

## 구조선의 도착시간 산출을 위한 실험 데이터 구축

정재용<sup>1</sup> · 정초영<sup>†</sup>

(Received December 31, 2016 ; Revised January 16, 2017 ; Accepted January 17, 2017)

### Construction of experimental data to calculate the arrival time of the rescue ship

Jae-Yong Jeong<sup>1</sup> · Cho-Young Jung<sup>†</sup>

**요약:** 조난 사고 발생 시 구조선의 현장 도착시간은 매우 중요하다. 본 연구에서는 구조선의 도착시간을 추정하기 위한 실험 데이터 구축 방법을 제시하였다. 이를 위하여 선박통항확률분포를 활용하였다. 목포항을 연구 대상 해역으로 선정하고, 1년간의 AIS 데이터를 활용하였다. 선박통항확률분포를 조사하기 위해 기준선을 설정하고, 선박의 횡거리 분포를 계산하여, 정규분포와 이중 가우시안 혼합분포로 적합 시킨 후 각 매개변수를 추출하였다. 정규분포의  $\mu$ ,  $\mu \pm 1\sigma$ 와 이중 가우시안 혼합분포의  $\mu_1$  위치를 각각 변침점으로 설정하여 위치와 확률을 도출하였다. 이를 매개변수 종류별로 연결하여 시나리오를 구축하여 도착시간을 계산할 수 있었다.

**주제어:** 구조선, 도착시간, 실험 데이터, 확률분포, 시나리오 구축

**Abstract:** The arrival time of rescue ships is very important in the event of distress. This paper presents the development of experimental data to calculate the arrival time of rescue ships. The ship's traffic probability distribution was used. Mokpo Port was selected as the area of study, and AIS data for a 1 year period were used. For the ship's traffic probability distribution, a gateline was established. The lateral range distribution was calculated and fitted to the normal distribution and two Gaussian mixture distributions (GMD2), and each parameter was extracted. After the locations of  $\mu$ ,  $\mu \pm 1\sigma$  of the normal distribution and  $\mu_1$  of the two Gaussian mixture distribution(GMD2) were set as waypoints, the location and probability were determined. A scenario was established in relation to each type of parameter. Thus, the arrival time can be calculated.

**Keywords:** Rescue ship, Arrival time, Experimental data, Probability distribution, Scenario build-up

## 1. 서론

해양 사고를 예방하기 위한 노력에도 불구하고, 최근 5년간(2010-2014) 대한민국 해상 조난사고는 연평균 1,496건의 선박사고와 9,989건의 인명사고가 발생하였다. 이로 인한 사망 및 실종자는 2010년 153명, 2011년 85명, 2012년 85명, 2013년 67명이었으며, 여객선 세월호 침몰 사고가 발생한 2014년에는 총 485명이 사망하거나 실종하였다[1].

해상에서 조난 사고가 발생한 경우 사망 및 실종자를 줄이기 위해서는 무엇보다도 구조선이 골든타임 내 도착하여 신속하게 초동조치를 하는 것이 중요하다. 물에 빠진 사람의 경우 생존시간은 해수 온도가 2°C 미만인 경우 45분 미만이기 때문이다[2]. 그리고 시간이 경과함에 따라 조난자나 조난 선박을 구조 및 발견할 가능성이 급격히 낮아지기 때문에[3], 인명을 구조하기 위해서는 조난 현장의 위치를 정확하게 파악하고, 가장 빠른 시간 내에 도착하는 것이 중

요하다.

통상 상황 발생 시 구조선은 도착시간을 현재 위치에서 조난 현장까지의 거리를 최대속력으로 나누어 구한다. 하지만, 이 방법은 구조선이 조우할 수 있는 여러 상황들을 종합적으로 고려하여서 구하지 않으면 정확성이 떨어질 수 있다. 구조선이 출동하게 되면 선박의 통항량, 타선박과의 조우 관계 등의 교통 조건과 안개, 바람 등의 기상조건, 유항 유속 등 해상조건에 영향을 받아 도착시간이 차이가 날 수 있기 때문이다.

이에 본 연구에서는 조난 상황 발생 시 구조선의 예상 항로를 예측하기 위한 실험 데이터를 개발하고자 한다. 이를 위하여 구조선이 출동 시 조우할 수 있는 여러 요소 중 교통 조건을 선박통항확률분포를 활용하여 분석하였다. 이를 통해 조난 사고 발생 시 구조선의 항로를 예측하는 방법을 개발할 수 있었다.

