

## 고정밀 GPS 항법정보 기반 선박통항안전시스템 설계

† 송세필 · 조득재\* · 박슬기\* · 홍철의\* · 박상현\* · 서상현\*

\*,† 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 해양안전기술연구부

### Design of Transportation Safety system with GPS Precise Point Positioning

† Se-Phil Song · Deuk-Jae Cho\* · Sul-Gee Park\* · Chul-eui Hong\* · Sang-hyun Park\* · Sang-Hyun Suh\*

\*,† Marine Safety Research Division, Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KIOST, Daejeon, Korea

**요 약** : 해양 사고는 대부분 지형지물, 혼잡한 해상교통 및 기상악화 등에 의한 충돌 사고이다. 따라서 안전한 통항을 위해서는 정확한 정보를 토대로 사전에 통항안전을 판단하여야 하지만, 정보가 부족하거나 부정확하다면 통항안전 판단이 어렵게 된다. 따라서 다양하고 정확한 환경 정보를 토대로 사전에 통항안전을 정확하게 제공할 수 있는 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 선박의 통항안전을 예측하는 시스템을 구성하였다. 제안한 시스템은 항로 내 지형지물 정보에 대한 데이터베이스를 포함하며, 정확한 위치 정보를 토대로 현재 선박의 위치와 각 요소 사이의 수평 또는 수직 간격을 계산한다. 본 논문에서는 정확한 선박의 3차원 위치를 구하기 위하여, PPP 기반의 GPS 항법 알고리즘을 적용하였다. 또한, 기상악화로 인하여 시계가 불안정하더라도 항해가 가능하도록 데이터베이스 기반의 3차원 모니터링 기능을 추가하였다. 아울러 실제로 경인아라뱃길과 선박의 정보를 이용하여 시스템을 구성하고, 기능 및 성능을 평가하였다.

**핵심용어** : 해양 사고, 선박통항안전시스템, GPS, PPP, 경인아라뱃길

**Abstract** : Most of the maritime accidents are the crash that occurred by complex coastal terrain, increased maritime traffic and frequent weather changes. Therefore, transportation safety is exactly determined using accurate environmental informations, but if informations are inaccurate or insufficient, accident risk can be increased. Therefore, ship need the system that can accurately generate transportation safety information. This paper proposes the transportation safety system and performance evaluation in the real environment. The proposed system includes database of environment informations and navigation algorithm using PPP method to estimate the accurate ship position. Therefore, this system can accurately calculate distance or freeboard between ship with other factors. Futhermore, when weather is deteriorated, crew can sail with database based 3-D monitoring module in the transportation safety system. To verify the function and performance, data of Kyungin ARA waterway and ferry is used to evaluation.

**Key words** : Maritime Accident, Transportation Safety System, GPS, PPP, Kyungin ARA Waterway

## 1. 서 론

해상이나 수로에서 발생하는 대부분의 선박 사고는 지형지물이나 다른 선박과의 충돌 사고이다. 실제로 2012년 4월 24일에는 해무 낀 해상을 지나던 쾌속선이 고흥 나로2대교를 통과하려다 교각과 충돌하는 사고가 있었고, 같은 해 9월 24일 새벽에는 울릉도 근처에서 줄음운항을 하던 어선이 조업 중이던 다른 어선과 충돌하는 등 과거부터 통항안전과 관련된 사고는 빈번하게 발생하였다. 해상 사고는 선박과 시설물을 파손하고, 승객과 시설물 이용자의 안전을 위협하며, 선박 연료의 유출로 인한 심각한 환경오염이 유발되는 등 다양한 문제를 유발할 수 있다. 특히, 한반도 주변 해역은 복잡한 해안선과 많은 섬이 얽혀 있는 형태이며, 각 섬과 육지는 연도교나

연륙교와 같은 교량으로 서로 연결되어 있다. 조석, 해무나 태풍과 같은 자연현상은 수위를 증가시키고, 시야를 방해한다. 게다가 해상 물류 및 여객 수요의 증가에 따른 복잡한 해상 교통량 문제로 인하여 선박 간 충돌 사고도 증가하고 있다.

