

네트워크 중심전에서 광무선 통신의 적용 방안 연구

서경준
국방기술진흥연구소

A Study on the Application of Optical Wireless Communication in Network Centric Warfare

Kyung-Jun Seo
Korea Research Institute for Defense Technology Planning and Advancement

요약 현대 군사작전 개념에서 네트워크 중심전은 점차 중요 해지고 있다. 전장 환경에서 네트워크 중심전을 유지하기 위해서는 통신의 유기적인 연결이 요구된다. 이를 위해 정보·감시·정찰 등 다양한 체계에서 여러 센서를 바탕으로 무기 체계들까지 원활한 통신이 가능한 상호 네트워크를 구축할 필요가 있다. 무기 체계가 점차 무인화됨에 따라 다양한 무인 체계 간 인한 통신 공유가 증가하고 있으며, 지상·해상·공중·우주 등 다양한 범위에서 서로 통신을 연결하여 통합된 하나의 네트워크로 운용할 필요가 있다. 하지만, 네트워크 중심전 구현을 위해서 군 상용 주파수 부족 문제 및 무선 통신 간 네트워크 보안 문제의 해결이 필요하다. 비면허 대역인 광 파장을 사용하며 물리적인 통신 은닉성을 지닌 광무선 통신은 대안 기술이 될 수 있다. 네트워크 중심전에서 활용 가능한 광무선 통신 방법을 탐색하고, 광무선 통신의 구성기술, 통신 범위, 데이터 전송량 등의 한계에 대한 해결 방안을 제안한다. 이를 토대로 네트워크 중심전에서 광무선 통신 적용의 시사점을 제시한다.

Abstract In modern military operations, network-centered warfare is becoming increasingly important. An organic connection of communication is required to maintain network-centered warfare in a battlefield environment. Therefore, it is necessary to establish a mutual network capable of smooth communication among various systems, such as information, monitoring, and reconnaissance, to weapon systems based on various sensors. As weapons systems become increasingly unmanned, communication sharing between various unmanned systems is increasing, and it is necessary to operate as an integrated network by connecting communication in various ranges such as ground, sea, air, and space. However, to implement network-centered warfare, it is necessary to solve the problem of a lack of military, commercial frequency, and network security between wireless communications. Optical wireless communication that uses optical wavelengths, which are unlicensed bands, and has physical communication concealment can be an alternative technology. This study explores optical wireless communication methods that can be applicable for network-centered warfare and suggests solutions for limitations such as the configuration technology of optical wireless communication, communication scope, and data transmission amount. Based on this, the implications for applying optical wireless communication in network-centered warfare are presented.

Keywords : Network Centered Warfare, Optical Wireless Communication, Visual Light Communication, Light Fidelity, Optical Camera Communication, Free Space Optics

*Corresponding Author : Kyung-Jun Seo(Korea Research Institute for Defense Technology)
email: east7709@krit.re.kr

Received May 22, 2024
Accepted July 5, 2024

Revised June 26, 2024
Published July 31, 2024

1. 서론

2022년 2월에 시작된 러시아-우크라이나 전쟁은 전 세계적인 혼란을 초래하고 있다. 이번 러·우 전쟁은 재래전, 비정규전, 사이버/전자전 등 여러 형태의 전쟁이 복합된 하이브리드 전쟁(Hybrid Warfare) 양상을 보인다. 그중에서 각종 무기 체계와 위성·드론·전투기 등 전장의 개별 플랫폼(Platform)을 네트워크로 연결한 네트워크 중심전(NCW, Network Centric Warfare)이 수행되고 있다. 네트워크 중심전은 부대가 긴밀히 네트워크화된 경우, 네트워크화되지 못한 부대에 비해 전투 능력이 월등히 우수할 것이라는 군사 이론이다. 여기서 네트워크링이란 케이블 및 무선 링크 등 물리적 연결을 넘어 정보 및 상황 인식의 공유로 전력을 통합 활용하여 작전 수행에 효과를 극대화하는 것을 의미한다[1]. 현대 전쟁의 방식은 정보의 우위와 신속한 결심의 이점으로 인해 네트워크 중심전으로 점차 바뀌고 있으며, 이는 정보·감시·정찰 체계와 지휘 통제 체계 그리고 정밀유도 무기·기동 체계들이 통신 네트워크를 이용하여 하나의 체계처럼 통합되어 운용될 때 달성할 수 있다[2]. 전장 환경에서 유기적인 통신을 유지하기 위해서는 여러 센서를 바탕으로 지상·해상·공중·우주 등 다양한 범위에서 하나의 체계로 통합된 통신 네트워크 연결이 필요하다.

