

## 칼만 필터 기반의 스마트 해양기상관측 파고 시스템 연구

박상현<sup>1</sup> · 박용팔<sup>2</sup> · 김희진<sup>3</sup> · 김진술<sup>4</sup> · 박종수<sup>5\*</sup><sup>1 2 3 5</sup>(주) 오션이엔지<sup>4</sup>전남대학교 전자컴퓨터공학부

## A Study on Ocean Meteorological Observation Wave Meter System based on Kalman-Filter

Sanghyun Park<sup>1</sup> · Yongpal Park<sup>2</sup> · Heejin Kim<sup>3</sup> · Jinsul Kim<sup>4</sup> · Jongsu Park<sup>5\*</sup><sup>1 2 3 5</sup>Oceaneng(Ltd.), 201, Songpa-daero, Songpa-gu, Seoul, Republic of Korea<sup>4</sup>School of Electronics & Computer Engineering, Chonnam National University

### [요 약]

본 논문에서는 개발 분야가 취약한 해양관련 기상기후와 파고를 실시간으로 측정할 수 있는 스마트 해양기상관측 파고 시스템을 제안하고자 한다. 현재 국내에서는 해양파고 측정 장치가 없으며 대부분 수입하여 사용하고 있다. 대부분 수입 제품은 긴 시간 동안 측정이 불가능 하고 실시간으로 데이터를 전송하지 못하는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문의 스마트 해양기상관측 파고 시스템은 데이터로거 방식으로 실시간 해양기상을 관측하고 기존의 데이터로거가 가지고 있는 기능과 해양에서 사용할 수 있는 다양한 센서들을 동시에 적용하여 사용할 수 있다. 해양파고 측정은 칼만 필터 알고리즘을 적용하였고 실시간 파고를 측정할 때 발생하는 노이즈와 정확도를 높였다. 본 논문에서는 검교정 장치와 실제 해양 테스트를 통하여 알고리즘을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때를 실험하였고 실험을 통하여 결과를 도출하였다. 개발된 시스템은 해양에서 사용되는 시스템으로 충전이 가능한 리튬 인산철 배터리를 개발하였고 최적의 사용을 위하여 RTC 기반의 타이머를 이용하여 소비 전력을 최소화 하였다. 본 논문에서는 측정 주기에 따른 실험을 통하여 최적의 배터리 사용과 측정값을 도출하였다.

### [Abstract]

We propose a smart ocean meteorological observation system which is capable of real-time measurement of vulnerable marine climate and oceanographic conditions. Besides, imported products have several disadvantages such that they can't be measured for a long time and can't transmit data in real time. In the proposed system, smart ocean observation digging system, it observes real-time ocean weather with data logger methods. Furthermore, we also use existing dataloggers functions with various sensors which are available in the ocean at the same time. Also, we applied the Kalman-filter algorithm to the ocean crest measurement to reduce the noise and increase the accuracy of the real-time wave height measurement. In the experiment, we experimented the proposed system with our proposed algorithms through calibration devices in the real ocean environment. Then we compared the proposed system with and without the algorithms. As a result, the system developed with a lithium iron phosphate battery that can be charged by a system used in the ocean and minimized power consumption by using an RTC based timer for optimal use. Besides, we obtained optimal battery usage and measured values through experiments based on the measurement cycle.

색인어 : 칼만필터, 파고, 해양기상관측, 데이터로거, 스마트 파고부이

Key word : Kalman filer, Ocean weather observation, Data logger, Smart Wave Meter Buoy

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2017.18.7.1377>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 08 November 2017; Revised 20 November 2017

Accepted 25 November 2017

\*Corresponding Author; Jongsu Park

Tel: +82-70-4651-6409

E-mail: oceaneng@hotmail.com

## 1. 서론

빠르게 변화하는 이상기후로 인하여, 기상을 실시간으로 관측 및 예측하기 위해서는 고난도의 기술들이 필요한 상황이다. 또한 국내의 내륙에는 많은 기상장비들이 설치되어 있지만 해양에는 기상측정 장비가 많이 설치되어 있지 않아 해양사고가 종종 발생되고 있다[1], [2]. 최근에는 황사, 미세먼지 등 사람들의 관심이 많아지면서 IoT기술이 적용된 다양한 서비스와 제품들이 개발되고 있다[3], [4]. 하지만 해양관련해서는 수요자들이 한정되어 있어 다양한 기술들이 있음에도 활용되지 못하고 있다. 현재는 기상청을[5] 통하여 해양날씨정보를 제공받고는 있지만 그림 1과 같이 측정 장치들의 간격이 넓으며, 다양한 정보를 제공하지 못하고 있다.

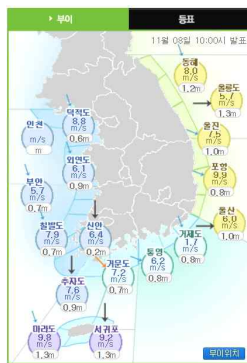


그림 1. 기상청의 해양 날씨 측정 정보  
 Fig. 1. Marine Weather Measurement Information of Meteorological Agency

따라서 본 논문에서는 다양한 센서를 사용할 수 있도록 인터페이스 개발 및 칼만 필터[6], [7] 기반의 실시간 파고관측을 할 수 있는 스마트 해양기상관측용 시스템을 제안하고자 한다. 또한 파고 데이터 비교측정 및 배터리 사용에 따른 최적의 값을 도출하여 해양기상관측에 적합한 시스템임을 증명하고자 한다.

