

레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 효과분석 : 악천후 시 실험 결과를 중심으로*

이 호 찬*, 신 규 용**, 문 미 남***, 곽 승 현****

요 약

북한에 의한 위협이 증대되고 있는 엄중한 안보 상황에서 우리 군은 첨단기술을 활용한 GOP 과학화 경계시스템의 성능개량 사업을 통해 병력 절감 효과를 추구하고 있다. GOP 과학화 경계시스템이 인구절벽에 따른 병역자원 감소에 대한 효과적인 대안이 되기 위해서는 높은 탐지 및 식별률이 보장되어야 하고, 오탐율을 획기적으로 개선함으로써 병력의 개입이 최소화되어야 한다. 그런데, 現 GOP 과학화 경계시스템의 경우 양호한 기상환경에서는 비교적 높은 탐지 및 식별률을 보장하지만, 강우 및 안개 등의 악천후 상황에서의 성능은 다소 부족한 것으로 알려져 있다. 이를 극복할 수 있는 대안으로 악천후 시에도 물체를 탐지할 수 있는 레이더 기반 경계시스템이 하나의 대안으로 제시되고 있는데, 본 논문은 2021년 신속시범획득사업을 통해 00사단에서 운용 중인 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 악천후 상황에서의 효과성을 검증하고 이를 통해 향후 GOP 과학화 경계시스템의 발전 방향을 제시한다.

Efficacy analysis for the AI-based Scientific Border Security System based on Radar : focusing on the results of bad weather experiments

Hochan Lee*, Kyuyong Shin**, Minam Moon***, Seunghyun Gwak****

ABSTRACT

In the face of the serious security situation with the increasing threat from North Korea, Korean Army is pursuing a reduction in troops through the performance improvement project of the GOP science-based border security system, which utilizes advanced technology. In order for the GOP science-based border security system to be an effective alternative to the decrease in military resources due to the population decline, it must guarantee a high detection and identification rate and minimize troop intervention by dramatically improving the false detection rate. Recently introduced in Korean Army, the GOP science-based border security system is known to ensure a relatively high detection and identification rate in good weather conditions, but its performance in harsh weather conditions such as rain and fog is somewhat lacking. As an alternative to overcoming this, a radar-based border security system that can detect objects even in bad weather has been proposed. This paper proves the effectiveness of the AI-based scientific border security system based on radar that is being currently tested at the 00th Division through the 2021 Rapid Acquisition Program, and suggests the direction of development for the GOP scientific border security system.

Key words : Border Security System, Radar, Detection & Identification, Fog & Fain, AI

접수일(2023년 05월 15일), 수정일(2023년 06월 02일),
게재확정일(2023년 06월 12일)

★ 본 논문은 2023년 육군사관학교 화랑대연구소와 노바코스의 지원에 의해 연구되었음.

* 육군사관학교 물리화학과(주저자)

** 육군사관학교 컴퓨터과학과(교신저자)

*** 육군사관학교 수학과(공동저자)

**** 육군사관학교 수학과(공동저자)

1. 서 론

국가통계포탈에 따르면 2020년 33만 명이던 남성 20세 중위 추계인구는 2065년에는 약 15만 명에 불과할 것으로 전망된다[1]. 이러한 추세에서는 병력 위주의 GOP 경계시스템은 유지되기 어렵기에 군은 4차 산업혁명 기술을 활용한 과학과 경계시스템 도입을 통해 병역자원 감소에 대응하는 노력을 기울이고 있다[2].

병역자원 감소에 효과적으로 대응하기 위해 2006년부터 운용해온 GOP 과학화 경계시스템은 경계부대 장병의 피로도를 낮추고, 경계작전을 효율성을 높일 수 있다는 점에서 긍정적인 평가를 받고 있지만[3], 높은 오탐율과 잦은 고장에 따른 신속한 유지보수가 제한된다는 한계를 가지고 있다[4, 5]. 이러한 문제를 해결하기 위해 군은 4차 산업혁명 핵심기술을 활용한 GOP 과학화 경계시스템 성능개량 사업을 추진하고 있는데 특히, 2021년 방위사업청 신속시범획득사업을 통해 레이더 기반의 AI 과학화 경계시스템을 도입하여 00사단에서 시범적으로 운용하고 있다[6].

