

대한기계학회 주선

제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

설계 최종 보고서

참가부	대학부 (✓)				
참가분야	공모주제 (✓) / 자유주제 ()				
참가팀명	로보인 (Roboin)				
설계제목	ResQ4U				
지도교수/교사	(소속) 연세대학교 (성명) 김대은 (연락처) 02-2123-2822 (이메일) kimde@yonsei.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	남다현	연세대학교 기계공학과	010-9053-1622	diana_nam@yonsei.ac.kr	경기도 성남시 분당구 정자로143, 207동 2401호

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김승진	연세대학교 / 4학년	peterskim6745@gmail.com
2	남형우	연세대학교 대학원 / 1학년	csc0208@naver.com
3	고영언	서울대학교 대학원 / 1학년	yeko77@snu.ac.kr
4			
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 (✓) / 자유주제 ()
참가팀명	로보인 (Roboin)
설계제목	ResQ4U
대표자명	남다현
요약문	<p>현재 강이나 호수 근처에 설치되어 있는 인명 구조 장비함은 익수자를 구조하기 위해서 물 밖에 있는 구조자가 익수자를 발견하고 익수자를 향해 구명환을 던져서 구조하는 방식이다. 이러한 방식은 익수자를 구조하기 위해서 익수자 이외의 구조자가 필요하기 때문에 익수자 혼자 물에 빠진 경우 구조가 어렵다는 한계가 있고, 익수자를 식별하기 힘든 야간상황의 구조가 어렵다는 한계점이 있다. 본 설계는 이러한 문제점을 보완하고자 인적이 드문 곳이나 야간 상황에서 무인으로 익수자를 인식하고 익수자를 향해 자동팽창식 구명조끼를 발사하여 기존에 설치되어 있는 인명구조함의 한계를 극복할 수 있는 익수자 구조장치 설계를 제안한다.</p> <p>본 장치는 탐지부와 구동부로 구성된다. 탐지부는 IR카메라와 포인트 라이다, LED 조명, 1점-라이다(Lidar) 조준을 위해 수직방향 회전을 하는 틸트 모터로 이루어져 있다. 카메라는 Mobilenet SSD 모델을 이용하여 물에 빠진 사람을 감지하고, 포인트 라이다는 익수자까지의 거리를 측정한다. LED 조명은 야간에 익수자를 비추어 구조를 돕는다. 틸트 모터는 카메라와 포인트 라이다의 각도를 조절한다.</p> <p>구동부는 구명조끼를 발사하기 위한 발사대와 발사대를 익수자에게 조준하기 위해 수평방향 회전을 하는 팬 모터로 이루어져 있다. 탐지부에서 익수자를 확인하게 되면 수평방향 회전을 하는 팬 모터를 이용해 포인트 라이다의 조준을 돕는다. 이후 포인트 라이다로부터 익수자까지의 거리 정보로 구동부로 넘어오면, 발사대는 전기모터를 이용한 피칭머신 메커니즘을 통해 익수자에게 구명튜브를 발사한다.</p>

- 본 설계보고서가 최종 입상할 경우 대한기계학회 논문집C권에 투고됨을 동의함
- ※ 투고된 논문의 심사 및 출판은 본 경진대회 심사와는 별개로 진행됨.
- ※ 설계 요약문은 공개될 예정이며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.
- ※ 제공된 개인정보는 심사과정에만 사용되며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

남다현*·김승진*·고영언**·남형우*·김대은*†

*연세대학교 기계공학부**서울대학교 기계공학부

Design and Development of an Unmanned Water Rescue Platform with Emergency Detection and Self-inflating PFD Launching Mechanism

Dahyun Nam*, Seungjin Kim*, Youngeon Ko**, Hyeongwoo Nam*, Dea-Eun Kim**†

* School of Mechanical Engineering, Yonsei University

** School of Mechanical Engineering, Seoul Natational University

(Received September 11, 2023 ; Revised January 2, 2023 ; Accepted January 3, 2013)

Key Words: Water Rescue (수난 구조), Unmanned Rescue System(무인 구명 시스템), Automatic Emergency Detection(응급 상황 자동 감지), PFD Launcher(구명 장치 발사기), Launching Mechanism Design(발사 장치 설계)

초록: 본 논문에서는 강 및 호수 인근에서의 인명 구조 작업을 위한 무인 익수자 인식 및 자동 팽창식 구명조끼 발사 시스템을 제안한다. 본 시스템은 IR 카메라, 포인트 라이다, 사물 인식 AI 모델 등의 기술을 활용하여 익수자를 감지하고, 자동으로 구명조끼를 발사할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 또한, 수직 및 수평 회전부를 설계하여 익수자까지의 정밀 조준이 가능하며, 이를 통해 야간 및 인적이 드문 환경에서 효과적인 구조 작업을 수행할 수 있다. 이러한 시스템은 기존 시스템의 제약을 극복하고, 익수자 구조의 효율성을 향상시킬 것으로 기대된다.

Abstract: In this paper we present an unmanned water rescue system with automatic inflatable life jacket launching and person recognition for efficient rescue operations near rivers and lakes. The proposed system integrates IR cameras, point LiDAR, and object recognition AI model, to detect individuals in the water and automatically launch personal flotation device (PFD). Moreover, the system features vertical and horizontal rotation, enabling precise targeting and making it highly effective for rescue operations in low-light and low-population environments. This system is expected to overcome the limitations of conventional systems and enhance the efficiency of water rescue operations.

1. 서론

우리 주변에서 발생하는 수난사고는 우리들이 생각하는 것 보다 많이 일어나고 있다. 2019년 행정안전부에서 발행한 재난연감을 보면, 전체 수난사고 중에 41%가 물놀이 사고와 익수 사고였다. 심지어 익수 사고 중 54%는 물에 빠질 것을 미리 예상하지 못하는 실족으로 인한 사고였다.⁽¹⁾ 이러한 수난사고를 막기 위해서 우리 주변에 있는 강이나 호수, 바닷가에는 인명 구조 장비함이 설치되어 있다. 수난사고 발생 시 인명 구조함을 통해 물에 빠진 사람을 구조하기 위해서는 물 밖에 있는 사람이 물에 사람이 빠졌다는 것을 확인하고 직접 익수자에게 인명 구조함 속에 있는 구명환을 던져 익수자를 구조해야 한다. 이때 익수자에게 정확하게 구명환을 던지는 것이 중요하다.

† Corresponding Author, kimde@yonsei.ac.kr

© 2023 The Korean Society of Mechanical Engineers

하지만 무거운 구명환을 멀리 있는 익수자에게 정확하게 던지는 일이란 쉽지 않다. 이러한 어려움을 극복하고자 구명튜브 및 구명조끼를 가스를 이용한 유압을 이용해 익수자에게 전달할 수 있는 장치들이 많이 개발되었다. ⁽²⁾⁽³⁾

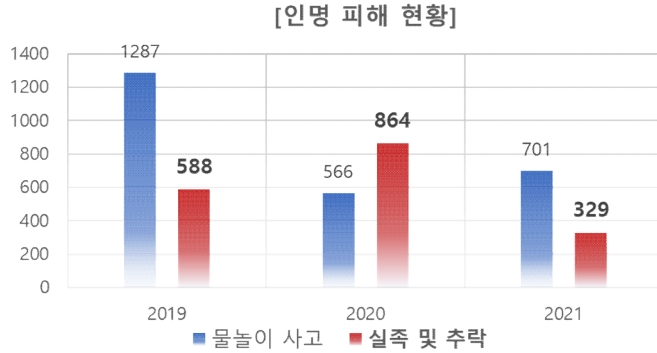


Fig. 1 인명 피해 현황 그래프

< 수난사고 인명구조장비함 관리 강화방안 >

- 안전기준의 사각지대로 있었던 ‘수난사고 인명구조장비함’에 대한 관리를 강화할 계획이다.
 - 인명구조장비함은 전국에 약 1만개가 설치되어 있으나, 별도의 기준이 없어 지자체 등에서 관리가 미흡하다는 문제가 지속적으로 제기되어 왔다.
- 이에 따라, 정부는 인명구조장비함의 안전관리를 강화하기 위하여 인명구조장비함의 구성*, 유지·관리** 및 점검*** 기준을 명시한 설치 및 관리지침을 마련하여 지자체 및 관계기관에 제공할 계획이다.
 - 앞으로 지자체에서는 내년 5월까지 인명구조장비함 정비를 완료하고, 관리지침에 따라 인명구조장비함을 체계적으로 관리해 나가기로 했다.
 - 행안부는 지자체 외에 소방청, 농어촌공사 등 관계기관과도 협의하여 여름철 전에 합동점검을 실시할 계획이다.

Fig. 2 2019년도 발행한 시/도 재난안전실장 회의 보도자료 중

하지만 이러한 장치들은 모두 익수자를 구하기 위해 물 밖에 있는 사람이 필요하다. 그렇기 때문에 인적이 드문 곳에서 사람이 물에 빠지는 경우에는 익수자를 구조해줄 사람이 없어서 익수자를 구조하기 힘들다. 또한, 사람이 있다고 하더라도 야간 상황과 같이 잘 보이지 않는 상황에서는 익수자를 식별이 쉽지 않아 구조가 어렵다는 한계가 있다. 따라서 익수자를 구조할 사람이 외부에 없는 경우에도 무인으로 익수자를 구조할 수 있는 장치의 개발의 필요성이 있다.

따라서, 본 연구에서는 외부에 사람이 없는 상황에서도 익수자를 탐지하고 익수자에게 구명조끼 발사해주는 무인 구명조끼 발사 장치를 개발하였다.

2. 설계핵심내용

2.1 설계 목적 및 문제 정의

본 설계는 기존 강이나 호수 및 저수지에 설치된 인명 구조 장비의 한계를 보완하기 위한 장치이다. 주변 환경 감지를 통해 자동팽창식 구명환을 발사하여 무인으로 인명을 구조할 수 있는 것이 설계의 주목적이다. 즉, 자동으로 작동하는 무인 기기를 설계함으로써, 기존 방치되어 관리가 소홀한 인명 구조 장비함의 문제를 해결하고, 투척 장치를 설계함으로써 기존 장비의 기능적 한계를 극복하는 것이 설계의 배경이 된다.

본 설계의 전체 작동 순서는 다음과 같다. 먼저 주·야간 카메라를 이용해 익수자를 식별하게 되면, 장비는 상하좌우로 회전하며 익수자를 카메라 화면의 중앙에 오도록 맞추게 된다. 그 후 거리 센서를 이용하여 장비로부터 익수자까지의 거리를 측정하고, 측정된 거리에 맞추어 자동으로 구명환을 발사하여 익수자를 구조하는 방식이다.

이러한 과정에 비추어, 본 설계는 무인으로 요구조 상황을 감지하고, 자동으로 해당 거리에 맞게 발사를 진행하는 크게 두가지 구성부로 나누어 볼 수 있다. 두가지 주요 구성부를 포함하여 전체 동작 기능 구현을 위해 각 구성부에 따른 설계 문제는 **Table 1**과 같다.

Table. 1 Design Problem by Component Configuration

Detection Unit	Launch Unit	Other Components
<ul style="list-style-type: none"> - Emergency Detection Algorithm - 24/7 Operation Control - Distance Measurement Control 	<ul style="list-style-type: none"> - PFD Loading Mechanism - The design of Launching Mechanism - Motor Control Algorithm 	<ul style="list-style-type: none"> - Pan/Tilt Mechanism and Control - Exterior Design - Circuit Design

위의 제품 동작 과정에서 가장 핵심이 되는 부분은 식별하기 힘든 야간 상황에서도 구조 활동이 이루어져야 한다는 것과 주변에 도움을 줄 수 있는 사람이 없어도 무인으로 작동해야 한다는 점이다. 따라서 감지부의 경우 익수자가 발생한 구조 상황을 신속하고 정확하게 감지하여야 한다. 또한 익수자 특성상 수심이 얕은 곳보단 깊은 곳, 즉 장비에서 멀리 떨어진 곳에서 탐지된다. 따라서 거리 측정에 높은 정확도가 요구된다. 각 기능을 위한 메커니즘 설계 및 제어 알고리즘 개발이 주요 문제가 된다.

다음으로, 발사부의 경우 먼 거리까지 비교적 정확하고 빠르게 구명환을 발사할 수 있어야 한다. 이를 위하여 발사 메커니즘을 고려한 발사대 설계, 해당 발사대를 제어하여 거리를 조절할 수 있는 방안, 마지막으로 구명환을 발사대에 계속해서 장전할 수 있는 메커니즘에 대한 설계가 요구된다.

마지막으로, 전체 구성부 완성을 위하여 몇가지 추가 문제 사항들이 고려된다. 발사부와 감지부를 포함한 제품의 전반이 좌우 회전을 요구로 한다. 따라서 고중량 기계를 좌우로 정밀하게 회전할 수 있는 메커니즘 설계 및 알고리즘 개발이 필요하다. 또한 제품 전체를 둘러 쌓아 마감할 수 있는 외관 설계와, 내부 구성 요소들을 배치하는 설계가 추가적으로 요구된다.

2.2 기존 연구 및 특허 분석

2.2.1 투척식 익수자 구명 장치⁽⁴⁾

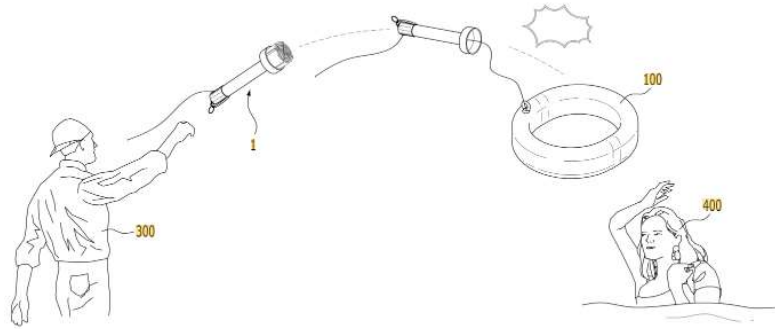


Fig. 1 LIFE SAFE THROWING DEVICE FOR RESUING A PERSON DROWN

해당 특허⁽⁴⁾는 투척식 익수자 구명 장치로 익수자에게 투척된 구명 장치가 일정 시간 후 자동적으로 팽창, 익수자를 구조할 수 있는 장치이다. 해당 장치는 봉 형태로 이루어져 있으며 머리 부분에는 구명 튜브가 관 부분에는 튜브를 팽창시킬 수 있는 가스 실린더로 이루어져 있으며, 마지막으로 연결줄이 존재하여 투척 및 구명 후 건인, 회수가 가능하다.