2023-2037 국방과학기술혁신 기본계획에서 이와 관련된 국방과학기술 국제동향을 살펴보면, 미 국방부는 '21년 Navigation Plan을 수립하여 2045년까지 373척의 유인 함정과 약 150대의 해양 무인체계 개발 등 유무인 복합 함대를 구성하고자 추진하고 있다. 호주는 DST2030 전략을 수립하여 '30년까지 해저 환경에서 고도화된 원격 감시를 위한 센서, 정보 처리, 통신 및 데이터 융합 시스템 개발을 추진 중이다. 일본은 국방연구개발 4대 중점 분야 중 하나로 스마트·네트워크 분야를 선정하여 집중 투자를 하고 있다[3].

본 논문에서는 현대 군사 작전 방식인 네트워크 중심전에서 문제를 정의하고, 이를 해결할 방안으로 광무선 통신 방법을 제안하고자 한다. 제안된 광무선 통신에 대해 네트워크 중심전 구성 기술과 관계를 제시하고, 최적화가 필요한 기술을 분석한다. 이 과정을 통하여 군용 통신 네트워크에서 광무선 통신의 기술적 한계점과 해결 방안을 논의하고 향후 네트워크 중심전 구현과 발전 방향에 대한 시사점과 이를 바탕으로 군 활용성에 대해 논의한다.

2. 광무선 통신 고려 사항

2.1 광무선 통신 개념 및 장점

광무선 통신은 자유공간에서 통상의 RF(Radio Frequency) 주파수 대역 대신 가시광선, 적외선, 자외선 대역의 주파수를 활용하여 무선으로 통신하는 방법을 일컫는다. 광무선 통신에 활용될 수 있는 전자기 스펙트럼 구간은 <Table 1>과 같다[3]. 광무선 통신의 영역에 따라 대기(Air), 우주(Space), 수중(Water) 등 자유공간의 매질과 사용 환경조건에 따라 가장 효과적인 주파수 영역이 다르다. 다만, 자외선 영역은 인체 안정성 측면을 고려하여 사람이 있는 환경에서 적외선이나 가시광선 등 다른 주파수 영역으로 대체하여 사용할 필요가 있다.

Table 1. Classification by optical spectrum distribution [4]

Classification	Wavelength	Frequency
Ultraviolet (UV)	10A~400nm	30PHz~0.75PHz
Visible light	400nm~750nm	750THz~400THz
Near-infrared (NIR)	750nm~3 μ m	400THz~100THz
Mid-infrared (MIR)	3~30 μ m	100THz~10THz
Far-infrared (FIR)	30~1000 μ m	10THz~0.3THz

광무선 통신은 비면허 대역인 광파를 활용하므로 한정된 RF 기반의 주파수 자원 한계를 극복할 수 있는 장점이 있다. 또한, 광무선 통신은 물리적 은닉성을 지니므로 전파교란 환경에 강인하여 그 자체로 항재밍(Anti-jamming) 기능을 지니고 있다. 이러한 장점들로 인해 광무선 통신은 네트워크 중심전 구현에 있어서 기존 RF 기반 통신으로 인한 기술적 한계점의 해결에 도움을 줄 수 있다. 재밍(Jamming) 방지 및 통신의 보안성 등 광무선 통신기술의 군 통신 활용의 장점을 정리하면 <Fig. 1>과 같다.

2.2 광무선 통신 방법 분석

군에 활용 가능한 광무선 통신 종류는 가시광 통신(VLC, Visual Light Communication), 라이파이(LiFi, Light-Fidelity), 광학 카메라 통신(OCC, Optical Camera Communication), 자유공간 광통신(FSO, Free Space Optics)으로 분류할 수 있으며 관련 내용을 정리하면 <Table 2>와 같다.

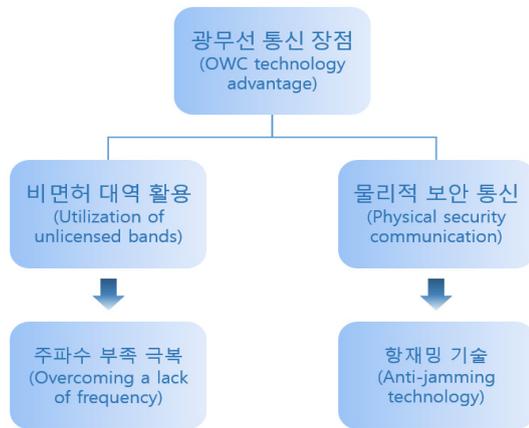


Fig. 1. Advantages of using optical wireless communication technology in the military

Table 2. Description of Optical Wireless Communication Technology [5-7]

OCW method	Technological description
VLC	The method of modulating data through the high switching speed of the LED light source
Li-Fi	The method of exceeding 1 Mbps data rate at the physical layer service access point.
OCC	Optical wireless communication using a camera image sensor as the receiver
FSO	Transmitting information over distances ranging from tens of meters to several kilometers using lasers.

송신기(Transmitter)는 주로 LED(Light Emitting Diode) 혹은 LD(Laser Diode)를 활용하고, 수신기(Receiver)는 주로 PD(Photo Diode) 혹은 카메라를 활용한다. 통신 방향성은 통신 방식에 따라 단방향(Unidirectional) 혹은 양방향성(Bidirectional) 통신이 가능하며, 이를 바탕으로 전송형태를 Multicast, Broadcast 방식으로 확장이 필요하다. 송·수신기의 종류 및 통신 방향성에 대하여 정리하면 <Table 3>과 같다.