## II. 관련연구

해양파고관측 기술은 국내보다는 국외 기술과 제품이 많이 출시되고 있는 상황이다. 그림 2-a와 같이 일본 Alec Electronic 회사에서 개발한 COMPACT-WH는[8] 마이크로컨트롤러가 탑재된 소형화된 관측기로서 연속 측정이 가능하다. 측정된 정보는 RS-232통신을 이용하거나 내부에 있는 메모리를 통해 데이터를 전송받는다. 또한 측정 할 때는 리튬전지를 이용하여 측정하며 약 2달 정도 동작이 가능하다. 파고의 높이는 0~25m를 측정가능하다. 그림 2-b는 동일회사의 제품으로써 AWH-16M은 수압방식의 파고계이다. 약 10~15m 이내 수중에 설치되어 실시간으로 파고 및 주기를 측정한다. 연속관측은 한 달 정도 가능하며, 염분센서를 포함하고 있다. 그림 2-c는 일본

KENEK[9] 회사에서 개발한 초음파식 파고계 장치로써 물속이 아닌 고정된 위치에 설치가 되어 파고를 측정을 한다. 일반적으로 내륙에 설치가 되며 1~10m의 높이를 측정할 수 있다. 또한 내륙에 설치가 되기 때문에 네트워크 및 전화망을 통하여 데이터를 전송한다. 그림 2-d는 노르웨이에서 개발된 AWAC제품으로써[10] 유속, 물결 스펙트럼과 파고측정이 가능하다. 내부적으로 데이터로거가 설치되어 있으며, 측정된 데이터 값을 내장 메모리에 저장된다. 통신방식은 실시간으로 데이터를 받지 못하며, 측정 후에 RS232, RS422통신을 이용하여 데이터를 전송받는다. 전원공급은 알카라인 배터리를 사용하며 약 90일을 동안 측정이 가능하다.



그림 2. 해양파고 측정 장치  
 Fig. 2. Ocean Wave Measuring Device

대부분의 파고 측정 장치들은 지형특성상 지진발생이 빈번한 일본에서 다양한 제품과 기술들이 발전해 왔다. 하지만 높은 비용, 해상 설치, 짧은 배터리 주기와 일부 파고계 장치에는 폭발위험이 있는 리튬이온 배터리를 사용하기 때문에 안정성을 장담할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 위 제품들의 단점을 보완한 스마트 해양기상관측 파고 시스템을 제안하고자 한다. 본 시스템은 해상 안에 설치가 되는 것이 아닌 일반적으로 해상에 떠있는 기존 부이 안에 설치가 되기 때문에 비용 및 설치가 다른 국외의 파고 측정 장치 보다 용이하다. 또한 측정하는 파고 데이터가 정확히 나오는지 여부를 실험을 통하여 증명한다.

## III. 전체 시스템 구조

해양파고관측 시스템은 데이터로거 형태로 구성이 되어 있으며, 그림 3과 같은 기능을 포함하고 있다. 기본적으로 MCU는 Cortex 계열의 32bit를 사용하며[11], 지정된 시간에 따라 파고 및 센서들의 데이터를 수집한다. RS232, RS422, RS485, I2C [12], [13] 등 5개의 통신포트가 있으며, 아날로그와 디지털 신호를 송수신 할 수 있도록 구성되어 있다. 센서를 통하여 실시간

으로 수집된 데이터는 SD카드에 실시간으로 저장이 되며, 알고리즘을 통해 처리된 데이터와 처리되지 않은 Raw데이터가 저장된다. 또한 처리된 데이터는 LoRa통신[14]-[16] 또는 CDMA[17] 모뎀을 통하여 서버에 전송이 된다. 기본적으로 데이터로거는 9축 자이로 센서와 파고측정 알고리즘이 내장되어 있어 실시간으로 파고를 관측을 한다. GPS를 통하여 위치, 날짜, 시간 데이터를 전송받기 때문에 정확한 시간에 따른 측정이 가능하며, 위치에 따른 데이터 전송과 지정위치 표류시 알람 기능 및 추적이 가능하다. 배터리는 폭발위험이 적고 충방전이 가능한 리튬인산철을 사용하여 최소 6개월에서 8개월까지 측정이 가능하도록 하였다. 기본적으로 센서들은 온습도계와 기압계, 유속계, 풍향풍속계 등 다양한 센서를 동시에 사용할 수 있다.

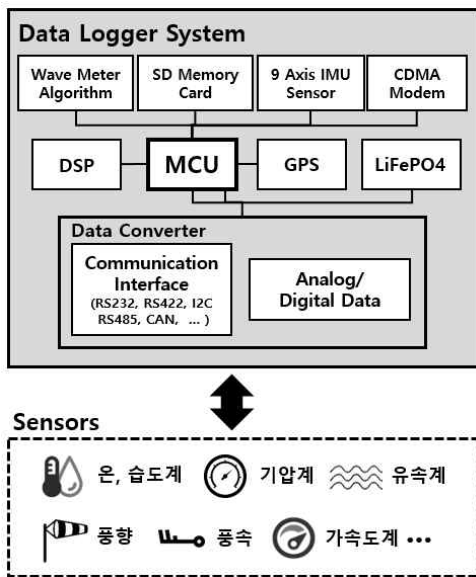


그림 3. 해양파고관측 시스템 전체 기능 구조  
Fig. 3. Whole Structure of Ocean Wave Observation System

