–based combat across Ukraine enabled an examination of the operating areas, roles, and efficiency of this weapon system as well as an understanding of the impact and multifaceted characteristics associated with its deployment on the battlefield.

Keywords : drone–based battles, Russia–Ukrainian war, hotspot, multidimensional analysis, spatiotemporal analysis

* The present research has been conducted by the Research Grant of Kwangwoon University in 2023.

** (First Author) Kwangwoon University, Department of Defense Acquisition Program, Ph.D. Candidate, kimhs01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2844-5824>.

*** (Corresponding Author) Kwangwoon University, College of Software and Convergence, Professor, mis1@kw.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-7023-1651>.

I. 서론

드론은 러시아와 우크라이나의 전쟁에서 핵심적인 무기체계로 주목받고 있다(Kunertova, 2023). 우크라이나 전역(戰域)에서는 아프가니스탄, 이라크, 파키스탄, 소말리아, 시리아의 테러 전쟁에서 볼 수 있었던 대형 드론보다는 지상군이 운용하는 소형 드론이 하층 공역(空域)을 변화시키고 있다. 지상군과 전투기가 작전하는 곳 사이에 있는 저고도의 공역은 상대적으로 가격이 저렴한 자폭 드론과 수류탄 수준의 폭발물을 투하하는 드론 활용의 작전 공간이 되고 있다(Park, S. H., Kim, S. K., & Namkung, S. P., 2023). 드론은 적의 부대, 병력 및 포병사격의 효과성을 확인, 지상군 기동의 정확성, 속도 및 부대 방호를 위하여 활용되고 있다(Halem, 2023). 지금까지 20세기 초 드론은 조종사가 탑승하지 않은 비행체를 무선전파로 조종하는 개념으로 대공사격의 표적 항공기나 기본적인 정찰 도구로 사용되다가 기술적인 발전에 따라 ‘공중 어뢰’ 또는 ‘비행 폭탄’으로 개조되었다.¹⁾ 현대적인 드론은 소형 레이저용에서부터 정밀한 센서와 무기를 탑재한 대형 군용 드론까지 기능과 크기가 다양하며, 주로 공중정찰 수단으로 사용되고 있으며, 무장 드론(예 : MQ-9 리퍼)을 활용한 표적 공격에 사용되고 있다(Park & Yi, 2023).

이처럼 드론은 상업용 외에도 군사적 용도로 광범위하게 운용되고 있으나 군사적 측면에서 실질적인 위협의 형태, 운용 양상 및 전장에서의 역할에 관한 계량적인 연구는 관련 데이터 수집과 기밀성 등의 이유로 제한적인 실정이다. 그래서 본 연구는 점차 증가하는 드론 기반 위협에 관한 체계적인 접근과 이해 차원에서 위협의 구체적인 데이터 수집을 통해 실증적인 분석을 진행하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 우크라이나 전역(戰域)에서 드론 기반 전투가 발생한 지역의 지리좌표 정보를 토대로 사용 주체에 대한 시공간적(Spatiotemporal) 특징과 경향성을 파악하기 다차원 모델(Multidimensional Model)을 활용한다. 해당 모델은 다양한 변수와 차원을 사용하여 데이터 패턴이나 경향성을 시각적으로 파악할 수 있어 복잡한 정보를 더욱 쉽고 명확하게 이해할 수 있는 도구이다(Cho & Seo, 2006). 특히, 광범위한 지역의 지리좌표가 어떤 형태로 군집을 구성할 수 있는지 확인하기 위하여 HDBSCAN²⁾ 알고리즘을 사용하여 클러스터가 형성된 지역을 선별한다. 이는 지리적으로 사건이 집중적으로 발생하는 전투 집중지역(Hotspot)을 분석하는 방법으로 드론 기반 전투가 집중 발생한 지역을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구는 러시아-우크라이나 전쟁에서 드론 기반 전투의 현황을 드론 운용 형태, 전투에 따른 피해 규모 및 효율성 측면에서 실증분석함으로써 특정 무기체계인 드론 운용과 관련된 역학 및 영향, 특성을 이해하고 대(對) 드론 무기체계의 구축 및 운용에 참고할 수 있는 분석자료를 구성하였다는 점에서 학술적 시사점이 높다고 볼 수 있다.

1) <https://www.landmarkscout.com/fieseler-fi-103r-reichenberg-a-german-v1-based-suicide-jet/>(검색일: 2023.9.14.)

2) Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise

II. 이론적 고찰

드론 기반 위협과 드론을 사용하는 전투에 관한 기존 연구는 사례분석을 토대로 대응책 제언이나 드론과 폭발물 테러 양상 분석을 시도하고 있으나 소수 사례에 기반한 제한된 자료에 국한하여 계량적인 분석 접근이 부족한 실정이다.

2.1 드론 위협 및 폭발물 테러 관련 연구

전 세계적으로 드론 위협 또는 폭발물 테러를 시공간적으로 분석하기 위한 관련 데이터를 수집·운영하는 기관은 한정적이다. 예를 들어 FAA(Federal Aviation Administration), Drone Wars UK, GTD(Global Terrorism Database), Jane's Terrorism and Insurgency Center Database, ACLED(Armed Conflict Location and Event Data Project) Event Data 등이었으며 국내외의 연구자들은 다양한 출처의 관련 자료를 수집하고 구축된 GTD를 주로 활용하고 있다. 국내 연구 중, Kim, E. Y.(2010)과 Yoon, M. W.(2013)는 GTD 데이터를 기반으로 폭발물 테러리즘 경향성과 주요 특징을 계량적으로 분석하였다. 또한, Kim, Choi, & Lee(2021)는 드론 테러 사건 126건으로 목표 유형, 발생 시기, 공격 형태 등을 분석하였고, Lee, S. R., & Lee, B. S.(2023)는 GTD Event data 315건을 활용하여 드론 테러 성공률과 표적 성질을 연구하였다.

해외 연구의 경우, Enders & Sandler(2000)는 다국적 테러 사건 정보가 포함된 ITERATE(International Terrorism: Attributes of Terrorist Events)³⁾ 데이터 기반으로 부상·사망, 사상자 비율의 시계열 분석을 통해 테러로 인한 사상자 발생과 위협성 증가를 제기하였다. LaFree & Dugan(2009)은 1970년부터 2006년까지 RAND MIPT(Memorial Institute for the Prevention of Terrorism) 데이터 77,000건과 GTD 데이터를 결합한 오픈소스 데이터베이스 자료에 기반하여 테러 사건에 관한 정의와 측정의 포괄적인 이해를 시도하였다. 최근 Veilleux-Lepage & Archambault(2022)⁴⁾ 보고서는 GTD와 ACLED 데이터를 활용하여 중동지역에 활동하는 집단을 한정하여 드론 이용한 위협 활동을 분석하였다. 예를 들어 헤즈볼라, 하마스, 후티 운동, 이슬람 국가(IS : Islamic State), 쿠르드 노동자당(PKK : Partiya Karkerên Kurdistanê) 등 중동지역에서 활동하는 5개 비정부 집단의 드론 프로그램을 분석하여 드론 사용 전술 및 드론 관련 기술에 대한 장기적인 전략 및 개발 역량을 확인하였다.

3) 국제 테러리즘 데이터베이스로 1968년부터 시작하여 국가 간의 테러 사건에 관한 정보를 수집하고 있다. 주요 변수에는 테러 사건의 날짜, 위치, 테러 집단, 공격 유형, 대상, 결과 등이 포함됨.

4) Veilleux-Lepage, Y., & Archambault, E. (2022). A Comparative Study of Non- State Violent Drone use in the Middle East. International Centre for Counter-Terrorism (ICCT) Report December 2022. Retrieved from <https://www.icct.nl/publication/comparative-study-non-state-violent-drone-use-middle-east>.

지금까지 관련 연구는 테러리즘의 측면에서 폭발물 공격에 관한 GTD, ITERATE, IBC의 데이터를 활용하여 시공간적 분석을 시도하였다. 다만, 드론 기반의 위협에 관한 연구는 자료수집의 어려움으로 일반적으로 수집가능한 자료인 GTD 데이터를 활용한 시공간적 분석과 ACLED 데이터에 기반한 특정 집단의 능력분석에 초점을 두고 있다(Table 1).

