

드론 함상 착륙을 위한 도킹 방식의 자동 착륙 시스템 개발 및 시험

박민수^{1,†} · 김성욱¹ · 유혁¹¹한국항공우주연구원

Development and Test of a Docking Type Automatic Landing System for Shipboard Landing

Minsu Park^{1,†}, Sungyug Kim¹ and Hyeok Ryu¹¹Korea Aerospace Research Institute

Abstract

The paper presents a docking-type automatic landing system that works in tandem with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Unmanned Surface Vehicles (USVs). The system utilizes a pyramid-shaped landing gear and pad for effective landing. In marine environments, a docking device guides the drone to land securely. To test the system, a ship's behavior was simulated using a 3-DoF motion platform, and the successful operation and utility of the docking-type automatic landing system were demonstrated.

초 록

공중 무인 이동체(UAV)인 드론을 해상 무인 이동체(USV)와 자율 협력하여 임무를 수행하기 위해선 자동 착륙 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 피라미드 형상의 착륙 장치와 패드를 기반으로 한 도킹 방식의 자동 착륙 시스템을 제안하였다. 파도, 바람 등 해상 환경에 의해 영향을 받더라도 드론이 착지할 수 있도록 유도하고, 결합(Docking) 장치를 통해 순간적으로 고정할 수 있다. 3-DoF 모션 플랫폼으로 함상의 거동을 모사하여 착륙 시험을 수행하였으며, 도킹 방식 자동 착륙 시스템의 운용·활용 가능성을 확인하였다.

Key Words : Shipboard Landing(함상 착륙), Automatic Landing System(자동 착륙 시스템), Docking(결합 방식), Unmanned Aerial Vehicle(공중 무인 이동체), Drone(드론)

1. 서 론

드론은 공중 무인 이동체(Unmanned Aerial Vehicle; UAV)의 대표적인 예로서, 드론 시스템 및 자율 비행 기술의 발전에 따른 성숙으로 엔터테인먼트 분야뿐만 아니라 의료, 물류, 그리고 농업 및 해양 분야 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이와 더불어, 무인 트랙터 및 자율 주행 차량, 무인 선박과 같은 지상 무인 이동체(Unmanned Ground Vehicle; UGV)와 해상 무인 이동체(Unmanned Surface Vehicle; USV)가 개발되고,

무인 이동체가 사람에게 힘들고 위험한 작업을 대신할 수 있는 수단으로 인식되면서 단순한 임무뿐만 아니라 복잡한 임무를 대행하기 위해 각 무인 이동체를 통합 운용하려는 움직임이 활발하다. 선진국에서는 무인 시스템 통합을 위한 로드맵을 수립하였으며[1], 지상 및 산악, 해상 환경에서 무인 이동체를 통합 운용하는 연구를 수행하고 있다. 유럽 연합 주관의 RheaProject[2]에서는 정밀 농업을 위한 UAV와 UGV를 개발하였으며, UAV가 농경지를 촬영하여 농작물과 잡초를 식별하면 UGV가 이동하여 농작물을 상세히 촬영하거나 살충제를 살포하여 잡초를 제거한다. SHERPA Project[3]에서는 고산 환경(Alpine Environments)에서 조난자를 수색하고 구조하기 위한 UAV-UGV 협력에 관한 연구를 수행하고 있다. 해양 환경에서의 무인 이동체

Received: Jan. 09, 2024 Revised: Feb. 20, 2024 Accepted: Feb. 21, 2024

† Corresponding Author

Tel: +82-42-860-2321, E-mail: pms@kari.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

(UAV/USV) 협력 연구도 수행되고 있다. Fig. 1은 UAV/USV의 협력 운용 개념을 보여준다[4]. USV 1대에 다수의 UAV를 탑재하여 임무 수행 영역까지 이동하고, 목적지에 도달하면 USV에서 UAV가 이륙하여 해양 임무를 수행한다. UAV가 임무를 마치면 USV로 복귀 및 착륙하여 다음 임무를 준비한다. 국내에서도 UAV와의 자율 협력(Autonomous Cooperation)이 가능한 USV 시스템(Fig. 2)을 개발하고 있다. USV는 소형급 선박으로 2대의 UAV가 탑재되어 이착륙 및 무선 충전할 수 있으며, 해양 조난자 수색 및 구조, 해양 부유물 모니터링 등의 임무를 수행한다[5].

해양 환경에서의 UAV/USV 협력 연구 사례를 살펴본 바와 같이, UAV/USV 자율협력을 위해서는 UAV 자동 착륙 시스템이 필요하다. 지상과 다르게 해양에서는 전후좌우 운동뿐만 아니라 상하(Heave) 운동 및 좌우(Roll)/앞뒤(Pitch) 흔들림이 발생한다. 따라서, 자동 착륙 시스템은 함상의 운동 특성과 자율 임무 수행을 위한 자동 충전을 고려하여 설계 및 개발되어야 한다.



