Check for updates
Journal of Sensor Science and Technology
Vol. 31, No. 1 (2022) pp. 64-68
http://dx.doi.org/10.46670/JSST.2022.31.1.64
pISSN 1225-5475/eISSN 2093-7563

다중 GPS 삼각측량보정법을 이용한 LoRaWAN기반 실시간 해류관측시스템 개발

강영관[1] · 이우진[2] · 임재홍[1,+]

Development of a LoRaWAN-based Real-time Ocean-current Draft Observation System using a multi-GPS Triangulation Method Correction Algorithm

Young-Gwan Kang[1], Woo-Jin Lee[2], and Jae-Hong Yim[1,+]

Abstract

Herein, we propose a LoRaWAN-based small draft system that can measure the ocean current flow (speed, direction, and distance) in real time at the request of the Coast Guard to develop a device that can promptly find survivors at sea. This system has been implemented and verified in the early stages of rescue after maritime vessel accidents, which are frequent. GPS signals often transmit considerable errors, so correction algorithms using the improved triangulation method algorithm are required to accurately indicate the direction of currents in real time. This paper is structured in the following manner. The introduction section elucidates rescue activities in the case of a maritime accident. Chapter 2 explains the characteristics and main parameters of the GPS surveying technique and LoRaWAN communication, which are related studies. It explains and expands on the critical distance error correction algorithm for GPS signals and its improvement. Chapter 3 discusses the design and analysis of small draft buoys. Chapter 4 presents the testing and validation of the implemented system in both onshore and offshore environments. Finally, Section 5 concludes the study with the expected impact and effects in the future.

Keywords: Multi GPS, Triangulation method correction algorithm, Ocean current, Drift observation system, LoRa communication

1. 서 론

최근에도 해상환경에서는 선박 사고들이 줄어들지 않고 발생하고 있다. 국내에서는 세월호 참사와 같은 대형 인명 사고가 있었고, 끊이지 않는 중소형 선박 사고로 충돌, 전복, 화재 등으로 인한 피해 사고 사례들이 있다. 하지만, 이를 위한 구조안전 및 구명활동을 위한 체계는 미흡한 실정이다[1].

해상 사고가 발생하게 되면 해양경찰에서는 AIS(Auto Identification System)를 통해 최종 선박의 사고위치를 파악하고, 신속하게 출동하여 골든타임 확보를 위해 탐색과 구조(search and rescue) 활동을 통해 조난자를 구명하게 된다.

그러나, 해류의 흐름에 따라 선박의 사고지점과 실제 조난자 구조 지점이 원거리로 상이함에 따라, 탐색구조 활동에 매우 큰 애로사항을 가지고 있으며, 긴급 출동시 조난자 구조를 위해 실시간 해류 상황 예측이 필요하다. 지난 2015년 국립해양조사원에서 개발한 해경 표류 예측 시스템은 국내 소수의 기상부이에

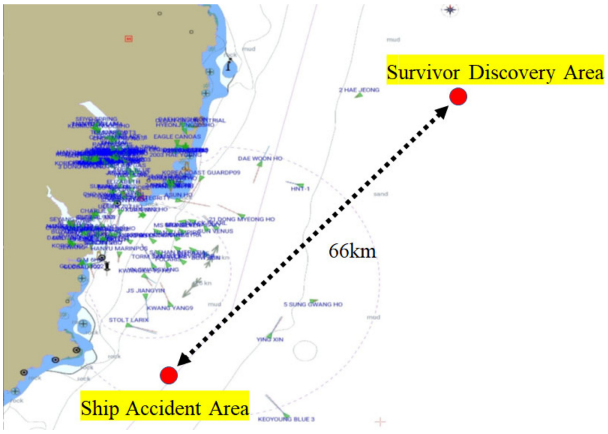


Fig. 1. Comparison of the ship accident area and the survivor Discovery Area.