Table 3. Optical wireless communication transmitter/receiver and communication directionality [8]

OCW method	Transmitter	Receiver	Directionality
VLC	LED/LD	PD/Camera	Unidirectional/Bidirectional
Li-Fi	LED/LD	PD	Bidirectional
OCC	LED	Camera	Unidirectional
FSO	LD	PD	Unidirectional/Bidirectional

광무선 통신의 방식에 따라 큰 차이가 나는 성능은 데이터 속도(Data rate)이다. 전송 속도는 송·수신기 선택과 통신 방법에 따라 수십 Mbps에서 백 Gbps 수준으로 달라진다. 명령어 전달 수준, 사진/영상 화질 수준에 따라 통신에서 필요로 하는 데이터 전송 속도는 다를 수 있다. 이상적인 환경조건에서 전송 속도 성능을 정리하면 <Table 4>와 같다. 하지만, 데이터 전송률은 송·수신기의 성능과 대기 환경조건에 영향을 크게 받아 실제로는 낮은 전송 속도를 갖는 한계점이 있다.

Table 4. Optical wireless communication data transmission speed [8]

OCW method	Data transmission speed
VLC	10Gbps using LED and 100Gbps using LD
Li-Fi	10Gbps using LED and 100Gbps using LD
OCC	55Mbps
FSO	40Gbps

광무선 통신의 방법별로 단점도 있다. 가시광 통신, 라이파이 방식은 소규모 커버리지(Coverage) 영역을 제공하며, 커버리지에 빈 공간이 생길 수 있다. 실외 환경

Table 5. Limitations of Optical Wireless Communications Classification [8]

OCW method	Limitations
VLC	<ul style="list-style-type: none"> - Mobility support not guaranteed - Small coverage area - Performance affected by environment condition - Poor performance in outdoor applications - May create coverage hole - Very limited NLOS communication
Li-Fi	<ul style="list-style-type: none"> - Small coverage area - Performance affected by environment condition - Poor performance in outdoor applications - May create coverage hole - Very limited NLOS communication
OCC	<ul style="list-style-type: none"> - Not for long range communications - Only low-data-rate applications - Only LOS communications
FSO	<ul style="list-style-type: none"> - Performance significantly affected by fog, snow, and dust - Suffers from transmitted-receiver misalignment - Only LOS communications

에서는 사용이 어렵다. 반면에 광학 카메라 통신, 자유공간 광통신 방식은 실외 환경에서 가능하지만, 가시선(LOS) 통신만 가능하여 송·수신기 정렬이 어려운 단점이 있다. 광통신의 종류별 한계점을 정리하면 <Table 5>와 같다.

광무선 통신의 방법에 따라 군 활용 통신 거리(Communication Distance)와 군에서 사용하기 적절한 분야가 다를 수 있다. VLC, LiFi, OCC 방식은 비교적 근거리 통신용으로 가까운 수 미터에서 수십 미터 수준에 적절하며, FSO 방식은 원거리 통신으로 이론적으로는 만 킬로미터 이상의 거리까지 가능하다. OCC 방식은 실제 실외 환경에서 사용하기 위해선 통신 거리 연장을 위한 기술이 요구된다. 앞서 제시한 광 무선통신 방법에 따른 성능과 한계점을 바탕으로 군 활용 가능한 분야를 제안하면 아래 <Table 6>과 같다. VLC, LiFi 방식은 주로 지휘소 내부에서 근거리 전술 통신에 적절하다. OCC, FSO 방식은 비교적 원거리에서 다양한 이동체의 무선 통신에 적합하다. 특히, FSO 방식은 초장거리 무선 통신에 유리하다. 군 사용 분야에 적합한 방식을 정리하고, 각 활용 환경에 맞는 광무선 통신의 특성을 분석하여, 군 통신 적용에서의 통신 성능을 개선하기 위한 연구도 요구된다.

Table 6. Optical wireless communication distance [8] and military available area

OCW method	Communication distance	Military available area
VLC	About 20 meters	Tactical communication inside the command post
Li-Fi	About 10 meters	Tactical communication inside the command post
OCC	About 60 meters	Ground, Naval, and Aerial weapon systems
FSO	More than 10,000 km	Ground, Naval, and Aerial weapon systems

2.3 광무선 통신 사용 환경 분석

광무선 통신은 사용 환경에 따라서 실내(Indoor) 환경과 실외(Outdoor) 환경으로 분류할 수 있고, 실외 환경은 다시 수중(Underwater) 영역, 육상(Terrestrial) 영역, 해상(Sea) 영역, 항공(Aero) 영역, 우주(Space) 영역으로 세부 분류할 수 있다.



