

TVWS 기반 과학화경계시스템 구축방안 연구*

신 규 용*, 김 유 석**, 백 승 원***

요 약

현재 우리 군은 다가오는 인구절벽에 대비하기 위해 인공지능(AI) 기반의 과학기술강군 육성을 목표 국방혁신 4.0을 추진 중에 있다. 특히 북한의 도발위협이 높아지는 현시점에 우리 군은 첨단기술을 활용한 과학화경계시스템 도입을 통해 병력결감을 도모하고 있다. 하지만 우리 군의 통합 전투능력을 보장하기 위한 핵심 기반통신체계인 전술정보통신체계(TICN)의 경우 전송 대역폭이 좁아 영상정보 송수신이 원활하지 않을뿐더러 보안 및 난청지역 발생 등의 이유로 평시 과학화경계시스템의 기반 네트워크로 활용하기에는 일부 제한적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문은 2017년부터 국내에서 무료로 활용할 수 있게 된 TVWS 기반의 무선네트워크 구축 기술을 활용해 TVWS 기반 과학화경계시스템 구축방안을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 TVWS 기반 과학화경계시스템의 경우 기존의 유선네트워크 기반의 과학화경계시스템과 비교해 작전공백 최소화, 구축비용 절감, 설치 및 운용의 탄력성 측면에서 다양한 장점을 가진다.

A Study on Establishing Scientific Guard Systems based on TVWS

Kyuyong Shin*, Yuseok Kim**, Seungwon Baik***

ABSTRACT

In recent years, the ROK military is promoting Defense Innovation 4.0 with the goal of fostering strong military based on science and technology equipped with artificial intelligence(AI) to prepare for the upcoming population cliff. In particular, at the present time of increased threats of North Korea, the South Korean military is seeking to deal with a decrease in military service resources through the introduction of a Scientific Guard System using advanced technology. TICN which is a core basic communication system to ensure the integrated combat capability of the ROK military is, however, limited to use as a based network for the emerging Scientific Guard System due to the narrow transmission bandwidth with widely spread poor reception area. To deal with this problem, this paper proposes TVWS-based Scientific Guard Systems with TVWS-based wireless network construction technology that has been available for free in Korea since 2017. The TVWS-based Scientific Guard System proposed in this paper, when compared to the existing wired network-based Scientific Guard Systems, has various advantages in terms of minimizing operational gaps, reducing construction costs, and flexibility in installation and operation.

Key words : TVWS, Wireless Network, Scientific Guard Systems, CCTV

접수일(2023년 09월 04일), 수정일(2023년 09월 16일),
게재확정일(2023년 09월 27일)

★ 본 논문은 육군사관학교 화랑대연구소의 2023년 연구활동비
지원을 받아 연구되었음.(연구번호: 2023A1005).

* 육군사관학교 컴퓨터과학과(주저자)

** (주)엔지이커넥트 대표

*** 육군사관학교 기계·시스템공학과(교신저자, sbaik@kma.ac.kr)

1. 서 론

현재 우리 군은 AI 과학기술강군 육성을 목표로 북핵·미사일 대응능력 획기적 강화, 군사전략·작전개념 선도적 발전, AI 기반 핵심 첨단전력 확보, 군구조 및 교육훈련 혁신, 국방 R&D·전력증강체계 재설계 등의 5대 중점을 기반으로 하는 국방혁신 4.0을 추진 중이다 [1]. 특히, 국방혁신 4.0의 핵심 중점 중 하나인 AI 기반 핵심 첨단전력 확보 측면에서는 새로운 유·무인 복합전투체계의 구축과 합동 전 영역 지휘통제(Joint All Domain Command and Control, JADC2) 등이 포함되어 있으며, 이는 새로운 개념의 무선 네트워크 개발을 그 골자로 하고 있다.

현재 우리 군은 통합 전투능력을 보장하기 위한 무선 네트워크 위주의 기반통신체계로서 전술정보통신체계(Tactical Information Communication Network, TICN)을 운용하고 있다[2]. 전술정보통신체계(TICN)는 한국군의 작전수행을 위해 전시 및 평시를 막론하고 전략적 또는 전술적 차원에서 지휘·통제·통신을 지원하기 위한 핵심체계이다. 하지만 와이브로(Wibro) 기반의 전술정보통신체계(TICN)의 경우 전송 대역폭이 좁아 영상정보 송수신이 원활하지 않을뿐더러 보안 및 난청지역 발생 등의 이유로 평시 과학화경계시스템에 활용은 제한적이다[2]. 따라서 평시에 과학화경계시스템에 활용할 수 있는 무선 네트워크 구축기술을 확보하는 것은 군은 전투력 증강에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

최근 사물인터넷(IoT) 기술의 발전으로 다양한 센서들을 연결하기 위한 무선 네트워크 구축기술도 속속 개발되고 있다[3-13]. 이때 사물인터넷을 구축하기 위해 무료로 사용할 수 있는 무선 네트워크 구축기술들에는 크게 단거리 통신을 위한 블루투스(Bluetooth), 지그비(ZigBee), 와이파이(Wi-Fi), 광무선통신(OWC [4, 5]), 초광대역(UWB) 통신 등의 기술[3-6]이 있으며, 장거리 통신을 위한 기술로는 로라(LoRa), 시그폭스(Sigfox), 와이선(WI-SUN) 등이 있다[7-13]. 이 기술들은 대부분 산업, 과학, 의료용으로 활용된 주파수 대역인 ISM(Industrial Scientific Medical) 밴드를 활용하고 있는데, 1GHz 이상의 ISM 주파수 대역을 사용하는 단거리 무선 네트워크 구축기술들은 전송용량은

높지만 통달 거리가 짧고, 1GHz 미만의 ISM 주파수 대역을 사용하는 장거리 무선 네트워크 구축기술들은 통달 거리는 길지만 전송용량이 낮다는 단점이 있다.

한편, 최근 ISM 밴드와 마찬가지로 무료로 활용할 수 있는 TVWS(TV White Space) 기술이 무선 네트워크 구축기술로 각광받고 있다[14]. TVWS 주파수는 디지털 TV(DTV)의 방송 대역인 채널 14~51번(470MHz~698MHz) 중 방송국 간의 간섭방지를 위해 지역적으로 사용하지 않고 비어있는 주파수 대역으로 기존 2.4 GHz 대역의 와이파이(Wi-Fi)보다 전파 도달 범위와 투과율이 우수하여 비가시권 및 넓은 커버리지(coverage) 확보가 가능하다. 국내의 경우 2013년 아날로그 TV의 DTV 전환되고, 2013년 10월 국립전파연구원이 표준을 마련하였으며, 2017년 TVWS 전파인증규격이 확정됨에 따라 TVWS의 상용 서비스가 본격적으로 시작되었다[15,16]. TVWS는 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11 WLAN, IEEE 802.15 WPAN 등 여러 표준 그룹에서 표준화를 진행[17-20]하였고, 국내에서도 TVWS 기반 휴대폰 무선중계시스템, 산간 오지마을에 대한 인터넷 서비스, 한강공원 무선 CCTV 실증 사업 등 다양하게 활용되고 있다.