[1] 한국해양대학교 전자통신공학과(Dept of Electronics and Communication Engineering, Korea Marine And Ocean University, Dongsam 2-dong, Yeongdo-gu, Busan, 49112, Korea)
[2] ㈜대양계기(Daeyang Instrument Co., LTD., 1612-3 Songjeong-dong, Gangseo-gu Busan 46754, Korea)
[+] Corresponding author: jhyim@kmou.ac.kr
(Received: Dec. 21, 2021, Revised: Jan. 4, Jan. 27, 2022,
Accepted: Jan. 28, 2022)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(https://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.

서 제공한 해류 환경 데이터를 기반으로 하기 때문에 실제 사고지점의 해류, 조류, 파랑 등 다양한 요소들이 복합적으로 작용하여 기상 변화 및 실종자 위치를 예측하기 힘든 실정이다.

현재 해상에서는 사고가 발생할 경우 실종자나 사고 선박을 찾기 위해 경비함정과 항공기, 민간 어선 등 많은 장비와 인력이 투입되고 있으나, 실질적으로 해상 사고 현장은 수시로 변하기 때문에 실종자 수색에 큰 어려움이 있는 실정이며, 조난자 발생시 사고지점을 기준으로 해류의 흐름을 실시간 측정 및 분석하여 조난자 위치를 예측하는 것은 매우 중요하다[2,3].

본 논문에서는 GPS를 이용하여 해상에서의 사고 초기 신속한 해류 흐름(거리, 속도, 방향)을 파악하기 위한 이동형 해류 속도 및 방향을 측정할 수 있는 시스템을 설계하고, 시작품을 구현하였고 이를 해상환경에서 테스트 함에 따라, 시제품의 정확도 및 효율성을 검증하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 선박 사고에 따른 위급 상황시 실시간 해류 측정값을 송수신할 수 있는 단말기를 제작하고, 다중 GPS 값을 동시에 수신받아 조난 상황에서 탐색구조의 방향을 예측하기 위한 소형 장치로 장기간 바다에서 동작할 수 있는 저전력 비면허대역 통신 기술이 필요하며, 이동형 소형 모듈을 고려하여 LoRa WAN 통신 시스템으로 이를 개발하고자 하였다. 전체 시스템은 3개 이상의 다중 GPS를 탑재한 해수유동표류관측장치(송신기)를 통해 삼각측량법을 이용해 오차를 줄이면서도 정확한 위치를 데이터 송수신 할 수 있도록 하였다.

2.1 GPS 위치측위기법

실외에서 측위 계측을 위한 기법에는 다수의 방법이 있으나, 가장 보편화된 측위법으로 삼각측량측위 방식을 사용하며, 삼각측량은 GPS에서 범용적으로 사용되어지며, 3개의 위성과 GPS

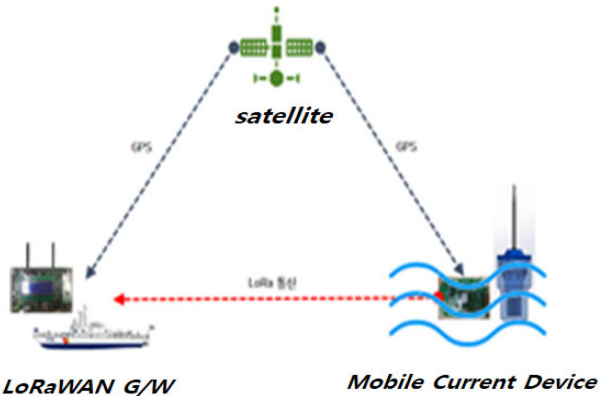


Fig. 2. Diagram of ocean-current draft observation system.

$$\phi_A^i = f\delta^i + \frac{1}{\lambda}\rho_A^i - f\delta_A - N_A^i$$

$$Var(GPS) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(GPS(i) - mean(GPS))$$

$$\sigma(GPS) = \sqrt{Var(GPS)}$$

$$\phi_A^i = f\delta^i + \frac{1}{\lambda}\rho_A^i - f\delta_A - N_A^i$$

$$Var(GPS) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(GPS(i) - mean(GPS))$$

$$\sigma(GPS) = \sqrt{Var(GPS)}$$

ϕ_A^i= A Phase measurements(cycles) of the carrier to satellite, receiver A

ρ_A^i= Geometric distance between satellite and receiver

δ^i= Satellite i clock error (sec)

ϕ_A^i= Receiver A clock error (sec)

f= Reference frequency of satellite (Hz)

Fig. 3. Measurement theory of satellite GPS data.

