

무인전투차량 요구사항분석 연구: 원격통제 및 자율주행 중심으로

김동우^{1)*}, 최인호²⁾

1) 국방과학연구소 소요기획실, 2) 육군기계화학교

A Study on Requirement Analysis of Unmanned Combat Vehicles: Focusing on Remote-Controlled and Autonomous Driving Aspect

Dong Woo Kim^{1)*}, In Ho Choi²⁾

1) Agency for Defense Development, 2) ROK Army Armor School

Abstract : Remote-controlled and autonomous driving based on artificial intelligence are key elements required for unmanned combat vehicles. The required capability of such an unmanned combat vehicle should be expressed in reasonable required operational capability(ROC). To this end, in this paper, the requirements of an unmanned combat vehicle operated under a manned-unmanned teaming were analyzed. The functional requirements are remote operation and control, communication, sensor-based situational awareness, field environment recognition, autonomous return, vehicle tracking, collision prevention, fault diagnosis, and simultaneous localization and mapping. Remote-controlled and autonomous driving of unmanned combat vehicles could be achieved through the combination of these functional requirements. It is expected that the requirement analysis results presented in this study will be utilized to satisfy the military operational concept and provide reasonable technical indicators in the system development stage.

Key Words : Unmanned Combat Vehicle, Requirement Analysis, Remote-Controlled Driving, Autonomous Driving

Received : August 23, 2022 / **Revised** : November 28, 2022 / **Accepted** : December 9, 2022

* 교신저자: Dongwoo Kim / Agency for Defense Development / eastlight3@gmail.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

미래 지상작전 환경에서 무인전투차량은 인명의 손실을 줄이고 전투효과를 배가시킴으로써 병력부족 문제를 해소하고 전투능력을 향상시킬 것이다. 미래 무인전투차량은 고도의 자율주행 능력과 향상된 화력·방호력을 갖추어야 한다.[1] 무인전투차량에 요구되는 능력 중에서 핵심 요소는 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 기반의 자율주행 능력이다. 자율주행은 “차량을 운전자가 직접 운전하지 않고 스스로 도로에서 달리게 하는 것”을 말한다.[2] 자율주행 수준은 국내외 기관에서 분야별로 다양하게 정의되고 개발되어 왔다. 이 중에서 SAE International의 자율주행 수준 정의가 공신력 있게 가장 많이 사용되고 있다.[3] 이는 운전자가 어느 정도까지 개입하고 조작하는지를 기준으로 자율주행 수준을 분류한 것이다. SAE International의 자율주행 레벨과 정의는 일반도로에서 주행하는 민간차량에 적용되는 것으로 야지에서 전술적 기동을 해야만 하는 무인전투차량에 직접 적용할 수는 없다. 무인전투차량이 운용되는 야지환경이 도심의 포장도로 환경과 다르며, 주행 중에 마주치는 장애물 종류도 다양하기 때문이다. 더욱이, 무인전투차량은 전장상황에서 위성항법시스템(GPS, Global Positioning System)의 신호 수신에 원활하지 않은 상황에서도 전술적 기동이 가능해야 한다. 위와 같이 전술환경에서 운용되는 국방 분야의 자율주행은 민간의 자율주행보다 더 높은 기술과 운용 조건을 요구한다.

무인전투차량의 요구사항은 합리적인 작전운용성능(ROC, Required Operational Capability)¹⁾으로 표현되어야 한다. 시스템공학 기술프로세스(Technical process)의 주요 목적 중에 하나는 고객 요구사항을 도출·분석하고, 이를 시스템 설계에 반영하는 것이다.[4] 따라서 무인전투차량에 대한 요구사항분석은 합리적인 작전운용성능 설정을 위

1) 군사전략 목표달성을 위해 획득이 요구되는 무기체계의 운영개념을 충족시킬 수 있는 성능수준과 무기체계능력을 제시한 것

한 핵심 프로세스가 된다. 이러한 요구사항분석 결과는 무인전투차량의 기능·성능분석, 설계·제작, 시험평가(검증, 확인) 등을 수행하는 데 주요한 기술적 지표를 제공하게 된다.