Fig. 2. Classification of Optical Wireless Communication Usage Environments

실외 환경에서 사용 가능한 광무선 통신 방식에는 자유공간 광통신과 광학 카메라 통신이 가능하며, 필수적으로 통신 가시선 확보가 필요하다. 가시선 확보에 대한 방해 요소는, 상대적으로 우주에서 가장 적으며, 항공, 해상, 육상, 수중 순으로 점점 증가한다. 우주 영역은 가장 적은 가시선 방해 요소를 갖고 있다. 항공 영역은 고도가 올라가면 산악 등 지형적 요소로부터 적은 방해 받으며 통신 거리가 상대적으로 늘어날 수 있으나 기상의 영향을 더 받을 수 있다. 지상 영역은 건물, 언덕 수풀 등 지형적 요소의 영향을 받으며, 특히 도시에서 많은 물리적 장애물로부터 통신이 제한될 수 있다. 수중 영역은 부

Table 7. Application areas according to communication domains and LOS obstruction factors

Communication domains	Military application areas	LOS obstruction factors
Indoor environment	Tactical communication inside the command post	Indoor structures
Underwater domain	Underwater weapon systems : unmanned underwater vehicles	Low visibility due to underwater particulates
Terrestrial domain	Land weapon systems : unmanned combat vehicles, military ground robots	Buildings, Hills, Bushes, Weather
Maritime domain	Maritime weapon systems : unmanned surface vessels	Waves, Sea fog, Weather
Aerial domain	Aerial weapon systems : military drones	Mountains, Fog, Weather
Space domain	Space weapon systems : low earth orbit satellites	Space debris

유물로 인해 시야 확보가 어려운 점을 고려한다. 수중 부유물로 인해 낮은 탁도를 가질 수 있고 작전 해역마다 다른 부분이 있다. 이를 정리하면 <Table 7>과 같다.

공중 작전, 지상 작전, 해상/수중 작전, 도시 작전 등 다양한 작전에서 가시선 통신의 환경적 요소를 고려할 뿐만 아니라 적절한 주파수도 선택할 필요가 있다. 우주(Space)에서는 적외선 기반 광통신을 사용한다. 전파 통신기술 대비 보다 촘촘한 파동으로 압축하여 더 많은 데이터를 전송할 수 있다[9]. 공기(Air)가 매질인 공중 또는 해상, 지상 영역에서는 적외선 및 가시광선을 사용한다. 수중(Water)에서는 청록 레이저나 LED를 사용한다[10]. 청록색은 흡수와 산란이 적고 해수 투과율이 높아 수중 통신에 유리하다.

3. 네트워크 중심전과 광무선 통신

3.1 NCW 기술 변화와 광무선 통신 활용성

현대 군사 작전에서 네트워크 중심전은 점차 중요해지고 있다. 전장·감시 체계로 적의 동태를 먼저 파악하고, 지휘·통제 체계로 결정하여 정밀타격 체계로 적을 선제적으로 공격하여 섬멸하는 개념이다.



Fig. 3. Connectivity with each system in the NCW communication network

이에 따라 전장의 전투 효과 분석에 있어서 기동 화력 중심의 전투 평가뿐만 아니라 네트워크 중심에 대한 평가도 중요한 상황이다. 네트워크 중심전에서 선견(先見), 선결(先決), 선타(先打)의 순환 체계가 잘 수행될 수 있도록 목표 성능 분석 및 발전 방향을 제시하면 다음과 같다.

Table 8. Analysis of capabilities for the core components of NCW architecture [2]

System	Development direction
Information Surveillance Reconnaissance	Resolution : Meaningful target partial identification → Battlefield visualization
	Scope : Tactical dimension - Operational level - Strategic level
Command Control	Speed : Days/hours - Minutes/seconds - Real-time
	Scope : Tactical dimension - Operational level - Strategic level
Precision strike	Speed : Days/hours - Minutes/seconds - Real-time
	Accuracy : Approximately 85% within 10fts(Gulf War) → CEP≅0 level
	Platform:H/W·Hard Kill - PGM:S/W·Soft Kill
	Manned-semi-automated system - Unmanned-high intelligence-automated system

국방연구개발 예산을 10대 분야 30개 국방전략기술에 우선 투자하기로 되어있다[3]. 30개 국방전략기술에서 정보·감시·정찰과 지휘·통제에 관련된 기술을 정리하면 <Table 9>에 밑줄이 표시된 기술이다. 현재 기술 상황보다 기술환경 변화에 따른 미래 기술 상황을 고려한 SWOT 분석을 할 필요가 있다.