수신기의 거리를 통해 위치를 결정한다. 해수유동표류 관측장치가 해류를 통해 이동하게 되면 원의 교차점이 이동함에 따라 정확한 위치 데이터를 수신 받을 수 있다[4].

본 연구에서는 3개 이상의 다중 GPS를 통해 수신되어진 값을 2중차법을 두번 연속된 시간에 시행하여, 그 차를 구하는 방법으로 상대 측위 기법을 사용함으로써 단순 차분법에 비해 오차 범위를 줄일 수 있다. 표준편차와 임계치T를 이용하여 GPS 수신데이터 신호의 검증절차를 거친다. GPS 신호의 경우 간혹 매우 큰 오차를 전송하는 경우가 있어 이런 경우 속도 및 거리 연산에 치명적인 오류를 발생시키기 때문에, 수신된 N개의 GPS 신호 중 평균과 일정구간 이상 떨어진 GPS 신호는 계산에 사용하지 않는다.

2.1.1 절대측위

이동국 1대로 지구상의 어느 위치에서도 측정이 가능하므로 주로 자동차, 선박 항공기 등의 항법시스템으로 이용되고 있다. 절대측위의 정밀도는 100m 정도로 SA(selective availability)를 발동시킨 상태에서의 C/A코드, L1 대 1주파 수신의 표준측위의 경우이며, 현재는 SA가 해제되어 20~30m의 정밀도를 얻을 수 있으며, P코드의 사용데 따른 정밀측위의 경우 정밀도는 더 좋아진다.

2.1.2 상대측위

한 대의 GPS수신기를 이용하여 측량을 수행하는 절대측위는

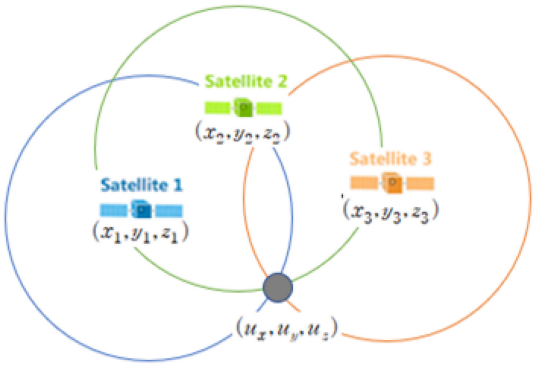
위치 결정 정밀도가 수신기의 능력에 의해 좌우된다. GPS신호의 C./A 코드를 이용하여 관측점의 위치를 결정하는 저가의 상용 수신기는 그 정밀도 수십 미터에서 수백 미터에 이르며, 암호화된 P코드를 사용하는 수신기의 경우에도 1m이하의 정밀도를 가지기 어렵다. 측지 및 측량, 지각 변동의 감시 등과 같이 수cm 이하의 고정밀 위치결정이 요구되는 분야에서는 절대측위에 따른 GPS의 위치결정 한계를 극복하기 위해 상대측위 기법을 이용한다. 상대측위 기법은 정밀한 위치를 알고 있는 지점과 위치측정이 요구되는 지점에서 동시에 GPS 관측을 수행하고, 두 수신기에 수신된 고주파 확산 스펙트럼 형식인 반송파를 이용한 자료처리로 정밀도를 현저히 증가시키는 방법이다.

2.1.3 삼각층량법

GPS 수신기는 위성으로부터 수신한 항법 데이터를 사용하여 사용자의 위치 및 속도를 계산한다. 항법 데이터는 시각에 대한 부분과 위성 궤도에 관한 부분, 기타 보정 모델 값 등으로 구성되어 있다. 이 데이터를 이용해 위성의 위치를 계산해 내고, 신호가 도착하는데 걸린 시간을 계산하여 위성과 사용자간의 거리를 계산한다.