<Table 1> Summary of research on drone threats and explosives terror

Study	Key Contents
Kim, E. Y.(2010) Yoon, M. W.(2013)	Analysis of the geospatial distribution pattern of terrorism using ArcMap, and Quantitative analysis of bombing incidents in Afghanistan with GTD data
Kim et al.(2021) Lee & Lee(2023)	Analysis of the current status and characteristics of terrorism based on GTD data related to drones-based incidents
Enders & Sandler(2000)	Time series analysis with the ITERATE dataset regarding transnational terrorist incidents (1968-1997)
LaFree & Dugan(2009)	Explanation of how to work coding and data collection of the GTD, over 170,000 terrorist incidents (1970-2007) worldwide
Veilleux-Lepage & Archambault(2022)	Analysis of the drone programs of five non-governmental groups operating in the Middle East with both GTD and ACLED dataset

2.2 다차원 모델과 데이터 시각화 연구

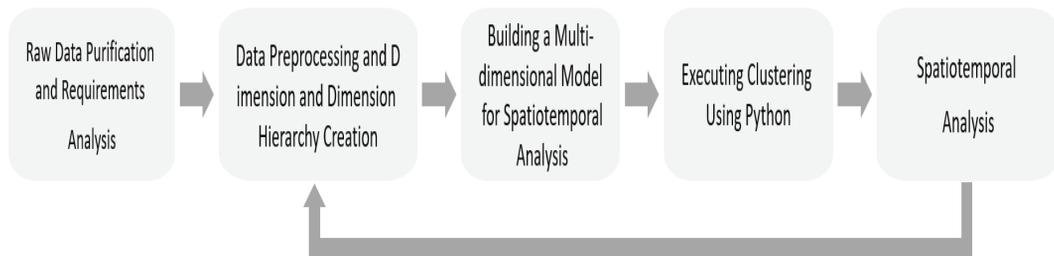
다차원 모델은 데이터를 여러 차원에 걸쳐 구조화하여 표현하는 데이터 모델로 데이터 분석에서 다양한 관점과 계층을 통해 정보를 쉽게 탐색하고 집계하는 데 유용하다. 해당 모델을 활용한 분석은 복잡한 데이터 세트의 추세, 패턴, 주기 등을 데이터의 다양한 측면에서 확인할 수 있어 더 정확하고 효과적인 의사 결정 과정을 지원할 수 있다. 다차원 모델은 가장 기본적인 구성요소(차원, Dimension)와 차원에 관한 차원 항목을 갖게 되며, 이 항목은 항목의 특성을 기술하는 속성(Attribute)을 나타낸다. 이런 특징으로 인해 공간차원의 차원 항목 속성으로 지리좌표를 부여함으로써 시공간 데이터 분석이 가능하다(Baek, 2012). 이런 접근은 시간 지리학의 개념에 기반한 공간과 시간의 결합으로 공간과 시간을 통해 이동 경로를 시각화하는 다차원 분석이다(Hägerstrand, 1970).

관련 연구를 살펴보면, Cho, J. H., & Seo I. J.(2006)는 시공간 데이터 분석을 위한 다차원 모델을 활용하여 교통 패스카드를 사용하는 인구 이동패턴을 시각화하였다. 그 외에도 인천과 나리타 국제공항의 여객 출발과 도착 데이터를 활용하여 두 공항 지역의 도시 간 연결강도 및 상호작용에 관한 네트워크 패턴을 식별하거나(Baik & Cho, 2013) 코로나19 시기에 관광객의 관심도와 최종 목적지 선정에 미치는 영향을 T맵 검색지와 썬트렌드 데이터를 이용하여 분석하였다(Kim, T. W., 2022). 또한, Chang et al.(2021) 연구는 미국 내 COVID-19 확산에 미치는 영향을 파악하기 위해 사람의

동적 이동에 기반한 이동성 네트워크를 스마트폰 위치 데이터를 기반으로 분석하였다. 이처럼 선행 연구는 다차원 모델의 접근 방식을 이용하여 교통, 환경, 공공 보건 등의 분야에서 데이터 시각화를 시도하고 있으나 드론 관련 테러나 드론 기반 전투 사례를 시간과 공간적 차원을 고려하여 지리적 패턴과 추세를 분석한 연구가 부족하다고 볼 수 있다.

III. 연구 방법

본 연구의 ACLED 데이터를 활용한 분석 절차는 총 5단계로 Figure 1과 같다.

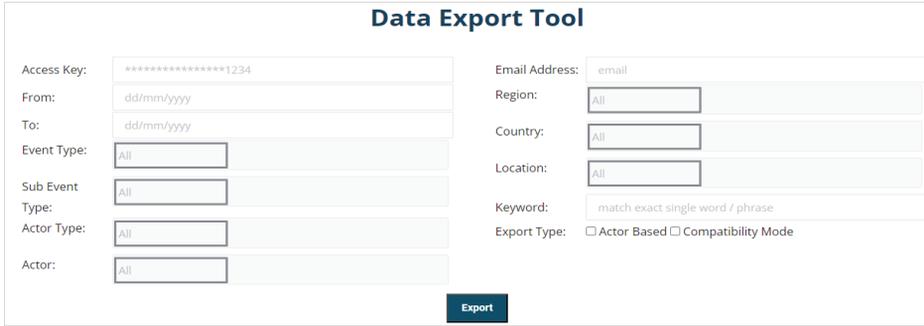


<Figure 1> Data mart development Process

3.1 원시데이터 정제 및 요구사항 분석

초기 데이터 수집단계는 ACLED의 홈페이지에서 제공하는 Data Export Tool(기간, Event 종류, 지역 및 키워드 검색 가능)에서 드론의 운용과 관련하여 우크라이나 전역(戰域)의 데이터를 추출하기 위하여 Ukraine, Russia라는 지역 정보와 함께 Drone, UAV, UAS라는 키워드로 검색하여 5,491건의 원시데이터(CSV 파일)를 구축하였다(Figure 2).⁵⁾

5) ACLED는 2005년 클리오나드 롤리(Clionadh Raleigh) 박사의 연구로 시작되어 2014년부터 미국의 비영리단체로 운영되고 있음. ACELD 데이터는 전 세계의 전문가들에 의해 수집되며, 미디어, 정부 보고서, 미디어 및 현지 자료수집 출처를 활용하여 수집하고 있음. (<https://www.facebook.com/ACLEDINFO/>(검색일: 2023.12.2.). ACLED 데이터는 1997년 1월 1일부터 검색할 수 있으며, 2023년 12월 1일 현재 1,009,926건의 Event data가 있음. 해당 사이트는 일반적으로 검색일 기준 3개월 이내의 자료에 대한 검색이 가능함. 그러나 본 연구는 우크라이나-러시아 전쟁 개시일부터 17개월 이상의 자료가 필요하여 ACLED Client Relations Officer에게 학술 연구를 위한 자료를 요청하였으며, 다운로드된 데이터를 연구 목적에만 사용하는 조건으로 Access Key를 제공받음.



<Figure 2> ACLED's data export tool

가용한 데이터를 종합하기 위하여 전쟁이 시작된 이후 처음 자료가 수집된 2022년 2월 26일부터 2023년 9월 30일까지의 데이터를 정리하였다.⁶⁾

3.2 데이터 전처리 및 차원계층구조 생성

ACLED 데이터는 통계분석이 용이하도록 국가와 이벤트별로 3개 문자와 5개 숫자로 구성된 `eveny_id_cnty` 키를 제공한다(Figure 3). 그리고 연월일, 공간 정보, 이벤트 종류, 발생한 국가, 활동의 촉발자, 표적, 관련된 조직 및 지리적인 좌표가 표시되어 있다(ID부터 Timestamp까지 31개 필드로 구성). 총 31개 칼럼의 데이터 중 상호 간의 관계를 설정하는 숫자 필드인 `inter`, `tag` 및 `timestamp` 등을 제거하고, 부상자와 사건으로 구분하여 분석에 필요한 정제된 데이터마트를 구축한다.

event_id	event_date	event_type	event_subtype	actor	actor_type	target	target_type	location	latitude	longitude	precision	source	source_date	notes	fatalities	injuries
00070	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00071	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00072	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00073	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00074	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00075	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00076	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00077	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00078	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00079	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00080	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00081	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00082	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00083	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00084	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00085	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00086	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00087	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00088	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00089	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00090	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00091	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00092	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00093	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00094	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00095	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00096	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00097	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00098	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00099	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00100	2018-14-2018	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<Figure 3> Sample data-set of ACLED Key-word search

6) 러시아-우크라이나 전쟁은 2022년 2월 24일에 러시아의 침공으로 시작되었으나, ACLED 데이터에서 'Drone'이라는 키워드로 검색되는 첫 번째 이벤트는 2022년 2월 26일이었음.

연구를 위한 드론 운용 데이터 분석을 위해 발생 연월일, 지리좌표, 드론 운용의 주체와 표적, 사상자가 발생하였을 경우 사상자의 수에 대한 자료의 정리가 필요하다. 서술형으로 기록된 주석형식의 Notes에서 부상자의 수를 추출하였고,⁷⁾ 분쟁의 형태와 세부 형태로 정리된 disorder_type, event_type, sub_event_type 등의 내용을 바탕으로 주석 부분을 검색하여 이벤트의 종류(Type)와 세분류(Subtype)를 재작성하였다. 이러한 데이터마트(Data mart)⁸⁾로 구성된 필드를 중심으로 드론 기반 전투를 시공간적으로 분석하기 위한 전처리와 차원 및 차원계층구조를 생성한다.

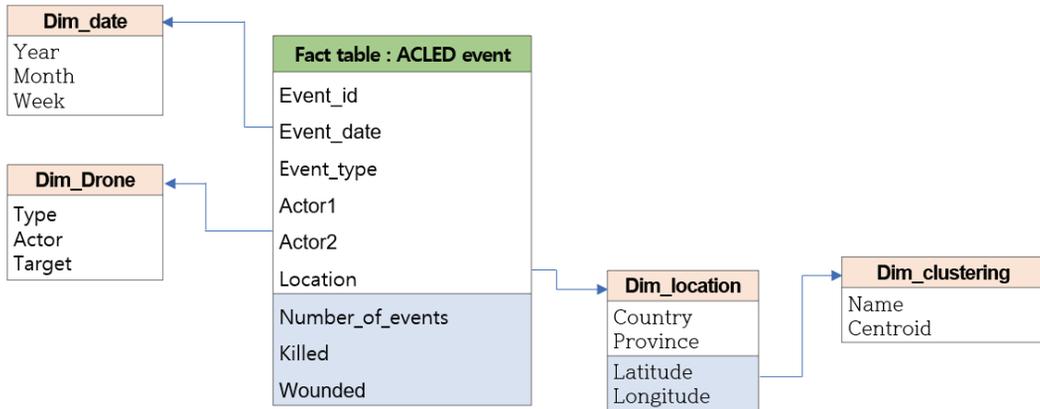
3.3 시공간 분석용 다차원 모델 구축

다차원 데이터 모델 개발 방법은 소스 데이터를 분석해서 논리적인 데이터 스키마로 설계하는 데이터 중심적인 방법, 데이터마트를 사용하고자 하는 목적에 맞게 설계하는 목적 중심적인 방법, 사용자의 요청에 주목하여 요구사항을 분석하고 설계하여 최종 사용자의 참여를 촉진하는 사용자 중심적인 방법이 있다(Kim, T. W., 2022). 본 연구는 드론 기반 전투를 분석하는 목적에 맞게 목적 중심적인 방법을 토대로 다차원 모델(스노우플레이크 스키마)을 구축한다(Figure 4).