Fig. 1 Concept of UAV/USV Cooperative Operation [4]



Fig. 2 USV System for Autonomous cooperation [5]

함상 자동 착륙 시스템은 Fig. 3과 같이 크게 안정화 장치(Stabilizer), 유선(Tethered), 그리고 그물(Net) 방식으로 개발되고 있다. 안정화 장치 방식[6-7]은 드론 착륙 패드의 수평 유지 장치를 이용하여 함정의 움직임에 따른 영향을 최소화하는 방식이며, 유선 방식[8]은 드론과 지상 시스템을 유선으로 연결하여 배터리 충전 및 통신하고, 유선을 감아 착륙시키는 방식이다. 그물 방식은 그물망 구조의 착륙 플랫폼과 작살 형태의 드론 착륙 장치를 이용하는 방식이다[9]. 각 방식의 비행 범위, 배터리 자동 충전, 임무 재수행, 착륙 안정성을 Table 1에 정리하였다. 안정화 장치 방식은 배터리 충전 및 임무 재수행이 가능한 형태이지만, 함상의 Heave 운동에 의해 착륙 시 드론의 착륙 장치와 착륙대가 충돌할 수 있으며, 착지 후 드론이 튕겨 이탈할 수 있는 위험성이 있다. 유선 방식은 유선으로 연결되어 있어 자동 충전이 가능하고 착륙 시 안전을 확보할 수 있지만 케이블 길이에 따라 비행 거리, 임무 수행 범위에 제약이 있는 형태이다. 그물 방식은 착륙 안전성이 높지만, 자동화 관점에서 자동 충전 시스템과의 연계가 어렵고 임무 재수행을

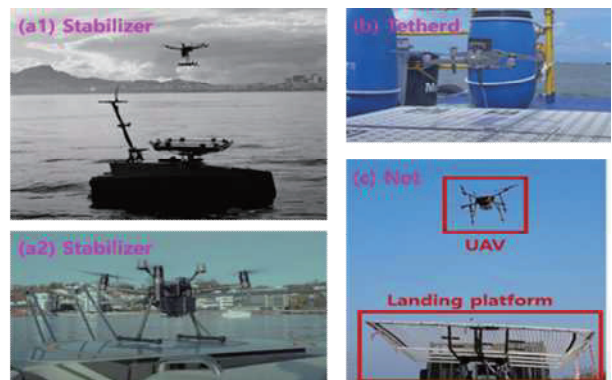


Fig. 3 Landing System Type on Ship [6-9]

Table 1 Features of Landing System Type

Category	Stabilizer	Tethered	Net
Flight Range	-	Limited	-
Battery Charging	Possible	Possible	Limited
Re-flight for Mission	Possible	Possible	Impossible
Landing Stability	Low	High	High

위해 그물에 걸린 드론이 이륙할 수 있어야 한다는 점에서 어려운 부분이 있다.

본 논문에서는 비행 거리에 제약을 주지 않으며, 자동 충전 및 임무 재수행이 가능하고, 착륙 안전성을 확보할 수 있는 도킹 방식의 자동 착륙 시스템을 고안하였다. 자동 착륙 시스템은 자동 충전 시스템과 연계할 수 있는 피라미드 구조이며, 예상치 못한 함상의 움직임에도 드론이 안전하게 착륙할 수 있도록 구조적으로 유도하고, 착륙대에 착지하는 순간 결합하여 이탈을 방지할 수 있다. 또한, 임무 재수행 시 드론-착륙대 간의 결합 시스템을 해제하여 드론이 이륙하고 비행할 수 있다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장에서는 자동 착륙 시스템의 필요성과 개발 현황을, 2장에서는 본 논문에서 제안한 자동 착륙 시스템에 대해 기술하였다. 자동 착륙 시험 결과는 3장에 정리하였으며, 4장에서 결론을 제시하였다.

2. 도킹 방식 자동 착륙 시스템

지상에서 착륙하는 경우와 다르게 함상 착륙을 위해선 좌우(수평) 운동뿐만 아니라 상하(수직) 운동을 고려하여 짧은 시간 안에 착지하고, 순간적으로 드론을 결합(Docking)할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 피라미드 형태의 착륙 장치와 패드를 고안하였고, 이를 기반으로 한 도킹 방식의 자동 착륙 시스템을 개발하였

다. 자동 착륙 시스템은 드론 탑재 착륙 시스템과 함상 착륙 시스템으로 구성된다. 드론 탑재 착륙 시스템은 드론 착륙 유도 명령을 생성하는 자동 착륙 모듈과 드론이 착륙 패드에서 이착륙할 수 있게 하는 착륙 장치로 구분되며, 함상 착륙 시스템은 드론이 착륙하고 결합하는 착륙 패드와 착륙 패드의 수평을 일정하게 유지하는 착륙 플랫폼으로 구분된다.