2.2.2 고정식 구명기구 발사 장치⁽³⁾

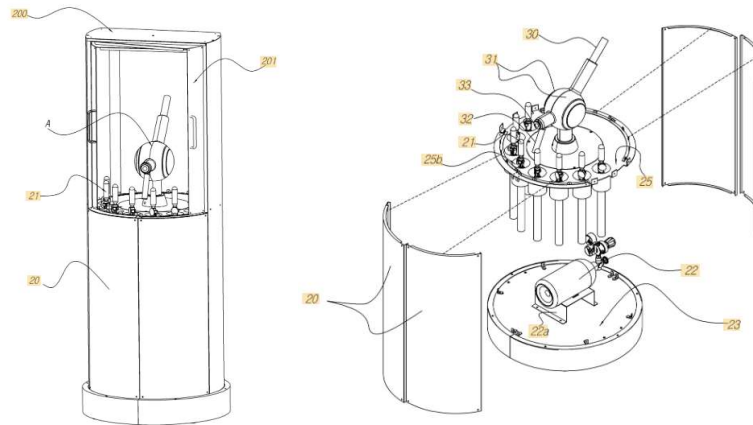


Fig. 2 Fixed type lifesaving apparatus shooting equipment

본 발명⁽³⁾은 해상, 수상 구조를 위한 고정식 구명기구 발사장치로, 익수자 발견 시 목격자가 발사 장치를 통해 구명환을 전달 할 수 있는 장치이다. 기본 베이스, 압축 공기 저장장치, 발사 장치, 구명환 저장 장치로 구성되어 있으며, 익수자 발견 시 목격자가 구명환을 발사 장치에 장착, 압축 공기를 통해 구명환을 발사 하는 방식으로 동작한다. 이때, 구명환은 물에 닿을 시 자동팽창하여 익수자에게 부력을 제공하는 기능을 한다.

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

2.2.3 인명구조용 구명기구 발사장치⁽²⁾

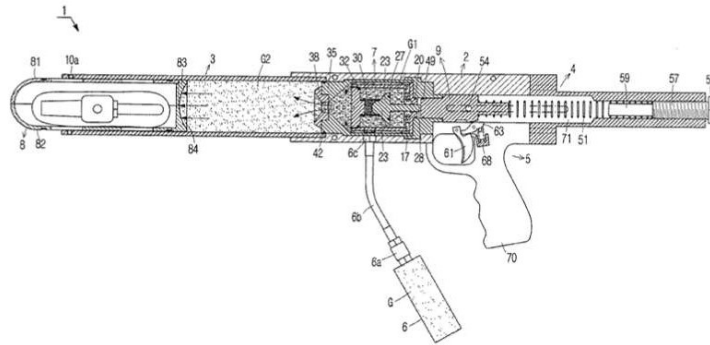


Fig. 3 Life saving apparatus of launcher for Life Rescue

본 발명⁽²⁾은 견착식 인명구조용 구명기구 발사 장치이다. 본 장치는 구명기구를 보관하는 컨테이너, 구명기구를 발사하는 발사 장치, 발사 방향을 제어하는 제어장치, 마지막으로 추진력을 제공하는 액화가스 카트리지로 구성되어 있다. 기존 화학식과는 다르게 액화 가스를 사용하여, 폭발 위험이 없으며, 낮은 소음과 단순한 구조가 특징이다.

2.2.4 차별성

기존의 구명 기구 발사 장치나 구명 튜브 발사 장치는 사람이 직접 목표를 향해서 조준 후 사용할 수 있어, 물에 빠진 사람을 구조하기 위해서는 다른 사람이 현장에 있어야 한다. 하지만 우리의 아이디어는 무인으로 물에 빠진 사람을 감지 후 자동으로 구명 기구를 발사할 수 있어서 다른 사람이 없는 상황이거나 상황을 파악하기 어려운 밤에도 구조를 진행할 수 있다는 점에서 기존의 선행 기술들과 차이가 있다.

또한 기존의 장치들은 가스 충전 방식이기 때문에 기존 인프라에 적용하는 것이 제한적이고 사람이 직접 충전 가스를 제공해 주어야 한다는 단점이 있다. 이에 비해서 본 아이디어는 전동 방식의 발사대를 사용하기 때문에 전기만 있으면 언제든지 사용할 수 있고 기존의 인프라에도 적용이 가능하다는 장점이 있다.

Table 2 Comparison with Conventional Water-rescue Devices

Criteria	Life Saving Throwing Device ⁽⁴⁾	Life Saving Apparatus Gun ⁽²⁾	Fixed Apparatus Shooting Equipment ⁽³⁾	ResQ4U
Self inflating PFD	O	O	O	O
Launching Mechanism	Gas Generator	Liquefied Gas	Compressed Air	Motor
Targeting	Manual	Manual	Manual	Automatic
Emergency Detection	Manual	Manual	Manual	Automatic

2.3 설계 방법 및 제약 조건

감지부와 발사부 및 그 외 구성 유닛에 대한 설계는 **Table 3**의 설계 과정을 기반으로 진행되었다. 설계 과정은 Engineering Design Process (Engineering method)를 기반으로 제품 개발을 위하여 변형하여 사용하였다.

Table 3 Design Process

Number	Process
1	Required Functions Definition
2	Functional Implementation
3	Mechanism Decision
4	Mechanical Components Decision
5	Design Progression
6	Testing and Evaluation
7	Design Feedback and Modification

설계 과정 중 발생할 수 있는 제약조건은 다음과 같다. 감지부의 경우 LiDAR의 민감도가 높기 때문에 카메라와 정확하게 일자로 정렬되어야 거리 측정을 정확히 수행할 수 있다. 또한, 멀리 있는 물체의 경우 화면에 표시되는 크기가 작아져 인식 거리에 한계가 있다. 발사부의 경우 피칭머신 메커니즘은 구형이면서 탄성이 뛰어난 물체에 대해 비거리가 길지만, 구멍환은 탄성이 거의 없고 압축되어 있으며 마찰력을 제대로 받지 못하는 특성으로 인해 비거리가 감소할 수 있다.

수직 방향 회전은 상대적으로 가벼운 부품들만 사용하여 정밀한 각도 조절에 용이한 모터를 사용하여 설계하였다. 수평 방향 회전은 설계 전체가 회전하므로 중량을 지탱하면서 설계 되어야 한다. 스텝모터, 캐스터 휠, 볼베어링, 알루미늄 프로파일 등을 사용하여 대형 턴테이블 원리를 응용한 메커니즘을 선정하였다. 멀리 있는 익수자를 정확히 중앙에 위치시키기 위해 스텝모터에 기어를 사용하여 정밀도를 높일 수 있도록 하는 것이 중요하다. 각 구성에 대한 설계가 개별적으로 이루어지고, 실제 작동 시 수평 방향과 수직 방향 회전은 동시에 맞물려 작동해야하므로 이를 정밀하게 설계하고 제어하는 것이 중요하다.

발사부의 경우 거리 측정을 기반으로 익수자 근처에 구멍환을 발사하기 위해 회전하는 2개의 휠을 사용하는 메커니즘을 사용한다. 이 메커니즘은 스프링이나 공압을 이용한 발사 메커니즘에 비해 발사체의 비거리를 제어하기 훨씬 용이하다. 고풍력 모터와 큰 바퀴를 사용하여 구멍환을 멀리 발사할 수 있다. 설계에는 지름 180mm의 AGV용 휠 2개와 24V, 100W, 3000RPM의 BLDC모터 2개가 사용되었다. 해당 구성 요소를 사용한 메커니즘 상 최대 비거리를 확보할 수 있는 발사 각도 및 휠 간 거리를 조절하는 것이 중요하다. 또한, 가볍지 않은 구멍환을 발사하는 상황과 고속의 모터와 높은 중량의 휠을 사용하는 것을 고려할 때, 관성이 매우 크게 나타날 것으로 예상된다. 이를 설계적으로 해결할 수 있는 방안이 필요하다.

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

2.4 감지부 설계 과정

본 설계의 목적을 달성하기 위한 감지부 필요 요소 기능은 다음과 같다.

- 감지부는 24시간 주/야간 모두 작동한다.
- 감지 및 거리 측정기는 40m 이상까지 작동한다.
- 야간 동작 시 요구조자가 구명환을 찾을 수 있도록 조명을 비추어야 한다.

위의 필요 요소 기능에 부합하는 감지부의 요소 부품은 **Table 4**와 같이 선정하였다.

Table 4 Detection Unit Mechanical Elements

Component	Device Name	Use
Camera	OV5647 IR Camera Module	24/7 Video frame streaming
IR Light	850 IR High Power Night Vision Infrared Illuminator with Adjustable Resistor	Auto-switching IR Light source for night vision
Distance Sensor	Benwake TF02-pro one-point LiDAR	Distance measure
Search Light	20,000 lumen LED module	Light source for night rescue

본 제품은 카메라의 프레임만을 통하여 구조 상황을 인식한다. 따라서, 사용하는 카메라 모듈은 주/야간 상황 모두 주변의 환경이 인식 가능한 화질로 프레임을 송출할 수 있어야 한다.. IR 컷 필터 기능이 있는 주/야간 카메라 모듈은 낮에는 적외선 차단 필터를 사용하여 적외선 빛을 차단하고 색상을 정확하게 표현하며, 밤에는 필터를 제거하여 적외선 빛을 통과시켜 어두운 환경에서도 선명한 영상을 제공한다. IR LED 조명은 카메라 모듈의 적외선 감지 능력을 보완하여 어두운 환경에서도 선명한 영상을 제공하는 데 사용된다. 사용한 IR 카메라 모듈(OV5647 IR Camera Module, Arducam, USA)의 상세는 **Table 5**와 같다.

Table 5 Infrared Camera Module Specifications

Raspberry Pi Infrared Camera Module	
Category	Specification
Sensor (Size)	OV5647 (1/4")
Resolution	5MP 2592×1944
Maximum Video Resolution	1080p
Maximum Video Framerate	30 fps
Field of View (FOV)	30°(D), 105°(H)
Communication Interface	MIPI Camera Serial Interface (CSI)

카메라의 경우 시야각 내 detection AI 모델이 계속 작동하며, 물에 빠진 사람이 있는지 감지한다. Mobilenet SSD 라는 AI 모델을 사용하여 학습된 모델을 돌려 작동된다. Mobilenet SSD(v2)는 입력되는 이미지 혹은 영상에서 출력 경계 박스(bounding box)와 객체 ID(클래스)를 계산하는 객체 감지 AI 모델이다. SSD(Single Shot Detector) 객체 감지 모델은 convoluntional network 기반의 Mobilenet을 백본으로 사용하며 모바일 장치에 최적화된 빠른 객체 감지를 달성할 수 있다는 장점을 가진다.

모델은 아래의 구조를 가진다.

- Feature Extractor: MobileNet v2 모델을 사용한 특징 추출기이다. 12개의 컨볼루션 레이어로 구성되어 있으며, 512개의 특징 맵을 생성한다.
- Box Predictor: 특징 맵을 기반으로 객체의 위치와 클래스를 예측하는 모델이다. 6개의 컨볼루션 레이어로 구성되어 있으며, 4개의 bounding box와 80개의 클래스 분류를 출력한다.

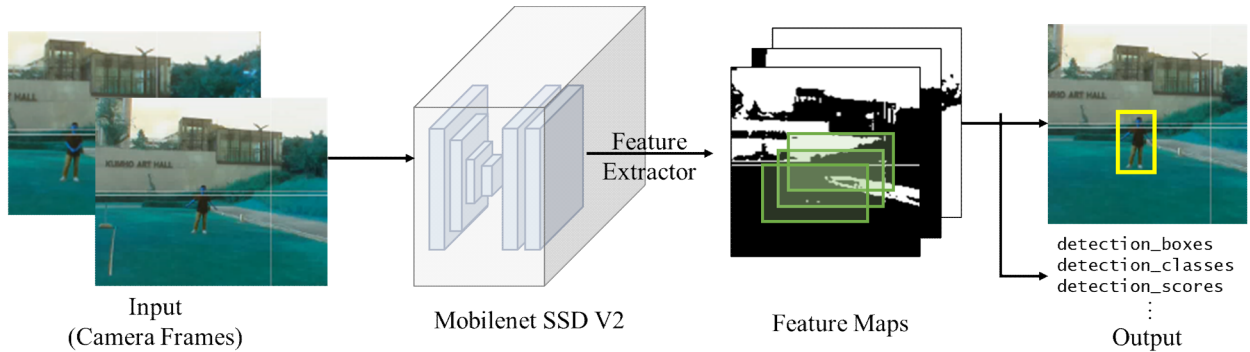


Fig. 4 Emergency Detection Architecture

먼저, 카메라로부터 받아온 비디오 프레임을 입력으로 받아서 Feature Extractor에 통과시킨다. Feature Extractor는 512개의 특징 맵을 생성한다. 다음으로, Box Predictor는 특징 맵을 기반으로 객체의 위치와 클래스를 예측하여 반환한다. 이때, 예측된 객체의 위치와 클래스는 다음과 같은 방법으로 평가된다. 객체의 위치는 bounding box의 중심점과 너비, 높이를 기준으로 평가되고, 객체의 클래스는 예측된 클래스의 신뢰도와 실제 클래스의 일치 여부를 기준으로 평가된다. 가장 높은 평가 점수를 가진 객체가 탐지된 객체로 간주된다.⁽⁵⁾ 일련의 과정을 통하여 카메라 프레임에서 구조 상황을 감지할 수 있게 된다.

본 과정에서 프레임 내 한명의 요구조자를 트래킹할 수 있는 알고리즘을 추가적으로 설계하여 구조 상황 감지를 완성할 수 있었다. 트래킹 알고리즘은 슬라이딩 윈도우 (sliding window) 기법을 사용하여 이미지를 격자로 분할하고 각 분할 영역에서 객체를 탐지하고 추적하는 방식으로 작동한다. 슬라이딩 윈도우는 이미지 처리에서 일반적으로 사용되며, 이미지를 격자로 나누어 작은 영역에서 특징을 추출하거나 객체를 탐지하는 데 사용된다. 이렇게 설계된 자동 구조 상황 감지 알고리즘은 Table 6과 같다.