드론의 운용 분석용 데이터마트 스키마는 ACLED event라는 Fact table과 Date, Drone, Location이라는 3개의 차원 테이블과 클러스터링 분석을 위한 차원 테이블로 구성된다. 시공간분석의 스키마는 'Fact table: ACLED event'라는 하나의 사실 테이블에서 파생되어 차원을 이룬 연월일을 구분하는 Dim_date, 드론 전투의 형태, 공격의 주체와 표적을 구분하는 Dim_Drone과 Hotspot 분석을 위한 Dim_location이라는 3개 클래스가 있다. 클러스터링 분석을 위하여 Dim_location의 위도와 경도를 기반으로 Dim_clustering이라는 하위 클래스가 있다. Dim_date의 속성은 시간적인 비교를 위하여 Year, Month, Week을 구분하는 속성을 하위에 구성한다. Dim_Drone의 속성에는 실제 우크라이나 전역에서 운용되는 모습을 바탕으로 드론 요격과 공격 등 5종으로 구분하는 Type, 드론 기반의 전투 또는 위협 행위의 주체와 대상을 분석하고자 러시아군, 우크라이나군, 민간인 등으로 구분한 Actor와 Target이 있다. 좌표의 수, 사망자와 부상자 수는 Number_of_coordinates, Killed, Wounded에 숫자로 기록한다. Dim_location은 지리적인 분석을 위한 국가와 지방을 구분하였고, 클러스터링, 중심점 및 클러스터링에 포함된 좌표의 수를 확인하기 위한 Name과 Centroid를 구분하는 속성이 하위에 있다.

7) 부상자의 수는 별도로 정리된 내용이 없으므로 note에 서술된 내용을 기초로 숫자가 나왔으면 해당 수, 숫자가 범위로 표시되었을 때는 최소 숫자, Dozens로 표시되었으면 12명, several, many 등 서술식으로 명시되었을 때는 5명으로 표시하였음. 전장에서는 복합적으로 무기체계가 운용되므로 여기에서 정리한 사상자 수는 드론의 운용만으로 발생한 사상자는 아님.

8) 데이터마트는 조직 내 특정 주제나 부서에 초점을 맞춘 데이터 웨어하우스(Data warehouse)의 하위 집합임. 전체 조직에 대한 대규모 데이터를 저장하는 데이터 웨어하우스와 달리 데이터마트에는 재무, 판매 또는 인적 자원과 같은 특정 측면에 대한 제한된 범위의 데이터가 포함됨.



<Figure 4> Multidimensional model for spatiotemporal analysis

3.4 Python 이용한 군집화

3.4.1 클러스터링 알고리즘 선택

본 연구목적에 부합하는 최적의 알고리즘을 선택하기 위해 전 세계적으로 분포된 지리좌표에 대한 다양한 클러스터링 알고리즘의 장단점을 검토하였다(Table 2). 이를 토대로 본 연구는 드론 기반 위협의 좌표, 다양한 밀도와 그룹 형성의 정확성 측면에서 HDBSCAN 알고리즘을 선택하였다. HDBSCAN⁹⁾은 군집 수를 미리 지정할 필요 없이 임의 형태의 군집을 찾을 수 있으며 다양한 밀도의 클러스터를 다루면서 클러스터링 과정에서 클러스터에 포함되지 않아 제외되는 잡음(Noise) 데이터를 구분할 수 있는 특징이 있다.

9) HDBSCAN 알고리즘은 복잡하고 대규모 데이터셋을 분석할 때 연산 시간이 길어지는 단점에도 불구하고 복잡한 구조와 다양한 밀도를 가진 데이터에서도 효과적인 클러스터링을 할 때 유용함.

<Table 2> Clustering algorithms for geographical coordinates

Algorithm	Strong Points	Weak Points
K-Means Clustering	<ul style="list-style-type: none"> • Easy to understand and implement • Effective even for large data sets 	<ul style="list-style-type: none"> • Specify the number of clusters (K) • Sensitive to initial central value
DBSCAN ¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Can find clusters of arbitrary shapes • Noise data can be distinguished 	<ul style="list-style-type: none"> • Not suitable for data sets with large density differences • As the dimension increases, performance decreases.
Agglomerative Hierarchical Clustering	<ul style="list-style-type: none"> • No need to specify the number of clusters in advance • Results can be visualized with a dendrogram 	<ul style="list-style-type: none"> • If the data set is large, calculation is inefficient. • Combined clusters cannot be divided again
OPTICS ¹¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Not sensitive to density • Clusters of various densities are well distinguished 	<ul style="list-style-type: none"> • Algorithm is complex (Difficult to implement and understand) • More calculations than DBSCAN
Mean Shift Clustering	<ul style="list-style-type: none"> • No need to specify the number of clusters in advance • Can find clusters of arbitrary shapes 	<ul style="list-style-type: none"> • High computational complexity • Not suitable for large data sets
HDBSCAN	<ul style="list-style-type: none"> • No need to specify the number of clusters in advance • Distinguish between arbitrary types of clusters and noise data • Handles clusters of varying densities 	<ul style="list-style-type: none"> • Algorithm is complex • Computation time may be long in large data sets.

본 연구는 OpenAI에 의해 개발된 대화형 인공지능 언어 모델 ChatGPT-4를 지리좌표의 클러스터링을 위한 Python 스크립트로 작성하였다. 드론 기반 위협의 Hotspot 관찰을 위해 HDBSCAN 알고리즘을 적용하여 클러스터를 구성하고, 해당 알고리즘은 밀도 기반의 계층적 클러스터링 기법으로 밀도의 연결성을 바탕으로 클러스터를 형성하는 방식을 사용한다.¹²⁾

3.4.2 ChatGPT-4 이용한 파이썬(Python) 스크립트(Script) 작성¹³⁾

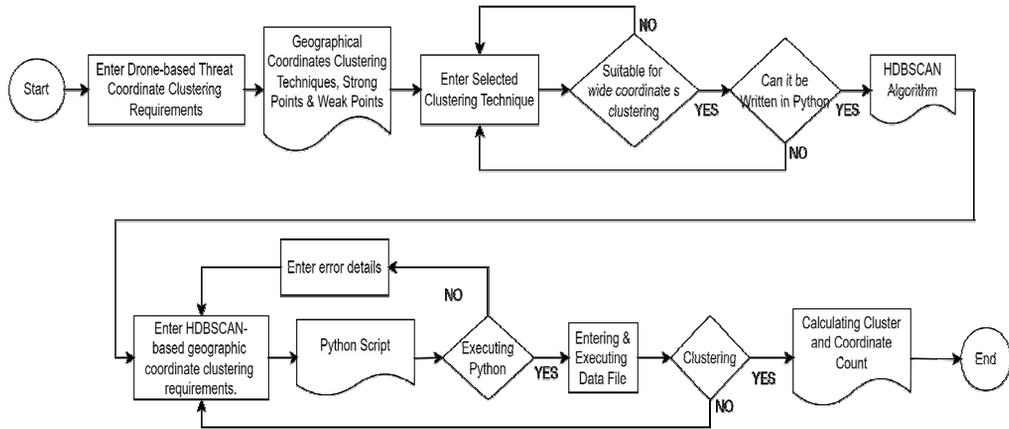
ChatGPT-4 활용하여 HDBSCAN 알고리즘을 최적의 클러스터링 기술로 선정하고, 해당 알고리즘을 적용하기 위한 파이썬 스크립트를 다음 과정을 통해 작성하였다(Figure 5).

10) Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise

11) Odering Points To Identify the Clustering Structure

12) [https://godongyoung.github.io/%EB%A8%B8%EC%8B%A0%EB%9F%AC%EB%8B%9D/2019/07/15/HDBSCAN-%EC%9D%B4%ED%95%B4%ED%95%98%EA%B8%B0-\(with-python\).html](https://godongyoung.github.io/%EB%A8%B8%EC%8B%A0%EB%9F%AC%EB%8B%9D/2019/07/15/HDBSCAN-%EC%9D%B4%ED%95%B4%ED%95%98%EA%B8%B0-(with-python).html)(검색일: 2023.9.4.)

13) 본 연구는 대규모 지리적 데이터에 대한 클러스터링 분석과 연구목적에 부합하는 최적의 분석도구 선정이 필요하여 ChatGPT-4의 대화형 질문 및 답변 기능을 활용하여 스크립트를 구성함.



