

# Drowning Warner for Kids

김진우

지도교수 : 유선철 교수님

# 목 차

1. 연구 동기
2. 선행기술 조사
3. 손목 장치 개발
4. 웹 서비스 개발
5. 통신 개발
6. 개선 방안
7. 결론

## 1. 연구 동기

미국에서만 1년에 평균 945명의 아이가 익사로 사망하고 있다.<sup>1</sup> 한국에서 익사는 1996년~2016년 어린이 사망 사고 원인 3위<sup>2</sup>다. 매년 여름이면 물을 쉽게 접하는 만큼 익사는 흔하게 일어나고 있다. 특히 어린이의 경우, 수영이 미숙하고 안전수칙을 지키지 않는 경우가 많아 익사 사고 비율이 높다. (통계 자료에 의하면, 익사자의 5분의 1은 14세 이하의 어린이라고 한다) 그런데도 아직 익사 사고를 효과적으로 방지할 방법을 찾지 못하고 있다.

현재 익사 사고를 예방하기 위해 사용하는 방법은 수영 시설에 안전요원을 배치하는 것이다. 그런데 규정이 모호하고 익사 위험에 빠진 사람을 발견하기 어려워 비효과적이다. 체육시설의 설치·이용에 관한 법률 시행규칙<sup>3</sup>에서 명시하는 안전요원 배치 기준은 다음과 같다. ‘수영조 바닥면적이 400제곱미터를 초과하는 실내 수영장의 경우 2명 이상의 안전요원을 배치한다.’ 규정에서 근무 위치나 근무 형태를 정해 놓지 않았기 때문에 수영강사가 안전요원을 병행하거나 임의로 감시탑을 벗어날 수 있다. 그리고 수영 시설이 아무리 넓더라도 2명의 안전요원이 있으면 규정의 조건을 만족한다. 이 때문에, 올해 2월 17일에는 호텔 수영장에서 안전요원 중 한 명이 수영강습을 하는 동안 초등학생이 물에 빠져 의식을 잃는 사고가 발생하기도 하였다.<sup>4</sup>

또 다른 익사 예방 방법으로, 어린이가 수영할 때 보호자가 곁에 있도록 교육하는 것이 있다. 하지만 이 방법 역시 효과적이지 못하다. 미국 질병통제예방센터에 따르면, 익사한 미취학 아동 중 70%는 사고 현장에 적어도 부모 한 명과 함께 있었다고 한다.<sup>5</sup>

익사 위험에 빠졌을 때, 몸만 바둥거리고 소리를 내지 못하기 때문에 사고가 발생하더라도 발견하기 어렵다. 그리고 대부분의 수영 시설은 공간이 워낙 넓고 이용객이 많아 사고를 발견하고 대처하기 더욱더 어렵다. 따라서 익사 위험을 효과적으로 감지하고 예방할 수 있는 장치가 필요하다.

본 연구는 익사 위험을 감지하고 보호자나 안전요원에게 알림을 주는 시스템을 구현하고자 하였다. 이를 위해 수압, 수위 등 센서의 데이터를 통해 익사 위험을 감지하는 손목 장치와 경고문을

---

<sup>1</sup> SAFEKIDS WORLDWIDE, DANGEROUS WATERS RESEARCH REPORT

(<https://www.safekids.org/research-report/dangerous-waters-research-report>)

<sup>2</sup> 박규빈, 『[통계 N] 어린이 사망사고 원인 1위는 ‘교통사고’』, 시장경제, 2018.

(<http://www.meconomynews.com/news/articleView.html?idxno=13502>)

<sup>3</sup> 체육시설의 설치이용에 관한 법률 시행규칙 별표 5 (<http://bitly.kr/zyHA3m>)

<sup>4</sup> [취재N팩트] 초등생 수영장 사고...수중계단 어떻게? / YTN (<https://www.youtube.com/watch?v=vWTJm78Gdhl>)

<sup>5</sup> 이연주, 『“부모 있어도 위험” 어린이 익사사고 70%가 부모 주변서』, MBC NEWS, 2016.