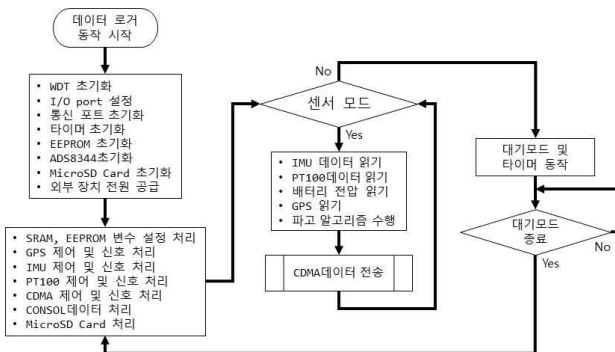


그림 4. 데이터로거 내부 동작순서  
Fig. 4. Data Logger Internal Operation Sequence

해양파고관측 시스템에 사용되는 데이터로거는 그림 4와 같은 순서로 시스템이 동작된다. 처음 데이터로거의 전원이 공급

되면, 전반적으로 시스템 및 센서를 초기화 시킨다. 다음 기본적으로 설치되어 있는 센서 및 저장할 메모리를 설정한 후 연결되어 있는 센서들의 동작 여부를 체크한다. 이상이 없을 경우 센서 모드가 동작되어 최초 센서들의 데이터와 배터리의 전압을 수집하고, 해양의 파고를 관측한다. 다음 센서들의 데이터가 수집이 완료되면 SD카드의 Raw데이터와 처리된 데이터를 저장하고 처리된 데이터는 CDMA통신을 통하여 서버로 전송한다. 이후 데이터로거는 배터리 절약을 위하여 대기모드로 들어간다. 일반적인 대기모드는 일정의 전압과 전류가 지속적으로 흐르지만 본 논문의 데이터로거는 RTC를 이용하여 전체적으로 대기전력을 차단해 버린다. 일반적으로 해양의 환경은 실시간으로 바뀌지 않기 때문에 30분 또는 1시간 단위로 측정을 하게 된다. 상황에 따라서는 CDMA통신을 통하여 측정 단위를 설정할 수 있다. RTC의 타이머 동작에 따라서 설정한 시간단위로 약 5~10분정도 데이터를 수집한 후, 최소, 최대, 평균 값을 출력하게 된다.

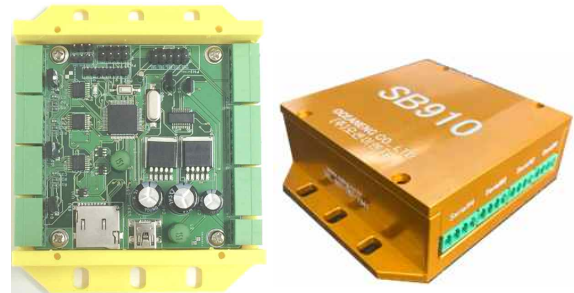


그림 5. 해양파고관측 데이터로거 시스템  
Fig. 5. Data Logger System for Ocean Wave Observation

#### IV. 실시간 해양파고관측 시스템

##### 4-1 해양파고관측을 위한 동작

해양파고관측을 위한 센서는 EBIMU-9DOFV3으로써 3축의 자이로스코프[18], 3축 가속도, 3축 지자기 센서[19] 기능이 포함되어 있으며, 5V의 0.5~40mA의 소비전력을 가지고 있다. 또한 지자기간섭 방지 설정 기능이 있기 때문에 지자기 값이 변경되는 것을 방지한다.

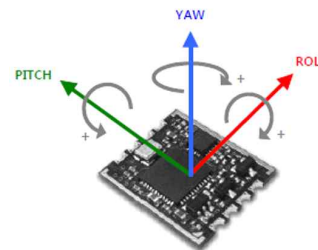


그림 6. EBIMU-9DOFV3 9축 센서  
Fig. 6. 9-Axis Sensor of EBIMU-9DOFV3

그림 7은 9축 센서를 이용한 알고리즘 순서를 보여준다. 처음 센서가 동작을 하면 출력되는 데이터를 1차적으로 칼만 필터를 적용함으로써 순간적으로 측정되는 값뿐만 아니라 노이즈까지 포함된 데이터 값을 재귀적으로 처리하여 최적의 통계 데이터를 추출한다. 이후 정확한 파고 관측을 위하여, 3축의 자이로스코프와 지자기 센서를 이용하여 중심 값을 보정하고 측정된 3축 가속도 값을 변환한다. 이후 변환된 데이터 값을 이용하여, 설정된 주파수 이하와 이상의 성분을 제거하는 밴드패스 필터를 적용한 후 적분을 이용하여 속도를 변환한다. 다음 높은 주파수의 신호만을 추출하는 하이패스 필터를 적용한 후 적분을 통한 위치 신호 값을 추출한다. 이와 같이 밴드패스와 적분, 하이패스를 몇 번 반복하면 최종적으로 파고 값이 출력되며, 출력된 데이터를 SD 메모리 카드에 저장 및 CDMA 통신을 이용하여 실시간으로 서버에 저장을 한다.