본 논문은 TVWS 기술을 활용해 평시 군의 과학화경계시스템을 구축하는 방안을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 TVWS 기반 과학화경계시스템은 기존의 과학화경계시스템이 가지고 있는 ① 잦은 고장과 긴 고장 수리시간에 따른 경계작전의 공백 발생, ② 유선네트워크 구축을 위한 비용문제, ③ 감시장비를 설치 위치 및 감시장비 이동설치에 대한 경직성 문제를 해결할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 사물인터넷(IoT) 기술과 관련하여 다양한 무선 네트워크 구축기술을 소개한다. 3장에서는 TVWS 기반 무선 네트워크 구축기술을 소개하고, 국내 도입사례에 대해 살펴본다. 4장에서는 TVWS 기반 과학화경계시스템 구축방안을 제안하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

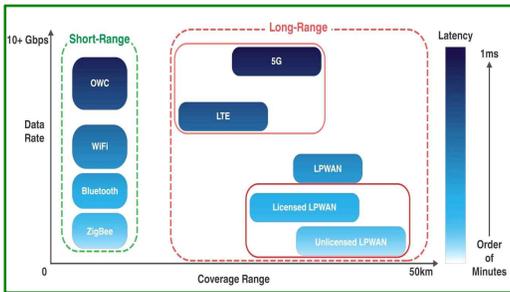
2. 무선 네트워크 구축기술 소개

이번 장에서는 사물인터넷(IoT) 기술과 관련하여

다양한 무선 네트워크 구축기술을 소개한다.

2.1 무선 네트워크 구축기술 개요

일반적으로 사물인터넷을 지원하기 위한 무선 네트워크 구축기술들에는 (그림 1)에서 보는 바와 같이 크게 단거리 통신을 위한 블루투스(Bluetooth), 지그비(ZigBee), 와이파이(Wi-Fi), 광무선통신(OWC), 초광대역(UWB) 통신 등의 기술이 있으며 장거리 통신을 위한 기술로는 5G, LTE, LPWAN(Low Power Wide Area Network) 기술 등이 있다[3]. 본 논문은 무료로 활용할 수 있는 기술에 초점이 맞춰져 있으므로 상용통신기술인 2G/3G/4G, LTE, 5G 등의 기술은 제외한다.



(그림 1) 무선 네트워크 구축기술 [3]

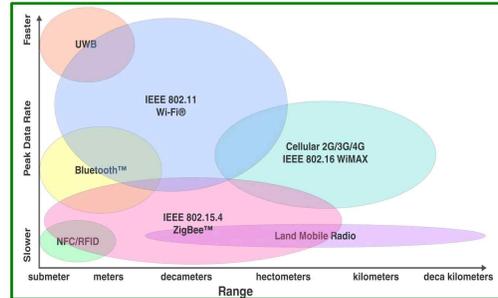
2.2 단거리 무선 네트워크 구축기술

앞서 설명한 바와 같이 단거리 무선 네트워크 구축 기술에는 블루투스(Bluetooth), 지그비(ZigBee), 와이파이(Wi-Fi), 광무선통신(OWC), 초광대역(UWB) 통신 등이 있다.

블루투스(Bluetooth)는 휴대폰, 노트북, 이어폰/헤드폰 등의 휴대기기를 연결하여 통신하는 근거리 무선 통신기술 중 하나이다. 블루투스는 2.4 GHz 대의 ISM 대역 사용하며 통상 100m 이내에서 1Mbps~3Mbps의 전송속도를 제공한다. 블루투스 4.0부터는 Bluetooth Low Energy(BLE) 스펙이 추가되면서 전력 소모를 최소화한 저전력 통신을 지원한다.

지그비(ZigBee)는 저속, 저비용, 저전력의 무선 망을 위한 기술로 주로 양방향 무선 개인 영역 통신망(WPAN) 기반의 홈 네트워크 및 무선 센서망에 사용되는 기술이다. 지그비(ZigBee)는 일반적으로 블루투스(Bluetooth)와 마찬가지로 2.4 GHz 대의 ISM 대역

을 사용하지만 다른 무선랜 등과의 간섭을 피하기 위해 유럽은 868MHz, 미국은 915MHz를 사용하기도 한다. 지그비(ZigBee)는 통상 100m 이내에서 250Kbps 전송속도를 지원한다.



(그림 2) 단거리 무선 네트워크 구축기술
(출처 : <https://ensxoddl.tistory.com/33>)

와이파이(Wi-Fi)는 전자기기들이 무선랜(WLAN)에 연결할 수 있게 하는 기술로서 주로 2.4 GHz 및 5 GHz ISM 무선 대역을 사용한다. 와이파이(Wi-Fi) 표준은 IEEE 802.11b/a/g/n/ac/ax 등 다양하며 일반적으로 대략 100m 이내에서 최대 10Gbps의 속도를 지원할 수 있다.

광무선통신(OWC)은 적외선(IR) 또는 자외선(UV)을 이용하여 신호를 전달하는 광통신의 한 형태이다. 적외선(IR) 통신의 경우 소비자 IR(Consumer IR) 또는 소비자 적외선(CIR)이라 불리며 무선통신을 위해 전자기 스펙트럼의 적외선 부분을 사용하는 통신이며 가시광선 통신(VLC)은 가시광선(주파수 400~790 THz / 파장 780~375 nm의 빛)을 전송 매체로 사용하는 통신이다. 통상 가시광선 통신(VLC)은 사람의 눈에 영향을 거의 주지 않으면서 정보를 전달하기 위해 LED(Light Emitting Diode) 및 LD(Laser Diode)의 변조된 광학적 신호를 사용한다[4, 5].

마지막으로 초광대역(Ultra-Wideband, UWB) 통신기술은 고주파수에서 전파를 통해 작동하는 단거리 무선통신 프로토콜이다. 초광대역(UWB) 통신기술은 3.1GHz~10.6GHz의 주파수 범위에서 약 500MHz의 대역폭을 사용하며 매우 정밀한 공간 인식과 방향성이 특징이다. 대한민국 정부는 초광대역(UWB) 통신을 위해 3.1~4.8GHz와 7.2~10.2GHz, 그리고 6.0~7.2GHz 대역을 할당했다[6].

2.3 장거리 무선 네트워크 구축기술

2.2절에서 설명한 단거리 무선 네트워크 구축기술은 2.4GHz ISM 주파수 대역이나, 3.1GHz~10.6GHz의 UWB 대역, 혹은 가시광선, 적외선(IR), 자외선(UV) 등 GHz 이상의 주파수 대역을 이용하여 네트워크를 구성한다. 따라서 전송용량은 상대적으로 높으나 통달 거리는 상대적으로 짧은 특징이 있다. 이에 반해 저 전력 광역 무선 네트워크(Low Power Wide Area Network, LPWAN) 구축기술은 1GHz 이하의 주파수 대역을 활용하여 장거리 통신을 가능하게 한다. 현재 대표적인 장거리 무선 네트워크 구축기술에는 로라(LoRa), 시그폭스(Sigfox), 와이선(WI-SUN) 등이 있다[7-11].