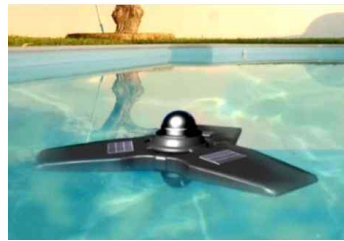
([http://imnews.imbc.com/replay/2016/nwdesk/article/4036760\\_19842.html](http://imnews.imbc.com/replay/2016/nwdesk/article/4036760_19842.html))

표시하는 웹 사이트를 만들었고 ‘물 속’이라는 환경에 맞는 통신 방법을 구현하였다.

## 2. 선행기술 조사

현재 개발된 익사 사고 방지를 위한 기술에는 카메라를 활용하는 방법과 수동 작동 에어백을 활용하는 방법이 있다.

### 1) 카메라 (CCTV, Morning Star SOS)



카메라를 활용하는 기술로 CCTV를 활용하는 방법, 수중 카메라를 통해 익사 위험을 감지하는 방법이 쓰이고 있다. 하지만 이들은 많은 사람이 사용하는 수영 시설에서 사용하기는 어렵다는 단점이 있다. 사람이나 물체가 겹쳐 보일 때 익사 위험을 감지하지 못하기 때문이다. 그리고 튜브를 타고 있어 사람으로 인식하지 못한다거나 잠수로 카메라 영역을 벗어났는데 익사로 인식하는 등 예외 상황이 많다. 따라서, 카메라를 활용하는 방법으로 익사 위험을 감지하는 것은 확실하지 못하다.

### 2) 수동 작동 에어백 (ploota, kingii)



카메라 외에는 익사 사고 방지 기술로 CO<sub>2</sub> 카트리지를 활용하여 수동으로 에어백을 작동시킬 수 있는 웨어러블 장치가 개발되었다. 하지만 착용자가 힘을 주어 에어백을 터뜨려야 작동하기 때문에 이 장치들은 익사를 예방한다고 보기 어렵다. 수중 에어백 ‘Kingii’ 제품의 홈페이지에서도 ‘킨지는 익사의 위험성을 완벽하게 제거하지 않습니다’, ‘킨지는 경험 있는 수영자들에 한해 착용되어야 합니다(만 16세 이상)’, ‘부모의 감독이 요구됩니다’ 등의 안전 권고사항을 제시하고 있다.<sup>6</sup>

### 3) 기타 (iswimband)



본 연구와 유사하게, 익사 위험을 감지하고 보호자에게 경고하는 장치로 iswimband라는 제품이 개발되었다. 하지만 물속에서 전파가 흡수되어 통신이 되지 않는 문제로 장치가 작동하지 않아 현재는 판매가 중단된 상태다.

#### 〈종합 평가〉

조사 결과, 본 연구와 같이 센서를 통해 아이의 익사 위험을 확인하고 보호자에게 경고하는 선행기술은 존재하지 않았다. (iswimband의 경우, 본 연구와 목적이 유사하였지만, 통신 문제로 실제로 작동하지 못한다) 그리고 현재 개발된 기술들은 익사 위험을 효과적으로 감지하지 못한다는 한계점을 갖고 있다. 따라서, 본 연구에서 구현하는 익사 경고 시스템은 익사 사고 예방에 가장 현실적이고 효과적인 방법이 될 것이다.

## 3. 손목 장치 개발

### 1) 개발 과정

#### 가. 활용할 센서 조사

익사 위험 판단에 사용할 수 있는 센서들을 조사하고 직접 사용해 보았다. 그리고 그들 중 수압 센서와 수위 센서를 최종적으로 손목 장치에 부착하였다.

#### ① 수압 센서

착용자가 위치한 깊이를 측정하기 위해 수압 센서를 사용하였다. 익사는 무증상기, 허우적거림과 탈진, 수몰, 물 흡입에 의한 호흡곤란, 호흡정지, 종말 호흡 및 완전 익수의 6단계로 진행된다.<sup>7</sup> 그리

<sup>6</sup> kingii - 안전권고사항 (<https://www.kingii.com/kr/security-advise.html>)

<sup>7</sup> 나무위키 - 익사/과정 (<https://namu.wiki/w/%EC%9D%B5%EC%82%AC/%EA%B3%BC%EC%A0%95>)

고 그 중 힘이 빠져 움직이지 못하게 되는 ‘수몰’ 단계부터는 익수자의 체력이 한계에 달하여 더 버티지 못하고 가라앉게 된다. 수압 센서를 장착하면 ‘탈진’ 이후 착용자가 같은 깊이에서 오랜 시간 있거나 너무 깊은 깊이에 오래 있을 때 경고하도록 만들 수 있을 것이라 기대하였다. 그래서 수압 센서를 구입하여 아래와 같이 연결한 후 학교 실험장에서 깊이별로 센서값을 확인하는 실험을 하였다.