위치 영역에서의 선박통항안전을 판단하기 위해서는 항로 정보를 토대로 항로 내에 위치한 모든 요소와의 수평 또는 수직적인 거리를 고려하므로, 정확한 3차원 선박 위치 및 지형, 시설물에 대한 정보가 필요하다. 최근에는 ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)로부터 통항안전정보를 획득할 수 있다. 그러나 교량과 같이 ECDIS에 포함되지 않은 사항에 대해서는 통항안전의 고려가 어렵고, 부정확한 선박 위치를 사용하면 신뢰도가 감소한다. 특히, ECDIS를 미탑재한 소형 선박은 사용 가능한 정보가 한정되므로 통항안전

† 교신저자 : 연희원, sephil@kiost.ac 042)866-3695

\* 연희원, djcho@kiost.ac 042)866-3683

\* 연희원, parksg@kiost.ac 042)866-3685

\* 연희원, hush@kiost.ac 042)866-3661

\* 종신회원, spark@kiost.ac 042)866-3681

\* 종신회원, shsuh@kiost.ac 042)866-3000

의 예측이 어렵다. 따라서 높은 정확도로 통항안전을 확인할 수 있으면서도 소형 선박에 적용 가능한 시스템이 필요하다.

본 논문에서는 선박과 시설물 사이의 수평 거리 또는 높이의 차이를 계산하고, 이를 토대로 통항 가능 여부를 수치적으로 제공하는 시스템을 설계하였다. 이를 위하여 ECDIS와 마찬가지로 항로상의 지형 정보, 항로표지정보 및 선박의 제원을 별도의 데이터베이스로 구성 및 관리 하도록 하였다.

또한, 수신기와 관계없이 선박의 3차원 위치를 정확하게 추정하기 위하여 PPP(Precise Point Positioning) 기반 항법 알고리즘을 시스템에 적용하였다. PPP는 GPS 측정치와 고정밀 위성 위치, 오차모델만으로도 기존의 상대항법과 유사한 정확도를 갖는 3차원 위치 추정이 가능하므로, 정확하게 시설물과의 거리를 계산할 수 있으며, 특히 높이제한 정보를 이용한 3차원 통항안전정보의 제공이 가능하다.

그리고 현재 선박 및 주변 환경을 가상화면으로 확인하기 위하여 3차원 모니터링 모듈을 포함하였다. 이를 통하여 과거의 GPS 측정치만 있으면 GPS 수신기가 없어도 과거 통항 상황의 재현, 시뮬레이션이 가능하다. 특히, 정확한 위치 정보를 기반으로 하기 때문에 기상현상으로 인하여 시계가 좋지 않은 상황에서도 화면만 보고 통항이 가능하다. 또한, GPS 수신기와 데이터베이스만으로 항법과 통항안전판단이 가능하므로, PC와 GPS 수신기만으로 간단하게 시스템을 구성할 수 있다.

본 논문에서 설계한 통항안전시스템을 검증하기 위하여, 대한민국의 내륙수로인 경인아라뱃길을 대상으로 하는 통항안전시스템을 구성하고 기능을 검증하였다. 이를 위하여 실제 경인아라뱃길의 지형모델과 운항 중인 여객선의 제원 및 GPS 수신기의 출력을 기록한 데이터를 입력으로 사용하였다. 또한, 수위 정보를 강제로 조정함으로써 안전에 이상이 발생하였을 때의 통항안전시스템 동작 상태를 확인하였다.

## 2. 선박통항안전시스템 설계

선박의 통항가능여부 및 위험요소는 현재 선박의 위치 및 주요 제원 외에도 지형, 시설물, 항로 표지 정보 등을 종합함으로써 식별할 수 있다. 아울러 선박통항안전시스템의 설계 대상을 선정하고 이를 기준으로 시스템을 구성하였으며, 실제 데이터를 이용하여 동작을 검증하였다.

### 2.1 선박통항안전 판단 요소

#### 1) 선박통항안전

선박의 통항안전은 섬이나 수로, 운하, 암초와 같은 지형요소 및 교량, 송전선로, 선착장, 계류장과 같은 시설물, 선박 등에 의하여 영향을 받으며, 해무나 태풍과 같은 기상현상도 고려하여야 한다(Kim et al., 2005). 즉, 선박의 충돌사고를 방지하고 통항안전을 확보하기 위해서는 정확한 선박의 크기를 포함한 제원 및 현재 위치 및 다른 선박의 위치, 각 지형지물의 위치와 크기와 같은 다양한 정보를 알고 있어야 한다.

선박은 수면을 이동하기 때문에 통항안전의 판단을 위해서는 지형지물과의 수평 거리를 고려하여야 한다. 특히, 운하나 수로와 같은 좁은 지형이나 교각 사이를 통과하기 위해서는 선박의 너비와 지형의 폭을 알아야 한다. 그리고 선박의 수직 제원이나 위치 정보도 중요한 판단 요소이다. 예를 들어 교량이나 송전선로의 높이를 고려하여야 충돌 사고를 예측할 수 있다. 또한, 좌초를 피하기 위해서는 정확한 수심 정보를 알아야 한다. 야간 운항이나 해무의 영향을 받는 상황에서는 시야가 좁기 때문에 다른 선박이나 지형지물을 확인하기 어려워 충돌 사고의 위험이 있다.