이때 계산된 거리는 실제 거리와는 차이가 많기 때문에 다중 GPS를 이용해 오차 범위를 보정하고자 하였다. 삼각 측량법은 한 점과 두 기준점이 주어졌으면 그 점과 두 기준점이 이루는 삼각형에서 밑변과 다른 두변이 이루는 각을 각각 측정하고 그 변의 길이를 측정한 뒤 사인 법칙 등을 이용해 좌표와 거리를 알아내는 방법이다[3].

수신되어진 두 좌표의 GPS 간 거리를 구하고, 고정되어진 좌표(x1, y1), (x2, y2), (x3, y3)를 알고 있으므로 3개의 원이 만나는 점을 아래식을 통해 위치 좌표를 얻을 수 있다.



$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 + y)^2} = d_1$$

$$\sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 + y)^2} = d_2$$

$$\sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 + y)^2} = d_3$$

Fig. 4. theory of triangulation method correction.

얻어진 좌표값은 연속되어진 시간차에 대한 오차 및 위상 변위에 의한 오차값을 포함한 값이지만, 저가의 GPS는 수신데이터가 오차범위를 벗어난 값을 수신받게 되므로, 이를 다수의 GPS로 부터 삼각측량하여 보정하도록 구현하였다.

2.2 해수유동 표류관측시스템

두 좌표간 방향은 아래의 수식을 이용하여 방향을 계산한다. θ=atan2(sin Δλ·cosφ$_1$, cosφ$_1$·sinφ$_2$−sin φ$_1$·cosφ$_2$·cosΔλ)φ$_1$,λ$_1$은 출발 지점, φ$_2$,λ$_2$는 도착 지점의 좌표를 나타내며, Δλ는λ$_1$와 λ$_2$의 차이다. 이동속도의 계산은 GPS의 시간과 2번에서 계산된 이동거리를 이용해 속도를 계산한다. GPS 신호의 오류로 인해 속도 및 평균이동거리의 오차가 발생하는 경우가 있어 해상에서 급격하게 속도가 증가하는 경우 GPS 신호의 오차로 판단하며 다음신호가 수신될 때 속도를 다시 계산하도록 한다.

Greate Circle Distance을 사용하여 직전 GPS 좌표와 현재 GPS 좌표 사이의 거리를 계산한다. 각 함수값은 데이터의 수신거리에 비례하고, 삼각측량값을 통해 보정되어진 3지점의 GPS 값의 평균을 구한다.

3. 본　　론

3.1. LoRaWAN기반 소형드래프트부이 시스템

LoRa는 Long Range의 약자로 LoRa 통신의 가장 두드러지는

$$\Delta\sigma = \arctan\frac{\sqrt{(\cos\phi_2\sin(\Delta\lambda))^2 + (\cos\phi_1\sin\phi_2 - \sin\phi_1\cos\phi_2\cos(\Delta\lambda))^2}}{\sin\phi_1\sin\phi_2 + \cos\phi_1\cos\phi_2\cos(\Delta\lambda)}$$

```
double GetGreatCircleDistance(GPS stSrc, GPS stDst)
    {
    double dSrcLatRad, dSrcLngRad, dDstLatRad, dDstLngRad;
    double dNum, dDen, dAns, dDIST;
    GPS stGPSDiff;
    dSrcLatRad = stSrc.Lat * PI / 180;
    dSrcLngRad = stSrc.Lng * PI / 180;
    dDstLatRad = stDst.Lat * PI / 180;
    dDstLngRad = stDst.Lng * PI / 180;
    stGPSDiff.Lat = dSrcLatRad - dDstLatRad;
    stGPSDiff.Lng = dSrcLngRad - dDstLngRad;

    dNum = sqrt(pow(cos(dDstLatRad) * sin(dDiffLng), 2.0) +
    pow(cos(dSrcLatRad) * sin(dDstLatRad) -
    sin(dSrcLatRad) * cos(dDstLatRad) * cos(dDiffLng), 2.0));
    dDen = sin(dSrcLatRad) * sin(dDstLatRad) +
cos(dSrcLatRad) * cos(dDstLatRad) * cos(dDiffLng);
    dAns = atan(dNum / dDen);
    dDIST = EARTH_RADIUS * dAns;
    return dDIST;
    }
```

Fig. 5. Calculation of the multi-GPS triangulation method correction algorithm.