로라(LoRa)는 장거리 통신을 의미하는 Long Range의 약자이며 미국의 반도체 기업인 Semtech, 네덜란드의 KPN, 스위스의 Swisscom 등을 중심으로 2015년 2월에 결성된 로라 얼라이언스(LoRa Alliance)에서 표준화되었고, 프랑스 및 네덜란드 등 유럽을 중심으로 표준화 및 확장이 이루어지고 있다. 로라(LoRa)는 800~900MHz 대역의 ISM 주파수를 사용하는 기술로서 야외에서 10마일(16Km) 이내에서 최대 50Kbps의 전송속도를 지원한다. 로라(LoRa)는 전력 소모가 많은 3G나 LTE 등 기존 이동통신망과 달리 저전력으로 장거리 통신이 가능한 방식이다. 또한, 3G나 LTE에 비해 낮은 인프라 구축비용과 높은 확장성을 갖고 있다. 국내에서는 SK텔레콤이 국가망으로 920MHz 대역을 통해 서비스하고 있다.

시그폭스(Sigfox)는 원래 프랑스 라베주에 본사를 둔 프랑스 기업으로 2009년에 설립되었다. 시그폭스(Sigfox)는 로라(LoRa)와 마찬가지로 ISM 주파수(유럽 868, 미국 915MHz)를 활용해 통신을 지원하며 야외에서 40Km 이내에서 100bps의 전송속도를 지원한다. 국내에서는 아모에스넷(AMO-SNet)이 2019년 사물인터넷(IoT) 전용 기간통신사업자 자격 취득 이후 4월까지 수도권과 주요 도시 중심으로 약 450개의 기지국을 설치하는 등 시그폭스(Sigfox) 전국망 구축을 추진하고 있다.

와이선(Wireless Smart Utility Network, WI-SUN)은 스마트그리드와 연계하여 전기, 수도, 가스 등의 공급자와 소비자가 무선 네트워크를 이용하여

효율적으로 관리할 수 있는 IEEE 802.15.4g 표준 무선 통신 기술로서 로라(LoRa)나 시그폭스(SigFox)와 마찬가지로 ISM 주파수 대역(917MHz~923MHz)을 활용하여 통신을 지원한다. 와이선(WI-SUN)은 로라(LoRa) 및 시그폭스(Sigfox) 보다 데이터 전송 속도가 빠르다는 특징이 있다. 또한, 와이선(WI-SUN)은 메시(mesh) 구조를 가지기 때문에 기지국에 의존하지 않고, 밸런스(balance)가 좋은 무선통신 규격이므로 사물인터넷(IoT) 시장에서 가장 적용 범위가 넓은 무선 통신 기술 중의 하나라고 할 수 있다[13].

2.4 무선 네트워크 구축기술 소결론

지금까지 살펴본 바와 같이 무료로 무선 네트워크를 구축하기 위한 기술들은 대부분 ISM 밴드를 활용하고 있다. 이때 1GHz 이상의 주파수 대역을 사용하는 기술들은 전송용량은 높지만 통달 거리가 짧고, 1GHz 미만의 주파수 대역을 사용하는 기술들은 통달 거리는 길지만 전송용량이 낮다는 단점이 있다. 이에 더하여 기존의 ISM 밴드 기반의 무선통신 기술들 대부분은 지형 및 기상 에 의한 통신장애 혹은 전송 성능의 저하가 크다는 단점이 있다. 이런 이유로 지금까지 설명한 무선 네트워크 구축기술들을 우리 군의 과학화경계시스템에 직접 활용하는 것은 적합하지 않다. 하지만 다음 장에서 설명할 TVWS 기반의 무선통신 방식은 장애물 및 날씨에 상관없이 고속 통신을 보장하며, 혹독한 환경에서도 안정적으로 과학화경계시스템을 지원할 수 있다. 따라서 TVWS 기반의 무선네트워크를 구축하고 네트워크 관제 시스템을 연동하여 통신망 관제를 자동화한다면 안정적인 네트워크 관리가 가능하고, 나아가 경계 작전의 부담을 경감시킬 수 있을 것이다.

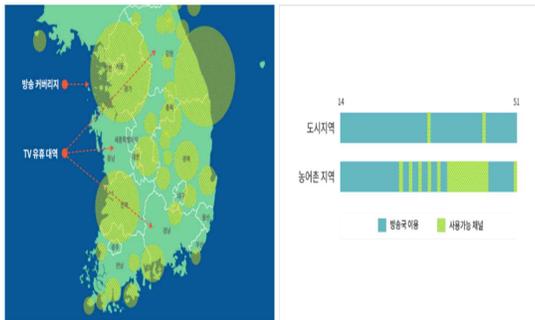
3. TVWS 기반 무선 네트워크 구축 기술

이번 장에서는 평시 우리 군의 과학화경계시스템에 활용할 수 있는 TVWS 기반 무선 네트워크 구축기술 및 국내 도입사례에 대해 살펴본다.

3.1 TVWS 소개

TVWS 주파수는 디지털 TV(DTV)의 방송 대역인

채널 14~51번(470MHz~698MHz) 중 방송국 간의 간섭방지를 위하여 지역적으로 사용하지 않는 주파수 대역이다. TVWS 주파수는 기존 2.4 GHz 대역을 사용하는 와이파이(Wi-Fi)보다 전파의 도달 범위와 투과율이 우수하여 비가시권 및 넓은 커버리지(coverage) 확보가 가능하고, 데이터베이스(DB)에 접속해서 가용 채널을 받아 이용할 수 있다[14].



(그림 3) TVWS 개념도 및 지역별 TVWS 사례
(출처 : <https://www.tvws.kr/info.do>)

TVWS 주파수는 (그림 3)에서 보는 바와 같이 지역별로 비어있는 채널이 서로 상이하며 가용 채널도 사용 중인 TV 방송의 보호를 위해 소규모 지역에 한정하여 활용할 수 있다. 국내의 경우 2013년 아날로그 TV의 DTV 전환되고, 2013년 10월 국립전파연구원이 IETF의 PAWS-draft-06에 기초하여 국내 PAWS 표준을 마련하였으며, TVWS 주파수 DB와 TVWS 대역에 접속하여 사용하기 위한 기기(TV Band Device, TVBD) 간 연동서비스를 정의하였다. 이에 따라 2016년부터 국립전파연구원이 TVWS 가용 채널 검색 시스템을 제공하였고, 2017년 TVWS 전파인증 규격이 확정됨에 따라 TVWS의 상용 서비스가 본격적으로 시작되었다[15,16].

