

해상환경에서 운영 가능한 다목적 무인기 시스템 요구능력에 관한 연구

이병용¹⁾, 이중윤^{2)*}

1) 베셀 에어로스페이스, 2) 아주대학교 시스템공학과

A Study on the Required Capacities of the Multi-Purpose Unmanned Vehicle System in Marine Environment

Byeoung Yung Lee¹⁾, Joong Yoon Lee^{2)*}

1) *Vessel Aerospace*, 2) *Ajou University*

Abstract : In this paper, we report the results of a conceptual study to develop of a multi-purpose medium-sized UAV that can safely perform missions in harsh maritime environments. In this study, we focused on developing UAVs capable of performing three maritime missions that urgently require the application of medium-sized UAVs: marine ecosystem management, ocean surveillance system, and response to marine accidents. Furthermore improvement points for the above three naval missions using medium-sized UAVs were derived in preparation for the problems of the existing mission performance. Finally, by developing and analyzing the utilization scenario of the medium-class UAV, the required performance suitable for each mission was defined and assigned to the related mission equipment, A new maritime management plan was proposed using the medium-class UAV system equipped with replaceable mission equipment.

Key Words : Maritime, VTOL, Unmanned System, Requirement, Illegal Fishing, Marine ecosystem, Surveillance, Traceability

Received: March 16, 2022 / **Revised:** June 16, 2022 / **Accepted:** June 20, 2022

* 교신저자 : Joong Yoon Lee / Ajou University / leejy@ajou.ac.kr

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

대한민국은 2015년부터 국민안전 감시 및 대응 무인항공기 융합시스템 구축 및 운용 공동기획연구를 진행했으며, 이에 다부처 사업인 ‘국민안전감시 및 대응무인항공기 융합시스템 구축’ 과제(2017)를 통해 재난 현장에서 운용 가능한 재난·치안 임무용 무인기 기체 및 운항에 필요한 통신수단, 안전운항 핵심기술, 무인기 운용 및 관리와 체계 개발을 통해 국민안전 능력을 제고한다.[1]

또한, ‘공공혁신조달 연계 무인이동체’사업이 2019년부터 수요 다부처 신규사업으로 추진되면서 무인이동체를 활용한 양질의 공공서비스 제공을 위한 다양한 플랫폼을 개발하고 있다.[2]

특히, 소형 유인기의 무인화를 통해 무인기 인증 절차·체계 구축을 위한 시범인증 및 핵심 구성품 국제 인증체계를 구축하여 유인 고정익 항공기의 무인화를 위한 체계 개발 및 항공기와 지상통제장비의 인증절차 수행 등 무인기 인증체계 구축을 지속적으로 지원하고 있다.[3]

최근 대한민국 100대 국정과제 중, 국가 재난 컨트롤타워 역할 정립과 소방/해경 등 현장대응 역량 강화를 통해 통합적 국가재난관리체계를 구축하고, 재해재난에 대한 사전 예/경보 시스템 구축 및 사후 조사와 치료 강화를 목표로 무인항공기 관련 다부처 사업을 진행하고 있다.[4]

하지만 기존의 다부처 사업은 소형 무인동력비행장치를 개발하기 때문에 제한된 구역에서 제한된 성능으로 악기상의 해양임무를 수행하는 실용화 및 사업화에 어려움이 많고, 크기가 작으므로 임무수행에 한계가 명확하다.

본 논문에서는 급증하는 각종 해양수산재해재난 및 해상위협을 유인감시·신고, 대응에 의존하는 방식에서 탈피하여 해상환경에 특화된 중형급 무인기 시스템으로 새로운 광역·정밀 해상감시체계를 구축하는 방안을 제시하고자 한다.

고성능 임무장비를 탑재한 무인기로 해상임무별 무인기 도입 필요성을 파악하여 해상임무별 최적 시

나리오를 ‘Genesis’Core 프로그램으로 아키텍처로 그려보고 분석한다. 분석한 시나리오별 운용요구성능을 도출하여 서브시스템에 할당 및 추적하고 본 무인기 시스템의 요구능력을 도출한다.

2. 기존 시스템 파악

2.1 현 실태 분석

2.1.1 다목적 무인기 시스템 임무 목록

다음의 임무는 본 논문에서 다루고자 하는 해상 임무 목록과 수행 내용이다. 이는 다부처 공동기술 개발사업 이해관계자의 수요 부처에서 제안한 사업 요구사항(Business Requirement)으로 제안되었으며, 하기의 임무를 달성하기 위해 중형급 다목적 무인기 시스템으로 정의하여 분석하였다.[5] 아래의 해양임무는 원해(12해리 이상)의 먼 바다까지 비행해야 하며, 30kg의 무거운 임무 카메라 및 장비를 실어야 하므로 소형 UAV로는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서 다룰 다목적 무인기는 80km이내의 단거리 운용, 150kg이내의 중형급, 3km 이내의 고도를 비행하는 저고도 정찰/감시용 무인기를 기준으로 한다.

1) 임무 1: 해상불법어업관리

해상불법어업관리 임무는 미등록 선박(외국불법어선, 밀항선 등)의 자료를 수집/모니터링(채증)하고 현장대응을 통해 대한민국 영해와 수자원, 어민들을 지키는 해상 경비 임무를 수행하게 된다.

2) 임무 2: 해상사고안전관리

해상사고안전관리 임무는 해상에서 난파 및 전복된 선박 등 해양사고가 발생할 때, 해상 조난자, 익수자 등의 긴급 인명구조를 수행하게 된다.

3) 임무 3: 해상생태계관리

해상생태계관리 임무는 해상환경을 체계적으로

관리, 감시하는 역할로서 특히, 해수온측정, 양식장 관리, 해양유해생물, 외해유입해조류를 탐지하여 적절한 조치를 통해 대한민국 해양생태계를 관리한다.

2.1.2 임무 해역 분석

그림 1과 같이 국내법이 적용되는 해상영역의 거리는 연안국 주권을 갖는 영해(12해리)와 재정·관세·위생·출입국·밀수 등에 관해 국내법이 적용되는 접속수역(24해리)로 이루어진다. 접속수역인 24해리는 약 45km로 추산되며, 대한민국은 다양한 감시 시스템 네트워크를 구성, 활용하여 유기적으로 접속수역 내, 대한민국 해역을 총망라하여 감시·관리해야 한다.

구분	주요 개념	지배 주체	해양영역 특성
영해 (12해리)	연안국 주권	연안국	수역 (수상·수중·해저)
접속수역 (24해리)	재정·관세·위생·출입국·밀수 등에 관한 국내법 적용		수상
배타적 경제수역 (200해리)	연안국이 해양자원·과학조사·해양환경 등에 관한 권리행사		수역
대륙붕 (최대 350해리)	연안국이 해저자원 개발권 보유		해저
심해저*	어떤 국가도 심해저나 그 자원에 대해 주권이나 주권적 권리를 주장하거나 행사할 수 없다.	국제사회 (또는 국가)	

* 심해저와 그 자원에 대하여는 국제심해저기구가 인원을 대신하여 관리를 하고 있으며, 당사국은 승인을 통해 배타적인 탐사권과 개발권을 갖는다.

[Figure 1] Domination of the sea

더 나아가 선박/함정에서 운용하는 무인기 시스템을 운용하여 더 넓은 범위의 배타적 경제수역 내의 안보·안전·경제·환경 등 모든 해상상황에 대한 24시간 해양 CCTV활동을 수행해야 한다.



[Figure 2] Korea's EEZ(exclusive economic zone) and KADIZ(korea air defense identification zone)

하지만 그림 1의 접속수역과 Figure 2의 대한민국 Exclusive Economic Zone(배타적 경제수역), Korea Air Defense Identification Zone(방공식별구역)에서 해양임무를 수행하는 현 시스템은 한계가 있으며 이를 2.1.3에서 분석하였다.[6]

2.1.3 기존 시스템 활용 임무 수행 시 한계 분석

기존 해상임무를 수행하기 위한 주요 시스템은 다음과 같고, 그에 대한 임무 수행 한계점을 분석하였다.[7]

1) 선박/함정 : 출동 준비 및 출동하는 시간이 길다. 악기상 시, 운용하였을 때, 인명 피해가 발생할 수 있다. 탐색하고자 하는 해역과 경로 범위가 제한적이다. 수리 및 정기 점검을 위해 정비창에 입항해야 하며, 정상적인 운용까지 걸리는 시간, 인력, 장비, 부품 등에 소요가 많다.

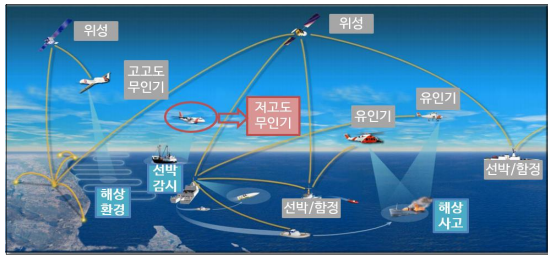
2) 위성 : 위성으로 촬영한 자료는 광역으로 한눈에 볼 수 있지만, 해상도가 떨어진다. 같은 해역을 재촬영하려면 약 15일 정도의 주기로 간격이 생겨 실시간 해상 데이터의 신뢰성이 낮다. 적조 등 해양유해생물의 대규모 군집만 한정적으로 식별할 수 있다.

3) 유인 헬기 : 악기상 시에 출동이 제한될 수 있고, 인명 피해가 발생할 수 있다. 보관할 격납고가 설치된 대형급 선박/함정이 필요하다. 기체 구입, 유지보수비, 유류비 등 운용부대비용이 상대적으로 비싸다.