레이더는 전파(radio wave)를 사용하여 물체의 위치, 속도, 이동 방향 등을 탐지한다. 특히 긴 파장을 이용하는 레이더 시스템은 비, 안개 같은 다양한 기상 조건에 거의 영향을 받지 않기에 상대적으로 기상 조건에 취약한 카메라에 비해 악천후 상황에서도 비교적 오류가 적다[7]. 이런 특성으로 인해 레이더는 기상 조건의 제한 없이 기능을 발휘해야 하는 다양한 분야에서 활용되고 있는데, 악천후 상황에서도 공항 관제를 위한 공항 지상감시 레이더와[8] 구름 및 황사 조건에서도 지표면에 대한 자료를 효과적으로 획득하는 다목적 실용위성(아리랑 5호)이 그 대표적인 예이다[9]. 최근에는 자율주행 차량에 적용되어 나쁜 기상 조건에서도 운전자와 ADAS(Advanced Driver Assistance System)가 차량 주변의 환경을 실시간으로 정확하게 인지할 수 있게 되었다[10]. 또한, 본 연구에서 살펴볼 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 경우 다양한 기상 조건에서 경계작전을 공백 없이 수행하기 위해 기존 광학카메라 위주의 시스

템에 레이더를 추가하는 방안이 제시되어 시범 도입 및 운용되고 있다

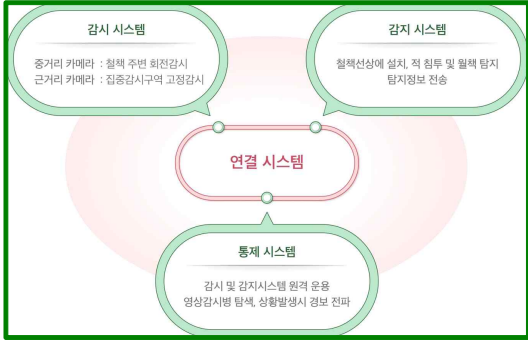
이처럼 인공지능 및 레이더 기술 등을 활용한 GOP 과학화 경계시스템의 성능개량을 통해 탐지율 및 식별률을 높이고, 오탐율을 낮춤으로써 병력 절감이라는 과학화 경계시스템의 도입 목적을 달성할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 따라서 본 논문에서는 안개, 강우와 같은 악천후 시 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 객체 탐지성능을 실제 안개 및 강우를 조성한 환경에서 객관적인 방법으로 검증하고, 이를 통해 악천후 상황을 고려한 GOP 과학화 경계시스템의 미래 발전방안을 제시하고자 한다. 이때 AI를 활용한 객체 식별보다 레이더와 연동된 광학 시스템의 탐지확률에 초점을 맞추어 성능을 검증하려 하는데 그 이유는 4.3절에서 논할 예정이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 선행연구를 통해 기존 GOP 과학화 경계시스템의 특징과 한계점에 대해 간략히 살펴본다. 3장에서는 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 특징 및 기존 과학화 경계시스템과의 차이점을 설명하고, 4장 및 5장에서는 각각 악천후 상황에서 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 성능평가 방법 및 성능평가 결과를 제시한다. 마지막으로, 6장에서는 본 연구에서 도출된 시사점을 바탕으로 향후 GOP 과학화 경계시스템의 성능개선을 위한 방향을 제시하고자 한다.

2. 現 GOP 과학화 경계시스템

한국군은 병력 감소에 유연하게 대처하고 첨단 과학기술을 접목하여 경계작전의 효율성을 높이기 위해 2006년 00사단에서의 시범사업을 시작으로 현재까지 전체 GOP 사단에서 과학화 경계시스템을 운용하고 있다[3]. 現 GOP 과학화 경계시스템은 아래의 (그림 2-1)과 같이 감시시스템(Monitoring system), 감지시스템(Detection system), 통제시스템(Control system)으로 구성된다[2].

감시시스템은 주로 근거리 및 중거리 카메라를 이용하여 철책 주변을 감시하고 움직이는 객체를



(그림 2-1) 과학화 경계시스템 구성요소[2]

탐지, 경보, 추적한다. 감지시스템은 철책에 설치된 광망을 이용해 철책의 절단 또는 월책을 감지하여 경보를 전달한다. 마지막으로 통제시스템은 감시 및 감지시스템을 제어하고 경계시스템 전반을 조정 및 통제하는 임무를 수행한다.

과학화 경계시스템의 도입으로 경계부대 장비의 피로도 및 경계작전을 효율성을 높일 수 있었으나 다소 높은 오탐율, 잦은 고장 및 시스템 오류, 유지보수의 문제, 약천후(강우 및 안개 등) 시 운용 제한 등의 한계를 가지고 있는 것으로 평가되고 있다[4, 5]. 그러나, 과학화 경계시스템을 실제 운용하고 있거나 운용했던 경험자들은 과학화 경계시스템을 이용한 경계작전 시 약천후 및 야간 상황에서 감시 및 감지를 매우 중요하게 생각하고 있는데[3], 이는 약천후 시 감시 성능이 일부 제한되는 現 과학화 경계시스템의 보완점을 시사하는 것이다.