#### 2) 선박통항안전시스템 설계 대상

제안한 선박통항안전시스템을 실제 환경에서 테스트하기 위하여 선박의 위치 정보와 제원 획득, 항로 내 지형지물에 대한 데이터베이스 구축이 용이하며, 교통량이 적고 기후변화 등 장애요소를 최소화할 수 있는 지역을 선정하였다.

경인아라뱃길은 Fig 1.과 같이 인천과 김포를 잇는 대한민국의 대표적인 내륙수로이다. 경인아라뱃길의 길이는 18km이고 최대 폭 80 m, 수심은 6.3 m이다. 경인아라뱃길 내 제방의 평균 높이는 10.95 m이며, 총 14개의 교량과 아라마루, 아라폭포, 자전거도로와 같은 다양한 인공 시설물이 존재한다(KyungIn ARA Waterway, 2012; Lee et al., 2011). 그러나 모든 시설물들이 제방 외부에 위치하고, 여객선 외의 교통량은 거의 없으며, 무선인터넷을 통한 네트워크 접속, 데이터베이스 구축이 용이하므로 경인아라뱃길을 설계 대상으로 선정하였다.



Fig. 1 The KyungIn ARA Waterway

Fig. 2는 경인아라뱃길에서의 교량 및 통항하는 선박의 허용 제원이다. 선박의 통항을 위하여 선박의 폭은 교량의 주경간장보다 작아야 한다. 본 논문에서 고려한 경인아라뱃길의 경우에는 모든 교량의 교각이 제방의 바깥, 즉 수로의 외부에 위치하므로 교각의 폭은 고려하지 않았다.

교량 상판을 지지하는 교각의 최상단으로부터 수면까지의 높이를 형하고라고 하고, 선박 또는 표류물이 지나갈 때 확보되어야 할 최소한의 여유 공간을 여유고라고 한다. 경인아라뱃길의 형하고는 16 m이며, 여유고는 최소 1 m이다. 따라서 Fig. 2와 같이 선박의 높이는 규정된 여유고를 확보할 수 있는 형하고인 16 m 이하가 되어야 한다. 아울러 흘수는 4.5 m 이하, 선체의 길이는 120 m, 폭은 16 m 이하인 선박만 통항이 가능하다(Lee et al., 2011). Table 1은 경인아라뱃길 내 교량의

정보 중 일부를 나타낸 것이다. 항목 중에서 Overhead clearance는 경인아라뱃길 내 교량 중 일부의 수로저쪽 기준 형하고를 의미한다. Fig 2.에 표시된 운영최대수위 EL 3.5 m와 여유고 1 m를 제외하면, 모든 교량에서 형하고가 16 m 이상 확보되어 있음을 알 수 있다.

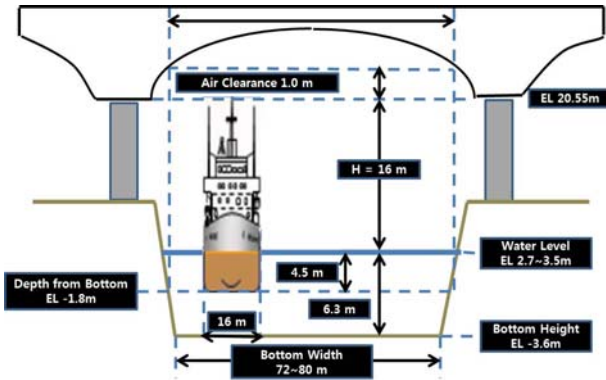


Fig. 2 Specifications of bridges and ships in the Kyungin ARA Waterway

Table 1 Bridges in the Kyungin ARA Waterway

Bridges	Latitudes (degree)	Longitudes (degree)	Overhead Clearance (EL. m)
Cheongun	N37°33 ' 56.0 "	E126°37 ' 11.6 "	22.91
Baeksuk	N37°34 ' 20.5 "	E126°39 ' 48.7 "	23.93
Sicheon	N37°34 ' 17.3 "	E126°40 ' 35.4 "	24.32
Moksang	N37°34 ' 20.0 "	E126°42 ' 32.8 "	30.10
Danam	N37°34 ' 23.4 "	E126°43 ' 47.3 "	30.40
⋮	⋮	⋮	

부표는 항로 및 항로 내 위험물을 표시하여 선박의 안전한 항해를 돕는 항로표지이다. 경인아라뱃길 내에는 좌우 제방을 따라 Table 2와 같은 위치에 등부표가 설치되어 있다.