2.2 임무별 무인기 시스템 도입 필요성

기존의 지엽적이고 많은 인력과 선원소모의 선박/함정 및 비실시간과 정밀광역성이 떨어지는 위성, 인명피해가 우려되는 유인기를 이용한 해양영역 정보 통합시스템을 넘어서 무인기 시스템을 이용하면, 넓은 범위(광역)의 해상을 안전하게 실시간으로 고해상도의 자료를 얻으면서 상대적 저렴한 운용비로 초동조치를 주야간/전천후로 수행할 수 있기에 기존의 시스템과의 유기적인 네트워크를 형성하여

최종적으로 미래 대한민국형 MDA(해양상황인식, Maritime Domain Awareness)를 구축하여 그림 3처럼 24시간 해상 안보·안전·경제·환경 등의 임무를 효과적으로 활용할 수 있다. 특히, 중형급 무인기 시스템 도입이 필요한 3가지 해상임무별 필요성을 다음과 같이 분석하였다.[8] 이는 기존의 해양 UAV 시스템이 구축 혹은 배치되지 않은 시스템이다.



[Figure 3] MDA platform construction and utilization conceptual diagram example

2.2.1 해상불법어업관리

함정에서 불법선박이라 판단된 경우라도 실제로 무허가 불법어선 혹은 밀항선 혹은 어선의 V-Pass 장비를 작동하지 않은 것인지 확실히 알기 어렵다. 이를 확인하기 위해 의심되는 어선들의 밀집 구역에 해양경찰이 신속하게 출동하여 가시권 내에서 근접 확인하였지만, 해상환경 및 불법 어선들의 집단 계류 형태로 흥기를 사용하여 격렬히 저항, 도주, 폐쇄, 방해물 설치 등으로 대한민국 함정 등의 경로를 차단하거나 손실을 내어 나포 및 단속에도 어려움이 있다.

이에 중형급 무인기를 이용하여 전천후 불법어업 관리의 임무인 무허가 불법어선의 식별, 탐지, 어선 V-Pass 및 선명 채증, 불법 조업 현장 포착 등의 임무를 수행하면, 신속하고 정확한 상황 파악을 통해 원활한 대응이 가능하다.

이때, 불법선박 내의 선원들은 높은 고도, 먼 거리 상공에 비행중인 무인기를 인지하지 못하기 때문에, 정확한 판단 및 대응이 불가하므로 우리 해경의

인력 손실 없이도 은밀하게 불법 조업 활동에 대한 채증이 가능하다.[9]

2.2.2 해상사고안전관리

주로 홍수, 태풍, 기상이변 등 극한 환경이 발생하는 날에 해상의 선박, 어선 혹은 방파제, 테트라포드 등에서 인명 해상사고가 발생하여 해상에 표류되는 해상 조난자가 발생한다.

사고 신고접수 후, 인명구조를 위해 사고 해역으로 구조팀이 신속히 출동해도 실시간으로 변하는 해상상황으로 인해 해상 조난자 수색이 어렵다.

이에 해경에서는 유인헬기, 고무보트를 이용하여 사고 인근 해역을 수색하지만, 악조건 속에서 구조 인력과 물자 피해 가능성이 존재한다.

또한, 해상사고 시, 그림 4처럼 해수 온도에 따른 익수자 생존 예상 시간을 정의하여 골든타임의 기준을 수립하였으나[10], 해상사고 거리, 표류물, 부양물 유무, 사고 유형 등에 따라 실제 구조 가능한 골든타임이 지연, 변경될 여지가 있다.

수 온	익수자의 생존예상 시간
2℃	45분이하
2℃ ~ 4℃	1시간 30분 이하
4℃ ~ 10℃	3시간 이하
10℃ ~ 15℃	6시간 이하
15℃ ~ 20℃	12시간 이하
20℃ 이상	미상 (피로도에 좌우됨)

※ 관련근거 : IMO 해수온도에 따른 익수자 생존시간

[Figure 4] Survival time according to seawater temperature

이에 무인기를 도입함으로써, 악기상에서도 안전하고 고해상도의 화질로 사고 지역을 신속하게 탐색, 추적이 가능하다. 이에 함정에서 후속 대처 판단하여 이동, 수색, 구조하는데 훨씬 안전하고 신속하게 초동 구조임무를 수행할 수 있다.

또한, 무인기는 유인헬기와 임무 수행 프로세스가 비슷하지만, 점검 및 출동이 간단하여 시간을 단축할 수 있다. 이에 정량적 초동 구조 골든타임 기준

을 수립하여 완전 인명구조까지의 골든타임을 지연시킬 수 있는 시간을 벌 수 있다.

결과적으로 초도 구조활동뿐만 아니라 탐색에도 정보를 주기 때문에 긴급한 상황 속에서 무인기가 도입될 필요성이 있다.

2.2.3 해상생태계관리

해양수산부에서 UAV를 통해 주요하게 관리하고자 하는 수산생태계의 요구사항 품목은 총 4가지 영역으로 정의하고 있다. 1) 해수온 측정, 2) 어류 양식장 관리, 3) 해양유해생물_적조 관리, 4) 해양의 해유입생물_괘생이 모자반 관리이다. 이때, 각각의 관리방안은 현재 다음과 같은 문제가 있어 무인기를 도입하여 활용해야 생태계 관리가 잘 이루어질 것이다.

1) 해수온 측정 : 해수온 측정은 해상에 배치된 부표 안에 온도 측정 센서를 삽입하여 때때로 온도 데이터를 받지만, 부표에 들어있는 장비를 하나하나 수작업으로 관리하기 어렵고, 센서가 해양에 노출되어 데이터의 정확성 및 신뢰성이 떨어진다. 따라서 고사양의 infrared radiation 센서를 탑재한 무인기로 해당 해상지역을 스캐닝하면 실시간으로 정보를 알 수 있으므로 해수온 DataBase로 인한 높은 신뢰도의 예측 시스템이 구축될 수 있다.

2) 어류 양식장 관리 : 기존의 양식장은 어민들의 피해 신고 및 제보로 인해 대처가 느리다, 이에 무인기의 전자광학 카메라로 실시간 촬영하면서 주야간과 상관없이 양식장 인근의 상황을 탐색 및 확인할 수 있으며, 빠른 상황대처가 가능하다.

3) 적조관리 : 기존에는 인공위성의 낮은 해상도의 Hyper Spectral Camera 장비로 대규모 적조(500m길이, 24m띠 정도의 크기)만 식별이 가능했다. 그것도 위성이 제자리로 다시 오는 시간차(약 15일) 때문에 정확한 적조 위치의 파악이 늦다. 적조 예상 지역으로 출동해도 좁은 범위, 제한된 출동 횟수로 적조를 탐색하는 어려움이 있다. 또한, 대규모 적조가 확인되어도 이미 양식장 피해가 상당한 수준이다.

이에 무인기를 활용하면 광역의 적조 발생 예상 지점을 쉽게 판단할 수 있고, 고사양 HSC를 활용하여 소규모/중규모/게릴라성 적조현상도 파악할 수 있어 생태계 보호에 효과가 있다.

4) 괘생이 모자반 이동 추적 및 수거 계획관리 : 괘생이 모자반은 10월 경, 중국 산둥반도와 타이완 쪽에서 떨어져 나와 해류를 타고 대한민국 해상에 1~3월에 흘러들어오는데, 모자반은 굉장히 질기고 해수면을 덮어 햇빛을 차단한다. 또한, 양식장 그물에 걸리면 마치 넝쿨처럼 들러붙어 기생하는 외해 유입생물이 된다. 이에 그물에 기생하는 괘생이 모자반을 처리하려면 그물 자체를 소각, 폐기, 투기하여 해양환경이 오염된다.

이에 무인기의 고해상도 Hyper Spectral Camera 를 이용하여 탐색, 자료 분석을 통해 괘생이 모자반의 유입 경로와 군집을 사전에 식별할 수 있으며, 빠른 대처가 가능하다. 추후 초동조치의 역할(약품 및 황토 등 살포)까지 수행한다면, 소규모로 발생하는 유해생물들의 진입을 방지할 수 있다.

3. 임무별 운용요구성능 도출

3.1 이해관계자 요구사항 개발

이해관계자 요구사항은 수요 부처와 협의체/교류회를 통해 개발, 의결하였으며, 사용자 만족도 평가 등을 통해 지속적으로 보완할 예정이다.

특히, 초기 이해관계자 요구사항은 운영/운용개념을 통해 수정되어 구체화하지만, 3.1절에서는 그러한 일련의 과정을 거쳐 명확해진 요구사항에 대해서 미리 작성하였고, 이에 대한 요구사항은 표 1에 식별번호를 부여하여 정리하였다. 여기서 해수는 해양수산부, 해경은 해양경찰청을 뜻한다. 표 1에 대한 이해관계자 요구사항은 사업 제안 단계서부터 제안 요청서를 통해 수요부처의 협의 및 제안을 받은 사항으로 정리되었다.

<Table 1> StRS for Illegal Fishing Management

NO.	불법어업관리 이해관계자(해수/해경)요구사항(StRS)
StRS-01	해수/해경은 불법어선 조업 현장까지 50km를 이동하여 정보를 수집해야 함.
StRS-02	해수/해경은 5m급(소형선)불법어선을 탐지, 식별해야 함.
StRS-03	해수/해경은 불법 어선의 선박명 등의 충분한 정보를 제공해야 함
StRS-04	해수/해경은 주야간, 실시간으로 불법현장을 채증해야 함.
StRS-05	해수/해경은 은닉상태로 채증 활동을 노출하지 않아야 함. (가시권시정: 1km거리에서 소음: 60dB 이하)
StRS-06	해수/해경은 10km의 해상탐지거리 및 4km 해상탐지폭으로 광역감시해야 함.
StRS-07	해수/해경은 거친 해상상황, 악기상인 Sea State Level 5 이상에서도 채증해야 함. (전천후 운용)
StRS-08	해수/해경은 채증임무를 수행하고 안전하게 복귀해야 함.
StRS-09	해수/해경은 비상상황 발생 시, 보안을 확보해야 함. (타국에 비밀 정보 노출하지 않아야 한다.)