Table 6 Camera frame emergency detection code frame

Algorithm 1. Emergency detection algorithm
<pre> def emergency_detection_algorithm(camera_frame): # Initialize variables is_detected = False tracking = False xc, yc = 0, 0 #center points # Start a loop that continuously reads frames from the video stream while True: # Read a frame from the video stream frame = camera_frame.read() # Crop the current frame to a smaller region centered at the current position of the person if tracking: x_center = xc - int(frame.shape[1] / 2) y_center = yc - int(frame.shape[0] / 2) x1 = x_center - int(frame.shape[1] / 4) y1 = y_center - int(frame.shape[0] / 4) x2 = x_center + int(frame.shape[1] / 4) y2 = y_center + int(frame.shape[0] / 4) </pre>

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

```

frame = frame[y1:y2, x1:x2]

# Run the emergency detection model on the cropped frame
objs = get_objects(model, frame)

# If an emergency situation is detected, update the `is_detected` and `tracking` flags
if objs and objs[0].label == 'person':
    is_detected = True
    tracking = True
    xc = objs[0].bbox.center_x
    yc = objs[0].bbox.center_y

# If the person is being tracked, pan and tilt the camera to keep the person in the center of the
frame (pan/tilt : targeting algorithm)
if tracking:
    pan_tilt.pan_tilt((xc, yc))

return is_detected

```

Fig. 5는 완성된 자동 구조 상황 감지 알고리즘에 대한 실험이다. 야간 상황에서도 요구조자가 정상적으로 감지될 수 있는 성능 검증을 위하여 조도가 낮은 상황에서 감지 모델의 성능을 평가하였다. 실험 결과, 오후 조명이 없는 저조도 상황에서 IR 카메라의 프레임을 통해서도 요구조자 감지가 정상적으로 작동함을 확인하였다.

[주간 조명에서 사람의 감지가 진행되는 모습]



[야간 상황에서 사람의 감지가 진행되는 모습]



Fig. 5 주야간 상황에서 사람이 감지되는 모습

카메라의 프레임만으로는 요구조자까지의 거리를 정확하게 측정하기 어렵다. 본 설계에서 요구조자까지의 정확한 거리 측정을 위하여 단일 포인트 LiDAR를 거리 센서로 사용하였다. 본 제품의 거리센서는 야외 상황에서도 정확한 측정이 가능해야 하며, 카메라와 마찬가지로 주/야간 모든 상황에서 측정의 강건성이 입증되어야 한다. 따라서 본 설계에서 야외용 드론 등의 제품에서 장애물까지의 거리를 측정하는 용도로 사용되는 LiDAR 모듈을 사용하였다. 해당 센서는 야외 40m까지 거리 측정이 가능한 스펙으로 구성되어있다.

Table 7 One-point LiDAR Sensor Specifications

TF02-pro LiDAR Module	
<i>Category</i>	<i>Specification</i>
Operating Range	0.1~40m@90%reflectivity 0.1~13.5m@10%reflectivity 0.1~40m@90% reflectivity (100Klux) 0.1~13.5m@10% reflectivity (100Klux)
Accuracy	±5cm (0.1~5m) ±1% (5~40m)
Repeatability	1σ : < 2cm (0.1~35m@90%reflectivity)
Maximum Video Framerate	30 fps
Distance Resolution	1cm
Frame rate	1-1000Hz (default 100Hz)
Operation temperature	-20~60℃
Power	DC 5V~12, ≤200mA
Communication Interface	UART, I ² C, I/O

해당 거리 센서로부터 나오는 신호를 받아 처리할 수 있는 기초적인 제어기를 설계하고, 데이터를 바탕으로 값을 조정하며 테스트를 진행하였다. 본 LiDAR 센서는 메인보드와 UART 통신으로 연결되어 거리값, 칩 온도, 그리고 신호 세기 총 3가지 데이터를 전달한다. 신호 세기란, 레이저 펄스가 도달한 물체까지의 거리와 신호 강도를 출력이다. 물체가 멀리 위치할수록 거리 측정에 더 높은 정밀도의 수평 및 수직 회전의 제어가 요구될 것이기에, 익수자까지의 거리가 먼 상황에서도 강건한 거리 측정값을 사용할 수 있도록 이동평균 필터를 기반으로 LiDAR 데이터에 대한 필터 알고리즘을 설계하였다. LiDAR 거리 센서의 필터링 알고리즘은 다음과 같이 구성된다.

- 신호 강도 확인: 센서로부터 측정된 신호 강도가 일정 수준 이상이어야 거리 측정을 수행한다.
- 이동 평균 필터: 최근 측정된 거리 데이터를 이동평균 필터링하여 노이즈를 줄인다.
- 외부 요인 제거: 거리 데이터의 평균과 표준편차를 계산하여 외부 요인으로 인한 오차를 제거한다.
- 최종 거리 계산: 이동평균 필터링된 데이터와 외부 요인으로 인한 오차를 제거한 데이터를 바탕으로 최종 거리를 계산한다.

먼저, 가장 앞단에서 신호의 강도를 임계값을 기준으로 필터링을 진행한다(Intensity Thresholding). 이는 센서로부터 측정된 신호 강도가 일정 수준 이상이어야 거리 측정을 수행할 수 있도록 한다. 레이저 펄스의 경우 물 혹은 공기 중 등 익수자 외의 주변 환경에서 반사될 경우 센서에 도달하는 신호의 값이 매우 낮다. 즉, 신호의 강도에 임계값을 두어 이를 기준으로 필터링을 진행하여 실제 익수자까지의 거리 정보인지를 판단할 수 있도록 하였다.

이동평균(Moving Average)기반 필터링은 최근 측정값을 평균하여 잡음(노이즈)을 제거하는 방법으로, 아래의 수식을 통해 연산된다. 잡음은 측정값의 무작위 변동으로, 측정값의 정확도를 저하시킨다. 먼저, 최근 측정값을 일정 크기의 윈도우에 저장한 다음, 윈도우에 저장된 측정값의 평균값을 출력하여 측정값의 최종값으로 사용한다.

구조상황 감지 및 자동 팽창 구멍환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

다음으로, 거리 데이터의 평균과 표준편차를 계산하여 외부 요인으로 인한 오차를 제거한다. 외부 요인으로는 환경적 요인(온도, 습도 등), 대상물의 특성(형태, 재질 등) 등이 있다. 이로 인한 오차를 제거하기 위해서는 거리 데이터의 평균과 표준편차를 계산하여 데이터의 분포를 파악해야 한다. 평균과 표준편차를 기준으로 거리 데이터의 범위를 벗어난 데이터는 외부 요인으로 인한 오차일 가능성이 높으므로, 해당 데이터는 평균값으로 대체하여 오차를 제거한다.

$$\text{outlier} = |\text{filtered_dist}[i] - \mu| > \text{DISTANCE_THRESHOLD} \text{ or } |\text{filtered_dist}[i] - \mu| > \sigma$$



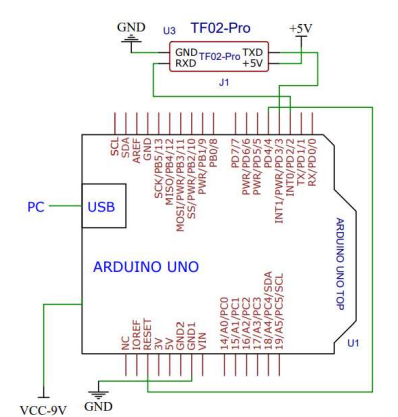
이동평균 필터링된 데이터와 외부 요인으로 인한 오차를 제거한 데이터를 바탕으로 최종 거리를 계산한다. 최종 거리는 이동평균 필터링 된 데이터의 평균과 표준편차를 고려하여 계산한다. 전체 필터링 계산은 Arduino 코드로 구현하였으며, 알고리즘의 요약은 Table 7과 같다.

Table 8 Distance data filtering algorithm frame

Algorithm 2. LiDAR Sensor data filtering algorithm
<pre> if (strength >= STRENGTH_THRESHOLD && dist >= DIST_MIN && dist <= DIST_MAX) { count = 0; sum_dist -= filtered_dist[idx]; filtered_dist[idx] = dist; sum_dist += filtered_dist[idx]; idx = (idx + 1) % FILTER_LENGTH; int mean = sum_dist / FILTER_LENGTH; float variance = 0; for (int i = 0; i < FILTER_LENGTH; i++) { variance += pow(filtered_dist[i] - mean, 2); } variance /= FILTER_LENGTH; float std_dev = sqrt(variance); for (int i = 0; i < FILTER_LENGTH; i++) { if (abs(filtered_dist[i] - mean) > DISTANCE_THRESHOLD abs(filtered_dist[i] - mean) > std_dev) { filtered_dist[i] = mean; } } avg_dist = sum_dist / FILTER_LENGTH; } </pre>

이를 익수자까지의 거리 측정에 이용할 것이므로, 수면 위의 물체를 대상으로 효용성을 확인하였다. 필터 알고리즘의 실험은 잠실 한강공원(서울특별시 송파구 한가람로 65)에서 진행되었다. 실험 환경 및 설정은 아래 Table 8과 같다.

Table 9 LiDAR Filter Experiment

Experimental Setup	Specifications	Circuit Diagram
	<p>Target : 지름 20 cm 공 SW: Arduino IDE 사용</p> 	

레이저 펄스가 물체에 도달한 경우에는 신호 강도가 100 이상으로 나타난 반면, 수면에 도달한 경우에는 최대 측정 가능 거리인 45m가 출력됨과 동시에 신호 강도가 100 미만으로 나타났다. 이에 따라 레이저 펄스가 물체에 닿았는지 판단하기 위한 신호 강도의 임계값을 100으로 지정하여 거리 정보를 필터링하였다. 필터링 결과를 시각화하였을 때, **Fig. 3**와 같이 나타났으며, 거리값의 노이즈가 제거되어 적절하게 필터링이 이루어졌음을 확인할 수 있다.

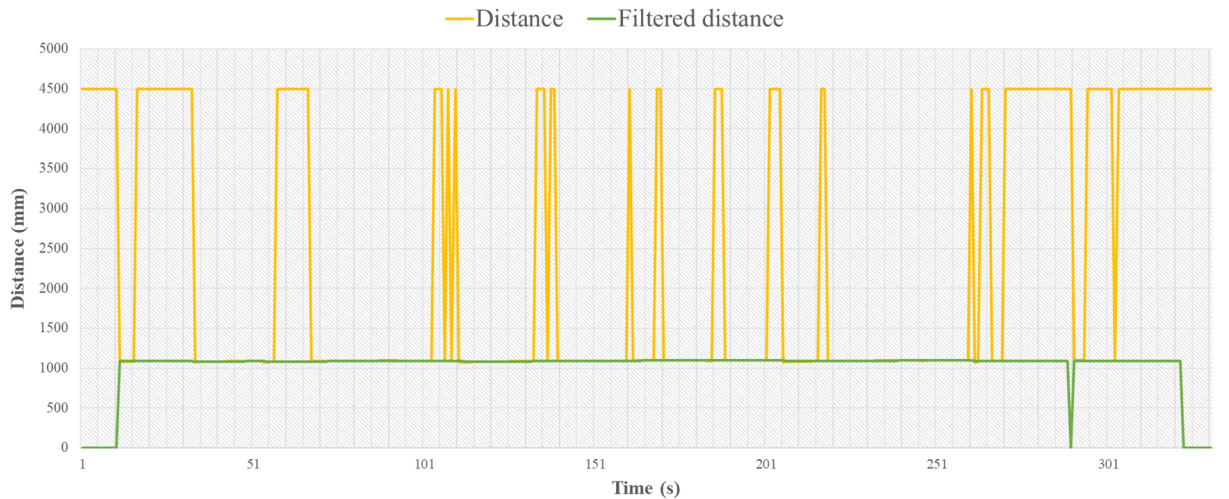


Fig. 6 Experiment result : Measured Distance-Time Graph

카메라 구조 감지 및 거리 센서의 필터링 알고리즘을 완성한 뒤, 두 모듈을 모두 마운트할 수 있는 감지부 하드웨어를 설계하였다. IR 조명의 경우 스크류 볼트를 통하여 카메라 모듈에 전원부 연결과 함께 마운트되어, 카메라 모듈, LiDAR 거리 센서 그리고 LED 조명의 마운트가 고려되었다. LED 조명의 경우 원형으로 마운트용 홀이 없어 치수에 맞는 원형 클램프를 사용하였다. **Fig. 7**부터 **Fig. 10**은 각 설계의 도면과 어셈블리 모습, 그리고 최종 제작 모습이다.