Table 2 Buoys in the Kyungin ARA Waterway

Lighted Buoy	Latitude	Longitude
⋮	⋮	⋮
No. 20	N 37° 34 ' 16.0 "	E 126° 41 ' 33.7 "
No. 21	N 37° 34 ' 19.9 "	E 126° 42 ' 02.6 "
No. 22	N 37° 34 ' 17.4 "	E 126° 42 ' 02.8 "
No. 23	N 37° 34 ' 22.5 "	E 126° 42 ' 57.5 "
No. 24	N 37° 34 ' 20.1 "	E 126° 42 ' 57.7 "
No. 25	N 37° 34 ' 23.6 "	E 126° 43 ' 22.3 "
⋮	⋮	⋮

제한한 통항안전 시스템에서는 경인아라뱃길을 운항하는 여객선인 우바호의 제원을 이용하였다. 우바호는 길이 29.2m,

너비 7.1 m, 높이 약 6 m, 흘수 약 1 m인 2층 구조의 여객선이다(KyungIn ARA Waterway, 2012; Lee et al, 2011).

## 2.2 선박통항안전시스템

선박통항안전시스템은 항로에 존재하는 모든 지형정보 및 시설물 정보 중 선박통항의 장애요소가 통항에 악영향을 미치는지의 여부를 선박의 제원 및 위치 정보를 토대로 판단하여야 한다. 즉, 통항 관련 정보를 저장, 처리 및 출력하기 위한 시스템이 필요하게 되며, 이를 위해서 통항 관련 데이터 생성 및 저장과 관련된 데이터베이스 모듈과 항법 모듈, 정보의 처리를 담당하는 통항안전 모듈, 통항안전판단 결과를 출력하는 3차원 모니터링 모듈을 결합한 형태로 선박통항안전시스템을 구성하였다. 본 논문에서 제안하는 선박통항안전시스템의 블록도는 Fig. 3과 같다.

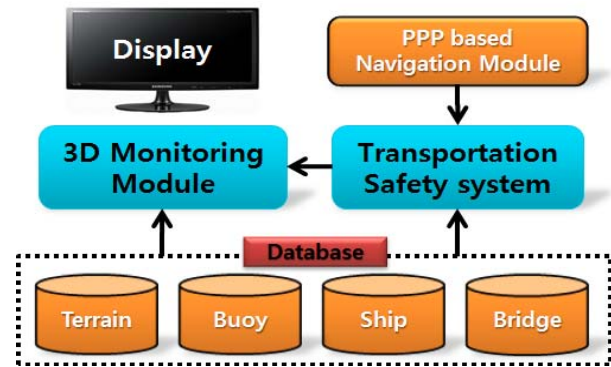


Fig. 3 Transportation Safety system

### 1) 항법 모듈

#### ① PPP-AR 기반 항법 알고리즘

연안 및 내륙수로에서는 교량을 비롯한 지형적인 장애 및 파도나 날씨의 영향으로 인하여 다중경로 오차, 위성 신호의 세기의 감소 및 차단이 빈번하게 발생한다. 이러한 현상은 선박에서 운용하는 GPS 수신기의 위치 추정 결과의 연속성 및 정확도를 저해한다. GPS의 위치 추정 성능을 개선하기 위하여 고정밀 수신기나 DGPS, RTK 등 다양한 방법을 적용하는데, 각각의 방법은 고가의 고성능 수신기가 필요하거나, 기준국으로부터의 거리가 멀어질수록 정확도가 감소하는 등 단점이 존재한다. 따라서 거리에 영향을 받지 않고도 단일 GPS 수신기로 연속적이면서도 정확한 위치 추정 성능을 얻을 수 있는 방법이 필요하며, 대표적인 방법으로는 PPP가 있다.

PPP는 IGS (International GNSS Service) 등에서 제공하는 정밀한 GPS 위성 궤도 및 시계 정보, GPS 수신기에서 얻은 측정치를 사용하여 정확한 위치를 추정하는 방법이다(IGS, 2012). 이 때, GPS 수신기에서 제공하는 측정치와 위성 궤도 정보에 포함된 오차 성분은 정밀한 오차모델을 사용하여 보상한다(Kouba et al., 2001). PPP는 DGPS 기준국의 보상값을 수신하지 않으므로 기준국과의 거리에 영향을 받지 않는다.

본 논문에서 설계한 선박통항안전시스템의 항법 모듈은 Fig. 4와 같다. 항법 모듈에는 GPS 수신기에서 출력되는 측정치와 IGS에서 제공하는 위성의 궤도 정보가 입력된다. 각 데이터에 포함된 오차는 정밀한 모델을 이용하여 모두 보상하며, 보상된 값은 칼만 필터에 입력하여 현재 수신기의 위치를 비롯한 미지수를 추정한다.