Table 9. SWOT analysis considering the top 10 defense strategic technology fields

Top 10 defense strategic technology fields
Artificial Intelligence, Manned-Unmanned Integration, Quantum, Space, Energy, Advanced materials, Cyber-network, Sensors, Propulsion, WMD response
30 national defense strategic technologies
<u>Intelligent battlefield awareness and assessment</u> , <u>Intelligent integrated command and decision</u> , <u>Smart war potential support</u> , <u>Defense AI platform / Manned-Unmanned Teaming</u> , <u>Autonomous mission execution</u> , <u>Next-generation warrior platform / Quantum cryptography communication</u> , <u>Quantum sensors / Space-based surveillance</u> , <u>Precision satellite navigation</u> , <u>Space domain awareness</u> , <u>Spacecraft / Directed energy</u> , <u>Next-generation power sources / High-performance semiconductors and electronic materials</u> , <u>Extreme environment structural materials</u> , <u>Specialized functional materials / Ultra-connected network</u> , <u>Cyber warfare defense</u> , <u>Metaverse training / Next-generation sensors</u> , <u>Sensor fusion</u> , <u>Electronic warfare response / Advanced engines</u> , <u>Hypersonic propulsion</u> , <u>Underwater propulsion / Missile defense</u> , <u>High-power precision strike</u> , <u>Intelligent chemical, biological, radiological, and nuclear (CBRN) defense</u>

↓
Analysis of future technological environment

SWOT analysis considering changes in future battlefield technology environment	
Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> Security Security assurance through physical concealment 	<ul style="list-style-type: none"> LOS communication communication requires LOS between transmitter and receivers
<ul style="list-style-type: none"> Unlicensed frequencies Resolving military frequency scarcity issue 	<ul style="list-style-type: none"> Dependency on Environment Signal attenuation due to atmospheric conditions, underwater turbidity, etc.
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> Technology integration Fusion of quantum communication, AI technology, sensor fusion, and directional energy technology applications 	<ul style="list-style-type: none"> Implementation difficulty Requires highly precise alignment technology between transmitters and receivers
<ul style="list-style-type: none"> Space networks Integration of FSO communication and space technologies for network expansion 	<ul style="list-style-type: none"> Technological limits Signal attenuation due to environmental factors has physical limits

향후 전장을 바꿀 기술들을 고려하여 광무선 통신에 대한 SWOT 분석을 수행하면, 미래 환경에서 광무선 통신의 강점, 약점, 기회, 위협 요소를 확인할 수 있다. 광무선 통신의 강점인 보안성은 향후 전자기전 대응에서 필요한 기술이다. 위협 요소인 기술 구현의 난이도는 지향성 에너지 기술의 레이저 조준 기술을 응용한다면 극복할 수 있을 것으로 사료된다. 양자 통신 기술과 융합은 더욱 보안성을 강화할 수 있으며, FSO 통신은 우주 기술과 융합하여 NCW 범위를 확장할 수 있다. AI 기술은 지휘·통제 체계를 효율적으로 구현하여 판단 시간을 최적화할 수 있으며, 융합된 센서의 고신뢰성을 바탕으로 정보·감시·정찰 체계에서 표적식별과 전장 가시화를 개선하는 데 도움이 될 수 있다. 이러한, 미래 전장 기술을 고려한 SWOT 분석을 통해 네트워크 중심전에서 광무선 통신 활용은 유리하다고 판단된다. 그러나, 현재 기술 수준에서 네트워크 중심전 문제 해결에 광무선 통신 방법이 어떠한 역할을 할 수 있는지 활용성에 대한 정리도 필요하다.

네트워크 중심전 구현에 기술적 문제와 해결 방안을 정리하면 (Table 13)과 같다. 광 파장은 비면허 대역에서 RF 기반 주파수 자원 한정 문제를 해결할 수 있고, 물리적 은닉성이 있어서 전파 교란 환경에서 네트워크 보안을 강화할 수 있는 장점이 있다. 또한, FSO 통신을 통해 우주 영역까지 네트워크를 확장할 수 있다. 그러나, 날씨 환경의 영향을 받는 것과 가시선 통신이 필요한 점

은 광무선 통신의 한계이다. 정보 과잉의 문제에서 정보 처리는 AI를 활용할 수 있으며, 제한된 대역폭 문제는 다중접속 방식 기술을 활용할 수 있다. 상호운용성 문제는 이종 시스템 간 표준화된 인터페이스를 활용한다.

Table 10. NCW Technical Restrictions Inquiry [11]

Restrictions Inquiry	Inquiry content
Information Overated	Abnormal results due to mission goal redefinition caused by excessive information
Overrated Underestimating the Adversaries	Security issues that may result in information being blocked
Interoperability	Operability issues when heterogeneous systems or other equipment are linked
Bandwidth Limitations	Users should not share limited bandwidth alternately
Connectivity to Space Dominance	Communication, navigation, video, missile early warning systems, etc. are required.



Proposing technical solutions

Table 11. Technical issues and solutions for NCW [11]

Problem	Solution
Excessive information issue	Increase in communication volume requires technological improvement, information processing utilizes AI technology
Network security and maintenance issue	Physical concealment, but network maintenance is affected by environmental factors
Issues with command transfer between heterogeneous systems	Standardization of interfaces between heterogeneous systems (STANAG 4586, ect.)
Bandwidth management issue	Utilization of multi-access technology (FDMA, TDMA, etc.)
Network maintenance in space domain	Networks can be maintained up to space range through FSO communication

본 장에서는 미래 기술환경 SWOT 분석 및 NCW 제한사항에 대한 기술적 해결 방안 제시하는 과정에서 미래 NCW에서 광무선 통신 활용성을 확인했다.