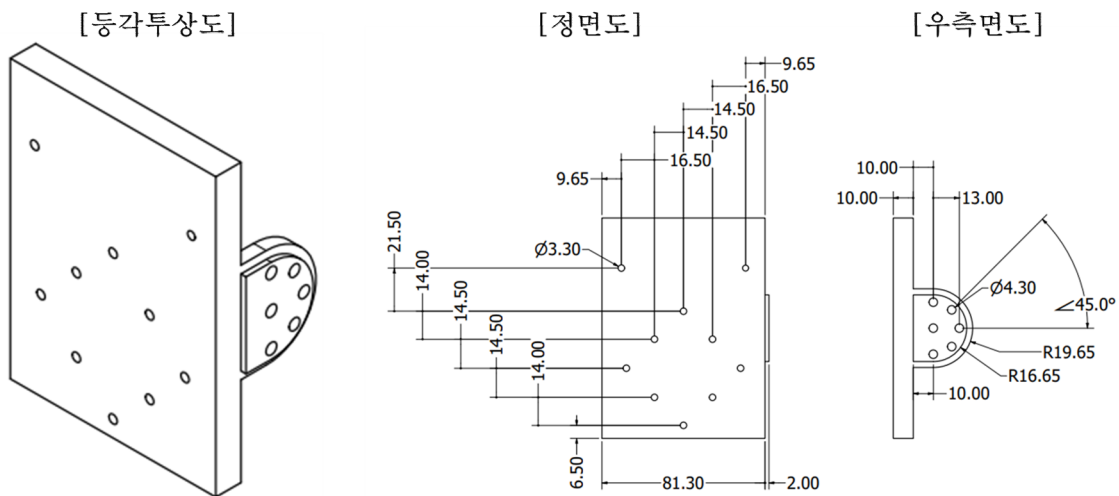


Fig. 7 Tilt Case Design (Camera, LiDAR mount)

구조상황 감지 및 자동 팽창 구멍환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

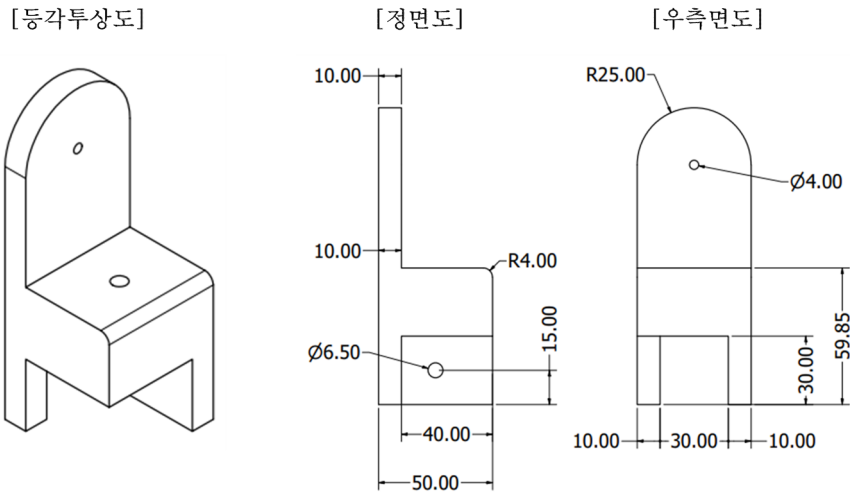


Fig. 8 Tilt Stand Design

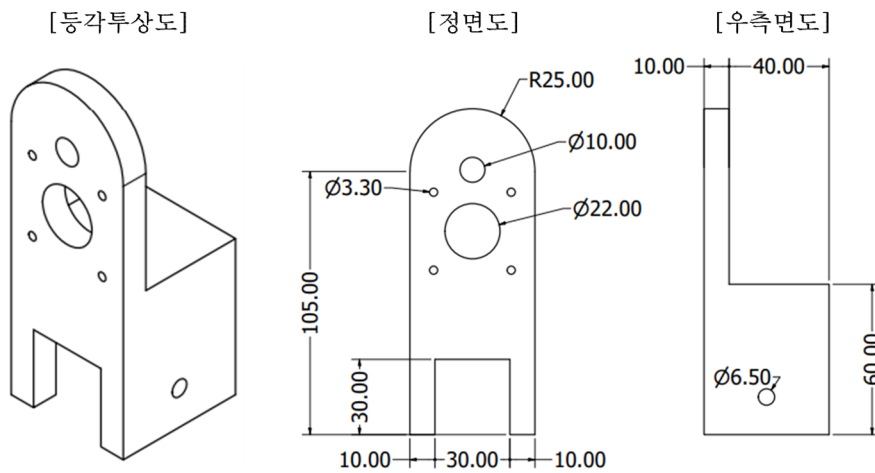


Fig. 9 Tilt Motor Stand Design

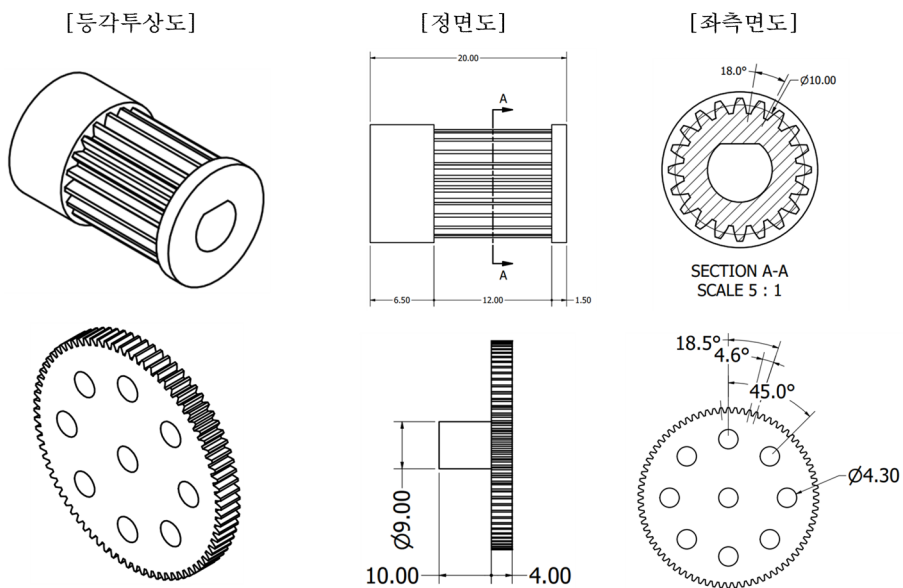
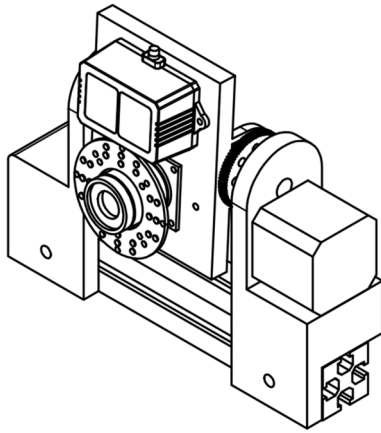
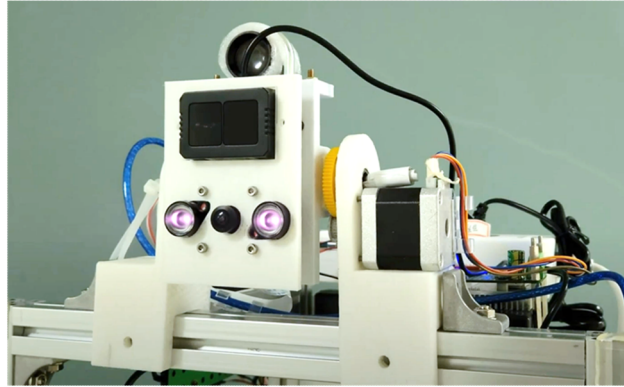


Fig. 10 Tilt Driving & Driven Gear Design



[조립도]



[실제 제작 모습]

Fig. 11 Detection Unit Design & Assembly

2.5 좌우/상하 회전부(팬/틸트부) 설계 과정

감지부에서 구조 상황이 감지 되면 알고리즘을 통해 요구조자의 위치와 정보가 전달된다. 이 정보를 바탕으로 발사대는 요구조자를 조준한다. 감지부에서 구조 상황 자동 감지 및 거리 측정 알고리즘을 통해 요구조자까지의 위치와, 거리 정보가 전달되면 이 정보를 바탕으로 발사대를 요구조자까지 조준한다. 발사 과정의 경우 모터의 출력을 통하여 비거리를 조정하기 때문에, 좌/우 방향 조절만이 필요하다. 반면, 거리 센서의 정확한 조준을 위해선 카메라 및 거리 센서 프레임의 중앙에 요구조자가 위치하는 것이 중요하다. 즉, 감지부의 경우 상/하 방향 조절이 추가적으로 요구된다. 이러한 필요 기능에 따라 발사부와 감지부 전체의 프레임에 대한 좌/우 회전과 감지부의 추가적인 상/하 회전 각각에 대한 설계를 진행하였다.

수직 방향 회전은 상대적으로 가벼운 부품들만 사용하여 정밀한 각도 조절에 용이한 모터를 사용하여 설계하였다. 감지부의 경우 전체 부품의 무게가 500g 남짓한 가벼운 모듈들로 구성되어있다. 따라서, 해당 부품들을 모두 정밀하게 상/하 조준을 할 수 있도록 Table 10의 기계 요소를 통하여 설계를 진행하였다. 감지부의 틸트 케이스(Fig. 7)에 피동 기어(driven gear, Fig. 10 -2)를 볼트로 고정한 뒤, 틸트 모터 스탠드(Fig. 9)에 마운트된 스텝 모터와 구동 기어(driving gear, Fig. 10-1)의 회전을 통하여 감지부 상하 회전 메커니즘을 완성하였다. 완성된 조립 모습은 Fig. 11과 같다.

Table 10 Pan/Tilt Unit Mechanical Elements

Component	Device Name	Use
Driving Motor	Nema17 Stepper Motor 17HS4401	Tilt Rotation Driving Motor
Motor Controller	TB6560 Stepper Motor Driver	Driving Motor Controller Driver
Driving Gear	STEPPER MOTOR TIMING BELT GT2	Tilt Rotation Driving Gear
Driven Gear	Plastic Spur Gear (Small), Science Box	Tilt Rotation Driven Gear

수평 방향 회전은 설계 전체가 회전하므로 중량을 지탱하면서 설계되어야 한다. 스텝모터, 캐스터 휠, 볼베어링, 알루미늄 프로파일 등을 사용하여 대형 턴테이블 원리를 응용한 메커니즘을 선정하였다.

구조상황 감지 및 자동 팽창 구멍환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

멀리 있는 익수자를 정확히 중앙에 위치시키기 위해 스텝모터에 기어를 사용하여 정밀도를 높일 수 있도록 하는 것이 중요하다. 각 구성에 대한 설계가 개별적으로 이루어지고, 실제 작동 시 수평 방향과 수직 방향 회전은 동시에 맞물려 작동해야 하므로 이를 정밀하게 설계하고 제어하는 것이 중요하다. 이를 고려하여 설계한 턴테이블의 메커니즘 기반의 좌/우 회전부는 **Table 11**의 요소 부품을 사용하여 이뤄졌다.

Table 11 Pan/Tilt Unit Mechanical Elements

Component	Device Name	Use
Top & Bottom Plate	MDF 12mm Board	Rotation Plate
Aluminum Profile	3x3 T-Slotted Aluminum Extrusion	Frame Profile
Caster Wheel	Solid Polyurethane Caster Wheels	Load Distribution Wheels
Bearing & Housing	(Custom Ordered)	Center Bearing of Pan Rotation
Shaft		Center Shaft of Pan Rotation
Stepper Motor	Nema17 Stepper Motor 17HS4401	Pan Rotation Driving Motor
Motor Controller Driver	TB6560 Stepper Motor Driver	Pan Rotation Motor Controller

위의 기계 요소들을 사용하여 최종 제작한 설계 모습은 Fig. 12와 같다. 알루미늄 프레임의 고정이 원활하도록 윗/아랫 판은 MDF 합판을 사용하여 제작하였다. 기어는 직접 설계하여 3D 프린팅(FDM printing, material : PLA, 1.75mm) 파츠를 사용하였다. 베어링과 금속 하우징 및 샤프트는 해당 치수에 맞게 주문제작을 하였으며, 아랫판과 샤프트 고정은 플랜지 형태로 설계하여 마찬가지로 3D 프린팅 파츠를 사용하였다.

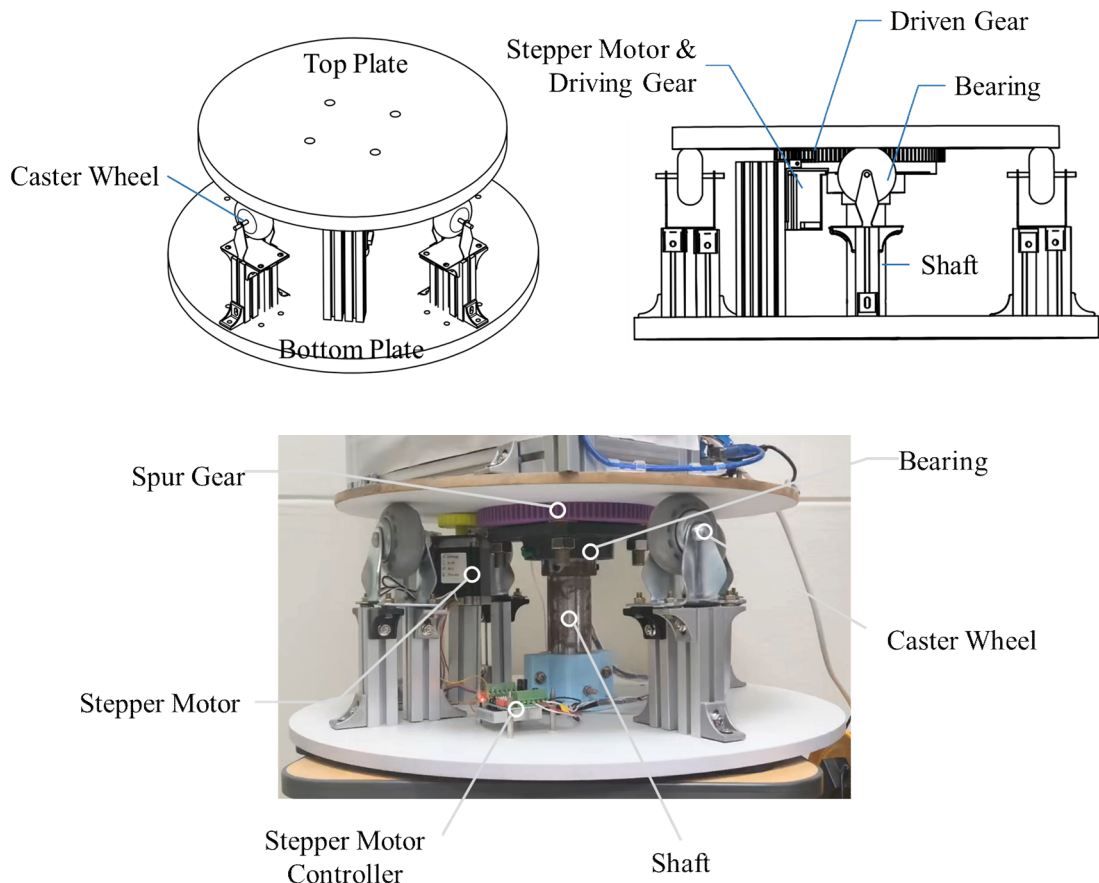


Fig. 12 Pan/Tilt Unit Design & Assembly

좌우/상하 회전부는 객체 감지 모델이 생성한 경계 상자의 중심과 카메라 이미지의 중심이 일치하도록 동작한다. 즉, 두 중심점 간의 오차가 x축과 y축에서 각각 15 픽셀 이하로 줄어들면 모터는 동작을 멈추고 정렬 완료 플래그를 출력한다. 알고리즘은 Table 12와 같다.