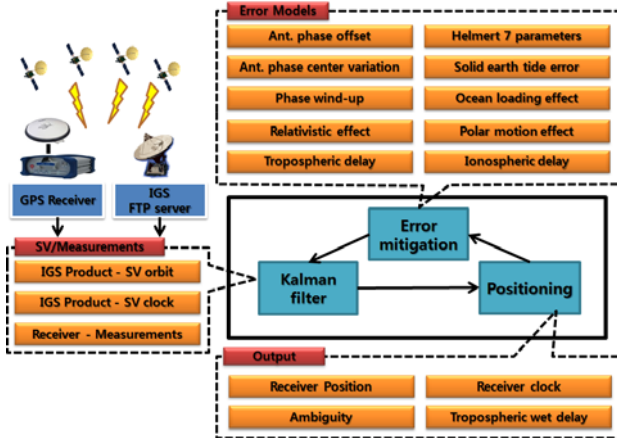


Fig. 4 PPP Based Navigation Algorithm

제한한 항법 모듈에는 미지정수 결정 기법을 이용하여 수신기 위치를 추정하는 PPP-AR (PPP-Ambiguity Resolution) 기반 항법 모듈을 적용하였다(Abdel-Salam et al., 2003).

GPS의 코드 또는 반송파 의사거리 측정치에는 위성파 수신기, 신호 전송 매체에 관련된 오차들이 포함되어 있다. GPS의 L1( $i=1$ ) 및 L2( $i=2$ ) 코드 측정치  $P_{Li}$  및 반송파 측정치  $\Phi_{Li}$ 는 식 (1), 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{Li} = \rho_r^s + c(dT - dt + T_{gd}) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion} + d_{rel} + \epsilon_{C_i} \quad (1)$$

$$\Phi_{Li} = \rho_r^s + c(dT - dt) + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion} + d_{rel} + \lambda_{Li} N_{Li} + \epsilon_{\Phi_i} \quad (2)$$

여기서  $\rho_r^s$ 은 위성  $s$ 와 수신기  $r$  사이의 실제거리이다. 각각의 오차 성분으로는 위성 시계 오차  $dt$ , 수신기 시계 오차  $dT$ , 채널 또는 주파수간 바이어스인 그룹 지연 오차  $T_{gd}$ , 위성궤도오차  $d_{orb}$ , 전리층 오차  $d_{ion}$ , 대류층 오차  $d_{trop}$ , 위성파 수신기의 동특성에 의한 상대성 오차  $d_{rel}$ , 안테나 위상 감감 현상에 의한 오차  $d_w$ 를 고려하였다. 그리고  $c$ 는 매질이 진공일 경우의 전파속도,  $\lambda$ 는 파장,  $N$ 은 미지정수,  $\epsilon$ 는 측정 잡음이다.

정확하게 수신기의 위치를 추정하기 위해서는 측정치에 포함된 오차를 제거하거나 최소화하여야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 코드 및 반송파 측정치를 차분함으로써 전리층 지연 오차를 제거하는 Iono-free 모델을 사용하였다(Yang et

al., 2006). 식 (1)과 식 (2)에서 전리층 지연 오차 및 시계 오차를 제외한 오차를 정밀한 오차 모델을 사용하여 제거하였을 때, 두 식을 더하고 평균을 구하면 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$P_{P,\Phi} = 0.5(P_{L_i} + \Phi_{L_i}) = \rho_r^s + cB + 0.5\lambda_i N_i + \epsilon_{P_{C,\Phi}} \quad (3)$$

여기서  $B = dT - dt$ 이고,  $\epsilon_{P_{C,\Phi}}$ 는  $P_{C,\Phi}$ 의 측정 잡음이다.

또한, L1 및 L2의 반송파 측정치를 차분함으로써 식 (4)와 같은 Iono-free 반송파 측정치를 얻을 수 있다.

$$\Phi_{IF} = \frac{f_1^2 \Phi_{L1} - f_2^2 \Phi_{L2}}{f_1^2 - f_2^2} = \rho + cB + \frac{f_1^2 \lambda_1 N_1 - f_2^2 \lambda_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} + \epsilon_{\Phi_{IF}} \quad (4)$$

식 (3), 식 (4)를 선형화한 결과는 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$P_{P,\Phi} - \rho = H\delta x + cB + 0.5\lambda_i N_i + \epsilon_{P_{P,\Phi}} \quad (5)$$

$$\Phi_{IF} - \rho = H\delta x + cB + \frac{f_1^2 \lambda_1 N_1 - f_2^2 \lambda_2 N_2}{f_1^2 - f_2^2} + \epsilon_{\Phi_{IF}} \quad (6)$$

여기서  $H$ 는 시선각 벡터( $3 \times 3$ ),  $\delta x$ 는 수신기의 3차원 위치 오차이다.

