

# 대한기계학회 주최

## 제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

# 설계 최종 보고서

참가부	고등부 ( 0 ) / 대학부 ( )				
참가분야	공모주제 ( 0 ) / 자유주제 ( )				
참가팀명	유어_마제스티				
설계제목	IoT를 활용한 유조선 사고 자동 수습 장치				
지도교수/교사	(소속) 충남과학고등학교 (성명) 김동호 (연락처) (이메일)				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	서준혁	충남과학고등학교			

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김도균	충남과학고등학교 2학년	
2	박혜슬	충남과학고등학교 2학년	
3	방성현	충남과학고등학교 2학년	
4	서준혁	충남과학고등학교 2학년	
5	윤인혁	충남과학고등학교 2학년	
6			

# 설계 요약문

<b>참가분야</b>	공모주제 ( <input checked="" type="radio"/> ) / 자유주제 ( <input type="radio"/> )
<b>참가팀명</b>	유어_마제스티
<b>설계제목</b>	IoT를 활용한 유조선 사고 자동 수습 장치
<b>대표자명</b>	서준혁
<b>요약문</b>	<p>2007년 12월 태안, 2010년 멕시코만, 2021년 이스라엘 지중해 연안 등 유조선으로부터 유류가 유출되는 사고가 세계적으로 빈번히 발생하고 있다. 이는 주변 연안 해역에 큰 오염피해를 발생토록 하여 생태계를 파괴하는 문제를 야기할 수 있다.</p> <p>그러나, 현재 효과적으로 유출유 확산을 예측하는 구체적인 방안은 마련되어 있지 않다. 또한, 실시간 유류 확산범위의 파악이 쉽지 않으며 이로 인해 초동대응이 미흡하다는 문제점이 존재한다.</p> <p>이를 고려하여 기름 확산 관측기에 더해 기름 유출을 감지하고 이에 따른 대응 신호를 전달할 수 있는 기름 유출 감지 장치와 유출 대응 프로토콜 관리자를 설계하였다. 또한, 신호를 받았을 때 작동하여 추가적인 기름 유출을 방지할 수 있는 오일 펜스 발사 장치를 설계하였다.</p> <p>제작한 장치를 활용한 재난 대응 과정은 다음과 같다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 기름 유출 감지 장치에서 유출을 감지하면 프로토콜 관리자에게 신호를 보낸다.</li> <li>2) 유출 대응 프로토콜 관리자는 오일 펜스 발사 장치와 기름 확산 관측기를 작동시킨다.</li> <li>3) 기름 확산 관측기가 데이터를 충분히 얻은 후, 추가 분리되어 수면 위로 떠올라 장치를 회수할 수 있다.</li> <li>4) 수집된 데이터를 바탕으로 유출유를 회수한다.</li> </ol> <p>본 설계물을 활용하면 원유 유출이라는 재난을 초기에 막고, 경제적·환경적 손실을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라, 추후 유사 사고가 발생하였을 시에도 효과적인 대응을 이룰 수 있을 것이라 전망한다..</p>
<b>설계프로젝트의 입상 이력</b>	

## 1. 설계의 필요성 및 목적

모든 재난재해에 있어 가장 핵심적인 부분은 신속하고 정확한 대응이며, 이는 유조선 사고에서도 일맥상통한다. 유조선 사고의 초기 대응이 미흡한 경우 유류의 지속적인 확산으로 인하여 더 큰 피해로 이어질 수 있다. 현존하는 대표적인 대응 방안으로는 오일 펜스가 있으나, 기름 유출량이 일정 수준 이상일 경우 기름이 흘러나 온다는 단점이 존재한다. 이를 고려하여 기름 유출을 초기에 최소화한 후 오일 펜스를 발사하는 기술을 도입하고, 유출 현황을 기록할 수 있는 카메라 장치의 설계가 필요하다.