<Figure 5> The Process for creating Python script using ChatGPT-4

작성된 스크립트는 Python 3.11.0 환경에서 실행하였고, ChatGPT-4의 지원을 통해 스크립트의 오류 수정 및 재실행 과정을 수행했다. 먼저 HDBSCAN 알고리즘을 기반으로 지리좌표를 Clustering 하여 의미 있는 Hotspot을 찾아내기 위한 최소 클러스터 크기와 Sample 수를 지정한 후에 두 지점 사이의 거리를 Haversine 거리 계산법을 활용하여 측정하였다. 일반적으로 HDBSCAN 알고리즘은 좌표간의 거리를 삼각함수를 이용하여 측정하는 유클리드 거리(Euclidean Distance)로 데이터 포인트 간의 거리를 측정하지만, 본 연구는 3차원의 구 형태인 지구상의 지리좌표라는 측면에서 하버사인 공식을 이용하였다(e.g., Esenbuğa et al., 2016).¹⁴⁾

Haversine 거리 측정법을 갖춘 HDBSCAN 알고리즘은 클러스터에 포함되지 않는 좌표를 잡음(Noise)으로 분리하고 데이터 세트의 각 포인트는 클러스터 라벨을 받아 해당 데이터 포인트가 속한 클러스터를 지정한다. 마지막으로 식별된 각 클러스터에 대해 구성 포인트의 좌표를 평균하여 중심(Centroid)을 계산하고, 클러스터에 포함된 좌표의 수에 대한 정보를 엑셀 파일에 저장한다.

3.5 시공간적 분석

전투의 양상과 흐름에 대한 분석 용이성 차원에서 전역(戰域)을 시간과 공간으로 구분하고, 전투 활동의 과학적인 해석방법의 하나인 전력 지수(Military Power Index)¹⁵⁾에 시간 함수(函數)를 포함

14) 하버사인 거리는 두 개의 지리좌표 사이의 거리는 3차원 공간상에서 보면 직선이 아닌 호(弧, Arc)의 모양이라는 특성을 고려하고 지구의 반지름인 R=6,371km를 적용하여 계산함. Euclidean distance 계산법으로 두 지점 간의 거리가 10km로 가정할 때 Haversine distance 계산법으로 하면 약 10.5738km가 나옴. 이는 Euclidean distance와 Haversine distance 사이에는 약 0.5738km의 차이가 있음.

15) 무기체계의 전력 지수는 군사력을 비교·평가하는 방법으로 사용된다. 무기체계의 성능자료를 계량화하여 개별

하면 전투 현장을 정량적으로 비교할 수 있다.¹⁶⁾ 이런 접근을 통해 전투가 진행되거나 진행되었던 지역의 Event에 대한 시간적 분석으로 특정 전투가 언제 시작되고 끝났는지, 그리고 그 결과가 전반적인 전투에 어떤 영향을 미쳤는지, 행위 주체의 전략 변화와 변화가 어떤 영향을 미쳤는지 등을 파악할 수 있다. 특히, 전역을 공간적으로 분석하는 것은 주어진 군사 작전 지역 내에서의 지리적, 전술적, 전략적 요소를 이해하고 이를 토대로 군사 작전의 양상을 확인하는 것이다. 해당 분석으로 전장(戰場)에서의 군사적인 경향성과 패턴이나 전쟁의 전반적인 흐름을 이해하고 미래 전략을 예측하는 데도 도움이 될 수 있다. 그래서 본 연구는 드론을 운용하는 전투에 대한 시공간적인 분석을 수행하여 2022년 2월 24일에 러시아의 전격적인 침공으로 시작된 러시아-우크라이나 전쟁의 전장에서 러시아와 우크라이나의 의도와 움직임을 파악하고, 특정 무기체계의 역할과 운용의 경향성을 제시하고자 한다.

IV. 분석 결과

4.1 우크라이나 전역에 관한 분석

4.1.1 드론 기반 전투 발생지역 분석

ACLED Event data의 지리정보는 위도와 경도로 표시되어 있다.¹⁷⁾ 우크라이나는 24개의 Oblast, 2개의 자치 도시(Kyiv, Sevastopol)와 1개의 자치 공화국(Crimea)이 있다.¹⁸⁾ Event data 지리좌표로 드론 기반 전투 발생지점을 지도상에 도식하면 Figure 6과 같다.¹⁹⁾ 2022년과 2023년의 드론 기반 전투가 진행되었던 지리좌표를 적색과 청색으로 구분하였다. 해당 좌표를 토대로 주요 전투가 진행되었던 국경 지역과 도네츠크, 루한스크, 하르키우, 자포리지아 주(洲) 및 크림반도 인근 등에 집중되어 있음을 알 수 있다.

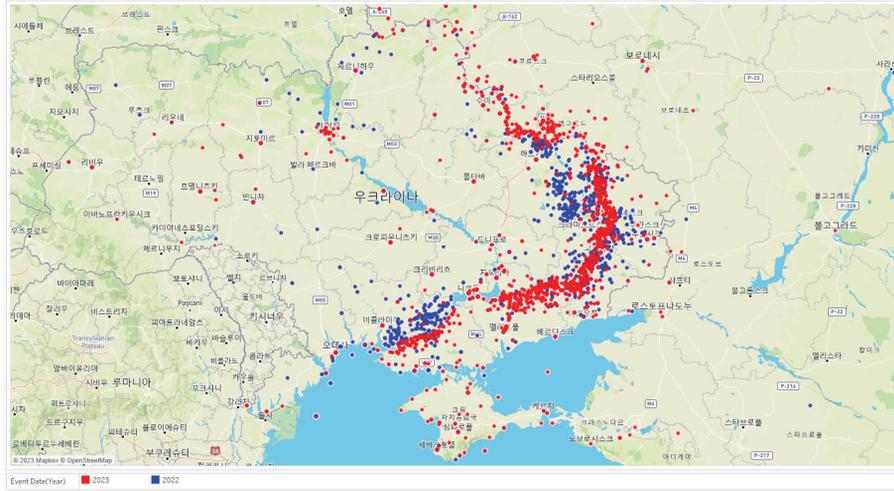
무기별로 효과지수를 산출하고, 보유한 유효무기 수량을 곱하여 합산한 수치를 부대의 전투잠재력으로 산정하는 방식임. 진재일(2010.3.8.). 전력지수에 의한 군사력 평가: 현황 및 발전 방향, 주간 국방 논단, 제1298호(10-10).

16) 권오정(2019). 전쟁사의 수학적 분석과 평가: 승리의 조건을 찾아서. 서울 : 교우.

17) ACLED(2023). Armed Conflict Location & Event data Project(ACLED) Codebook. 위도와 경도는 자체적인 GIS(Geographic Information System)에서 검증된 내용에 따라 국가와 행정구역의 이름 및 지리좌표로 정리되어 있음.

18) 우크라이나는 주(州)와 같은 행정구역 단위인 ‘Oblast’로 나누어져 있다. 영어로 Province로 번역될 수 있음.

19) 전투 발생지점을 지도상에 도식하기 위하여 Python 스크립트로 작성된 HDBSCAN 알고리즘으로 실행한 후 생성된 엑셀 파일을 Tableau 2023.2.1.을 사용하여 화면상에 도식했음.



<Figure 6> Drone-based combat coordinates across Ukraine

러시아와 우크라이나의 지역별 분포(Table 3)를 살펴보면, 드론 기반 전투가 특정 지역 중심으로 집중적으로 발생하였다가 시간경과에 따라 다른 지역으로 이동하는 현상이 나타나고 있다. 우크라이나의 주요 지역인 도네츠크가 1,254건, 루한스크에서는 814건, 하르키우 687건, 자포리지아 주(洲) 666건 등에서 대부분 전투가 이루어졌다. 러시아는 벨고로드에서 총 334건으로 2023년에 집중되어 있어 전투 양상이 지역적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 2022년 5월에서 8월까지 하르키우(Kharkiv)에서 전투가 치열하게 진행되었으며, 양측의 공방전은 우크라이나군이 러시아군을 국경 밖으로 밀어내면서 우세로 전환되었다. 2023년 들어서는 도네츠크, 자포리지아, 루한스크, 벨고로드 등의 지역에서 드론 기반 전투 횟수가 상승하는 향상으로 우크라이나의 공세적 행동 결과로 볼 수 있다.²⁰⁾

20) <https://www.womennews.co.kr/news/articleView.html?idxno=234450>(검색일: 2023.9.23.)

<Table 3> Distribution of Drone-based combat coordinates by province

Province	Russia			Ukraine			Total
	2022	2023	Subtotal	2022	2023	Subtotal	
Donetsk	-	-	-	518	736	1,254	1,254
Luhansk	-	-	-	211	603	814	814
Kharkiv	-	-	-	527	160	687	687
Zaporizhia	-	-	-	117	549	666	666
Kherson	-	-	-	310	262	572	572
Belgorod	1	333	334	-	-	-	334
Dnipropetrovsk	-	-	-	59	134	193	193
Mykolaiv	-	-	-	111	53	164	164
Odesa	-	-	-	79	35	114	114
Sumy & other 40 Provinces	20	214	234	149	310	459	693
Total	21	547	568	2,081	2,842	4,923	5,491

상기한 표의 현황에 기반하여 드론 기반 전투의 진행지역을 보면 하르키우, 도네츠크, 자포리지아, 루한스크, 벨고로드 주(洲)가 핵심적인 전투 현장임을 알 수 있다. 이 지역에서 2022년에는 러시아가 하르키우 전투를 진행했고 2023년에는 우크라이나가 공세 행동을 강화하고 있다. 도네츠크, 자포리지아, 루한스크 및 벨고로드의 전투 횟수는 2023년 5월 이후 꾸준히 증가하고 있어 우크라이나의 공세적 행동이 당분간 지속될 것으로 예상할 수 있다.

4.1.2 드론 기반 전투의 시간적 분석²¹⁾

러시아와 우크라이나에서 드론 관련 최초 Event는 2018년 1월 14일에 도네츠크에서 발생했다. 그러나 본 연구는 우크라이나 전역(戰域)을 분석하고자 Event data의 시작일을 전쟁이 시작된 후인 2022년 2월 26일부터 최종적으로 2023년 9월 30일까지 자료를 수집하여 정리하였다. Figure 7은 드론 기반 전투의 주체와 작전의 종류를 색과 선의 굵기로 표시한 것이다.