깊이 (cm)	최대	최소	평균
10	12709	12666	12674.1
20	11920	11866	11877.6
30	11881	11820	11853.3
40	11818	11609	11721.1
50	11122	11184	11172.3

표 1 깊이별 Digital 수압 센서 출력값 (5개의 데이터씩 5회 실시)

실험 결과, 20cm 정도의 큰 차이는 구별하지만, 오차가 크다는 문제가 발생하였다. 그리고 전원을 켤 때마다 초깃값이 달라지고 물에 들어갔다 나왔을 때의 값이 달라지는 등 문제점이 많았다. 문제를 해결하기 위해, Digital에서 Analog 신호를 받는 수압 센서로 바꾸어 보았다. 그리고 집 안 욕조에서 무선 통신을 통해 깊이별로 센서값을 확인하였다.



		평균	표준편차
수면	물 밖	1013.14	0.13
	건조	1014.94	0.14
	물	1011.55	0.39
5cm		1016.99	0.61
10cm		1020.46	0.81

표 2 깊이별 Analog 수압 센서 출력값 (5개의 데이터씩 5회 실시)

그 결과, 오차가 작고 5cm의 깊이 차도 확실히 구별하는 것을 확인하였다. 초깃값도 일정하게 나타났다. 완성된 손목 장치에서도 약 2cm마다 센서값이 일정하게 변하여 수압 센서만으로 ‘탈진’ 이후 단계에 있는 사람을 발견할 수 있게 만들었다.

## ② 수위 센서



위치	최대	최소	평균
물 밖	303	281	293
수면	570	475	515.3
물 속	612	602	606.2

표 3 위치별 수위 센서 출력값 (5개의 데이터씩 5회 실시)

착용자가 물 내부에 있는지, 아닌지를 구별하기 위해 수위 센서를 사용하였다. 실험 결과, 센서가 물에 접촉해 있는지를 잘 구별하는 것을 확인하였다. 그리고 손목 장치에 부착한 이후에도 물 내부인지 (~500), 바깥인지(500~300), 수분이 남아있는지(300~50)를 각각 정확히 감지하였다. 구조 이후에 손목 장치의 경고 신호를 reset 할 방법이 없었는데, 수위 센서를 활용하여 ‘수위 센서를 닦을 때 reset’ 할 수 있게 만들었다.

## ③ 고무줄 센서

낙시할 때 봉돌로 낙시줄이 땅에 가라앉았는지를 확인하는 것처럼 고무줄 센서로 착용자가 바닥에 가라앉았는지 확인하려 하였다. (고무줄 센서는 길이에 따라 저항이 달라지는 성질을 이용한 센서다. ( $R = \frac{\rho L}{A}$ ) 땅에 가라앉으면 장력이 약해져 고무줄의 길이가 줄어든다.)



길이(cm)	평소 최빈값	당겼을 때 최빈값	차이
2	11	21	10
8	110	174	64
16	187	259	172

표 4 고무줄 센서의 길이별 출력값 확인

실험 결과, 방수 처리가 되어있어 물 안에서도 작동하였고 길이가 길수록, 가한 장력이 클수록 차이가 뚜렷하였다. 이후에는 손목 장치에 고무줄 센서를 부착하고 지름 25mm 쇠 구슬을 끝에 연결하였다. 그리고 대야에 물을 담아 실험 바닥에 닿았는지, 물 내부인지에 따라 4개 상황의 데이터를 얻었다.