따라서, 본 설계의 목적은 다음과 같다. 우선, 유조선의 항해 중 기름 유출 사고가 발생하였을 때, IoT 기술을 활용해 재난으로 인한 피해를 최소화하고 유출된 기름의 수습을 도울 수 있는 장치를 개발한다. 또한, 사고 환경에서 유출유의 확산세를 측정하여 데이터를 수집한다. 수집한 데이터는 환경 조건에 따른 확산 속도 통계 등으로 활용하여 추후에도 신속한 대응이 가능하도록 한다.

## 2. 설계 핵심 내용

### (1) 설계 문제의 정의

2007년 12월 태안에서 유조선과 해상크레인의 충돌사고가 발생하여 유조선으로부터 약 12,547kL의 유류가 유출되어 주변 연안 해역에 큰 오염피해가 발생하였다. 2010년 멕시코만에서는 딥워터 호라이즌 원유 유출 사고 이후 150마리 이상의 고래류와 600마리 이상의 거북이가 폐사 상태로 발견되었다. 또한, 2021년 2월 이스라엘 지중해 연안에서는 약 40%에 달하는 170km에 걸친 해안선이 대량의 타르에 뒤덮였다. 2023년 해양수산부에서 발표한 '2018~2022 3월 해양사고 현황'에 따르면, 사고 선박 1,120척 중 유조선 사고가 40척에 해당하며, 이는 전체의 약 3.5%에 해당한다.

앞선 사례들을 통해 유조선 사고는 우리 주변에서 빈번하게 일어나고 있으며, 그에 따른 피해 규모 또한 결코 작지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나, 현재 효과적으로 유출유 확산을 예측하는 구체적인 방안은 마련되어 있지 않다. 유조선 사고에 대응하기 위해서는 유출된 기름의 확산 데이터 수집이 필요하나, 유조선 사고 특성상 실시간 유류 확산범위의 파악이 쉽지 않으며 현존 장비들로는 초기 확산 데이터를 수집하는 데 어려움이 있기 때문이다. 따라서, 우리는 유출유 확산 예측 과정의 현황과 문제점을 분석하고, 향후 사고 발생 시 예측정확도를 높일 방안을 수립할 필요가 있다.

### (2) 설계의 독창성 및 접근 방법

#### 1) 설계 방법 및 배경

- 유조선 사고 발생 시 기름 유출을 최소화하고 신속하게 대응하는 방안이 필요하다. 이를 고려하여 기름 유출을 감지하고 이에 따른 대응 신호를 전달할 수 있는 기름 유출 감지 장치와 유출 대응 프로토콜 관리자를 설계하였다. 또한, 신호를 받았을 때 작동하여 추가적인 기름 유출을 방지할 수 있는 오일 펜스 발사 장치를 설계하였다.
- 기름 확산 관측기를 제작하여 유출유의 확산범위와 이를 예측하는 방안을 마련하였다. 관측기를 통해 수집된 데이터는 추후 대응 방안 연구 및 유조선 사고 예측정확도를 높이는 데 활용할 수 있다.

#### 2) 설계의 독창성

기존에 제시된 사고 대응 방법으로는 오일붐을 전장하여 유출유를 포집한 후 유회수기를 이용해 포집된 기름을 회수하고 유층이 얇은 잔유 기름은 유흡작재를 사용하여 흡착회수를 하는 것이다. 이는 소형 기름 유출 사고에서는 효율적으로 회수 작업을 진행할 수 있으나, 규모가 증가할 경우 확산범위 또한 증가함에 따라 작업에 어

려움이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 우선 기름 확산 관측기 장치를 활용하여 확산범위를 파악하도록 설계하였고, 오일 펜스 발사 장치를 통해 추가 확산을 사전에 방지하여 규모에 제한받지 않고 회수 작업을 진행할 수 있도록 하였다.