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3986-0748>): Graduate School of Mokpo National Maritime University, 91, Haeyangdaehak-ro, Mokpo-si, Jeollanam-do, 58628, Korea, E-mail: wjdchdud@korea.kr, Tel: 061-240-7175

<sup>1</sup> Division of International Maritime Transportation Science, Mokpo National Maritime University, E-mail: jyjong@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7175

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.

## 2. 연구의 이론적 배경

### 2.1 최적 항로 결정

선박 운항과 관련하여 도착 시간에 대한 연구는 주로 최적 항로 결정을 통해 이루어져 왔다. 최적 항로 계획 또는 결정이란 항해할 때, 바람, 파도, 해류에 대한 선박의 반응을 적절히 적용하여 최적의 경로를 택하는 것으로 정의할 수 있는데, 선행 연구에서는 Optimum Track Routing, Weather Routing, Optimum Ship(Vessel) Routing 등으로 표현된다. 최적 항로 결정에서 최적화의 목적은 항해 중 화물, 승객, 선체에 대한 안전을 확보하면서 연료 소비나 항해 시간을 최소화 하는 것이다[4].

최적 항로의 결정은 다양한 날씨 조건에서 선박의 유체 역학 동작 예측의 정밀도, 일기 예보의 정확도 및 최적 항로 알고리즘의 가능성 및 실용성에 달려있다[5]. 지금까지 이루어진 최적 항로 도출에 관한 연구는 주로 항로 도출을 위한 최적 알고리즘에 관한 연구와 개발에 집중하여 이루어졌다[6].

일반적으로 최적 항로 결정 알고리즘은 통상적으로 최단 거리를 항해하는 대권 항법 대비 실제 해역 환경을 고려하여 연료 소모량을 최소화 하는 최적 항로를 항해하는 최적화 기법이며 이 개념이 그동안 에너지 효율 향상을 위한 최적 항로의 개념이라고 할 수 있다[7]. 선박운항과 관련하여 활용한 최적 항로 알고리즘은 동적계획법[8]-[10], 동시선법[11], 데이크스트라 알고리즘[12]-[14], A\* 알고리즘[15][16] 등이 있다. 이와 같이 최적 항로 결정 알고리즘은 외력을 고려한 다양한 항로 구축을 위한 방법론을 제시하고 있어 본 연구에서 변침점 선정 시 활용하였다.

### 2.2 확률분포

확률분포란 어떤 확률변수가 취할 수 있는 모든 값들과 이 값들이 나타날 확률을 표시한 것이다. 우리가 처해 있는 불확실한 상황에서 일어날 가능성이 있는 어떠한 사건이라도 주관적이건 객관적이건 간에 확률을 부여함으로써 확률 분포로 나타낼 수 있다[17].

확률분포는 해상교통의 다양한 분야에서 활용되고 있다. 특정한 해역의 해상교통현황을 분석하기 위해 가장 많이 활용되었는데, Puszcz *et al.* [18]은 폴란드 Gdansk 곡선 항로의 통항 선박의 횡거리 분포를 분석하였으며, Xiao *et al.* [19]은 네덜란드 로테르담항의 수로와 중국 양쯔강 주요 항로를 통항하는 선박의 속도, 침로 및 시간 간격을 분석하였다. Itoh *et al.* [20]은 일본 Nojimizaki 연안 해역, Nguyen *et al.* [21]은 베트남의 Vung Tau 해역, Yeyes *et al.* [22]은 인도네시아 Madura 해협의 해상교통현황을 확률분포를 활용하여 조사 분석하였다.

충돌 확률을 평가하기 위해서도 확률분포가 활용되는데, Fujii *et al.* [23]는 선박 간의 충돌확률을, 미국도로교통협회(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서는 선박과 교량의 기하학적인 충돌확률을 정

규분포를 활용하여 산출하였다[24].

위 외에도 Inoue [25]는 확률분포를 활용하여 통항분리구역의 완충 지역의 폭을 결정하는 회귀식을 제안하였으며, Shu *et al.* [26]은 외력이 통항 선박의 횡거리 분포, 침로 및 속력에 영향을 미치는 요소인지 연구하였고, Kim *et al.* [27]은 Inoue의 ES 모델에서 제시한 스트레스 수치를 확률 분포 함수로 변환하기 위한 분포함수의 선정에 관한 연구를 실시하였으며, Yoo *et al.* [28]은 불규칙적이고 복잡한 특성을 가진 항로 분기점에서 최적의 항로분포를 찾기 위한 연구를 실시하였다.