식 (5), 식 (6)으로부터 식 (7)을 얻을 수 있고, 공분산 행렬은 식 (8)이다.

$$S_{IOF}[\Phi_1 \Phi_2 P_1 P_2]' - \rho = [H I] \begin{bmatrix} \delta x \\ cB \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.5\lambda_1 & 0 \\ 0 & 0.5\lambda_2 \\ \left(\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}\lambda_1\right) & \left(-\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}\lambda_1\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$cov S_{IOF}[\Phi_1 \Phi_2 P_1 P_2]' = S_{IOF} \cdot cov[\Phi_1 \Phi_2 P_1 P_2]' S_{IOF}^T \quad (8)$$

여기서  $I = [111]'$ 이다.

식 (7)로부터 현재 수신기의 위치 및 시계 오차를 연속적으로 추정하고 미지정수를 결정할 수 있으며, 추정된 선박의 위치 정보는 데이터베이스를 통하여 항법 모듈과 3차원 모니터링 모듈에 입력된다.

## 2) 데이터베이스

통항안전의 판단에 사용하는 모든 데이터의 생성, 사용 및 유지 및 보수를 위하여 각 데이터베이스화하였다. 여기에는 지형 정보, 시설물 정보, 항로 표지 정보, 선박 제원 등이 포함된다. 예를 들어 경인아라뱃길의 교량 정보, 경인아라뱃길 홈페이지에서 실시간으로 제공하는 수위 정보, 부표, 제방, 아라

마루, 아라폭포와 같은 경인아라뱃길 내의 주요 시설물의 위치 및 크기 정보, 실제 경인아라뱃길에서 운항하는 여객선의 제원이 데이터베이스에 포함된다.

데이터베이스로 관리되는 각각의 정보는 통항안전의 판단과 3차원 모니터링에 이용된다. 데이터베이스의 수정을 통하여 다른 항로정보나 선박 제원으로 간편하게 일괄 교체가 가능하므로 다른 항로, 다른 선박에 대해서도 가상의 테스트가 가능하다. 즉, 별도의 시나리오를 토대로 시뮬레이션을 진행하거나 과거 통항정보를 재현하는 블랙박스로도 활용가능하다.

### 3) 통항안전 모듈 및 3차원 모니터링 모듈

#### ① 통항안전 모듈의 구성

통항안전 모듈은 항법 모듈에서 제공하는 현재 선박의 위치를 기준으로 선박의 전방, 또는 선박 주변에 위치한 장애요소를 데이터베이스에서 검색하고, 각 장애 요소와의 거리, 안전기준을 토대로 판단한 통항안전여부를 주화면에 출력한다. 통항안전 모듈의 주화면은 Fig. 5과 같이 구성되어 있다.



Fig. 5 Transportation Safety System Module

통항안전 모듈에서 선박의 위치는 Fig. 5의 1번 창과 같이 지도상에 표시하며, 경인아라뱃길에서는 전자해도 대신 구글 어스를 연동하였다. Fig. 5의 2번 창에는 선박의 현재 위치 외에도 속도, 진행방향 및 현재 시각이 표시된다. Fig. 5의 3번에서는 항로에서의 선박 위치정보를 각 축별로 누적하여 그래프로 표시한다. 아울러 Fig. 5의 4번 항목과 같이 현재 선박의 진행방향 또는 일정 반경 이내의 위험 요소와의 거리와 위험 여부를 거리 순으로 정렬하여 보여주도록 구성하였다.

디버깅, 수신기 로그파일 파일 불러오기를 포함한 세부사항은 Fig. 5의 5번 항목에서 선택 및 실행할 수 있다. 특히, 디버깅 기능은 시뮬레이션을 통하여 선박을 운항하지 않고도 통항안전여부를 자동으로 판단할 수 있도록 하는 기능으로 강제 수위조절 기능과 같은 시나리오 설정 기능을 포함하였다. 예를 들어 실제 경인아라뱃길에서는 수위가 안정적이고, 항상

여유고가 10 m 내외로 확보되기 때문에 통항이 허가된 선박들에 있어서 교량은 사고 위험이 적다. 그러나 선박통항안전시스템에 포함된 수위 조절 기능을 적용하거나 다른 선박으로 제원을 변경하는 방법을 통하여 다양한 시나리오를 테스트할 수 있다. 또한, 과거 GPS 수신기의 로그파일을 불러옴으로써 통항 정보를 재생하는 블랙박스로도 활용 가능하다.

#### ② 통항안전 모듈의 동작 결과

통항안전시스템을 테스트 하기 위하여 2012년 9월 20일 11시부터 12시20분까지 우바호의 이동경로를 로그한 데이터를 사용하였다. GPS 측정치 수집에는 NovAtel사의 DL-V3 수신기를 사용하였고, IGS에서 제공하는 위성 궤도 정보를 위치 추정에 사용하였다.