3.2 네트워크 중심전과 광무선 통신기술 관계도

네트워크 중심전에서 정보 격자망(Information Grid),

센서 격자망(Sensor Grid), 교전 격자망(Shooter Grid)은 통합된다. 정보 격자망이 센서 격자망과 교전 격자망을 연결하여 형성된 센서-슈터 복합체(Sensor to Shooters)로 센서와 슈터를 직접 이동시키지 않고 교전을 가능하게 한다[12]. 즉, 정보의 우위를 기반으로 한 군사 작전 개념으로 관측 센서, 결정-결집, 공격 행동을 통합 네트워크로 연결한 것이다. 네트워크 중심전에서 유기적인 센서-슈터 복합체를 구현하기 위한 필수적인 구성기술을 정리하면 <Table 12>와 같다.

Table 12. NCW-related Composition Technology [11]

Composition Technology	Content
Network architectures	Interoperable communication equipment and inter-platform connection structure technology
Radio bandwidth	Need to secure as wireless bandwidth usage and demand surges
Satellites	Inter-satellite communication and mobile communication over long distances required for image acquisition and location tracking
Unmanned vehicles	Utilize information delivery, surveillance, and message relay communication methods through UAV, UGV, UUV, etc.
Computer processor chip	Hardware chip technology related to improving network system processing power
Sensor	Low power usage and miniaturization trend, measuring surrounding environment and status information
Software	Software technology needed to build and operate a network
Artificial Intelligence	Analyzing intelligently gathered information through learning, reasoning, and resolution

네트워크 중심전과 관련된 주요 구성 기술은 '네트워크 구조', '무선 대역폭 기술', '위성 기술', '무인 이동체 기술', '컴퓨터 프로세스 칩 기술', '센서 기술', '운영 소프트웨어 기술', '인공지능 기술'로 구성할 수 있다.

'네트워크 구조 기술'은 네트워크 노드(Node) 간 연결 토폴로지(Topology)를 구성하고 데이터 전송을 위한 프로토콜(Protocol)을 정의하거나 보안성을 갖고 네트워크를 구성하는데 필요한 장비를 상호운용성을 지니도록 하는 기술이다. '무선 대역폭 기술'은 다중접속 방식, 변복조 방식, MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술 등이 있다. '위성 기술'은 전 지구적 커버리지를 갖

도록 하며, 정보·감시·정찰, 지휘·통제 체계에서 지리적인 한계를 극복하여 광범위한 수준에서 통신을 가능케 한다. '무인 이동체 기술'은 무인 항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicles), 무인 지상 이동체(UGV, Unmanned Ground Vehicles), 무인 수중 이동체(UUV, Unmanned Underwater Vehicles)를 타격체제로 활용할 수도 있지만, 통신 중계 수단으로 여러 계층의 멀티-티어(Multi-tier)를 구성할 수 있다.

'광무선 통신기술'은 '네트워크 구조 기술'에서는 통신 보안성을 갖도록 하는 데 도움이 될 수 있다. '무선 대역폭 기술'에서는 무선 네트워크 대역폭 부족 문제에 도움이 된다. '위성 기술'은 FSO 장거리 광무선 통신을 활용할 수 있다. '무인 이동체 기술'에는 FSO/OCC 통신을 활용할 수 있다.

'컴퓨터 프로세스 칩 기술'은 네트워크 처리 능력에 영향을 준다. 최근 칩 기술은 대부분 반도체 기술과 함께 발전하고 있다. '센서 기술'은 위치를 측위하고 적과 야군의 위치를 인지·감시하며, 적을 탐색·추적할 수 있도록 상황에 대한 정보를 확보할 수 있도록 하며, 송수신기에서 장착되어 통신에 도움을 준다. '소프트웨어 기술'은 네트워크를 관리하고 운영하며, 통신 프로토콜을 구현하는 데 활용된다. 현재는 SoC(System on Chip) 기술을 통해 컴퓨터 프로세스 칩에 내장되고 있다. '인공지능 기술'은 수집된 데이터를 분석·학습·추론하여 인간을 보조하여 판단 및 의사결정에 도움을 줄 수 있는 기술이다. 위성 영상 분석, 무인 이동체 자율주행, 임무 계획 및 할당 등 다양한 분야에서 기술의 상향된 성능을 갖도록 하는 데 도움을 준다.

'컴퓨터 프로세스 칩 기술'의 빠른 데이터 처리 속도로 광무선 통신의 신호처리 능력을 개선한다. '센서 기술'은 광무선 통신의 센서 한계를 보완할 수 있도록 다른 센서들과 융합할 수 있다. '소프트웨어 기술'은 신호처리 및 무선 네트워크를 관리하는 데 도움을 준다. '인공지능 기술'은 운용 소프트웨어에서 신호처리 및 최적화의 도움을 주며, 전반적인 모든 NCW 구성기술에도 도움을 준다.