또한, 일반적으로 확산범위를 수중에서 측정할 후에는 회수하기 어려워 환경 및 경제적인 측면에서 치명적인 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해, 기름 확산 관측기 장치에 분리가 가능한 무게추를 달아 측정 이후 분리하여 수면 위로 떠올라 회수할 수 있게끔 설계하였다.

### 3) 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법

- 본래 카메라를 통한 실시간 영상을 확인하고자 하였으나, 카메라가 수중으로 들어갈 시 통신 장애가 발생하여 실시간 영상 확인 및 메인 시스템과의 무선 통신이 어렵다는 제약이 있다. 이러한 문제점을 Micro SD카드를 사용하여 수중에서도 통신 장애 없이 원활하게 영상을 확인하고 데이터를 수집할 수 있도록 해결하였다.
- 수중에서 이루어지는 실험이므로 방수가 되지 않을 경우 치명적인 손상을 입을 수 있으며, 해저 환경에 따라 강한 물살 및 각종 부유물로 인해 정상적인 작동에 제약이 발생할 수 있다. 이러한 문제를 카메라 모듈을 장착한 구형 캡슐 주변에 열을 가한 핫멜트를 도포하여 해결하였다. 또한, 베어링을 이중으로 장착하여 축의 안정성을 강화함으로써 수중에서도 기능이 저하되지 않도록 하였다.

### (3) 설계 내용

#### 1) 설계 물품 제작

##### 1. 기름 유출 감지 장치 및 유출 대응 프로토콜 관리자

유조선에서 기름 유출이 발생했을 때 기름의 추가 확산 방지 및 확산범위 파악을 목적으로 한 장치이다. 기름 유출을 감지하면 기름 확산 관측기와 오일 펜스 발사 장치가 작동하도록 한다. 본 실험에서는 IR 거리 센서를 통해 기름 유출 감지 장치를, 아두이노(이하 '시스템 총괄 아두이노')를 활용하여 유출 대응 프로토콜 관리자를 구현하였다.

##### 2. 기름 확산 관측기

수중에서 기름의 확산을 관측하여 확산범위를 측정하기 위한 장치이다. 유출 대응 프로토콜 관리자로부터 신호를 받았을 때 서보모터가 작동하여 수중으로 투하된다. 본 실험에서는 구형의 캡슐을 제작하여 이를 구현하였고, 캡슐 내부에 카메라 모듈, Micro SD카드 모듈, 아두이노 나노 호환 보드, 홀센서 등을 탑재하였다. 적절한 깊이까지 장치가 가라앉게끔 하기 위해 캡슐 하단에 무게추를 실로 연결하여 장착하였다. 자석이 부착된 선박으로부터 분리되면 홀센서가 분리를 인식하고 작동될 수 있도록 한다. 작동이 시작되면 100초 동안 5초 간격으로 사진을 촬영하며, 100초 후에 면도날을 통해 추가 분리되어 수면 위로 떠올라 회수한다.

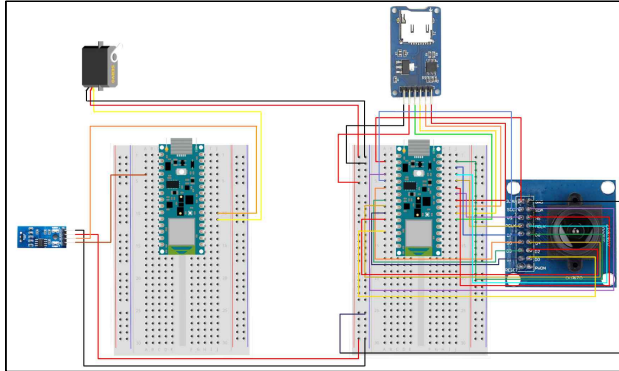
##### 3. 오일 펜스 발사 장치

선체의 측면에 위치하며, 유출 대응 프로토콜 관리자를 통해 신호를 전달받은 즉시 각 위치에 있는 여러 개의 그물을 한 번에 발사해 배 주위로 펼쳐진 기름이 기름의 추가 확산을 방지하도록 제작된 장치이다. 모의실험에서는 실험용 모형을 제작하여 시스템 총괄 아두이노에서 신호를 받은 그물 발사 장치가 서보모터를 작동시켜 그물을 발사하도록 설계하였다. 실험의 편의를 위해 그물과 발사 장치는 한 개만 제작하여 작동을 확인하였다.

