



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 소형선박의 사고대응을 위한 복합성 센서의 구현

Implementation of Complexity Sensor  
for Small Ship Accident Response



2019년 2월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과  
김도은

본 논문을 김도은의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 이 상 배 (인)

위 원 심 준 환 (인)

위 원 임 재 홍 (인)



2018년 12월 21일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	vi
1. 서 론 .....	1
2. 소형선박의 해양사고 .....	3
2.1 소형선박의 사고현황 .....	3
2.2 복합성 센서의 필요성 .....	7
3. 센서 및 통신기술 특성 .....	12
3.1 화재 센서 .....	12
3.2 온도 센서 .....	15
3.3 기울기 센서 .....	17
3.4 초음파 센서 .....	21
3.5 UART .....	25
3.6 NMEA0183 .....	27
4. 복합성 센서 설계 .....	29
4.1 센서 별 기능설계 .....	29
4.2 복합성 센서 설계 .....	39
5. 복합성 센서 구현 및 실험 .....	40
5.1 복합성 센서 구현 .....	40
5.2 실험방법 .....	41
5.3 실험결과 .....	42

6. 결론 ..... 48

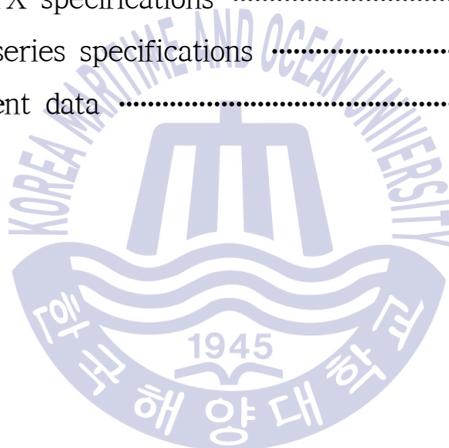
참고문헌 ..... 49

부록 A 복합성 센서 내부 결선도 ..... 52



## List of Tables

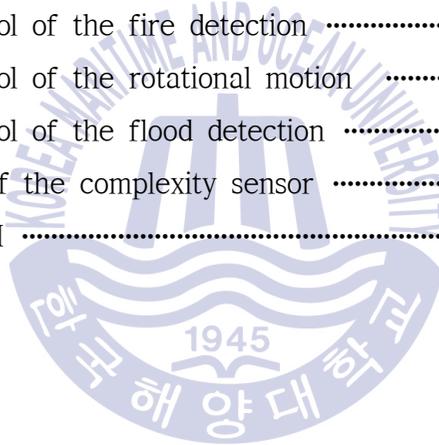
Table 1	Number of fire extinguishers of small ship .....	9
Table 2	Type of temperature sensors .....	17
Table 3	Measurement values of the ultrasonic sensor .....	24
Table 4	NMEA0183 sentence .....	28
Table 5	MPU-9250 specifications .....	33
Table 6	Requirements of the measurement range for inclinometer .....	35
Table 7	DYP-ME007TX specifications .....	36
Table 8	STM32F410 series specifications .....	38
Table 9	Fire judgement data .....	42



## List of Figures

Fig. 1 Occurrence of marine accidents by ship type .....	2
Fig. 2 Occurrence of fishing vessels by type of accident .....	3
Fig. 3 Total loss by fire .....	4
Fig. 4 Capsizing .....	5
Fig. 5 Sinking .....	5
Fig. 6 Stability of vessel .....	7
Fig. 7 Rotational motion of ship .....	10
Fig. 8 Clinometer .....	10
Fig. 9 Electronic inclinometer .....	10
Fig. 10 Concept of complexity sensor .....	11
Fig. 11 Classification of the fire detectors .....	12
Fig. 12 Complete I2C data transfer .....	19
Fig. 13 SPI master and slave .....	20
Fig. 14 SPI communication .....	20
Fig. 15 Detection system of ultrasonic sensor .....	21
Fig. 16 Experimental concept map of ultrasonic sensor .....	23
Fig. 17 Measurement of the distance to the bottom of an empty tank ...	23
Fig. 18 Measurement of the distance to the surface of the water .....	24
Fig. 19 ROSEMOUNT 3101 .....	25
Fig. 20 Measurement of the ROSEMOUNT 3101 .....	25
Fig. 21 UART communication .....	25
Fig. 22 UART communication data transmission concept diagram .....	26
Fig. 23 Diagram of the complexity sensor .....	29
Fig. 24 UVtron angular sensitivity (directivity) .....	30
Fig. 25 Algorithm of the fire detection .....	32

Fig. 26	Roll period & heel angle .....	34
Fig. 27	Application of MEMS sensor .....	34
Fig. 28	Heel angle and roll period .....	34
Fig. 29	Heel angle and roll amplitude .....	35
Fig. 30	Pre-installation considerations .....	37
Fig. 31	Main processing unit .....	39
Fig. 32	Block diagram of complexity sensor system .....	39
Fig. 33	Implementation of complexity sensor .....	40
Fig. 34	Experiment of the complexity sensor .....	41
Fig. 35	Experiment concept diagram of the complexity sensor .....	42
Fig. 36	Output protocol of the fire detection .....	43
Fig. 37	Output protocol of the rotational motion .....	44
Fig. 38	Output protocol of the flood detection .....	45
Fig. 39	Output data of the complexity sensor .....	46
Fig. 40	Example of UI .....	47



# Implementation of Complexity Sensor for Small Ship Accident Response

Kim, Do Eun

Department of Electronics & Communications Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Recently, with the development of information and communication technology, by combining with existing ship navigation technology, IMO introduced e-Navigation, a next-generation ship integration system, and various efforts have been trying to secure the safe operation of large ships. However, about 70% of ship accidents occurring in Korea are small ships, and the solutions for accident response are relatively poor. Especially, small ships do not have enough methods to recognize the occurrence of accidents such as ship collision, sinking, capsizing, fire etc. Therefore, complexity sensor, be presented in this paper, that can know the accident situation early by using various sensors to detect typical marine accidents that cause ship damage. The complexity sensor is designed to perform fire detection according to the algorithm to judge whether a fire occurs or not, monitor ship movement through measurements of heel angle and pitch angle, and perform flooding detection.

In addition, the complexity sensor is designed to perform NMEA0183 communication that is usually used in ships for monitoring in the bridge. The experiment which is reported in this paper is conducted monitoring the measured value of complexity sensor with NMEA0183HS, which is 38,400 bps serial communication.

**KEY WORDS:** complexity sensor, fire detection sensor, MEMS sensor, ultrasonic sensor, NMEA0183



# 소형선박의 사고대응을 위한 복합성 센서의 구현

김도은

한국해양대학교 대학원 전자통신공학과

## 초록

최근 정보통신기술의 발달로 기존의 선박항법기술과 접목하여 차세대선박 통합체계인 e-Navigation을 도입하고 대형선박의 안전한 운항을 위한 노력들이 다양하게 시도되고 있다. 하지만 국내에서 발생하는 선박사고의 대부분이 소형선박이며, 이에 대한 사고대응 방안은 비교적 매우 열악하다. 특히, 소형선박은 충돌, 침수, 전복, 화재 등의 사고가 발생하는 것을 인지할 수 있는 수단이 부족하고 그로 인해 사고대응이 늦어지므로 선박을 비롯하여 인명재산의 피해가 매우 크다. 따라서 본 논문에서는 선박의 손상을 야기하는 대표적인 해양사고를 감지할 수 있는 센서들을 사용하여 초기에 사고 상황을 파악하고 대응이 가능한 복합성센서를 제시한다. 복합성 센서는 화재발생유무 판단을 위해 화재감지기능을 알고리즘에 따라 수행하며, 횡경사각과 종경사각 측정을 통한 선박의 움직임을 모니터링하고 초음파 센서의 레벨측정기능을 이용하여 선내 침수감지기능을 수행하도록 설계하였다.

또한, 복합성 센서는 선교에서의 모니터링을 위해 실제 선박에서 보편화된 NMEA0183통신을 지원하도록 설계하였으며, 본 논문에서 NMEA0183HS가 지

원하는 38,400 bps의 시리얼통신으로 복합성 센서의 측정된 값을 모니터링하는 실험을 진행하였다.

**KEY WORDS:** 복합성센서, 화재감지센서, MEMS 센서, 초음파센서, NMEA0183



## 제 1 장 서 론

선박의 해양사고는 매년 끊임없이 일어나고 있으며, 사고를 줄이기 위한 규정을 제·개정하거나 사고발생시 초기대응을 위한 주기적인 훈련 혹은 새로운 기술을 도입하는 등 다양한 대책들이 시도되고 있다. 최근엔 정보통신기술의 발전으로 기존의 선박항법 기술과 접목하여 육상과 해상의 선박을 통합하여 관리하는 차세대 선박통합체계인 e-Navigation을 IMO(International Maritime Organization)에서 도입을 제안하였고 실무적인 도입을 위한 개발기간을 거치고 있다. 이러한 시스템은 사고가 발생 할 경우 인명피해와 재산피해가 가장 큰 여객선과 상선 등의 대형선박을 주된 대상으로 두고 있다. 하지만 매년 발생하는 해양사고에서 사고율이 가장 높은 선박은 소형선박이며, 이러한 선박의 인명사상과 재산을 위한 효율적인 방안은 아직 마련되지 않았다.

국내에서 발생하는 해양사고를 분석하고 기록하여 통계를 제공하는 중앙해양안전심판원의 자료에 따르면 선박종류별 해양사고 발생현황은 Fig. 1과 같다. 어선의 사고발생 척 수가 비어선의 사고발생 척 수에 비교하여 현저하게 높다는 것을 알 수 있다. 소형선박인 어선이 차지하는 사고발생률은 약 70%이며, 사고발생 척 수로만 최대 1,939척이다[1]. 또한, 어선의 사고 발생률은 매년 증가하고 있으며, 이에 대하여 사고발생을 경감하고 방지할 수 있는 대책이 매우 필요하다.

특히, 어선에서 발생하는 사고는 경미한 손상부터 전손까지 피해정도에 따라 구분할 수 있다. 어선의 사고종류는 충돌, 접촉, 좌초, 전복, 화재 및 폭발, 침몰, 기관손상 등으로 나누어 분석하며, 일반적으로 기관손상, 충돌 등의 사고는 경미한 손상의 경우가 대부분이지만 좌초, 전복, 화재 및 폭발, 침몰 등의 사고는 전손될 가능성이 매우 높다. 따라서 어선에 대한 큰 손실을 방지하기 위해서는 이러한 사고요소들을 신속하게 파악하고 초기대응을 가능하게 하는 것이 중요하다.

어선에서 발생하는 사고가 매년 증가하지만 쉽게 경감시키지 못하는 데에는

어선이 가지는 조건과 한계에 의한 것으로 추정된다. 어선은 일반적으로 대형 선박에 비교하여 선박의 크기만큼 장비의 규모 차이가 매우 크다. 따라서 비용적인 문제가 매우 제한적이며, 장비의 설치에 유리함이 우선시 된다.



Fig. 1 Occurrence of marine accidents by ship type

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 대상으로 하는 소형선박의 해양사고 현황과 사고대응책으로 복합성 센서의 필요성을 서술하였다. 그리고 제시하는 복합성 센서의 설계를 위해 센서의 종류별 특성을 기술하고 분석하였으며, 통신기술의 특성을 3장에서 정리하였다. 4장에서는 복합성 센서의 설계에 대한 내용으로 각 기능별로 구분하여 서술하였다. 5장에서 설계를 통해 구현된 센서를 바탕으로 실험을 진행하였으며, 그에 대한 실험결과를 정리하였다. 마지막으로 6장에서 본 논문의 결론과 기대효과 및 개발방향을 서술하였다.

## 제 2 장 소형선박의 해양사고

### 2.1 소형선박의 사고 현황

최근 2013년부터 2017년까지 발생한 어선의 사고종류별 현황은 Fig. 2와 같다. 가장 발생률이 높은 사고는 기관손상에 의한 것이며, 두 번째로는 충돌에 의한 것이다. 그 다음으로 순서대로 부유물 감김, 인명사상, 좌초, 화재 및 폭발, 열, 침몰, 접촉으로 분석된다.

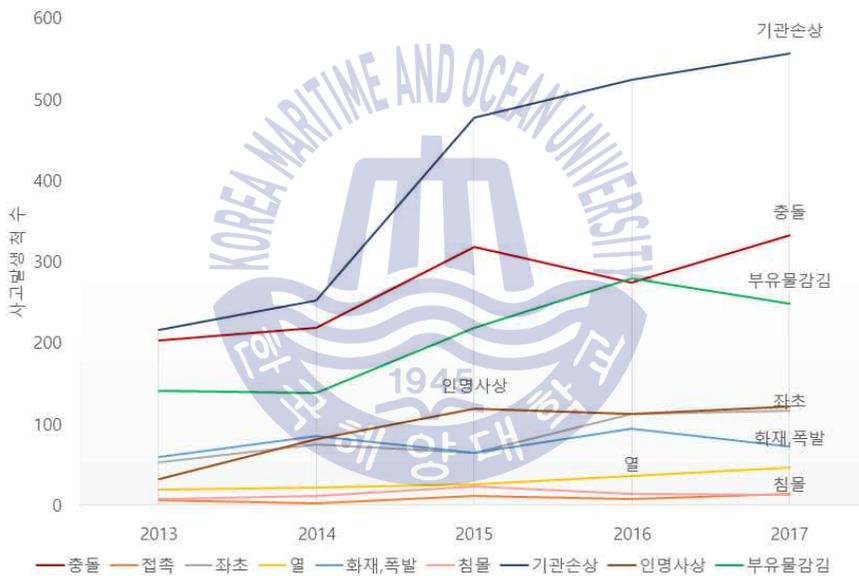


Fig. 2 Occurrence of fishing vessels by type of accident

이러한 사고가 발생하는 원인으로는 운항중의 과실로서 적하작업과 어로작업, 선내작업 등을 행함에 있어서 경계를 소홀히 하는 상무의 위반과 미흡한 안전관리와 같이 원칙을 준수하지 않은 경우가 가장 많다. 또한 해상충돌 예방규칙으로 충돌회피를 위한 법령과 규제사항에 대한 미 준수, 기관과 기기, 부속장치의 정비와 점검 및 조작이 부적절했던 것으로 나타났다. 특히, 사고발생률이 높은 기관손상과 충돌이 전체의 절반이상을 차지하므로 이 2가지 요인의 감

소가 해양사고를 저감시킬 수 있는 대책의 핵심으로 여겨지고 있다. 두 사고는 모두 인적요인에 의한 것으로, 기관손상의 경우 사전 정비에 대한 불량이 원인이며, 충돌은 경계소홀이 원인이다[1]. 위와 같이 운항과실이나 기기불량에 의한 사고는 승무원이 사전에 주의를 기울인다면 예방이 가능한 것으로 볼 수 있다.