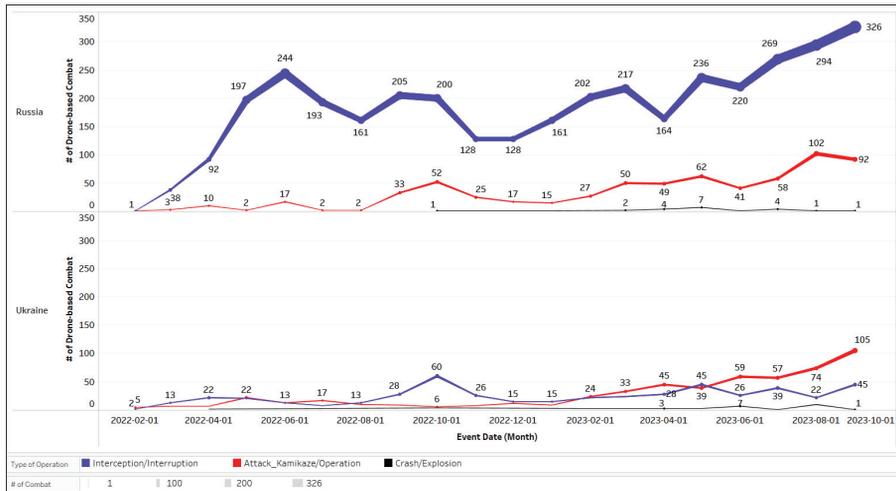
전쟁 초기에 러시아의 선제공격으로 시작되어 러시아군의 드론 요격 및 공격이 주를 이루고 있으며, 우크라이나의 드론 기반 공격에 대응하여 요격 작전을 효율적 수행한 것을 알 수 있다. 이런 러시아의 초반 공격기세는 2022년 6월을 기점으로 급격히 감소하였다. 이는 미국의 지원으로 우크라이나에 배치된 GMLRS²²⁾에 의해 러시아의 물류 허브, 탄약고 및 C3 체계가 파괴된 시점이다.²³⁾ 러시아군은 도네츠크, 루한스크, 자포리지아 및 헤르손 지역 등 여러 지역에서 GMLRS의 위협에

21) ACLED Event data의 시간정보는 이벤트가 발생한 연월일로 표시되어 있음. 연속된 이벤트일 때는 발생한 날마다 별도 사건으로 정리되어 있으므로 시간을 중심으로 한 횟수는 개별 사건의 수와 정확하게 일치하지는 않음.

22) Guided Multiple Launch Rocket Systems, 유도 다중 발사 로켓 시스템

23) <https://www.nytimes.com/2022/09/09/us/ukraine-weapons-rockets.html>(검색: 2023.9.16.)

따라 주요 지휘소를 GMLRS의 사정거리 밖으로 철수시키면서 엄폐 구조물에 위치시켰다(Zabrodskiy, Watling, Danylyuk, & Reynolds, 2022). 이러한 러시아의 움직임은 2022년 7월과 8월의 이후 급격하게 드론 요격 횟수가 하강하는 시간적 경향성과 일치한다. 또한, 2023년 들어 우크라이나의 드론 기반 전투의 횟수가 꾸준히 상승하는 현상은 개전 이후 국제적인 지원이 계속되면서 방어력을 회복하는 것으로 유추할 수 있다.²⁴⁾



<Figure 7> Drone-based combat by Russian and Ukrainian military

4.1.3 드론 기반 전투로 발생한 사상자 분석

2022년까지 월별 200명 이하로 발생하던 사상자는 2023년부터 급격히 증가였으며, 공격의 주체와 표적에 따른 드론 기반 전투의 건수와 사상자의 수를 비교하면 Table 4와 같다. 전반적으로 드론 성능 강화 및 복합적인 전투가 치열해지면서 사건당 사상자 수는 건당 사상자 0.39명(2022년)에서 1.43명(2023년)으로 증가하였다. 러시아군의 공격에 의한 우크라이나군의 사상자는 2022년 건당 0.07명에서 2023년 1.2명으로 증가하였으며, 우크라이나군의 공격에 의한 러시아군의 사상자 수는 2022년 1.5명에서 2023년에 3.7명으로 증가하였다. 러시아군과 우크라이나군 모두 건당 사상자 수는 증가하고 있으며, 우크라이나군이 공격 건수 대비 사상자 수가 많이 발생하고 있다.

공개자료의 특성상 양측 모두 자국의 피해는 축소하고 상대방의 피해는 과장할 수도 있다는 점에서 정확한 수치가 아닐 수 있다. 또한, Event Data에 나타난 사상자 5,658명은 러시아-우크라이나 전쟁에서 발생한 전체 사상자 수가 아닐 수 있으며, 드론 단독 공격이나 폭발에 의한 사상자만을 분리한 것이 아니라, 포병, 미사일, 지상군과 공군의 합동 공격에 의한 사상자의 수도 합산될 수

24) Pledge Times(2022.10.24.). Drones in the Clear Sky: How Drones Change the Course of the NWO. <https://pledgetimes.com/drone-in-the-clear-sky-how-drones-change-the-course-of-nwo/>

있다. 그럼에도 상기한 시간적 분석접근은 전반적인 사상자 발생의 경향성 파악 측면에서 의의가 있다고 볼 수 있다(부록 1).

<Table 4> Drone-based combat casualties from 2022 to 2023

Actor	Target	2022		2023	
		# of Events	# of Casualties	# of Events	# of Casualties
Russian Military	Ukra. Mil.	1,618	105	2,143	2,510
	UID Mil. Org.	1	0	52	0
	Civilian	24	205	77	519
	None	109	0	334	0
	Subtotal	1,752	310	2,606	3,029
Ukrainian Military	Russian Mil.	330	497	466	1,744
	Ukra. Mil.	0	0	2	5
	Civilian	1	0	18	33
	None	12	0	253	0
	Subtotal	343	497	739	1,782
Unidentified Military Organization	Russian Mil.	3	6	2	14
	Civilian	1	5	8	15
	None	3	0	34	0
	Subtotal	7	11	44	29
Total		2,102	818	3,389	4,840

4.1.4 드론 기반 전투의 주간(週間) 패턴 분석

우크라이나 전역의 시간적 분석을 요일별로 전투 횟수, 사망자와 부상자 수 기준에 따라 분류하면 Table 5와 같다. 표를 보면, 다른 요일과 상대적으로 수요일과 목요일에 전투 발생 빈도가 높아 사상자의 수도 증가했다. 전체 사상자의 48.5%(2,624명)이 수요일에 발생하였고, 이 중 사망자 51.8%, 부상자 45.7%로 나타났다.

<Table 5> Status of drone-based combat and casualties by weekly

Category	Sun.	Mon.	Tue.	Wed.	Thu.	Fri.	Sat.	Total
Events	738	738	728	909	832	755	791	5,491
Killed	234	107	146	1,315	694	70	63	2,629
Wounded	55	200	247	1,342	789	165	231	3,029

4.2 드론 기반 전투 집중지역(Hotspot) 분석

치열한 전투의 진행 지역에 대한 특성을 파악하고자 우크라이나 전역(戰域)의 드론 기반 전투가 발생한 좌표가 다수 분포된 Hotspot을 확인하였다. Figure 8은 클러스터 중심점을 할당된 좌표의 수에 비례하여 원의 크기와 색조(色調)로 도식하고, 클러스터 내 좌표의 수가 50개 이상인 7개 Hotspot의 지명과 좌표 수를 표시하였다. 전역(戰域)의 5,491개 좌표를 HDBSCAN 알고리즘으로 클러스터링한 결과 492개 클러스터와 564개 좌표가 Noise로 분류되었다. Noise는 전체좌표의 10.27%로 한반도의 면적 220,258km²의 2.74배인²⁵⁾ 우크라이나에서 비교적 적절하게 클러스터링되었다고 볼 수 있다.

가장 많은 수의 좌표가 분포된 CLST381은 루한스크 인근으로 이전부터 분리주의자들과의 분쟁이 지속되어 온 지역이다. 이곳은 러시아군의 우크라이나에 대한 북동부 공세의 일부로 2주 넘게 치열한 시가전이 벌어졌던 지역이다.²⁶⁾ 2022년 6월에 화력을 앞세운 러시아군의 집중 공격으로 우크라이나군은 도시 외곽으로 밀려났다.²⁷⁾ 이런 전투는 101개의 좌표가 밀집된 현상으로 나타났다.

CLST065와 CLST114는 미콜라이우와 헤르손 북서부의 드니프로강과 남부크강 하류에 있는 곳이다. 미콜라이우는 러시아의 헤르손 점령 지역과 우크라이나의 오데사 사이에 있는 핵심 거점이다.²⁸⁾ 미콜라이우는 50여만 명이 거주하는 대도시로 러시아군은 이곳을 점령해야만 우크라이나 남동부 지역의 핵심 거점인 CLST055 오데사로 나아갈 수 있으며 우크라이나 해군 전력을 약화시킬 수 있다.²⁹⁾ CLST324로 표시된 마리우폴은 도네츠크주(州)로 우크라이나의 공세 행동이 지속되고 있는 지역이다. 우크라이나는 대반격의 첫 승리로 동남부 도네츠크 지역 마을 3곳을 탈환했다고 주장했다.³⁰⁾ CLST035은 우크라이나의 수도인 키이우이다. 이 지역은 2022년 러시아의 침공 이후 양측이 수도를 점령하기 위해 격렬한 전투를 벌였던 지역으로 현재도 러시아군이 계속하여 드론 기반 공격을 진행하고 있다.