		평균	표준편차
바닥에 닿았을 때	물	169.14	2.08
	육지	165.96	6.36
공중에 띄었을 때	물 (부력)	187.87	2.56
	육지	197.97	3.08

표 5 상황별 고무줄 센서 출력값 (5개의 데이터씩 5회 실시)

실험 결과, 표준편차가 크지만, 바닥일 때와 공중일 때를 잘 구분하였다. 그런데 쇠 구슬로 인해 장치가 무거워지고 수압 센서가 역할을 대신할 수 있어 최종적으로는 사용하지 않았다.

#### ④ 기타 (가속도 센서, 누수 센서)



그림 15 안전요원 교육용 자료  
(익사 행동 패턴)

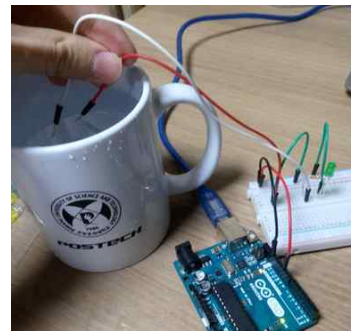


그림 16 누수 센서 실험  
(LED의 빛이 거의 보이지 않음)

위 센서들 외에도 머신 러닝을 통해 익사 시 행동 패턴을 학습하는 방법과 누수 센서를 활용해 수위 센서를 대체하는 방법을 생각하였다. 그런데 익사 사고 시 행동 패턴을 특정할 수 없어 머신 러닝을 통해 행동 패턴을 찾는 방법은 포기하였다. 그리고 누수 센서는 활용하였을 때 전류가 줄어 다른 모듈이 작동하지 못하는 문제가 발생하여 사용하지 않았다.

### 나. 손목 장치 제작

조사한 센서들을 조합하여 손목 장치를 제작하였다.

#### ① 1차 제작

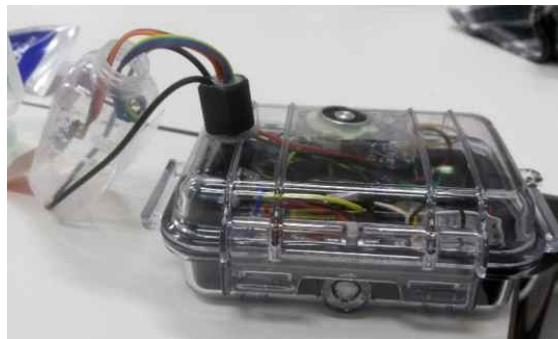
쉽게 구할 수 있는 락앤락 박스를 이용하여 첫 장치를 제작하였다. 에폭시로 구멍에 물이 들어가지 않도록 막고 센서의 값을 블루투스 통신을 통해 노트북으로 전송하였다. 그 결과, 첨부한 동영상(Drowning Warner\_실험 영상1)과 같이 동작하였다.





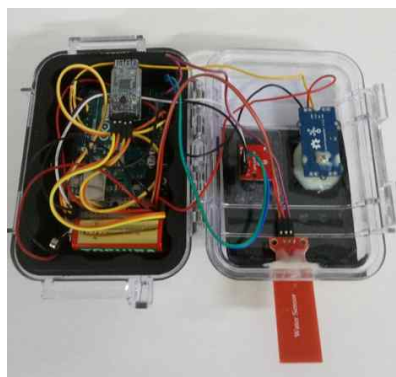
## ② 2차 제작

이후에는 락앤락 대신 더 단단하고 있어 보이는 펠리칸 박스를 사용하였다. 그리고 관통형 커넥터를 이용해 센서들을 아래 사진과 같이 몰약 병에 따로 넣었다. 그런데 완성 이후 실험 결과, 고무줄 센서가 잘 작동하지 않고 선이 거추장스러워 다시 만들었다.



## 2) 최종 결과

밖에 나와 있던 선들을 박스 안으로 집어넣고 어린이들이 좋아하도록 외형을 꾸몄다. 애니메이션 미니언즈의 캐릭터 사진을 참고하여 디자인을 완성하였다.



이 장치는 'detect', 'send warning', 'reset'의 3단계로 익사 위험을 감지하고 경고한다.