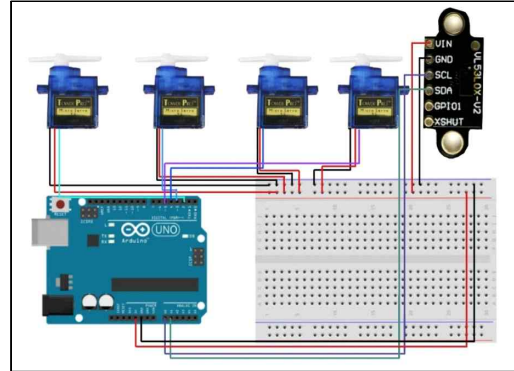
2) 실험 설계 과정

1. 실험 장치 구상

1)에서 설계한 장치들의 회로도 및 모델링을 다음과 같이 설계하였다.



[그림 1] 기름 확산 관측기 내부 아두이노 회로도

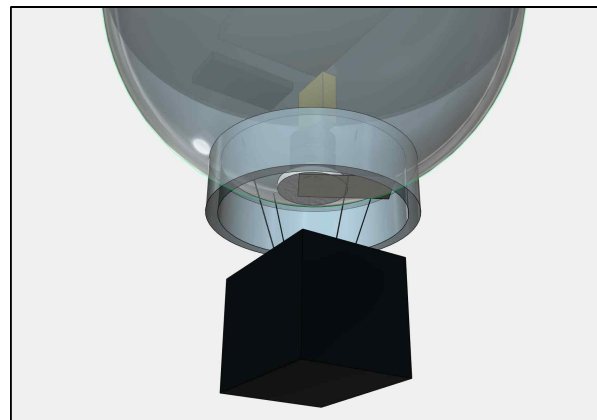


[그림 2] 시스템 총괄 아두이노 회로도

[그림 1], [그림 2]와 같이 설계하였다. [그림 1]에는 OV7670 카메라 모듈, 아두이노 Micro SD카드 리더 모듈, 홀센서, 9V 전지를 탑재하였고, [그림 2]에는 적외선 ToF 거리 센서와 5V 360° 서보모터를 장착하였다.

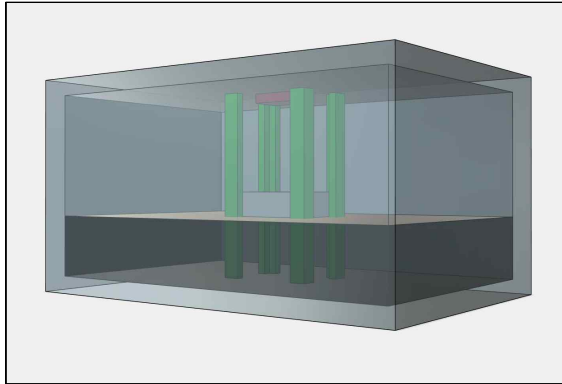


[그림 3] 기름 확산 관측기 모델링 (정면)

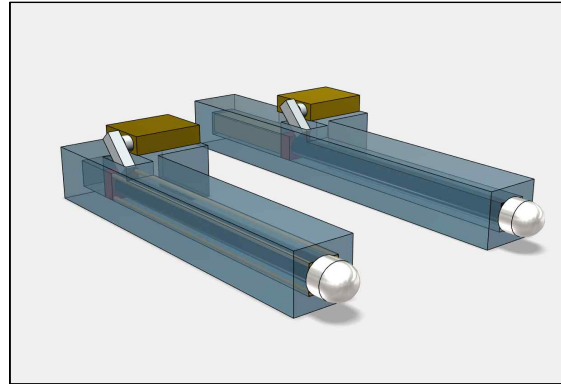


[그림 4] 그림 확산 관측기 모델링 (하부)