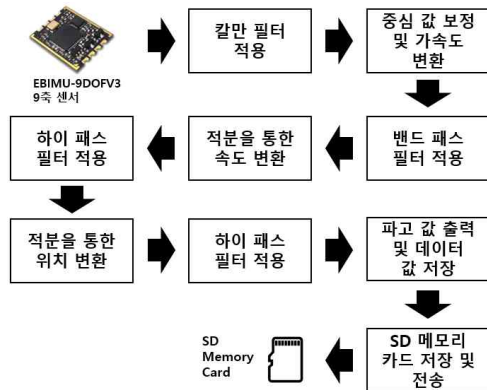


그림 7. 해양파고관측 알고리즘 동작순서  
 Fig. 7. Algorithm Operation Sequence for Ocean Wave Observation

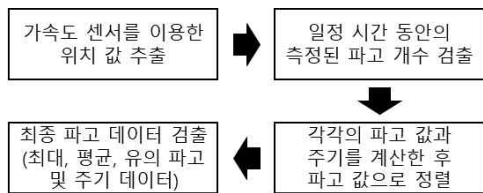


그림 8. 파고 알고리즘  
 Fig. 8. Ocean Wave Algorithm

그림 8과 같이 파고 알고리즘은 크게 4가지의 파트를 이용하여 값을 추출한다. 첫 번째 가속도 센서를 이용하여 위치 값을 추출하기 위해서는 0.1초 간격으로 전압 값으로 출력되는 가속도 센서를 디지털 신호로 변환하여 샘플데이터를 추출한다. 이때 칼만 필터를 이용하여 고주파노이즈를 제거를 하고 중심 값을 보정하여 가속도 데이터를 변환한다. 이때 밴드 패스 필터를 적용한 후 출력된 값을 가중 평균을 구하고 계산된 값을 적분을 하여 속도 데이터로 변경을 한다. 다음 하이패스 필터[20]를 이용하여 가중 평균 값을 구하고 다시 적분을 하여 위치 데이터로 변경을 한다. 마지막으로 하이패스 필터를 이용하여 각각의 X,

Y, Z축의 위치 데이터를 메모리에 저장을 한다. 두 번째로 일정 시간주기에 따른 측정된 파고 개수 검출로써 첫 번째에서 저장된 위치 값을 기반으로 데이터를 순서대로 비교하면서 Zero-Up-Cross 검출 방식을 이용하여 파고 개수를 검사한다. 세 번째로 검사한 파고 데이터를 각각 정렬 및 비교 스펙트럼 연산을 이용하여 파고를 계산을 한다. 이때 파고의 주기도 같이 계산을 하게 된다. 각각의 파고와 주기가 계산이 되면 이를 메모리에 저장을 한다. 이전에 저장된 데이터와 새로 계산된 데이터를 비교하면서 최대 파고 순으로 데이터 값을 정렬한다. 마지막으로 가장 큰 파고는 최대파고 값이 되며, 상위 1/3 파고 평균을 유의 파고로 분류한다. 또한 상위 1/3 파고주기 평균을 유의 파고 주기로 분류하고 전체 파고 평균을 평균파고로 값을 분류한다.

4-2 실시간 파고 관측 알고리즘

알고리즘 1. 칼만 필터 기반의 파고 관측 알고리즘  
 Algorithm 1. Ocean Wave Observation Algorithm based on Kalman-Filter

```

WHILE  $T_r$  Real Time Operation THEN
    IF ( $K_{f\_flag} == 0$ ) THEN //①
         $K_{f\_flag} = 1$ ;
         $K_{f\_p} = 1$ ; //②③④⑤⑥⑦⑧
         $K_{f\_q} = 0.0001$ ; //③
         $K_{f\_r} = 0.0001$ ; //④
         $K_{f\_x} = 0.0$ ;
    END IF
    IF ( $K_{f\_flag} == 1$ ) THEN //⑤
         $K_{f\_n}x = K_{f,x}$ ; //⑥
         $K_{f\_n}p = K_{f,p} + K_{f,q}$ ; //⑦
         $K_{f,k} = \frac{K_{f,n}p}{(K_{f,n}p + K_{f,r})}$ ; //⑧
         $K_{f,z} = hex$ ; //⑨
         $K_{f,x} = K_{f,n}x + K_{f,k} \times (K_{f,z} - K_{f,n}x)$ ; //⑩
         $K_{f,p} = (1 - K_{f,k}) \times K_{f,n}p$ ; //⑪
    END IF
     $hex = K_{f,x}$ ; //⑫
    
```

칼만 필터 기반의 파고 관측 알고리즘은 위와 같으며 ①은 칼만 필터를 적용하기 위하여 초기 값을 설정하기 위한 부분이며, ②는 오차 공분산 행렬 초기 값 설정, ③은 시스템 잡음의 공분산 행렬 초기 값 설정, ④는 측정 잡음의 공분산 행렬 초기 값이다.



표 1. 예측방정식의 일반식

Table 1. General Equation of the Prediction Equation

$\bar{x}_k = A\bar{x}_{k-1}$ : 추정 값 예측
$\bar{P}_k = A\bar{P}_{k-1}A^T + Q$ : 공분산 예측
$\bar{x}_k$ : 시스템 예측 상태 값
$A$ : 상태 행렬
$\bar{x}_{k-1}$ : 이전의 시스템 예측 상태
$A^T$ : A행렬의 직교 행렬 ( $AA^T = I$ 를 만족함)
$\bar{P}_k$ : 오차 공분산 예측 값
$\bar{P}_{k-1}$ :이전의 오차 공분산 예측 값
$Q$ : 시스템 공분산

위 예측방정식의 일반식을 이용하여 시스템 상태가 1일 때 LTI 시스템을 A=1로 설정하여 ⑥, ⑦ 식을 도출한다. 또한 표 2의 측정방정식 및 업데이트의 일반식을 이용하여 시스템 상태 1일 때 LTI 시스템을 H=1이라고 설정하면 ⑧~⑪의 계산식을 도출할 수 있다.