Table 1. Minimum required parameters of bitrate and receive sensitivity

Spreading Factor	Bitrate(bps)	Receive Sensitivity (dBm)
7	5469	-123
8	3125	-126
9	1758	-129
10	977	-132
11	537	-133
12	293	-136

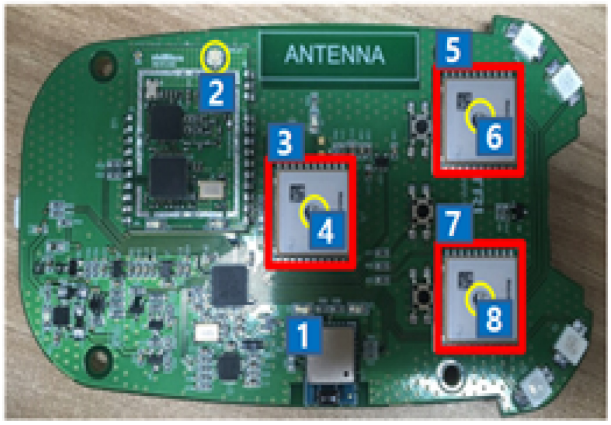


Fig. 6. Multi-GPS ocean current drift observation device embedded board.

특성인 비면허대역 장거리 통신거리를 표현한다. 통신 구조는 스타 토폴로지 기반의 Aloha 프로토콜 방식을 채택하고 전파 도달 거리는 최대 20 km이며, 통신 속도는 0.3 kbps에서 50 kbps 사이이다. 속도와 전송시간 등을 고려하여 주로 2 km의 범위를 사용한다. 또 다른 특징으로는 Low Energy, 다중 센서 기능, 암호화를 들 수 있으며 안전한 양방향 통신과 이동성을 제공한다[5,6].

LoRa 단말기의 전송거리 및 전송속도는 LoRa 단말기에 적용되는 확산계수에 따라 달라지게 된다. Table 1은 우리나라에서 상용화되고 있는 저전력 IoT LoRa 단말기에 대한 확산계수와 수신감도에 대한 상관관계를 보여주고 있다[3].

GPS는 25 m 수준의 위치 정확도를 가지는 단일 위성 항법 시스템(Stand-alone GPS), 몇 m 수준의 위치 정확도를 지니는 보정 위성 항법 시스템(differential GPS, DGPS) 그리고 cm 수준의 위치 정확도를 지니는 반송파 보정 위성 항법 시스템(carrier phase differential GPS, CDGPS) 으로 분류할 수 있다.

해상에서 다수의 해류 측정 장비를 통해 측위하려면 단말 크기, 무게, 전력 소비량 등을 고려해야 하며, 구난자 10~20 m 이내 위치 정확도가 요구되어짐에 따라, 단일 위성 항법 시스템을 다중 GPS를 통해 비교적 저렴한 가격으로 측위 정밀도를 보정할 수 있도록 하였다.

수신기 모듈은 Fig. 6과 같이, 측위오차를 보정하기 위해 4), 6), 8) 3개의 GPS 수신모듈을 탑재하고, 이동형 5 v~12 v 리튬 배터리 장착하였다. 로라통신모듈은 917~923.5 주파수 요구사항을 만족하고, LBT(listen before talk) 기능을 사용하도록 설계 및 제작하였다.