네트워크 중심전에 관련된 구성기술과 광무선 기술의 관계를 도식화하여, 기술 간 상호관계를 정리할 수 있다. <Table 12>에서 제시된 기술을 바탕으로 필요한 주요 구성기술 및 광무선 통신과의 기술 관계를 표현하면 다음 <Fig. 4>와 같다. 화살표의 방향은 한 기술이 다른 기술의 성능 향상에 도움을 줄 수 있는 관계성을 나타낸다. 이를 구성기술 전체로 확장하여 분석하면, 전체 기술 간

상호 융합과 발전을 통해 네트워크 중심전의 기술이 진보할 것으로 사료된다. 기술의 상호관계에서 특정 기술들의 발전이 기반이 되어 전체 NCW 구현 성능을 향상할 수 있는지 과정을 파악할 수 있다.



Fig. 4. Technology Relationship between NCW Implementation Technology and Optical Wireless Communication

광무선 통신은 네트워크 중심전에서 부족한 주파수 대역 문제, 네트워크 보안 문제, 우주 네트워크 확장에 기여할 수 있다. 하지만, 광무선 통신 적용에서 기술적 제한사항에 네트워크 유지 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 간섭을 감소시키고 전송 거리를 향상하는 기술이 요구된다. 광무선 통신의 대기 환경 극복 기술과 비 가시선 통신에 대한 해결 방안을 정리하면 <Table 13>과 같다.

Table 13. Approaches to secure additional enhancement technologies

technical problem	improvement technology
Overcoming the Atmospheric Environment	<ul style="list-style-type: none"> • multi-sensor fusion • improved transmitter/receiver performance • environmentally optimized data select carrier (select frequency band)
NLOS(Non line of sight) communication	<ul style="list-style-type: none"> • communication using multi-hop • hybrid network configuration

일반 무선 통신에서 자유 공간 손실(Free Space Loss)은 신호 손실을 일으키는 주요 요인으로 송신기의 출력을 향상하거나 수신안테나 이득을 개선하거나 적합한 다중 센서 등을 적용할 수 있다. 이와 함께 비로 인한 신호 감쇠(Rain Fade), 대기 중에서 기체나 입자에 의한 흡수 감쇠(Absorption by Attenuation) 등은 광무선 통신에서 신호 손실을 일으키는 주요 요인이다. 대기 환경 극복을 위해서는 각 감쇠에 대한 ITU-R 문서 정보를 활용하거나 측정 데이터를 확보하여 사용 환경에 최적화된 데이터 캐리어를 선택해야 한다. 비 가시선 통신의 경우에는 멀티 홉(Multi-hop)을 활용한 통신을 하거나, 비 가시선 극복이 필요한 지역에서 다른 RF 통신 등과 하이브리드(hybrid) 네트워크를 구성할 수 있다.

현재 기동 화력이 주축이 된 플랫폼 중심전(PCW, Platform Centric Warfare)에서 미래 전장은 점차 네트워크 중심전으로 전장 패러다임이 변화하고 있다[13]. 이러한 전장 패러다임 변화에 따라 단일 플랫폼 기술이 아닌 네트워크 중심전에서 문제점을 파악하고 네트워크 구성에 필요한 기술을 확보하기 위한 노력이 중요하다. 본 기술 관계도 분석은 광무선 통신이 네트워크 중심전과의 기술 관계 속에서 광무선 통신 활용의 장점과 동시에 문제점과 해결 방안을 제시하고 네트워크 중심전의 발전에 광무선 통신이 기여할 수 있는 부분을 확인했다.

4. 결론

군 통신에서는 항재밍(Anti-Jamming) 기반 전술 통신기술이 중요하며, 광무선 통신기술은 네트워크 중심전에서 통신 보안성 문제를 해결 방안이 될 수 있다. 또한, 한정된 무선 RF 주파수 자원으로 인한 주파수 확보 문제도 함께 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

광무선 통신기술의 OCC와 FSO 방식은 비교적 실외 환경에서 활용할 수 있으나 가시선이 확보될 수 있는 상황에서 통신이 가능하다. 대기 공간(air)을 통신 전송 채널(channel)로 활용하다 보니 통신이 날씨나 대기 등 외부 환경 영향을 크게 받는다는 점이 가장 큰 한계 요소이다. 대기 상태가 항상 균일하기 어려우므로 광통신 굴절률(Refractive index)에 영향을 줄 수 있고, 날씨 변화는 광 무선통신의 성능에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 실외 작전 환경에서의 통신 채널 매질 특성을 고려하면 수중 영역은 VLC 방식, 해상·지상·공중 영역은 OCC·FSO 방식, 우주 영역은 FSO 방식으로 네트워크를 구성하는

접근방법이 적절할 것으로 생각된다. 제시된 영역별로 LOS 방해 요소 분석하여 광무선 통신 네트워크의 성능을 개선하기 위한 추가 연구도 향후 필요하며, 광무선 통신에서 발생할 수 있는 네트워크 유지 문제에 대해 대기 환경 극복 기술과 비 가시선 통신 등 해결 방안을 제시했다.