너무 깊은 곳(수심 50cm 이상)에서 30초 이상 있을 경우와 같은 깊이( $\pm 5\text{cm}$ )에서 1분 이상 있으면 익사 위험 상태라 판단한다. 수몰 이후 호흡이 정지한 때부터 4분간이 골든타임인데 이 시간 안에 구출할 수 있도록 30초, 1분이라는 시간을 설정하였다. 그리고 10살 아이의 평균 키가 약 133cm라 수심 50cm를 깊은 곳의 기준으로 삼았다.

익사 위험 상태를 감지하면 전자석이 떼어지면서 손목 장치가 몸에서 분리되어 물 위에 뜨게 된다. 그리고 물 위에 뜨고 나면 전파가 흡수되지 않기 때문에 무선 통신이 가능해진다. 수면에서 블루투스 통신을 통해 경고 신호를 보내고 웹 사이트에 경고문을 표시한다. 경고문을 본 보호자나 안전요원은 구조를 시작할 것이다.

구조가 완료되면 아이를 건져내고 수위 센서를 닦음으로써 장치에서는 경고 신호를 그만 보내고 기록을 reset 하게 된다.

이에 대하여 구체적으로 어떤 순서로 작동하고 수영장에서 어떻게 전체 시스템이 구현되는지를 설명하는 최종 시연 영상(Drown Warning Demo)을 촬영하였다.

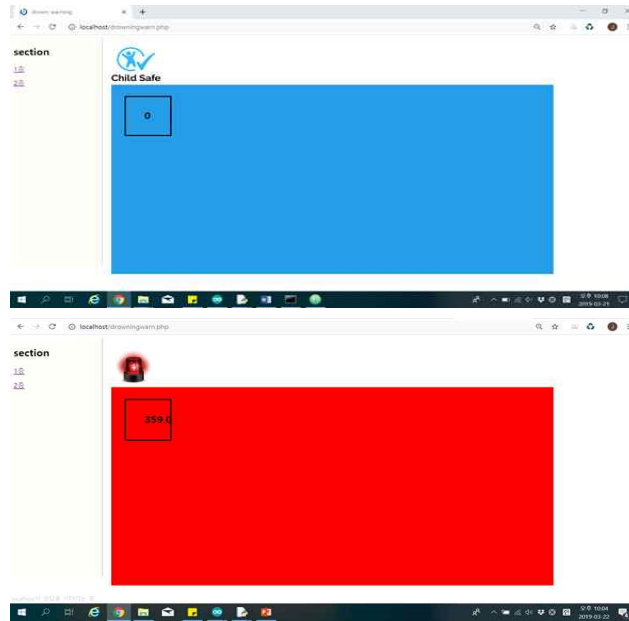
연구를 진행하면서 실험 환경을 찾기가 어려웠다. 처음에는 강가나 냇가보다 변수가 적은 수영장에서 실험과 시연을 진행하려 하였다. 그런데 고객들이 이용하는 시설이다 보니 공간을 차지하고 촬영할 수 없었다. 또한, 내부가 습하고 장치에 묻은 물기를 닦아내기 어려워 아두이노와 전지가 쉽게 고장이 났다. 그래서 앞으로의 연구는 풀장에서 실험을 진행해야겠다.

## 4. 웹 서비스 개발

### 1) 개발 과정

웹 개발에 대한 강좌를 듣고 배운 내용을 바탕으로, '안전', '경고' 메시지가 표시되는 홈페이지를 만들었다. 그리고 MySQL과 python을 활용하여 아두이노 출력값을 웹 사이트에 표시하였다.





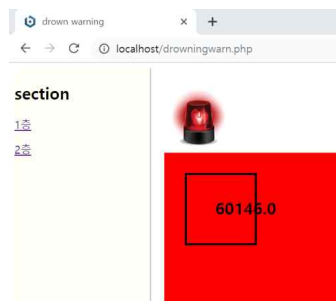
## 5. 통신 개발

### 1) 개발 과정

#### ① 통신 방법

블루투스 모듈 2개가 Master-Slave 구조로 통신이 되도록 만들었다.