<Table 2> StRS for Maritime safety accident management

NO.	해양안전사고관리 이해관계자(해경)요구사항(StRS)
StRS-10	해경은 해양사고 현장까지 180km/h 이상의 속도로 최대한 신속히 이동해야 함.
StRS-11	해경은 수색/구조 매뉴얼에 따라 익수자를 식별해야 함.
StRS-12	해경은 익수자에게 2m 이내로 접근하여 정확하게 구호 물품을 전달해야 함.
StRS-13	해경은 구조시스템(ROV)을 익수자기준 반경 300m내에서 안전하게 투하해야 함.
StRS-14	해경은 구조시스템(ROV)을 회수해야 함.

<Table 3> StRS for Marine ecosystem management

NO	해양생태계관리 이해관계자(해수)요구사항(StRS)
StRS-15	해수는 무인기를 지정된 경로의 10m 경로 오차 범위 내에서 조종해야 함.
StRS-16	해수는 400nm~1000nm 대역 폭에 있는 유해생물들을 채증해야함.
StRS-17	해수는 소규모/중규모, 게릴라성 해양 군집도 채증해야함.
StRS-18	해수는 유해생물 적조등을 탐지해야 함.
StRS-19	해수는 외해유입생물 팽생이모자반 등을 탐지해야 함.

3.2 이해관계자 요구사항 타당성 분석

3.1에서 정의한 이해관계자 정량적 요구사항에 대한 타당성을 분류하여 표 4와 같이 정의하였다.

<Table 4> StRS Validity

StRS No.	Requirement validity
StRS-01	무인기시스템은 대한민국 접속수역(24해리, 45km)를 관리해야 하므로 함정-무인기의 거리가 약 50km까지는 통신 도달할 것.
	무인기시스템은 대한민국 함정이 출동하여 불법 어선을 탐지하는 레이더 장비 능력이 약 80km라 육상-무인기의 거리도 약 80km까지 통신 도달 가능할 것.
	MVUS는 cruise speed로 비행하면 약 130km/h(36m/s) 정도이므로 2시간 비행(2시간 복귀)이면, 최대 약 260km를 비행하여 관제권 이양시, 5~6척의 함정으로 커버 가능할 것.
StRS-02	데이터링크(주/보조)주파수 대역(c-band)과 간섭이 이루어지지 않는 대역 선정할 것.
	V-Pass를 적용하는 소형 어선/선박의 기준은 약 5m급이므로 불법소형 어선까지 식별 가능할 것.
StRS-03	RTK/GNSS 및 GPS 항법장치를 이용하여 무인기의 필수 정보를 GCS로 계기비행이 가능할 것.
	불법어선을 식별하기 위한 SAR 영상의 최고해상도는 0.3m까지 확인하여 선명 등 확인 필요할 것.
	전천후 선박을 식별하기 위한 장비를 개발할 것.
StRS-04	- 해상도는 FHD 이상으로 형상식별에 판단하고, 시야각은 최소한 60도 이상으로 조종사의 시야에 불편함이 없어야 하며, 요각은 360도 회전하여 모든 지역을 봐야 할 것. - 영상압축은 GCS에 내려줄 수 있는 영상파일을 압축가능한 포맷형식일 것.
	주야간 감지기 EO는 25배 줌기능을 통해 중고도 안의 범위에서도 사물의 위치, 식별 가능할 것. IR은 현재 줌기능을 지원하는 장비가 없으나, 대신 소프트웨어로 줌기능 개발할 것.
	MIL-STD 환경 표준 규격서를 참조하여 테일러링/반영할 것.[11],[12],[13]

StRS No.	Requirement validity
StRS-05	무인기 기준을 만족하는 저고도 수치이며, 높은 고도에서 카메라(SAR, EO) 줌으로도 물체를 조용히 촬영/식별할 수 있는 수치 선정할 것.
	해양수산부의 '강선의 구조기준 中' 최저치를 선정하여 선박 어느 곳에서도 무인기의 비행소리를 듣지 못하게 제한할 것.[14]
StRS-06	최적 운용고도를 약 1.6km로 예상되므로 이때의 해상거리는 최대 10km로 측정할 것.
	SAR의 관측폭은 카메라의 시야각에 따라 고도에 따라 달라지지만, 최대 4km까지는 확보되어야 배가 움직여도 데이터를 전송할 것.
StRS-07	흔들리는 함상에서 안전하게 자동 이착륙이 가능한 제어시스템을 구축할 것.
	함상 갑판에서 수직으로 이착륙이 가능해야 하며, 제자리 비행이 가능하여 모든 방향으로 비행 가능할 것.
	데이터링크는 이중화를 통해 신뢰성을 높일 것.
	무인기가 해상상황에서 제자리 비행으로 임무 수행 시, 풍속 15m/s (sea state level 6~7) 정도의 강풍에도 비행성을 입증하여, 악천후 속에서도 운용 가능할 것.[15]
StRS-08	비행체 비상로직 RTB(Return To Base)를 통해 안전하게 복귀나 불시착하여 보호할 것.
	비행체 추락을 예방하기 위한 보조링크의 최소 전송속도는 16kbps로 설정하여 이중화 설계, 보호할 것.
	항우연의 틸트로터용 스마트 무인기의 비행시험 결과를 비교하여 착륙 반경과 성공률이 매칭되게끔 선정할 것.[16]
StRS-09	무인기시스템은 RTB를 못하고, 비상착륙 및 적국으로 넘어가게 될 경우, 보안 데이터를 삭제하는 전투기 알고리즘을 반영할 것.
StRS-10	해양안전임무시, 가장 빠른 속도로 비행해야 하며, 연안에서 약 5~60km까지 골든타임 20분을 계산하였을 때, 적어도 180km/h의 속력을 내야 시간 내, 도달 가능할 것.
StRS-11	무인항공기가 사고 해역 근처에서 효율적/체계적으로 조난자 등을 식별하기 위해 유인기로 수행하던 IMSAR 수색 절차 매뉴얼을 이용함.[17]

StRS No.	Requirement validity
StRS-12	ROV(Remotely Operated Vehicle)는 자체 추력장치를 통하여 신속하게 익수 자위치까지 접근(10분 이내)하여 두 팔을 뻗어 닿을 수 있는 거리인 2m이내로 접근하여 비상 구호 물품을 탈락, 전달해야 함.
StRS-13	ROV를 투하시, 기체에 손상이 가지 않게끔 설계하고 낙하산을 장착하여 충격량을 줄인다. 입수 시, 낙하산을 탈락시키고, 가벼운 구조체로 신속하게 이동함
StRS-14	ROV가 임무 수행 후, 오작동/비상작동으로 인한 복귀가 불가할 때, 부유장치, GPS 위치 센서, 라이트 불빛을 통해 발견되어야 함.
StRS-15	MVUS는 자동비행을 통해 넓은 해역을 탐사해야 하므로 지정된 경로에서 10m 이내의 오차를 가지고 이동
StRS-16	대부분의 해상 유해생물의 고유 파장이 약 400~1000nm 대역에서 식별되므로 이 데이터를 선정하였으며, AI 알고리즘을 통해 분석.[18]
StRS-17	기존의 위성자료는 대규모(띠 2km, 폭 500m 이상)의 적조 군집 등만 식별하는데, 무인기를 통해 더 작은 규모의 군집을 확인하여 초기에 조치
StRS-18	적조가 대규모 군집으로 세력이 커지면 주위의 양식장 및 해역의 어류들이 질식/폐사하기 때문에 대규모로 발전하기 전에 처리하여 없애야 함.[19]
StRS-19	외해유입해상생물은 대한민국에 도달, 양식장에 도달하면 큰 피해를 주고, 어류 집단 폐사에 이르기 때문에 대한민국 해역에 접근하면 바로 출동, 수거하는 체계가 존재해야 함

표 4의 요구사항 분류기준은 사업초기단계에서 이해관계자 및 수요부처와 협의한 제안요청서를 토대로 작성하였으며, 본 내용은 체계규격서를 통해 정의, 서명 및 승인된 내용으로 발전하여 연차별 과제평가 및 SE마일스톤에 의해 검토위원의 평가를 받는다.

3.3 무인기 시스템 환경(Context, PESTELCT) 분석

해상임무를 위해 무인기 시스템을 도입하면 발생할 환경적 영향성을 거시환경 분석모델인 PEST를 활용하여 분석하였고, 이외로 ELCT를 덧붙여 추가

분석하였다. 구체적으로 PESTELCT는 정치적(P), 경제적(E), 사회적(S), 기술적(T), 환경적(E), 법률적(L), 문화적(C), 시간적(T)로 구분하여 표 5와 같이 분석하였다. 분석 결과, 정치적 환경에서 해상 거리의 요구사항이 재확인되었고, 경제적/사회적 환경에서 안전성에 관한 법적 해결과제가 도출되었으며, 환경적 특성은 무인기 설계/개발 및 운용개념에 직접적으로 반영되었다.