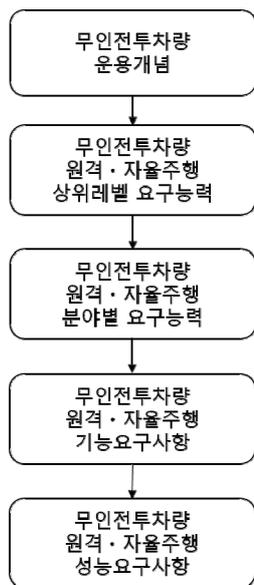
현재 우리나라에는 원격운용 및 자율주행 능력을 갖춘 무인전투차량이 전력화되어 있지 않다. 무인전투차량을 비롯해 인공지능이 적용되는 기동무기체계에 관한 요구사항분석 연구는 미흡한 실정이다. 인공지능이 적용된 무인전투체계에 대해서 기존의 자율화 단계 정의와 기술개발 로드맵 접근법은 소요군 및 개발자 모두가 이해하고 동의할 수 있는 기술적 지표를 제시하는 데 한계가 있었다.[5] 이는 인공지능이 복잡하고 급변하는 전장환경에서 어떤 임무를 얼마나 잘 수행하는지 확정하기 어렵기 때문이다. 이로 인해 인공지능이 적용되는 무기체계에 대한 작전운용성능 설정과 관련하여 명확한 기준이 없는 실정이다.

본 연구에서는 시스템공학 표준 프로세스(IEEE P1220)에서 다루고 있는 시스템 수명주기 초기 단계에서의 요구사항분석 프로세스를 활용하여 무인전투차량의 요구사항을 분석한다.[4],[6] 특히, 무인전투차량의 복잡하고 다양한 요구사항들 중에서 기동분야의 원격운용 및 자율주행에 대한 기능요구사항 및 성능요구사항을 도출하는 과정을 제시하였다. 이를 통해서 무인전투차량을 운용할 소요군과 무인전투차량의 개발자가 모두 이해하고 동의할 수 있는 기능요구사항 및 성능요구사항 항목을 도출하고자 한다.

2. 무인전투차량 요구사항분석 프로세스

시스템공학의 요구사항 개발 초기 단계의 핵심요소는 운용개념과 이를 만족시키는 요구능력의 식별, 그리고 요구능력을 구현할 수 있는 관련 기능 및 기술의 도출이다. 즉 상위레벨에 있는 운용개념에서부터 하위레벨에 있는 관련 기술의 도출까지 점차적으로 구체화해 나가는 과정이 필요하다.

IEE P1220 표준에서는 시스템공학 프로세스의 첫 활동을 요구사항분석으로 제시하고 있으며, 요구사항분석을 위한 프로세스를 제공한다.[6] 이는 요구사항 개발 및 분석을 포괄적으로 표현한 것으로 반드시 수행되어야 할 업무를 종합적으로 식별하게 한다. 요구사항분석은 주로 기능 및 성능 요구사항을 개발하는 데 사용된다. 분석결과는 고객이 요구하는 시스템이 무엇을 어떻게 수행해야 하는지 명확하게 나타내는 일련의 요구사항으로 표현된다. 요구사항분석은 식별된 기능의 성능요구사항을 최적화시키고, 서로 조합된 해결방안이 고객 요구사항을 만족시키는지 검증하기 위해 반복적으로 수행된다. 일반적인 요구사항분석 결과는 기능(Function), 성능(Performance), 인터페이스(Interface), 기타 요구사항과 제약사항 등을 포함한다.[4],[6],[7]



[Figure 1] Requirement analysis process of unmanned combat vehicle

본 논문은 무인전투차량의 원격 및 자율주행에 대한 기능요구사항 및 성능요구사항을 중점적으로 다룬다. 따라서 무인전투차량의 원격 및 자율주행 요구사항을 분석하는 절차를 그림 1과 같이 제시한다. 다음 절부터는 그림 1의 절차에 따라 무인전투

차량의 운용개념 정의부터 살펴보고 최종적으로 기능요구사항 및 성능요구사항 항목을 도출한다. 성능요구사항의 설정은 광범위한 기술검토가 필요하고 군사비밀에 해당하는 작전운용성과 깊게 연관되어 있으므로, 본 논문에서는 정량화된 수치가 아니라 설정 예시만을 제시한다.

3. 무인전투차량의 운용개념

육군의 혁신 구상 Army TIGER에서 제시하는 미래 무인전투차량의 주요 운용개념은 다음과 같다.[1],[8]

- 무인전투차량은 전투원 통제 하에 근접전투 예상지역, 화생방 오염지역, 적의 저항이 강력한 지역 등 위험지역에서 공세적으로 운용한다.
- 무인전투차량은 전투원 및 타 전투플랫폼과 연결된 상태에서 단독 또는 유·무인 협동작전을 수행한다.
- 무인전투차량은 향상된 감시·타격·기동·방호 능력을 갖추고 작전을 수행한다.
- 무인전투차량은 운용목적에 따라 무인수색차량, 무인경(輕) 전투차량, 무인중(重) 전투차량의 3가지 기본 플랫폼으로 다양하게 운용한다.