본 연구에서는 실험 데이터 개발을 위하여 선박통항확률 분포를 활용하였다.

## 3. 실험 데이터 개발

### 3.1 실험 데이터 개발 절차

Figure 1은 실험 데이터를 개발하기 위한 연구 절차를 나타낸 것이다. 선박자동식별장치(Automatic Identification System, 이하 AIS라 한다) 데이터를 추출하고, 각 기준선별로 선박의 횡거리 분포를 조사 분석하여 확률분포함수로 적합시킨 후 변침점을 선택하여 실험 데이터를 구축하였다.

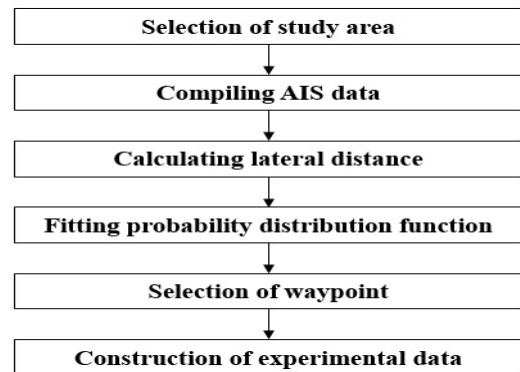


Figure 1: Study procedure for development of experimental data

### 3.2 연구 대상 해역 및 기준선 설정

Figure 2는 실험 데이터를 개발하기 위한 연구 대상 해역을 나타낸 것이다. 연구 대상 해역은 목포항으로서 구체적으로는 목포해양경비안전서 전용 부두가 있는 삼학부두에서 시하도까지 해역으로 설정하였다. 다도해로서 다양한 거리 산출이 가능하고, 일반화물선, 유조선, 어선 등의 해상교통 흐름이 다양하게 이루어지기 때문에 해당 해역을 연구 대상 해역으로 선정하였다.

선박통항확률분포를 조사하기 위해서는 기준선(gateline)이 필요한데, 여기서는 Figure 1과 같이 20개를 설정하였다. 출발 해점에서부터 목포구 등대까지(①~⑮)는 지정된 항로에 직각이 되게 설정하였으며, 목포구 등대에서부터 시하도까지(⑯~⑳)는 실제 항적 흐름의 직각으로 설정하였다.

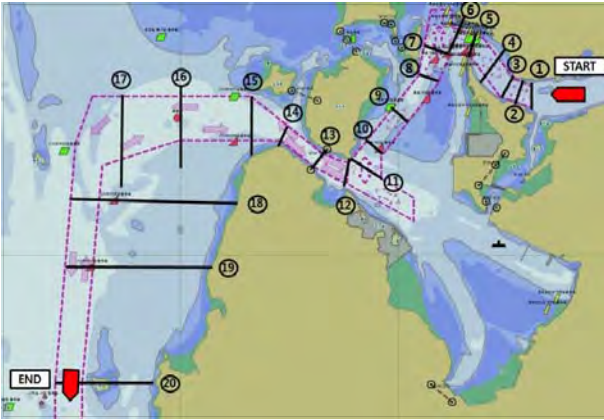


Figure 2: Setting of study area and gateline

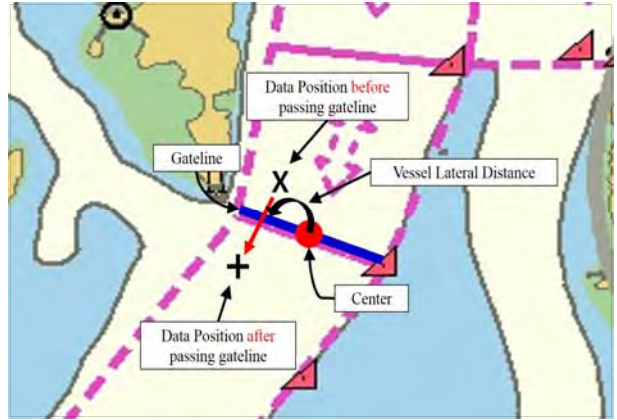


Figure 4: Method for calculating vessel lateral distance

### 3.3 AIS 데이터 추출

본 연구를 위해서 2013년 1월 1일부터 12월 31일까지 1년간의 AIS 데이터를 확보하여 조사 분석하였다. 아래 Figure 3은 1년 동안의 목포항 항적을 나타낸 것이다.