Table 12 Targeting Algorithm

<p>Algorithm 3. Pan/Tilt Algorithm</p> <p>Args: bounding_box_center: Bounding box center from Emergency Detection Returns: align_flag: True if the alignment is done, False otherwise</p> <pre> def pan_tilt(bounding_box_center): # Initialize the pan and tilt motors. # Set the frame center and the error threshold. frame_center = [960, 540] #1080p frame size error_threshold = 15 # Calculate the error between the frame center and the bounding box center. error_x = bounding_box_center[0] - frame_center[0] error_y = -frame_center[1] + bounding_box_center[1] # If the error is greater than the error threshold: if abs(error_x) > error_threshold or abs(error_y) > error_threshold: # Move the pan motor in the direction that reduces the error. if error_x > 0: pan_motor.move_cw() elif error_x < 0: pan_motor.move_ccw() # Move the tilt motor in the direction that reduces the error. if error_y > 0: tilt_motor.move_down() elif error_y < 0: tilt_motor.move_up() else: align_flag = True # The alignment is done. return align_flag </pre>

2.6 발사부 설계 과정

발사부 설계의 경우, 구조의 기능을 직접적으로 수행하는 구성부로서 장치의 최종 스펙을 결정한다. 구명환의 무게 및 크기를 고려하여 제어가 가능하고, 반복적으로 발사가 가능한 메커니즘 선정은 우선으로 진행하였다.

발사 메커니즘 선정은 Decision Matrix를 작성하여 선정하였다. Decision matrix는 다중 기준 의사 결정 분석(MCDA) 문제를 설명하는 데 사용된다. M개의 대안 옵션이 있고 각각이 N개의 기준으로 평가되어야 하는 MCDA 문제는 N행 M열 또는 $M \times N$ 요소로 구성된 decision matrix로 설명할 수 있다. 각종 발사 장치의 메커니즘 파악을 통해 주요 발사 메커니즘을 M가지의 대안 옵션으로 정리한 뒤, N개의 기준을 수립하여 해당 기준에 맞게 가중치를 두어 우선순위를 결정하였다. Fig. 13과 Fig. 14는 그 과정을 나타낸 표이다.

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

	점수							합산	%			
예상 최대 비거리	0	1	0	0	1	1		3	14.2857143			
발사 제어 난이도	1				1	0	0	1	1	4	19.047619	
예상 수명 (관리 및 교체 주기)	0			0			0	0	1	1	2	9.52380952
부품 가격		1		1		1		0	1	1	5	23.8095238
제작 난이도			1		1		1		1	1	6	28.5714286
재장전 용이성			0		0		0	0	0	0	0	0
발사 소요 시간				0		0		0	0	1	1	4.76190476

Fig. 13 발사 메커니즘 평가 기준 계산

Fig. 4은 본 설계에 있어 발사부 메커니즘 선정에서 고려할 기준들 및 그 가중치를 계산한 과정을 나타낸 것이다. 구현 가능성을 확보하는 것을 가장 큰 우선순위로 선정하여 발사 장치 구현의 용이성 등에 높은 가중치가 부여되었다. 재장전 방식의 경우 발사 자체의 메커니즘 고려 시 의미가 거의 없는 것으로 의견이 통일되어 제외하고 가중치를 계산하였다. Fig. 5는 기존 고정식 인명 구조 장비 투척 장치가 사용하는 공압 방식의 발사대를 Datum으로 두어 나머지 M 옵션에 대한 평가를 진행한 결과를 나타낸다. 이 결과, 야구 연습장에서 흔히 사용되는 피칭 머신에 사용되는 발사 메커니즘을 선정하였다.

Criteria	Weight	공압 (가스충전식)		스프링 압축식		투석기 (Catapult)		피칭 머신	
		Rating	Total	Rating	Total	Rating	Total	Rating	Total
예상 최대 비거리	14%	0	0.00%	-1	-3.57%	-1	-3.57%	-1	-3.57%
발사 제어 난이도	19%	0	0.00%	-1	-4.76%	-1	-4.76%	1	4.76%
예상 수명 및 교체 주기	10%	0	0.00%	1	2.38%	-1	-2.38%	1	2.38%
부품 가격	24%	0	0.00%	1	5.95%	1	5.95%	1	5.95%
제작 난이도	29%	0	0.00%	-1	-7.14%	0	0.00%	0	0.00%
발사 소요 시간	5%	0	0.00%	-1	-1.19%	-1	-1.19%	-1	-1.19%
max	100%	공압 (가스충전식)		스프링 압축식		투석기 (Catapult)		피칭 머신	
		0.00%		-8.33%		-5.95%		8.33%	

Fig. 14 발사 메커니즘 Decision Matrix

피칭 머신에서 공이 삽입되면 서로 다른 방향으로 회전하는 바퀴에 닿게 된다. 이때, 기계 내부는 두 개 혹은 세 개의 바퀴로 구성된다. 공이 회전하는 바퀴에 닿는 순간 마찰에 의해 바퀴의 회전력을 받아 전면으로 빠르게 운동하여 발사된다. 해당 메커니즘의 경우 주 동력원이 모터의 회전이고, 이 회전력을 그대로 받기에 타 메커니즘보다 제어가 용이할 것으로 예상되었다. 또한, 타 방식에 비해 작은 부피의 기계 설계만으로 발사 기능을 구현할 수 있어 선정하게 되었다. 본 메커니즘 구현을 위하여 필요한 발사부의 요소 부품은 Table 9과 같다.

Table 13 Launching Unit Mechanical Elements

Component	Device Name	Use
BLDC Motor	24V 3000rpm BLDC Motor (ShinYong Motor, Korea)	BLDC Motor
Motor Controller	MD200T BLDC Motor Controller (ShinYong Motor, Korea)	BLDC Dual Motor Controller Driver
Wheel	180mm Solid Rubber Load-bearing AGV Wheel	Rotating Wheels for Launching
Linear guide	Nema 17 Linear Guide with G2 belt drive	Linear Guide for PFD Feeding
Stepper Motor	NEMA 17HS4401 Bipolar Stepper Motor	Linear Guide Driving Actuator

테스트 베드를 이용한 발사 실험을 통해 피칭 머신 메커니즘의 가능성과 함께 각종 수치를 전반적으로 확인할 수 있었다. 최적의 발사 각도, 휠 간 거리, 해당 구조에서 진동의 정도 및 위험 요소 등을 분석하는 과정을 거쳤다. 본 계획은 이렇게 결정된 수치를 바탕으로 최종 형상을 설계한 뒤, 3D 프린팅을 통해 제품을 제작하는 것이 본 계획이었다. 하지만, 실험을 반복하며 3D 프린팅만으로 발사대를 제작하기엔 관성으로 인한 제품의 균열이 심하다는 것을 확인하였다. 또, 기존 피칭 머신의 구조를 참고하여 앞의 구멍환 입력 부분의 가이드를 하나의 튜브 형태로 설계하였으나, 오히려 더욱 마찰을 주어 발사를 방해하고, 구멍환이 입력될 때 좌우 고정만 잘 될 경우 발사가 원활히 진행됨을 파악하였다. 마지막으로, 구멍환을 기존 한국소방공사의 제품 그대로 사용할 계획이었으나, 방수 재질이 휠과의 마찰을 방해하는 방식으로 작용하여 모터의 출력을 온전히 전달받지 못하는 것을 확인하였다. 또한 기존 피칭머신의 경우 내부가 공기로 채워진 공을 발사한다. 이 때 바퀴 사이로 공이 들어갈 때 공이 압축되어 바퀴의 회전을 온전히 다 받은 후 발사가 되기 때문에 이 역시 비거리 증가에 큰 역할을 한다. 하지만 기존 제품의 경우 너무 단단하기 때문에 바퀴의 회전을 제대로 받지 못하였다.

발사에 사용된 PFD는 한국소방공사의 제품을 사용하였다. 해당 제품은 인명 구조 시 투척용으로 개발된 장치로, 물에 닿을 시 CO2 실린더로부터 공기가 자동으로 주입되어 5초 이내로 부풀어 구멍조끼가 된다. 해당 제품의 경우 튜브 보관용 가방의 소재가 메쉬로 되어있어 마찰계수가 적어 실제 발사 테스트 시 비거리가 상당히 줄어들었다. 따라서 기존 제품을 설계한 발사장치에 맞게 바꾸었다. 우선 발사체의 탄성을 높여 바퀴의 회전을 온전히 추력으로 변환할 수 있도록 외부를 얇은 스티로폼 시트 여러겹으로 감싸주었다. 그 후 외부 마찰계수가 높은 재료를 덧대어 본 제품에 사용하였다. 여러 재료를 추가하였지만 PFD의 무게는 탄환 상태 기준 약 500g으로 발사에는 문제 없는 수준으로 측정되었다. 해당 투척용 자동 팽창 구멍조끼의 모습과 특징은 Fig. 15에 정리하였다.

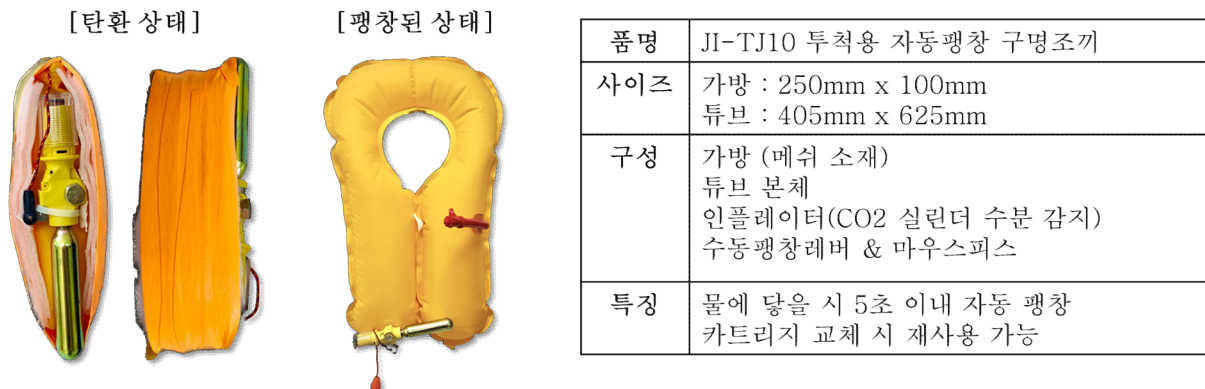


Fig. 15 한국 소방공사 투척용 자동 팽창 구멍조끼

듀얼 BLDC 컨트롤러(MD 200T, ShinYong Motors, Korea) 아래 **Table 17**의 스펙의 보드를 사용하였다. 두 모터의 속도를 제어함으로써 발사 거리를 조절하기 때문에 엔코더 없이 전류를 통하여 속도 제어로 진행하였다. 이러한 방식으로 여러번 테스트를 진행한 결과 발사체의 비거리는 최소 3m에서 최대 15m 까지 측정되는 것을 확인할 수 있었다.

Table 17 BLDC Controller Drive Specifications

MD 200T Dual BLDC Controller	
Category	Specification
Operating Voltage & Current	DC 12V~48V ($\pm 10\%$), 10A x 2ch
Rated Power	200W
Drive Target	DC 12V~48V BLDC motor (*DC24 case: 200W motor / maximum drive current 10A)
Control	Input signal type Pull-up Output signal type Open-collector Speed fluctuation rate $\pm 1\%$ or less Speed control range 50~3,000rpm
Communication	RS485, Baud rate: 19,200bps, 1stop bit, no-parity, PLC interlocking control
Operating Environment	-20°C ~ 50°C

발사대의 경우 앞서 설명한 것처럼 모든 부분을 3D프린팅을 이용할 경우 발사의 충격으로 인해 제품에 균열이 쉽게 가는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 기본적인 프레임은 알루미늄 프로파일을 이용하여 제작하였다. 발사의 핵심을 담당하는 모터의 경우 최대 비거리를 위하여 지면과 30°를 유지한 상태로 발사대에 고정해야 했다. 하지만 알루미늄 프로파일만을 이용해서는 불가능하였기 때문에 이 부분만 3D프린터를 이용하여 고정용 모터 브라켓을 제작한 후 발사대에 단단히 고정하는 방식으로 진행하였다. 또한 프레임의 높이가 너무 낮을 경우 PFD 발사 시 프레임에 걸릴 우려가 있어 바퀴의 위치보다 훨씬 높게 설계를 하였다.