3.2 TVWS 무선통신 표준

TVWS는 저대역 주파수를 이용함에 따라, 고대역 주파수를 이용하는 무선 네트워크 구축기술들과 비교해 볼 때 전파 도달 거리가 길고, 전파의 투과성 등이 우수하다는 장점이 있다. 현재 TVWS는 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11 WLAN, IEEE 802.15 WPAN

등 다양한 표준그룹에서 표준화를 진행하고 있다[17].

3.2.1 IEEE 802.22 WRAN

IEEE 802.22는 VHF와 UHF 텔레비전(TV) 주파수 스펙트럼의 공백을 사용하는 무선지역통신망(Wireless Regional Area Network, WRAN) 표준이다[18]. IEEE 802.22 WRAN 표준은 인지 무선(Cognitive Radio) 기술을 사용하여 텔레비전 방송 서비스에 할당되었지만 지리적으로 사용되지 않는 스펙트럼을 비간섭 기반으로 공유하여 광대역 액세스를 제공하는 것을 목표로 한다. 농촌은 전형적으로 인구밀도가 높지 않으므로 시의적절하게 그리고 전 세계적으로 폭넓게 적용할 수 있는 잠재력이 있다. IEEE 802.22는 비간섭 기반에서 TV 대역을 기회주의적으로 사용하기 위해 인지 무선(CR) 기술을 기반으로 표준화된 무선 인터페이스를 정의하려는 세계 최초의 노력이라 할 수 있다. IEEE 802.22는 100Km에 이르는 무선지역통신망(WRAN)을 구축하기 위한 표준으로서 인구밀도가 낮은 지방 지역에서 모바일 브로드밴드용으로 활용하기 위한 기술로 이해할 수 있다.

3.2.2 IEEE 802.11af WLAN

IEEE 802.11은 무선랜 혹은 와이파이(Wi-Fi)라고 부르는 무선 근거리 통신망(LAN) 또는 무선 네트워크에 사용되는 표준 규격으로 IEEE의 LAN/MAN 표준 위원회(IEEE 802)의 11번째 워킹그룹(working group)에서 개발된 표준기술을 의미한다. IEEE 802.11 표준기술 중에서 IEEE 802.11af는 54~790MHz 사이의 VHF와 UHF TV 화이트 스페이스(TVWS)에서 무선 인터넷을 가능하게 하는 무선표준 기술로서 슈퍼 와이파이(Super Wi-Fi)로도 불린다. IEEE 802.11af는 기존의 와이파이(Wi-Fi)보다 통달 거리가 3~4배 이상 높고, 투과율은 9배, 커버리지 면적은 16배 이상 확장될 수 있는 것으로 알려져 있다[19]. IEEE 802.11af는 고주파 대역을 활용하여 전송 거리가 짧은 기존의 와이파이(Wi-Fi) 서비스를 보완하기 위한 기술로 TVWS 특성상 주파수 비용이 들지 않으며 기존의 와이파이(Wi-Fi)에 비해 상대적으로 저주파 대역을 사용하기 때문에 전파의 도달거리가 길

어 넓은 지역을 커버할 수 있는 것이다.

3.2.3 IEEE 802.15.4m WPAN

IEEE 802.15.4는 LR-WPAN(Low-Rate Wireless Personal Area Networks)을 위한 무선통신 표준이다. 이 중에서 IEEE 802.15.4m 표준은 2013년 저속 무선 개인 영역 네트워크(WPAN)를 위해 제안되었다. IEEE 802.15.4m 표준은 TVWS를 지원하고, 주파수 편이 키잉(Frequency Shift Keying, FSK), 직교 주파수 분할 다중(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), 협대역(NB)-OFDM 등 다양한 물리계층 변조 방식을 지원하며 변조 방식에 따라 다양한 속도를 가진다[20]. 특히, TVWS-OFDM 데이터 전송속도는 1.56Mbps로 다른 변조 방식에 비해 높은 데이터 속도를 지원하기 때문에 더 높은 품질의 서비스를 구현하는데 활용할 수 있다. IEEE 802.15.4m 표준은 자동차 텔레매틱스, 물류 관리, 지능 검침 시스템, 원격 자산 관리 시스템, 판매관리시스템(POS) 및 보안 관련 분야 등 다양한 사물통신(Machine-to-Machine, M2M) 용도로 활용할 수 있는데 기존 이동통신이나 와이파이(Wi-Fi)보다 비용 측면에서 훨씬 유리하다. 또한, IEEE 802.15.4m 표준은 감시(surveillance) 서비스를 제공하는 데에도 효과적인데 기존의 3G처럼 네트워크가 혼잡할 때 동영상 전송을 위해 품질을 떨어뜨릴 필요가 없으며 와이파이(Wi-Fi)와 같이 거리 제한이 크지 않기 때문이다. 802.15.4m은 에너지 통신망으로 국내 사업이 전개되고 있다.

3.3 국내 TVWS 무선 네트워크 구축사례

국내의 경우 2017년도부터 TVWS가 본격적으로 활용되기 시작되었으며 현재는 지자체를 중심으로 다양한 서비스를 개발하고 확대하는 추세이다.

첫 번째 사례로 충청북도 제천시는 2015년 당시 미래창조과학부가 추진한 2015년 ‘지자체협력 복지증진 TVWS 시스템 구축 지원 사업(주관: 한국전파진흥협회)’에 공모하여 2016년 제천시 한수면 황강리 및 한천리 마을에 TVWS 기술을 활용해 인터넷을 공급하는 「TVWS 기술을 활용한 산간 오지마을 인터넷 서비스」 사업에 성공했다[30]. 두 번째 사례로 평창군은 2021년 공공안전과 주민 편의 증진을 위한 TVWS 기

반 사물인터넷(IoT) 서비스 구축사업을 완료하고 본격적으로 운영하고 있다[31]. 세 번째 사례로 현대건설은 2021년 9월 국내 최초로 TVWS를 활용한 무선통신 기술을 도입해 별내선 복선 전철 공사 현장에서 실증에 성공함으로써 건설 현장 내 통신 사각지대를 해소해 안전성을 높인 바 있다[32]. 네 번째 사례로 (주)엔지아커넥트는 2022년 서울시 테스트베드 사업자로 선정돼 한강사업본부와 함께 강서, 가양, 여의도 한강 공원에서 TVWS 통신 기반으로 별도 전기통신 배선 없이도 설치 가능한 태양광 기반 CCTV 스마트 폴인 NZIA ESG Pole 플랫폼을 활용한 한강 공원 무선 CCTV 실증 사업을 수행하였다[33]. 마지막으로 강원도는 2022년 7월 26일 대형 산불로 인한 이동통신 기지국 전소를 대비해 TVWS를 이용한 휴대폰 무선중계시스템 개발 사업을 착수했다. 강원도는 2024년까지 3년에 걸쳐 동해안 6개 시군(고성·속초·양양·강릉·동해·삼척) 소방차 50대에 소형 무선기지국을 탑재하고, 이동차량형 무선중계기 1대와 동해안 6시군 12개소에 고정형 무선중계기를 구축할 예정이다[34].