운용개념에서 보듯이 무인전투차량은 기갑 및 기계화 부대의 유인전차 또는 보병전투차량과 협업하여 임무를 수행하게 된다. 자율주행을 하면서 전투를 수행하는 경우보다 통제차량 또는 통제인원에 의해 원격통제되는 경우가 많을 것으로 보인다. 이러한 유·무인 복합운용체계(MUM-T, Manned-Unmanned Teaming)를 미국 육군은 “향상된 상황인식, 살상력, 생존력을 추구하기 위해 전투원, 유·무인 공중 및 지상 이동체계, 로봇 및 센서를 통합 운용하는 것”으로 정의하고 있다.[9] 유·무인 복합운용체계에서 중요한 포인트는 무인전투체계가 할 수 없는 임무와 무인전투체계를 통제하는 역할을 인간이 수행해야만 한다는 점이다. 이는 유·무인 전투체계가 상호 보완적 관계 하에서 전투를 수행하는

것을 의미한다. 유인체계와 무인체계 간의 임무분장은 전장상황의 복잡성과 무인전투체계의 불완전성에 의해 필연적이라 할 수 있다. 따라서 무인전투차량의 원격통제 및 자율주행 임무는 이러한 유·무인 협업 상황 하에서 정의되어야 한다.

4. 무인전투차량의 원격·자율주행 요구능력

4.1 상위레벨 요구능력

본 연구에서는 유·무인 복합운용 상황에서 무인전투차량의 운용개념을 충족하기 위한 원격 및 자율주행의 상위레벨 요구능력을 다음과 같이 정리하였다.

- 차체에 각종 센서를 다수 탑재하고 인공지능에 의한 자율 및 반자율 기동이 가능해야 한다.
- 주변의 장애물과 병력, 도로 및 건물, 지형기복 등을 인식하고 원격운용 요원의 최소개입 또는 자율적으로 최적경로를 찾아 기동이 가능해야 한다.
- 이동경로를 저장하여 활용할 수 있어야 하며, 장거리·장시간 이동시 일정한 경로와 간격으로 선두차량을 후속하거나, 동일한 속도로 종속주행이 가능하여 부대 이동속도를 증대시키고 통제요를 최소화해야 한다.
- 위협 감지 시 자율 및 반자율로 최적 경로로 회피기동을 실시하거나 차폐진지로 이동해야 한다.
- 포장도로 주행 시 도로, 차선, 신호등, 횡단보도, 주변의 다른 차량 및 인원 등을 인식하고 자율주행이 가능해야 한다.
- 차량 주변의 인원과 장애물 변화를 실시간으로 감지하고 돌발 상황 발생 시 자동적으로 감속 및 급정지, 회피기동 등을 통해 안전사고를 예방해야 한다.
- 중장비 트레일러, 철도 화차, 대형 항공기로 수송하는 경우 차체에 부착된 센서를 활용하여 자동으로 적재 및 하차가 가능해야 한다.
- 협소한 교량 및 애로지역 통과 등 위험하고 정

밀한 기동이 필요한 경우 자동으로 궤도위치 및 이격거리 등을 준수하며 통과해야 한다.

4.2 분야별 요구능력 식별

위에서 정리한 상위레벨 요구능력을 바탕으로 요구사항을 바로 도출하는 것은 제한된다. 상위레벨의 요구능력을 하위레벨의 요구능력으로 단순화하고 구체화하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 상위레벨 요구능력을 주행, 장애물 극복, 전술기동, 경로판단 등의 세부분야로 구분하고 하위레벨 요구능력으로서 분야별 요구능력을 표 1과 같이 식별하였다.

<Table 1> Required capabilities by field

분야	분야별 요구능력
주행	1. 속도조절 및 유지
	2. 차량간격 조절 및 유지
	3. 주행경로 유지
	4. 충돌방지 및 장애물 회피
	5. 선도차량 종속주행
장애물 극복	6. 경사지역 통과
	7. 수직 및 수평장애물 통과
	8. 건물 및 수목지대 통과
전술 기동	9. 수답지 및 연약지반, 결빙지역 통과
	10. 은폐 및 엄폐기동
	11. 사격진지 및 차폐진지 점령
경로 판단	12. 회피기동
	13. 전투대형 기동
	14. 도로상 경로판단
	15. 야지 및 부정지 경로판단
	16. 우회로 판단

5. 무인전투차량의 원격·자율주행 기능요구사항

5.1 기능요구사항의 도출

본 연구에서는 기능요구사항을 크게 원격통제와 자율주행 분야로 구분한다. 이는 앞서 살펴보았듯이 무인전투차량이 유·무인 협업전투에서 운용되고, 인공지능이 고도로 발전되기 전까지는 인간에 의해 원