[그림 3], [그림 4]와 같이 반지름 100mm, 두께 5mm의 구형 캡슐과 반지름 45mm, 높이 55mm, 두께 5mm의 원기둥이 하단에 위치한 PLA 재질의 기름 확산 관측기를 모델링하였다.



[그림 5] 기름 유출 감지 장치 모델링



[그림 6] 오일 펜스 발사 장치 모델링

[그림 5]와 같이 높이 60mm, 너비 10mm, PLA 재질의 기름 유출 감지 장치를 모델링하였다. [그림 6]과 같이 재질이 PLA인 외골격의 전체 길이가 125mm, 높이가 20mm, 너비가 40mm(20mm-20mm), 서보모터 쪽의 길이가 30mm이며, 재질이 PLA이고 스프링 또는 고무줄을 활용한 두께 9.5mm, 길이 9.5mm, 높이 0.5mm의 발사대를 장착한 오일 펜스 발사 장치를 모델링하였다.

## 2. 실험 장치 제작 및 모의 실험

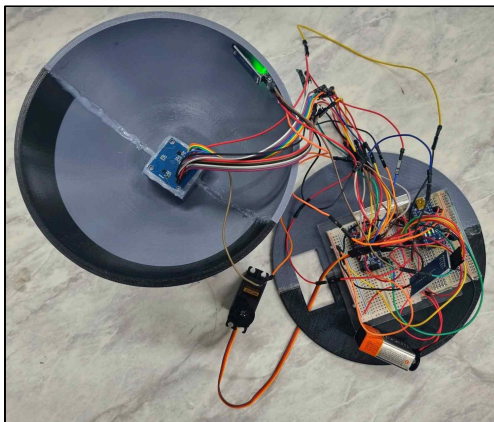
1에서 구상한 회로도 및 설계도를 바탕으로 다음과 같이 장치를 제작하였다.