2.1 드론 탑재 착륙 시스템

2.1.1 자동 착륙 모듈

자동 착륙 모듈은 자동 착륙 운용 개념에 따라 드론을 함상으로 착륙 유도하는 모듈로, 드론 동체 하부에 장착되며 비행 제어 계통(비행 제어 컴퓨터, 탑재 장비 전원 모듈)과 물리적/전기적으로 연동된다. 자동 착륙 운용 개념은 Fig. 4와 같다. 자동 착륙 방식은 GPS와 Vision을 결합한 방식으로, 먼저 GPS based Approach 단계에서 함상 위치 정보를 기반으로 드론을 일정한 고도로 함상까지 유도한다. 함상의 위치 및 속도 정보는 FANET(Flying Ad-Hoc Network) 시스템을 통해 공유된다. 다음으로, 드론이 함상 인근까지 접근하여 자동 착륙 모듈에서 적외선(Infra-Red; IR) 마커를 탐지하면 Vision 기반 착륙 모드로 전환한다. Vision 기반 착륙 모드는 크게 접근, 하강, 그리고 착륙 단계로 구분할 수 있다. 드론 착륙 하강 시 고도가 낮아지면 자동 착륙 모듈의 적외선 센서 시야각(Field

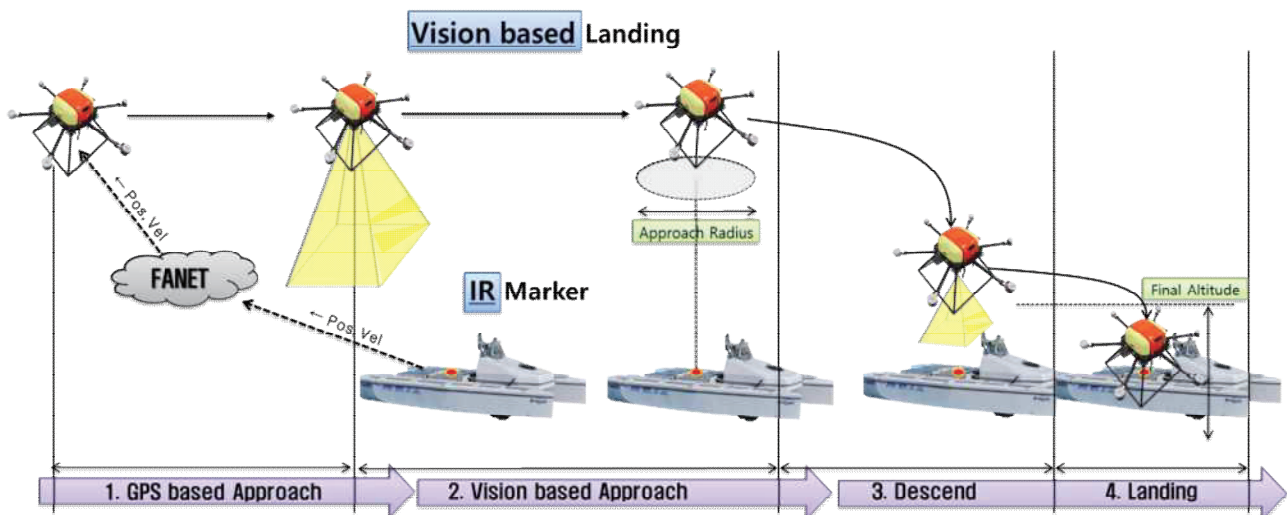


Fig. 4 Concept of Auto-Landing

of View)이 좁아지므로 IR 마커를 손실할 수 있다. 따라서, 가능한 접근 단계에서는 탐지된 IR 마커가 적외선 센서 이미지 중심에 투영될 수 있도록 드론을 수평 방향으로 유도한다. 드론이 접근 반경(Approach Radius)에 진입하면 하강 단계로 전환된다. 하강 단계에서는 접근 단계에서와 같이 수평 방향으로 유도하면서 일정한 하강률로 드론을 착륙시킨다. 하강 중 IR 마커를 손실하는 경우, 고도를 상승하여 IR 마커를 재탐색한다. IR 마커 재탐색 성공 시 접근 단계부터 자동 착륙을 재수행하고, 실패 시 GPS 기반 접근 방식으로 드론을 함상 인근까지 다시 유도한다. 만약, 함상의 위치 정보가 없거나 신뢰할 수 없는 경우, 사전에 지정한 장소로 귀환한다. 하강 단계에서 드론이 최종 착륙 고도(Final Altitude)에 도달하면 착륙 단계로 전환된다. 착륙 단계는 드론을 함상에 착지시키는 단계로, 드론의 모터를 정지(Motor Kill)하여 드론을 자유낙하시킴으로써 피라미드 형태의 착륙 장치와 패드가 물리적으로 결합된다. 착륙 장치 및 패드 결합(Docking) 방식에 대해서는 2.1.2, 2.2.1에서 설명한다.