격통제되는 상황이 많을 것이기 때문이다. 앞 절에서 식별한 분야별 요구능력들은 일반적으로 하나 또는 다수의 기능으로 구현될 수 있다. 역으로 하나의 기능이 다수의 요구능력을 구현하는 데 적용될 수 있다. 이러한 특성은 인공지능이 적용된 무기체계에 더욱 두드러진다. 일반적으로 하나의 인공지능 기능이 여러 요구능력을 만족시키는 데 중요한 역할을 담당하기 때문이다. 예를 들면 센서기반의 상황인식 기능은 주행, 장애물 극복, 전술기동, 경로판단 전 분야에 적용되어야 한다.

<Table 2> Functional requirements

분야	기능요구사항
원격통제 운용	① 원격운용 및 제어
	② 통신거리
	③ 통신데이터량
자율주행	④ 센서기반 상황인식
	⑤ 야지환경 인식
	⑥ 자율복귀
	⑦ 차량주종
	⑧ 충돌방지
	⑨ 고장진단
	⑩ 동시 위치추정 및 지도작성

본 연구에서 요구능력을 기능요구사항으로 할당하는 접근법은 다음과 같다. 먼저, 하나의 요구능력을 구현가능하게 하는 하나의 기능 또는 다수의 기능들을 식별한다. 순차적으로 각 요구능력별로 필요한 기능들을 모두 식별한다. 그 다음으로 식별된 기능요구사항들의 중복요소를 소거하면서 체계적으로 단순화한다. 마지막으로 요구능력과 기능요구사항을 상호 연결 및 교차 검증하는 과정을 반복하면서 기능요구사항을 수정·보완한다. 각 기능들이 조합되거나 융합되어 분야별 요구능력을 구현할 수 있는지를 확인하기 위해 광범위하고 반복적인 분석이 요구된다. 이러한 접근법으로 기능요구사항을 도출한 결과는 표 2와 같다. 요구사항 추적표 작성은 요구사항분석 결과의 중요한 산출물 중 하나이며, 요구사항분석 결과의 검증과 누락된 요구사항을 식별하는 도구로 활용될 수 있다.[10] 표 1의 분야별 요구능력과 표 2의 기능요구사항 간의 추적표는 표 3과 같다.

5.2 기능요구사항의 정의 및 세부기술

앞 절에서 도출한 기능요구사항들을 정의하고 세부적으로 기술하면 다음과 같다.

첫째, 원격운용 및 제어 기능은 유인전투체계 인

<Table 3> Requirements traceability matrix

분야별 요구능력	기능요구사항									
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
1. 속도조절 및 유지	○	○	○	○	○		○		○	
2. 차량간격 조절 및 유지	○	○	○	○	○		○		○	
3. 주행경로 유지	○	○	○	○	○		○		○	
4. 충돌방지 및 장애물 회피				○	○	○		○	○	○
5. 선도차량 종속주행	○	○	○	○	○		○		○	
6. 경사지역 통과				○	○	○		○	○	○
7. 수직 및 수평장애물 통과				○	○	○		○	○	○
8. 건물 및 수목지대 통과				○	○	○		○	○	○
9. 수답지 및 연약지반, 결빙지역 통과				○	○	○		○	○	○
10. 은폐 및 엄폐기동				○	○				○	
11. 사격진지 및 차폐진지 점령				○	○				○	
12. 회피기동				○	○				○	○
13. 전투대형 기동	○	○	○	○	○		○		○	
14. 도로상 경로판단				○	○	○	○		○	○
15. 야지 및 부정지 경로판단				○	○	○			○	○
16. 우회로 판단				○	○	○			○	○

원이 무인전투차량을 원격으로 운용할 수 있도록 통제 상황을 만들어 주는 것이다. 복잡하고 예측 불허한 전장에서 가장 많이 활용될 것으로 보이며, 효율적인 유·무인 협업을 위해서 필수적인 기능이다. 기존의 무기체계 운용통제는 각 체계별로 통제시스템을 개발해 왔지만, 미래의 유·무인 협업 운용에서는 하나의 공통적인 통제시스템으로 다중 무기체계를 원격으로 통제할 수 있도록 하여 효율성을 높여야 한다. 즉, 하나의 원격운용 통제장치로 다른 기종의 무인전차 및 무인전투차량 등을 운용할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해 공통·가변으로 운용할 수 있는 기능을 식별하여 공통 운용이 가능한 기능은 모듈화하고 가변 기능에 대해서는 선택적으로 적용할 수 있도록 구현한다. 그림 2에서는 유인전투체계에 탑승한 2명의 운용요원이 무인전투차량 각 1대씩을 통제하고 있는 모습을 보여준다.