사고에 의한 손상을 기준으로 해양사고 발생현황을 살펴보면 대부분의 해양사고는 경손으로 전체 사고의 약 83%를 차지한다. 기관손상, 충돌과 같은 사고가 주로 경손의 피해를 미치며, 이는 충돌사고의 경우 무손으로 두 선박간의 가벼운 사고로도 마무리 될 수 있으며, 기관손상의 경우에도 현장에서 대응하여 큰 손실을 방지하는 것이 가능하다. 하지만 여기서 집중해야 할 부분은 전손을 입힐 수 있는 사고의 종류이다. 선박의 피해정도가 전손일 경우를 분석했을 때, 전손을 일으키는 해양사고 현황으로 침몰사고인 경우가 41.2%이며, 화재 및 폭발은 19%, 전복과 좌초는 각각 15.4%, 7.2% 차지하고 있다. 예시로 Fig. 3 과 같이 화재사고가 발생할 경우, 연소가 빠르게 진행되기 때문에 선박의 손상 피해가 크다. 따라서 본 논문은 우선적으로 선박의 피해정도가 큰 사고 중 인적과실에 의한 것보다 초기대응으로 큰 손실을 방지할 수 있는 사고에 대하여 설명하고자 한다[1][2].



Fig. 3 Total loss by fire

총톤수 10톤 미만의 소형선박에서는 일반적으로 기관실이 대부분 기관운전 중 승무원이 지속적으로 배치되지 않는 무인 기관실이기 때문에 이곳에서 화재가 발생할 경우 초기대응이 힘들다. 대다수의 소형선박은 선체 등 주요 구조부가 화재에 취약한 섬유강화플라스틱(FRP: Fiber Reinforced Plastic)으로 제조되었기 때문에 무인 기관실 화재발생시 유류화재에 의한 연소 확대가 빠르게 되며, 초기에 소화가 이루어지지 않으면 선박이 전소되거나 인명사망의 참사가 발생할 수 있다. 국내 소형선박의 실태조사에서 몇 가지 화재특성이 나타나는데 첫째로 비교적 작은 체적의 기관실에 높은 마력의 엔진이 탑재된다. 이때, 연료유와 엔진 사이의 이격거리가 짧아 화재발생 위험이 상존하고 있다. 또한, 선박의 종류 및 톤수에 따라 실제 체적 등의 구조가 다양하고 벽체 및 천장재가 가연성재료이므로 연소의 확대를 촉진시킬 수 있다. 마지막으로 천장과 기관 상부의 거리가 짧고 협소하며 개구부가 개방상태로 유지되고 기관 하부에 은폐공간이 존재하기 때문에 일부 설치된 기존의 천장설치용 자동 확산 소화용구의 소화효과가 낮다는 점을 알 수 있다. 따라서 언제 발생할지 모르는 화재사고를 방지하기 위해서는 신속하게 초기에 화재를 감지할 수 있는 장치가 매우 필요하다[3].

화재 및 폭발사고 다음으로 자주 발생하는 사고는 Fig. 4의 전복사고(capsizing)와 Fig. 5의 좌초사고(grounding)이다[4][5]. 전복사고는 선박이 옆으로 기울어지면서 뒤집어지는 현상이며, 좌초사고는 선박의 아랫부분이 암초 혹은 해저에 닿아서 움직일 수 없게 된 상태이다. 이러한 사고 혹은 악천후에 의해 선박이 물속으로 침몰되는 사고를 침수사고(sinking)라고 볼 수 있다.



Fig. 4 Capsizing



Fig. 5 Sinking

해마다 소형선박의 전복사고는 끊임없이 발생하고 있으며, 화물선의 경우 과적이나 적재불량이 주된 원인이다. 또한 주로 다른 선박을 끌어 조정하거나 구조하는 것으로 사용되는 예인선(tugboat)의 경우 예인 줄에 의한 외력과 선회로 인해 사고가 발생한다. 예인선에 의해 예인되는 부선(barge)의 경우 선체 내 해수유입과 과적 및 적재 불량이 사고의 주요원인으로 분석되었다. 전복사고 중에서도 사고율이 가장 높은 어선은 복원력 부족과 과적 및 적재불량, 갑판의 유입수 등의 여러 가지 요인들이 있다[6].

해상에서 선박의 안정성을 판단하기 위해서는 선체고유의 성능이 매우 중요하다. 대표적인 것이 선박의 복원성이다. 선박이 한쪽으로 기울어졌다가 다시 제자리로 되돌아가는 성질로, 이 힘을 복원력라고 하며, 무게중심과 부력의 중심, 경심으로 결정된다. 이때, 무게중심은 중력의 작용점을 의미한다. 부력의 크기는 유체 속에 떠있는 물체와 같은 부피의 그 유체의 무게와 같으며, 부력의 중심은 물체가 밀어낸 부분에 유체가 있다고 가정했을 때, 무게중심과 일치하는 지점을 말한다. Fig. 6은 선박의 복원성을 설명한다. 복원력의 크기는 선박의 무게중심(G)이 낮을수록 크고, 무게중심이 높아질수록 작아진다. (a)의 경우, 무게중심이 낮고 중력과 부력간의 균형이 매우 안정된 상태를 보여준다. (b)의 그림은 복원력이 작용되는 것으로, 배가 기울어지면서 부력중심이 옆으로 이동하게 된다. 이때, 새로운 부력중심에서 수직으로 연장한 선과 선박의 중심축의 만나는 지점을 경심(M)이라 하며, 이 경심이 무게중심보다 높은 위치에 있다. 이는 복원력을 작용시켜 안정성을 갖게 한다. (c)의 경우 무게중심이 경심보다 위에 위치하고 있기 때문에 중력과 부력의 균형이 무너지면서 복원력을 상실하고 선박은 전복된다.

또한 선박의 무게중심과 경심간의 거리(GM)가 크면 배가 안정되고, 반대로 작으면 선박이 뒤집힐 수 있는 위험이 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 대형선과 비교하여 소형선박이 위험성이 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.

선박에서 복원성의 상실을 야기하는 요인으로 어선의 특성상 악천후 상태에서도無理하게 작업하는 경우가 많으며, 갑판 과적이 있다. 선박의 적하상태에 따라 복원성은 달라지는데 처음 선박을 건조한 후 조선소에서는 적하상태에 따

른 모든 경사각에서의 복원력정보를 제공한다. 특히, 화물의 만재상태와 화물을 적재하지 않은 경하상태를 비교하면 경하상태에서 복원성의 범위가 크다. 즉, 적재가 많이 되어 있을수록 복원성의 범위가 줄어들어 복원성을 상실할 수 있는 위험경사각이 작은 횡경사각에서 발생하게 된다. 선박에서는 이러한 횡단의 기울어진 각도를 횡경사각으로 나타낸다[7].

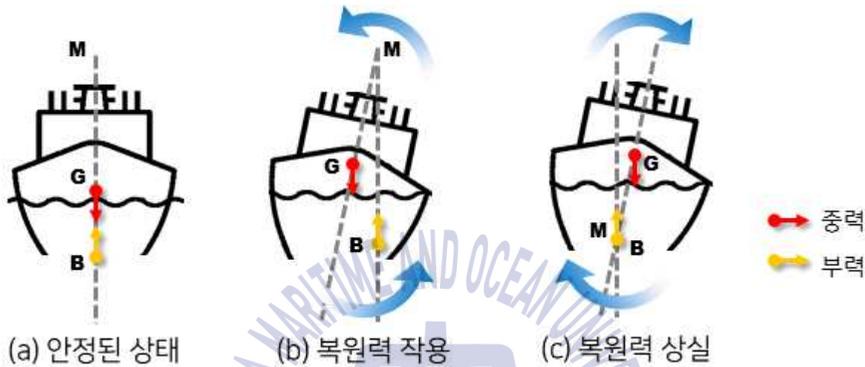


Fig. 6 Stability of vessel

따라서 횡경사각을 측정하는 것은 선박의 기울기와 그에 따른 위험성을 미리 감지할 수 있으므로 매우 중요하다. 선박용 경사계는 항해 중 환경적인 요인에 따른 선박의 운동을 상시적으로 파악할 수 있으므로, 측정된 횡경사각 값을 고려하여 안전한 항해를 유지하고, 전복사고를 예방하는 것이 가능하다.

## 2.2 복합성 센서의 필요성

2.1에서 소형선박의 해양사고현황을 통해 사고에 대한 원인을 알 수 있었으며, 현재 운용되고 있는 소형선박 내 안전장치 및 사고 대응을 위한 설비장치를 살펴보고자 한다. 설비장치는 해양안전법에 고시된 규정을 바탕으로 서술하였다.

해양안전법은 화재방지를 위해 가연성 높은 비품 사용을 줄이는 등의 방화조치를 우선적으로 규정하며, 다음으로 소화기의 비치에 대한 내용을 언급한다. 선박 소방 설비기준에 따르면 소형선박의 소방 설비는 소화펌프, 비상펌프, 소

화전와 같은 물 분사 소화 장치와 탄산가스를 이용한 고정식 가스 소화 장치, 고정식 포말 소화 장치 등의 화재발생시 대응할 수 있는 소화 장치들을 갖추는 것으로 지정하고 있으며, Table 1은 소형선박에 설치되는 소화관련 장비현황이다. 소형선박은 승선하는 인원이 적기 때문에 화재발생률이 높은 기관실에 항상 승무원이 배치되어 있지 않는 무인 기관실이 대부분이다. 무인 기관실에는 포말, 분말 혹은 탄산가스 소화기뿐만 아니라 화재탐지장치와 자동스프링클러 장치의 설치가 요구되고 있다. 자동스프링클러장치는 수동적인 입력이나 별도의 조작 없이 자동적으로 화재를 인식하고 알리는 자동경보장치가 포함되어 있으며, 이는 연기탐지를 비롯하여 특정한 온도에서 작동한다. 하지만 이러한 장치들은 총톤수 500톤 이상의 선박에 필수적인 치를 요구하고 있으며, 총톤수 500톤 미만의 선박의 경우에는 필수적인 요소로 지정하고 있지 않다. 따라서 소형선박은 의무적으로 자동적인 경보 혹은 소화 장치를 설치하지 않아도 되므로 화재가 발생할 경우 선교에서 상황인식이 늦을 수 있으며, 초기대응을 놓치기 쉬운 위험에 항상 노출되어있다[8][9].

선박에서 침수는 침몰 혹은 복원성 상실을 일으켜 전복으로 이어질 수 있으므로, 매우 치명적일 수 있다. 따라서 선박은 화재가 발생하였을 때, 연소를 방지하거나 침몰 방지를 위해 수압이 가해져도 물이 새지 않는 격벽인 수밀격벽(watertight bulkhead)을 선체의 주요한 부분에 필수적으로 기관실 전단에 설치한다. 기관실 전단에 격벽이 있을 경우 외부로부터 화재 혹은 침수를 방지할 수 있지만 기관실 내부에서 발생할 경우 폐쇄되어 있는 공간이므로 신속하게 사고를 인지하는 것이 매우 중요하다.

선교에서 경사계는 선박의 운항에 있어서 필수적인 요소이며, 최근 디지털화된 전자해도와 같은 항해장비에 연동되기 위해 전자식 경사계가 규정되고 있다. 국내에서는 이를 전자해도에 횡운동 자료를 제공하는 것으로 요구사항을 규정하고 있다.

Table 1 Number of fire extinguishers of small ship

구 분		소화기 종류		비치 수량
거주구역 및 업무구역		휴대식 포말 또는 분말 소화기		2
기 관 실	무인 기관실을 제외한 기관실	휴대식 포말, 분말 또는 탄산가스 소화기		2
	무인 기관실	휴대식 포말, 분말 또는 탄산가스 소화기	무인 기관실용 자동소화장치 설치시	1
			화재탐지장치 및 고정식 소화장치 설치시	
		금속제 선체로서 화재탐지장치 설치시	2	
<p>비고) 1. 휴대식 소화기 1개당 간이식 소화기 2개로 대응할 수 있다.</p> <p>2. 무인 기관실이란 기관실 외부에서 원격으로 조종되는 주기관을 설치한 선박으로서 기관운전중 선원이 계속적으로 배치되지 아니하는 기관실을 말한다.</p> <p>3. 총톤수 2톤 미만의 소형선박이 양동이 등 물을 퍼 올릴 수 있는 도구를 비치한 경우에는 휴대식소화기를 비치한 것으로 본다.</p>				

경사계에서 수집하는 데이터는 선박의 운동과 밀접한 연관이 있으며, Fig. 7은 선박의 운동을 보여준다. 선박의 종축(x축)에 대한 회전운동을 roll이라고 하며, 횡축(y축)에 대한 회전운동을 pitch, 선박을 위에서 바라봤을 때 z축 기준의 회전운동을 yaw라고 정의한다. 이때, 경사계는 선박의 우측(starboard) 혹은 좌측(port)으로 기울어져 있는 정도를 알기 위해 roll운동을 측정한다. 측정된 경사값을 횡경사각이라고 하며, Fig. 8은 아날로그 경사계로 각의 범위는 40° ~ 45° 로 표시된다. 따라서 경사계는 선박의 roll운동 데이터를 수집하여 선박 및 화물의 움직임을 파악할 수 있도록 제공하며, 전복과 침수 등의 해상사고 뿐만 아니라 위험한 상황을 피할 수 있다. 또한 이를 디지털화 및 전자화 하여, Fig. 9와 같이 횡경사각 값을 보여주고 위험 수치에 도달할 때 경보를 하는 등의 부가적인 기능을 제공한다[10][11].

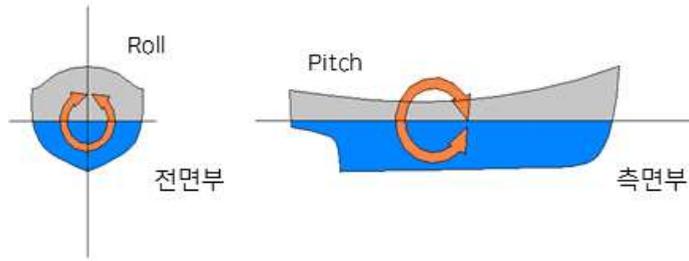


Fig. 7 Rotational motion of ship



Fig. 8 Clinometer



Fig. 9 Electronic Inclinometer

본 논문에서 언급하는 복합성 센서는 Fig. 10과 같이 화재, 침수, 선박의 기울기를 감지하여 사고발생 혹은 위험성을 알려주는 역할을 수행한다. 따라서 복합성 센서는 현재 발생하고 있는 다양한 해양사고에 대하여 매우 열악한 소형 선박의 환경을 개선하기 위해 사고발생을 신속하게 인지하고 대응할 수 있는 시스템을 제공하는 것에 목적을 두며, 대형선박과 비교하여 장비의 규모와 비용적인 측면에서 훨씬 민감한 소형선박의 제한적인 조건들을 고려하여 설치의 용이성과 비용절감에 적합한 효과적인 대안을 마련하여 제시하고자 한다.