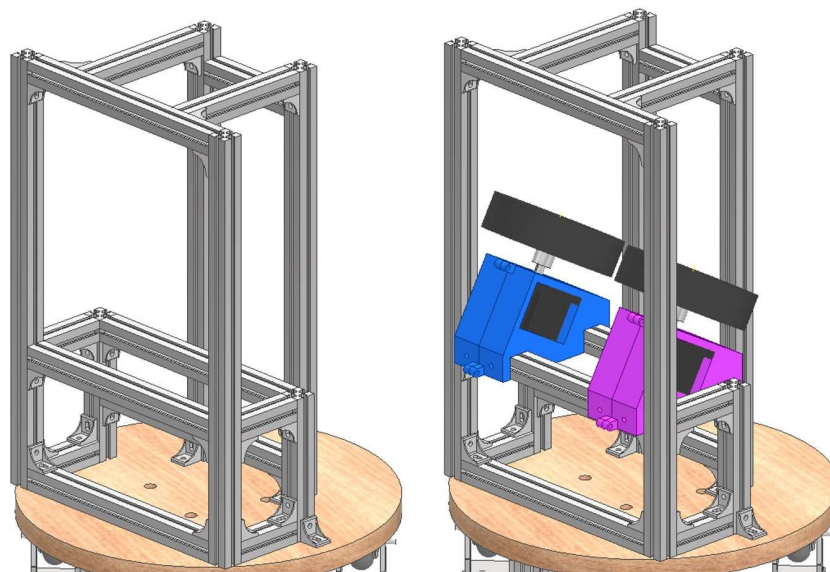


Fig. 16 메인 프레임(좌) / 모터 브라켓 장착(우)

구조상황 감지 및 자동 팽창 구멍환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

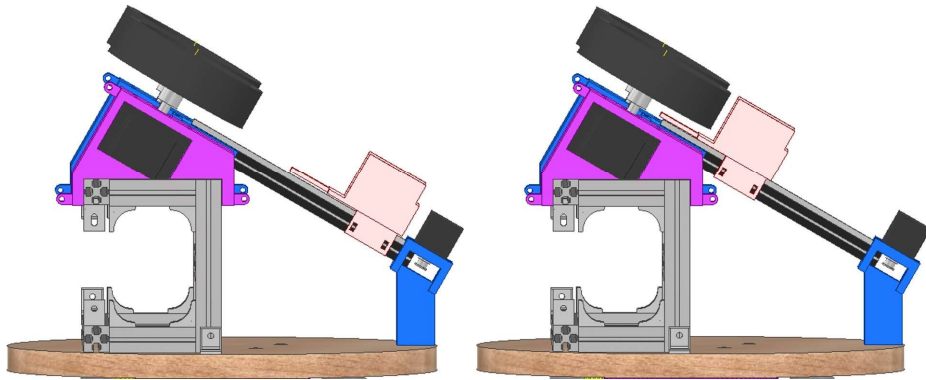


Fig. 17 feeder 작동 전(좌) / 작동 후(우)

발사대 뒷부분에 장전이 되어있는 발사체를 모터까지 밀어넣어주는 feeder의 경우 리니어 가이드와 스텝모터를 이용하여 구현하였다. 리니어 가이드 하단부에는 기어와 타이밍벨트가 있어 스텝모터의 회전운동을 직선운동으로 변환해주는 역할을 수행한다. 리니어 가이드 위에 발사체를 고정해주는 플랫폼을 설계하여 위에 장착하고, 그 플랫폼을 아래에 있는 타이밍 벨트와 연결하였다. 따라서 스텝모터가 회전을 하게 되면 연결되어있는 기어를 통해 타이밍벨트 역시 회전하게 된다. 이 때 타이밍벨트와 연결되어있는 플랫폼이 따라 모터가 있는 방향으로 움직이면서 발사체를 회전하는 모터에 밀어넣어주게 된다.

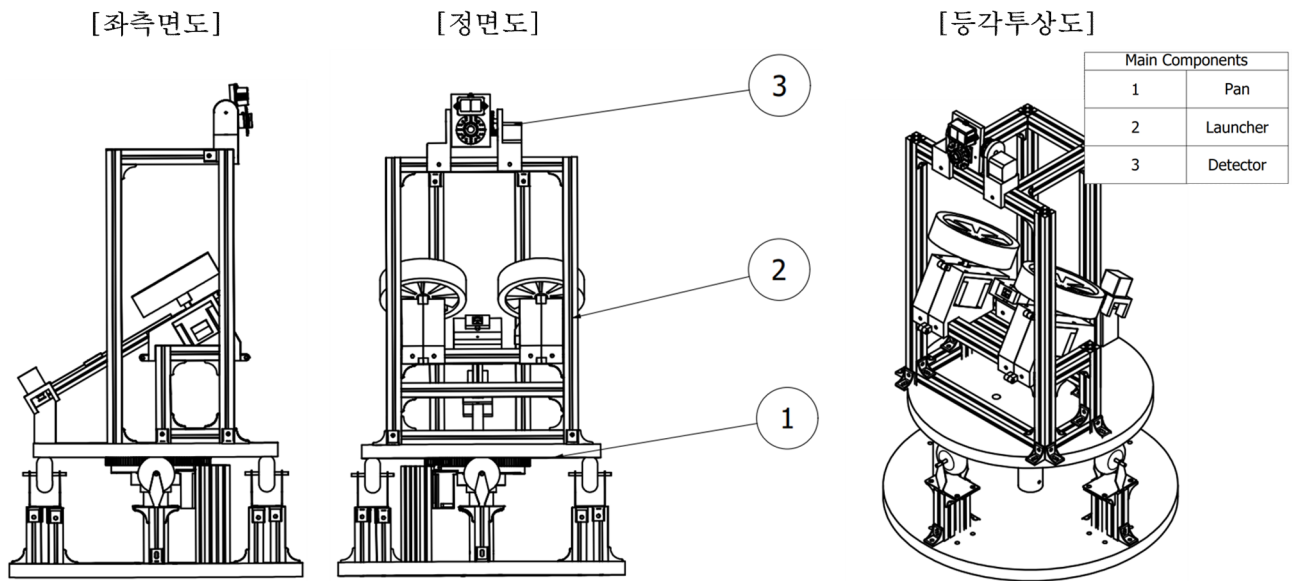


Fig. 18 제품 전체 설계도

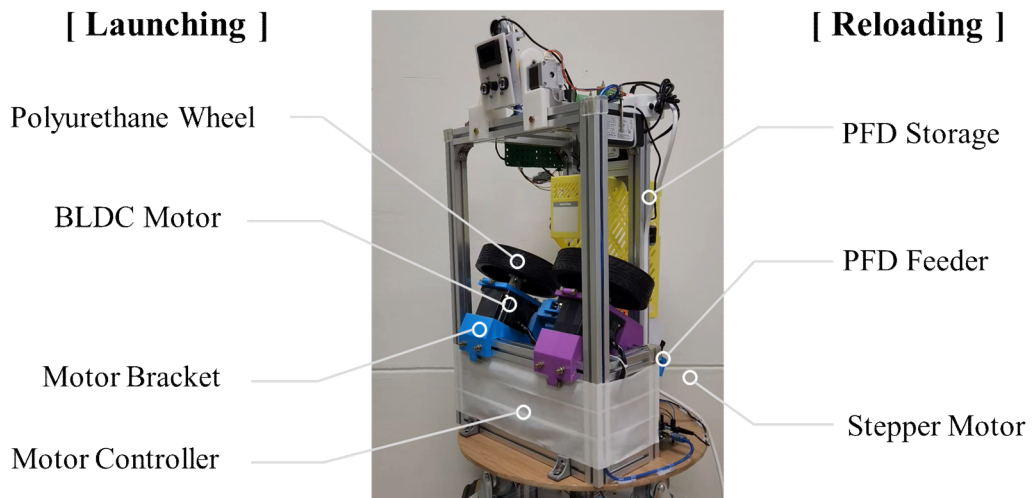


Fig. 19 발사부 제작 모습

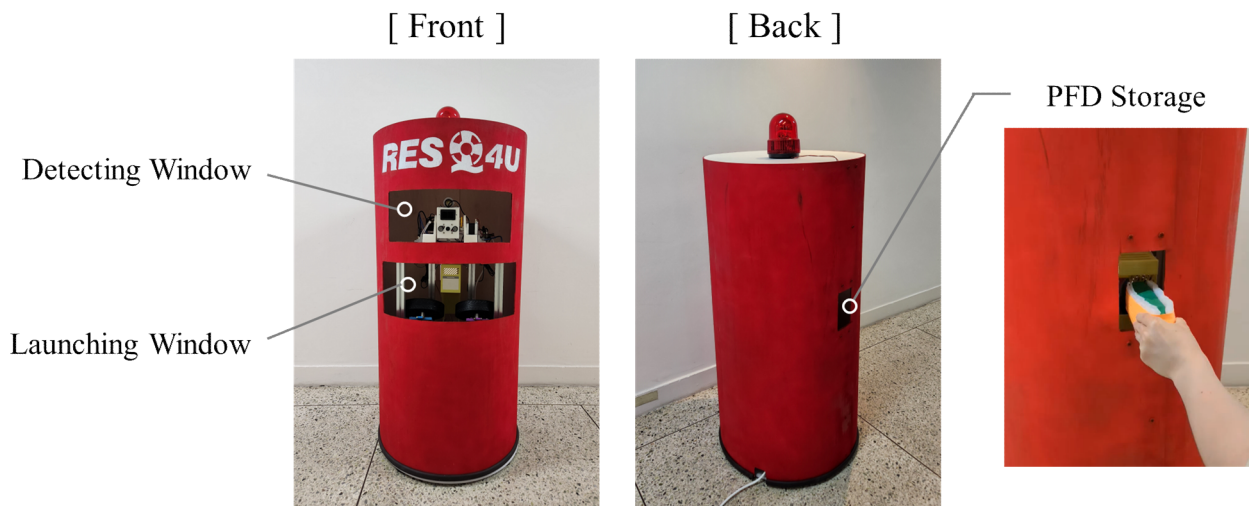


Fig. 20 외관 제작 모습

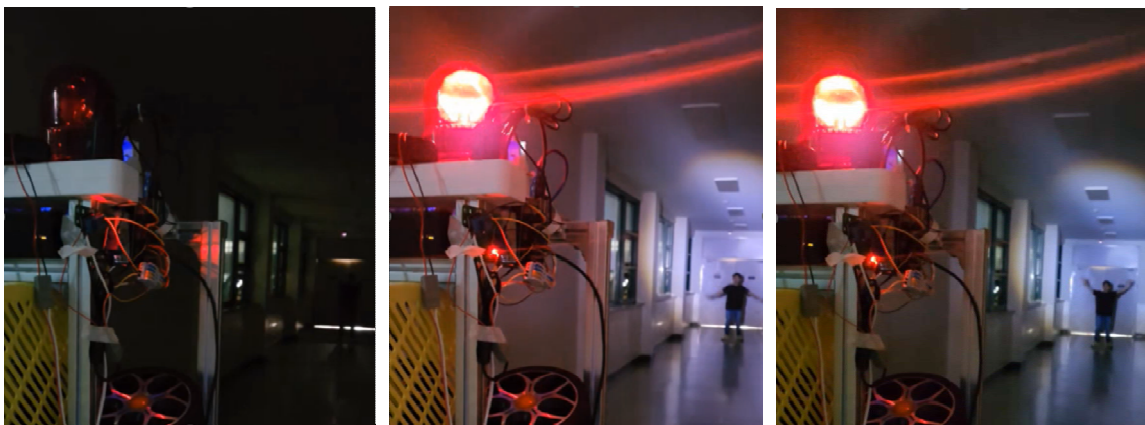


Fig. 21 야간 경광등 및 서치 라이트 LED 작동 모습

3. 결과 및 토의

3.1 결과

3.1.1 전체 제품 작동 과정



Fig. 22 야외 수중에서 요구조자가 감지되어 거리가 측정되는 모습

제품의 전체 작동 프로세스는 Fig. 23과 같다. 인공지능 기반 객체 감지 모델(MobileNet)은 감지부의 카메라를 통해 주간 및 야간에 사람(익수자)을 탐지한다. 익수자가 감지되면, 해당 익수자의 위치에 경계 상자를 생성하며, 이를 이미지의 중앙에 정렬하기 위해 팬틸트(상하, 좌우 회전)가 작동한다. 이후 필터링 알고리즘을 사용해 포인트 라이다의 거리 정보를 기반으로 익수자까지의 거리를 계산한다. 계산된 거리에 따라 발사부의 BLDC 모터의 출력을 조정하고, 이를 작동시킨다. BLDC 모터가 목표 각속도에 도달하면, 장전부의 서보 모터가 구명환을 투입하여 발사한다. 발사 과정 동안 사이렌, 서치 라이트 점등 및 119로의 신고 등의 경보 기능이 활성화된다. 모든 과정이 종료되면 시스템은 초기 상태로 돌아와 계속해서 탐지 작업을 수행한다.

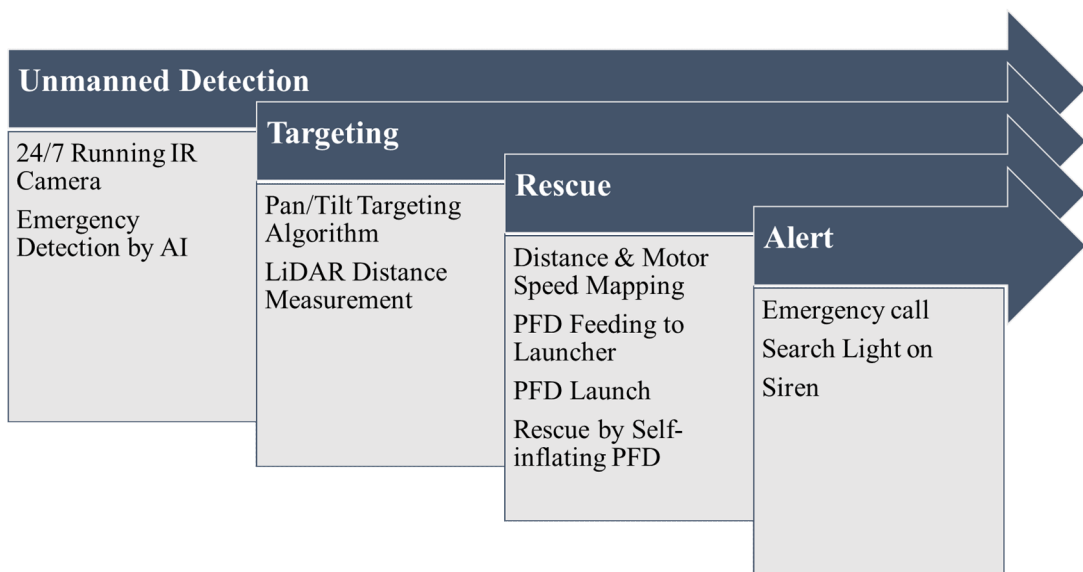


Fig. 23 ResQ4U Main Features

본 제품의 소프트웨어 아키텍처와, 하드웨어 회로 구성도는 각 Fig. 24과 Fig. 25과 같다.