25) 우크라이나의 면적은 603,550km²로 한반도의 면적 220,258km²의 2.74배임. (참고 자료 : <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/ukraine/#geography>)(검색일: 2023.9.20.)

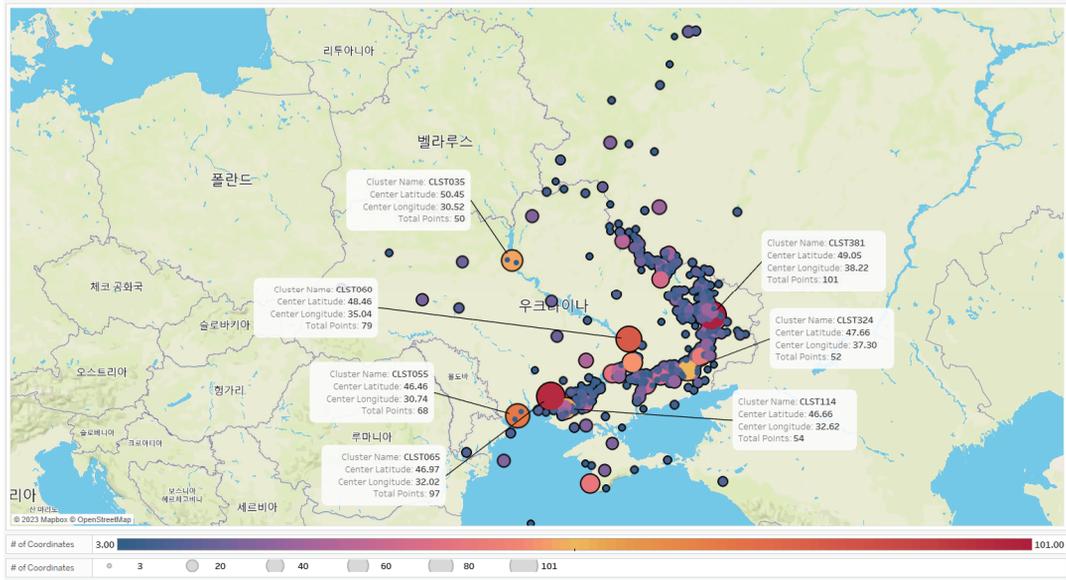
26) <https://www.bbc.com/korean/news-61741454>(검색일: 2023.9.22.)

27) <https://www.yna.co.kr/view/AKR20220626038000080>(검색일: 2023.9.22.)

28) <https://www.reuters.com/world/europe/russian-held-parts-ukraines-mykolaiv-region-be-incorporated-russian-held-kherson-2022-09-21/>(검색일: 2023.9.22.)

29) <https://www.washingtonpost.com/world/2022/08/12/ukraine-kherson-battle/>(검색일: 2023.9.22.)

30) <https://www.bbc.com/korean/articles/c5198mydredo>(검색일: 2023.10.8.)



<Figure 8> Drone-based combat in hotspots across Ukraine

다음으로 우크라이나 전역(戰域)의 드론 기반 전투가 발생한 좌표가 다수 분포되어 Hotspot을 시간에 따라 도식하여 시간적 경향성을 파악할 수 있다. 좌표가 집중되었던 클러스터를 중심으로 시간별 전투 집중 지점의 변화는 전투지역의 변화를 확인할 수 있었다(부록 2). Figure 9는 좌표의 집중도가 높은 상위 7개 클러스터인 CLST381, CLST324, CLST381, CLST065, CLST060, CLST055, CLST114에 대해 러시아군(적색)과 우크라이나군(녹색)으로 구분하여 드론 기반 전투 종류와 횟수를 도식한 것이다.

CLST381과 CLST324 경우, 우크라이나군이 지속적으로 드론 기반의 공격을 진행하고 있으나 러시아군이 드론 대응체계를 운용하면서 방어작전에 성공하는 양상이다. 우크라이나군의 드론 공격은 CLST381에서 4회를 제외하면 모두 러시아군에 의해 요격되었다. 이와는 다르게 CLST060, CLST055, CLST035, CLST114 및 CLST065는 러시아군의 드론이 대부분 우크라이나군에 의해 요격당하고 것으로 나타났다. 이러한 전투 양상은 CLST381(루한스크)와 CLST324(마리우폴)을 중심으로 우크라이나의 공세 행동에 러시아의 방어 양상과 나머지 지역에서 러시아의 드론 공격에 대응한 우크라이나군의 작전으로 설명할 수 있다.



<Figure 9> Visualization regarding top 7 clusters (hotspots)

이처럼 우크라이나 전역의 5,479개의 좌표를 HDBSCAN 알고리즘으로 클러스터링한 후 구성된 391개의 클러스터를 분석하여 드론 기반 전투가 치열하게 진행된 Hotspot을 찾아낼 수 있었다. 다만 전장의 특성상 지역별로 중요 지점에 대한 공격 가능성도 존재하므로 클러스터가 형성한 지역만이 중요 전투가 일어난 곳으로 단정하는 것이 제한적이다. 예를 들어 전투 양상의 변화는 드론 기반의 전투 중 어떤 형태의 전투를 수행하는가에 따른 차이일 수도 있고, 군사전략에 의한 지역적인 집중과 분산에 따라 변할 수 있는 것이므로 기습공격으로 시작한 러시아의 전략적인 선택에 따라 전투 현상이 계속 바뀔 것으로 보인다.

4.3 러시아와 우크라이나의 드론 운용 분석

Table 6은 ACLED Event data에 명시된 드론의 명칭으로 우크라이나 전역에서 각국의 다양한 드론이 등장하였다. 그러나, 분석에 활용한 데이터에서 다수의 드론이 불명으로 제시되어 각국에서 지원한 드론을 명확하게 구분하여 확인하는 것이 제한적일 수밖에 없다. 구체적으로 러시아의 드론 운용 1,126건 중 68.2%(768건), 우크라이나 드론 운용 4,302건 중 98.8%(4,252건), 불명 군사조직이 운용한 드론 63건에 대한 세부적인 기종이 확인되지 않았다.

다만 확인가능한 드론을 살펴보면, 러시아의 경우에 자폭 및 공격용 드론 5종, 정찰용 6종이 확인되었으며, Orlan-10과 이란과 협력하여 생산하는 드론 Shahed 계열의 Shahed-136 드론³¹⁾이 식별가능하였다. 우크라이나의 드론은 자폭 공격용 3종, 정찰 및 공격용 3종 및 정찰용

으로만 운용되는 드론 3종만을 확인할 수 있었다. 예를 들어 미국의 Switchblade, 튀르키예의 Bayraktar TB2, 우크라이나가 전쟁 이전에 보유하고 있는 드론(TU-141, UJ-22 등)이 출현하고 있었다. 그 외에도 상업용 드론인 Mugin-5, FPV와 급조드론인 Stugna도 있었다. 특이점으로 러시아와 우크라이나에서 모두 중국 DJI사의 FPV 드론을 사용하고 있었고, 저가의 상업용 드론이 전장에서 운용된 것으로 나타났다.³²⁾

<Table 6> Drones in Russia-Ukraine war with ACLED event data

Country	Type	Name of the Drones
Russia	Loitering Munition	Shahed-131, Shahed-136, KUB-BLA, Zala, Lancet
	ISR	Merlin-VR, Orlan-10, Forpost, Kartograf, Supercam, FPV
Ukraine	Loitering Munition	Phoenix Ghost, Switchblade, Stugna
	ISR, Attack	Bayraktar TB2, UJ-22
	ISR	Mugin-5, Tu-141, FPV

상기한 러시아와 우크라이나의 드론 운용에 관한 효율성을 파악하기 위하여 양측의 드론 운용 현황(전투 횟수, 격추 횟수, 공격 성공 횟수)을 비교하였다(Table 7).³³⁾

<Table 7> Status of drone-based combat

Country	# of Operation	Success	Intercepted	Other OPNS
Ukraine	4,302	615(14.3%)	3,660(85.1%)	27(0.6%)
Russia	1,126	608(54.0%)	487(43.3%)	31(2.7%)

우크라이나가 러시아에 비해 3.8배 이상의 드론을 전투에 투입하였으나, 드론 기반 공격 작전의 성공률은 14.3%로 러시아의 드론 기반 작전 성공률(54.0%) 대비 상대적으로 저조하게 나타났다. 드론 기반 공격에 대한 요격 현황을 보면, 우크라이나는 43.0%를 요격하고 러시아는 85.1%를 요격

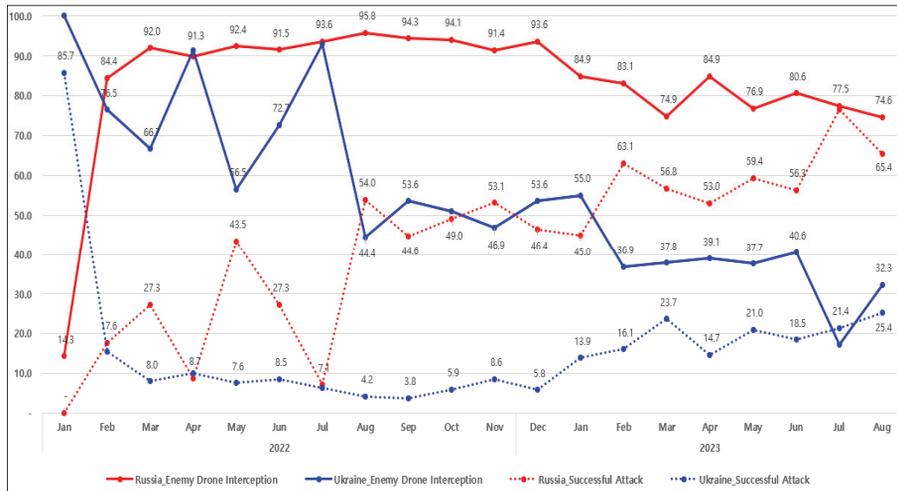
31) Saw, D. (2023). Lessons Learned From Ukraine Conflict - UAV Operations, Options and Trends. European Security and Defense, <https://euro-sd.com/2023/03/articles/30005/lessons-learned-from-ukraine-conflict-uav-operations-options-and-trends/>

32) <https://www.npr.org/2023/03/21/1164977056/a-chinese-drone-for-hobbyists-plays-a-crucial-role-in-the-russia-ukraine-war> (검색일: 2023.10.9.)