표 2. 측정방정식 및 수정된 일반식

Table 2. Measurement Equation and Modified General Equation

$K_k = \bar{P}_k H^T (H \bar{P}_k H^T + R)^{-1}$ : 칼만 이득 계산
$x_k = \bar{x}_k + k_k (x_k - H \bar{x}_k)$ : 추정 값 계산
$p_k = \bar{P}_k - k_k H \bar{P}_k$ : 오차 공분산 계산
$K_k$ : 칼만 이득
$R$ : 측정 잡음 공분산 행렬
$H$ : 상태 행렬
$P_k$ : 오차 공분산 행렬

4-3 실시간 해양관측에 따른 데이터 형식

실시간 해양관측에 따른 데이터는 아래와 같은 형식으로 출력이 된다. 출력데이터 형식은 총 14개의 명령어로 구성되어 있으며 일정 시간마다 서버로 출력이 된다.

표 3. 출력데이터 형식

Table 3. Output Data Format

1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
ID (지점번호)	전송번호	관측일	관측시간	유의파고	최대파고
#tst01	12345	101108	090000	41	56

1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14
파고	파주기	파향	수온	위도	경도	전압	상태코드
32	88	234.2	1123	344642	1260556	127	FFFF

표 3과 같이 1-1은 system의 ID이며, 영문기준으로 최대 10 글자까지 표시가 가능하다. 1-2는 전송번호로써 system이 시작 되면 데이터가 전송될 때마다 Count되며, 서버로 데이터가 전송되는 전송순서번호로 1~60000까지의 숫자를 사용한다. 1-3은 관측 일을 나타내는 패킷으로 해양관측이 되면 데이터가 언제 출력이 되었는지 년도, 월, 일로써 나타낸다. 날짜는 GPS 정보를 통해 수신 받는다. 1-5는 유의파고로써 41은 4.1m의 유의 파고를 나타내며 측정범위는 0~20m이다. 1-6은 최대파고의 값을 나타내며 예시에 56은 5.6m의 최대파고 수치를 나타내며 측정범위는 0~20m이다. 1-7의 파고도 측정범위는 0~20m이며, 예시에 32은 3.2m를 나타낸다. 파고의 주기를 나타내는 파주기 1-8의 측정범위는 0~60sec이며 예시에 88은 8.8sec를 뜻한다. 파향을 뜻하는 1-9는 각도 자북을 기준으로 0.0~359.9도 측정이 가능하다. 1-10은 수온센서 값을 나타내며, 예시에 1123에서 1000을 제외한 12.3도를 뜻한다. 1-11과 1-12는 GPS로부터 수신된 정도를 가지고 위도와 경도를 나타낸다. 1-13은 전압을 뜻하며, 127은 12.7v를 의미한다. 마지막으로 1-14는 데이터로거의 상태 값을 표시한다.

4-4 네트워크 기반의 해양관측 데이터 전송 알고리즘

실시간 해양관측 데이터 시스템은 데이터의 정확성을 높이기 위하여 아래와 같은 구조로 네트워크가 동작한다. 그림 9는 상황에 따른 네트워크 구성을 나타낸다. 네트워크 이상이 없을 경우에는 각각의 데이터로거 시스템이 CDMA 통신을 통해 직접 서버에 데이터를 전송을 한다. 하지만 CDMA 통신이 고장이 나거나 오류가 발생할 경우에는 보조적으로 LoRa 통신을 이용하여 주변의 데이터 정보 및 오류 내용을 인근 데이터 로거에 전송을 하게 된다. 따라서 다양한 환경에서도 정확한 데이터를 전송할 수 있도록 보조 통신수단을 가지고 있으며, 이에 따른 내부 알고리즘은 알고리즘 2와 같다.

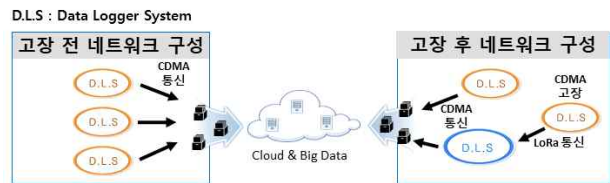


그림 9. 상황에 따른 네트워크 구성

Fig. 9. Network Structure of According to Situation

$T_r$ 는 실시간 시간을 나타내며,  $T_c$ 는 설정한 시간 주기,  $C_{cdma}$ 는 CDMA 통신 정보,  $S_{mag}$  해양기상측정에 따른 데이터 정보,  $C_{lr}$ 는 LoRa 통신 기반의 송신 데이터,  $D_{lr}$ 은 LoRa 통신 기반의 수신 데이터이다. ①은 센서 및 파고를 측정하기 위하여 대기 시간을 측정하며 측정되는 시간동안에는 내부 알고리즘이 계속 수행된다. ②는  $T_r$ 가 설정한  $T_c$ 와 같은지 여부를 체크하고 값이 같으면, ③과 같이 CDMA 통신을 위한 정보가

있는지  $C_{cdma}$  를 체크한다. 통신이 정상이면 ④와 같이 센서들의 상태 정보를  $S_{mag}$  에 저장한다. 데이터가 저장되면 ⑤와같이  $S_{mag}$  에 저장한 데이터를 CDMA통신을 통해 원격으로 전송한다. ⑥과 같이 만약 CDMA 통신이 원활하지 않거나 이용불가일 경우에는 ⑦과 같이 주변 스마트 해양기상관측 장비가 있는지 여부를 20km까지 전송이 가능한 LoRa통신을 이용하여 체크한다. ⑧과 같이 LoRa통신을 통하여 전송된 데이터  $D_{lr}$  가 있을 경우에는 센서들의 상태 정보를  $S_{mag}$  에 저장 한 후 LoRa 통신을 이용하여 상태 정보를 전송한다.