30개 국방 전략 기술을 고려한 SWOT 분석을 통해 미래 전장에서 광무선 통신의 필요성을 파악하고, 기술 관계도 분석을 통해 광무선 통신 활용의 장단점 및 해결 방안을 도출했다. 이를 바탕으로 광무선 통신기술이 어떻게 네트워크 중심전에서 활용할지 예상해볼 수 있다. 군사 작전에서 주파수 자원 한계극복과 통신의 물리적 은닉성을 지니는 광무선 통신은 향후 필요한 기술이다. 우주 영역까지 네트워크를 확장하기 위해서도 필요하다. 미래 전장에서 네트워크 중심전으로의 패러다임 변화는 여전히 유효할 것이므로, 광무선 통신은 미래 군 통신에서 필요할 것으로 생각된다. 아직은 민간에서 일부 활용되는 수준인 광무선 통신기술을 적극 군에 활용하기 위해서는 기초연구 투자를 확대해야 하며, 기술 발전에 따른 미래 신기술과 융합한다면 앞으로 광무선 통신은 미래 네트워크 중심전에서 점차 중요한 기술이 될 것으로 예상된다.

References

[1] H.L. Kim, *Development Direction for Korean Armed Force's C4I systems in Network-Centric Warfare*, Master's thesis, Department of Security Political science Graduate School of Security Administration Dongguk University, Seoul, Korea, pp11-21

[2] J.S. Hwang, H.H. Baek, "Military information and communication equipment technology/development trends for network-centric warfare", *Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol.19, No.4, pp.15-32, July 2008.

[3] J.S. Lee, "2023~2037 Defense Science and Technology Innovation Basic Plan", National Science and Technology Advisory Council, Department of Defense, Korea, pp.1-58, 2023.

[4] Y.I. Jun, M.J. Chu, K.C. Park, "Technology Trends on Broadband Optical Wireless Communication", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.19, No.6, pp.13-23, December 2004.
DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2004.I.190602>

[5] S.K. Lim, D.H. Kim, I.S. Jang, Y.J. Kim, T.G. Kang, "Technology Trends of Visible Light Communication Coupled with LED Illumination", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.25, No.4, pp.38-47, August 2010.
DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2010.I.250405>

[6] C.I. Yeo, Y.S. Heo, J.H. Ryu, M.S. Lee, H.S. Kang, S.W. Park, K.E.Kim, S.C. Kim, "Recent R&D Trends of Mobile FSO Technologies", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.33, No.6, pp.118-128, December 2018.
OI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2018.J.330612>

[7] Y.M. Jang, International standardization trends for visible light and optical wireless communications, *TTA Journal*, Vol.187, Korea, pp.70-76, 2020.

[8] Mostafa Zaman Chowdhury, Moh Khalid Hasan, Md. Shahjalal, Md. Tanvir Hossan, Yeong Min Jang, "Optical Wireless Hybrid Networks : Trends, Opportunities, Challenges, and Research Directions", *IEEE Communications Suveys & Tutorials*, Vol.22, No.2, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2020.2966855>

[9] C.I. Yeo, Y.S. Heo, S.W. Park, K.S. Kim, H.S. Kang, "Technology Trends in Space Optical Communications", *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol.38, No.2, pp.85-95, April 2023.
DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2023.J.380209>

[10] H.J. Son, J.I. Kang, Thieu Quang Minh Nhat, S.K. Kim, H.S. Choi, "Study on Underwater Optical Communication System for Video Transmission", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol.32, No.2, pp.143-150, April 2018. .
DOI: <https://doi.org/10.26748/KSOE.2018.4.32.2.143>

[11] Clay Wilson, *Network Centric Warfare : Background and Oversight Issues for Congress*, CRS Report for Congress, USA, pp.1-50, 2007.

[12] Y.S. Kwon, B.W. Ham, H.C. Kim, "Prospective Scheme of Network Based Battle Management System in AMD", *Journal of the KIMST*, Vol.9, No.4, pp.50-60, December 2006.

[13] J.Y. Lee, S.W. Shin, C.M. Kim, "Analysis of UGV Effectiveness Based on ABM(Agent Based Modeling) and Communication Network Environments", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.27, No.3, pp.89-97, July 2018.
DOI: <https://doi.org/10.9709/JKSS.2018.27.3.089>

서 경 준(Kyung-Jun Seo)

[정회원]



- 2017년 8월 : 부산대학교 기계공학부 (공학사)
- 2021년 8월 : 경북대학교 로봇 및 스마트시스템공학과 (공학석사)
- 2021년 11월 ~ 2022년 9월 : 한국산업기술기술평가원 전임연구원
- 2022년 9월 ~ 현재 : 국방기술진흥연구소 연구원

<관심분야>
기술기획