33) 드론 요격과 드론 작전 성공 비율을 계산하기 위한 총운용 건수는 국가별로 드론이 작전에 사용된 건수를 정리했고, 성공률은 자국의 총운용 건수 대비 성공 건수를 백분율로 표시했으며, 요격률은 상대국의 총운용 건수 대비 자국의 요격(격추) 건수를 백분율로 표시했음.

하였다. 이런 현황을 볼 때, 우크라이나는 러시아에 비해 상대적으로 드론 기반 작전의 효율성이 낮다고 할 수 있다.

시간에 따른 비율 변화(Figure 10)를 보면, 우크라이나의 드론 요격률(청색 표시)은 2022년 7월에 가장 높은 93.6% 수준 이후에 계속 하강하고 있다. 이는 우크라이나가 러시아의 드론 운용에 대해 효율적으로 대응하지 못하고 있으며, 드론 기반 공격 작전의 경우도 2023년에 20%대로 서서히 증가하고 있어 우크라이나 우방국의 지원에도 공격형 드론의 효율적 운용이 되지 못하고 있다고 볼 수 있다. 반면, 러시아군의 드론 요격률(적색 표시)은 2022년 2월 전쟁 개시 후 3월부터 80% 이상을 유지하다 2023년에 하강하였으나 70%대 이상을 유지하고 있다. 결국 러시아는 공세적인 드론 작전을 유지하면서 효율적인 대(對) 드론 체계를 운용하고 있다³⁴⁾고 유추할 수 있다.



<Figure 10> Drone operation and interception by Russia and Ukraine

V. 결론

본 연구는 우크라이나 전역(戰域)의 드론 기반 전투에 대한 시공간적인 분석을 통하여 특정 무기 체계의 운용 지역, 역할 및 효율성을 분석하였다. 특히, 특정 무기체계인 드론을 운용한 전투 발생 지점의 지리좌표를 기록한 ACLED Event data와 시공간적 분석을 활용하여 드론 기반 전투의 현황을 드론 운용 형태, 전투에 따른 피해 규모 및 효율성을 실증 분석했다는 점에서 학술적 의의가 있다.

34) Watling, J., & Reynolds, N. (2023). Meatgrinder: Russian Tactics in the Second Year of Its Invasion of Ukraine. Royal United Services Institute for Defense and Security Studies, 19, 18-20. <https://static.rusi.org/403-SR-Russian-Tactics-web-final.pdf>

주요 연구 결과 및 시사점을 다음과 같다. 드론 기반 전투의 시공간적인 경향성을 분석한 결과, 러시아와 우크라이나의 전쟁은 2022년에 개시된 러시아의 공세에 이어 2023년에는 우크라이나의 공세로 전환된 것을 확인할 수 있었다. 이는 특정 무기체계의 시공간적 분석을 통해 지역적인 전투의 진행 양상과 추이를 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구를 통해 핵심적인 전투 현장(하르키우, 도네츠크, 자포리지아, 루한스크 주(洲))를 확인하였으며, 2022년에는 러시아가 2023년에는 우크라이나가 공세 행동을 강화하면서 2023년 5월 이후 꾸준히 증가하고 있는 도네츠크, 자포리지아, 루한스크 및 벨고로드의 전투 횟수 증가로 볼 때 당분간 우크라이나의 공세 행동은 지속될 것이라는 경향성을 도출할 수 있다. 시간적 변화의 패턴에서 요일별 드론 기반 전투 과정을 분석한 결과, 특정 요일(수요일, 목요일)에 전투 발생 빈도가 높게 나타나 사상자의 수도 급격히 증가하는 주간(週間) 패턴이 발견되었다. 드론 기반 전투의 효율성 측면에서 러시아의 드론 작전 성공률은 전쟁 기간에 상승세를 보이면서 50%대 이상을 유지하였으나 우크라이나 경우에 20%대 수준으로 전반적으로 낮게 나타났다. 이는 우크라이나가 러시아군과 비교하여 상대적으로 드론 기반 전투에서 효율적으로 대응하지 못하였다는 것을 알 수 있다. 이처럼 본 연구는 최근 러시아-우크라이나 전쟁을 통해 현대 전장의 전쟁 수행의 패러다임 변화를 주도하고 있는 드론 무기체계를 중심으로 전투 현장 변화와 양상을 실증 데이터에 기반한 연구설계와 분석 알고리즘을 개발 및 적용하였다는 점에서 연구적 시사점이 높다고 볼 수 있다. 또한, 본 연구의 분석방법은 기존의 드론 활용 사례에 기반한 연구(e.g., Park & Yi, 2023; Seo, Cho, Kim, Kim, & Park, 2023)가 아닌 객관적인 데이터에 기반한 활용 방안을 제시함으로써 향후 드론 무기체계의 운용과 관련된 복잡한 역학 및 영향, 다각적인 특성을 이해하기 위한 후속 연구에 활용 가치가 높다고 볼 수 있다.

상기한 연구의 의의에도 불구하고 연구의 한계점을 다음과 같다. 본 연구는 러시아-우크라이나 전쟁에서 우크라이나 전역(戰域)의 드론과 관련된 전투 발생한 좌표를 HDBSCAN 알고리즘을 활용하여 시공간적 분석을 수행하였다. 그럼에도 본 연구에서 활용한 데이터의 제약 문제로 전장에 투입된 드론의 정확한 정보나 실제 운용 형태나 방식에 대한 정보가 부족하여 전장 현황과 드론 활용 양상을 보다 구체적인 분석할 수 있는 연구설계가 필요하다. 그래서 추후 연구는 드론 기반 전투 양상과 효율성을 체계적으로 분석하기 위해 드론 운용 교리, 무기체계의 다양성, 대(對) 드론 작전 등의 실제 운용 정보나 방식을 포함한 연구설계와 분석방법 적용이 필요할 것이다. 또한, 우크라이나 전역(戰域)에서 드론 운용 현황을 분석하였으나 현대전 및 미래전에서 드론은 개별 운용의 전장감시의 범주를 넘어서 군집운용(정찰, 자폭, 지원공격 등) 및 타 무기체계와의 합동공격으로 다양하게 활용될 것으로 예상되고 있어(Chae, Lee, & Eom, 2023; Choi et al., 2021; Seo, Kim, Kim, Cho, & Park, 2023) 후속 연구는 전장 환경과 드론 무기체계 역할을 재정의하여 전투 관점의 변화를 반영하는 연구가 지속되어야 할 것이다.

Acknowledgements

Declaration of Conflicting Interests

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Author contributions

Conceptualization: KH and CJ, Literature review, Resources and Data curation, Investigation and Methodology: KH, Writing (Original Draft), Project administration and Supervision: KH and CJ.

Reference

- Baik, E. Y., & Cho, J. H. (2013). Analysis of Airline Network using Incheon and Narita Passenger Flight Origin-Destination Data. *Journal of Information Technology Applications & Management*, 20(1), 87-106. UCI : G704-000870.2013.20.1.007
- Chae, H., Lee, K. S., & Eom, J. H. (2023). The Development of Artificial Intelligence-Enabled Combat Swarm Drones in the Future Intelligent Battlefield. *Journal of Convergence Security*, 23(3), 65-71. <https://doi.org/10.33778/kcsa.2023.23.3.065>
- Chang, S., Pierson, E., Koh, P. W., Gerardin, J., Redbird, B., Grusky, D., & Leskovec, J. (2021). Mobility network models of COVID-19 explain inequities and inform reopening. *Nature*, 589(7840), 82-87. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2923-3>
- Cho, J. H., & Seo, I. J. (2006). Multidimensional Model for Spatiotemporal Data Analysis and Its Visual Representation. *Journal of Information Technology Applications & Management*, 13(1), 137-147. UCI : G704-000870.2006.13.1.001
- Choi, M. W., Moon, H. S., Han, S. W., & Cho, N. S. (2021). An ABM Simulation Study on Operational Effectiveness and Mission Organization for Swarm Drones. *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, 47(2), 75-90. <https://www.dbpia.co.kr/pdf/pdfView.do?nodeId=NODE11062017>
- Enders, E., & Sandler, T. (2000). Is transnational terrorism becoming more threatening? A time-series investigation. *Journal of Conflict Resolution*, 44(3), 307-332. <https://doi.org/10.1177/0022002700044003002>
- Esenbuğa, Ö. G., Akoğuz, A., Çolak, E., Varol, B., & Erol, B. (2016). *Comparison of principal geodetic distance calculation methods for automated province assignment in Turkey*. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 2, 141-148. <https://doi.org/10.1109/INNOCIT.2017.8319153>
- Hägerstrand, T. (1970). What about people in regional science. regional science association, 24. <https://courses.washington.edu/cee500/What%20about%20people%20in%20regional%20science.pdf>
- Halem, H. (2023). Ukraine's Lessons for Future Combat: Unmanned Aerial Systems and Deep Strike, *The US Army War College Quarterly Parameters*, 53(4). <https://doi.org/10.55540/0031-1723.3252>
- Kim, E. Y. (2010). Spatial Analysis of Terrorism Incidences in the United Kingdom. *Korean*