**알고리즘 2. 네트워크 기반의 데이터 전송**  
**Algorithm 2. Data Transmission based on Network**

```

WHILE  $T_r$  Real Time Operation THEN //①
  IF  $T_r == T_c$  THEN //②
    IF  $C_{cdma} != null$  THEN //③
       $S_{mag} = SensorCheck();$  //④
       $Transmission(S_{mag});$  //⑤
    END IF
    IF  $C_{cdma} == null$  THEN //⑥
      WHILE  $C_{lr}$  Request the Data THEN //⑦
        IF  $Receive(D_{lr}) != null$  THEN //⑧
           $S_{mag} = SensorCheck();$  //⑨
           $Transmission(S_{mag});$  //⑩
        END IF
      END IF
    END IF
  END WHILE
  
```

**V. 실시간 해양관측 시스템 실험**

**5-1 해양파고 실험**

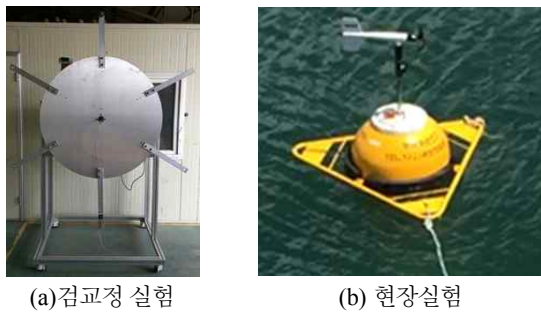


그림 10. 해양파고관측 실험 환경  
 Fig. 10. Experimental Environment for Ocean Wave Observation

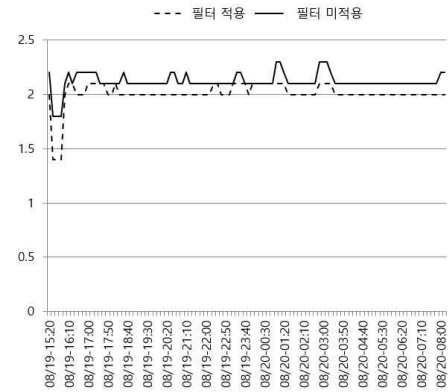


그림 11. 2m 검교정 장치를 이용한 파고측정 실험 결과  
 Fig. 11. Experimental Results of Ocean Wave Measurement using 2m Calibration Device

그림 10과 같이 해양파고 관측을 위해서 2가지형식의 실험 환경을 만들고 실험을 실시하였다. 검교정 장치는 2m파고계로 2m의 주기를 만들 수 있는 장치다. 그림 11과 같이 2m 파고계를 이용하여 비교실험을 실시하였으며, 칼만 필터를 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때를 동시에 실험하였다. 결과 그래프와 같이 칼만 필터를 적용하지 않았을 때는 전반적으로 2m값이 나오는 것이 아닌 2.1m 또는 중간 중간 노이즈가 발생하여 값이 정확하지 않은 것을 볼 수 있다. 칼만 필터를 적용한 데이터는 대부분 2m의 값이 거의 일정하게 나온 것을 확인 할 수 있었다.

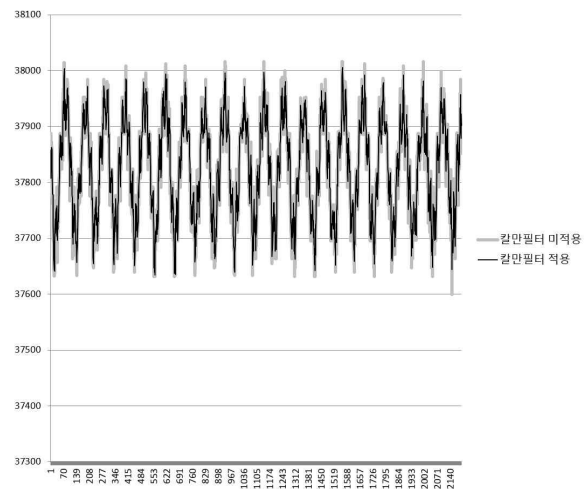


그림 12. 현장 실험 기반의 파고측정 결과  
 Fig. 12. Wave Height Measurement Results based on Field Test

그림 12은 실제 현장 실험을 통하여 측정된 해양파고측정 결과이다. 그림 11의 결과와 같이 칼만 필터를 적용한 해양파고 측정 시스템과 칼만 필터를 적용하지 않은 해양파고측정 시스템을 동시에 측정된 데이터로써 유사한 데이터 결과가 나타났다. 칼만 필터를 적용하지 않은 시스템은 전반적으로 데이터가

넓게 측정이 되는 것을 알 수 있다. 이는 노이즈로 인하여 발생 되는 데이터 값으로 인하여 이러한 모습이 나타난다. 하지만, 칼만 필터를 적용한 해양파고측정 시스템은 파고 데이터의 고주파의 노이즈가 제거되어 보다 안정적이고 정확한 값을 도출할 수 있었다.