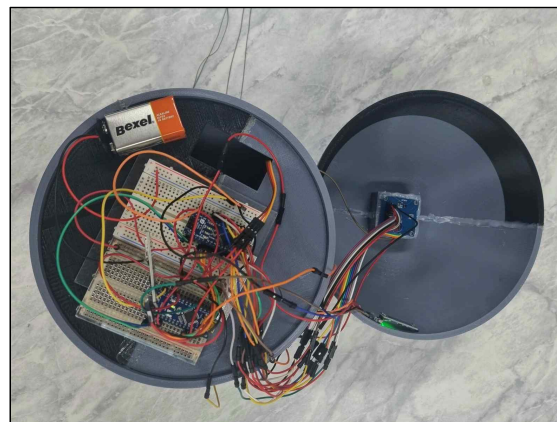
[그림 7] 기름 확산 관측기 가조립 상태



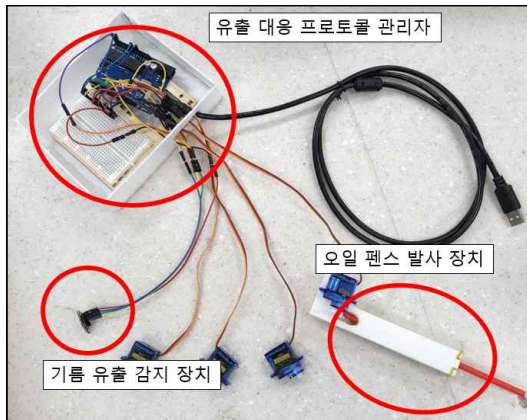
[그림 8] 기름 확산 관측기 내부 구조



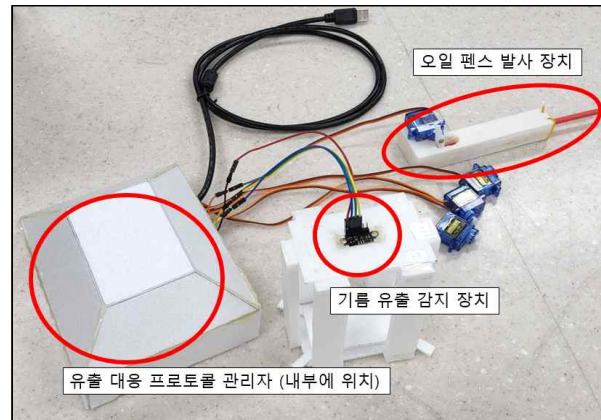
[그림 9-A] 기름 확산 관측기 내부 회로 모습



[그림 9-B] 기름 확산 관측기 내부 회로 모습



[그림 10-A] 유출 대응 프로토콜 관리자, 기름 유출 감지 장치, 오일 펜스 발사 장치를 연결한 모습 (마감처리 전)

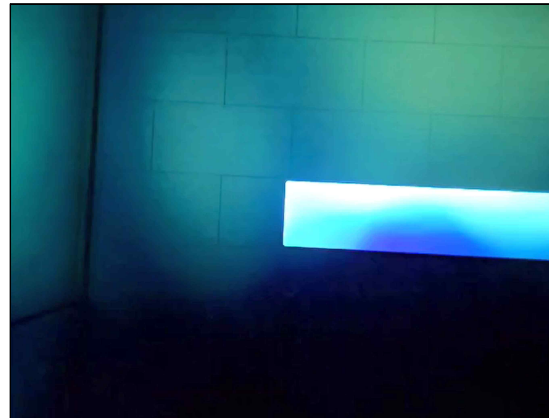


[그림 10-B] 유출 대응 프로토콜 관리자, 기름 유출 감지 장치, 오일 펜스 발사 장치를 연결한 모습 (마감처리 후)

위에서 제작한 실험 장치들의 정상 작동 및 효율성을 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 모의실험에서는 육안으로 쉽게 관찰하기 위해 실제 기름 대신 식용 색소를 투입하여 확인하였다.



[그림 11] 식용 색소 확산 직후의 사진 (#1-2)



[그림 12] 식용 색소가 확산된 후의 사진 (#3-17)

식용 색소를 실험용 수조에 투입한 후, 기름 유출 감지 장치가 이를 인식하고 정상적으로 신호를 전달하여 기름 확산 관측기를 투하하고 오일 펜스 발사 장치가 작동하는지 확인하기 위해 수 차례 실험을 진행하였다. 실험 결과, 관측기 투하 및 발사 신호가 전달되어 정상적으로 투하 및 발사되는 것을 확인하였으며, 식용 색소가 정상적으로 관찰되는 것을 알 수 있었다. 또한, 100초 이후 추와 분리되어 수면 위로 떠오르는 모습을 확인하였다.

### 3. 설계 수행 일정

설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월
팀 구성	■					
아이디어 회의 및 설계제안서 작성	■	■				
필요 부품 구입 및 회로도 와 설계도 제작, 기름 확산 관측기 제작		■	■			
중간보고서 작성			■			
회로도 수정 및 유출 대응 프로토콜 관리자, 기름 확산 관측기, 오일 펜스 발사 장치 제작				■		
모의 실험				■		
최종 결과물 수정 및 보완 작업					■	■

### 4. 설계 결과물

#### (1) 최종 결과물 형상 및 작동원리



[그림 13] 완성된 최종 결과물의 모습



실험 장치 제작 및 모의실험 단계를 거쳐 최종 결과물을 [그림 13]과 같이 완성하였다. 유조선에서 기름이 유출된 것을 감지한 즉시, 유출 신호를 전달받은 기름 확산 관측기가 수중으로 투하되고 오일 펜스 발사 장치가 작동하여 추가 확산을 방지한다. 기름 확산 관측기 내부의 카메라가 100초 동안 5초 간격으로 사진을 촬영하여 유출유의 확산 범위를 파악하고, 데이터를 수집한다. 100초 이후 기름 확산 관측기는 추와 분리된 후 수면 위로 떠올라 회수할 수 있으며, 수집된 데이터를 바탕으로 유출된 기름을 회수한다.