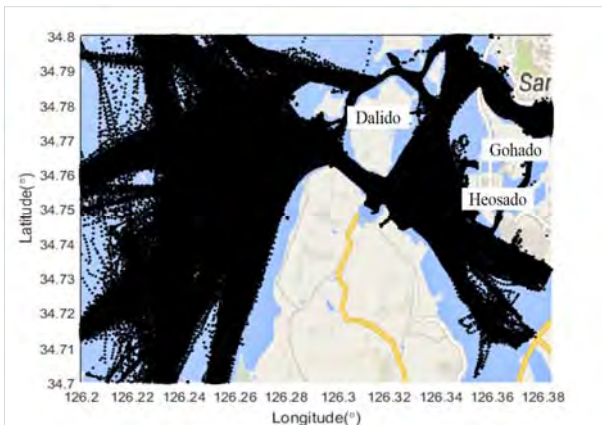


Figure 3: Vessel tracks of Mokpo port

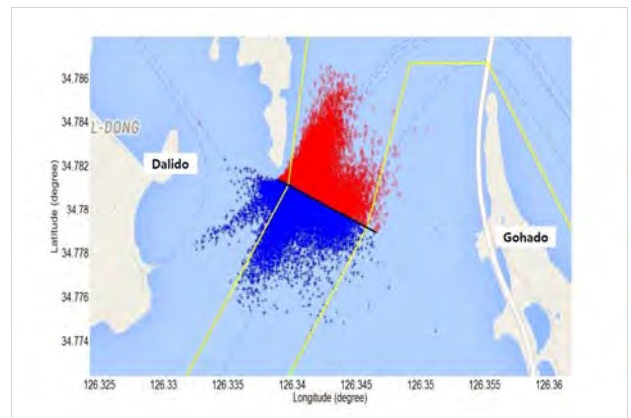


Figure 5: AIS data extracted before and after passing gateline

선박 횡거리 분포 계산 방법은 다음과 같다. 식 (1)은 기준선을 일차 방정식으로 표현한 것이고, 식 (2)는 기준선을 통과하기 전·후 데이터 위치를 임의의 일차 방정식으로 나타낸 것이다. 이 두 식의 연립방정식의 해, 즉 교점을 산출하여 최종적으로 선박의 횡거리 분포를 산출하였다.

$$y_{Lat} = ax_{Long} + b \quad (1)$$

$$y_{Lat} = cx_{Long} + d \quad (2)$$

여기서,  $x_{Long}$ ,  $y_{Lat}$ 는 기준선을 통과하기 전·후 데이터 위치의 임의의 직선 방정식과 기준선과의 교점 위치의 경도와 위도를 나타낸다.  $a$ ,  $b$ 는 기준선을 표현한 일차 방정식의 계수와 상수이며,  $c, d$ 는 기준선을 통과하기 전·후 데이터 위치를 표현한 임의의 일차 방정식의 계수와 상수이다.

### 3.5 선박통항확률분포의 적합

Figure 6은 ⑧번 기준선의 선박의 횡거리 분포의 확률 히스토그램으로 나타낸 후 확률분포로 적합 시킨 것이다. 가장 많이 활용되고 있는 정규분포와 선박통항로에서는 이

### 3.4 선박 횡거리 분포 계산

Figure 4는 Figure 2에서 설정한 기준선 중 ⑧번 기준선(장좌도 등대 부근)에서 선박 횡거리 분포를 계산한 방식을 도시화하여 나타낸 것이다. 이는 선박 통항로에서 최적확률분포를 추정하기 위해서 Yoo가 제안한 방법을 활용한 것이다[29]. 한 선박이 기준선을 통과하기 전 AIS 위치와 통과 후 AIS 위치를 추출하여 기준선과의 교점을 구하여 최종적으로 중심으로부터 교점까지의 거리를 구하여 나타낸다. Figure 5는 이 방법으로 추출한 AIS 데이터를 나타낸 것이다. 그림에서 붉은 점이 기준선 통과 전의 AIS 위치이며 파란 점이 기준선 통과 후의 AIS 위치이다. 이를 통해 교통량, 교통밀도 및 교통흐름의 파악이 가능하다.

중 가우시안 혼합분포(Two Gaussian Mixture Distribution, 이하  $GMD_2$ 라 한다)가 가장 간결하면서도 적합한 확률분포라는 선행 연구(Yoo, 2016)에 따라 이 두 개의 확률분포를 적합 시켜 보았다.