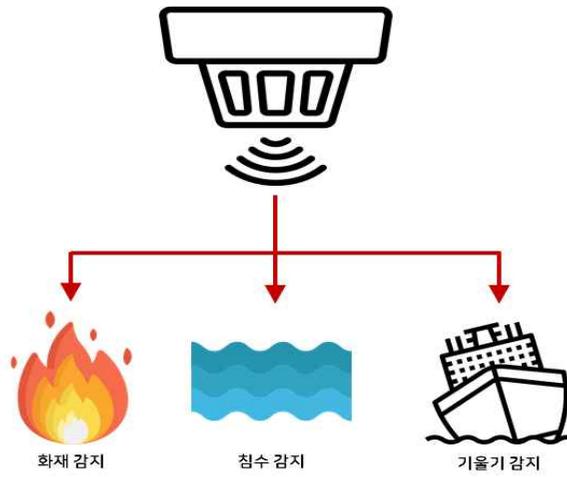


Fig. 10 Concept of complexity sensor



## 제 3 장 센서 및 통신기술 특성

### 3.1 화재 센서

화재사고는 초기에 불의 연소현상을 제압하지 못하면 주변의 온도가 급격하게 상승하여 순식간에 연소가 확대되고, 일정한 시간이 경과하면 대류와 복사 현상 등으로 인해 열과 가연성 가스가 축적되고 일정온도에 이르면 순간적으로 폭발적인 연소가 진행되어 화염에 휩싸이게 된다. 따라서 화재를 초기에 감지하여 피해를 최소화하는 것은 매우 중요하다.

화재감지 센서는 Fig. 11와 같이 연기감지, 온도 상승을 감지하는 열감지, 불꽃감지로 크게 나눌 수 있다. 정확한 감지를 위해서 화재감지 센서는 여러 종류의 센서를 종합적으로 사용하는 것이 일반적이다.



Fig. 11 Classification of the fire detectors

연기감지기는 화재가 발생할 때 연기를 감지하여 감지기 주위의 공기가 일정한 농도의 연기를 포함하는 경우에 작동된다. 수광 소자에 입사하는 광량의 변화에 의해 감지하는 광전식 감지기와 국소의 연기에 의하여 이온전류의 변화에 의해 화재를 감지하는 이온식 감지기로 나뉜다.

광전식 연기감지기의 구조는 빛을 발하는 발광부, 연기에 의해 난반사된 빛을 받는 수광부, 발광부의 빛이 수광부에 직접 전달되는 것을 방지하기 위한 차광판 등으로 구성된다. 감지기 내부에 연기가 없을 때에는 발광 소자에서 발생하는 빛이 수광 소자에 전달되지 못하여 수광부는 작동될 수 없다. 하지만 내부에 연기가 들어오면 발광 소자에서 발하는 빛의 일부가 연기의 입자에 의하여 난반사되어 수광부에 전달된다. 연기의 농도에 비례하여 수광 소자의 전류량이 증가하게 되고 특성 임계값 기준으로 상승하면 화재신호를 발신한다.

이온식 연기감지기는 감지기 주위의 공기가 일정한 농도의 연기를 포함하면 연기에 의해 이온전류가 변화되어 작동한다. 주요 구성부분으로는 연기를 감지하는 이온실과 그 이온실에서 발생한 미소한 전압변화를 증폭시키는 신호증폭 회로 등이 있다. 이온식 감지기는 방사능물질에서 방출되는 알파선이 공기를 이온화시키며 이온화된 공기는 연기와 결합하는 성질을 이용하는데, 이온실 내부의 공기가 이온화되어 이온전류가 발생한다. 평상시에는 내부이온실과 외부이온실의 전압이 균형을 이루고 있지만 화재가 발생하면 연기가 외부이온실에 투입되어 이온전류의 흐름이 연기에 의해 저항을 받게 되므로 내부이온실과의 균형을 잃게 된다. 따라서 외부이온실은 연기가 들어오면 이온이 연기에 포함되어 있는 미립자에 흡착되어 이동속도가 저하되고 아울러 알파선도 이온화 작용에 방해받기 때문에 내부저항이 증가하며 이온전류가 감소된다. 이러한 전류의 변화량에 의해 이온식 감지기는 동작된다[12].

연기감지기는 부식성 가스가 발생할 염려가 있는 장소와 먼지, 분진, 수증기가 다량으로 존재하는 장소 혹은 평상시에도 연기가 존재할 수 있으며 고온을 유지하는 장소에서는 화재 감지에 불리하므로 설치하는 것을 지양하고 있다.

열 감지기는 화재에 의해 발생하는 열을 이용하여 공기의 팽창, 금속의 열기

전력, 금속의 팽창 등으로 작동하는 것으로 차동식 감지기와 정온식 감지기가 있다. 차동식 감지기 중에서도 스폿형의 동작원리는 감지기가 부착된 국소지역의 온도상승 속도가 일정한 속도 이상으로 상승할 경우, 온도변화에 의해 감지기의 공기실 내부 공기팽창이 발생한다. 이로 인해 다이어프램이 고정부의 접점에 붙어 폐회로를 구성하고 화재신호를 수신기에 보낸다. 하지만 차동식 스폿형은 먼지가 많은 환경에서는 오동작이 많은 단점이 있다. 이러한 단점을 대체하기 위한 것이 차동식 분포형 감지기이다. 이는 차동식 스폿형과 동작원리는 비슷하지만 구성하는 부분의 차이를 가진다. 감지기에 공기관을 구성하기 때문에 광범위한 열효과의 누적으로 동작이 된다. 화재에 의한 급격한 온도상승 기류가 이 공기관에 접촉하면 공기관 내부의 공기를 팽창시켜 동작한다. 따라서 부식성 가스가 많은 장소에서도 응용이 가능하다.

정온식 스폿형 감지기는 국소지역의 주위온도가 일정한 온도 이상이 되었을 때 작동하는 감지기로서 바이메탈의 반전을 이용한 것이다. 이는 바이메탈과 집열판, 접점 등으로 구성되며, 화재시 발생하는 열이 집열판에 모여 감지소자인 바이메탈에 집열된 열이 전달되면 휘어지거나 반전되어 고정접점에 접촉되고 화재신호를 발신한다. 이는 주위의 온도가 정상시의 최고온도보다 20℃ 이상 높을 경우 동작하도록 규정되어 있다.

마지막으로 불꽃감지기는 초기발화시 불꽃으로부터 나오는 자외선을 검출한다. 화원을 순간적으로 검출하기 때문에 연기감지기보다 훨씬 빠르게 검출이 가능하며, 금속 또는 수소 화재와 같이 탄소를 포함하지 않는 화재를 감지하는데 적합하다. 자외선 불꽃감지기는 불꽃에서 방사되는 자외선의 변화가 일정량 이상이 되었을 때, 수광 소자가 받는 수광량의 변화로 작동된다. 수광 소자는 외부광전효과를 이용한 광전관이 사용된다. 자외선 불꽃감지기는 기본적으로 필터와 렌즈를 구성하여 불필요한 파장을 걸러내고 들어온 에너지에 초점을 맞추어 광전지 등으로 자외선을 감지하며, 185 ~ 260 nm의 지정된 대역에서 자외선이 검출되면 화재신호를 발생시킨다. 이때, 감지 가능한 스펙트럼은 백열등과 태양광의 스펙트럼과 구분된다.

이러한 불꽃감지기는 높은 곳에서 불꽃의 파장, 움직임은 쉽게 파악할 수 있

는 위치에 설치되어야 하므로 보통 천장이 높거나 넓은 장소에서 설치하는 것을 지향한다. 기관실의 환경을 고려하면 부식성 가스와 발생할 우려가 있으며, 내부먼지가 존재할 수 있으므로 연기감지기는 부적절하다. 또한, 기관실의 특성상 항해 중에는 항상 엔진과 발전기가 운용되므로 이로 인해 고온을 유지하게 된다. 그러므로 열 감지기 또한 정확성이 떨어진다. 그리고 연기감지기와 열 감지기는 화재발생위치로부터 연기의 입자 혹은 열이 감지기까지 도달해야만하기 때문에 초기에 화재를 감지하는데 한계가 있다. 화재를 감지했을 때, 이미 상당히 진행되었을 가능성이 매우 높다. 특히, 소형선박은 작은 화재에도 빠르게 확장되어 최종적으로 전소될 가능성이 높기 때문에 초기에 화재를 감지하는 것이 매우 중요하다. 따라서 기관실에서는 불꽃감지기와 같은 자외선감지센서를 이용한 화재감지가 가장 적합하다고 사료된다.

### 3.2 온도센서

3.1에서 언급된 화재감지기 중 열 감지기는 국한되는 지역에서 급격한 온도 상승이 발생하거나 일정한 온도 이상이 될 경우 화재를 감지하는 방식으로 평상시 엔진과 발전기를 작동시키는 기관실의 특성상 고온을 유지하기 때문에 정확성이 떨어지고, 오동작의 가능성이 높다. 따라서 이러한 단점을 보완하여 열을 감지하는 온도센서로, 기관실 내부의 평균적인 온도와 화재 시 상승하는 온도를 측정비교하는 방안을 고려하였다. 그리고 불꽃감지기에서 감지된 정보와 통합하여 기관실의 상황을 파악하는 것을 목적으로 두고 있다. 온도 센서는 크게 4 가지의 방식으로 구분하였으며, 각 센서의 특징은 Table 2에 나타내었다.

RTD(Resistance Temperature Detector)는 온도를 변화시키면서 금속선의 전기저항 값이 온도에 따라 증가하는 성질을 이용한 센서이다. 따라서 금속선의 저항을 측정함으로써 역으로 온도를 알 수 있다. RTD로 사용되는 금속으로 백금이 주로 이용되며, 이는  $-200 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 의 넓은 온도범위에서 높은 안정성과 직진성이 좋으며, 내화학적, 내부식성이 우수한 장점을 가진다. 일반적인 응답시간은 0.5 ~ 5 sec 이며, 약간의 자기가열이 있으므로 센서의 지시온도는 실제 온도보다 약간 더 높게 나타내거나 RTD에 흐르는 전류를 충분히 작게 유지하

는 등의 자기가열에 대한 보정을 한다. 이러한 RTD는 각종 공업 계측에 많이 사용되고 있다.

서미스터는 반도체의 저항이 온도에 따라 변하는 특성을 이용한 온도센서이다. 저항-온도 특성에 따라 NTC(Negative Temperature Coefficient)와 PTC(Positive Temperature Coefficient), CTR(Critical Temperature Resistor) 3가지의 종류로 분류할 수 있다. 일반적으로 넓은 온도영역에서 계측이 가능한 NTC 서미스터가 주로 사용된다. 가격이 저렴하며, 크기가 작아서 온도에 민감한 소자들에 대하여 온도보상 혹은 과 온도 보호회로에서 온도측정 기능을 수행한다. 하지만 크기가 작은 서미스터는 자기가열에 훨씬 더 민감할 수 있으며, 비교적 정확성과 견고성이 떨어진다는 단점이 있다[7].

열전대는 재질이 다른 두 종류의 금속선으로 구성되고, 서로 다른 금속선을 접합하여 온도차에 의한 전류의 흐름을 통해 제베크전압 또는 기전력이 발생하는 현상을 이용한다. 온도변화가 작을 경우, 제베크전압은 온도에 직선적으로 변화하므로 열전대에 전압계를 접속하면 열기전력을 측정할 수 있기 때문에 온도차를 역으로 계산하면서 온도를 측정할 수 있는 원리이다. 열전대는 가장 넓은 동작범위를 가지며, 1750°C 정도의 고온 측정에 유리하기 때문에 높은 온도를 모니터링하고 제어하는데 사용될 수 있다. 또한 단순한 구조와 극한적인 충격과 진동에 견딜 수 있는 장점이 있다. 하지만 비직진성으로 인해 상대적으로 안정성이 낮으며 두 금속선의 기준접합에 대한 보상이 필요하다[12].

서미스터와 열전대는 출력특성이 비직진성 이므로 외부에서 직선화 과정을 통해 직선출력을 얻는다. 하지만 IC온도센서는 다이오드나 트랜지스터 온도센서와 직선화 회로를 일체화한 형태이다. 따라서 온도에 대한 출력의 직진성이 양호하고 출력 임피던스가 낮으며, 출력신호 레벨이 큰 장점이 있다. 하지만 트랜지스터의 온도특성 변화를 이용하고 있으므로 사용가능한 온도범위가 한정되어 있는 것이 단점이다. 주로 마이크로프로세서를 기반으로 하는 시스템에서 온도 모니터링 혹은 제어부 시스템에 사용된다.

Table 2 Type of temperature sensors

구분	RTD	NTC 서미스터	열전대	IC 온도센서
센서	백금 권선형 또는 금속막	세라믹	2종류의 금속선	반도체 접점
온도 범위	-200 ~ +900°C	-100 ~ 450°C	-270 ~ +1800°C	-55 ~ +150°C
정확도	±0.01°C	±0.1°C	±0.5°C	±1.0°C
장점	높은 정확성 안정성 온도범위가 넓다 우수한 선형성 산업계 표준화 확립	우수한 감도 고정밀도 저가 유연한 구성 밀폐구조	넓은 동작온도범위 단순한 구조와 견고함 저가 빠른 응답시간 자체 전원 공급	사용이 편리함 보드 탑재 견고함 전체 비용
단점	높은 가격 자기가열 낮은 내진동성 사이즈/구조 제한	비선형 자가발열 오류 낮은 정확성 낮은 견고성	낮은 정확도 낮은 안정성 기준점합의 보상 출력이 낮음	정확도 적용 제한 안정성 반응시간
반응 시간	1 ~ 10 sec	1 ~ 5 sec	0.1 ~ 1 sec	4 ~ 60 sec
비용	\$25 ~ \$1000	\$2 ~ \$10	\$1 ~ \$50	\$1 ~ \$10

소형선박의 기관실 내부는 엔진과 발전기 등으로 인한 진동이 매우 심하기 때문에 높은 내구성을 가져야 하며 무엇보다도 측정값에 대한 안정성이 높아야 하므로 RTD가 적절하다고 판단하였다.

### 3.3 기울기 센서

기울기 센서는 선박용 경사계와 같은 기능을 수행하고, 이를 디지털화하기 위해 MEMS 관성센서를 이용한다.

### 3.3.1 MEMS 센서 개요

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 센서는 미세가공기술을 응용하여 제조한 마이크로 혹은 나노 단위의 고감도 센서로서 차세대 스마트 기기에 요구되는 저가격, 소형화, 고효율 및 고신뢰성이 충족하므로 사물인터넷 시대에 맞춰 활용분야가 더욱 확대되고 있는 추세이다. 현재 상용화된 대표적인 MEMS 센서로는 압력센서, 가속도 센서, 자이로스코프 등이 있으며, 이들은 기존의 센서를 초소형·경량화 시켰을 뿐만 아니라 신호처리회로와 센서를 하나의 칩에 집적화한 형태이므로 편리성을 높였다.

자이로스코프는 관성센서 중의 하나로 물체의 방위를 측정하거나 유지하는데 주로 사용되며, 단위시간당 각의 변화를 측정하는 센서이다. 또한, 가속도 센서는 물체의 움직임에서 발생하는 가속도를 이용하여 충돌, 진동 등의 동적인 변화를 파악하는데 사용된다. 즉, 자이로스코프는 x, y, z축 3축의 방향변환을 감지하고 가속도 센서는 x, y, z축 방향의 움직임에 대한 변화율을 감지한다. 이러한 MEMS 관성센서는 선박의 운동을 감지하는데 유리함이 있으며, 측정된 값을 디지털화하여 I2C(Inter-Integrated Circuit)통신, SPI(Serial Peripheral Interface)통신과 같은 단거리 직렬통신방식을 통해 중앙처리장치로 전달한다.