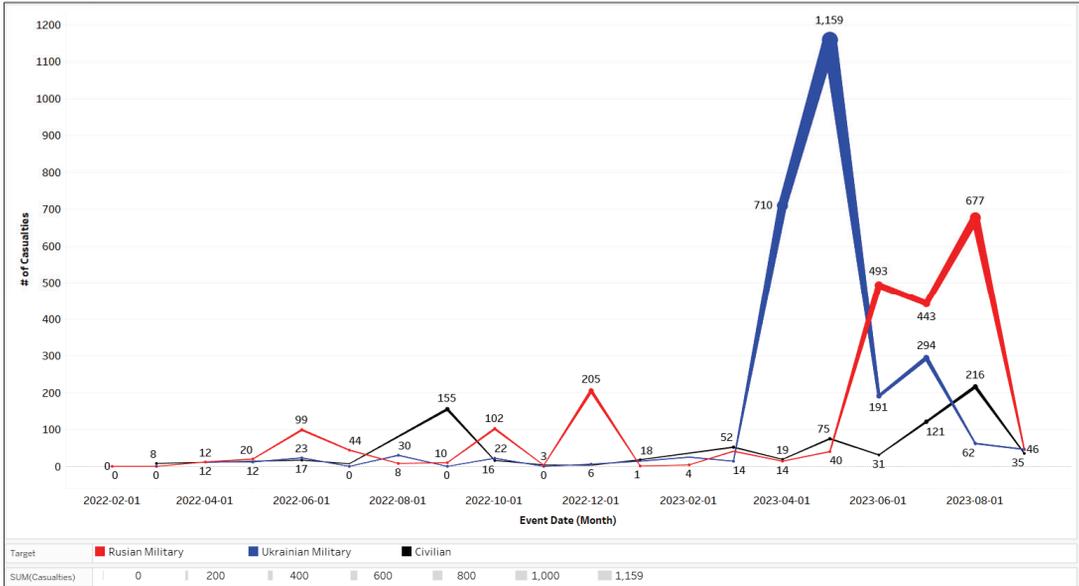
- terrorism studies Review*, 3(2), 71-96. UCI : G704-SER000003128.2010.3.2.001
- Kim, T. W. (2022). *A Study on the Tourism Popularity Analysis Methodology Using T-map Search Sites and Sometrend Data: Focused on Four Cities in Gangwon-do*. [Ph.D. dissertation, Kwangwoon University]
- Kim, T. Y., Choi, C. K., & Lee, J. W. (2021). A quantitative study on patterns of Drone terrorism. *Journal of Korean Public Police and Security Studies*, 18(4), 55-79. <https://doi.org/10.25023/kapsa.18.4.202111.55>
- Kunertova, D. (2023). The war in Ukraine shows the game-changing effect of drones depends on the game. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 79(2), 95-102. <https://doi.org/10.1080/00963402.2023.2178180>
- LaFree, G., & Dugan, L. (2009). Research on Terrorism and Countering Terrorism. *Crime and Justice*, 38(1), 413-477. <https://doi.org/10.1086/599201>
- Lee, B. S., & Lee, S. W. (2023). A study on the status and types of Military Targets terrorism using the Global Terrorism Database. *Korean Journal of Public Safety and Criminal Justice*, 32(3), 255-282. <https://doi.org/10.21181/KJPC.2023.32.3.255>
- Lee, S. R., & Lee, B. S. (2023). A Study on the Status and Characteristic of Drone Terror. *The Journal of Social Convergence Studies*, 7(4), 13-25, <https://doi.org/10.37181/JSCS.2023.7.4.013>
- Park, J. S., & Yi, G. Y. (2023). A Study on Operational Patterns for Drone Reconnaissance and Attack Missions. *Journal of the Korean Institute of Defense Technology*, 5(3), 18-28. <https://doi.org/10.52682/jkidt.2023.5.3.18>
- Park, S. H., Kim, S. K., & Namkung, S. P. (2023). A Study on Overseas Battle Cases Using Combat Drone. *The journal of Convergence on Culture Technology*, 9(5), 403-407. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.403>
- Seo, K. I., Cho, S. K., Kim, J. H., Kim, K. W., & Park, S. H. (2023). 21Century of Combat Aspects of North Korean Attack Drones Through the War of the Century. *The journal of Convergence on Culture Technology*, 9(3), 299-304. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.299>
- Seo, K. I., Kim, K. K., Kim, J. H., Cho, S. K., & Park, S. H. (2023). A Case Study on the Threat of Small Drone and the Development of Counter-Drone System. *The journal of Convergence on Culture Technology*, 9(2), 327-332. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.2.327>
- Yoon, M. W. (2013). A quantitative study on patterns of terrorist bombing incidents. *Korean Security Journal*, 36, 317-347. UCI : G704-001904.2013..36.002

Zabrodskyi, M., Watling, J., Danylyuk, O. V., & Reynolds, N. (2022). Preliminary Lessons in Conventional Warfighting from Russia's Invasion of Ukraine, February - July 2022(pp. 10-11). London: Royal United Services Institute for Defence and Security Studies. <https://doi.org/10.1515/sirius-2023-1011> Retrieved from <https://static.rusi.org/359-SR-Ukraine-Preliminary-Lessons-Feb-July-2022-web-final.pdf>

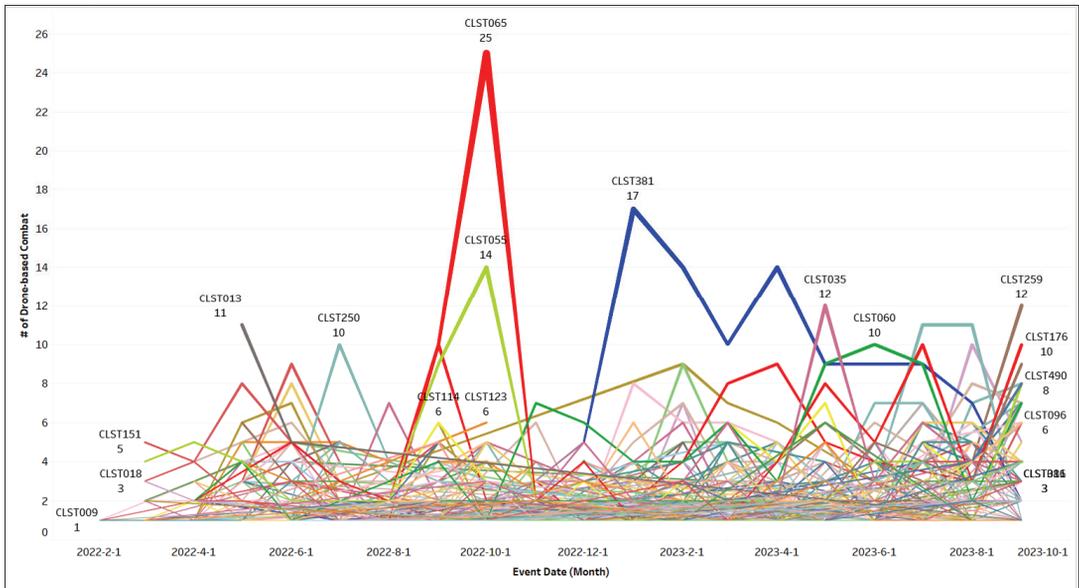
원 고 접 수 일 2023년 10월 25일
원 고 수 정 일 2023년 11월 07일
게 재 확 정 일 2023년 12월 26일

<부 록>

<부록 1> 사상자 수의 시간적 변화



<부록 2> 클러스터별 드론 기반 전투 빈도의 변화



분쟁지역 데이터(ACLED)를 활용한 드론 운용에 대한 시공간적 분석: 러시아-우크라이나 전쟁을 중심으로*

김형석** · 조재희***

국문초록

본 연구는 2022년부터 시작된 러시아-우크라이나 전쟁에서 핵심 무기체계로 주목받고 있는 드론이 현대전에서 어떤 특징과 경향성을 가지고 운용되는지를 확인하고자 한다. 이를 위하여 분쟁지역 데이터(ACLED)로 확인할 수 있는 우크라이나 전역(戰域)에서의 드론 기반 전투 발생지점 좌표 5,491건에 대하여 다차원 모델을 활용하여 시공간적 분석(Spatiotemporal Analysis)을 실시하였다. 시공간적 분석 결과, 러시아와 우크라이나 모두 드론을 광범위하게 운용하고 있으며, 2023년 들어 우크라이나가 공세 행동 전환과 전투 현장에서 요일별 시간적인 패턴을 드론 기반 전투의 빈도 변화를 통해 확인할 수 있다. 또한 공세적인 드론 작전 기세를 유지하고 있는 러시아는 우크라이나 드론의 85.1%를 요격하여 54.0%의 드론 기반 공격 성공률을 보여주었다. 반면 우크라이나는 러시아의 드론 43.3%를 요격하고 있고, 14.3%의 드론 기반 공격 성공률이 나타났다. 본 연구결과를 통해 우크라이나 전역의 드론 기반 전투에 대한 시공간적인 분석으로 무기체계의 운용 지역, 역할 및 효율성을 분석할 수 있었으며 전장에서 무기체계의 운용과 관련 영향 및 특성을 이해할 수 있다.

주제어 : 드론 기반 전투, 러시아-우크라이나 전쟁, 전투 집중지역, 다차원 분석, 시공간적 분석

* 2023년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

** (제1저자) 광운대학교, 방위사업학과 박사과정, kimhs01@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-2844-5824>.

*** (교신저자) 광운대학교, 소프트웨어융합대학, 교수, mis1@kw.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-7023-1651>.