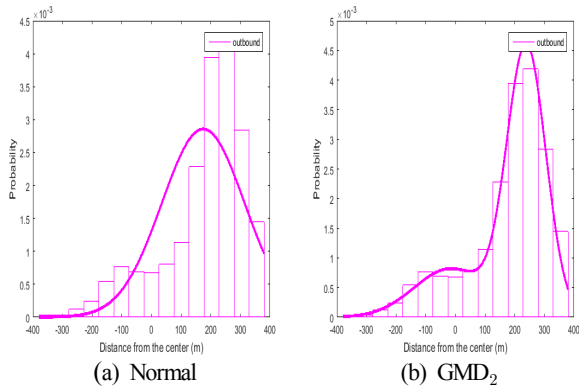


Figure 6: Fitting of traffic probability distribution

3.6 변침점 선택

Figure 7은 ①번 기준선에서 선박 횡거리 분포를 정규분포와  $GMD_2$ 로 적합 시킨 후 각 분포의 매개변수(parameter)의 위치를 나타낸 것이다. 여기서는 정규분포의 경우 평균과 평균에서 양쪽으로 1표준편차( $\mu \pm 1\sigma$ ), 2표준편차( $\mu \pm 2\sigma$ )를 나타내었으며,  $GMD_2$ 의 경우 두 개의 평균( $\mu_1, \mu_2$ ) 위치를 나타내었다.

목포항 입출항 항로와 같이 좁은 수로에서 항해하는 선박들의 실제 항적 분포는 대부분 항로 중심을 따르지 않고, 선박의 통항 상태 및 섬, 교각 등 장애 요소의 배치 때문에 한쪽으로 쏠려 있는 경우가 많다. 정규분포로 적합하다 보면 실제 선박 통항과는 달리 항로 밖을 나가는 경우(여기서는  $\mu + 2\sigma$ )를 볼 수 있게 된다. 따라서 이번 연구에서는  $\mu$ 와  $\mu \pm 1\sigma$  위치를 변침점으로 설정하고 그 때의 확률밀도를 실험 데이터로 설정하였다.  $GMD_2$ 의 경우 4개의 매개변수가 있는데( $\mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2$ ), 이중 가장 확률밀도가 높은  $\mu_1$ 을 활용하여 변침점으로 설정하였다.

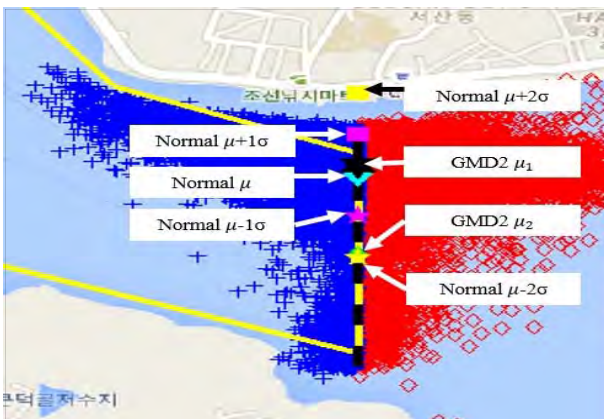


Figure 7: Position of parameter

3.7 실험데이터 개발 결과

Table 1은 앞에서 살펴 본 Figure 1부터 Figure 7까지의 방법으로 정규분포의  $\mu + 1\sigma, \mu, \mu - 1\sigma$  그리고  $GMD_2$ 의  $\mu_1$ 에서의 위치와 확률을 정리한 실험 데이터를 나타낸 것이다. 각 기준선별로 4개의 변침점을 정규분포와  $GMD_2$ 로 적합 시켜서 구하였다.

Table 1: Result of experimental data development

Gate -line	Way -point	Latitude	Longitude	Probability distribution	Remark
1	1	34.7789	126.3744	0.1463	$\mu + 1\sigma$
	2	34.7777	126.3744	0.2439	$\mu$
	3	34.7765	126.3744	0.1463	$\mu - 1\sigma$
	4	34.7780	126.3744	0.4634	$\mu_1$
2	1	34.7792	126.3712	0.1759	$\mu + 1\sigma$
	2	34.7785	126.3710	0.2864	$\mu$
	3	34.7779	126.3708	0.1759	$\mu - 1\sigma$
	4	34.7787	126.3710	0.3618	$\mu_1$
3	1	34.7801	126.3687	0.1762	$\mu + 1\sigma$
	2	34.7796	126.3685	0.2952	$\mu$
	3	34.7791	126.3683	0.1762	$\mu - 1\sigma$
	4	34.7797	126.3685	0.3524	$\mu_1$
...					
20	1	34.6973	126.2552	0.0789	$\mu + 1\sigma$
	2	34.6979	126.2491	0.1842	$\mu$
	3	34.6985	126.2431	0.0789	$\mu - 1\sigma$
	4	34.6977	126.2512	0.6579	$\mu_1$