<Table 5> UAV system impact analysis

분류	영향
Political	<ul style="list-style-type: none"> • 무인기 시스템이 도입됨으로써, 한반도의 해양 위협 및 관심이 많고 적극적으로 수용하길 원하는 해안가 주민, 관계자들에게 대한민국 해양 주권을 지키는 정책적인 방안으로 신기술을 채택하는 방안을 법안으로 세우거나 유세, 방침에 이용될 수 있다. • 배타적 경제수역의 감시 및 대응능력이 강화됨에 따라 접경지역의 해양 경제권에 대한 감시, 협약, 제약에 따른 국제적인 권소시업이 이루어지고 각국 정당과의 민감한 주제로 확장되므로 적극적인 활용이 어려울 수 있다. • 무인기에 큰 관심이 있는 동남아시아권에 수출하여 정치적으로 이권을 가지는 정책, 협약으로 대한민국 영향권을 확대할 수 있다.
Economy	<ul style="list-style-type: none"> • 무인기 시스템이 도입됨으로써 저렴한 무인기 시장이 활성화되며, 국내산의 고성능 장비가 탑재되어 국내 시장의 경제적 이익으로 내수시장이 활성화될 수 있다. • 현재 중국에서 생산하는 값싼 무인기(드론)로 무인기 시장을 독점적으로 점령하고 있어 국내 제품을 중국제품보다 국제시장에 저렴하게 공급하기는 어려울 수 있다.
Society	<ul style="list-style-type: none"> • 무인기가 극한 상황에서도 정상적으로 운용한다면 사회적으로 물류, 운송의 실생활과 일상생활에서도 규제가 완화되어 민수시장에서도 거래되는 사회적 현상이 발생할 수 있다. • 미국에서는 범죄 및 안전상의 사회적 불안함으로 사회적 안전규제를 강화하는데, 개발업체들은 가혹한 안전조건을 만족시키기 어려워 의견 차이를 절충하는 데 상당한 시간이 소요될 수 있다.

분류	영향
Technology	<ul style="list-style-type: none"> • 신기술을 복합한 무인기 시스템은 기술적으로도 많은 논쟁이 발생하며, 높은 기술도 신뢰성의 설계 및 제작하기 다소 어려울 수 있다.
Environment	<ul style="list-style-type: none"> • 대한민국 해역의 가장 낮거나 가장 높은 온도에서도 운용하여 같은 위도에 놓인 국가 혹은 해역을 끼고 있는 비슷한 환경에서는 충분한 성능을 낼 것이라 예상하며, 해상에서 강점을 드러낼 수 있다. • 건조한 사막지역, 극지방 등 인력이 닿기 어려운 곳에는 현 기술력으로 어렵거나 전 지역을 커버하는 데 한계가 있을 수 있다.
Legal	<ul style="list-style-type: none"> • 현재, 대한민국 및 미국에서 법률적으로 자체중량(미국은 MTOW 기준) 150kg이하로 정의된 초경량비행장치 법률에 대한 안전성 인증 기준과 조종사 보유 자격증 및 경력사항 등이 부재하기 때문에 제품화/양산화가 어려울 수 있다.[20] • 무선주파수 운용 법률 중, 실용화 무선국 입증에 관한 기술기준이 부재하기 때문에 양산시, 주파수 선정 및 승인이 어려워 제품화에 문제가 있을 수 있다.[21] • 무인기 시스템은 상기와 같이 수요가 있으니, 초경량 비행장치와 실용화 무선주파수 성립 법률이 부재한 신기술을 적용하기 위해 미국에서 제정된 법률을 대한민국에서 더 빠르게 도입, 검토하여 대한민국에 맞게 제정, 공포할 수 있게끔 법률적 제정에 신경을 써야 한다.
Culture	<ul style="list-style-type: none"> • 드론은 도심 혹은 일상생활에서 인류 머리 위로 날아다니게 허용하지 않는다. 인류는 문화적으로 아직 드론이 날아다니는 하늘을 받아들이기 어려울 수 있다. • 이에 실용화 시, 충분한 신뢰성과 믿음을 보이면, 문화적으로도 물류 및 운송, 비행택시 등의 시스템에서도 반영되어 다방면에 활용 가치가 있으며, 일상에 자연스럽게 녹아들 수 있다. 경제적 수준이 낮은 국가에서는 탈취, 범죄, 테러 등의 문제로 생명에 위협감을 느껴 무인기에 반감을 느낄 수 있다.
Time	<ul style="list-style-type: none"> • 무인기는 기존의 항공기보다 가볍고 간단하여 제작 및 공정에 큰 시간 및 생산성을 들이지 않고도 공급 가능한 일정에 수요량을 맞출 수 있다. 또한, 수리, 정비의 시간 및 공간의 활용에도 제약사항이 많지 않은 장점으로 시간적 소요가 적을 수 있다.

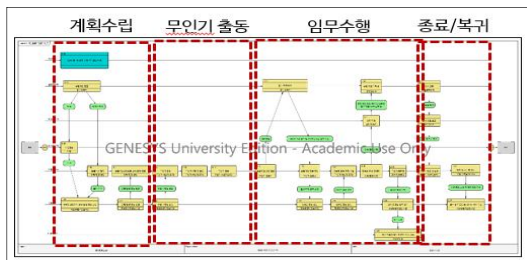
3.4 운영개념(ConOps) 분석

임무별 이해관계자 요구사항과 그에 대한 타당성을 분석한 내용을 토대로 다음과 같이 Concept of Operations(ConOps)를 개략적으로 구성하여 무인기 시스템의 임무별 운영개념을 분석한다. 이는 이해관계자와 명확히 개념을 협의하기 위한 용도로, 임무를 수행하기 위한 적절성 분석 기반 자료로 구성한다.

또한, 임무별 시스템 핵심 성능이 도출되어 이와 관련된 계통별 최상위 성능을 정의할 수 있으므로 운영개념을 다음과 같이 간략히 나타내었다.

3.4.1 해상불법어업관리

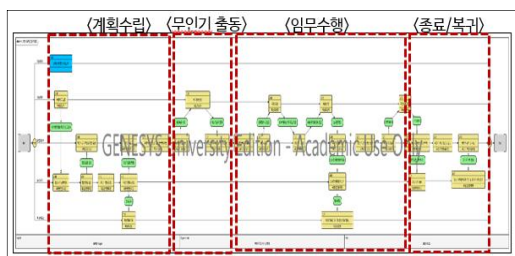
해상불법어업관리의 운영개념을 다음의 그림 5과 같이 작성하여 분석하였다. 불법어선이 출몰한 것부터 시작하여 계획수립, 무인기 출동, 임무수행, 임무종료/복귀하는 과정을 표현한다.



[Figure 5] Management of illegal fishing at sea ConOps

3.4.2 해상사고안전관리

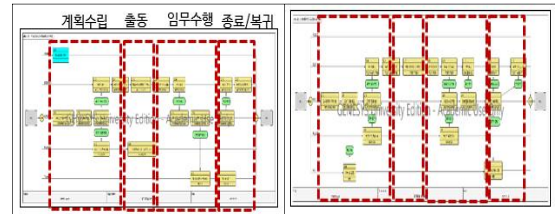
해상사고안전관리의 운영개념을 다음의 그림 6과 같이 작성하여 분석하였다. 해양사고가 발생한 것부터 시작하여 계획수립, 무인기 출동, 임무수행, 임무종료/복귀하는 과정을 표현한다.



[Figure 6] Maritime safety accident management ConOps

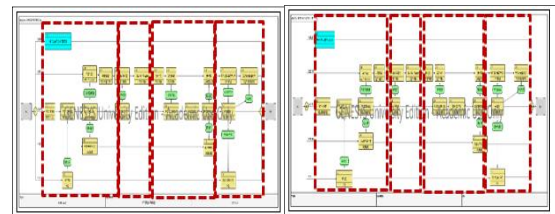
3.4.3 해상생태계관리

해상생태계관리의 운영개념을 다음의 그림 7~10와 같이 작성하여 분석하였다. 해상생태계관리 항목을 분류하여 계획수립, 무인기 출동, 임무수행, 임무종료/복귀하는 과정을 표현한다.



[Figure 7] Sea temperature management ConOps

[Figure 8] nursery management ConOps



[Figure 9] Harmful organism management ConOps

[Figure 10] Foreign imported algae management ConOps

3.5 운용개념(OpsCon) 분석

앞서 정의한 3가지 해상임무별 운용개념을 토대로 임무별 Operational Concept(OpsCon)를 정의하여 이해관계자 요구사항을 상세히 분석하여 갱신하였다. 이해관계자와 협의를 통해 요구사항을 확인하고자 임무별 시나리오(정상/비정상)를 다음과 같이 분석하였다.

운용개념 분석 결과, 세부적인 운용 및 임무 수행자, 조작자들이 선별되었으며, 시스템 성능에 대한 정량적인 계통별 성능 요구사항, 운용성, 편의성 등이 도출되어 초기의 이해관계자 요구사항이 갱신 및 조정되었다.

이때, 요구사항은 시스템 기능 모델(2D)을 구성하여 시뮬레이션을 통해 분석해야 하지만, 본 논문에서는 그 과정을 생략하고, 추후 연구에 반영하여

이해관계자 요구사항을 확인할 예정이다.

3.5.1 해상불법어업관리 정상 시나리오 분석

정상/비정상 시나리오 분석은 앞서 아키텍처로 구성된 내용을 바탕으로 상세화하여 풀어낸 내용이며, 아래의 시나리오 구성 및 분석은 과제 종료 이전에 작성되어 2022년 사업종료 후, 사업화/실증을 통해 시나리오의 적절성을 검증해야하는 한계점이 존재한다.

3.5.1.1 무인기 출동 전

00년 00월 00일 00시(꽃게 산란기 시기 : 3~6월)에 서해 중국 해상 접경 지역 인근 위도000 경도000의 해상 경로에서 불법 조업선이라 판단되는 00척의 선박들이 순찰 중이던 대한민국 0000함 함정 및 00호 선박의 AIS/V-Pass 레이더에 먼저 식별된다.

해수/해경 인원들을 파견하기 전, 함장은 무인기 출동 명령을 검토, 논의한다. 무인기 출동이 적절하다고 판단되면, 함장의 명령에 따라 운용자(무인기 조종사-외부조종사, 내부조종사, 내부조종감시자, 비행책임자 각 1명과 정비사 2명)을 호출하여 현재 상황에 대해 함장 또는 부함장이 현 상황을 개략적으로 브리핑하여 각자 임무를 숙지한다. 또한, 인원별 준비 및 점검 사항을 진행하여 무인기 출동에 문제없게끔 점검한다.

기상 제한사항을 파악하여 육상 관할서 및 본부에 보고, 승인받는 절차를 통해 대외적으로도 출동허가 최종 승인받고 무인기를 출동시킨다.