**5-2 배터리 사용에 따른 최적의 주기 실험**

해양기상관측 시스템에 사용되는 배터리는 폭발위험이 적으며 3.2v의 리튬 인산철로 3개의 직렬과 4개의 병렬로 구성되어진 배터리 팩이다. 하나의 배터리팩은 100Ah로써 총 5개의 배터리팩을 구성하여 사용한다. 표 4는 해양기상관측 시스템 내부에 있는 데이터로거와 CDMA 사용에 따른 소비전류 표이다. 표 4는 60분간 소비되는 소비전류 값에 따른 결과이며, 기본적으로 사용되는 CDMA, 센서 등 실시간 해양기상관측을 위한 장비들을 연결하고 동시에 테스트를 진행하였다. 아래 표와 같이 주기를 다르게 하여 테스트를 동시에 진행하였으며, 표 5는 측정시간주기에 따른 평균 사용 일 수이다.

**표 4. 데이터로거 및 CDMA 사용에 따른 소비전류**  
**Table 4. Data Logger and CDMA Current Consumption**

	Input Volt[V]	Current[mA]	산입 시간[Sec]	순소비 전류[mA]
사이클 기준 시간			3,600S	
Main_Module_Sleep	9V	40mA	2,860S	114,400mA
Main_Module_Run	9V	80mA	740S	59,200mA
CDMA	5V	250mA	40S	10,000mA
Inmarsat 통신	12V	300mA		mA
Accelometer (9축센서)	5V	40mA	660S	26,400mA
GPS	9V	45mA	25S	1,125mA
PT100	12V	20mA	15S	300mA
CT-3919	12V	30mA		mA
PTB330	12V	80mA		mA
WMT700	12V	155mA		mA
HMP155	12V	2mA		mA
C100	12V	23mA		mA
Wave Direction	12V	300mA		mA
유향유속(4100)	12V	2,000mA		mA
단위시간 총 전류 소모량				211,425mA
Average Current				0.059Ah

표 5와 같이 해양기상관측을 60분, 30분, 10분, 5분 단위로 측정을 하였을 때 배터리가 얼마나 빠르게 소비되는지를 알 수 있다. 현재 기상청에서 사용되는 해양파고관측 장비는 주기가 30분단위로 운영되기 때문에 30분단위로 측정을 할 경우 약 6개월 정도는 측정이 가능하다는 결과를 확인할 수 있었다. 해양

날씨에 따라서 많은 변수가 있지만 대체적으로 일정하게 데이터가 전송이 되는 것을 확인 할 수 있었다.

**표 5. 배터리 사용에 따른 평균 가능 일수**  
**Table 5. Average Battery Life**

배터리 용량	배터리 전압	방전 효율	데이터 전송 주기	평균 소모전류	사용 가능시간	사용 가능일수
500Ah	9.6V	70%	60분	0.059A	5,959.6h	248
500Ah	9.6V	70%	30분	0.077A	4,518.6h	188
500Ah	9.6V	70%	10분	0.094A	3,735.0h	156
500Ah	9.6V	70%	5분	0.147A	2,374.2h	99

**VI. 결론**

본 논문에서는 수입에만 의존하고 있는 스마트 해양기상관측 시스템을 개발하였다. 파고는 기본적으로 측정할 수 있도록 시스템에 적용 하였으며, 칼만 필터 적용을 통하여 파고 데이터의 정확성을 비교실험을 통하여 확인 할 수 있었다. 또한 해양 환경에 지속적으로 파고 및 다양한 기상을 관측할 수 있도록 리튬인산철 배터리를 개발하였으며, 해양기상환경에서 측정할 수 있는 센서들을 부착하여 동시에 지속적으로 측정할 수 있도록 비교 실험을 통하여 결과를 확인할 수 있었다. 본 논문에서 개발한 시스템은 기존 수입품을 대체할 수 있을 뿐만 아니라, 현재 해양에 떠있는 부이를 활용할 수 있다는 점에서 해양기상관측 산업의 도움이 될 것으로 기대한다. 향후 파고 뿐만 아니라 파향에 대해서도 정밀하게 측정 할 수 있는 기술을 지속적으로 연구하여 본 시스템에 적용하도록 할 예정이다. 또한 개발한 기술을 통하여 해양 사고 및 다양한 분야에 활용할 수 있도록 할 예정이다.

**감사의 글**

이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발연구」(KMIPA 2017-1020)의 지원으로 수행되었습니다.

**참고문헌**

[1] Romer, Hans, HJ Styhr Petersen, and Palle Haastrup, "Marine accident frequencies-review and recent empirical results," *the Journal of Navigation*, Vol. 48, No. 3, pp. 410-424, 1995.

[2] Akyuz, Emre, "A marine accident analysing model to evaluate potential operational causes in cargo ships," *Safety science*, Vol. 92, pp. 17-25, 2017.