2.1.2 착륙 장치

드론 착륙 장치(Landing Gear)는 일반적인 T자형 드론 착륙 장치와 다르게 착륙 패드와의 결합(Docking)을 고려하여 Fig. 5와 같은 피라미드 형상으로 설계하였다. 착륙 단계(Landing)에서 드론이 자유비행하여 착륙 패드로 수직 하강 시 착륙 장치가 착륙 패드에 접촉되면 피라미드 구조가 가이드-라인(Guide-line)이 된다. 이 가이드-라인에 따라 드론이 중력에 의해 미끄러지면서 착륙 패드에 자연스럽게 착지하고 결합 되는 구조이다. 착륙 장치는 착륙 패드의 체결 시스템에 의해 고정되어 드론이 착지 후 이탈되는 것을 방지한다. 착륙 장치는 충격 내구성을 확보하고 중량을 최소화하기 위해 카본 파이프를 제작하였으며, 착륙 시 드론에 가해지는 충격을 흡수하기 위해 상단부 각 모서리에 충격 완화 장치(Shock Absorber)를 장착하였다. 충격 완화 장치 주요 사양은 Table 2와 같으며, 착륙 시 최대 72kgf까지의 충격을 흡수할 수 있다.

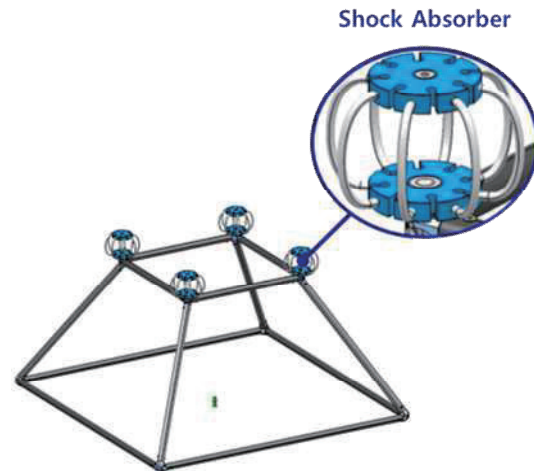


Fig. 5 Shape of Landing Gear

Table 2 Specification of Shock Absorber

Item		Value
Max. Load		18 kgf
Natural Frequency	Compression	-5 ~ 20 Hz
	45' Compression	-4.5 ~ 20 Hz
	Shear/Roll	-6 ~ 20 Hz

2.2 함상 착륙 시스템

2.2.1 착륙 패드

함상 착륙 패드는 드론 착륙 장치와 체결(Docking)되는 구조물로 Fig. 6과 같이 피라미드 형태로 설계하였다. 착륙 패드 크기(L×W×H)는 700mm×700mm×300mm이며, 피라미드 구조물의 경사각은 45deg이다. 착륙 패드 상단부에는 드론 자동 착륙용 IR 마커(IR Marker)를 장착하였으며, 해수 유입 차단을 위한 투명 플라스틱 소재의 덮개를 설치하였다. 중단부는 드론의 후류 영향을 최소화하고 무게 절감 및 점검의 용이성을 고려하여 개방형으로 설계하였다. 하단부 각 모서리에는 드론의 안착 및 이탈 방지를 위한 500mm×500mm 크기의 안전판(Safety Plate)을 장착하였다. 드론 체결 시스템(Docking System)은 드론의 착륙 장치와 착륙 패드를 체결하여 드론을 고정하기 위한 시스템으로, 상세 형상은 Fig. 7과 같다. 드론의 하중과 Spring을 이용하여 고정물(Fixture)을 작동시키는 방식으로 설계하였다. 드론의 착륙 장치를 통해 고정물

앞단(직각삼각형 형태의 구조물)에 가해지는 힘으로 고정물이 안쪽으로 들어가면서 착륙 장치가 통과하고 착륙 패드 하단부에 안착하게 된다. 이후, 고정물에 장착된 Spring에 의한 탄성력으로 고정물이 다시 외부로 나오면서 착륙 장치가 빠지지 않도록 체결된다. 착륙 패드에 체결된 드론이 이륙하는 경우, 선형 작동기(Linear Actuator)로 고정물을 움직여 체결을 해제할 수 있다.