3.5.1.2 임무 수행

내부조종자가 비행책임자를 통해 출동 명령을 인지하고 GCS(Ground Control System)를 통해 이륙 버튼을 눌러 전원을 인가하여 동작한다.

외부조종사는 함상의 갑판에서 헤드셋을 통해 비행책임자와 내부조종자의 명령에 따라 무인기를 실질적으로 이륙을 조종한다. 이륙시에는 리프트로프를 이용하여 수직상승한다. 무인기가 이륙하여 함정

의 안테나, 물대포 장비 등 도출된 장애물의 높이보다 더 올라가서 어느 방향으로 전진하여도 문제가 없어야 한다.

무인기는 약 1.5분 동안 약 50m 고도까지 수직이륙 후, 서서히 날개 파드를 틸트하면서 천이 과정을 거친다. (이때 무인기 복행 가능성을 고려하여 배터리 잔량으로 인해 천이하기 전까지 이상 유무를 비행책임자가 판단해야 복행가능하다.)

천이 후, 약 1.2km까지 약 7.7분 동안 상승비행을 하게 되며, 임무지역으로 헤딩하여 날아갈 방향과 경로를 미리 탐색하게 된다. 지상통제장비 및 위치 고도계를 통해 운용고도까지 상승이 완료되면 내부조종자는 설정한 경로점으로 지상통제장비를 통해 무인기에 순항비행 명령을 내린다. 이때, 무인기 이륙 및 전진 후, 외부조종자의 눈에서 벗어나 수동비행이 불가하면 자동비행모드로 조작하여 내부조종감시자가 지상통제장비 계기 및 전자광학 카메라를 통해 확인한다.

내부조종자는 비행책임자가 교신한 내용을 토대로 지상통제장비에 항로점을 설정하여 비행경로를 그린다. 이때 최대 운용거리는 함정으로부터 50km이며, 그 영역에서 임무 수행하도록 제어한다. 무인기는 방위각, 위도, 경도, 엔진, 배터리, RPM, 조종면 각도, 항전장비 작동성 등의 정보 데이터를 송수신하여 지상통제장비를 통해 제어된다. 이를 내부조종감시자는 실시간으로 비상상황 발생 가능성을 확인한다.

무인기는 약 33분 동안 비행하면서 임무지역에 도달한다. 이에 내부조종자는 전자광학 카메라를 통해 대한민국 해역 인근에 침범하여 조업하는 불법어선이라 의심되는 선박들을 식별하게 된다. 이때 무인기의 위치는 약 1200~1300m의 고도에서 선회하며 촬영하고 있으며, 약 4.5km까지의 탐지거리를 확보할 수 있다. 이는 무인기의 소음 및 불법어선의 선원들이 쉽게 알아차리지 못할 고도와 거리에 있기에 현실적 대응 및 탈취가 어렵다.

즉, 불법선박으로 의심되는 선박의 선원들에게 발각되지 않아야 하므로 가시권에서 멀리 벗어난 운용

고도(최대 3km)와 운용 거리(약 1km) 밖에서 저소음(60dB 이하)으로 활동 및 채증해야 한다.

또한, 불법선박(소형선 포함)은 AIS/V-Pass 장비로 데이터가 수집되며, 합성개구레이다 영상장비(주/야간)의 이미지로 전송되며, 지속적으로 선회비행 하면서 채증한다.

합성개구레이다 에서 수집된 정보는 불법어선식별장비로 학습된 선박식별 알고리즘을 통해 해당 선박이 불법인지 유무를 판단하게 된다. 채증한 선박의 ID가 대한민국에 등록된 선박정보에 없을 시, 불법어선 및 밀항선이라 판단하여, 비행책임자가 함장에게 불법선박이 출몰했다고 보고하게 된다. 이에 함장의 지시로 00분 이내로 해경 단속반이 신속하게 출동하게끔 지시하게 된다. 이때, 불법선박이 가지고 있는 장애물 유무, 위협도구(작살, 그물, 피해를 줄 수 있는 장비)유무, 몸을 숨기거나 작은 보트로 도망갈 수 있는 수단의 유무 등을 무인기의 전자광학 카메라로 실시간으로 확인하게 된다. 이에 해경 단속반은 맞춤형으로 준비하여 항로 및 인원 선정 등의 전략적인 대응 절차 및 시스템을 구축하여 함장 및 비행책임자는 현 상황 공유, 후속 조치 및 다음 임무 가능성을 판단한다.

불법 선박을 나포 및 단속하기 위해 단속반이 투입, 접근하게 되고, 수행하는 행위(신원파악 및 조사 등)들을 진행한다. 이때 무인기는 계속해서 선회하며 해경 출동 및 접근에 대해 줌인 촬영하여 실시간으로 상황을 화면으로 볼 수 있어 더 빠른 대처 및 지시를 내리기 수월하다.

단속반이 직접 개입하여 단속행위를 수행하고 있으면, 함정도 따라서 단속해역으로 다가간다. 함정이 접근하여 직접 통제 가능한 범위 내에 도달하면, 무인기의 연료량을 확인하여 착륙 및 복행 00회까지 가능한지 예상 및 판단하여 무인기 임무를 종료 판단하게 된다. 1차적으로 내부조종사, 내부조종감시자가 판단하여 비행책임자에게 보고하고, 비행책임자의 지시로 무인기가 함정에 복귀하게 된다. 이에 외부조종사가 갑판에 나가서 직접 수동조작이 가능하도록 데이터 송수신을 전환하여 복귀 절차를 따

르도록 한다. 이때의 총 비행시간은 33분, 고도는 1.2km, 속도는 36m/s로 추정된다.

3.5.1.3 임무 종료 후, 후속처리

불법선박단속 임무가 종료되면 다음과 같은 무인기 임무종료절차 및 후속처리를 따른다.

무인기가 복귀하여 함정의 갑판에 있는 외부조종사의 가시권에 들어올 때까지는 자동으로 비행하여 귀환(Return To Base)를 수행한다.

내부조종사는 잔여 연료량, 배터리 및 조종계통에 이상이 없는지 지상통제장비 및 알람 상태를 점검, 관찰한다.

무인기가 정상적으로 함정으로 복귀하여 외부조종사의 가시권에 들어오면 외부조종사가 직접 수동으로 조작하면서 무인기를 착륙시킨다.

함정 후미 갑판에 있는 헬리패드에 착륙하도록 무인기는 점차 고도와 추력을 낮추면서 복귀 비행을 하게 된다. 이때, 하강, 역천이, 수직착륙 총 시간은 약 10분 내외이며, 이때 역천이부터 고도는 50m부터 진행한다.

무인기가 이상 없이 헬리패드(약 15m x 15m)에 착륙하면 정비사들이 나와서 무인기 결박 및 운송장비에 거치하여 후속 수리 및 관리방안 안내서대로 관리 임무를 진행한다.

끝으로, 무인기가 결박되어 안전성이 유지되면 격납고로 이송하여 주변 상황을 정리하고, 전송 데이터를 정리하고 통신을 녹음하여 저장하는 것으로 불법 선박 임무를 후속 처리하여 종료한다.

비행 후 점검, 비행 후 장비 점검, 디브리핑, 임무 보고서 작성 등을 통한 행위를 진행하여 그림 11의 임무별로 정리하여 임무를 기록한다.



[Figure 11] UAV state mode Diagram

3.5.2 해상사고안전관리 정상 시나리오 분석

3.5.2.1 무인기 출동 전

00년 00월 00일 00시(특히, 홍수, 태풍, 기상이 변 등 극한 환경이 발생하거나 급작스럽게 사고가 발생하는 날)에 위도000 경도000의 해상 경로에서 선박, 어선 혹은 방파제 등에서 배가 좌초되거나 너울성 파도 등에 의한 해양사고가 발생하여 사람이 해양에 빠져서 구조가 필요한 상황이 발생하게 된다. 이에 해양사고 발생했다는 신고가 해경관리센터(안전센터)에 접수되면 근접한 관할서에 상황을 전달하고, 해당 서의 함정에서는 무인기 활용 계획을 수립한다. 예상 지역 및 경로점을 설정하여 최대한 빠르게 구조장비(ROV)를 탑재한 무인기를 출고 후, 출동까지 최대 10분 내로 완료한다.

3.5.2.2 임무수행

함정에서 무인기를 먼저 출동시키고, 출동중에 유관부서와 관제소에 연락하여 긴급출동 중임을 통보하여 현 상황을 이해시킨다. 무인기가 사고해상 지역 인근으로 가장 빠른 속도로 접근하면, 속도와 고도를 낮추면서 사고 선박 혹은 예상되는 인명 표류 지점을 중심으로 신속하게 탐색하게 된다. 사고 선박이나 표류물 등을 탐지하고, 사고 지점 주의의 해상 조난자들을 식별한다. 이때, 전자광학 카메라에는 해상 조난자들을 화면에 다수 도시하고, 트래킹 영상을 통해 조종사가 현 상황과 표류 인원 등을 파악하게 된다. 해상에 빠진 사람들이 식별되면 바로 원격조종 수중로봇(Remotely Operated Vehicle) 장비를 투하할 준비를 한다. 원격조종 수중로봇 장비는 고도 200m에서 투하시, 속도 2Nots 배터리 가용 약 15분 동안 진행하게 되므로 해상 조난자로부터 약 반경 900m안에 투하하여 접근하도록 무인기를 조종 및 설정한다.

원격조종 수중로봇이 투하되면 낙하산이 전개되어 속도를 줄이며 해상에 투하되고, 해상에 잠기게 되면 낙하산 줄은 탈락하여 원격조종 수중로봇이 추진을 얻어 진행하게 된다. 내장된 GPS로 원격조종

수중로봇의 위치를 식별하게 되고 조난자의 위치를 지정한 것과 비교하여 원격조종 수중로봇을 조종한다. 파도가 일렁일 때면, 파도 안으로 들어가서 파도에 의한 영향을 줄여 신속하게 접근한다. 원격조종 수중로봇이 해상 조난자에 접근하면, 1. 조종사가 지상통제장비에 명령 스위치를 통해 1인용 구명 튜브를 전개한다. 2. 조난자 반경 약 2m로 접근했을 때, 구명 튜브가 자동 전개되어 전달한다.