### 3.3.2 I2C, SPI통신

위의 MEMS 센서와 마이크로프로세서의 통신에서 주로 이용되는 통신 방식으로 I2C통신과 SPI통신 두 가지가 있다.

I2C통신은 데이터와 클럭 신호를 분리하여 2가닥 선로를 통해 반이중 통신을 수행하는 단거리 동기식 직렬전송방식이다. 2가닥의 선로는 SDA(Serial Data)의 양방향 직렬데이터선로와 SCL(Serial Clock)의 동기된 클럭 라인으로 각각 구성된다. I2C버스상의 장치는 마스터와 슬레이브 장치로 구분된다. 하나의 마스터 장치에 다수의 슬레이브 장치의 연결이 가능하며, 여러 개의 슬레이브 장치를 구별하기 위해 각 슬레이브 장치마다 고유주소를 갖도록 한다. 그리고 마스터 장치는 슬레이브 장치의 주소 값을 이용하여 한 번에 하나의 슬레이브 장치만

연결할 수 있다. 따라서 I2C통신은 시스템 동작 중에도 통신버스에 새 장치의 추가 혹은 제거가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 최대 400 kbps의 데이터 전송속도로 비교적 저속으로 지원하며, 동시적 양방향 통신이 불가능하다. I2C통신의 동작은 Fig. 12와 같이 이루어진다. 마스터 장치는 SCL과 SDA선로가 모두 high상태일 때, SDA를 low로 변환시켜 슬레이브 장치에 통신의 시작을 알린다. 그 후 통신할 슬레이브 주소를 송신하며, 마스터는 해당 주소의 슬레이브와 통신을 수행한다. 통신을 정지할 때는 마스터의 SCL이 high로 바뀐 후 SDA를 high로 바꾸어 슬레이브 장치에 통신종료를 알린다. 통신이 시작된 이후 I2C의 슬레이브 주소인 7 bit가 항상 먼저 기록되며, 이어서 마스터 측에서 데이터 송신을 의미하는 0이 따른다. 이후 슬레이브에서 수신할 때 발생시키는 ACK가 기록된다. 그리고 마스터 측에서 생성된 데이터를 1 byte 차지한다[13].

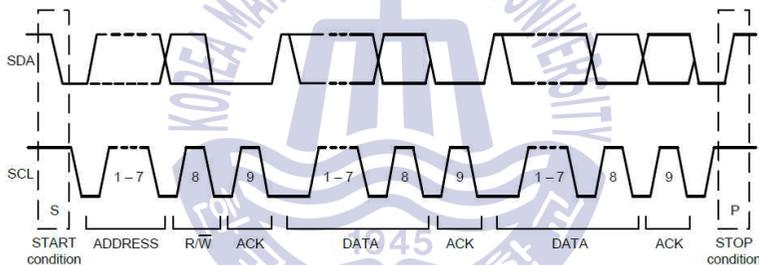


Fig. 12 Complete I2C Data Transfer

SPI통신은 MCU(Main Control Unit)와 주변장치간의 직렬통신 프로토콜이며, 외부장치와 별도의 클럭 신호 선로, 송수신로가 물리적으로 분리된 단거리 동기식 전이중 전송방식이다.

SPI통신의 구성은 Fig. 13와 같다. 네 개의 선로 중 SCLK(Serial CLock)는 동기화 신호로서 통신의 클럭의 역할을 하며 마스터에서만 제어가 가능하다. MOSI(Master Output Slave Input)는 마스터에서 슬레이브로 가는 데이터선로이고, 반대로 MISO(Master Input Slave Output)는 슬레이브에서 마스터로 가는 데이터선로이다. SS(Slave Select)는 하나의 마스터 장치가 여러 개의 슬레이브 장치와 통신할 때, 하나의 슬레이브 장치를 선택하여 통신하는 전용 통신선로이

다[14].

SPI통신은 Fig. 14와 같이 단일 마스터 통신 프로토콜로서 하나의 마스터가 슬레이브와의 모든 통신을 수행한다. 통신을 위해 SPI의 슬레이브 장치는 마스터로부터 SS선로가 필요하다. 따라서 SS는 전송을 시작할 때, low상태가 되고, 전송 끝에 high로 변환한다. 한 번에 하나의 SS선로만 활성화되기 때문에 나머지의 비활성화 상태인 슬레이브 장치는 high로 유지되어 활성화된 장치들을 방해하지 않도록 한다. 따라서 SPI통신은 4개의 핀을 사용하여 단순한 구조이지만 완전한 전이중 통신으로서 전송되는 비트에 대한 프로토콜의 유연성을 가지는 장점이 있다[14].

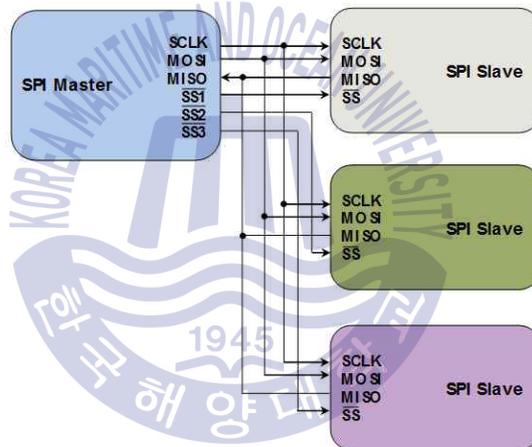


Fig. 13 SPI Master and Slave

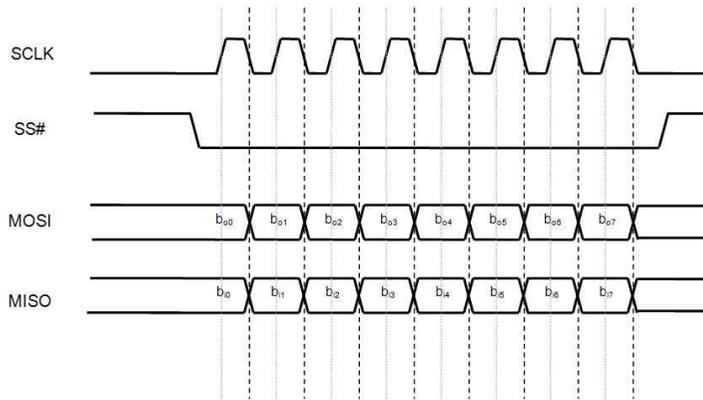


Fig. 14 SPI communication

### 3.4 초음파 센서

#### 3.4.1 초음파 센서 개요

초음파는 인간의 귀로 들리지 않은 음으로 정의되며, 20,000 Hz 이상의 진동 주파수를 가진다. 초음파의 속도는 공기 중에서 340 m/s, 수중에서 1500 m/s, 금속에서 6000 m/s 로 전자파의 속도보다 매우 느리다. 따라서 음파를 측정하는 데에는 ms범위로 비교적 정밀한 기기 없이 수월하게 측정이 가능하다. 또한 파장이 짧기 때문에 분해능이 높으며, 방사선의 장애가 없기 때문에 규제가 필요하지 않아 사용하는 데 어려움이 없다.

초음파 센서는 송신기와 수신기를 구성하는데 배치방식에 따라 용도가 달라진다. 송신기와 수신기를 마주보도록 배치하여 원격제어를 용도로 사용하기도 하며, 송신기와 수신기를 나란히 옆에 배치하여 거리측정에 주로 사용되는 반사방식이 있다. 이는 Fig. 15와 같이 송신기로부터 발사된 펄스상의 초음파가 검출하고자 하는 물체에서 반사되어 되돌아오는 것을 수신기에서 검출하고 이때 걸린 시간을 계측하여 거리를 검출하는 방식이다[7].

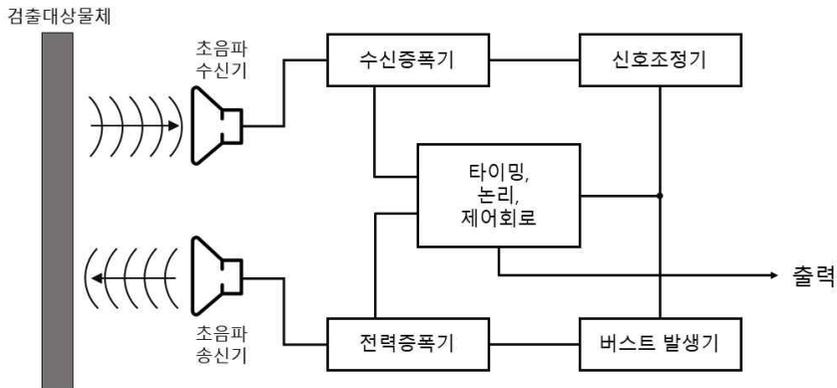


Fig. 15 Detection system of ultrasonic sensor

초음파식 레벨 센서는 이러한 방식을 이용하였다. 이는 탱크 상부에 설치된 초음파 센서에서 초음파펄스를 발사하고, 발사된 펄스가 액체경계면에서 반사되어 센서로 되돌아오는데 걸리는 왕복주행시간으로 레벨을 결정하는 방식이다. 따라서 비접촉식으로 저렴한 가격과 용기 내의 매질이 달라도 교정이 불필요하다는 장점이 있다. 하지만 측정 시, 액체 표면 위에 가스가 있으면 초음파 속도가 달라지는 점과 액체와 센서의 온도차 등을 고려해야 한다.

### 3.4.2 반사식 초음파센서 활용 방안

초음파식 레벨 센서는 액체의 경계면에서 초음파가 반사되는 특징을 활용한 센서이다. 실제로 어느 정도의 정확성과 신뢰성을 갖고, 액체 표면을 감지 할 수 있는지 간단한 실험을 통해 확인하였다.

실험에서 사용한 초음파 센서는 HC-SR04이며, 실험은 Fig. 16과 같이 진행하였다. 센서의 위치에서 수조바닥까지의 거리를 C라고 하고, 수면까지의 거리를 A라고 정의하였다. 따라서 C의 값과 A의 값의 차이를 통해 액체의 레벨을 알 수 있다. 먼저 실험대에서 수조바닥까지의 거리인 C를 먼저 측정하였다. 측정된 값은 Fig. 17과 같다. C의 값은 비어있는 수조 바닥까지의 거리이며, 평균 68.96 cm로 측정되었다. 그 후 비어있는 수조에 물을 넣을 때 수면의 움직임이 발생하므로 값의 변동이 일시적으로 심하게 나타났다. 하지만 수면의 움직임이

멈춘 후 센서에서 수면까지의 거리인 A의 값이 Fig. 18과 같이 안정적으로 측정되었으며, 평균 66.97 cm로 나타났다. 따라서 C의 값과 A의 값의 차이인 B는 약 3.22 cm로 계산된다. Table 3을 보면 측정된 값의 최댓값과 최솟값에서 약간의 오차가 발생하지만 실제 물리적인 값과 비교하였을 때, 전체적인 값에서는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

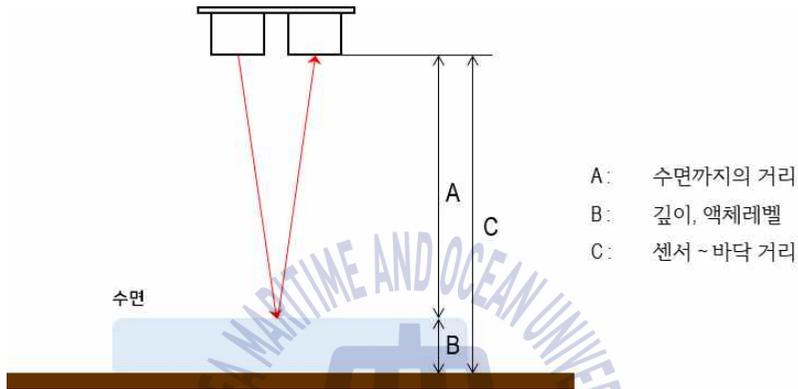


Fig. 16 Experimental concept map of ultrasonic sensor

```

COM3 (Arduino/Genuino Uno)
Duration : 3970 Distance : 68.21[cm]
Duration : 3994 Distance : 68.63[cm]
Duration : 3994 Distance : 68.63[cm]
Duration : 4037 Distance : 69.36[cm]
Duration : 3988 Distance : 68.52[cm]
Duration : 3989 Distance : 68.54[cm]
Duration : 4033 Distance : 69.30[cm]
Duration : 3961 Distance : 68.06[cm]
Duration : 3987 Distance : 68.51[cm]
Duration : 4033 Distance : 69.30[cm]
Duration : 3964 Distance : 68.11[cm]
Duration : 4033 Distance : 69.30[cm]
Duration : 4035 Distance : 69.33[cm]
Duration : 4009 Distance : 68.88[cm]
Duration : 4032 Distance : 69.28[cm]
Duration : 4033 Distance : 69.30[cm]
Duration : 3986 Distance : 68.49[cm]
Duration : 4009 Distance : 68.88[cm]
Duration : 4008 Distance : 68.87[cm]
Duration : 3987 Distance : 68.51[cm]
Duration : 4010 Distance : 68.90[cm]
Duration : 4009 Distance : 68.88[cm]
Duration : 4033 Distance : 69.30[cm]
Duration : 4032 Distance : 69.28[cm]

```

Fig. 17 Measurement of the distance to the bottom of an empty tank

```

COM3 (Arduino/Genuino Uno)
Duration : 3390 Distance : 58.25[cm]
Duration : 3407 Distance : 58.54[cm]
Duration : 3153 Distance : 54.18[cm]
Duration : 2643 Distance : 45.41[cm]
Duration : 2936 Distance : 50.45[cm]
Duration : 3926 Distance : 67.46[cm]
Duration : 3940 Distance : 67.70[cm]
Duration : 3939 Distance : 67.68[cm]
Duration : 3900 Distance : 67.01[cm]
Duration : 3911 Distance : 67.20[cm]
Duration : 3914 Distance : 67.25[cm]
Duration : 3924 Distance : 67.42[cm]
Duration : 3929 Distance : 67.51[cm]
Duration : 3888 Distance : 66.80[cm]
Duration : 3930 Distance : 67.53[cm]
Duration : 3889 Distance : 66.82[cm]
Duration : 3889 Distance : 66.82[cm]
Duration : 3907 Distance : 67.13[cm]
Duration : 3892 Distance : 66.87[cm]
Duration : 3901 Distance : 67.03[cm]
Duration : 3883 Distance : 63.28[cm]
Duration : 3891 Distance : 66.86[cm]
Duration : 3893 Distance : 66.89[cm]
Duration : 3904 Distance : 67.09[cm]
Duration : 3893 Distance : 66.89[cm]
Duration : 3896 Distance : 66.94[cm]
수조에 물을 넣을 때
Distance : 58.25[cm]
Distance : 58.54[cm]
Distance : 54.18[cm]
Distance : 45.41[cm]
Distance : 50.45[cm]

```

Fig. 18 Measurement of the distance to the surface of the water

Table 3 Measurement values of the ultrasonic sensor

구분	최댓값 [cm]	최솟값 [cm]	평균값 [cm]
C	69.36	68.06	68.96
A	67.70	63.28	66.97
B = C - A	6.08	1.66	3.22
실제 액체레벨	3.2 cm		
실제 수조바닥거리	69 cm		

이와 같은 침수확인 방법으로 실제 초음파센서를 사용한 제품을 찾을 수 있었으며, 이는 미국 EMERSON Electric사의 ROSEMOUNT 3101, 3107모델로서 초음파 레벨측정기술로 처리시설의 용수나 폐수 등의 탱크 내 액체의 레벨을 측정하여 탱크 수위 모니터링을 하는 용도로 사용된다.