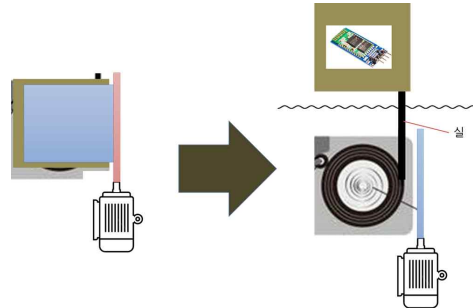
여러 통신 수단 중 블루투스를 사용한 이유는 BLE 비콘의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 통해 위치를 나타내기 위해서였다. 그런데 웹 사이트를 구현하는 데 사용한 php에서 아두이노에서 받아온 변수에 대한 나머지와 나누기 연산이 되지 않았다. 그래서 RSSI값 대신 경고/안전의 2가지 표시를 하도록 바꾸었다. (아래 사진에서 왼쪽의 60은 RSSI값, 146.0은 센서값이다.)



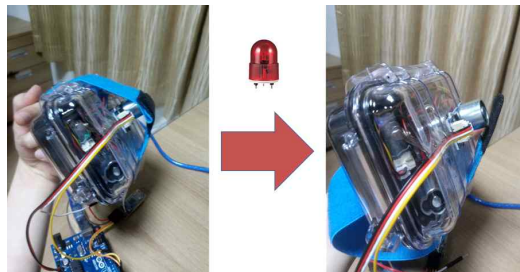
#### ② 분리 방법

통신 모듈을 물 위에 떠올리기 위해 두경 개폐 방식, 전자석 부착 방식의 2가지 방법을 생각했다.

처음 생각한 방법은 뚜껑 개폐 방식으로, 서보모터를 이용해 통신 모듈을 판으로 막아두었다가 수면으로 떠올리는 방법이다. 그런데 틈에서 물이 나오지 않도록 만들면 판이 완전히 고정되어 실제로 구현하기는 불가능하였다.



그래서 다른 방법으로 손목 장치에 전자석을 부착하여 손목 장치 전체를 물 위로 떠올리는 방법을 사용하였다. 그리고 아래 사진과 같이 전자석이 작동하면 몸에 부착하고 떨어지면 손목 밴드가 완전히 풀리도록 만들었다. 그런데 손목 장치가 너무 무겁고 전자석의 세기가 약해 결합, 분리가 잘 안 되는 문제가 남아있다.



## 6. 개선 방안

익사 경고 시스템이 실제로 사용되려면 다음의 사항들이 개선되어야 할 것이다.

### 1) 크기

먼저, 회로와 센서가 소형화, 경량화되어야 한다. 현재 만들어진 손목 장치는 웨어러블 장치로써 사용하기에는 너무 크고 무겁다. OrCAD를 통해 회로 크기를 줄이고 아두이노에서 필요한 부분만 사용하면 좀 더 가볍게 만들 수 있을 것이다.

### 2) 통신 방법

현재 시스템은 1:1의 1방향 통신 방법을 쓰고 있다. (Master-Slave) 하지만 이를 1:N의 쌍방향 통신 방법으로 바꾸면 사용자가 전체 시스템을 관리하기 편해질 것이다. 1:N 방식으로 바꾸면 더 많은 착용자를 한 번에 관리할 수 있고 쌍방향 통신을 구현하면 수위 센서 대신 웹 사이트에서

reset 할 수 있기 때문이다.

### 3) 고정 방법

지금 사용하고 있는 전자석은 세기가 너무 약하고 팔의 크기 등에 따라 부착이 잘 안 될 때가 있다. 따라서, 전자석 대신 스프링이나 끈의 길이를 조절하는 식으로 고정 방법을 변경해야 한다.

### 4) 종료 버튼 및 충전 기능

본 연구의 손목 장치는 익사 위험에 처할 수 있는 상황이면 항상 작동하고 있어야 한다. 지금은 배터리를 갈아 끼워 사용하고 있는데 종료 버튼과 충전 기능을 만들면 좀 더 오래, 안전하게 사용할 수 있을 것이다. (배터리를 갈아 끼우기 위해 뚜껑을 열다가 물이 장치 내에 들어갈 수 있다) 사용 종료 버튼은 reset처럼 수위 센서를 활용하여 구현할 수 있을 것이다. 배터리 충전은 시중의 웨어러블 기기나 충전이 가능한 장치를 분해하여 모방함으로써 구현할 수 있을 것이다.