[Figure 2] Remote-controlled driving concept of unmanned combat vehicle

둘째, 통신거리의 유·무인 협업 운용 상황에서 원격제어가 가능한 범위를 의미한다. 보다 넓은 지역에 안정적인 통신이 가능하다면 운용 및 임무의 다양성을 확보할 수 있을 것이다. 유·무인 전투체계의 협업을 위해서는 유인전투체계와 무인전투체계를 단절 없이 연결할 수 있는 통신 데이터링크가 필수적이다.

셋째, 통신데이터량은 전장에서 시시각각 변화하는 상황을 보다 선명한 화질의 영상으로 운용자에게 전달하기 위해서 필요한 항목이다. 안정적인 센서 및 영상 데이터 송수신을 위하여 원거리 무선통신을 위한 통신단말기를 설계하고 데이터별 가용 주파수

대역의 분배가 필요하다. 최근 군은 저궤도통신위성을 활용하여 시·공간상에서 제 능력과 활동을 유기적으로 연동시키기 위한 초연결네트워크를 구상하고 있다. 저궤도통신위성체계가 전력화 된다면 무인전투차량에 기동형 OTM(On The Move) 단말을 장착하여 이동 중에도 고속 데이터를 송수신할 수 있을 것이다.

넷째, 센서기반 상황인식(Situational Awareness)은 무인전투차량의 주변 상황을 유인전투차량과 동등한 수준으로 신속하게 인식할 수 있는 기능이다. 무인전투차량의 원격통제를 위해서는 무인전투차량의 360°전 방향에 대해 감시할 수 있는 능력을 갖추어야 한다. 원격통제인원은 무인전투차량 지근거리의 장애물 및 매복 적군을 감시할 수 있어야 하며, 중거리의 지형 및 적군도 관측할 수 있어야 한다.

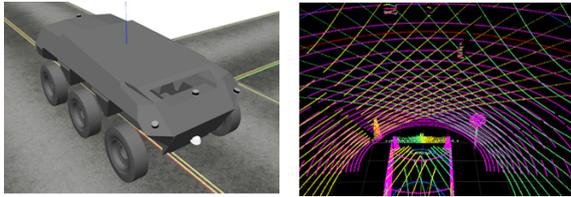
이러한 상황인식을 위해 라이다(LIDAR, Light Detection And Ranging)²⁾, CCD(Charge Coupled Device)³⁾ 이미지 센서, 적외선(IR, Infrared)⁴⁾ 센서 등을 통해 실시간으로 데이터를 수집하고, 이를 융합하고 분석하여 차량 주변의 객체를 실시간으로 탐지해야 한다.

자율주행에서 라이다는 차량의 속도와 운동 방향, 주변의 물체인식, 차량의 위치, 지도작성, 대기물질 분석 등 다방면에서 활용된다.[11] CCD 이미지 센서는 차량 외부에 다수 장착되어 360°파노라믹 뷰를 전시하는 데 활용된다. 적외선 센서는 야간 주행에 의미 있는 정보를 제공할 뿐 아니라, 눈, 비 등에 영향이 적어 라이다 센서의 단점을 보완할 수 있다.[12]

무인전투차량 차체 전·후방에 2D/3D 라이다를 장착하고 촬영시계가 90°인 6대의 CCD·IR 카메라로 무인전투차량 주변 360°를 각각 60°씩 나누어

- 2) 레이저 펄스를 발사하여 그 빛이 대상 물체에 반사되어 돌아오는 것을 받아 물체까지 거리 등을 측정하고 물체 형상까지 이미지화하는 센서
- 3) 빛을 전하로 변환시켜 화상(이미지)을 만들어내는 센서
- 4) 적외선 빛을 발사하여 물체에 반사되어 들어오는 빛의 양을 감지하고 이를 전류의 양으로 전환하여 외부 물질을 탐지하는 센서

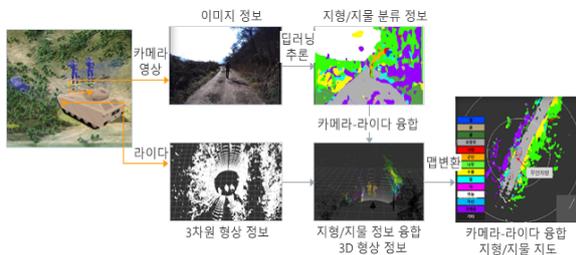
촬영한 후, 획득된 복수의 영상을 하나의 연결된 영상으로 합성하여 구현할 수 있다. 그림 3은 3D 라이다 센서의 탐지 영역 시뮬레이션을 보여주고 있다.