4. TVWS 기반 과학화경계시스템 구축방안

이런 장에서는 최근 육군에서 추진하고 있는 GOP(General Outpost) 과학화경계시스템 및 주둔지 경계용 CCTV 사업을 소개하고, 문제점을 분석하며, 기존 시스템에 대한 대안으로 TVWS 기반 과학화경계시스템 구축방안을 제안한다.

4.1 과학화경계시스템 개요

육군에서는 GOP와 주둔지에 대한 경계시스템을 현대화하기 위해 GOP 과학화경계시스템 구축사업과 주둔지 경계용 CCTV 구축사업을 추진하고 있다.

4.1.1 GOP 과학화경계시스템 구축사업

GOP 과학화경계시스템은 경계작전 강화를 목적으로 추진되어 2006년에 시범사업으로 시작된 이래 2016년까지 약 1,669억의 예산이 투입되어 전력화되었고, 2017년부터 운영하고 있다[23].

GOP 과학화경계시스템은 (그림 4)에서 보는 바와

같이 근거리 및 중거리 카메라로 구성된 감시(Surveillance) 시스템, 광신호 손실 및 절단 등에 따른 이상 신호를 감지하는 감지(Sensor) 시스템, 그리고 감시 및 감지시스템을 제어하고 각종 상황을 파악하고 통제하는 통제(Control) 시스템으로 구성된다[23,24]. GOP 과학화경계시스템은 과학화 체계를 통해 경계작전의 주체인 병력을 절감하고, 첨단장비를 활용해 효과적인 경계작전 임무를 수행할 수 있다는 점에서 긍정적인 평가를 받고 있다[24].



(그림 4) GOP 과학화경계시스템 구성도

(출처 : <https://www.joongang.co.kr/article/9649463#home>)

하지만 2022년 국민의힘 임병헌 의원이 육군으로부터 제출받은 “GOP 과학화경계시스템 고장 및 수리 현황자료”에 따르면 2017년부터 2022년 6월까지 과학화경계시스템에서 감시카메라 고장, 광망 감지시스템 고장, 통제시스템 고장 등 총 811건의 고장이 발생한 것으로 나타나 성능개선이 요구되어왔다. 현재 방위사업청은 2023년부터 2026년까지 4,875억 원을 투자하여, GOP 과학화경계시스템 성능개량 사업을 추진 중이다[35].

4.1.2 주둔지 경계용 CCTV 구축 사업

주둔지 경계용 CCTV 구축사업은 2003년 군수참모부에서 제기한 탄약고 과학화 경계사업에서 시작되었고, 2014년 및 2017년 1·2단계 전력화 사업이 추진되었다[26].

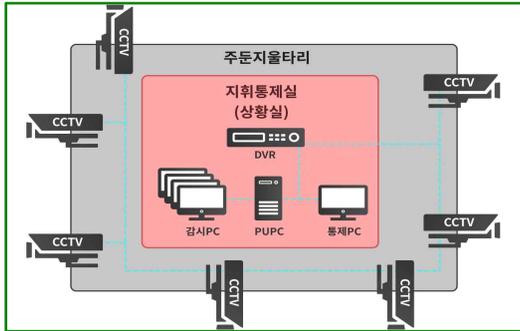
하지만 우리 군의 과학화 경계시스템 도입에도 불구하고 2020년 제주 해군기지, 진해 해군사관학교, 그리고 수방사 방공진지 등 잇단 민간인 침입 사건들이 발생하자 2020년 4월 국방부장관 주관으로 주둔지 경계력 향상을 위한 대책 토의가 이루어졌고, 주둔지 경계시설 및 장비보강을 위한 예산 건의가 이루어진다. 그

결과 2020년 40억 원이었던 해안 및 주둔지 경계 예산이 2021년 1,968억 원으로 2020년 예산 대비 1,928억 원(4,820%) 대폭 인상되었다[27]. 즉, AI 기술을 접목한 CCTV를 전 국토해안 및 주둔지 경계에 설치함으로써 경계 임무 인력을 줄이고, 육안 경계로 인한 기존 경계작전의 취약점을 보완하겠다는 것이다. 이에 육군은 2021년부터 유·무인 복합 과학화 경계시스템 구축을 통해 경계의 질적 향상 및 선견·선결·선타가 가능하도록 주둔지 과학화 경계시스템 발전방안을 모색하였다. 즉, 지능형 감시장비 도입을 통해 울타리 전방의 이동물체를 탐지(감시)하고, 탐지된 물체를 가시화 및 지능형 분석 장비와 연계해 위협요소를 구별(식별)하며, 주둔지 침입 시도가 발생하면 드론과 감시카메라 등을 통해 추적하고 방송 장비 등을 활용해 경고(추적·경고)한다. 또한, 식별된 물체에 대해 감시병들에게 팝업(Pop-up) 기능 등을 통해 자동으로 경고하고, 필요할 경우 지휘관(자)의 결심을 거쳐 기동타격대 출동 여부를 결정한 뒤, 유·무인 동시 타격을 통해 검거함으로써 주둔지 경계력을 보장한다.

이와 관련해 육군은 2021년 군(軍) 경계 강화를 위한 주둔지 경계용 CCTV 구축사업에 1,097억 원을 투입하였다[36]. (그림 5)는 주둔지 경계용 CCTV 설치사업의 개념도를 보여준다.

4.1.3 기존 과학화경계시스템 한계

앞서 설명한 GOP 과학화경계시스템 구축사업과 주둔지 경계용 CCTV 구축사업은 최신 과학화경계시스템을 통해 GOP 및 주둔지 경계작전의 주체인 병력을 절감하고, 첨단장비를 활용해 효과적인 경계작전 임무를 수행할 수 있다는 점에서 고무적이지만 몇 가지 문제점을 가지고 있다.



(그림 5) 주둔지 경계용 CCTV 개념[25]

먼저 첫 번째 문제는 잦은 고장과 긴 고장 수리시간에 따른 경계작전의 공백 발생이다[28]. 국민의힘 이재익 의원실에 따르면 과학화 경계시스템 구축이 완료된 2016년 이후 2020년 6월까지 GOP 철책 지역에서 총 454건의 장비 고장이 발생했다. 이 가운데 철책에 설치된 감지 센서 및 유선망 관련 감지시스템 고장이 219건으로 가장 많았고, 감시카메라 등 감시 시스템 및 통제시스템이 고장 난 경우도 있었다. 특히, 과학과 경계시스템의 평균 고장 수리시간은 2015년 2.9일, 2016년 1.4일, 2017년 1일, 2018년 1.9일, 그리고 2019년 51.2일로 고장에 따른 작전공백이 크다는 것을 확인할 수 있다[37]. 이는 대부분 감시 시스템과 감지시스템이 유선으로 연결되어 있어 고장 발생 시 고장 위치를 바로 찾지 못해서 발생한 측면이 크다. 따라서 고장의 빈도와 수리 기간 단축을 위한 방안이 필요하다.