[3] Ram, Kondamudi Siva Sai, and A. N. P. S. Gupta, "IoT based Data Logger System for weather monitoring using Wireless sensor networks," *International Journal of*

- Engineering Trends and Technology(IJETT)*, Vol. 32, No. 2, pp. 71-75, 2016.
- [4] Hyunjin Lee, "The Development of the Predict Model for Solar Power Generation based on Current Temperature Data in Restricted Circumstances," *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 17, No. 3, pp. 157-164, 2016.
- [5] Korea Meteorological Administration, <http://www.kma.go.kr>
- [6] Grewal, Mohinder S, "Kalman filtering," *International Encyclopedia of Statistical Science*, pp. 705-708, 2011.
- [7] Sun, Shu-li, "Multi-sensor optimal information fusion Kalman filters with applications," *Aerospace Science and Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 57-62, 2004.
- [8] OMPACT-WH, <http://www.nijin.com.tw>
- [9] Kenek, <http://www.kenek-co.com>
- [10] NORTEK AS, <http://www.nortek-as.com>
- [11] Bhargava, Akansha, and R. S. Ochawar, "Biometric access control implementation using 32 bit arm cortex processor," *Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies (ICESC), 2014 International Conference on. IEEE*, pp.40-46, 2014.
- [12] Shuaib Ahmad Khan, Filippo Costa, Erno David, Jubin Mitra, Tivadar Kiss, S. Mukherjee, Rourab Paul, Tushar K. Das, A. Chakrabarti, Tapan K. Nayak, "Implementation of I2C bus master controller for CRU Slow Control in ALICE at LHC," *Proceedings of the DAE-BRNS Symp. on Nucl. Phys*, Vol. 61, pp. 1070-1071, 2016.
- [13] Nangia, Rakhi, and Neeraj Kr Shukla, "Functional verification of I2C core using SystemVerilog," *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 6, No. 4, pp.31-44, 2014.
- [14] Jun-Hyeok Ko, Dong-Kyun Han, Se-Ra Lee, Ha-Yeon Park, Dong-Hoi Kim, "Implementation of GPS-based Wireless Loss Prevention System using the LoRa Module", *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 761-768, 2017.
- [15] Juha Petajarvi, Konstantin Mikhaylov, Antti Roivainen, Tuomo Hanninen and Marko Pettissalo, "On the coverage of LPWANS: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology," *ITS Telecommunications (ITST), 2015 14th International Conference on. IEEE*, pp. 55-59, 2015.
- [16] Marco Centenaro, Lorenzo Vangelista, Andrea Zanella and Michele Zorzi, "Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 23, No. 5, pp.60-67, 2016.
- [17] Lee, Jhong Sam, and Leonard E. Miller. "CDMA systems engineering handbook" Artech House, Inc., 1998.
- [18] Batur, C., T. Sreeramreddy, and Q. Khasawneh, "Sliding mode control of a simulated MEMS gyroscope," *American Control Conference, 2005. Proceedings of the 2005. IEEE*, pp. 4160-4165, 2005.
- [19] Sabatini, Angelo M, "Quaternion-based extended Kalman filter for determining orientation by inertial and magnetic sensing," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, Vol.53, No. 7, pp. 1346-1356, 2006.
- [20] Christiano, Lawrence J and Terry J. Fitzgerald, "The band pass filter," *international economic review*, Vol. 44, No. 2 pp. 435-465, 2003.





**박상현(Sanghyun Park)**

2010년 : 나사렛대학교 멀티미디어학과 (학사)  
2014년 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 (공학석사)  
2014년~현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 박사과정

2010년~2012년: ㈜미디어플로우 시스템개발 연구원  
2017년~현재: ㈜오션이엔지 연구개발팀 선임연구원  
※관심분야 : 인터랙티브 미디어, 시스템 관리, 임베디스 시스템, 디지털미디어, 클라우드 컴퓨팅



**박용팔(Yongpal Park)**

1982 ~ 1989 : 금오공대 전자공학(전산 전공) (학사)  
1993 ~ 1995 : 포항공대 정보통신(반도체 전공) (석사)

1995년~2001년 : SK하이닉스반도체 선임연구원 (RISC MCU 개발, FCC 개발)  
2004년~2008년 : 매그나칩 반도체 기술마케팅 팀장 (Mobile Display Driver IC 개발)  
2017년~현재 : ㈜오션이엔지 연구소장  
※관심분야 : System IC, Embedded System, 반도체 SOC 개발, Display, 해양기상관측



**김희진(Heejin Kim)**

2016년 : 삼육대학교 컴퓨터학부 소프트웨어학과 (학사)

2017년~현재: ㈜오션이엔지 연구개발팀 연구원  
※관심분야 : 시스템 관리, 임베디드 시스템, 클라우드 컴퓨팅, 해양기상관측, 웹,앱개발



**김진술(Jinsul Kim)**

2001년 : Computer Science (BSCS), University of Utah, USA  
2005년 : KAIST 정보통신공학과 디지털미디어공학전공 (공학석사)  
2008년 : KAIST 정보통신공학과 디지털미디어공학전공 (공학박사)

2005년~2008년 : ETRI 한국전자통신연구원 연구원  
2009년~2011년 : 나사렛대학교 멀티미디어학과 교수  
2012년~현재 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수  
관심분야 : 방송.통신 융합미디어 처리, 디지털미디어처리, 휴먼-컴퓨터 인터랙션, 클라우드컴퓨팅, 등



**박종수(Jongsu Park)**

2005년 : 산업기술대학교 메카트로닉스 공학 (학사)

2008년 : 부경대학교 대학원 에너지자원공학과 (공학석사)

1992년~1995년 : 삼성 SDS GIS 사업부

1995년~1997년 : ㈜오토트로닉스아시아

1997년~2001년 : 오션테크(주) 공동창업

2002년~2003년 : 선진해양기술 창업

2003년~현재 : ㈜오션이엔지 대표이사

※ 관심분야 : 해양기상관측, 환경관측, 해양 Iot 플랫폼 개발, 대기관측