[Figure 3] 3D LIDAR sensor(left) and 3D LIDAR detection area simulation(right)

다섯째, 야지환경 인식 기능은 라이다, 카메라 등의 융합정보와 인공지능을 활용하여 야지지형과 환경을 인식하고 주행가능 영역과 다수의 객체를 식별하는 기능이다. [13], [14] 인식한 지형에 맞춰 효율적인 주행방법을 결정하고 주행에 방해되는 장애물을 인식, 회피하기 위해 필요한 항목이다. 야지환경에 적합한 딥러닝 학습체계를 통해 야지환경에서 자주 등장하는 강물, 웅덩이, 수풀, 바위, 나뭇가지 등을 인식할 수 있다면 사람이 운전하는 것과 같은 효율적인 자율주행을 기대할 수 있을 것이다.

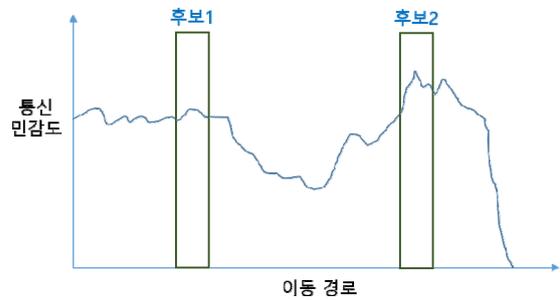
그림 4는 3D 라이다 형상정보가 인공지능 학습과 추론에 의해 획득된 CCD·IR 영상정보와 융합되어, 야지의 지형지물 지도를 생성하는 인공지능 기반의 야지환경 인식 개념을 보여준다.



[Figure 4] AI-based field environment recognition concept

여섯째, 자율복귀 기능은 원격주행 중에 지형적인 요인으로 통제차량과 통신이 단절된 경우, 최종적으

로 통신이 가능했던 지점까지 자율로 복귀하는 것이다. 이를 위해 무인전투차량이 지나온 경로 상 최근에 통신이 가능했던 위치나 지정된 복귀지점까지 이동경로를 생성하고, 자율주행 기술을 적용하여 자동 복귀하는 기술로 구현한다. 무인전투차량이 지나온 궤적 상 통신 민감도를 기반으로 통신단절 복귀지점 후보군을 선정하고 그 중에서 최적복귀지점을 선정하는 방식으로 구현할 수 있다. 그림 5는 이동경로 상의 통신 민감도 추이를 보여주고 있다. 원격주행 시 통신 단절이 발생한다면 복귀지점 후보군 중에서 후보2가 최적복귀지점이 될 것이다.



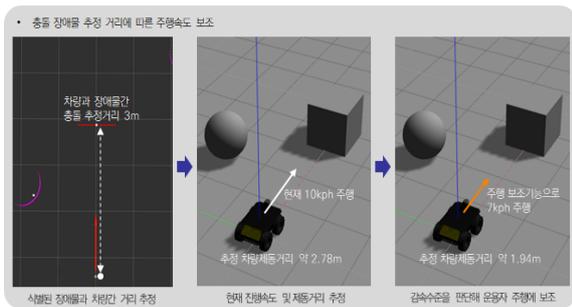
[Figure 5] Communication sensitivity on the route

일곱째, 차량추종 기능은 선행차량의 위치정보를 전송받아 선행차량의 궤적을 따라 자율주행 하는 것이다. 차량추종은 하나의 유인차량이 다수의 무인차량을 효율적으로 수송하기 위한 용도로 활용된다. 차량추종에서 선행차량의 위치는 GPS 정보를 활용하거나 환경인식 센서를 활용하여 획득할 수 있다. GPS 기반 위치정보 획득은 선행차량이 후행하는 무인차량의 시야에서 벗어나거나 떨어지더라도 안정적으로 위치정보를 획득할 수 있는 장점이 있다. 다만 차량간 안정적인 통신이 유지되도록 해야 한다. 반면 차량추종 센서를 활용하면 선행차량의 위치정보가 없더라도 선행차량의 추종이 가능하나, 차간거리가 멀어지거나 시야에서 벗어나면 추종대상을 잃게 된다. 따라서 통신 가능 여부나 운용환경에 따라 알맞은 추종방법을 선택할 수 있도록 구현해야 한다. 그림 6은 무인차량이 선행하는 K9자주포를 추종하는 모습을 보여주고 있다.