이 제품의 측정원리는 아래의 그림과 같이 센서에서 탱크의 바닥까지의 거리가 A라고 하고 탱크의 가장 상부에 설치된 초음파 레벨 트랜스미터에서 초음파를 송신하고 수면에서 초음파는 반사되어 다시 되돌아간다. 이때 트랜스미터

에서부터 수면까지의 거리인 B를 알 수 있다. 따라서 탱크 내 액체의 레벨은 A에서 B를 감한 값인  $A - B = C$  로 계산할 수 있다[15].



Fig. 19 ROSEMOUNT 3101

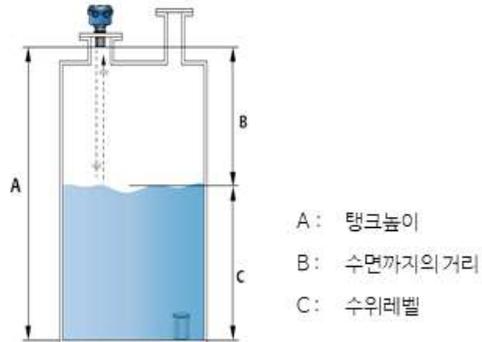


Fig. 20 Measurement of the ROSEMOUNT 3101

이러한 원리를 이용하여 복합성 센서의 초음파센서를 이용하여 설치되는 공간의 천장에서 바닥의 침수 유무를 판별하는 것이 가능하다.

### 3.5 UART

UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)통신은 병렬데이터의 형태를 직렬 방식으로 전환하여 데이터를 전송하는 방식이다. 일반적으로 RS-232, RS-422, RS-485와 같은 통신 표준과 함께 사용한다. 또한, UART 통신은 단 2개의 선로를 이용하여 데이터 송수신이 가능하다는 장점이 있다. Fig. 21을 보면 송신측은 TX에서 수신측의 RX로 데이터를 전달하는 것을 볼 수 있다.

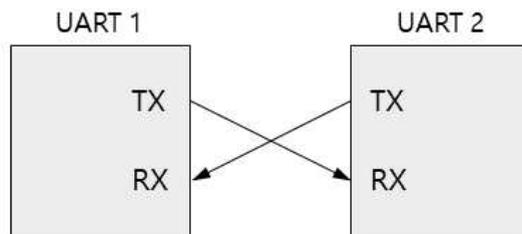


Fig. 21 UART communication

UART 통신은 비동기식의 방식이므로 송신UART에서 수신UART로 데이터를 전송할 때, 비트 출력을 동기화하는 클럭 신호가 없다. 따라서 클럭 신호 대신 전송하고자 하는 데이터패킷에 시작과 정지를 알리는 비트를 추가하여, 데이터 패킷의 시작과 끝을 정의한다. 정의된 패킷이 송신되고 수신UART가 시작비트를 감지하면, 보 레이트에서 송신되는 비트를 읽기 시작한다. 이때, 보 레이트는 1초당 데이터가 변조되는 비율이며, 전송속도는 초당 비트 수로 나타낸다. 따라서 두 UART는 데이터통신을 위해 거의 동일한 보 레이트에서 작동해야한다.

UART 통신의 데이터송수신 패킷에서 가장 먼저 배치되는 시작비트는 통신의 시작을 의미하며, 전송선로를 한 클럭 주기 동안 high에서 low로 표현한다. 그리고 수신측에서 이러한 변화를 감지하면 데이터프레임의 비트를 읽기 시작한다. 그 후 5 ~ 8 bit의 데이터를 전송하며, 패리티비트에서 오류검증을 위한 패리티 값을 생성하여 송신하고, 수신측에서 오류를 판단한다. 일반적으로 패리티 값은 사용하지 않거나 짝수 혹은 홀수로 설정한다. 마지막으로 정지비트에서 통신종료를 알리고, low에서 high로 나타낸다. Fig. 22는 일반적인 UART 패킷의 기본구성으로 8 bit의 데이터와 패리티 없음, 정지비트이다[16]. UART 통신은 최대 8비트의 데이터프레임으로 제한되며, 여러 개의 슬레이브 혹은 다중 마스터 시스템을 지원하지 않는 단점이 있지만 2개의 선로만을 이용하고 별도의 클럭 신호 없이 데이터통신이 가능한 간단한 구조되어 있기 때문에 널리 사용된다.

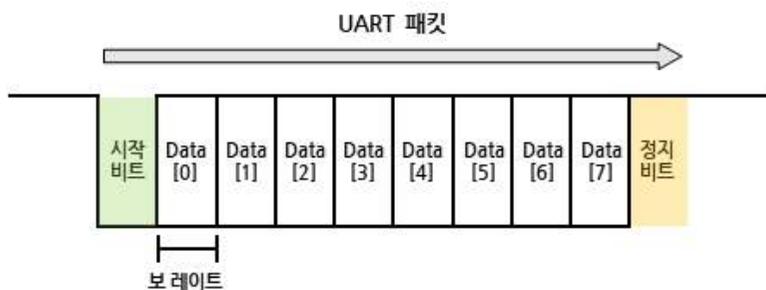


Fig. 22 UART communication data transmission

### 3.6 NMEA0183

각 센서에서 감지된 측정값들은 선교로 모든 정보를 전달해야하며, 이는 NMEA0183 통신으로 제공한다.

NMEA(National Marine Electronics Association)는 미국선박전자협회로서 1980년대 NMEA0183표준으로 널리 알려져 있다. NMEA는 NMEA0180/0182(1200 bps)로 선박의 자동조타시스템을 위한 위치/조타 정보에 관한 선박 인터페이스 표준을 세계 최초로 규정하였으며, 그 후 NMEA0183(4800 bps)으로 모든 선박장비들을 위한 시리얼 데이터통신 프로토콜을 정의하고, 많은 항해장치가 NMEA 0183을 표준 출력장치로 채택함으로써 널리 알려지게 되었다. 이는 IEC 61162-1로 국제 표준화되어 있다[17][18].

IEC 61162-1/-2는 single talker and multiple listener를 지원하며, 이를 물리적으로는 RS-422 시리얼 인터페이스를 사용하고 있다. IEC 61162-1과 -2는 제공하는 대역폭의 차이를 가지고 있는데 IEC 61162-1은 NMEA0183으로 4800 bps의 보 레이트를 지원하고 있으며, IEC 61162-2는 NMEA0183HS로 38,400 bps의 보 레이트를 지원한다.

IEC 61162-1/-2는 ASCII형태로 NMEA0183의 센텐스를 교환한다. 하나의 센텐스가 가질 수 있는 최대문자 수는 82개이며, 전송주기는 최소 1초에 하나 이하로 제한하고 있다. Table 4는 NMEA0183의 센텐스 형식이다[19].

NMEA0183는 일반적으로 항해장비에서 필요한 시간간격으로 정의된 센텐스인 데이터포맷으로 정보를 발신하고, 이 정보를 필요로 하는 시스템은 정보를 수신하여 표시하면 되는 구조로 간단하게 활용할 수 있어 폭넓게 활용되고 있는 보편적인 기술이다. 최근에는 VDR(Voyage Data Recorder)에 각종 항해 장비로부터의 정보를 기록하게 됨으로써 더욱 광범위하게 활용되고 있다.

따라서 복합성 센서는 각 센서의 측정된 값을 NMEA0183의 센텐스 형식에 맞춰 변환하고 최종적인 출력을 수행하도록 한다.

Table 4 NMEA0183 sentence

\$	AACCC	,	C--C	*hh	<CR><LF>
0	1	2	3	4	6

0	센텐스 시작
1	주소영역 AA : Talker(ID) CCC : 프로토콜에 대한 데이터 종류 & string 포맷
2	구획 문자
3	데이터 영역
5	Checksum 영역
6	센텐스 종료



## 제 4 장 복합성 센서 설계

### 4.1 센서 별 기능 설계

본 논문에서 제시하는 복합성 센서는 Fig. 23과 같이 화재감지와 기울기감지, 침수감지 그리고 중앙처리장치, SMPS(Switched Mode Power Supply)로 구성된다. 본 장은 각 기능별로 분류하여 상세설계내용을 서술하였다.



Fig. 23 Diagram of the complexity sensor

#### 4.1.1 화재 감지

복합성 센서에 설치될 화재 감지부는 연소 초기에 발생하는 불꽃을 감지하는 자외선 센서와 온도 변화를 측정하는 RTD온도센서를 사용한다.

먼저 자외선 센서는 3.1에서 언급했던 불꽃자외선감지기의 광전관인 UVtron 소자를 이용하여 불꽃에 해당하는 파장에만 반응하여 검출이 가능하다. 해당 파장은 185 nm ~ 260 nm의 좁은 분광감도를 가지므로 약 300 nm이상의 파장을 가지는 자연적 요소인 가시광선(햇빛)이나 번개의 파장대역과 구별되는 알 수 있다. 따라서 이는 햇빛 노출에 의해 불꽃으로 오인되는 것을 방지하는 것이 가능하다.

UVtron소자는 ANODE와 CATHODE로 두 개의 극이 있으며, 소자의 수직적인

평면과 수평적 평면에 따른 감지감도 (지향성)은 Fig. 24와 같다[20]. 두 개의 평면에 대하여 넓은 감지감도를 가지므로 안정적이고 빠른 감지에 유리하다.

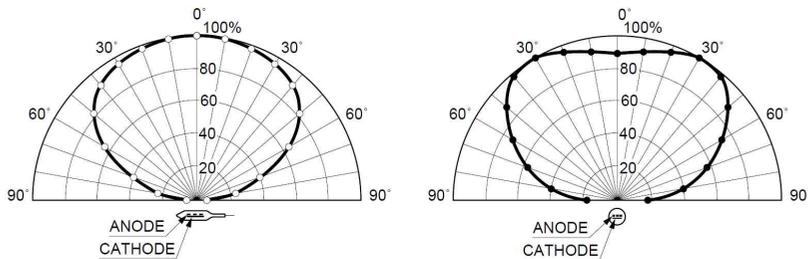


Fig. 24 UVtron angular sensitivity (directivity)

불꽃감지와 함께 화재발생여부를 판단하고 온도변화에 대한 모니터링을 위해 RTD 센서를 사용하였다. 사용하는 RTD 센서의 프로브는 5 cm로 소형화할 수 있으며, 측정이 가능 한 온도범위는 0 ~ 400℃ 이다.

두 센서의 데이터는 중앙처리장치로 전달되어 화재에 대한 요소를 분석하고 판단하는데 몇 가지 조건들이 필요하다. Fig. 25의 순서화된 알고리즘을 거쳐 화재감지에 대한 메시지를 생성하고 출력한다. 가장 먼저 연소 시 최초로 발생하는 불꽃의 감지를 수행한다. 해당하는 과장대역에서 UVtron소자가 반응할 경우 측정된 온도 값을 확인한다. 온도의 변화가 정상시의 온도보다 현저하게 차이가 발생하는 20℃ 이상 증가했을 경우 화재발생으로 인식하여 화재가 발생하였음을 출력한다. 이때, 20℃의 온도 차이 값은 3.1에서 언급한 열 감지기 중 정온식 스폿형 감지기의 원리를 따른 것으로, 이는 주위의 온도가 정상시의 최고온도보다 일정한 온도 값으로 높을 경우 화재감지로 동작하도록 규정되어있다. 처음 단계인 과장감지에서 UVtron소자가 감지반응이 없을 경우 두 번째 단계인 온도 측정값을 확인한다. 온도변화유무에 따라 화재를 의심하는 단계와 화재가 발생하지 않은 단계로 구분한다.

2.2에서 언급된 선박 소방 설비에 의하면 총톤수에 따라 필수적인 소화 장치 요소의 설치유무에 차이가 있다. 하지만 총톤수 500톤 미만의 선박에도 소화기는 필수적인 설치를 규정하고 있으며, 사고발생시 육상으로의 화재신고 및 구

조요청을 할 뿐만 아니라 동시에 소화기를 이용한 직접적인 사고대응이 우선적으로 요구된다. 따라서 복합성 센서의 화재감지기능을 통해 화재가 발생했다고 판단될 경우 선교에서는 즉시 대응하는 것이 가능해지고 온도변화에 의한 화재 발생의심의 단계에서도 승무원의 직접적인 확인을 유도할 수 있으며, 사고를 유발할 수 있는 상황에 대한 조치를 취하는 것이 가능하다.