Fig. 6은 11시13분38초에서의 시스템 출력화면이며, Fig. 5의 1번과 5번을 제외한 그림이다. 고도 누적 정보를 보면, 편차 40 cm 내에서 위치를 추정하고 있는데, 그림에서와 같이 속도는 14.50 km/h, 파고는 거의 없었으므로, 선박의 수직 위치를 정확하게 추정하는 것으로 볼 수 있다.

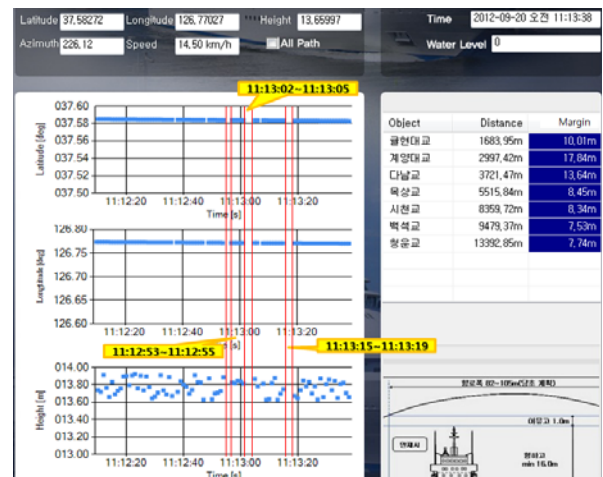


Fig. 6 The results of System Operation in the Kyungin ARA Waterway(Normal State at 11:13:38)

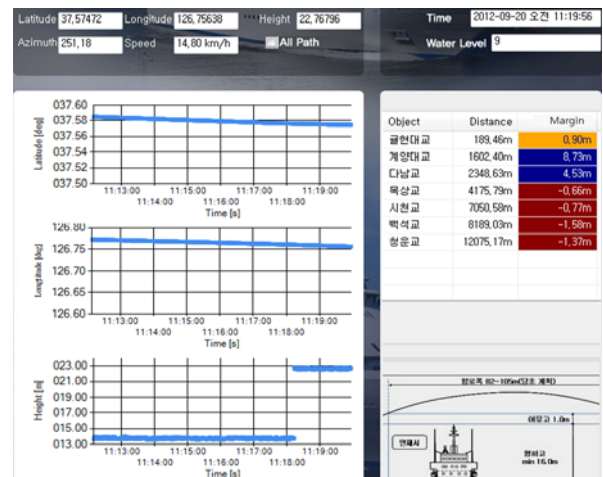


Fig. 7 The results of System Operation in the Kyungin ARA Waterway(Water level +9m at 11:18:10)

우측의 장애는 장애 요소인 교량과의 수평 거리 및 여유고가 거리 순으로 정렬되어 표시되는데, 현재 여유고가 숫자와 함께 청색으로 표시되어 통항에 문제가 없음을 나타낸다. 그러나 교량을 통과하는 시점인 11시12분55초부터 약 30초간 3회 가량 2~4초 정도 위치를 추정하지 못하는 경우가 발생하였다. 이는 교량이 선박 지붕에 설치한 GPS 안테나를 가리면서 가시위성 수가 감소하다가 증가하게 되면서 간헐적으로 위치추정을 하지 못하게 된 것이다.

Fig. 7과 같이 정상상태의 수위가 11시18분10초 경에 9 m 증가한 경우를 시뮬레이션 하였다. 여유고가 9 m 감소하면서 최소 여유고가 1 m 미만인 굴현대교는 황색으로 표시되고, 여유고가 부족하여 충돌 위험이 있는 목상교와 시천교, 백석교, 청운교는 적색으로 표시되므로 사용자는 배가 교량에 도달하기 전에 미리 상황을 파악할 수 있다.

### ③ 3차원 모니터링 모듈

3차원 모니터링 모듈은 통항안전 모듈의 디스플레이 부분을 3차원으로 구현한 것이다. 3차원 모니터링 모듈에서는 데이터베이스로부터 선박, 지형, 교량, 부표와 같은 오브젝트의 위치 및 크기와 같은 정보를 전달받아 3차원으로 표현하고, 선박의 현재 위치와 통항안전 정보는 통항안전 모듈로부터 전달받아 화면상에 표시한다. 데이터베이스 상의 정보를 토대로 지형, 선박, 기후 등을 재현 가능하므로, 실제 선박에 탑재하지 않더라도 통항 중에 발생 가능한 사고에 대하여 직관적인 시뮬레이션 및 재현이 가능하다. 특히, 선박의 정확한 위치 정보를 토대로 항로 내의 상황을 재현하기 때문에 해무와 같은 기상악화로 인하여 시야가 차단되더라도 가상화면을 이용함으로써 보다 안전한 항해가 가능하다. 3차원 모니터링 모듈의 실제 동작 화면은 Fig. 8과 같다.