[Figure 6] Following the preceding vehicle of unmanned vehicle

여덟째, 충돌방지 기능은 자율주행 시 주행경로 상에 이동장애물이 진입할 경우 충돌위험으로부터 회피하는 기능이다. 이는 다양한 무인체계가 운용될 미래전장에서 서로 간에 빈번하게 발생할 수도 있는 충돌상황을 피하기 위해 필요한 항목이다. 충돌위험이 있는 경우 주행속도 보조 알고리즘을 적용하여 긴급 정지하는 기술로 구현한다. 그림 7은 충돌방지 기능의 구현 개념을 보여준다. 2D/3D 라이다 센서를 통해 주행영역 내 장애물을 식별하고, 장애물과 무인전투차량 간의 거리를 추정한다. 추정거리 정보와 차량의 진행속도를 분석하고, 현재 차량 속도의 제동거리를 계산하여 감속 수준을 판단한다.

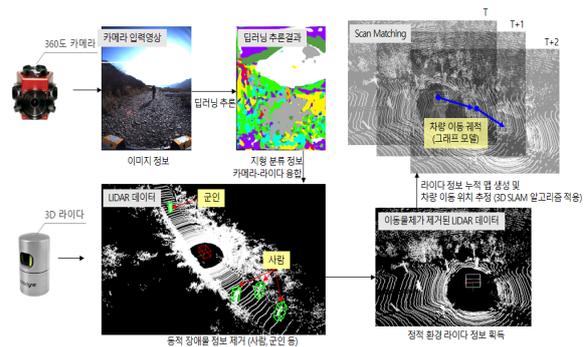


[Figure 7] Anti-collision implementation concept

아홉째, 고장진단 기능은 무인체계가 스스로 주요 구성품의 상태를 파악하고 고장을 진단하여 해당 문제를 운용요원에게 알리는 기능이다. 이를 위해 주요 구성품의 상태 확인을 위한 회로 및 센서를 설계하여 운용요원과 무인체계가 실시간으로 연동되도록 한다. 고장진단 체크리스트를 작성하여 고장 레

벨을 분류하고 운용자에게 알릴 수 있는 알고리즘을 구현한다.

열째, 동시 위치추정 및 지도작성(SLAM, Simultaneous Localization and Mapping) 기능은 GPS가 작동하지 않는 전장상황에서도 무인차량 주변의 환경정보를 이용하여 현재 위치를 실시간으로 추정하는 것이다.[15], [16]



[Figure 8] SLAM implementation concept

SLAM 기능은 3D 라이다 및 CCD·IR 센서 데이터를 융합하여 동시 위치추정 및 지도를 생성함으로써 무인전투차량이 복잡한 야지환경에서 원활하게 자율주행을 가능하게 한다. SLAM 기능의 구현개념은 그림 8과 같다. 먼저, 3D 라이다로부터 획득한 데이터에 인공지능으로 추론된 CCD·IR 영상정보를 융합하여 사람, 군인 등의 이동물체를 제거한다. 이동물체가 제거된 정적 환경을 대상으로 누적된 라이다 데이터의 매칭(Scan Matching)을 통해 차량의 상대적인 위치 이동을 추정하는 방식이다.

6. 무인전투차량의 원격·자율주행 성능요구사항

성능요구사항은 시스템이 얼마나 잘 수행되어야 하는지를 명확하게 정의하는 것이다. 성능요구사항은 정량적으로 나타내어야 하며, 주로 효과도(Measure of Effectiveness)로 제시되거나 주요 성능파라미터(Key Performance Parameter)로

제시된다. [4], [6], [7] 이러한 성능요구사항은 시스템의 체계개발 및 시험평가 단계에서 성능평가의 기준이 된다.

<Table 4> Performance requirements(example)

항목	기본(Threshold)	최대(Objective)
원격운용 및 제어	00종 원격운용	00종 이상 원격운용
통신거리	00km 이상	00km 이상
통신 데이터량	00Mbps 이상	00Mbps
센서기반 상황인식	360° 상황인식	←
야지환경 인식	00종 이상 인식률 70% 이상	00종 이상 인식률 90% 이상
자율복귀	영상/라이다기반 자율복귀	←
차량추종	차간거리 00km 이상	차간거리 00km 이상
충돌방지	비포장도로 충돌방지	←
고장진단	원격 고장진단	←
SLAM	00m 전진 시 평균 1m 오차	00m 전진 시 평균 0.5m 오차

성능요구사항의 명확한 제시는 광범위한 기술검토를 필요로 한다. 또한 군사비밀에 속하는 무기체계의 작전운용성능을 노출하게 하므로 본 논문에서는 성능요구사항의 예시를 제시한다. 앞에서 도출한 무인전투차량의 원격 및 자율주행에 대한 기능요구사항을 성능요구사항으로 구체화 하면 표 4와 같이 나타낼 수 있다. 미래 과학기술 발전추세와 소요군의 전력화시기에 따라 진화적으로 설정될 수 있을 것이다. 표 4에서 기본(Threshold) 성능은 무인전투차량이 전력화되기 위해 기본적으로 갖춰야 할 성능이며, 최대(Objective) 성능은 군 작전환경에서 궁극적으로 발휘해야 할 성능을 의미한다.