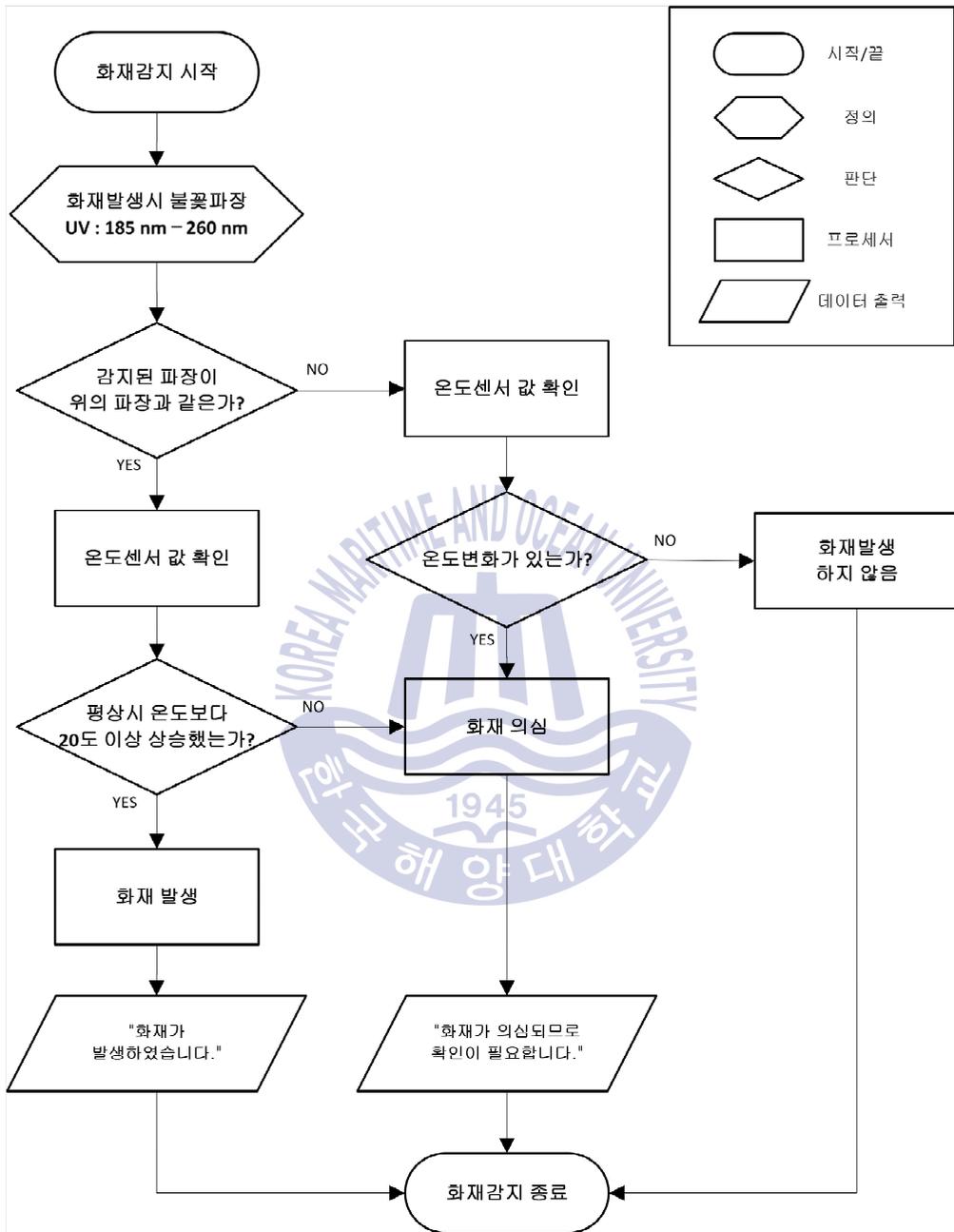


Fig. 25 Algorithm of the fire detection

#### 4.1.2 기울기 감지

본 논문의 복합성 센서에서 기울기를 측정하는 MEMS 센서로 InvenSense사의 MPU-9250를 사용하였다. 3축 자이로스코프와 3축 가속도계, 3축 자력계가 있으며, I2C 및 SPI통신의 인터페이스가 가능하다. MPU-9250의 상세사양은 Table 5와 같다.

Table 5 MPU-9250 specifications

구분	내용	단위	
Gyroscope	측정범위	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$	$^{\circ} / s$
	정밀도	131, 65.5, 32.8, 16.4	$LSB / (^{\circ} / s)$
	오차	0.01	$^{\circ} / s / \sqrt{HZ}$
Accelerometer	측정범위	$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$	g
	정밀도	16384, 8192, 4096, 2048	$LSB / g$
동작전압	2.4 V ~ 3.6 V	-	
통신방식	I2C, SPI	-	

복합성 센서는 선박의 운동에서 대표적으로 roll운동과 pitch운동을 측정한다. roll운동에서 횡경사각을 측정하여 횡요주기(roll period)와 횡요진폭(roll amplitude)를 도출한다. Fig. 26은 각 요소들을 보여준다. 횡요주기는 roll운동이 선박의 좌현과 우현으로 한번 왕복 운동하는 데 걸리는 시간이며, 횡요진폭은 각 주기에서 가장 크게 측정된 횡경사각의 크기를 나타낸다[21]. 이들 모두 선박의 안정성과 밀접한 연계성을 가진다.

먼저, 센서의 3축의 중심에 선박을 고정하여 Fig. 27과 같이 응용하였다. 각 운동을 x, y, z축으로 나타내야 하므로, roll운동은 x축에 고정되어 y축, z축에 방위 및 움직임에 대한 변화가 발생한다. 또한, pitch운동은 y축에 고정되어 x축, z축에 변화를 일으킨다.

따라서 횡경사각은 이러한 원리로 선박의 두 측면 좌현과 우현에 대한 경사각을 측정한다. 측정된 횡경사각은 시간에 따라 주기를 갖는 사인과 형태로 나

타낼 수 있다. 횡요주기는 횡경사각의 최댓값에서 다음 최댓값까지의 시간으로 정의할 수 있으므로 Fig. 28과 같이 도출된다.

MEMS 센서의 측정값으로는 기울기의 변화가 양(+)의 값에서 음(-)의 값으로 바뀌거나 반대로 음의 값에서 양의 값으로 변할 때까지의 시간의 합을 횡요주기로 정의할 수 있다. 그리고 이 값은 수시로 변하는 roll운동에 따라 계속 업데이트되어야 한다.

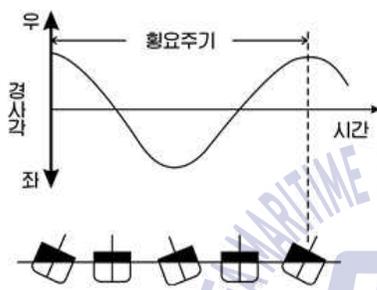


Fig. 26 Roll period & heel angle

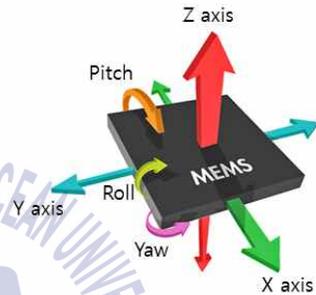


Fig. 27 Application of MEMS sensor

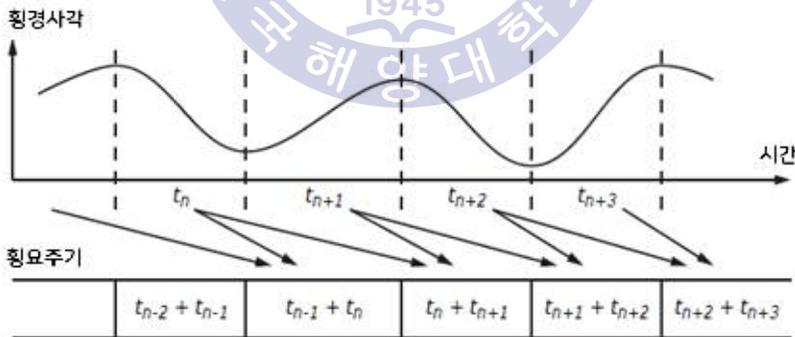


Fig. 28 Heel angle and roll period

횡요진폭은 Fig. 29와 같이 지속적으로 측정된 횡경사각 값에서 최댓값을 나타낸다. 따라서 이 값은 선박의 움직임에 대한 히스토리를 알 수 있는 지표이며, 선박의 움직임에 따라 값은 계속 변할 수 있다.

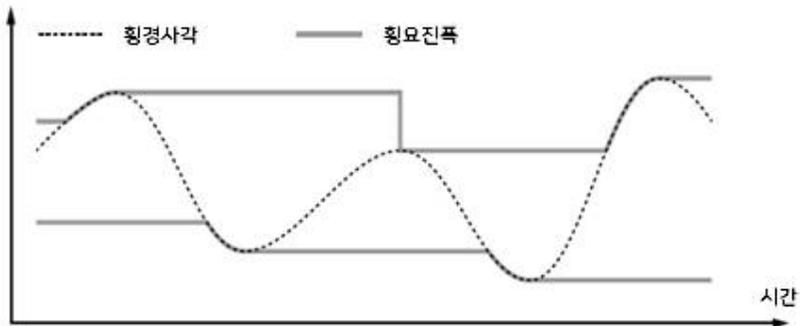


Fig. 29 Heel angle and roll amplitude

기울기를 측정하기 위한 MEMS 센서는 측정범위를 3축을 기준으로 정의하여 제한할 필요가 있다. 대표적으로 ISO19697 표준에서는 전자식 경사계에 대한 요구 성능을 Table 6과 같이 제시하고 있다. roll운동과 pitch운동에 대한 측정범위를 최대 90°로 제한하고 있는데, 이는 측정값이 90°를 초과한 선박은 이미 복원성을 상실한 것으로 보기 때문이다. 마찬가지로 횡요주기 값도 최대 40초로 정의하여 선박의 안정성 범위를 제한하고 있다. 이를 바탕으로 선박의 기울기에 대한 측정범위를 정의함으로써 안정성에 대한 효율적인 지표를 나타낼 수 있다[22].

Table 6 Requirements of the measurement range for Inclinator

선박의 운동	측정값		측정범위
Roll 운동	횡경사각		$\pm 90^\circ$
	횡요주기		4~40 s
	횡요진폭	좌현	$\pm 90^\circ$
우현		$\pm 90^\circ$	
Pitch 운동	종경사각		$\pm 90^\circ$

최종적으로 MEMS 센서를 통해 횡경사각, 종경사각(pitch angle) 값을 측정하고 이를 중앙처리장치로 전달하여 나머지 횡요주기, 횡요진폭 값을 연산하여 도출된 값을 선교에 전달함으로써 선박 전체의 상황을 파악하는 것이 가능하

다.

2.1에서 언급되었던 선박의 안정성에서 선박 고유의 복원력 정보는 정해져 있지만 외부적인 요소로 인해 복원성을 상실할 수 있으며, 이때의 위험경사각 범위는 선박의 적하상태와 기상상태 등의 외적요인으로 결정된다. 따라서 선교에서 선장은 각 선박에 대하여 전문성을 가지므로 제공된 선박의 운동요소를 반영한 측정범위 내 위험경사각의 범위를 정하고, 기울기감지에서 이를 초과할 경우 위험을 알리는 것이 가능하다.

### 4.1.3 침수 감지

침수 감지는 초음파 센서를 이용한 레벨측위방식을 활용하였다. 레벨측위방식에 대한 내용은 3.4에 서술하였다. 초음파 센서는 DYP-ME007TX를 사용하였으며, 상세사양은 Table 7과 같다.

Table 7 DYP-ME007TX specifications

구분	내용
감지범위	3 cm ~ 400 cm
지향각	30°
초음파 주파수	40 kHz
분해능	1 cm

초음파 센서의 감지범위는 빔 패턴으로 나타내는데 이를 통해 센서의 일반적인 작동범위와 최대감지범위를 알 수 있다. 해당하는 초음파 센서는 30도의 지향각을 가지므로 넓은 범위에서 감지가 가능하다.

초음파가 액체의 경계면에서 반사되는 특징을 이용하여 레벨측정방식으로 활용하는데 있어서 정확한 측정을 위해 설치 시 고려할 사항이 있다. 고려사항은 Fig. 30과 같다. 먼저, 설치되는 센서는 바닥과 수직되게 설치되어 거리측정을 할 때 정확한 값이 도출될 수 있도록 해야 한다. 지향각으로 30도를 가지므로 센서가 위치하는 곳을 기준으로 벽 혹은 장애물에 근접하지 않도록 최소 1 m

정도가 떨어지게 설치하여 반사체를 오인하지 않도록 해야 한다.

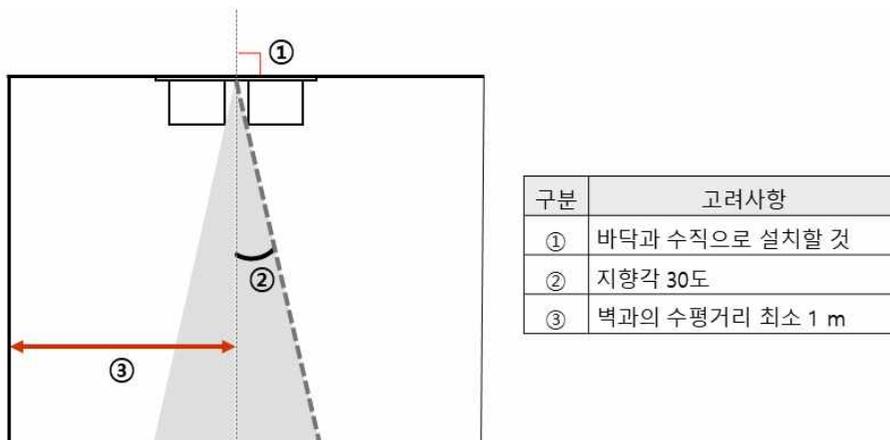


Fig. 30 Pre-installation considerations

센서가 설치된 위치에서 수직되는 바닥까지의 거리를 측정하고, 이전에 측정된 거리 값에서 크게 감소되거나 지속적으로 감소될 경우 이는 센서 아래에 침수가 발생한 것으로 추측할 수 있다. 하지만 측정되는 거리의 값이 순간적으로 감소될 경우 센서의 바로 아래에 장애물이 생겼을 가능성이 높기 때문에 침수가 발생하였다고 판단할 수 없다. 따라서 침수유무 확인에서 중요한 요소는 센서에서 바닥까지의 거리 값과 감소된 거리 값이며, 감소된 거리 값은 수위의 레벨 값을 뜻하고 지속적인 감소가 발생하여야 한다.

감소된 거리 값을 출력할 때는 2초전의 출력 값에서 감소된 정도를 출력하는 것이 아니라 측정된 거리의 최댓값에서 감소된 정도의 값을 출력한다.

#### 4.1.4 중앙처리장치

최종적으로 중앙처리장치는 센서에서 전송된 정보들을 수집하여 NMEA0183 포맷으로 변환하고 선교에서 원활한 모니터링이 가능하도록 데이터를 전달하는 역할이다.

본 논문에서 사용하는 마이크로프로세서는 STMicroelectronics사의 STM32F410CBU6 모델로 ARM의 Cortex-M4를 기반으로 한 고성능의 프로세서로서 상세

사양은 Table 8과 같다. 디지털 신호 제어에 있어 우수성 성능을 지원하므로 복합성 센서의 중앙처리장치로서 안정적이고, 신속하게 데이터 처리가 가능하다.

**Table 8** STM32F410 series specifications

STM32F410 상세사양	
코어	ARM 32bit Cortex M4
주파수 대역	100 MHz
플래시 메모리	128 KB
데이터 RAM 크기	32 KB
ADC 분해능	12 bit
I/O 수	36 I/O
운용 전압	1.7 ~ 3.6 V
운용 온도	-40°C ~ +85°C
인터페이스 형식	I2C, SPI/I2S, USART

이 마이크로프로세서를 사용하여 중앙처리장치를 설계하였다. 이 장치는 각 센서에서 수집한 데이터를 기능에 맞게 필요한 값으로 연산처리 및 데이터 처리한 후 선내통신에서 주로 사용되는 NMEA0183으로 변환하여 최종 출력한다. 따라서 이 장치는 전원부의 입력단과 4가지의 센서 정보를 수신하는 4개의 채널로 단자대를 Fig. 31과 같이 구성하였으며, 최종 출력포트를 통해 NMEA0183 포맷의 데이터 확인이 가능하다. 입출력 단자대양단의 LED는 중앙처리장치의 상태표시로 좌측의 적색LED는 전원입력을, 녹색LED는 데이터의 입출력을 나타낸다.

최종 데이터출력 형태는 5장의 실험내용에서 서술하였다.