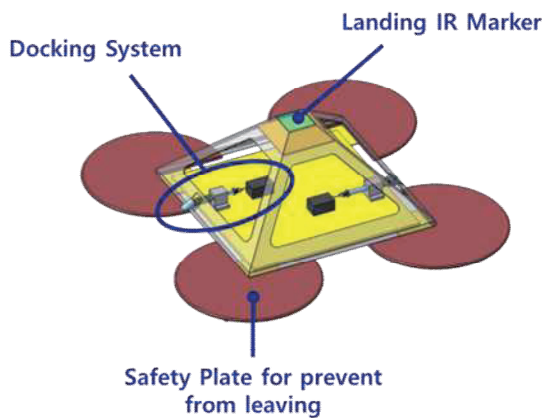


Fig. 6 Shape of Landing Pad

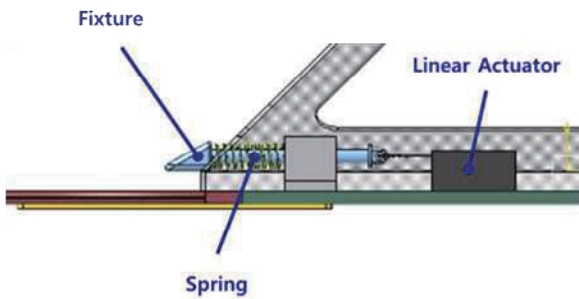


Fig. 7 Configuration of Docking System

2.2.2 착륙 플랫폼

지상 차량이 움직이는 지면과 다르게 함상이 움직이는 해면은 파도와 바람에 의해 시시각각 변하기에 함상의 움직임 또한 수시로 변한다. 따라서, 함상의 움직임에 상관없이 착륙 패드의 수평을 일정하게 유지할 수 있어야 한다. 착륙 플랫폼은 착륙 패드의 수평을 유지하기 위한 장치(Stabilizer)로, 함상의 Roll/Pitch 변화율을 측정하고 이를 보상하는 방식으로 착륙 패드의 평형 상태를 유지한다. 착륙 플랫폼의 수평 유지

성능은 ± 0.5 deg 이내이며, 허용 범위(각도/각속도)는 각각 ± 10 deg, ± 6 deg/s이다. 착륙 플랫폼 수평 유지 성능 및 허용 범위는 Table 3에 정리하였다.

Table 3 Performance of Landing Platform

Criteria	Roll	Pitch
Stable Range	± 0.5 deg	± 0.5 deg
Allowable Motion Range	± 10 deg	± 10 deg
Allowable Motion Angular Velocity	± 6 deg/s	± 6 deg/s

3. 드론 자동 착륙 시험

자동 착륙 시험은 도킹 방식 드론 자동 착륙 시스템의 운용 가능성과 활용성을 확인하는데 목적이 있으며, 국가종합비행성능시험장에서 수행하였다. 항공분야 시험 인프라가 구축되어 있으며, 산·학·연에서 연구개발 중인 비행체 및 항공 부품 등을 시험할 수 있다.

3.1 시험 형상

자동 착륙 시험 형상은 Fig. 8과 같다. 드론 및 탑재 착륙 시스템은 착륙 패드 위에 배치하고, 드론용 지상 통제 시스템(Ground Control System)은 인근에 전개하였다. 착륙 패드 및 플랫폼은 함상의 상하(Heave) 및 회전(Roll, Pitch) 운동을 모사하는 함상 모사 모션 플랫폼 상판 중심부에 설치하였다. 착륙 패드에는 Fig. 9와 같이 IR 마커와 착륙 패드의 기울기를 측정하기 위한 별도의 데이터 기록 장치(Data Logger)를 장착하였다. 함상 모사 모션 플랫폼은 3-자유도 모션 플랫폼(3-Degree of Freedom Motion Platform)으로, 제작 기간 단축 및 비용 절감을 위해 한국항공우주연구원에서 기구축한 모션 플랫폼[10]을 유지·보수하여 활용하였다. 함상 모사 모션 플랫폼의 착륙대 크기(L×W)는 5m×5m, 최대 허용 중량은 800 kg이며, 주요 사양은 Table 4와 같다. 모션 제어 소프트웨어(Motion Control Software)를 통해 해상 상태(Sea State)에 따른 함상의 움직임을 시뮬레이션하거나, Step 또는 Sine Wave 형상으로 Heave와 Roll/Pitch

를 구동할 수 있다. 모션 플랫폼의 Roll/Pitch를 각각 5 deg, 2.5 deg로 작동 시 착륙 플랫폼의 기울기는 Fig. 10과 같이 2 deg 내외로 유지됨을 확인할 수 있다.