7. 결론

본 연구에서는 무인전투차량의 원격 및 자율주행에 대하여 시스템공학 프로세스를 활용하여 요구사

항을 분석하였다. 요구사항분석 결과로 주요 기능요구사항 및 성능요구사항을 도출하였다. 기능요구사항은 원격운용 및 제어, 통신거리, 통신데이터량, 센서기반 상황인식, 야지환경 인식, 자율복귀, 차량추종, 충돌방지, 고장진단, 동시 위치추정 및 지도작성 등이다. 요구사항분석을 위해 먼저 소요군의 운용개념과 요구능력을 살펴보았다. 소요군의 다양한 요구능력을 단순화하면서 구현 가능한 기능요구사항을 도출하였다. 이러한 기능들의 조합과 융합은 소요군의 운용개념과 요구능력을 충족시키는 데 기여할 것이다. 기능요구사항은 인공지능 및 각종 센서 기술의 발전에 따라 추가 식별될 수 있으며, 성능요구사항도 이러한 과학기술 발전추세를 고려하여 진화적으로 설정해야 할 것이다.

본 논문에서 제시하는 요구사항분석 결과가 군의 운용개념을 충족시킬 뿐 아니라 체계개발 및 시험평가 단계에서 합리적인 기능 및 성능 요구사항을 제공하는 데 도움이 되기를 기대한다.

한편 제시된 기능요구사항 및 성능요구사항들을 바탕으로 기능분석 및 할당 프로세스를 통해 상위레벨 기능을 하위레벨 기능으로 분해하여 성능을 구체화하는 후속 연구가 필요할 것이다. 또한, 본 논문에서 제시한 기능요구사항 및 성능요구사항 이외의 제약사항, 신뢰성, 안정성, 유지보수성, 인간공학 등에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것이다.

References

1. 육군본부, 미래육군의 혁신구상 Army TIGER 4.0, 제4장 pp. 73-95, 2019.
2. 국방과학기술용어사전(<http://dtims.dtaq.re.kr:8070/search/main/index.do>). ‘자율운행’, (검색일 : 2022. 6. 24.).
3. SAE International J3016(https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104), (검색일 : 2022. 6. 24.).
4. Defense Aquisition University, Systems

- Engineering Fundamentals, Defense Aquisition University Press, pp. 35-44, 2001.
5. Tarhyung Lee, Yongseok Seo and Ji-Hoon Choi, A Study on the Evaluation Method according to Change of Autonomous Level of Ground Autonomous Robot, KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 1865-1866, 2019.
 6. IEEE Computer Society, IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process, p10-20, 2005.
 7. INCOSE, Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, Wiley, pp. 59-64, 2015.
 8. Dongwoo Kim and Jungkwan Yook, Development Direction of the Robotic Combat Vehicle, KIMST Annual Conference Proceedings, p1780-1781, 2021.
 9. U.S. Army Training and Doctrine Command, Robotic and Autonomous Systems Strategy, pp. 24, 2017.
 10. Daeseung Kim, A Suggestion on a Better Template for Requirements Traceability Matrix of a Requirements Specification, Journal of KOSSE. Vol. 12, No. 1 pp. 1-5, 2016.
 11. J. Leoard, J. How, et al., A Perception-Driven Autonomous Urban Vehicle, Journal of Field Robotics, pp. 1-48, 2008.
 12. Jihong Min, Jun Kim and Kiho Kwak, IR Image-based Traversable Area Estimation for Autonomous Driving in Rough Terrain, KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 377-378, 2018.
 13. Jaeung Park, Jaehwan Kim, and Jungha Kim, The Research of Unmanned Autonomous Navigation's Map Matching using Vehicle Model and LIDAR, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 451-459, 2011.
 14. Jongrak Hwang, Kyungjea Ahn, and Yeonsik Kang, Validation of Localization Method for Autonomous Vehicles using Road Feature Map and 3D LiDAR Sensor, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 557-564, 2019.
 15. 김아영, IROS 2017 SLAM 연구동향, 로봇과 인간, 제15권 제1호, pp. 4-10, 2018.
 16. 오현철, 심현철, 로봇항법과 SLAM 기술: SLAM의 적용 및 활용사례, 로봇과 인간, 제15권 제2호, pp. 26-30, 2018.