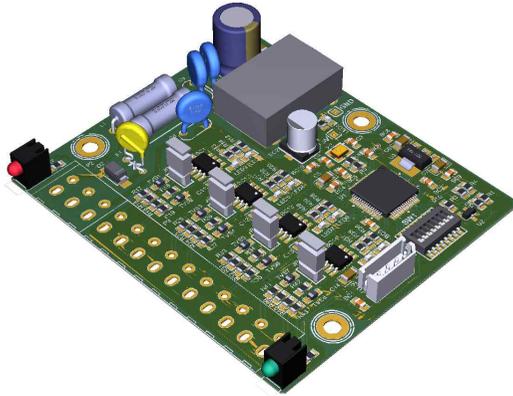


Fig. 31 Main processing unit

## 4.2 복합성 센서 설계

본 논문의 복합성 센서는 4개의 센서를 기반으로 하여 Fig. 32와 같이 화재 및 기울기, 침수 감지를 수행하고, 감지된 정보들을 중앙처리장치에서 수집하여 연산처리를 수행한 후 NMEA0183 프로토콜로 최종적인 출력을 한다. 이때, 전원부는 중앙처리장치와 각 센서에 전압을 제공하여 안정적인 동작을 하도록 한다.

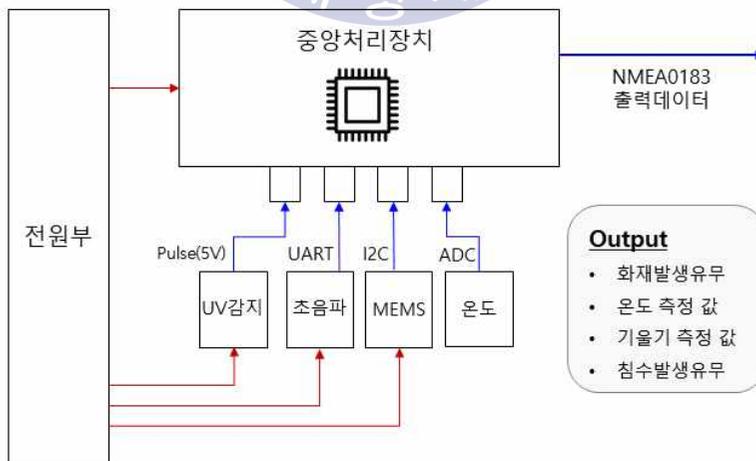


Fig. 32 Block diagram of complexity sensor system

## 제 5 장 복합성 센서 구현 및 실험

### 5.1 복합성 센서 구현

4장에서 설계된 내용을 바탕으로 복합성 센서의 테스트 베드를 Fig. 33과 같이 구현하였다. 복합성 센서는 전원장치와 복합성 센서, 중앙처리장치로 구성된다. 전원장치는 SMPS를 사용하였으며, 이는 상용 AC전원을 이용한 전원 공급 장치로서 고효율성과 내구성이 좋으며 소형화 및 경량화에 매우 유리함을 가지는 장점이 있다. 전원장치에서 중앙처리장치와 각 센서에 전원을 공급하고 복합성 센서는 감지한 데이터를 중앙처리장치로 전달한다.

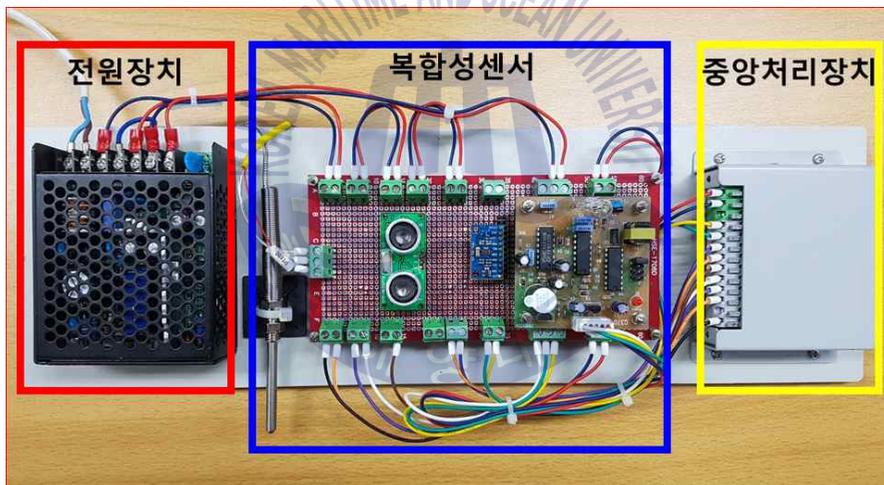


Fig. 33 Implementation of complexity sensor

실험환경은 Fig. 34와 같이 고정된 높이에 복합성 센서를 바닥을 기준으로 수직되게 고정하였으며, 고정된 센서 아래의 환경에서 발생하는 변화를 원활하게 감지할 수 있도록 구축하였다.

실험은 우선적으로 복합성 센서에서 각 센서들을 독립시켜 중앙처리장치에 수집된 데이터를 NMEA0183 프로토콜 포맷의 출력을 확인하였고 그 후 실험환경에 변화를 주어 불꽃감지여부, 온도측정 값, 기울기측정 값, 침수유무에 대한

출력을 확인하였다. NMEA0183는 국제 표준으로 4,800 bps가 일반적이지만 본 논문의 실험에서는 NMEA0183HS 통신이며, 38,400 bps로 설정하여 직렬통신을 진행하였다.

## 5.2 실험방법

복합성 센서는 소형선박 내 무인 기관실과 같이 사람이 직접 확인할 수 없는 곳에 설치되어 사고발생과 변화를 감지한다. 따라서 천장과 같이 높은 곳에 설치되어 센서의 아래 공간에서 전반적인 감지가 가능해야 한다.

실험개념도는 Fig. 35이며, 설계된 복합성 센서는 고정대에 설치되고, AC전원 공급을 받는다. 이때, 고정대의 높이는 약 178 cm이다. 고정된 높이에서 복합성 센서의 불꽃의 유무, 온도측정 및 수조를 통한 침수유무를 감지한다. 침수유무 판단을 위한 수조는 물의 높이 9 cm로 진행하였다. 기울기 감지의 경우 고정된 상태로는 실험이 불가능하므로 고정대에서 분리하여 임의로 회전운동을 가하여 실험을 진행하였다.



**Fig. 34** Experiment of the complexity sensor

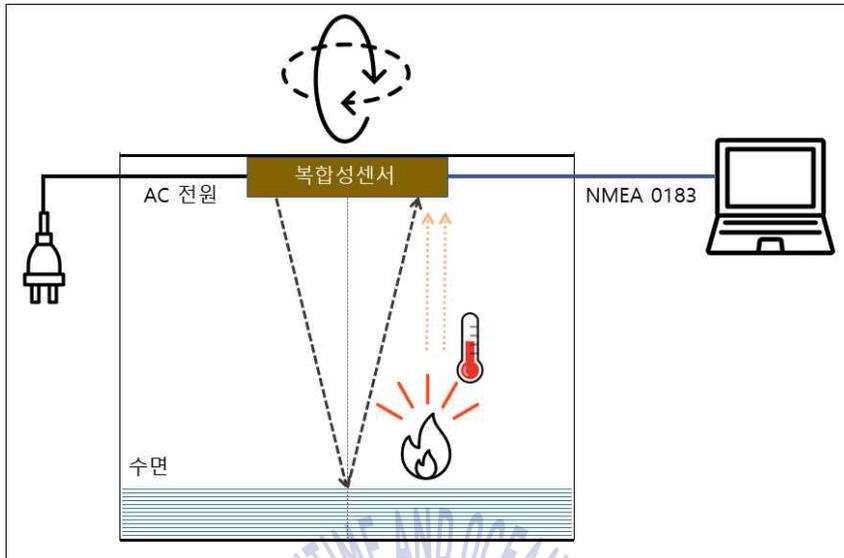


Fig. 35 Experiment concept diagram of the complexity sensor

### 5.3 실험결과

복합성 센서의 화재 판단은 불꽃감지와 온도측정을 통해 Table 9에 따라 수행하였으며, 불꽃발생여부에 따른 온도변화를 주어 해당하는 데이터 출력 프로토콜을 기반으로 분석하여 실험을 진행하였다.

Table 9 Fire judgement data

화재판단		
구분	온도변화 없음	온도변화 발생
불꽃감지○	“화재 의심”	“화재 발생”
불꽃감지X	“화재 발생하지 않음”	“화재 의심”

Fig. 36에서 Uvtron과 온도 센서는 감지를 수행하고 2초에 한번 데이터를 출력하며, 출력프로토콜의 첫 번째 필드에서는 불꽃감지여부를 나타냄으로써 16 bit의 데이터에서 가장 앞의 비트에 감지될 경우 1로, 감지되지 않을 경우 0으로 구분하여 이를 16진수로 표현된다. 두 번째 필드는 온도센서 값을 나타내며,

소수점 첫째 자리까지의 온도 측정값이 출력된다.

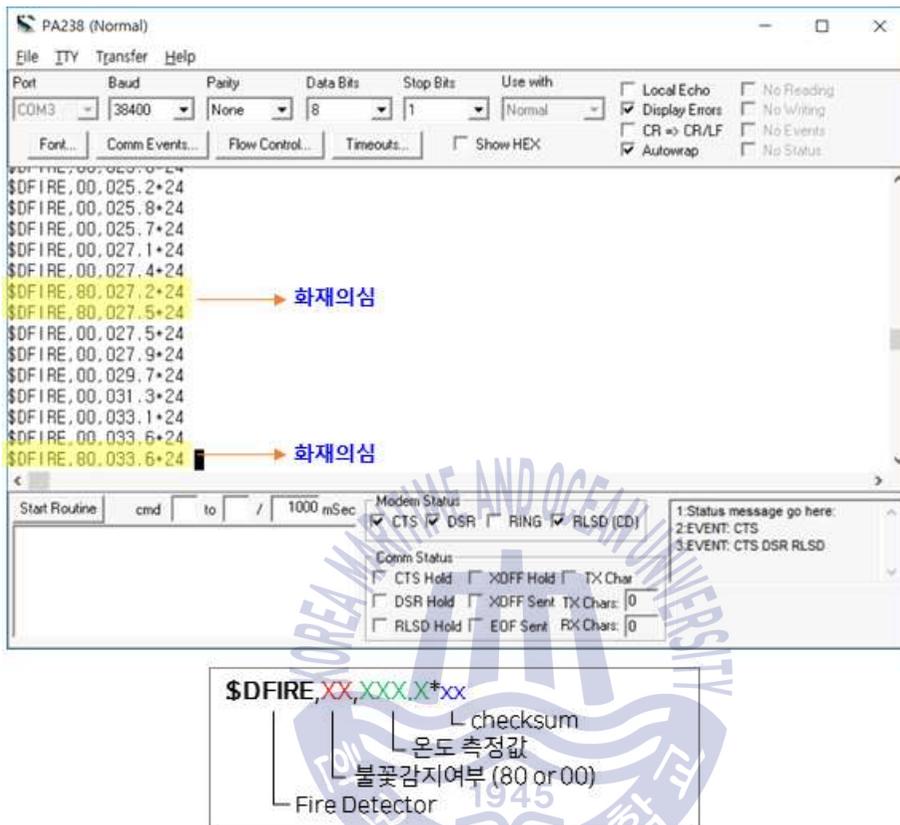


Fig. 36 Output protocol of the fire detection

MEMS 센서에 대한 실험은 고정된 상태로는 기울기 측정이 불가능하므로 고정대에서 분리하여 임의로 움직여 진행하였다.

MEMS 센서의 기울기감지는 횡경사각, 횡요주기, 횡요진폭, 종경사각의 4가지 값이 출력된다. 출력 값에 대한 내용은 4장의 설계내용에서 서술하였다. 횡경사각과 종경사각의 경우 선박의 좌현과 우현의 두 방향에 대한 경사각을 나타내므로 양(+)의 값, 음(-)의 값으로 표현되고, 이에 대해 각각의 경사각에서 구분할 수 있는 데이터가 추가적으로 필요하다. 따라서 기울기감지 데이터출력 프로토콜은 Fig. 37과 같이 6개의 필드로 구성되어 출력된다. 이때, 각 기울기 값은 소수점 첫째자리까지로 표현된다. 감지된 데이터는 화재판단 데이터출력과 마찬가지로 2초에 한번 출력하며, 이는 원활한 데이터통신과 횡경사각을 감지

함에 있어 효율적인 모니터링이 가능하다.

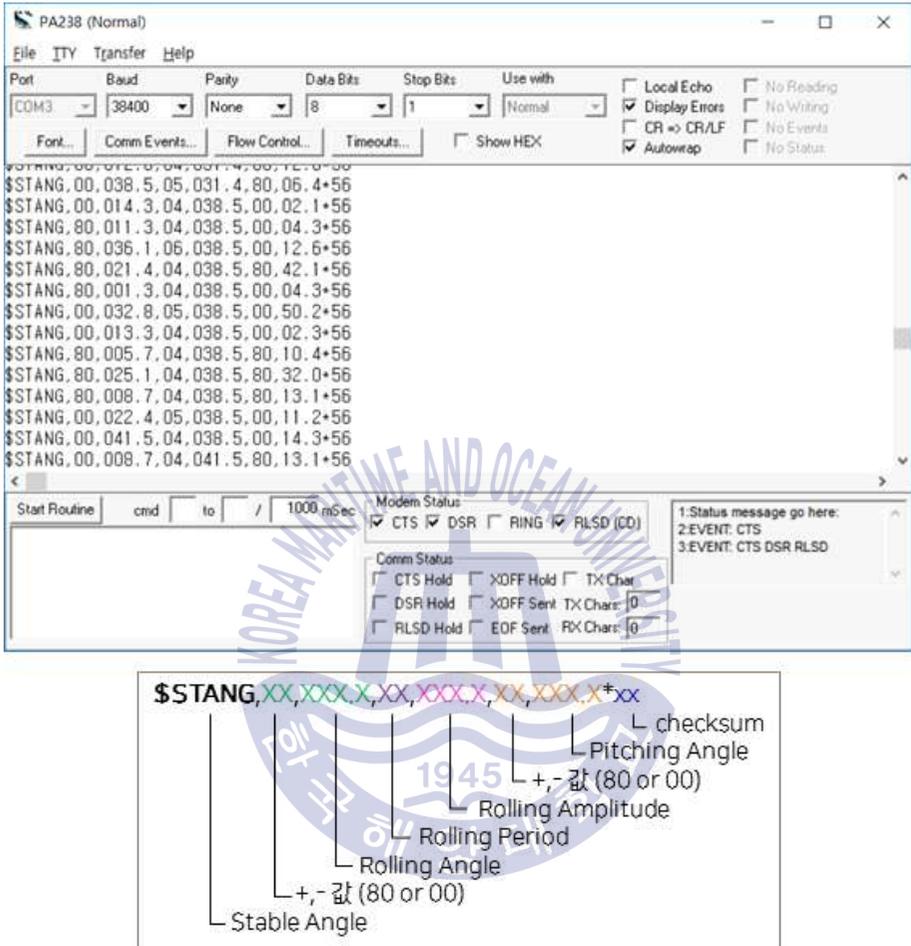


Fig. 37 Output protocol of the rotational motion

침수감지 데이터 프로토콜은 Fig. 38과 같이 출력되었다. 침수감지를 위한 초음파 센서는 설치된 위치에서 바닥까지의 거리를 측정하고, 레벨 센서의 기능을 수행하기 위해 이전에 측정된 거리 값에서 감소된 정도의 값을 출력한다. 초음파 센서의 특성상 측정된 거리의 값이 미세하게 유동적으로 출력되는 현상이 발생하는데 경우에 따라 이전에 측정된 거리 값보다 다음 출력되는 값이 더 크게 측정될 수 있다. 이때는 감소된 거리의 값을 0 cm로 임의 설정하였다. 감소된 거리 값을 출력할 때, 이 두 값은 cm 단위로 소수점 첫째자리까지 표현되

며, 마찬가지로 2초당 한 번씩 데이터가 출력된다.