이런 한계점들을 극복하기 위해 다양한 연구에서 기존의 과학화 경계시스템에 이미지 기반의 인공지능(AI) 기술을 접목하거나([4]), 다중 복합센서를 경계시스템에 도입하자는 제안([11]), 그리고 새로운 경계시스템 운용개념을 도입하는 방안([12]) 등이 제시되고 있으나 약천후 상황 극복을 위한 명확한 해법을 제시해 주지는 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 2021년 방위사업청 신속시범획득사업(민간개발 무기체계를 방위사업청에서 구매하여 軍 현장에서의 시범 운용을 통해 활용성을 확인하는 사업)[13]에 선정되어 전방 00사단에서 시범 운용하고 있는 ‘레이더 기반 AI 과학화 경계

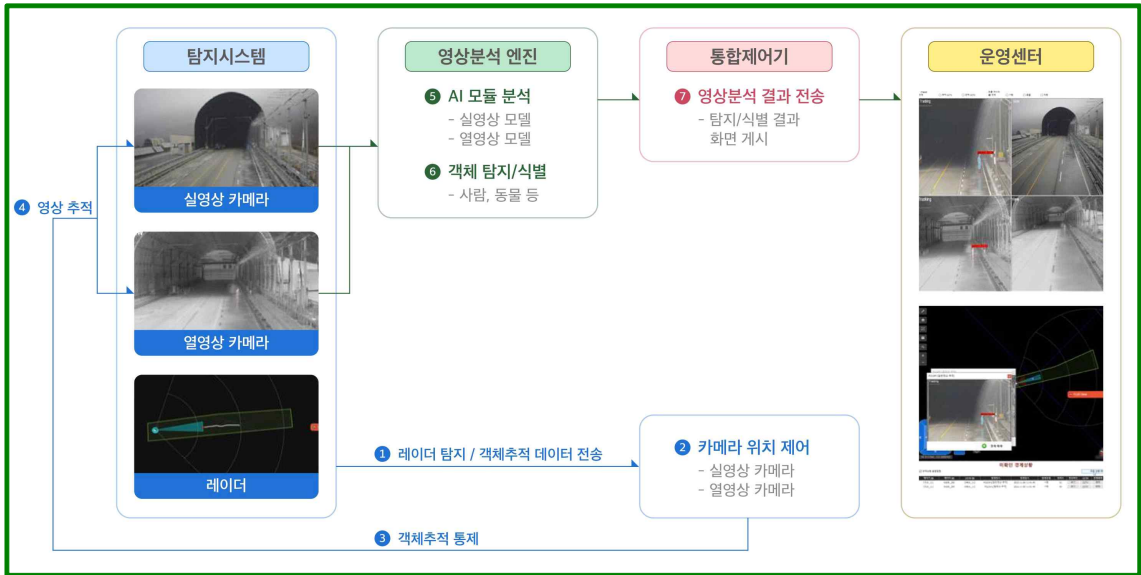
시스템’의 약천후 상황 성능평가를 통해 향후 GO P 과학화 경계시스템의 약천후 시 작전능력 향상을 위한 발전방안을 제시하고자 한다.

3. 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템

(그림 3-1)과 같이 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템은 탐지시스템, 영상분석 엔진, 통합제어기, 그리고 운영센터로 구성된다. 탐지시스템은 <표 3-1>과 같이 500m의 탐지거리 내 최대 255개의 물체를 탐지할 수 있는 5.8GHz C-밴드 레이더와 FHD급 이상의 실영상 카메라, 그리고 SD급 열영상 기능이 포함된 UHD급 카메라로 구성된다. 레이더 경계시스템 작동은 탐지시스템의 C-밴드 레이더가 ① 움직이는 객체 탐지 시 통합제

<표 3-1> 탐지시스템 구성

구분	형상	특징
레이더		<ul style="list-style-type: none"> · 주파수 대역 : 5.8GHz · 탐지거리 : 최대 500m · 탐지표적 수 : 최대 255개 · 방위각 범위 : 120° / 30° · 방진방수 : IP 67 · 운용온도 : -32 ~ 43℃
실영상 카메라		<ul style="list-style-type: none"> · 해상도 : 1920×1080 · Zoom(Optical) : > 36배 · 좌우회전 : 360° · 상하회전 : ±90° 이상 · 방진방수 : IP 67 · 운용온도 : -32 ~ 43℃
열영상 + 실영상 카메라		<ul style="list-style-type: none"> · 열영상 해상도 : 640×480 · 실영상 해상도 : 3048×2160 · Zoom(Digital) : 4배 · Zoom(Optical) : > 36배 · 방진방수 : IP 66 · 운용온도 : -32 ~ 43℃
탐지 시스템 (통합)		