두 번째 문제는 GOP 및 주둔지 과학화 경계시스템을 설치하기 위해 광케이블 설치 등 유선네트워크 구축을 위한 비용문제이다. 일례로 유선 CCTV 설치를 위해서는 광케이블 매설 토목비 등 유선망 연결을 위해 CCTV 가격의 3~5배의 비용이 발생하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 실내의 경우 CCTV를 설치할 때 배선환경이 충분해 기존 네트워크를 활용할 경우 비용이 많이 발생하지 않겠지만 야외에 설치하는 경우 통제실까지 배선 및 통신망 설치를 이한 공간확보, 토목공사, 유선 설치비용 등 막대한 설치비가 발생한다[29]. 특히 군부대의 경우 대부분 산간오지에 분포하고 있기 때문에 GOP 및 주둔지에 과학화경계시스템을 설치하기 위해서는 상당한 비용이 발생할 수밖에 없다. 또한,

앞서 설명한 바와 같이 유선에 손상이 발생하였을 경우 복구 비용도 상당하다. 따라서 비용 절감을 위한 대안이 필요하다.

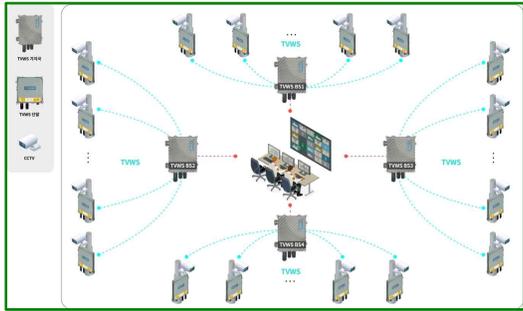
세 번째 문제는 유선 방식의 과학화 경계시스템의 경우 CCTV 등의 감시장비를 설치 위치 및 감시장비 이동설치에 대한 경직성이다. 즉, 유선방식의 경우 감시장비와 통제실 사이에 반드시 전원과 통신선로가 매설되어야 하므로 주전원 및 주 통신선으로부터 거리가 멀거나 전선 및 통신선로의 매설이 불가능한 지역의 경우 설치가 제한된다. 또한, 한번 설치한 감시장비의 경우 다른 장소로 이동하여 설치하려면 또다시 전원 및 통신선로 설치공사가 요구된다. 따라서 전시에 주둔지가 이동한다든지, GOP나 해안선에서 적의 주 침투 및 공격 예상로가 변경되는 상황이 발생하면 전원 및 통신선로를 새로 매설해야 하므로 추가적인 비용이 발생할 수밖에 없다. 따라서 자유로운 위치선정 및 신속하고 저렴한 이동설치를 위한 방법이 필요하다.

4.2 TVWS 기반 과학과경계시스템 구축방안

기존의 유선 방식의 GOP 과학화경계시스템 구축사업과 주둔지 경계용 CCTV 사업의 경우 4.1.3절에서 살펴본 바와 같이 다양한 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이번 장에서는 3장에서 살펴본 TVWS 기술을 활용한 무선방식의 과학화경계시스템 구축방안을 제안한다. 이때, GOP 과학화경계시스템 구축사업의 경우 무기체계 사업으로 진행되고 있기 때문에 본 논문에서는 전력지원체계 사업으로 진행되고 있는 주둔지 CCTV 구축사업을 대상으로 TVWS 기반 과학화경계시스템 구축방안을 제안한다.

4.2.1 TVWS 기반 과학화경계시스템

본 논문에서는 현재 육군에서 추진하고 있는 주둔지 경계용 무선 CCTV 구축사업을 육군사관학교에 TVWS 기반 과학화경계시스템으로 전환하여 구축하는 것으로 가정하였다. 편의상 이 체계를 TVWS 기반 주둔지 경계용 무선 CCTV 체계로 칭한다.



(그림 6) TVWS 기반 주둔지 경계용 무선 CCTV(개념)

(그림 6)에서 보는 바와 같이 TVWS 기반 주둔지 경계용 무선 CCTV 체계는 기본적으로 육군에서 추진 중인 주둔지 경계용 CCTV 구축사업과 큰 틀에서 동일하다. 다만 기존에 광케이블 중심의 유선네트워크로 구축되었던 개념을 3장에서 설명한 TVWS 기반의 무선 네트워크로 대체하는 개념이다. 이번 연구에서 우리는 ㈜엔지아○○○의 TVWS 단말기인 NZC-A 모델과 NZC-B 모델을 활용해 TVWS 기지국(BS)과 가입자 태내 장치(CPE)를 구성하는 것으로 가정하였다. ㈜엔지아○○○의 NZC-A 모델과 NZC-B 모델을 사용하는 경우 20Km 이내의 거리에서 최대 32Mbps (8M BW 기준)의 전송속도를 지원할 수 있다. FHD급 CCTV를 사용하는 경우 최소 3Mbps의 전송속도가 요구된다는 점을 고려하여 하나의 TVWS 기지국(BS)에 평균 7개의 가입자 태내 장치(CPE)를 서비스하는 개념으로 TVWS 기반 주둔지 경계용 무선 CCTV 체계를 구축한다고 가정하였다. 따라서 육군사관학교에 학교 외곽을 감시하기 위한 주둔지 경계용 무선 CCTV를 구축하는 경우 (그림 6)에서 보듯이 4개의 TVWS 기지국(BS)의 설치만으로 약 28개의 CCTV를 설치할 수 있다.

4.2.2 무선네트워크 보안취약점 극복 방안

TVWS 기반의 주둔지 경계용 무선 CCTV 체계는 기존의 광케이블 중심의 유선 네트워크를 TVWS를 활용한 무선 네트워크로 전환하여 구축하는 개념이다. 이때, TVWS 기반의 무선 네트워크를 활용하는 경우 군에서 사용하는 경우 보안에 취약할 수 있다. 따라서 무선구간에 대한 구간 암호화 기술을 적용할 필요가 있

다. 본 논문에서는 구간 암호화를 구현하기 위해 국가 정보원 한국형 암호모듈 검증제도(KCMVP[21])를 통과한 ㈜○○시큐리티의 M○○○○ V0.0.0을 적용하는 것으로 가정하였다. 참고로 국군방첩사령부에서는 2024년부터 모든 암호장비 및 모듈에 대해 방첩사에서 제공하는 암호키를 주입하여 사용하는 것을 의무화하는 방안을 검토 중이다.

4.3 TVWS 기반 과학과경계시스템 장점

본 논문 제안하는 TVWS 기반 과학과경계시스템은 기존의 과학화경계시스템의 단점인 ① 잦은 고장과 긴 고장 수리시간에 따른 경계작전의 공백 발생, ② 유선 네트워크 구축을 위한 비용문제, ③ 감시장비를 설치 위치 및 감시장비 이동설치에 대한 경직성 문제를 해결할 수 있다.