4. 실험 데이터 적용

4.1 시나리오 구축

도착시간을 추정하기 위해서는 구조선의 항로를 추정할 수 있는 객관적인 시나리오가 필요하다. 아래 Figure 8은 항로 시나리오 구축에 관한 기본 개념을 나타낸 것이다. 실험 데이터 Table 1과 같이 각 기준선에서 변침점을 도출하고 같은 종류대로 연결하여 시나리오를 구축하였다. 실험 데이터 Table 1과 같이 각 기준선에서 변침점을 도출하고 같은 종류대로 연결하여 시나리오를 구축하였다.

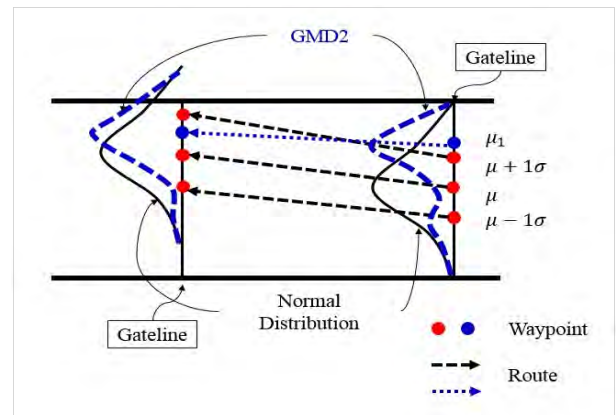


Figure 8: Method of route scenario construction



아래 Figure 9에서부터 Figure 12는 Figure 8과 같이 각 기 준선에서 선택한 변침점들을 연결하여 시나리오를 만든 것 을 나타내고 있다. 4개 시나리오 모두 출발 해점에서부터 목포구 등대까지(①~⑮)는 거의 비슷한 항로 흐름을 보였 으나, 목포구 등대에서부터 시하도까지(⑯~⑳)는 시나리오 에 따라 다양한 항로가 도출됨을 알 수 있었다.

Table 2는 각 시나리오의 설명과 실험을 통해 도출된 거리 를 나타내고 있다. 정규분포의  $\mu + 1\sigma$ 를 연결한 시나리오 B 가 거리가 가장 길었고, 정규분포의  $\mu - 1\sigma$ 가 거리가 가장 짧 았다. 정규분포의  $\mu$ 를 연결한 시나리오는 10.58마일이었으며, GMD<sub>2</sub>의  $\mu_1$ 를 연결한 시나리오는 10.54마일로 조사되었다.

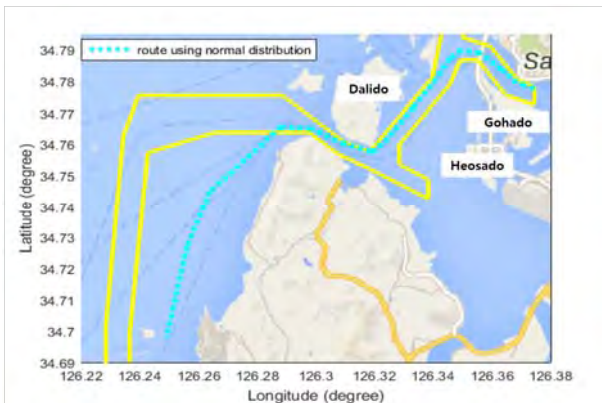


Figure 9: Track of Normal Distribution  $\mu$ (Scenario A)



Figure 10: Track of Normal Distribution  $\mu + 1\sigma$ (Scenario B)



Figure 11: Track of Normal Distribution  $\mu - 1\sigma$ (Scenario C)



Figure 12: Track of GMD<sub>2</sub>  $\mu_1$ (Scenario D)

Table 2: Scenarios and each distance

Scenario	Contents	Distance (mile)
A	Connection of the mean of the normal distribution of each gateline	10.58
B	Connection of the +1 standard deviation of the normal distribution of each gateline	12.28
C	Connection of the -1 standard deviation of the normal distribution of each gateline	10.49
D	Connection of the mean of the GMD <sub>2</sub> of each gateline	10.54

#### 4.2 도착시간 계산

Table 2의 시나리오를 가지고 도착시간을 계산한 결과는 아래 Table 3과 같다. 거리는 앞에서 제시한 방법대로 각 시나리오의 변침점을 연결하여 각 변침점 사이 거리를 합하여 구하였다. 속력은 목포해양경비안전서 구조선 제원 조사 결과 최고 속력이 15노트에서 35노트 사이인 것을 감안하여 15노트, 20노트, 25노트, 30노트, 35노트로 설정하였다.