(그림 3-1) 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 운용 절차

어기로 객체추적 데이터를 전송하면서 시작된다. ② 통합제어기는 탐지시스템의 두 카메라를 제어해서 ③ 객체추적을 통제한다. ④ 각 카메라는 전달받은 객체 위치에 대한 영상추적(Zoom-in)을 시작하고 획득한 영상을 영상분석 엔진으로 보낸다. ⑤ 이후 영상분석 엔진에서는 지도학습 기반의 YOLO v4 엔진과 DUAL XAVIER 기반 AI 분석 모듈로 정확도를 높인 AI 분석기가 전송받은 실영상과 열영상에 각각의 모델을 적용하여 영상을 분석한다. ⑦ 마지막으로 통합제어기를 통해 분석결과를 운영센터로 전송해 탐지 및 식별 결과(사람, 동물 등)를 화면에 게시하여 탐지된 객체 정보를 실시간으로 확인하게 된다.

레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 특징은 밀리미터파 기반의 디지털 레이더를 활용한 탐지시스템 운용으로 악천후, 야간 등 특수조건에서 객체를 탐지할 수 있다는 점이다. 2장에서 설명한 기존 과학화 경계시스템의 경우 객체 식별은 미리 설정된 구역을 스캔하거나 정지된 상태에서 감시하는 카메라에만 의존하는 반면 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템은 500m 거리 내 움직이는 물체를 추적할 수 있는 레이더가 추가됨으로써 객체의 위치를 정확하게 탐지하여 카메라의 감시구역

과 확대 배율을 통제하는 기능이 추가된 것이다. (그림 3-1)에서 파란색으로 표시된 부분이 레이더가 추가됨으로써 기존 시스템과 달라진 부분이다. 만약 레이더의 객체 탐지능력이 알려진 바와 같이 악천후에도 지장이 없다면 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템은 기존 시스템과 비교해 악천후 시 움직이는 물체의 탐지능력이 훨씬 좋아지는 결과를 보여줄 수 있을 것으로 예측할 수 있는데, 이는 5장의 실험 결과를 통해 확인할 예정이다.

레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 또 다른 특징은 움직임을 탐지된 객체의 식별을 사람이 아닌 AI 분석기가 한다는 점이다. 물론 기존 시스템도 차(差) 영상 비교방식을 통해 움직이는 물체를 탐지해 알려주는 기능이 있으나 낮은 신뢰도로 인해 매번 근무자가 직접 영상을 확인해서 판단하고 있는 것이 현실이다. 반면에 레이더 기반 AI 경계시스템은 레이더를 통해 획득한 정확한 좌표의 확대 영상을 통해 AI 분석 성공률을 높여주어 시스템의 탐지성능을 향상시켰다. 실제로 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템은 00사단에서 실시한 신속 시범획득사업 평가 간 주·야간 맑은 날 기준으로 5가지 동작으로 움직이는 물체를 탐지하는 평가를 진행했는데 이 중 4가지 동작에서 90% 이상(5개

동작 중 주간 포복의 경우만 86.3%)의 높은 객체 탐지 및 식별률을 보여줌으로써 레이더와 통합된 AI 과학화 경계시스템의 효과를 입증하였다[14]. 하지만 안개 혹은 강수와 같은 악천후 상황에서의 정확한 성능분석은 이루어지지 않았는데, 본 연구에서는 신속시범획득사업 평가 간 실시하지 못했던 악천후 상황에서의 레이더 기반 AI 경계시스템 성능평가를 하였다.

4. 악천후 시 성능평가 방법

일반적으로 악천후 상황이란 폭풍, 폭우, 폭설, 강풍 등 기상이 불안정한 상태를 의미한다. 하지만 경계작전과 관련해서는 시계와 직접적인 관련이 있는 강수, 강설, 안개, 야간 등의 상황을 악천후 상황으로 고려하는 것이 타당한데, 이번 연구에서는 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 성능을 평가하기 위해서 인위적으로 파라미터(parameter) 조정이 가능한 강수 및 안개 상황을 고려하였다.

4.1 실험환경



(그림 4-1) 시험장 구성과 레이더 위치



(그림 4-2) 시험장 전경과 강수, 안개 상황조성

실험은 다양한 안개와 강우 기상 조건을 재현할 수 있는 시설인 경기도 연천에 있는 「한국건설기술연구원 SOC 실증센터」에서 진행하였다. 해당 시험장은 (그림 4-1)과 같이 200m 길이의 도로(터널 안 100m, 터널 밖 100m)에서 10~30 mm/h의 강우 환경 조성이 가능하고, 안개의 경우 200m 길이의 터널 안에서 시계 30m 이하, 30~80m, 80~130m 등 3가지 조건의 안개 환경 조성이 가능하다. 시험장의 전경과 시계 30m 안개, 10 mm/h 및 30mm/h의 강수 상황조성 사진은 (그림 4-2)와 같다.