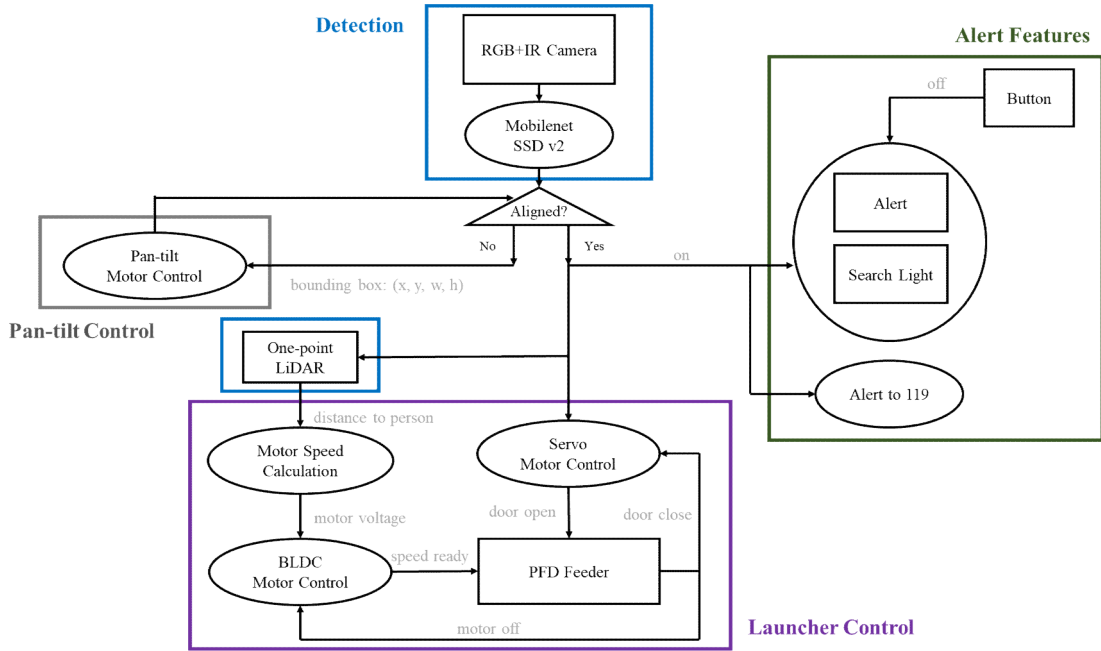


Fig. 24 SW Architecture

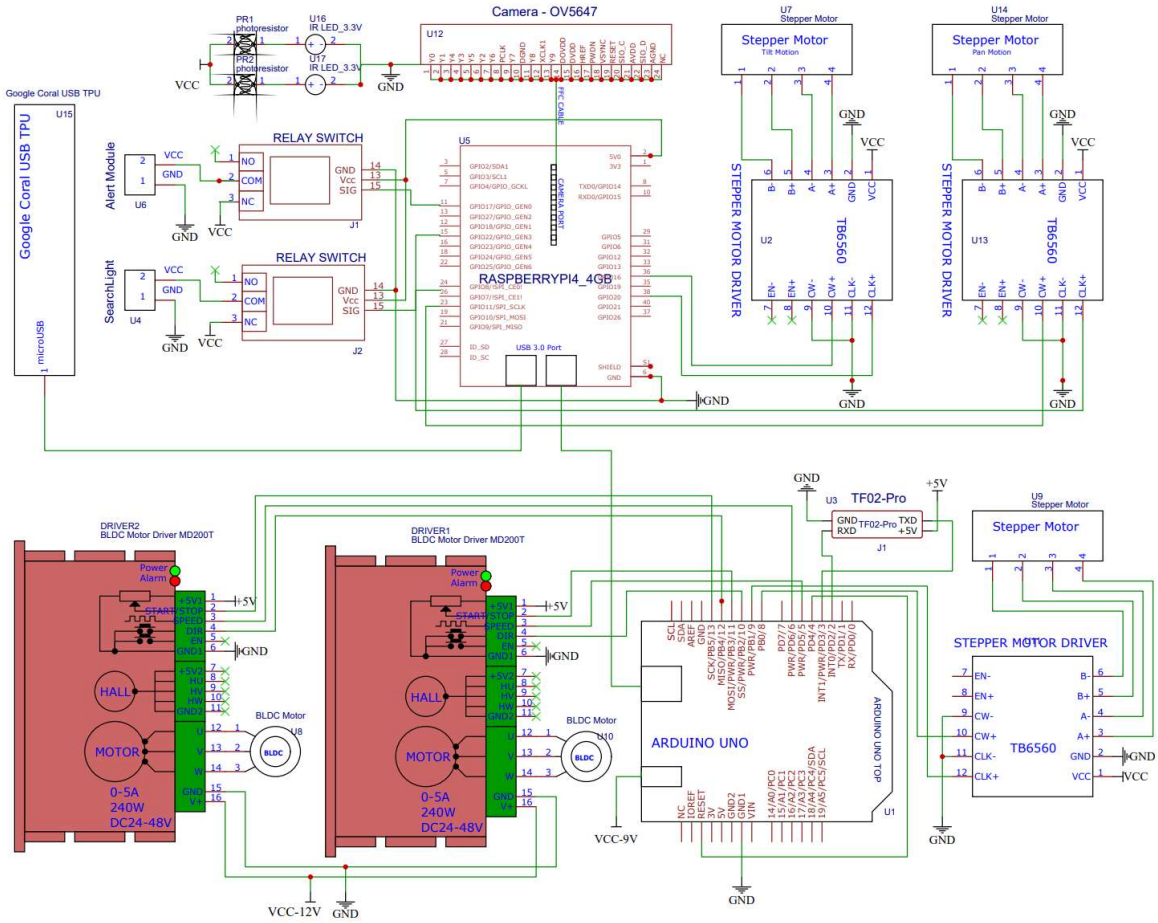


Fig. 25 Circuit Schematic

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

3.1.2 감지부 작동 원리

카메라와 포인트 라이다(거리 센서), LED 조명, 그리고 모터로 구성된다. 카메라의 경우 야외 사용이 가능하며, 조도에 따라 낮 시간대에는 일반적인 컬러 RGB 영상을, 밤 시간대에는 IR 필터 기반의 Night Vision 영상을 제공하는 CCTV 카메라 모듈을 사용한다. LED 조명의 경우 야간 구조 시 작동하며, 구명환을 던지게 되는 요구조자에게 빛을 쏘여 구조가 원활하게 이뤄질 수 있도록 한다. 포인트 라이다의 경우 TOF(Time Of Flight) 센서로, 레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 측정하고, 이를 바탕으로 요구조자까지의 거리를 측정한다.

구조가 필요한 사람이 감지될 경우 경계 박스의 가운데로 팬틸트(좌우/상하 회전)를 작동시켜 프레임 가운데 타겟(요구조자)이 오도록 한다. Fig. 26에서 카메라 프레임 내에서 슬라이딩 윈도우 방식을 통해 요구조자를 탐색하고, 탐지된 요구조자까지 좌우/상하 회전을 통하여 조준하는 과정을 확인할 수 있다.

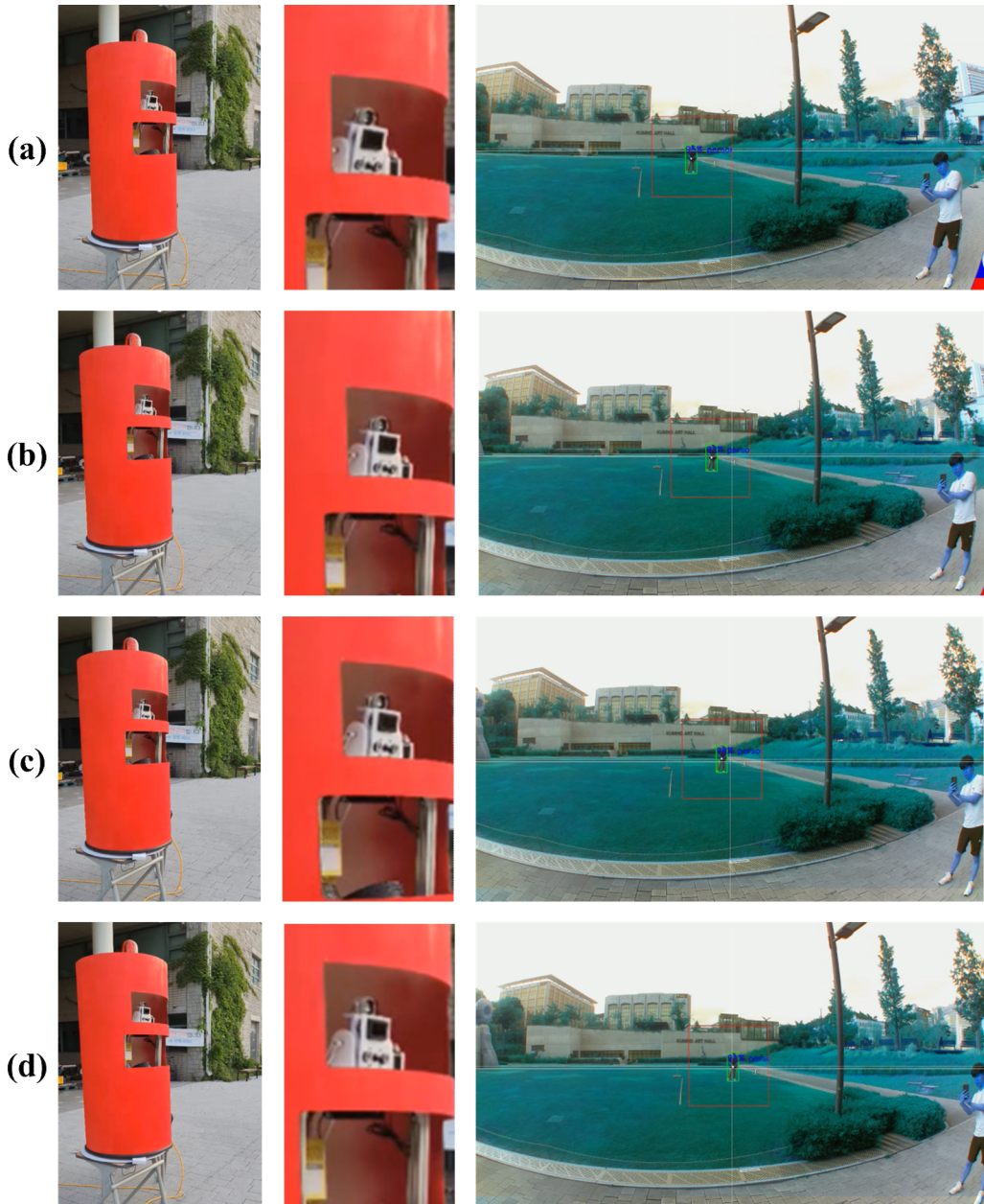


Fig. 26 Emergency Detection & Pan-tilt Result

3.1.3 발사부 작동 원리

본 연구는 기존 공압식 발사 장치의 가스 충전 문제를 해결하고, 전기 설비에 바로 설치가 용이하도록 전동 방식의 PFD 발사 메커니즘을 설계하였다. 본 발사부는 야구공 피칭 머신의 원리를 차용하여 발사체와 타이어의 마찰을 통해 발사체에 추진력을 전달한다(Fig. 27). 양 휠은 모터에 각각 마운트되어 서로 반대 방향으로 고속 회전을 시작한다. 두 휠의 회전이 모두 목표 속도(회전수)에 도달하면 PFD가 투입된다. 투입된 PFD는 일부 압축되어 양 휠 사이를 통과하게 되고, 통과 즉시 마찰로 인하여 받은 추진력으로 앞으로 발사된다.

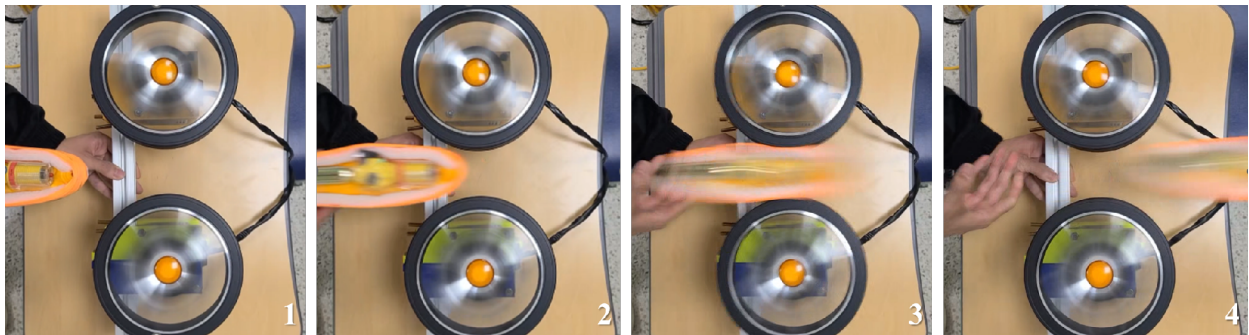


Fig. 27 PFD Launching Result

발사부는 감지부에서 측정된 요구조자까지의 거리를 토대로 BLDC 모터의 출력을 조절한다. 이후 BLDC 모터가 목표 속도에 도달하면, 발사를 위해 서보 모터가 구멍환이 위치한 플랫폼을 전진시키게 되고 구멍환이 타이어 사이로 들어가 추진력을 얻어 발사되게 된다. (Fig. 28의 1에서 3번) 구멍환이 놓여있는 플랫폼은 구멍환 높이와 딱 맞게 제작되어 있어서 발사부에 여러 개의 구멍환이 장전되어 있어도 정확히 하나의 구멍환만 발사하게 된다. 이후 전진했던 플랫폼이 후진하면서 위쪽에 쌓여 있던 다음 구멍환이 플랫폼 위에 위치하게 되고 플랫폼은 다시 전진하여 새로운 구멍환은 발사하게 된다. (Fig. 28의 4에서 8번) 이러한 방식의 재장전 메커니즘을 통해 무인으로도 여러 개의 구멍환을 발사해 요구조자의 구조 확률을 높일 수 있다는 장점이 있다.