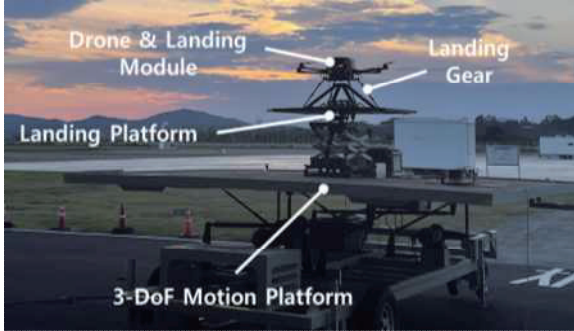


Fig. 8 Auto-Landing Test Configuration

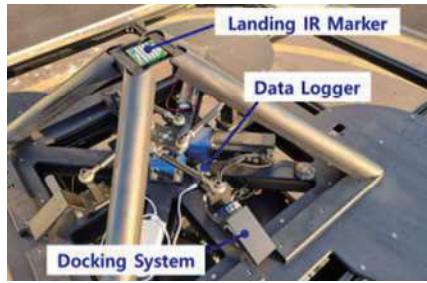


Fig. 9 Landing Pad Configuration

Table 4 Specification of 3-DoF Motion Platform

Motion	Translational	Rotational	
	Heave	Roll	Pitch
Range	±250 mm	±10 deg	±10 deg
Speed	±500 mm/s	±10 deg/s	±10 deg/s

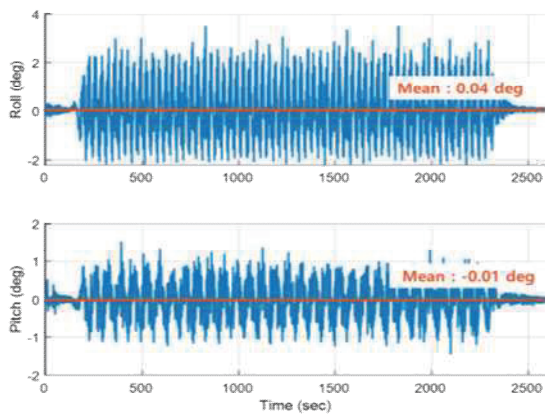


Fig. 10 Motion of Landing Platform

3.2 시험 절차

Figure. 11은 자동 착륙 시험 절차를 보여준다. 드론이 착륙 패드에서 이륙 시 드론과 착륙 패드 간의 간섭 및 영향성을 확인하기 위해 먼저 착륙 플랫폼의 Stabilizer를 작동시킨 후 시험 조건에 맞춰 3-자유도 모션 플랫폼의 Heave와 Roll/Pitch를 구동한다. 착륙 및 모션 플랫폼이 움직이는 상태에서 드론을 수직으로 수동 이륙시킨 후, 드론이 착륙 패드에 다양한 방위 (Heading)로 접근/착륙할 수 있도록 드론을 이륙 위치에서 대각선으로 배치한다. 다음으로, 드론 착륙 모듈의 IR 마커 탐지 여부를 소리(Buzzer)로 확인 후 자동 착륙을 수행한다.

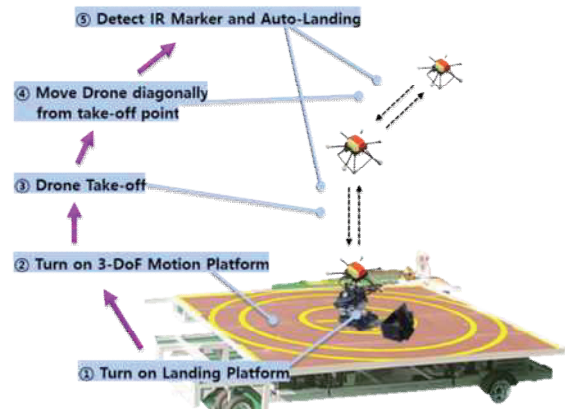


Fig. 11 Landing Test Sequence

3.3 시험 조건 및 결과

자동 착륙 시험 조건은 Table 5에서 보이는 바와 같이 Heave는 0, 100, 200 mm로, Roll/Pitch는 0, 1, 2 deg로 점진적으로 증가시켰으며, Heave 변화율은 50 mm/s로, Roll/Pitch 변화율은 각각 2.5, 5 deg/s로 설정하였다. Heave는 모션 플랫폼의 상하 운동으로, 초기 위치(0 mm)에서 100 mm 또는 200 mm 까지 50 mm/s 속도로 상승 및 하강을 반복하여 움직인다. 3-자유도 모션 플랫폼의 Heave 동작 범위가 최대 250 mm이나, Heave 단일 작동 조건 사양이고, 장비 노후화(‘16년도 구축)를 고려하여 Heave 200 mm 조건에서는 Roll/Pitch를 제한하였다. Fig. 12는 자동 착륙 시험 영상으로, 결합(Docking) 방식 자동 착륙 시스템의 성능 분석을 위해 다양한 각도(Full/Side/Top View)로 촬영하였다. Full View에서는 전반적인 시험

Table 5 Landing Test Case & Result

Test Case (#)	Heave (mm)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Result (Pass/Fail)			
				Take-off	Detection	Approach	Landing
1	0	0	0	Pass	Pass	Pass	Pass
2	0	1	1	Pass	Pass	Pass	Pass
3	0	2	2	Pass	Pass	Pass	Pass
4	0	3	3	Pass	Pass	Pass	Pass
5	100	1	1	Pass	Pass	Pass	Pass
6	100	2	2	Pass	Pass	Pass	Pass
7	100	3	3	Pass	Pass	Pass	Pass
8	200	0	0	Pass	Pass	Pass	Pass