첫 번째로 TVWS 기술을 활용해 무선 CCTV를 설치하는 경우 고장의 범위를 CCTV, TVWS 단말기, 통제 서버 등 모듈 단위로 한정 및 관리할 수 있으므로 고장의 원인을 쉽게 찾을 수 있고, 모듈 단위로 교체하거나 수리할 수 있으므로 고장수리를 위한 경계작전의 공백을 최소화할 수 있다. 즉, 유선 통신 방식의 경우 통신 장애 발생 시 전문가가 통신 케이블 점검, 통신 장비 점검, 신규 선로 포설 등의 복구 작업을 진행해야 하므로 복구에 많은 시간이 소요되지만, TVWS 기반 무선통신의 경우 장애 발생 요소가 '장비 고장' 한 가지로 단순하다. 따라서 장애 발생 시 장애가 발생한 장비를 교체하는 것만으로 통신망 복구가 가능하기 때문에 신속한 조치가 가능하여 경계작전의 공백을 최소화할 수 있다.

두 번째로 TVWS 기반의 무선 네트워크 구축비용은 광케이블 기반의 유선네트워크 구축 비용에 비해 5~9배 저렴하다. 예를 들어 <표 1>은 최근 공고된 대표적 유선 네트워크 구축사업인 2023년 강릉○○대학교 ○○캠퍼스 광케이블 공사(공고번호 : 20230717272-00), 문경시 자가 통신망 케이블 공사(공고번호 : 20230408600-00), 그리고 ㈜엔지아○○○의 TVWS 단말기인 NZC-A 모델과 NZC-B 모델을 활용해 무선 네트워크를 구축할 때의 공고가 및 예상금액이다. <표 1>에서 보는 바와 같이 1Km에 CCTV를 하나 설치한다고 가정했을 때 TVWS 기반 무선 네트워크를 구축

하는 것이 광케이블을 포설하는 것에 비해 5~9배 저렴한 것을 알 수 있다. 실제로 육군사관학교 영내에 TVWS 기반 무선 CCTV 17대와 관계 시스템을 설치하는데 약 3억 원 정도만 소요되었다는 점을 고려해보면 유선 방식의 CCTV 구축사업과 비교해 얼마나 많은 비용을 절감할 수 있는지 실감할 수 있다.

<표 1> 유무선 통신망 구축예산 비교

구 분	총거리 (Km)	통신망 구축예산	
		(원)	(원/Km)
강릉○○대	4,624	84,000,000	18,166,090
문경시	11,502	175,000,000	15,214,745
NZC-A	10,000	19,000,000	1,900,000
NZC-B	10,000	26,500,000	2,650,000

마지막으로 TVWS를 활용해 무선 CCTV를 설치하는 경우 CCTV 설치 위치에 거의 제한이 없다. 특히 태양열 발전 및 배터리 결합형 폴을 활용하는 경우 별도의 전원공급이 없어도 상시운영이 가능하므로 산악 및 암석 지역과 같은 곳에서도 자유롭게 설치할 수 있다. 또한, 전원 및 통신망 매설이 필요 없으므로 필요시 자유롭게 위치를 변경할 수 있다. 따라서 감시장비를 설치 위치 및 감시장비 이동설치에 대한 경직성 문제를 쉽게 해결할 수 있다. 이와 같은 감시장비의 설치 및 이동의 유연성은 인구절벽 시대에 줄어드는 경계인력을 무인 감시장비로 대체함으로써 경계작전의 공백을 줄이고 작전 효율을 높이는데 기여할 수 있다.

5. 결 론

TVWS의 경우 주로 2.4GHz의 ISM 주파수를 활용하는 근거리 무선 네트워크 구축기술인 블루투스(Bluetooth), 지그비(ZigBee), 와이파이(Wi-Fi) 등에 비해 비교적 장거리 통신이 가능하고, 1GHz 이하 대역의 ISM 주파수를 활용하는 중장거리 무선 네트워크 구축기술인 로라(LoRa), 시그폭스(Sigfox), 와이선(WI-SUN) 등에 비해 전송용량이 크다는 장점이 있다. TVWS의 경우 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11 WLAN, IEEE 802.15 WPAN 등 여러 표준 그룹에서 표준화를 진행하고 있으며 국내에서는 IEEE

802.11af 기반의 무선 네트워크 구축기술이 일반적으로 활용되고 있다. IEEE 802.11af는 고주파 대역을 활용하여 전송 거리가 짧은 기존의 와이파이(Wi-Fi) 서비스를 보완하기 위한 기술로 TVWS 특성상 주파수 비용이 들지 않으며 기존의 와이파이(Wi-Fi)에 비해 상대적으로 저주파 대역을 사용하기 때문에 전파의 도달거리가 길어 넓은 지역을 커버할 수 있는 특징을 가지고 있다.

본 논문에서는 TVWS 기술을 활용해 주둔지 CCTV 구축사업과 연계한 평시 과학화경계시스템 구축방안을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 TVWS 기반 과학화경계시스템의 경우 기존의 유선 방식의 과학화경계시스템의 단점인 ① 잦은 고장과 긴 고장 수리시간에 따른 경계작전의 공백 발생, ② 유선네트워크 구축을 위한 비용문제, ③ 감시장비를 설치 위치 및 감시장비 이동설치에 대한 경직성 문제를 해결할 수 있다는 장점이 있다.

단, 현재까지 국내에서 개발된 TVWS 기반 무선 네트워크의 경우 고정형 가입자 맥내 장치(CPE)를 활용하고 있기 때문에 기동성을 보장할 수 있는 TVWS 기반 과학과경계시스템을 구축하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다. 즉, 현재 고정형 및 상시진원형으로 개발되어있는 가입자 맥내 장치(CPE)에 대한 소형화를 통한 개별 전투원들이 기동 간 사용할 수 있는 TVWS 에그(Egg)를 개발하여야 한다. 따라서 향후 우리는 TVWS 기반 이동형 무선 네트워크 구축을 위해 소형 TVWS 에그(Egg) 및 차량형 이동형 지휘통제 플랫폼 개발을 위해 노력할 것이다.

참고문헌

- [1] 국방혁신 4.0, 대한민국 국방부, 2023. 2.
- [2] 박태웅, 한현진, “한국군 기반통신망 분석 및 발전 방향 : 지상군 중심으로”, 국가안보와 전략 제 20 권 제 2호, 2020.
- [3] Jie Ding, Mahyar Nemati, Chathurika Ranaweera, and Jinho Choi, “IoT Connectivity Technologies and Applications: A Survey”, IEEE Access Vol. 8, pp. 67646 - 67673, 06 April 2020.