Table 3: Result of arrival time calculation

Distance (mile)	A	B	C	D
	$\mu$	$\mu + 1\sigma$	$\mu - 1\sigma$	$\mu_1$
Speed (knot)	10.58	12.28	10.49	10.54
15	43'24"	49'07"	41'58"	42'10"
20	32'28"	36'50"	31'28"	31'37"
25	26'02"	29'28"	25'11"	25'18"
30	21'38"	24'34"	20'59"	21'05"
35	18'36"	21'03"	17'59"	18'04"

계산한 결과 가장 많은 시간이 소요되는 시나리오는 B였 으며 15노트인 경우 49분 07초가 소요되는 것으로 조사되 었다. 가장 적은 시간이 소요되는 시나리오는 C였으며 35 노트인 경우 17분 59초가 소요되는 것으로 조사되었다. 두

결과의 차이는 30분 29초로서 시나리오의 구축 결과에 따라 많은 차이가 남을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 조난 상황 발생 시 구조선의 도착시간을 추정하기 위한 첫 단계로서 실해역의 교통조건을 반영한 실험 데이터를 개발하기 위하여 수행하였다.

이를 위하여 기존 선행 연구인 최적 항로 알고리즘 결정과 확률분포에 대해 알아보았다. 그리고 실험 데이터를 개발하기 위하여 연구 대상 해역을 목표로 설정하고 1년 동안 수집한 AIS 데이터를 활용하였다. 20개의 기준선을 설정하고 각 기준선의 중심으로부터 선박의 횡거리 분포를 계산하였다. 이를 정규분포와 이중 가우시안 혼합분포로 적합 시키고, 정규분포의 평균과 1표준편차, 이중 가우시안 혼합분포의 평균 위치와 확률밀도 값을 도출하여 도착시간을 추정하기 위한 총 80개의 실험 데이터 설정할 수 있다.

도착시간을 계산하기 위하여 도출한 실험 데이터를 각 종류대로 연결하여 4개의 시나리오를 구축하고, 구조선의 체원을 조사하여 각 시나리오별 도착시간을 산출할 수 있었다.

따라서 본 연구에서 제안한 방법으로 실험 데이터를 구축한다면 실제 해역에서 구조선의 도착시간을 추정하기 위해 항로 데이터 설계에 적용 가능할 것으로 고려된다.

추후에는 본 연구에서 구축한 시나리오 외에 다양한 시나리오를 구축하는 방법과 해상 및 기상요소를 반영하여 도착시간을 추정할 수 있는 연구를 진행하고자 한다.

## 후 기

본 연구는 정초영의 Asia Navigation Conference 2016 발표논문("A Basic Study on the Scenarios Construction to Estimate Traffic Route")을 개선한 것이다.

## References

[1] KOSIS, Domestic Statistics, Retrieved from Korea Statistical Information Service, <http://kosis.kr>, Accessed November 20, 2016.

[2] IMO, International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual, 2010 ed., London, United Kingdom: IMO Publishing, 2010.

[3] W. J. Jang, J. S. Keum, and C. H. Shin, "A study on the optimal allocation model of the Korean maritime SAR fleet," *Journal of Navigation and Port Research*, vol. 27, no. 1, pp. 1-7, 2003.

[4] H. Y. Lee and S. H. Kim, "On the optimum ship routing by network modeling," *Journal of the Korean Institute of Navigation*, vol. 25, no. 3, pp. 211-223, 2001.

[5] S. Wei and P. Zhou, "Development of a 3D dynamic

programming method for weather routing," *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 6, no. 1, pp. 79-85, 2012.

[6] J. M. Park and N. W. Kim, "A comparison and analysis of ship optimal routing scenarios considering ocean environment," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol. 51, no. 2, pp. 99-106, 2014.

[7] W. S. Kang, J. D. Park, I. S. Cho, and D. H. Kim, "A study on conceptual design for optimum safety routing system at the coastal sea area," *Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority*, no. 38, pp. 32-42, 2015.