모습과 드론의 거동 및 착륙 성능을, Side View에서 는 착륙 플랫폼의 수평 유지 성능과 드론의 착륙 장치와 착륙 패드 사이의 상호 작용을 확인할 수 있다. Top View는 드론 동체 하부에서 촬영한 영상으로, 함상의 움직임에 따라 착륙 플랫폼이 수평을 유지하지만, Heave 및 Roll/Pitch의 복합적인 움직임에 의해 드론에서 보는 IR 마커의 위치가 수평 방향으로 움직이는 것을 확인할 수 있었다. 자동 착륙 시험을 통해 드론 이륙 중 착륙 장치와 패드 간의 간섭, 자동 착륙 모듈의 IR 마커 탐지 및 자동 착륙 수행 여부, 그리고 착륙 장치/패드 결합 여부를 확인하였으며, Table 5에 시험 결과를 정리하였다. 각 시험 결과 중 시험 조건 #6에서 피라미드 구조에 의해 드론이 안전하게 유도 착지하고, 결합(Docking)되는 것을 잘 확인할 수 있어 시험 조건 #6의 시험 결과 영상 및 데이터를 대표로 제시하였다. Fig. 13은 시험 조건 #6의 시험 영상으로, 드론의 착륙 장치가 착륙 패드에 닿으면 ((a)Touch-down) 착륙 장치가 착륙 패드를 가이드 삼아 수직 하방으로 미끄러지면서((b)Sliding) 착륙 ((c)Landing)하는 것을 확인할 수 있다. 시험 조건 #6의 비행 궤적과 시간에 따른 위치는 각각 Fig. 14,

Fig. 15와 같다. 비행 궤적에서 보이는 바와 같이 자동 착륙 개념 및 시험 절차에 따라 이륙 → 대각 배치 → 접근 및 하강 → 착륙 순으로 비행한 것을 확인할 수 있다. 기존 자동 착륙 시스템과 다르게 본 연구에서 제안한 도킹 방식 자동 착륙 시스템은 피라미드 구조로 자동 충전 시스템과 연계할 수 있는 형상이며, 자동 착륙 시험을 통해 불규칙적인 함상의 거동에도 드론이 안전하게 착륙할 수 있도록 유도하고, 결합 시스템을 통해 드론이 이탈하는 것을 방지할 수 있음을 확인하였다.