3.2. 소형드래프트부이 시스템 설계 및 해석

해수유동 표류관측장치의 형상은 범용화된 드래프트 부이(draft buoy) 형상을 기반으로 사용자의 요구사항에 맞게 이동 및 운용이 용이할 수 있도록 설계하였으며, 시제품의 구현은 소재에 대한 표면 오손도와 유지보수는 고려하지 않는다. 표류시 형상의 부력에 따라, 700 Mhz~900 Mhz 무지향성 안테나가 통신품질에 영향을 주지 않도록 LOS(line of sight) 확보를 위한 형상의 무게와 해류에 의한 해석 결과를 바탕으로 제작하였다. 파랑에 따른 해류의 흐름에 따라, 이동식 부이의 형상, 무게중심을 적용하였으며, 해양에서 발생하는 파도를 구현하기 위하여 아래 식과 같이 유동방정식을 적용하였으며, Tetrahedral 및 prism 격자계는 각각 1,050,000 node, 4,760,000 element를 사용하였다.

테스트베드 구성은 다음과 같다. 해수유동표류관측장치 시제품과 송신 안테나 및 모듈, 송신기용 배터리, 수신 안테나 및 모듈, 수신 데이터 확인을 위한 단말(노트북)로 구성된다. 송신기의 실시간 위도값·경도값와 속도, 방향, 거리가 디스플레이 되도록하고, 위도와 경도의 단위 표시는 [위도 Lat, 경도 Lng]로 표기하고, 부이의 표출내용은 [도.분.초](00.00.00)로 방향으로 표기하였다.

수신 데이터의 검증은 UTF-8 string length & Byte Counter로 계산하여 확인하였으며, GPS 데이터는65Byte이나 본 테스트에서는 해수유동표류 관측장치 시제품 송수신 단말의 설정값(SF

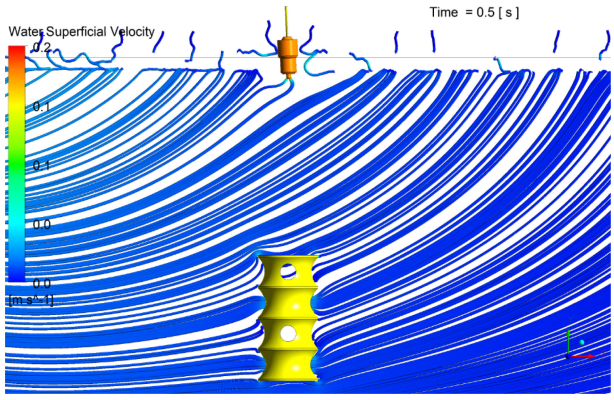


Fig. 7. Results of flow analysis of small buoys.

$$u_i = \frac{gAk}{\omega}\frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)}\cos(kx-\omega t)$$

$$w_i = \frac{gAk}{\omega}\frac{\sinh(k(z+h))}{\sinh(kh)}\sin(kx-\omega t)$$

$$\omega = \sqrt{gk\tanh(kh)} = \sqrt{gk\tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

Fig. 8. Analytical calculation of buoy element.

```
OnRxDone
RssiValue=-96 dBm, SnrValue=-2
Received Message:
message sent
OnRxDone
RssiValue=-94 dBm, SnrValue=-2
Received Message:
$GPRMC,350601.9"N 1290725.0"E*62
$GPRMC,350601.9"N 1290725.0"E*62
$GPRMC,350601.9"N 1290725.0"E*62
$GPRMC,350601.9"N 1290725.0"E*62
...
```

Fig. 9. Multi-GPS receive data

11, SF12)에 따른 데이터 송수신 값을 UTF-8 string length & Byte Counter로 계산해 293~537 bps 내 데이터가 수신되었는지를 확인하였다.

또한, Rx Signal Strength, SF, Tx power 조회 및 SF, BW, CR 설정 및 RX, TX time (local time) 출력이 가능하도록 하였다. Data 수신 여부 확인을 위한 sequence 정보 생성 전달하고 GPS 위치 표시를 포함한 log를 생성하였다

해류측정장치에서 전자해도시스템 수신기로 위치를 전송하는 방법은 NMEA0183의 형식에 따라정보를 보내는 방법, AIS 메시지 형식으로 보내는 방법 및 자체 형식으로 보내는 방법이 존재한다.