4.2 안개와 비의 조건

해당 사업이 진행된 전방 00사단 GOP 지역의 기상 관측 자료에 따르면 '21년도 기준 강우 일수는 월평균 8~10일이다. 특히, 여름철에는 월 15~16일에 이르고, 우천 시 1일 평균 강수량은 10~20mm의 약한 비 수준이었으며, 일 최고 강수량은 190mm였다. 호우주의보(20mm/h 혹은 110 mm/12h)는 기상청 발표 기준 67회, 호우경보(30 mm/h 또는 180mm/12h)는 8회 발효되었는데, 이를 근거로 실험을 위한 강우 조건은 10mm/h, 20 mm/h, 30mm/h의 세 가지 조건으로 진행하였다. 또한, 2021년까지 00사단 지역 최근 5년간 월평균 안개일수는 9.5일이고 특히 여름에는 16~28일에 이를 정도로 안개에 의한 영향이 많았는데, 안개가 자욱할 때의 시계가 차체 관측 영상 기준으로 30m까지 떨어진 기록이 있다. 시시각각 변하는 안개의 특성상 평균 시계를 산출할 수 없으므로 최소 시계인 30m 조건에서 실험을 시행했다.

4.3 기타 실험조건과 제한사항

움직이는 객체는 전투복을 입은 성인 남성이 신속시범획득사업 평가 간 실시했던 5가지 동작을 똑같이 시행했는데 달리기, 보통걸기(4~5km/h), 상체 숙이고 걷기 각 5회, 쪼그려 앉아 걷기와 포복 각 3회를 반복하면서 총 21회 중 시스템에 의해 탐지된 성공률을 기록하였다. 이때 '탐지 성공'이란 (그림 4-3)과 같이 레이더가 움직이는 객체

를 탐지하고, 실영상(좌) 혹은 열영상(우) 카메라로 사람이나 동물로 탐지했을 경우를 성공한 것으로 했다. (그림 안 적색 네모와 라벨로 탐지되었음을 표시) 탐지된 객체를 AI로 분석한 후 사람 혹은 동물로 정확하게 식별하려면 해당 현장에서 반복된 실험을 통해 데이터를 수집하여 시스템을 학습시켜야 한다. 그러나 실험이 시행된 현장에서 시스템의 학습 경험이 없었고, 특히 악천후 시 성능측정 경험이 없고 거리에 따른 카메라의 Zoom-in 배율 조정 등의 세부 제어에 대한 최적화가 되어있지 않았기 때문에, 본 연구에서는 레이더와 카메라의 탐지성능만을 평가하였다.

또한, 인공 비는 실제 비보다 빗방울의 굵기가 매우 작은 크기로서 정확한 수치 분석은 어렵지만 크기가 1mm 내·외의 약한 빗방울 정도로 관찰되었다. 인공 안개 성분은 순수 물이 아닌 물과 글리세롤(glycerol), 프로필렌글리콜(propylene glycol), 그리고 옥시비스프로판올(oxybispropanol)의 혼합물로서 순수 물안개보다 습도가 낮아 일종의 연막과 같은 특징을 가진다. 이는 열을 탐지하는 열영상 카메라의 탐지결과에 영향을 미칠 수 있는데, 실제로 실험 간 짙은 안개가 졌을 때 열영상 카메라의 탐지거리는 비슷한 조건의 인공 안개의 경우보다 약 30% 감소하였다. 따라서 실제 상황과 똑같은 묘사는 제한되었으나 악천후 시 레이더 경계시스템의 대략적인 효과를 검증하는 의미를 찾고자 하는 이번 실험의 목적 달성에는 크게 제한이 없는 것으로 판단하였다.



(그림 4-3) 실영상 카메라(좌) 및 열영상 카메라(우)의 객체 탐지 성공

5. 실험 결과

이번 장에서는 인공 안개, 자연 안개, 인공 강우 상황에서 레이더와 연동된 실영상 및 열영상 시스템의 객체 탐지확률에 초점을 맞추어 진행한 성능 평가 결과를 제시한다.