원격조종 수중로봇이 구명장비를 전달한 후, 자체 부력에 의해 수면 위를 떠다니며, GPS 장비를 통해 어디에 표류하는지 위치를 송수신하게 된다.

상기 사항을 진행과 같은 시간에 함정도 긴급 출동하여 계속 해당 지역으로 접근하고 있으며, 인근 도착 시, 해경의 인명 구조팀이 바로 고무보트로 출동해서 직접적으로 인명구조를 수행한다. 직접적인 수행을 이루어지는 것도 상공에서 무인기가 선회하면서 실시간으로 확인하고, 잔여 연료량을 파악하여 관측하다가 함정의 복귀 명령에 따른다.

3.5.2.3 임무종료 후, 후속처리

해양안전관리 임무 상황이 종료되면, 무인기의 임무도 따라서 종료될 것이며, 무인기 임무종료 절차 및 후속처리는 3.4.1.3과 같다.

추가로 원격조종 수중로봇을 안전하게 함정으로 수거 및 복귀하여 이상이 없는지 점검하고 하드웨어/소프트웨어를 수리, 보완하여 낙하산 또는 구명장비를 재충전하여 재장착한다.

비행 후 점검, 비행 후 장비 점검, 디브리핑, 임무 보고서 작성 등을 통한 행위를 진행하여 임무를 기록한다.

3.5.3 해상생태계관리 정상 시나리오 분석

3.5.3.1 무인기 출동 전

1) 해수온 측정 : 00년 00월 00일 00시 00해상 지역 인근의 해상 경로에 놓여 있는 해수온 측정을 위해 수산생태계 관리부서에서 무인기 출동 계획을 수립하고 해당 유관부서에 무인기 출동 허가를

승인받는다.

2) 어류 양식장 관리 : 00년 00월 00일 00시 00해상 지역 인근의 해상 경로에 놓여 있는 어류 양식장 탐색 및 관리를 위해 수산생태계 관리부서에서 무인기 출동 계획을 수립하고 해당 유관부서에 무인기 출동 허가를 승인받는다.

3) 적조 관리 : 00년 00월 00일 00시 00해상 지역 인근의 수온이 높게 측정된 해상 경로 및 자주 출몰되는 지역, 예상되는 지역에 있는 양식장 및 해상 자원 오염을 방지하기 위해 수산생태계 관리부서에서 무인기 출동 계획을 수립하고 해당 유관부서에 무인기 출동 허가를 승인받아 놓은 상황이다. 또한, 어민들의 적조 발생 신고접수로 긴급 출동하여 크기 및 정보를 취득/분석하여 초동조치가 가능하게끔 승인받는다.

4) 팽생이 모자반 관리 : 00년 1~3월 경 00일 00시 서남해상 지역 인근의 해상 경로에 해류를 통해 유입되는 팽생이 모자반을 탐색하기 위해 예상 경로를 미리 탐색하여 설정해 놓고, 인근 어류 양식장을 탐색하기 위한 수산생태계 관리부서에서 무인기 출동 계획을 수립하고 해당 유관부서에 무인기 출동 허가를 승인받아 놓은 상황이다. 또한, 어민들의 팽생이 모자반의 출몰 신고접수 후, 긴급으로 출동하여 크기 및 정보를 취득, 분석하여 초동조치가 가능하게끔 승인받는다.

3.5.3.2 임무수행

1) 해수온 측정 : 무인기가 함정 및 육상에서 출동하여 해수온을 측정하기 위한 지역으로 출동한다. 설정한 해역에 도착하면, 무인기의 적외선 카메라를 이용하여 해상을 스캐닝하게 되고, 그 해수온 영역에 대한 온도 편차 등의 정보가 표시되어 함정으로 데이터를 보낸다. 이에 조종사는 전자광학 카메라를 움직이면서 경로에 대한 정보를 입수하여 측정을 지속한다. 이때 선박 및 육상의 데이터 분석실에서 취득된 정보를 이용하여 타 해역으로 이동 혹은 복귀 판단을 하여 이동할 경우, 잔여 연료량, 비행 성능 등을 판단하여 선박 혹은 육상으로 복귀하게끔 명령한다.

2) 어류 양식장 관리 : 무인기가 선박 및 육상에서 출동하여 확인하고자 하는 양식장 인근 지역으로 출동한다. 무인기가 식별하고자 하는 설정한 양식장에 도착하면, 무인기의 전자광학 카메라를 이용하여 조종사나 관계자들이 선박, 육상에서 실시간으로 확인하게 된다. 양식장에 이상이 없는지, 다른 위협적인 상황이 발생했는지 화면으로 고해상도, 줌인 기능 등을 이용하여 선회하며 확인한다. 타 해역으로 이동 혹은 복귀 판단을 하여 이동할 경우, 잔여 연료량, 비행 성능 등을 판단하여 지속하고, 선박 혹은 육상으로 복귀하게끔 명령한다.

3) 적조 관리 : 무인기가 선박 및 육상에서 출동하여 확인하고자 하는 예상 경로나 발생 신고가 들어온 인근 해상지역으로 출동한다. 무인기가 적조를 식별하고자 설정한 해상 지역과 경로에 도착하면, 조종사들은 전자광학 카메라를 이용하여 직접 고해상도로 근접, 줌인 촬영을 통해 소, 중, 게릴라성 적조 발생 지역을 판단하여 초분광 장비로 스캐닝한다. 적조라 의심되는 스캐닝한 지역을 표시해두면서 무인기가 복귀 후, 초분광 자료들을 수집, 분석, 도출하면서 실제 적조 발생유무, 발생량, 규모(폭, 길이, 띠길이 등) 등의 자료들을 취득하게 된다. 조종사들은 무인기를 타 해역으로 이동 혹은 복귀 판단을 하여 이동할 경우, 잔여 연료량, 비행성능 등을 판단하여 지속하고, 선박 혹은 육상으로 복귀하게끔 명령하고 조종하게 된다. 이때, 자료 분석이 완료되면 수산생태계 관리(처리)반이 해당 출몰지역으로 이동하여 적조가 있는 해상에 약품처리 및 황토 가루를 투하하여 대규모로 확장될 여지가 있는 적조현상을 미리 대처하고 양식장 및 어민들의 피해가 가지 않게끔 조치하면서 임무를 수행한다.

4) 팽생이 모자반 관리 : 무인기가 선박 및 육상에서 출동하여 확인하고자 하는 예상 팽생이 모자반의 유입 경로나 발생 신고가 들어온 인근 해상지역으로 출동한다. 무인기가 팽생이 모자반을 식별하고자 설정한 해상 지역과 경로에 도착하면, 조종사들은 전자광학 카메라를 이용하여 직접 고해상도로 근접, 줌인 촬영을 통해 대, 소, 중, 게릴라성 팽생이

모자반 발생 지역을 판단하여, 초분광 장비로 스캐닝한다. 팽생이 모자반이라 의심되는 스캐닝한 지역을 표시해두면서, 무인기가 복귀하고 나서 초분광 자료들을 수집, 분석, 도출하면서 실제 팽생이 모자반의 발생유무, 발생량, 군집의 규모(폭, 길이 등) 등의 자료들을 취득하게 된다. 조종사들은 무인기를 타 해역으로 이동 혹은 복귀 판단을 하여 이동할 경우, 잔여 연료량, 비행성능 등을 판단하여 지속하고, 선박 혹은 육상으로 복귀하게끔 명령한다. 이때, 자료 분석이 완료되면 수산생태계 관리(처리)반이 해당 출몰지역으로 이동하여 팽생이 모자반이 있는 해상에 그물망 및 수집 기구를 통해 미리 수거하여 양식장 및 어민들의 피해가 가지 않게끔 조치하면서 임무 수행을 완료한다.

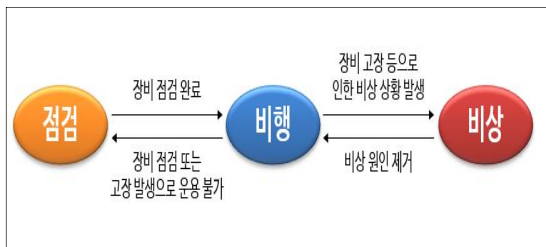
3.5.3.3 임무수행 종료 후, 후속처리

해양안전관리 임무 상황이 종료되면, 무인기의 임무도 따라서 종료될 것이며, 무인기 임무종료 절차 및 후속처리는 3.4.1.3과 같다.

비행 후 점검, 비행 후 장비 점검, 디브리핑, 임무 보고서 작성 등을 통한 행위를 진행하여 임무를 기록한다.

3.5.4 비정상 조건 시나리오 분석(종합)

본 논문에서 정상적인 조건에서 임무를 수행하는 게 아닌 비정상 조건에서는 그림 12의 프로세스를 통해 위험을 최소화하여 통제해야 한다. 그런데도 다음과 같은 최악의 시나리오가 도출될 수 있다. 이를 통해 시스템 요구사항을 구체적으로 도출하게 된다.



[Figure 12] UAV state transition diagram

3.5.4.1 불법어업관리 최악 조건

1) 기상불량 : 기상 제한조건까지의 조건(Sea State Level 5 기준)내에서는 운영하고, 그 이상의 극한 상황까지 넘어가면 복귀 혹은 비상착륙지점에 착륙을 시도한다.