### 5) 자가 구조 기능

kingii나 puffer와 같은 선행기술들은 CO<sub>2</sub> 카트리지로 에어백을 터뜨려 ‘자가 구조’를 할 수 있다. 센서를 통해 익사 위험을 판단하고 일정 시간이 지난 이후에도 구조가 되지 않으면 스스로 물 위에 떠 오를 수 있게 하면 좋을 것이다. 그런데 CO<sub>2</sub> 카트리지를 터뜨리는 데 필요한 강한 힘을 만드는 방법과 CO<sub>2</sub> 카트리지와 풍선 사이의 연결 방법을 몰라 구현하지는 못하고 있다. (kingii, puffer를 구입하여 분해한 후 유사하게 만들고 싶었는데 모두 판매가 중단되어 어떤 구조로 되어있는지 모르겠다.)

### 6) 익사 위험 표시 방법

지금은 웹 사이트에 경고문을 표시하여 익사 위험을 보호자나 안전요원에게 알리고 있다. 하지만 웹 사이트뿐만 아니라 하드웨어에서도 경고 신호를 표시하면 더 빠른 구조가 가능할 것이다. 예를 들어, 위험 상황일 경우 유성 물감을 터뜨리거나 led의 불을 밝히는 것이다.

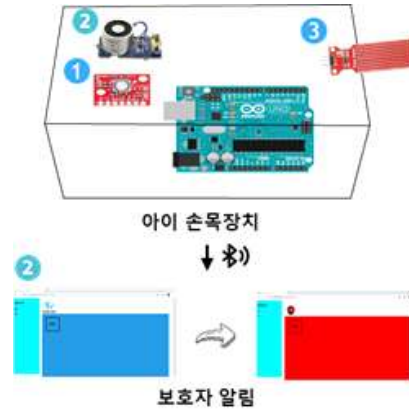
### 7) 신체 관련 센서 활용

본 연구에서는 물의 깊이, 침수 여부를 판단하는 센서들을 다루었다. 향후 연구에서는 심박 수 센서, 호흡 측정 센서 등을 조사해 볼 것이다. 착용자의 위치가 아닌 착용자 몸의 상태를 확인하기 때문에 좀 더 정확하게 익사 여부를 확인할 수 있을 것이라 기대한다.

본 연구를 통해 익사 사고 경고 시스템을 완성할 수 있었다. 하지만 아직 실제로 사람이 사용하는 데에는 더 많은 연구가 필요하다. 향후, 추가 연구를 통해 부착하는 신체 부위, 경고 방법, 크기 등을 개선하여 익사 사고에 특화된 장치를 완성할 것이다.

## 7. 결론

### 1) 결과



본 연구를 통해 익사 위험을 감지하고 경고하는 시스템을 만드는 데 성공했다. 본 연구의 손목 장치는 수압 센서로 익사 위험을 'detect'하고 전자석과 블루투스 모듈로 'send warning' 하며 수위 센서를 닦았을 때 'reset' 하여 실제 익사 위험을 판단하는 데 사용할 수 있도록 만들었다. 그리고 다른 선행 기술들과 달리 통신 두절 이후에도 재연결이 가능하여 '물 속'이라는 환경에 적합하다.

### 2) 기대효과

기존의 안전요원이 감시하는 익사 방지 시스템은 문제점이 많다. 현실적으로 안전요원이 수영 시설에 있는 수많은 이용객을 일일이 감시하고 위험 상황을 알아차리기는 불가능하다. 하지만 본 연구의 익사 방지 시스템은 위험 상황을 빠르게 인지하고 대처할 수 있게 만들어준다. 그리고 가정이나 계곡 등과 같이 안전요원이 없는 곳에서도 쓰일 수 있다.

현재 대부분의 웨어러블 장치들은 건강관리 기능, 메시지 기능 등에 초점을 맞추고 있다. 아직 익사 사고 방지에 특화된 웨어러블 경고 장치는 개발되지 않았다. 하지만 해마다 익사 사고로 수많은 사람들이 사망하는 어린이들, 매일 익사 위험에 노출되는 해녀와 잠수부들에게는 꼭 필요한 기술이다. 따라서, 본 연구의 익사 경고 시스템은 확장 영역이 넓고 연구할 가치가 있다.