5.1 인공 안개 상황

<표 5-1>에서와 같이 기상 상황의 영향을 적게 받을 것으로 예측한 레이더의 경우 예상대로 시계 30m±5m 정도의 짙은 안개 상황에서도 200m 거리까지 움직이는 객체를 탐지하는데 이상이 없었으나 실영상 카메라는 (그림 5-1)의 좌측 그림과 같이 시계가 확보되지 않아 (거의 모든 거리에서) 객체 탐지에 실패하였다. 열영상 카메라의 경우는 (그림 5-1) 가운데 그림처럼 150m 거리에 있는 객체까지는 100%의 확률로 탐지 가능하였으나 200m 거리에서는 탐지에 실패하였다.

<표 5-1> 시계 30m±5m의 상황 탐지 성공률

구분		거리별 탐지 성공률(%)		
		100m	150m	200m
레이더탐지		100	100	100
영상 탐지	실영상 카메라	0	0	0
	열영상 카메라	95.2	100	0



(그림 5-1) 실영상 카메라 객체 탐지 실패(좌), 열영상 카메라의 객체 탐지 성공(중양), 레이더 객체 탐지 성공(우)

5.2 자연 안개 상황

실험이 시행된 11월 초 아침에 (그림 5-2)와 같이 시계가 약 60~70m(그림 속 우측에 있는 강우 상황 조성용 기둥 사이의 간격이 10m) 정도 되는

자연 안개 상황이 조성되어 인공 안개 상황처럼 탐지 실험을 시행하였다.

<표 5-2>와 같이 인공 안개 상황에서와 마찬가지로 레이더는 100% 탐지 성공, 실영상 카메라는 0%의 성공률을 보였으나 열영상 카메라는 100m까지만 100%의 탐지 성공률을 보였다. 앞선 인공 안개 상황과 비교했을 때 탐지 성공 거리가 약 30% 정도 줄어든 것을 볼 수 있는데, 이는 예측대로 안개의 수분함량이 열영상 카메라 탐지 성능에 영향을 주었다는 점을 시사한다.



(그림 5-2) 자연 안개 상황(시계 60~70m)

<표 5-2> 시계 60~70m의 자연 안개 상황 객체 탐지 성공률

구 분		거리별 탐지 성공률(%)			
		80m	100m	110m	120m
레이더탐지		100	100	100	100
영상 탐지	실영상 카메라	0	0	0	0
	열영상 카메라	100	100	78	33

5.3 인공 강우

안개 상황과 마찬가지로 다양한 인공 강우 상황에서도 레이더는 100% 탐지, 실영상 카메라의 경우는 강우량 10mm/h 이상, 100m 이상 거리에서는 탐지율이 낮았는데 자세한 결과는 <표 5-3> ~ <표 5-5>와 같다. 강수량 10mm/h의 보통 비 상황에서는 130m까지 열영상을 통해 객체 탐지에 성공하였고 20mm/h의 강한 비가 올 때는 60~70m 정도 거리까지 객체 탐지가 가능했으며, 30mm/h의 매우 강한 비가 내릴 경우 40m를 넘어가면

레이더가 객체를 탐지했다라도 열영상 카메라로 탐지하기가 어려웠다.

<표 5-3> 10mm/h 강우 상황 객체 탐지 성공률

구 분		거리별 탐지 성공률(%)			
		100m	130m	150m	170m
레이더탐지		100	100	100	100
영상 탐지	실영상 카메라	0	0	0	0
	열영상 카메라	95.2	100	33	0

<표 5-4> 20mm/h 강우 상황 객체 탐지 성공률

구 분		거리별 탐지 성공률(%)		
		60m	70m	100m
레이더탐지		100	100	100
영상 탐지	실영상 카메라	0	0	0
	열영상 카메라	95.2	81	62

<표 5-5> 30mm/h 강우 상황 객체 탐지 성공률

구 분		거리별 탐지 성공률(%)			
		40m	50m	70m	80m
레이더탐지		100	100	100	100
영상 탐지	실영상 카메라	0	0	0	0
	열영상 카메라	100	33	25	0

5.4 레이더 on/off 상황 비교

기존 과학화 경계시스템의 악천후 성능을 정확히 알 수 없어 직접적인 비교는 불가하나, 레이더 경계시스템의 레이더를 끈 상황에서의 실험을 통해 레이더 기반 시스템의 성능을 간접적으로 비교해 보았다. 레이더를 끄면 (그림 3-1)의 파란색 선을 통한 과정 ①~④가 생략되고 카메라의 객체 탐지 기능에만 의존해서 탐지해야 한다. <표 5-6>과 <표 5-7>은 각각 자연 안개 상황과 10mm/h의 약한 비 상황에서 레이더를 켜고 꺼는 때와 꺼는 때의 탐지 성공률을 나타낸 것이다. 레이더를 끌 때는 레이더로부터 움직이는 객체에 대한 정보를 획득할 수 없으므로 예상대로 안개 및 강우 시

객체 탐지 성공률이 많이 낮아졌다.