본 연구에서는 NMEA 0183의 GPRMC에 적용하고 있으며 NMEA0183 프로토콜은 $로 시작하며, $뒤의 두글자는 장비 종류, RMC와 같은 세 문자는 센텐스의 종류를 나타내며, 각 데이터 필드는 콤마(,)로 구분된다. 데이터 필드가 끝나면 모든 문자에 대해 XOR 계산한 후, *뒤에 계산 결과 6진수로 한 바이트 값을 적어준다. 센텐스의 종료는 아스키코드 13(carrage return), 10(line feed) 두 바이트이다.

4. 결　　론

본 논문에서는 GPS 측량기법과 LoRaWAN 통신의 특징과 주요 파라미터에 대해 설명하고, 해수유동표류 관측장치 시제품을 설계 및 구현하였다. 본 시스템을 통해 해상에서의 사고 초기 신속한 해류의 흐름(속도, 방향)을 예측함에 따라, 조난자 구조를 위한 위급상황 시 체계적인 탐색구조가 될 것으로 예상 되어진다.

데이터 송수신 시 중소형 선박에서 저전력/저비용으로 WiFi 통신이 불가능한 지역에서도 통신이 가능한 특징을 가진 LoRa 통신을 선내에서 활용하여 현장 데이터를 처리하고, 선외 통신도 최대 14 Km까지 데이터 전송이 가능한 통신 방식으로 IoT 기술 중 가장 선호도가 높아 사업화에 매우 유리할 것으로 확인되었다. LoRa 통신은 저전력, 장거리 전송, 다중센서, 암호화 등의 특징을 가지고 있으며, 테스트제품은 선박표준네트워크(NMEA0183)와 연동할 수 있음에 따라, 다양한 제품으로 확장이 가능할 것이다.

GPS(위성항법장치)를 활용한 조난자 구조용 해류측정 장치 개발 시 요구되는 시제품 제작, 시제품 성능 검증 테스트 등을 학계에서 수행하기에는 전문인력 및 선박과 같은 대형장비 등에 대한 한계점이 있다.

세월호 참사를 계기로 정부 차원에서 해양 긴급 사고에 신속히 대응할 수 있는 제도를 적극으로 구축 및 강화하고 있는 추세로 현재 시점 GPS(위성항법장치)를 활용한 조난자 구조용 해류측정 장치의 기술 개발은 필수적으로 판단되며, 정부의 다양한 안전정책의 수립 및 시행에도 불구하고, 인명피해를 동반한 대형해양사고가 지속적으로 발생하여 안전대책의 근본적인 재점검 필요함을 인지함에 따라 해양레저, 관광 등 연안해역을 통항하는 소형선, 여객선의 증가에 따라 해상사고 발생 위험성 해소를 위한 정밀 수로정보확보 등 관련 기술에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

[1] S. T. Nam, C. Y. Jin, and D. G. Kim, “A priority analysis on mobile telecom internet of things using the AHP (analytic hierarchy process)”, *J. Korea Ins. Inf. Commun. Eng.*, Vol. 21, No. 6, pp. 1191-1196, 2017.

[2] W. C. Jung, S. S. Lee, and J. H. Park, “Design of optimal snow melting system with snowfall image processing based on the IoT technology”, *Asia-pacific J. Multimed. Serv. Converg. Art Humanit. Soc.*, Vol. 5, No. 6, pp. 521-530, 2015.

[3] H. Lee and D. Lee, “A Study on Localization System using 3D Triangulation Algorithm based on Dynamic Allocation of Beacon Node”, *J. Korean Institute Commun. Inf. Sci.*, Vol. 36, No. 4B, pp. 378-385, 2011.

[4] S. Lim and K. Lee, “Preventing Communication Disruption based on LoRaWAN”, *2017 Proc. Symp. Korean Institute Commun. Inf. Sci.*, Korea, pp. 509-510, 2017.

[5] S. Y. Kim, S. K. Park, and H. D. Choi, “Wide range IoT technology and standardization based on LPWA”, *Electron. Telecommun. Trends*, Vol. 31, No. 2, pp. 95-106, 2016.

[6] B. C. Fargas and M. N. Petersen, “GPS-free geolocation using LoRa in low-power WANs”, *Global Internet of Things Summit(GIoTS)*, pp. 1-6, Geneva, 2017.