- [4] 장영민, “가시광 및 광무선통신에 대한 국제 표준화 동향”, TTA 저널 187호, 2020.
- [5] 김종원, 강태규, 정명애, “가시광 통신 표준 및 기술 동향”, 주간기술동향 통권 1400호, 2009.
- [6] 김현옥, 임종태, “UWB 기술과 응용 분야”, 정보통신기획평가원 주간기술동향 2021. 4.
- [7] Mahmoud Shuker Mahmoud and Auday A. H. Mohamad, “A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications”, *Advances in Internet of Things*, Vol. 6 No. 2, April 2016.
- [8] Mahmoud Elkhodr, Seyed Shahrestani and Hon Cheung, “EMERGING WIRELESS TECHNOLOGIES IN THE INTERNET OF THINGS: A COMPARATIVE STUDY”, *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)* Vol. 8, No. 5, October 2016.
- [9] Bharat S. Chaudhari, Marco Zennaro, Suresh Borkar, “LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations”, *Future Internet* 2020.
- [10] 윤정현, 김승구, “IoT를 위한 저전력 통신 기술의 성능 평가”, *멀티미디어학회 논문지* 제24권 제9호, 2021. 9.
- [11] 행정안전부 및 한국정보화진흥원, “정부사물인터넷 도입 가이드라인”, 2019.
- [12] 박태준, 이계선, 정운철, 최병철, 방효찬, “LPWA 기반 IoT 전용 네트워크 기술동향”, *전자통신동향분석* 제 32권 제 1호 2017. 2.
- [13] 선연수, “Wi-SUN과 소전력 무선 모듈 기술 동향”, *테크월드(TECHWORLD)*, 2019, 9. <https://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=91927>.
- [14] 송홍중, “사물인터넷 서비스 확대를 위한 청풍호, 소양호 TVWS 전과간섭 영향 모의실험”, *전자공학회 논문지* 제58권 제8호, 2021. 8.
- [15] 문학룡, 변상철, 김광호, 변경석, 고자경, “스마트 시티용 무료 데이터 통신 TVWS 무선 모델과 운영시스템 기술 개발”, *한국건설기술연구원 2017년도 중소·중견기업 수요기반 기술사업화 지원사업 최종보고서*, 2019. 12.
- [16] 한대철, 문학룡, 김용석, 정도영, 변경석, 간길호, 고자경, “엣지컴퓨팅 기술과 인공지능 기반의 독립형 영상정보 관리장비 개발”, *한국건설기술연구원 2020년도 중소·중견기업 수요기반 기술사업화 지원사업 최종보고서*, 2020. 12.
- [17] 김재환, 오미경, 신철호, 최상성, “TV White Space WPAN 표준기술 동향”, *정보와 통신 (Information and Communications Magazine)* 제30권 제5호, 2013.
- [18] 김창주, “IEEE 802.22 WRAN 표준기술”, *한국전자과학회지* 제24권 제5호 2013, 9.
- [17] 이진학, 김감영, “화이트 스페이스를 활용한 슈퍼 와이파이 시설의 효율적 배치를 위한 공간 입지 모델링”, *대한지리학회지* 제48권 제2호 2013.
- [20] Alberto Gallegos Ramonet, Taku Noguchi, “IEEE 802.15.4 Now and Then: Evolution of the LR-WPAN Standard”, *ICTACT Transactions on Advanced Communications Technology (TACT)* Vol. 8, Issue 3, May 2019
- [21] 신규용, 이원우, 김동욱, “5G 기반 증강현실 통합 지휘통제플랫폼 구축 및 활용방안 연구”, *디지털콘텐츠학회논문지(J. Dcs)* Vol. 21, No. 5, pp. 855-864, May 2020
- [22] 김찬혁, 남지희, 원동훈, 차영균, “제로 트러스트를 활용한 육군 AMOS 체계 보안성 향상 방안”, *한국군사학논집* 제79집 제2권 2023년 6월.
- [23] 박태웅, 김태호, 한현진, “GOP 과학화 경계시스템에 대한 평가와 개선방안 : 지휘관 및 참모 대상 설문조사 결과를 중심으로”, *한국국방경영분석학회지* 제46권 제2호, 2020. 12.
- [24] 이호찬, 문미남, 박승현, 신규용, “레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 효과분석 : 약천후 시 실험 결과를 중심으로”, *융합보안논문지* 제 23 권 제2호, 2023.
- [25] 신의수, 김태현, 차지은, 한재경, “육군 차세대 경계시스템의 효율적 운용방안 연구”, *한국군사학논집*, 제 77권 제 2호, 2021. 6.
- [26] 한국방위산업진흥회, “중요시설경계시스템 1차 사업 착수”, *국방과 기술*, 456, 2017.2
- [27] 기획재정부, “국민 삶을 개선하는 특색사업 60선”,

- 2021년 예산안, 2020. 9.
- [28] 박태웅, 김태호, “GOP 과학화 경계시스템에 관한 운용자 인식과 발전방향 연구”, 군사과학연구지 제14권 제 1호, 2022. 6.
- [29] 권지섭, 김동환, 한성화, “무선 기반 지능형 CCTV”, 한국정보통신학회 2022년 추계 종합학술대회 논문집, 2022.
- [30] 윤교근, “오지에 인터넷 되네”...제천, 혁신제품 테스트 앞장, 세계일보, <https://www.segye.com/newsView/20201117512082?OutUrl=naver>, 2020.
- [31] 신현태, 평창 산책로 등 8곳 공공와이파이 설치, 강원도민일보, <http://www.kado.net/news/articleView.html?idxno=1065075>, 2021.
- [32] 신다혜, 현대건설 TV주파수 활용해 지하터널 통신 사각지대 해소, Insight Korea, <http://www.insightkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=99556>, 2022.
- [33] 이상원, 엔지아커넥트 'TVWS 기술' 신기술 인증 획득, 전자신문, <https://www.etnews.com/20220209000217>, 2022.
- [34] 이인희, 강원도 TVWS 활용 휴대폰 무선중계시스템 개발 착수, 전자신문, <https://www.etnews.com/20220726000240>, 2022.
- [35] 김태식, GOP 과학화경계시스템 “공식 고장만 811건”, 시사매거진, <http://www.sisam2580.com/news/articleView.html?idxno=243626>, 2022.
- [36] 엄호식, 육군 군경계 강화 위한 주둔지 경계용 CCTV 사업, 재심사 결과는?, 보안뉴스, <https://www.boannews.com/media/view.asp?idx=100364>, 2021.
- [37] 박지은, 이채익 의원 “군 일반전초(GOP) 경계시스템 하루 1.5회꼴 막통”, 굿모닝경제, <http://www.goodkyung.com/news/articleView.html?idxno=126315>, 2020.

[저 자 소 개]



신 규 용 (Kyuyong Shin)
 1996년 03월 육군사관학교 학사
 2000년 02월 한국과학기술원 석사
 2009년 12월 노스캐롤라이나
 주립대학교(NCSU) 박사
 email : kyshin@kma.ac.kr



김 유 석 (YuSeok Kim)
 2005년 03월 안양대학교 학사
 2020년 05월 엔지아커넥트 대표
 email : poplinux0@gmail.com



백 승 원 (Seungwon Baik)
 2008년 03월 육군사관학교 학사
 2013년 01월 서울대학교 석사
 2022년 01월 노스캐롤라이나
 주립대학교(NCSU) 박사
 email : sbaik@kma.ac.kr