<표 5-6> 시계 60~70m의 자연 안개 상황, 레이더 on/off 시 열영상 객체 탐지 성공률

구분	거리별 탐지 성공률(%)					
	8m	10m	110m	120m	130m	13m
레이더 ON	100	100	78	33	63	25
레이더 OFF	89	25	0	0	0	0

<표 5-7> 10mm/h 약한 비, 레이더 on/off 시 열영상 객체 탐지 성공률

구분	거리별 탐지 성공률(%)			
	80m	90m	100m	130m
레이더 ON	미실시		100	100
레이더 OFF	83	83	0	0

5.5 분석결과

앞선 5.4절 실험 결과를 통해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. ① 레이더의 탐지성능은 강우와 안개에 거의 영향을 받지 않기 때문에 악천후 시 움직이는 객체 탐지에 매우 효과적이다. ② 실영상 카메라는 (인공, 자연) 안개와 강우 시 객체를 거의 탐지하지 못한다. 이는 실영상 카메라가 맨눈과 같이 시계의 영향을 많이 받는다는 것을 의미한다. ③ 열영상 카메라의 탐지 성공률은 자연 안개와 같이 인공 안개보다 수분함량이 높은 경우 탐지능력이 약 30% 저하되었다. 이는 열영상 카메라의 경우 안개의 농도보다는 수분 밀도의 영향을 많이 받는다는 것을 의미한다. 따라서 악천후 시 실영상 카메라보다 열영상 카메라가 더 효과적이며 향후 열영상 카메라 최대 탐지거리 및 Zoom-in 성능을 향상하면 악천후 상황에서의 탐지 및 식별 능력을 향상할 수 있을 것이다. ④ 레이더 ON/OFF에 따른 성능 비교 실험에서 알 수 있듯이, 악천후 상황에서 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템은 레이더가 없는 시스템에 비해 객체 탐지에 유의미한 효과가 있다고 판단된다.

결론적으로 레이더와 결합한 실영상/열영상 경계시스템의 경우 (청천 시를 포함해) 악천후 시

객체 탐지율을 높이고 오탐율을 줄일 수 있는 매우 훌륭한 대안이 될 것으로 판단된다. 특히 추가적인 AI 학습을 통해 식별률을 높이고 거리별 실영상 및 열영상 카메라의 Zoom-In 배율을 최적화한다면 탐지거리가 훨씬 더 증가하고 정확도가 더욱 높아질 것으로 예측된다.

6. 결론 및 발전 방향

군은 4차 산업혁명 핵심기술 기반의 스마트 국방혁신을 통해 GOP 과학화 경계시스템을 도입하여 활용하고 있다. 하지만 현재의 과학화 경계시스템은 청천 시에는 어느 정도 성능을 인정받고 있지만, 강우 및 안개 상황과 같은 악천후 상황에서의 성능은 다소 미흡하다고 평가되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 21년 방위사업청 신속획득시범사업을 통해 00사단에서 시범 운용 중인 ‘레이더 기반 AI 과학화 경계시스템’을 활용하여 강우와 안개와 같은 악천후 환경에서 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 객체 탐지성능 분석을 하였다. 실험 결과 강우와 안개 상황에서는 실영상 및 열영상 카메라의 성능이 현격히 떨어지는 반면 5.8GHz 레이더는 안개나 강수의 영향을 거의 받지 않았고 레이더와 연동된 감시시스템의 악천후 시 탐지성능이 유의미하게 향상되었음을 확인하였다. 따라서 기존의 과학화 경계시스템에 레이더를 추가함으로써 악천후 시 객체 탐지율을 향상하는 것은 과학화 경계시스템의 고도화 및 첨단화에 좋은 대안으로 고려될 수 있다. 또한, 레이더를 통해 객체의 유무와 위치를 식별하고 해당 정보를 바탕으로 실영상 및 열영상 카메라를 최적의 배율로 Zoom-In 한 뒤 인공지능 기술을 통해 표적을 식별하는 방식으로 발전시켜 나간다면, 객체의 식별률을 높이고 오탐율을 줄일 수 있으며 경계작전을 위한 비용(인력, 노력, 시간 등)을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 레이더의 추가를 통한 악천후 시 성능향상에 대한 부분만 검증했지만, 향후 추가 연구를 통해 레이더 기반 시스템과 기존 시스템과의 비용 대 효과분석, 그리고 객체 탐지로부터 대

응까지의 반응시간에 대한 객관적 비교 검증 데이터가 추가된다면 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템의 필요성을 증명하는데 더 효과적일 것이다.