2) 불법어선에게 탈취 : 무인기가 불법어선을 근접 촬영하다 불법 어선의 선원들에 의해 탈취당할 시, 항전 장비에 내장된 데이터 자료 및 각종 분석 데이터를 지상통제장비에서 수동조작으로 완전 삭제하고, 통신이 안 될 경우, 통신 연결 복구가 00분 이내로 정상 작동되지 않을시, 탈취 혹은 타국으로 넘어갔다는 가정으로 데이터 자동 삭제 명령 알고리즘을 심어 기밀사항 등을 제거한다.

3) 통신오류로 타국 국경 침범 : 계속해서 통신을 잡고, 복귀 노력을 하면서, 통신오류 및 두절로 인해 무인기가 타국의 국경선을 넘어서 비행하는 경우, 내장된 데이터 자동 삭제 명령 알고리즘에 의해 기밀정보를 완전히 제거하고 인적이 드문 해양 및 산속에 떨어지도록 한다.

4) 호버링 시, 추락 : 수면 감지 센서에 의해 추락 시, 내장된 데이터 자동 삭제 명령에 따라 완전히 삭제되고, 비상 부유 장치로 해수면 위로 기체가 뜰 수 있게 하여, GPS 수신장치를 통해 추락 지점을 파악하여 회수하게 한다.

5) 비행제어컴퓨터 고장 : 비행제어컴퓨터가 고장나면, 복귀 및 비상착륙 지점에 착륙 시도한다.

6) 데이터 송수신 고장 : 5번의 사항과 같음.

7) 지상통제장비 고장 : 함상 및 육상에 배치된 지상통제장비를 재부팅 및 연결 부위 재점검을 신속하게 하여 정상 비행이 가능하도록 조치한다.

3.5.4.2 해양안전관리 최악 조건

3.4.4.1의 경우와 동일하게 적용하고 다음과 같이 추가로 식별한다.

1) 원격조종 수중로봇 고장 : 원격조종 수중로봇이 극한 환경에서 운용해야 한다. 이에 높은 파도 및 파동, 그물이나 어망 유무, 암초나 해조류 등과 같은 방해물이 남아 있으며, 고성능 탐지 센서를 통

해 원격조종 수중로봇가 자유롭게 방해물을 피할 수 있어야 한다. 또한, 추진력 상실, 송수신 안테나, GPS 장치의 파손이 일어나면, 자체 부유 기능에 따라 해수면 위로 상승하여 GPS 위치를 받아 회수 가능해야 한다.

2) 낙하산 고장 : 원격조종 수중로봇을 투하 시, 낙하산 2중이 꼬이거나 고장 나서 그대로 원격조종 수중로봇이 빠른 속도로 큰 충격량으로 떨어져도 충격에 파손되지 않도록, 앞부분을 무겁게 하여 1자로 투하되어 손상이 없게끔 설계하여 운용한다. 꼬인 낙하산은 바로 탈락시켜 추진에 이상이 없게 한다.

3) 구명장비 전개 고장 : 구명장비가 전개되지 않을 때, 운용방식 3가지 안으로 정한다. 1. GCS에서 조종자가 수동으로 활성화 후, 전개, 2. 원격조종 수중로봇이 해상 조난자 근처 2m 반경으로 접근 시, 자동으로 활성화 및 전개, 부작동 시, 원격조종 수중로봇이 조난자의 손이 닿을 때까지 접근하여 조난자가 수동으로 꺼낼 수 있게끔 구조적으로 설계한다. 원격조종 수중로봇의 구명장비가 전개되지 않아도 GPS 위치가 뜨기 때문에 정확한 위치를 알기에 인력이 투입되어 구조할 수 있다.

3.5.4.3 해양생태계관리 최악 조건

3.4.4.1의 경우와 동일하게 적용하고 다음과 같이 추가로 식별한다.

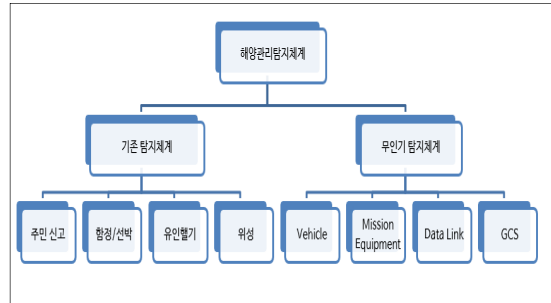
1) 초분광 장비 고장, 자료 수집 오류 : 초분광 장비로 스캐닝한 자료가 수집되어 저장되지 않거나 오류로 분석이 불가, 햇빛 반사로 인한 자료 분석 불가, 진동에 의한 신뢰도 하락, 장비 고장 등으로 자료관독이 불가능한 경우, 다시 무인기 재정비 및 수리하여 재출동하여 자료를 수집한다.

4. 시스템 요구사항 개발 및 기대효과

4.1 해상임무 탐지 체계의 계층적 구조

본 논문에 활용되는 탐지 체계의 계층적 구조는 그림 13과 같이 나타낼 수 있다. 기존의 시스템에서 무

인기를 이용한 탐지 방법을 추가하여 해상임무를 수행하기 위한 구체적인 요구사항을 도출하고자 한다.



[Figure 13] Integrated detection system

4.2 추적표(운용-시스템 요구사항)

본 논문의 3.1의 표 1~3, 3.2의 표 4의 이해관계자 요구사항과 근거를 토대로 시스템 요구사항에 적용되어 다음의 표 6과 같이 분배하여 할당하였다.

<Table 6> StR-SyR Traceability

StRS No.	SyRS No.	Requirement
StRS-01	SyRS-01-01	MVUS는 함정과의 통신거리 50km 가능
	SyRS-01-02	MVUS는 육상과의 통신거리 80km 가능
	SyRS-01-03	MVUS는 무인기의 체공시간 4시간 가능
StRS-02	SyRS-02-01	MVUS는 합성개구레이다 운용 주파수 Ku대역 16GHz 가능
	SyRS-02-02	MVUS는 합성개구레이다를 통한 알고리즘 검증, 식별 제원으로 전장 5m급 소형선박 탐지 가능
	SyRS-02-03	MVUS는 영상레이더를 최대 0.3m의 해상도 가능
StRS-03	SyRS-03-01	MVUS는 대기상태정보, 비행체 자세정보, 비행체 항법정보, 운항정보(고도, 속도, 연료량, 위치 정보 등)등 필수 정보 도시
	SyRS-03-02	MVUS는 임무 수행에 적합한 합성개구레이다 영상(Level1)을 생성

StRS No.	SyRS No.	Requirement
	SyRS-03-03	MVUS는 합성개구레이다 장비, 선박식별장치 등 수신을 활용한 선박명, 선박번호 등 정보 수집 가능
StRS-04	SyRS-04-01	MVUS는 전자광학장비및 적외선 탐지기는 주간 및 야간에도 운용 해상도 : Full HD 이상 시야각: 60도 이상 요각: 360도 지원 영상압축(H.264)
	SyRS-04-02	MVUS는 주야간 감지기의 주간 줌기능 25배 해상도와 야간 줌기능 활용
	SyRS-04-03	MVUS는 해상에서 운용하기 때문에 해양운용 온도 : -32 C ~ +39 C 상대습도 : 95% 염수/분무 : 5±1% 염 농도의 염수분무 96 시간 노출 전자기 : CE102, CE106, CS101, CS103, CS114, CS115, CS116, CS118, RE102, RS103에 이상 없음.
StRS-05	SyRS-05-01	MVUS는 최대고도 3km가능
	SyRS-05-02	MVUS는 1km의 거리에서 60dB 이하로 소음 발생
StRS-06	SyRS-06-01	MVUS는 합성개구레이다 최대 10km의 경사거리 (Slant Range)로 탐지
	SyRS-06-02	MVUS는 합성개구레이다 최대 4km의 탐지폭 생성
StRS-07	SyRS-07-01	MVUS는 Sea State II의 조건에서 하푼그리드 미적용 시, 함상이착륙 가능
	SyRS-07-02	MVUS는 수직이착륙, 제자리 비행이 가능하도록 수직이착륙 구조 설계
	SyRS-07-03	MVUS는 데이터링크 주링크와 보조링크로 구성하여, 이중화 설계
	SyRS-07-04	MVUS는 강한 해풍·돌풍 조건인 풍속 15m/sec에서 안정적으로 제자리 비행

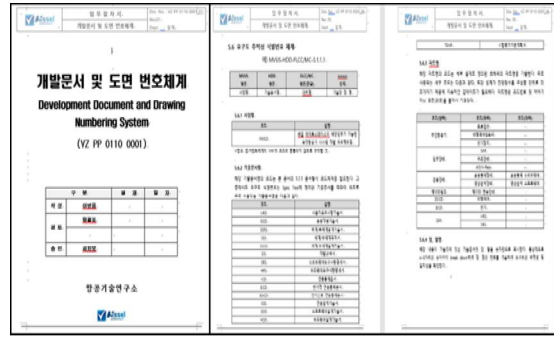
StRS No.	SyRS No.	Requirement
StRS-08	SyRS-08-01	MVUS는 통신두절, 기체손상, 센서 오류 등의 이유로 임무 수행 불가 시, 복귀를 수행
	SyRS-08-02	MVUS는 통신두절의 비상상황을 대비하여 보조링크를 구성하고, 전송속도 16kbps 이상 확보
	SyRS-08-03	MVUS는 함상에 자동이착륙을 안전하게 수행하기 위해 착륙지점 기준 반경 2.5m 이내로 80% 이상의 안전 착륙 성공률을 유지
StRS-09	SyRS-09-01	MVUS는 수동/자동으로 국가 보안 데이터를 완전히 소거할 수 있는 알고리즘을 삽입
StRS-10	SyRS-10-01	MVUS는 동력/추진시스템이 최대 수평비행 속도 180km/h 이상의 추력을 발생.
StRS-11	SyRS-11-01	MVUS는 해경 유인헬기의 수색 메뉴얼(IMSAR-근거리/단거리/장거리) 수색 절차를 반영한 알고리즘으로 익수자를 자동 식별/트래킹
StRS-12	SyRS-12-01	MVUS는 20분 내로 원격 조종 수중로봇가 익수자 위치까지 접근.
	SyRS-12-02	MVUS는 익수자가 있는 위치에서 2m 이내로 접근하여 익수자에게 상해를 입히지 않고 구호 물품 전달
StRS-13	SyRS-13-01	MVUS는 구조용 투하시스템을 15kg 이하로 설계/제작하여 경량화.
	SyRS-13-02	MVUS는 원격조종 수중로봇에 이중 낙하산을 장착/전개하여 투하시, 고장, 손상을 입지 않게 함.
	SyRS-13-03	MVUS는 원격조종 수중로봇을 익수자에 안전하면서도 빠르게 접근할 수 있는 300m 반경 내에 투하.
StRS-14	SyRS-14-01	MVUS는 원격조종 수중로봇에 비상 부유장치, GPS 센서, 라이트를 통해 회수 가능한 장치가 있어야 함.