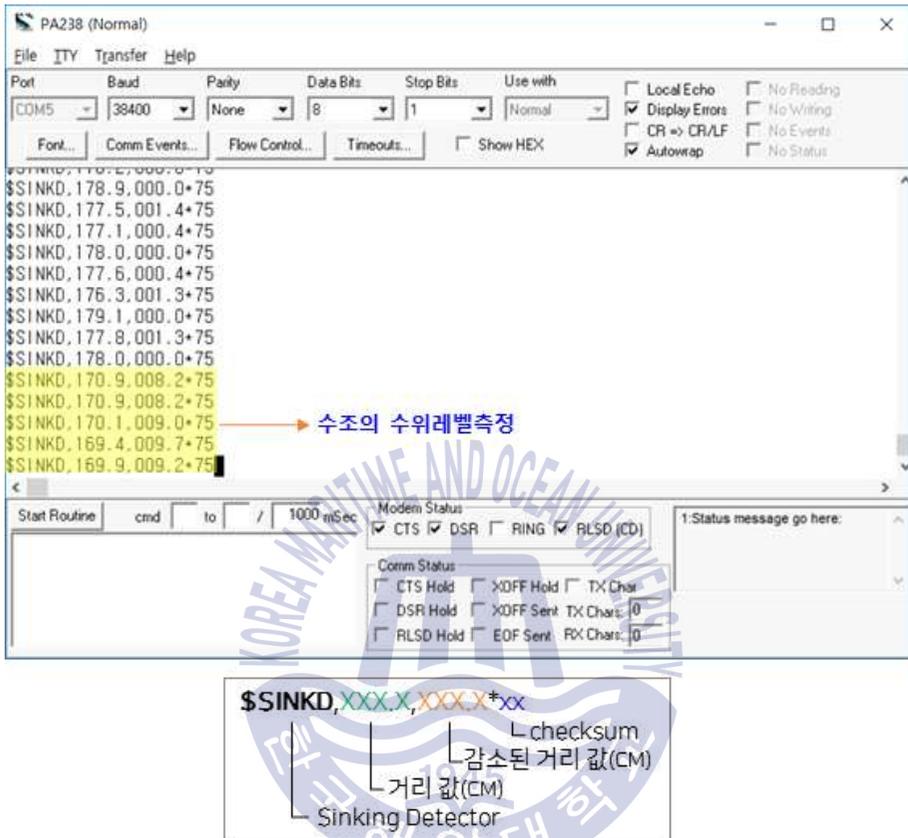


Fig. 38 Output protocol of the flood detection

지금까지 복합성 센서의 각 감지기능을 독립적으로 분리한 데이터출력 프로토콜의 형태를 검토하였다. 통합하여 출력된 데이터프로토콜의 형태는 Fig. 39와 같다. 3개의 정의된 프로토콜은 복합성 센서의 중앙처리장치에서 최종적으로 출력된다.

4.1.1에서 화재판단을 통한 사고대응은 승무원의 직접적인 소방이 필요하다고 언급하였다. 따라서 실험을 통한 최종적인 출력은 화재발생과 화재의심을 데이터를 통해 선교에 알리고 사고대응을 유도하는 것에 목적이 있다. 또한, 기울기감지는 4.1.2의 설계내용에서 사용자인 선박의 선장이 위험경사각에 대한 범위를 설정하여 설정된 각도를 기준으로 하여 위험성을 알릴 수 있다. 침수감지는

기관실에서 측정되는 거리 값이 일정시간 이상으로 지속적인 감소가 발생할 경우 수위레벨 값과 침수발생을 알린다.

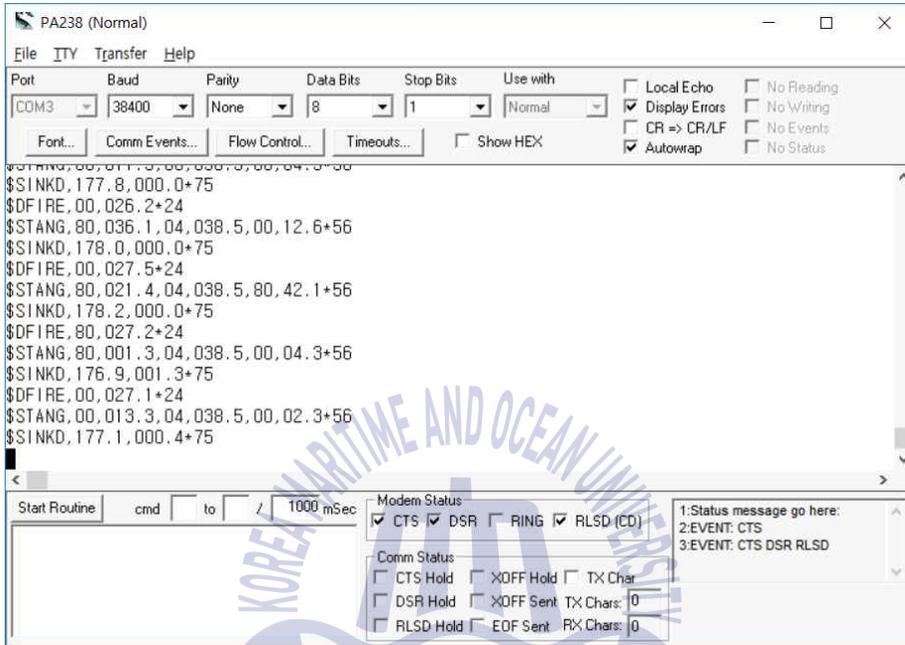


Fig. 39 Output data of the complexity sensor

본 실험에서는 NMEA0183포맷의 데이터출력을 통해 복합성 센서의 감지요소와 측정된 값을 확인 하였다. 하지만 이러한 위험한 상황을 신속하고 정확하게 선교에 알리기 위한 방법으로는 버저와 같은 청각적인 요소를 통해 수행할 수 있으며, 시각적으로 시계성이 우수한 UI를 연동하여 활용할 수 있다.

실험을 통한 최종적 데이터출력 프로토콜을 시계성이 우수한 UI에 출력하여 모니터링이 가능하도록 보완한다면 향후 실제선박에서도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다. Fig. 40은 UI의 예시이며, 출력되는 데이터의 활용방안을 제시하기 위해 첨부하였다. 현재 복합성 센서에서 출력되는 선박의 화재유무와 기울기정보 및 침수유무 판단의 내항성에 대한 이벤트를 모니터링 할 수 있는 공간이 있으며, 선박의 roll, pitch값과 동시에 이미지화된 데이터가 한눈에 쉽게 식별될 수 있도록 구성한다면 활용도를 높일 수 있을 것으로 예상된다.

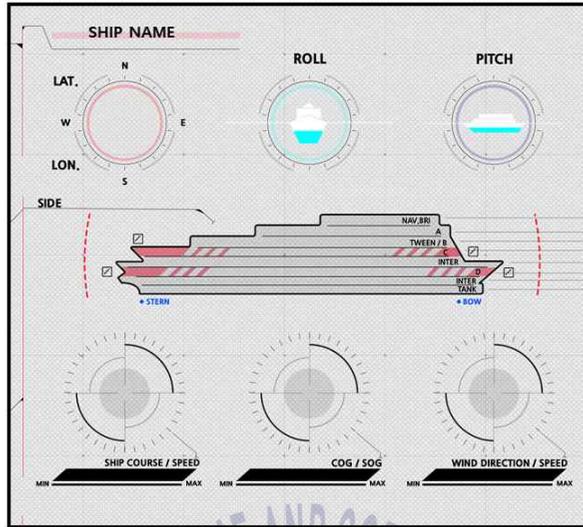


Fig. 40 Example of UI



## 제 6 장 결론

본 논문에서는 소형선박에서 발생하는 해양사고를 초기에 방지하기 위해 전손의 위험이 큰 화재사고와 전복, 좌초 및 침수사고에 대한 감지를 상시에 수행하고 모니터링 할 수 있는 센서로서 화재감지 및 기울기감지, 침수감지의 기능들을 하나의 마이크로프로세서로 구성하고 IEC61162-1,2로 국제 표준화된 선박표준 프로토콜인 NMEA0183으로 데이터를 출력이 가능한 통합적인 복합성 센서를 설계 및 구현하였다.

복합성 센서는 승무원이 적은 소형선박과 무인 기관실에서 화재로 인해 발생한 불꽃의 자외선을 감지하는 자외선 감지센서와 온도변화를 측정하는 온도 센서의 혼용을 통해 화재발생을 신속하게 알 수 있으며, MEMS 관성센서를 이용하여 선박의 움직임을 분석하여 위험경사각을 원격으로 파악할 수 있고 기관실과 같이 선박의 주요한 공간 내부에서 발생할 수 있는 침수사고를 사전에 파악할 수 있도록 초음파센서를 통한 수위레벨측정을 수행한다. 실험을 통해 각 기능별 센서들의 감지결과를 확인할 수 있었으며, 최종적으로 NMEA0183 프로토콜형태로 변환하여 센서에서 선교로 데이터를 전달하므로 모니터링이 가능하다.

복합성 센서는 주된 해양사고원인에 대한 요소들을 사람이 없는 영역에서도 감지하여 선교에서 원활하게 상황을 판단할 수 있도록 함에 목적이 있으며, 실제 소형선박의 환경을 고려하여 소형화에 유리하고 최소한의 전원공급과 설치공간을 요구한다. 또한, 기존의 장비들과 비교하여 비용절감에 있어서 매우 유리하다. 최종적으로 출력되는 NMEA0183 프로토콜을 5.2의 적합한 UI와 연동한다면 시각적으로 신속하게 사고발생유무를 인지할 수 있으며, 초기에 사고대응 가능성을 높여 해양사고를 충분히 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 기존의 선박항해장비에 사용되므로 복합성 센서의 기능에 향해 장비를 연동하여 활용한다면 선박 내의 사고발생유무와 선박의 항행을 하나의 장비로 쉽게 파악하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 해양수산부 중앙해양안전심판원, 2018. *해양사고 현황*, 해양수산부.
- [2] 서울신문, 2014, *어선 화재*. [online] Available at:<http://www.seoul.co.kr/news/seoulPrintNew.php?id=20140726500115> [Accessed 7 June. 2018].
- [3] 김동석, 박지현, 강대선, 손봉세, 2006. 소형선박 기관실화재에 대한 자동소화시스템 개발연구. *한국화재소방학회논문지*, 20(3), pp.96-100
- [4] Ohmynews, 2014, *전북사고*. [online] Available at:[http://www.ohmynews.com/NWS/Web/view/at\\_pg.aspx?CNTN\\_CD=A0002022951](http://www.ohmynews.com/NWS/Web/view/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002022951) [Accessed 7 June. 2018].
- [5] 부산일보, 2014, *전북사고*. [online] Available at:<http://news20.busan.com/controller/newsController.jsp?newsId=20140509000132> [Accessed 7 June. 2018].
- [6] 권수연, 이희준, 2007. 소형선박의 복원성기준 연구. *대한조선학회논문집*, 44(3), pp.285-295
- [7] 함상준, 강일권, 김형석, 조효제, 김정창, 2011. 한국 근해 대형 선망 어선의 복원성. *한국어업기술학회*, 47(3), pp.241-247
- [8] 해양수산부고시, 2016. *소형선박의 구조 및 설비 기준*, 해양수산부고시 제 2016-222호, <http://www.mof.go.kr/>
- [9] 해양수산부고시, 2016. *선박소방설비기준*, 해양수산부고시 제2016-34호, <http://www.mof.go.kr/>
- [10] en.wikipedia, 2006, *Three rotational degrees of freedom of a ship or boat*. [online] Available at: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotations.png> [Accessed 20 July. 2018].
- [11] ZÖLLNER, 2018, *ZEI-1 ELECTRONIC INCLINOMETER*. [online] Available at : <https://nrp3v3q5wson3eys2k6pq914-wpengine.netdna-ssl.co>

- [m/zollner/wp-content/uploads/sites/3/2015/04/Inclinometer-1.pdf](http://m/zollner/wp-content/uploads/sites/3/2015/04/Inclinometer-1.pdf)  
[Accessed 10 May. 2018].
- [12] 민남기, 2013. *센서공학 입문*. 통일출판사.
- [13] InvenSense, 2016, *MPU-9250 Product Specification*. [online] Available at: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250-A-01-v1.1.pdf> [Accessed 12 May. 2018].
- [14] byteparadigm, 2018, *Introduction to I2C and SPI protocols*. [online] Available at: <https://www.byteparadigm.com/applications/introduction-to-i2c-and-spi-protocols/?/article/AA-00255/22/Introduction-to-SPI-and-IC-protocols.html> [Accessed 13 May. 2018].
- [15] EMERSON, 2015, *ROSEMOUNT 3101, 3102, and 3105*. [online] Available at: <https://www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-3100-series-ultrasonic-liquid-level-transmitters-en-76184.pdf> [Accessed 17 June. 2018].
- [16] GitHub, Inc., 2014, *Arduino Serial, UART* [online] Available at: <https://github.com/CourseReps/ECEN489-Fall2014/wiki/Arduino-Serial,-UART> [Accessed 14 May. 2018].
- [17] 유영호, 2011. 선박표준네트워크의 국내기술동향, *TTA Journal*, 133, pp.116-121
- [18] 유영호, 2011. NMEA와 선박표준네트워크 국내기술동향, *한국정보통신학회*, 12(2), pp.46-51
- [19] 이광일, 박준희, 최원석, 문경덕, 2009. 선내 통신 국제 표준화 동향, *TTA Journal*, 126, pp.45-51
- [20] HAMAMATSU, 2014, *FLAME SENSOR UVTRON R2868*. [online] Available at: [https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R2868\\_TPT1008E.pdf](https://www.hamamatsu.com/resources/pdf/etd/R2868_TPT1008E.pdf) [Accessed 20 March. 2018].

- [21] dlwjdgns999, 2016, 선박의 복원성. [image online] Available at: <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=dlwjdgns999&logNo=220628361861> [Accessed 18 June. 2018].
- [22] International Organization for Standardization, 2016. *Ship and marine technology - Navigation and ship operations - Electronic inclinometers, ISO 19697*, <http://www.iso.org/>



## 부록 A 복합성 센서 내부 결선도