## (2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

본 최종 설계 결과물은 기존의 유조선 사고 대응 및 규모별 데이터 수집에 핵심적인 역할을 할 수 있다. 또한, 최종 설계 결과물의 작동 원리상 기존 유조선에도 바로 적용할 수 있으며, 사용 후 회수가 가능하므로 경제적인 측면에서도 효율적임을 알 수 있다.

최종 설계 결과물의 경우 본체는 회수가 가능하지만, 추와 분리된다는 점에서 전체 회수가 불가능하다는 단점이 존재한다. 그러나 이는 추의 기능을 수행하고 회수가 가능한 기타 대체 장치로 보완하거나 잠수함의 구조를 적용함으로써 구현이 가능하며, 이 경우 전체 회수 또한 가능해져 재난 대응 과정에서 환경 오염이 발생하지 않는다는 이점이 된다.

기존 유조선 사고의 발생 빈도 및 규모에 비해 효율적인 대책이 마련되지 않은 현재 시점에서 신속하고 정확한 대응과 후속 사고를 대비한 확산 데이터 수집이 가능하며, 추가적인 유출유 확산 방지와 재사용이 가능하다는 점에서 환경 및 사회적인 측면을 고려한 결과물이라고 할 수 있다.

## 5. 활용방안 및 기대효과

본 설계 결과물을 실제 유조선 사고 현장에 활용한다면 오일 펜스 발사 장치를 이용해 기름의 확산을 초기에 차단하여 기존에 비해 피해 수준을 크게 감량시킬 수 있을 것이다. 또한, 사고 현장에 투입되었을 때, 사고 현장에 대해 분석하고 대응할 수 있는 유출 대응 프로토콜 관리자과 같은 각종 장치가 선체에 내장되어 있고, IoT를 이용하였기 때문에 초기 대응이 보다 신속하게 이루어질 수 있어 기존 방안에 비해 더 효율적일 것이다.

또한, 유조선 사고 시 발생하는 유류 확산 데이터를 수집할 수 있을 것이다. 유조선 사고의 특성상 실시간 유류 확산범위 파악이 어렵고, 기존의 장비들로는 초기 확산 데이터 수집에 어려움이 존재한다. 하지만, 본 장치를 이용하여 유출 발생이 일어나는 즉시 데이터를 모아 해당 유조선 사고뿐만 아니라 추후 유사한 사고가 발생하였을 때의 대응을 도울 수 있다.

### <참고문헌>

- <태안유류유출사고의 유출유 초기확산 수치모의>, 정태성, 한국해양환경공학회지 vol. 12, No. 4, 264-272p, 2009년
- <태안 기름유출사고 현황과 효율적인 해양오염 방제를 위한 개선방안>, 윤혁수, 한국재난관리표준학회지, vol.1, No. 1, 17-30p, 2008년
- <https://www.greenpeace.org/korea/update/18136/blog-ocean-oil-spill-accidents/> (기름 유출로 검게 물든 바다, 이게 머선129?, 그린피스)
- <https://www.kmst.go.kr/web/board.do?menuIdx=128&bbsIdx=100329> (2023년 3월 해양사고 예방정보, 해양수산부 중앙해양안전심판원)
- <해상의 기름유출과 방제 대응>, 이상호, 설비저널 제37권 제5호, 4-9p, 2008년