[8] C. de Wit, "Proposal for low cost ocean weather routing," *Journal of Navigation*, vol. 43, no. 3, pp. 133-140, 1990.

[9] A. Calvert, E. Deakins, and R. Motte, "A dynamic system for fuel optimization trans-ocean," *Journal of Navigation*, vol. 44, no. 2, pp. 233-265, 1991.

[10] W. Shao, P. Zhou, and S. K. Thong, "Development of a novel forward dynamic programming method for weather routing," *Journal of Marine Science and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 239-251, 2012.

[11] G. L. Hanssens and R. W. James, "Optimum ship routing," *Journal of Navigation*, vol. 13, no. 3, pp. 253-272, 1960.

[12] K. S. Choi, M. K. Park, J. H. Lee, and G. I. Park, "A study on the optimum navigation route safety assessment system using real time weather forecasting," *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, vol. 13, no. 2, pp. 133-140, 2007.

[13] K. Takashima, B. Mezaoui, and R. Shoji, "On the fuel operation for coastal merchant ships using weather routing," *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 3, no. 4, pp. 401-406, 2009.

[14] D. Sen and C. Padhy, "An approach for development of a ship routing algorithm for application in the North Indian Ocean region," *Applied Ocean Research*, vol. 50, pp. 173-191, 2015.

[15] J. S. Jung and K. S. Rhyu, "A study on the optimal navigation route decision using A\* algorithm," *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 4, no. 1, pp. 38-46, 1999.

[16] J. M. Park and N. W. Kim, "Two-phase approach to optimal weather routing using real-time adaptive A\* algorithm and geometric programming," *Journal of Ocean Engineering and Technology*, vol. 29, no. 3,

- pp. 263-269, 2015.
- [17] Probability Distribution, [http://en.wikipedia.org/wiki/Probability\\_distribution](http://en.wikipedia.org/wiki/Probability_distribution), Accessed November 20, 2016.
- [18] A. Puszcz, L. Gućma, and M. Gućma, "Development of a model for simulation of vessel traffic streams," The 14th International Conference on Transport Science, pp. 1-10, 2011.
- [19] F. Xiao, H. Ligteringen, C. V. Gulijk, and B. Ale, "AIS data analysis for realistic ship traffic simulation model," Proceedings of The International Workshop on Next Generation of Nautical Traffic Model, pp. 44-49, 2012.
- [20] H. Itoh and F. Yakabe, "Modeling ship traffic distributions in coastal areas," Journal of Japan the Society of Naval Architects and Ocean Engineer, vol. 19, pp. 235-244, 2014.
- [21] X. T. Nguyen, Y. S. Park, and J. Y. Jeong, "Developing a program to pre-process AIS data and applying to Vung Tau waterway in Vietnam," Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, vol. 19, no. 4, pp. 345-351, 2013.
- [22] M. Yeyes, W. Nobukazu, K. Eiichi, and P. Trika, "Estimation method for dragged anchor accident frequency on subsea pipelines in busy port areas," Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, vol. 20, pp. 173-183, 2014.
- [23] Y. Fujii, H. Yamanouch, and N. Mizuki, "Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic," Journal of Navigation, vol. 27, no. 2, pp. 239-247, 1974.
- [24] AASHTO, LRFD Bridge Design Specification, 7<sup>th</sup> ed. U. S. Customary Units, Washington, USA: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2014.
- [25] K. Inoue, "On the separation of traffic at straight waterway by distribution model of ship," Japan Institute of Navigation, vol. 56, pp. 103-115, 1977.
- [26] Y. Q. Shu, W. Daamen, H. Ligteringen, and S. Hoogendoorn, "AIS data based vessel speed, course and path analysis in the Botlek area in the port of Rotterdam," Proceedings of The International Workshop on Next Generation of Nautical Traffic Model, pp. 64-73, 2012.
- [27] D. S. Kim, J. Y. Jeong, H. H. Lee, D. B. Kim, and J. B. Yim, "Transformation of officer's stress model using heart-bit rate," Proceeding of the Spring Conference of the Korean Society of Marine Environment & Safety, pp. 82-84, 2015 (in Korean).
- [28] S. L. Yoo, J. Y. Jeong, and J. B. Yim, "Estimating suitable probability distribution function for multimodal traffic distribution function," Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, vol. 21, no. 3, pp. 253-258, 2015.
- [29] S. L. Yoo, A Study on the Estimation of Optimal Probability Distribution in the Ship Fairway, Ph.D. Dissertation, Department of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Korea, 2016 (in Korean).