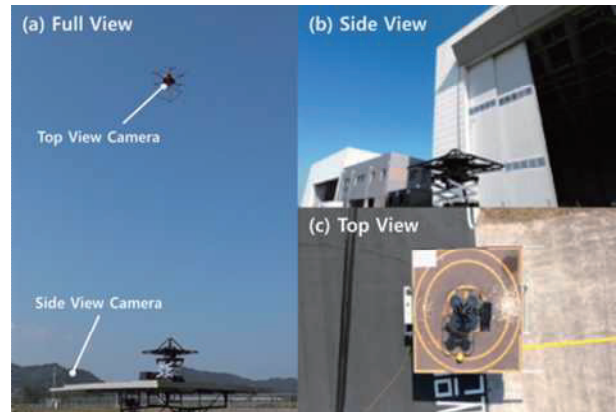


Fig. 12 Landing Test View



Fig. 13 Process of Landing

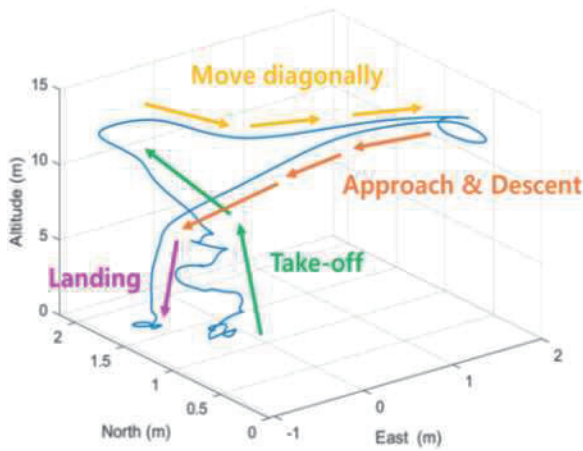


Fig. 14 3D Trajectory of Landing Test Case #6

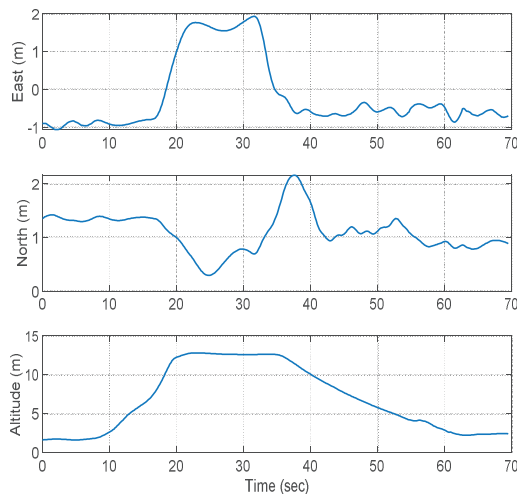


Fig. 15 Position-Time Graph of Landing Test Case #6

4. 결 론

본 논문에서는 드론 함상 착륙을 위한 도킹 방식의 자동 착륙 시스템을 제안하였다. 도킹 방식 자동 착륙 시스템은 피라미드 구조로 자동 충전 시스템을 탑재할 수 있고, 무선 충전 방식 등으로 드론의 배터리 충전하여 임무를 재수행할 수 있는 형태이다. 아울러, 특이한 함상의 거동 특성에도 드론이 안전하게 착륙할 수 있도록 유도하고, 착지 시 충격을 흡수할 수 있고 짧은 시간 안에 결합(Docking)하여 이탈을 방지할 수 있다. 자동 착륙 시스템은 드론 탑재 착륙 시스템(자동 착륙 모듈, 착륙 장치)과 함상 착륙 시스템(착륙 패드, 착륙 플랫폼)으로 구성된다. 자동 착륙 운용 개념에 따

라 착륙 단계에서 자유 비행하는 드론을 안전하게 착륙 유도할 수 있도록 착륙 장치와 착륙 패드를 피라미드 구조로 설계하였다. 자동 착륙 시스템의 운용 가능성과 활용성을 확인하기 위해 자동 착륙 시험을 수행하였으며, 3-자유도 모션 플랫폼을 이용하여 해상 환경을 모사한 시험 환경을 구축하였다. 자동 착륙 시험을 통해 착륙 장치와 패드 간의 간섭, 자동 착륙 모듈의 IR 마커 탐지 및 자동 착륙 수행 여부, 그리고 착륙 장치/패드의 결합, 그리고 함상의 거동에도 피라미드 구조가 가이드-라인(Guide-Line)이 되어 드론을 안전하게 유도·결합하는 것을 확인함으로써 본 논문에서 제안한 도킹 방식의 자동 착륙 시스템이 해상 운용 환경에서 운용·활용될 수 있는 가능성을 확인하였다.

향후 실제 함상 운동을 3-자유도 모션 플랫폼으로 모사하고, 정지 상태의 함상뿐만 아니라 함상이 이동하는 상황을 고려하여 착륙 시험을 수행할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단, 무인이동체원천기술개발사업단의 지원을 받아 무인이동체원천기술개발사업을 통해 수행되었음(No. NRF-2020M3C1C1A02086425).

References

- [1] W. G. Kang and Y. W. Jung, "Technology Outlook and Roadmap Generation for Unmanned Vehicle," *Proceeding of The Society for Aerospace System Engineering*, pp. 439-442, 2017
- [2] The Rhea Project, <http://www.rhea-project.eu/>
- [3] L. Marconi, C. Melchiorri, M. Beetz, D. Pangercic, R. Siegwart, S. Leutenegger, R. Carloni, S. Stramigioli, H. Bruyninckx, P. Doherty, A. Kleiner, V. Lippiello, A. Finzi, B. Siciliano, A. Sala, N. Tomatis, "The HERPA project: smart collaboration between humans and ground-aerial robots for improving rescuing activities in alpine environments," *10th IEEE International Symposium on Safety Security and Robotics*, pp. 1-4, 2012

-
- [4] Y. Bi, Y. Jin, C. Lyu, Z. Zeng and L. Lian, "Nezha-Mini: Design and Locomotion of a Miniature Low-Cost Hybrid Aerial Underwater Vehicle," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, pp. 6669-6676, 2022
- [5] The Development of Unmanned Surface Vehicle for Autonomous cooperation, <https://www.kriso.re.kr>
- [6] Drone Landing System, <https://www.dotbot-robotics.com/>
- [7] The Stable Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform, <https://www.stableonboard.com/>
- [8] Tethered Drone System (V-Line), <https://www.volarius.com/>
- [9] Cho, G., Choi, J., Bae, G., & Oh, H., "Autonomous ship deck landing of a quadrotor UAV using feed-forward image-based visual servoing," *Aerospace Science and Technology*, pp.107869, 2022
- [10] A. Cho, C. S. Yoo, Y. S. Kang, B. J. Park and S. H. Oh, "Operational Test of Motion Platform Developed for VTOL UAV's Shipboard Landing Test and Shipboard Navigation System Calibration," *Proceeding of The Society for Aerospace System Engineering*, pp. 800-801, 2016