StRS No.	SyRS No.	Requirement
StRS-15	SyRS-15-01	MVUS는 넓은 해역을 탐사해야 하므로 지정된 경로에서 경로비행 위치 오차가 10m 이내로 자동비행.
StRS-16	SyRS-16-01	MVUS는 초분광 장비를 이용하여 400~1000nm 대역의 해양생물 자료를 촬영, 저장, 분석.
StRS-17	SyRS-17-01	MVUS는 초분광 장비로도 해양 유해생물의 대규모 군집뿐만 아니라 띠 길이 200m~2km 이내, 폭 50m~500m 이내의 중규모의 군집도 탐지.
StRS-18	SyRS-18-01	MVUS는 초분광 장비를 이용하여 고유 파장 대역에 식별되는 유해생물인 적조를 탐지.
StRS-19	SyRS-19-01	MVUS는 외래유입 유해생물인 팽생이 모자반의 파장을 식별, 분석하여 대한민국의 해역 유입 전에 수거.

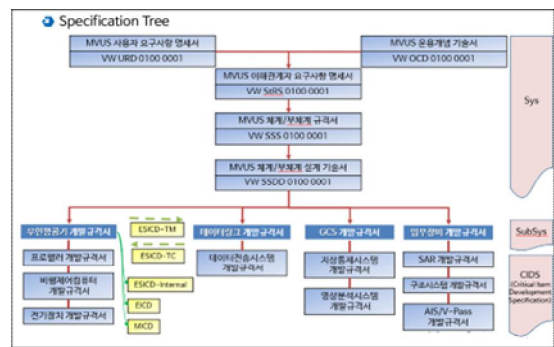
표 6의 시스템 요구사항은 이해관계자 요구사항이 운영개념과 운용개념, 분석한 결과를 수요부처와 협의, 수정하여 시스템 단위의 구체적인 정량적인 수치로 도출된 요구사항이다. 그런데도 요구사항은 추가되거나 수정되어 수치 등이 변경될 수 있다.

4.3 요구사항 및 체계문서 추적 방법론

본 논문에서 이해관계자 요구사항 및 시스템 요구사항을 분석하고 추적성을 보이기 위해 그림 14의 요구사항 추적성을 위한 번호체계를 정의하여 문서화 하였고, 그림 15의 체계문서(사용자 요구사항 명세서, 운용개념서, 이해관계자 요구사항 명세서, 체계/부체계 규격서, 체계/부체계 설계 기술서)와 부체계문서(무인항공기/데이터링크/지상통제장비/임무장비 개발규격서), 중요 품목 및 연동통제문서(ICD)등의 문서를 정의하여 해당 요구사항이 빠짐 없이 계통별로 할당되어 설계되게끔 정리하였다.



[Figure 14] Requirement Number Traceability Method



[Figure 15] Sys/SubSys Document Traceability Diagram

4.4 임무별 무인기 도입시 기대/파급효과

무인기 시스템은 미래 항공산업의 핵심분야로 통신/비행제어/센서기술 등을 복합한 타 산업 및 시스템 개발에 대한 파급효과가 크며, 100kg급 중형급 수직이착륙 무인항공기는 다양한 임무장비를 탑재하거나 활주로 없이 운용할 수 있어서 상당한 수요가 예상된다.

대한민국은 세계 7위권의 기술 드론 기술경쟁력 보유(고정익 유인기 13위권, 회전익 유인기 11위권)하고 있다고 국방기술품질원은 평가하였고, 국내 무인기 시장규모는 글로벌 호크의 도입 및 국내 연구개발 사업 등 군용 무인기 획득 시장의 성장세로 인하여 2022년까지 연평균 22%의 시장성장률을 예상한다.[22]

1) 해상불법어업관리 기대효과 : 한반도 주변 연근해에서 산란기 및 성어기에 발생하는 불법어업에 대한 지도단속을 강화함으로써, 우리 어민의 피해를

최소화하고 우리 해양의 주권을 지킬 수 있다.

2) 해상사고안전관리 기대효과 : 빈번히 발생하는 해상 안전사고 시 신속한 대응을 통해서 인명을 구조함으로써 보다 안전한 사회를 구현할 수 있다.

3) 해상생태계관리 기대효과 : 해양 맞춤형 무인기를 활용한 해양재난 방재 및 해양 주요 제반 시설 감시 체계를 구축하여, 대한민국 광역해역 해양수산 생태계 탐색 및 변동예측 기술 개발을 통한 어업의 효과성 증대 및 어업의 경쟁력 강화로 지속가능한 수산업을 발전하는 데 이바지할 수 있다.

5. 결 론

본 연구로 해양임무에 대한 무인기 시스템 도입의 필요성을 충분히 언급하였고, 시스템 엔지니어링 프로세스를 적용해서 필요한 무인기 시스템 요구사항을 이해관계자와 시스템 레벨에서 분석하여 아키텍처를 체계적으로 설계하였다.

추후, 분석한 운용시나리오를 통해 OMS (Operation Mode Summary) / MP (Mission Profile)를 분석하여 본 시스템의 최적화 RAM 목표값 도출과 Life Cycle Cost 분석, 요구사항 부채계 할당을 분석하는 연구과제를 진행할 예정이다.

추가로 본 시스템을 적용하였을 때, 타 항공기 혹은 군용기, 드론의 공역을 피해 운용 가능한 고도, 조건을 정의하는 연구도 추후 연구분석 항목으로 분류하여 수행할 예정이다.

사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 20190447)

References

1. 안재영, 이병선, 채종석, 이용민, 황유라, 김인준,

이수진, 무인비행장치의 안전 운용을 위한 저고도 교통관리체계 설계 및 실증 기획보고서, 2016.

2. 해양경찰청, 2019년 해양경찰청 연구개발사업 시행계획, P.13, 2019.

3. Jun-Mo Yang, Hyo-Won Yeom, Min-Sung Kim, A Study on Global Trends and Domestic Studies for Establishing the Unmanned Aircraft Certification System, P259~265, Vol 22, 2021.

4. 행정안전부, 56, 통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시대응 역량 강화, p73, 2020.

5. 김명집, 김유신, 박민순, 박상욱, 오경륜, 이명규, 이장호, 이해창, 전용민, 정기훈, 최선우, 다부처 공동기술개발사업(중대형 무인기 분야)기술현황 조사 최종 보고서, 2020.

6. Baek Byung Sun, A Study on the ROK's Maritime Domain Awareness, P7, 15, 2018.

7. Joo-Hyung Ryu, Seok Lee, Duk-jin Kim and Jae Dong Hwang, Wide Integrated Surveillance System of Marine Territory Using Multi-Platform, 2018.

8. 이정훈, 박재적, 인도태평양 지역 '해양상황인지' 현황과 '쿼드(Quad)'국가의 기여, P. 6~12, 2020.

9. Bong-Kyu JUNG, Jung-Ho CHOI, Seok-Won LIM, A Study on the Role of Maritime Enforcement Organization As Response of Illegal Fishing, 2014.

10. 해양경찰청, 해양 경찰 수색 구조실무 매뉴얼, P. 95, 2009.

11. DoD, MIL-STD-810G w/change 1, Environmental Engineering Considerations And Laboratory test methods, P. 71~ 683, 2000.

12. DoD, MIL-STD-461G Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics Of subsystems and Equipment, P. 27~ 154, 2015.

13. DoD, MIL-STD-464C Electromagnetic Environmental Effects Requirement for Systems, 2010.

14. 강선의 구조기준, 해양수산부 고시 제 2014-60호 [별표 15] (제 96조 1항. 최대허용 소음한계) P. 617, 2014.
15. 해양경찰청 항공운영규칙 제16조, 제17조, P. 24~27, 2020.
16. 한국항공우주연구원, 200kg급 틸트로터 무인기의 합상운용 입증을 위한 기술개발(최종보고서), P. 3, 27, 33~43, 56, 73, 2017.
17. ICAO, IAMSAR Manual International Aeronautical and Maritime Search And Rescue Manual V. 3, P. 3-15~42, 2016.
18. Keunyoung Kim, Euihyun Kim, Jun Myoung Choi, Jisun Shin, Wonkook Kim, Kwang-Jae Lee, Young Baek Son, Joo-Hyung Ryu, Simulation Approach for the Tracing the Marine Pollution Using Multi-Remote Sensing Data, pp249~261, 2020.
19. J. S. Shin, E. H. Kim, K. Y. Kim, J. H. Ryu, Red tide dataset in the waters around the Korean Peninsula, 2019.
20. Ginam Gil, Minyoung Yoo, Jongsung Park, A Study on the Development of Airworthiness Standards for VTOL UAS, 2020.
21. 과학기술정보통신부(주파수정책과), 신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선설비의 기술기준(과학기술정보통신부고시 제2020-113호), 2021.
22. 산업통상자원부, 스마트 드론 소프트웨어 동향 분석, P. 7, 8, 2018.