Fig. 8 3D Monitoring Module

## 3. 결 론

본 논문에서는 선박통항안전을 실시간으로 진단하여 사용자에게 전달하는 시스템을 설계하였다. 제안한 시스템은 선박의 위치 및 항로상의 지형지물, 다른 선박에 대한 정보를 토대로 선박의 통항안전을 진단하므로, 사용자는 시스템이 제공하는 정보를 이용하여 각종 해상 사고를 예측 및 예방할 수 있다.

제안한 시스템은 네트워크에 연결된 PC와 GPS 수신기만으로 구축 가능하다. 따라서 ECDIS 설치가 의무화 되어있지 않은데다 설치 및 이용이 어려운 소형선박에도 상대적으로 적은 비용을 들여서 적용할 수 있다. 아울러 데이터베이스 상의 선박 제원과 환경정보만 교체하고 이전 GPS 운용기록을 이용하는 과거 통항환경의 재현 및 시나리오 설정 기능과 3차원 모니터링 모듈을 이용한 시뮬레이션도 가능하다.

제안한 시스템의 3차원 모니터링 기능을 이용하면 악천후로 인하여 시계가 불안정하더라도 항해가 가능할 수 있을 것이다. 그러나 다양한 기후변화, 지형지물 및 해상교통량에 대응하기 위해서는 전자해도와 같은 정확하고 다양한 정보를 갖는 데이터베이스를 추가할 필요가 있다.

제안한 시스템은 높은 정확도의 3차원 선박 위치 정보를 확보하기 위하여 단일 GPS 수신기로 위치를 정확하게 추정할 수 있는 PPP 기반 항법 알고리즘을 적용하였다. PPP 기반 항법 알고리즘의 경우, 단일 GPS 수신기와 IGS에서 제공하는 고정밀 위성 정보를 사용함으로써 DGPS나 RTK와 유사한 높은 정확도로 위치를 추정할 수 있다. 실험 결과, 이동 중인 선박에서도 40 cm 내의 정밀한 위치 추정이 가능하였다. 그러나 현재는 위치 추정 결과의 수렴시간이 DGPS나 RTK (Real-Time Kinematic)보다 오래 걸리므로, 이동하는 수신기에서 실시간 위치추정까지 적용하기에는 적합하지 않다. 그러나 병렬처리와 같은 알고리즘 구조의 개선, PPP-RTK나 INS-PPP 등 수렴시간을 단축하기 위한 다양한 방법을 통하여 개선 가능한 여지가 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다. 아울러 AIS와 같이 동일한 시스템을 탑재한 선박과의 위치 정보 교환이 가능하여야 하며, 해상에서의 악천후에 대응하기 위한 기상정보 이용 등 정확도와 신뢰도를 높이기 위한 보완이 필요하며, 다양한 해상 환경에서의 실제 검증도 필요하다.

## 후 기

본 연구는 기초기술연구회 및 한국해양과학기술원의 연구비지원 (과제: 선박안전항해 및 재난해파 조기검출을 위한 위성기반 정밀 수직측위기술 연구)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Abdel-Salam, M. and Gao, Y.(2003), "Ambiguity Resolution in Precise Point Positioning: Preliminary Results", Proceedings of ION GPS/GNSS-2003.
- [2] IGS(2012), About IGS, FTP and Data&Product, <http://igsch.jpl.nasa.gov>
- [3] Lee, T. H., Roh, H. S. and Lee, J. S.(2011), Application of the Gyeongin waterway as a new logistics network in the Seoul metropolitan area, Research Series of Korea Transport Institute 2011-04.
- [4] Kim, S. W., Lee, E. B. and Lee, Y. S.(2005), "A Study

on Safe Navigation Management of an Aqua-bus In the Channel between Wolmi-do and Yungjong-do", Journal of Korean Navigation and Port Research Vol. 29 No. 3 pp. 181-187.

- [5] Kouba. J. and Heroux, P.(2001), "GPS Precise Point Positioning using IGS orbit and clock products", GPS Solutions, Vol. 2, No. 2, pp. 3-15.
- [6] KyungIn ARA Waterway(2012), KyungIn ARA waterway Image and information, <http://www.giwaterway.kr>

---

원고접수일 : 2012년 11월 26일  
심사완료일 : 2013년 01월 30일  
원고채택일 : 2013년 01월 31일