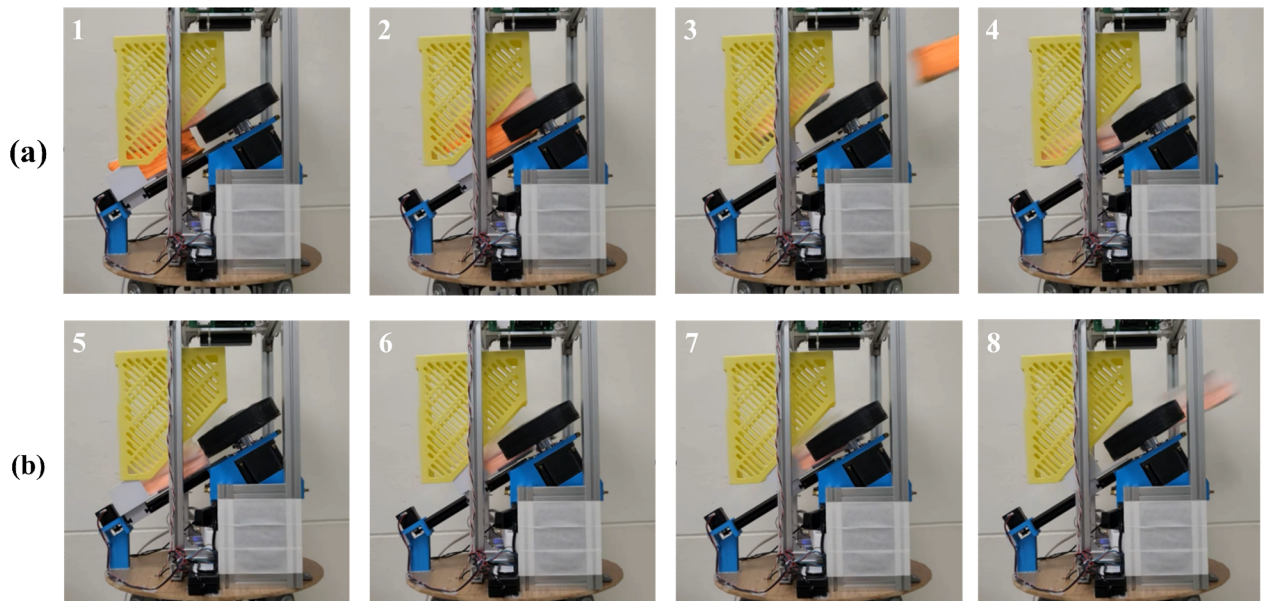


Fig. 28 PFD Launching & Reloading Result

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발

BLDC 모터가 목표 속도에 도달하면, 두 휠 사이에 구명환을 투입하기 위해 서보모터는 구명환이 위치한 플랫폼을 전진시킨다. 발사 후, 플랫폼이 후진하면서 위쪽에 저장된 다음 구명환이 플랫폼 위에 위치하게 된다. 이런 방식의 재장전 메커니즘은 제품이 무인으로 작동할 수 있도록 한다.

본 연구에서 사용된 BLDC 모터의 경우 최대 15m 떨어진 요구조자에게 구명환을 정확히 발사할 수 있다. Fig.N을 통해 실제 멀리 떨어진 사람에게 정확히 구명환이 도달하는 것을 확인할 수 있다. 15m라는 거리가 일반적인 상황에 적용하기에는 비교적 짧은 거리 같아 보일 수 있지만 본 연구에서 설계한 발사부의 경우 압력이 일정한 기존의 공압식과 달리 감지부에 사용되는 카메라와 다양한 출력의 모터를 조합하여 최대 비거리를 얼마든지 조절할 수 있다는 강점이 있다. 따라서 설치하려는 곳의 필요에 따라서 다양한 비거리를 가진 모델을 만들 수 있어 다양한 장소에서 사용이 가능하다는 강점이 있다.

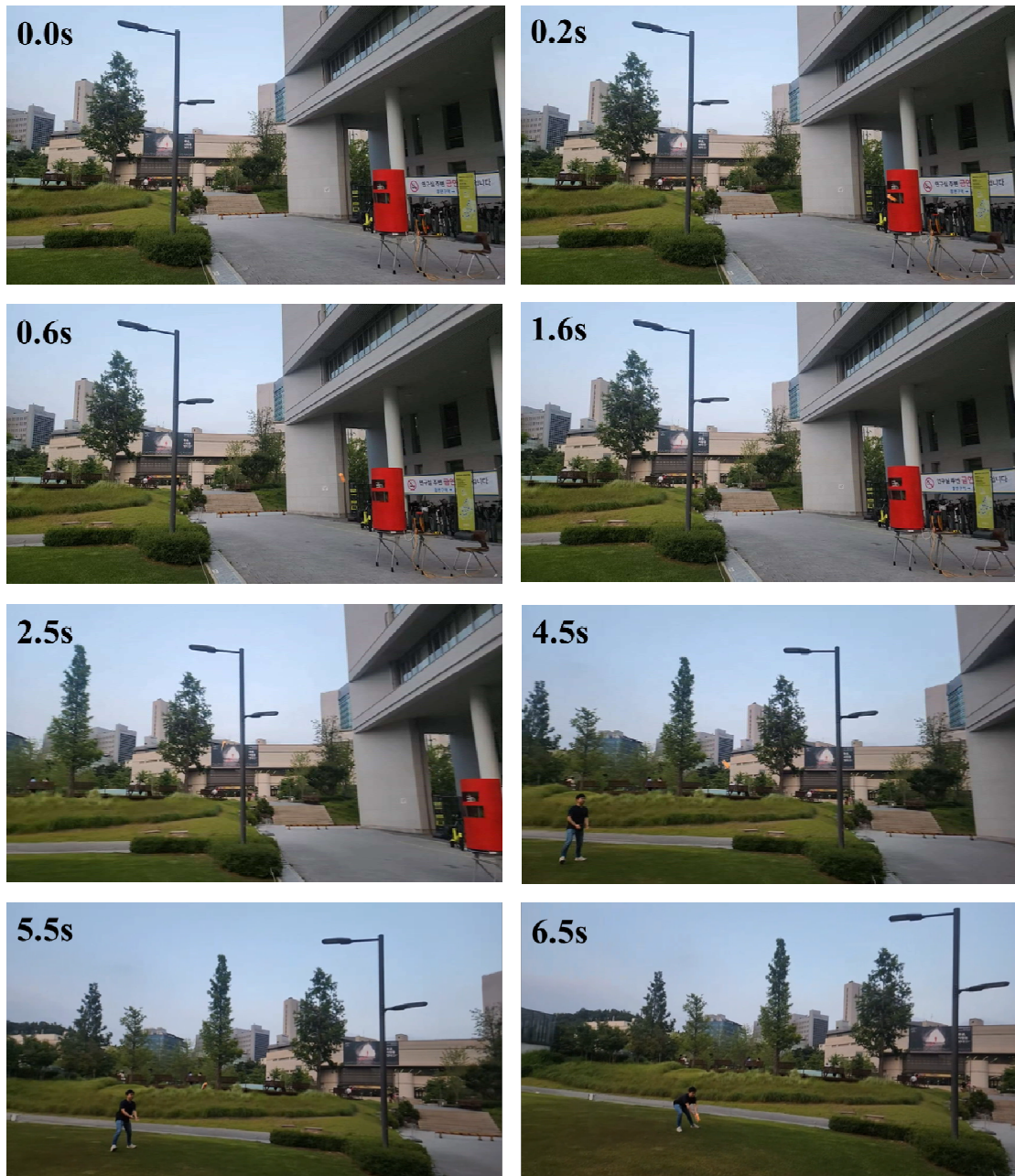


Fig. 29 ResQ4U 작동 모습




3.2 토의

종래기술은 높은 단가로 인해 수변 지역 설치율이 현저히 낮은 실정이다. 본 제품은 종래 제품 대비 약 75% 저렴한 가격(Table 18과 Table 19)으로 보급률을 크게 증진시킬 수 있다. 또한, 본 장치는 무인으로 작동하기 때문에 사람이 직접 관리할 필요가 없으며, 원격으로 모니터링하고 제어할 수 있다. 본 장치는 수난 사고가 발생할 가능성이 높은 곳에 우선적으로 배치하고, 실시간으로 상황을 파악하고 대응할 수 있는 시스템을 구축할 수 있다.

Table 18 Expected Unit Cost in Production

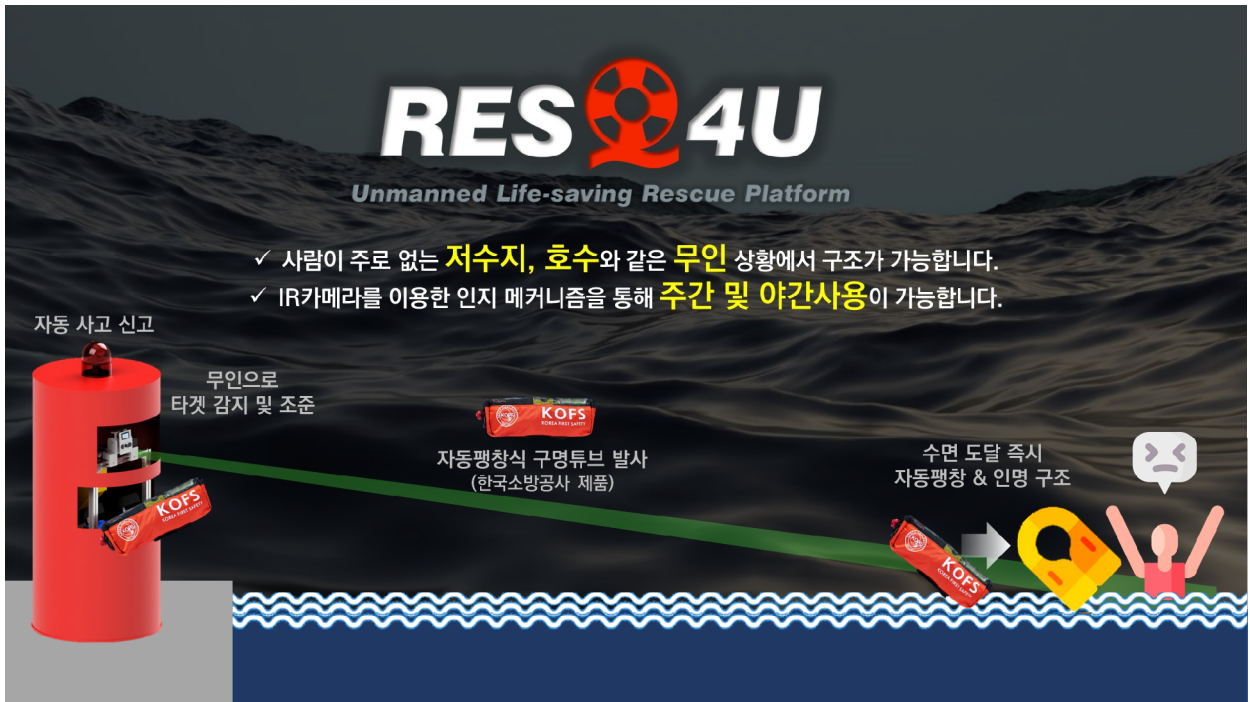
Components	Type A [15m]	Type B [30m]	Type C [60m]
Main Computing Board	150,000		
One-point LiDAR	120,000	180,000	280,000
IR Camera Module	30,000	90,000	170,000
High RPM BLDC Motor(2EA)	240,000	300,000	540,000
Polyurethane Solid Wheel	40,000	180,000	300,000
Pan/Tilt Stepper Motor	90,000		
Outer Case Custom	150,000		
Siren Light	10,000		
Estimated Price	850,000 ₩	1,150,000 ₩	1,400,000 ₩

Table 19 Comparison with Conventional Water-rescue Products

	ResqueMAX ⁽⁶⁾	Lifeguard 100	ResQ4U (Ours)
Product Image			
Country	USA	Korea	Korea
Price	5,500,000 ₩	7,500,000 ₩	850,000 ₩
Specifications	<ul style="list-style-type: none"> • Hand-held gun type • Lifesaving rope throwing • Distance up to 122m 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixed shooting equipment • Manually Reload PFD • Manually target & launch (by button) • Distance up to 60m 	<ul style="list-style-type: none"> • Fixed Platform • Automatic Detect & Launch • Emergency Alert & Call • Distance 15~60m (Customizable)

본 장치는 저수지, 호수뿐만 아니라 강, 하천, 바다와 같은 수상 환경에도 설치되어 수난 사고의 신속한 발견과 구조를 수행하여 인명 피해를 줄일 수 있다. 또한, 본 장치는 기존의 인명 구조 장비함보다 효율적이고 정확하게 작동하며, 관리 및 유지비용도 절감할 수 있다. 본 장치는 수난 사고에 대한 예방과 대응을 강화하고, 안전한 수상 환경을 조성하는데 기여할 것이다.

구조상황 감지 및 자동 팽창 구명환 발사 메커니즘을 통한 무인 인명 구조 플랫폼의 설계 및 개발



4. 결 론

본 연구에서는 자동화된 무인 인명 구조 시스템을 설계하고 개발하는 과정을 탐구하였다. 이로써 물에 빠진 사람을 구조하기 위한 혁신적인 접근 방식을 제시하였으며, 자동 감지 및 발사 메커니즘을 통해 구조 작업의 효율성을 향상시킬 수 있다는 가능성을 입증하였다.

본 연구는 현재의 기술적 한계를 돌파하는 데 일부 도전적인 과제를 가지고 있다. 예를 들어, 실제 수중 환경에서의 시스템 안정성 및 성능 향상에 대한 더 많은 실험과 검증이 필요하다. 또한 인공 지능 및 센서 기술의 발전에 따른 향후 업그레이드와 향상된 알고리즘 개발에 대한 연구도 계속되어야 한다.

본 연구를 통해 제안된 무인 구조 시스템은 미래에 긴급 상황에서 빠르고 효율적인 구조 작업을 지원 하는 데 큰 잠재력을 가지고 있음을 확인하였다. 우리는 이러한 연구가 실제 세계에서 사람들의 안전과 생명을 보호하는 데 기여할 것을 기대한다.

후 기

본 연구를 수행하면서 협력하고 조언을 제공해 주신 모든 분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 본 제품의 제작을 지원해주신 연세대학교 기계공학과, 그리고 공과대학 공학교육혁신센터 관계자 분들께 감사 인사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 행정안전부, 재난연감, 2019, 발간등록번호: 11-1750000-000020-10
- (2) Seo, Sang-deuk, and Baek, Seung-yup. (2017). Life-saving device launcher. Patent application number: 1020170073107, Application date: June 12, 2017, Registration date: October 23, 2017.
- (3) Seo, Sang-deuk. (2019). Fixed life-saving device launcher. Patent application number: 1020180144054, Application date: November 21, 2018, Registration date: February 7, 2019.
- (4) Jung, Yechan. (2015). Throwable drowning person rescue device. Patent application number: 1020130140990, Application date: November 19, 2013, Public disclosure date: May 28, 2015.
- (5) Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Ranzato, M. A., & Perona, P. (2017). MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. arXiv preprint arXiv:1704.04861.
- (6) Gerwig, P. L. (2013). Low cost rescue launcher system. U.S. Patent No. 8,469,015.