마지막으로 현재 과학화 경계시스템의 경우 유선 방식으로만 운용되고 있는데 통신선로 상에 고장이 발생하는 경우 어디에서 고장이 발생하였는지 확인하는 데 많은 시간이 소요되는 문제점이 있다. 또한, 유선 방식의 과학화 경계시스템의 경우 (전선 및) 통신선 매설 문제로 설치장소에 제한이 발생할 수밖에 없다. 이를 해결하기 위해서 무선 네트워크 기반의 과학화 경계시스템의 구축도 고려해 볼 필요가 있을 것으로 판단되어, 연구팀에서는 향후 산악 지형이 많은 한국형 지형에 적합하고 고속으로 대용량 정보를 전송할 수 있으며 가급적 무료로 사용할 수 있는 무선 네트워크 (예: TVWS 망) 기반의 과학화 경계시스템 구축방안에 대해 추가적인 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 고시성, “병역자원 감소에 따른 한국군 병력구조 개편 발전방향 연구”, 한국사 제 8호, 2020. 12.
- [2] 명현우, 김태곤, 문현, “GOP 완전 경계작전을 위한 과학화 경계시스템 정비능력 발전방안 고찰”, 국방기술, 2018.
- [3] 박태웅, 김태호, 한현진, “GOP 과학화 경계시스템에 대한 평가와 개선방안 : 지휘관 및 참모 대상 설문조사 결과를 중심으로”, 한국국방경영분석학회, 2020.
- [4] 이원재, 손창호, “과학화 경계시스템 고도화 연구: 이미지데이터 분석을 중심으로”, 한국산학기술학회논문지 제23권 제6호, pp. 144-150, 2022.
- [5] 박태웅, 김태호 “GOP 과학화 경계시스템에 관한 운용자 인식과 발전방향 연구”, 군사과학연구지 제15권 제1호, 2022.
- [6] 문미남, 신규용, 이호찬, 곽승현, “AHP를 활용한 레이더 기반 AI 과학화 경계시스템 효과 분석”, 융합보안논문지, 제22권 제5호, pp. 135-143, 2022.
- [7] 김태식 외, “항공기 탑재형 밀리미터파 레이더 개발동향”, 항공우주기술산업동향 제1권 제1호, 99. 52-59, 2003.
- [8] 한국정보통신, “레이더시설 ‘야간·약천후에도 목표물 식별’”, 정보통신신문, 2005. 8. 20. (URL: www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=20754)
- [9] 이한성, “‘전천후 영상레이더’ 탑재...약천후·밤에도 지구관측 한다”, 충청투데이, 2013. 7. 18. (URL:https://www.cctoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=782927).
- [10] 이수민, “자율주행 첫걸음, ‘약천후에 강한’ 차량용 레이더 시스템의 원리”, e4ds news, 2019. 7. 8. (URL:https://www.e4ds.com/sub_view.asp?ch=11&t=1&idx=10528).
- [11] 문승진, 조원준, “다중 복합센서를 이용한 과학화 경계시스템 설계 및 테스트베드를 통한 성능 고찰”, 한국통신학회 논문지, 제44권 제1호, pp. 148-157, 2019.
- [12] 신의수, 김태현, 차지은, 한재경, “육군 차세대 경계시스템의 효율적 운용방안 연구”, 한국군사학논집, vol.77, no.2, pp. 334-362, 2021.
- [13] 최재연, 변정욱, 신기동, “신속시범획득사업 복수업체 선정기준에 관한 연구”, 한국방위산업학회지 제28권 제1호, pp. 31-44, 2021.
- [14] ㈜노바코스, “레이더기반 AI 탐지·식별 시스템”, AI 핵심능력 구축 군사연구 세미나 발표자료, 2023.4.6.

〔 저자 소개 〕



이 호 찬 (Hochan Lee)
1996년 3월 육군사관학교 학사
2004년 2월 서울대학교 석사
2013년 8월 퍼듀(Purdue University)
대학교 박사
email : channy64@kma.ac.kr



문 미 남 (Minam Moon)
2001년 3월 육군사관학교 학사
2006년 2월 고려대학교 석사
2015년 8월 텍사스 A&M 대학교 박사
email : hereandnow@kma.ac.kr



신 규 용 (Kyuyong Shin)
1996년 3월 육군사관학교 학사
2000년 2월 한국과학기술원 석사
2009년 12월 노스캐롤라이나
주립대학교(NCSU) 박사
email : kyshin@kma.ac.kr



곽 승 현 (Seunghyun Gwak)
2015년 3월 육군사관학교 학사
2020년 2월 서울대학교 석사
email : kd2253@kma.ac.kr