

통향분포함수 축방향 의존성에 관한 연구

유상록*[†] · 강상근**

* 목포해양대학교 대학원, ** 목포해상교통관제센터

A Study on the Axial Dependence of the Traffic Distribution Function

Sang-Lok Yoo*[†] · Sang-Geun Gang**

* Graduate school of Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

** Mokpo Vessel Traffic Services, Mokpo, 530-729, Korea

요약 : 본 연구의 목적은 통향분포함수 계산 시 적용하는 기준선의 방향과 기준점의 수평위치 및 수직위치에 따라서 통향분포함수가 변하는 양상을 식별하기 위한 것이다. 목포항 입구에 있는 항로를 대상으로 2013년 1월달의 AIS 실측자료를 이용하여 기준선의 방향(θ), 수평위치(\mathcal{L}_H) 및 수직위치(\mathcal{L}_V) 등의 3가지 변수가 통향분포함수의 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)에 미치는 영향을 실험하였다. 실험결과, θ 에 따라 추출되는 샘플 데이터가 달라지기 때문에 θ 의 변화에 따라서 \bar{x} 와 δ 가 변화됨을 나타냈고, θ 에 따른 \bar{x} 와 δ 의 변화는 사인(sine)함수 합 관계로 도출되었다. 또한 항로가 복잡한 해역에서 최적의 통향분포함수를 결정하기 위해서는 δ 의 변화 값이 최소가 되는 θ 을 기준선의 방향으로 설정하는 것이 타당함을 알았다. 본 연구의 결과는 정규분포가 보다 더 정량화된 수치로 표현되어 해상교통흐름을 파악하고 해상교통안전관리 의사결정을 위한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다.

핵심어 : 통향분포함수, 기준선, 방향, 평균, 표준편차

Abstract : The purpose of this study is to identify the aspect that the traffic distribution function changes, according to the direction of the datum line and the horizontal and vertical positions of the datum point applied when it is calculated. Targeting routes at the entrance of Mokpo Harbor, this study tested using AIS survey data of January 2013 the effects of the three variables—direction of the datum line(θ), horizontal position(\mathcal{L}_H) and vertical position(\mathcal{L}_V)—on mean (\bar{x}) and standard deviation (δ). The test result showed that \bar{x} and δ were changed according to the change of θ , because the extracted sample data were changed according to θ ; and the changes of \bar{x} and δ according to θ were drawn as the relation of the sine function' sum. In addition, it was found that setting up θ that the change value of δ becomes the least as the direction of the datum line was valid, to determine the optimum passage distribution function on complex waters with multiple branches of route. The result of this study is expected to be used as basic data to understand maritime traffic flow based on more quantified data of normal distribution and make decisions related to maritime traffic safety management.

Key Words : Traffic distribution function, Datum line, Direction, Mean, Standard deviation

1. 서론

정량적인 충돌 위험도를 평가하는 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Programme)의 마주치는 상태 및 추월상태에서의 충돌확률 산출시 표준정규분포를 적용한다(Fujji et al., 1974; Friis-Hansen, 2008). 또한, AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 및 해상교통안전 진단 규정에 제시된 장애물과의 근접도 평가는 통향 거리를 기초로 평균 및 표본 표준편차를 계산하여 정규분포로 충돌

확률을 평가하고 있다(AASHTO 1991; Yim, 2010; Yim and Kim, 2010; Kwon et al., 2014; AASHTO, 2014).

이러한 정규분포함수의 주요 매개변수인 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)는 기준선의 방향과 위치에 따라서 영향을 받음에도 불구하고, 기준선 설정에 대한 별다른 검토 없이 임의의 기준선을 적용하고 있다. 예를 들면, 일반적으로 고시된 항로의 수직선을 기준선으로 설정하거나 선박의 평균 통향 침로에 대한 수직선을 기준선으로 적용하고(Nguyen et al., 2013; Nguyen et al., 2015; Kim et al., 2011), 교량의 충돌확률 계산은 주 교각 사이의 수직선을 기준선으로 설정하고 있을 뿐이다(Kwon et al., 2014; Yim and Kim, 2010).

[†] Corresponding Author : yoosangrok82@naver.com, 061-241-2750

특히, 항로가 여러 갈래인 복잡한 해역 및 곡선 항로상에서는 기준선의 방향(θ), 수평위치(L_H) 및 수직위치(L_V) 등에 따라서 정규분포가 다르게 된다. 따라서 통항분포함수를 도출하기 전에 기준선 설정에 따른 영향을 분석해야 한다. 본 연구에서는 기준선의 방향(θ), 수평위치(L_H), 수직위치(L_V) 등이 통항분포함수에 미치는 영향을 분석하여, 최적의 통항분포함수 결정을 위한 조건을 도출하였다.

2. 연구방법 개요

2.1 연구 대상 지역 및 기간

본 연구는 목포항의 2013년 1월 1일부터 1월 31일까지 31일간의 AIS 실측 자료를 이용하였으며, 연구 대상지역은 Fig. 1과 같이 입·출항하는 선박들이 통항하는 목포항 입구인 목포구(Mokpogu)를 대상으로 하였다.

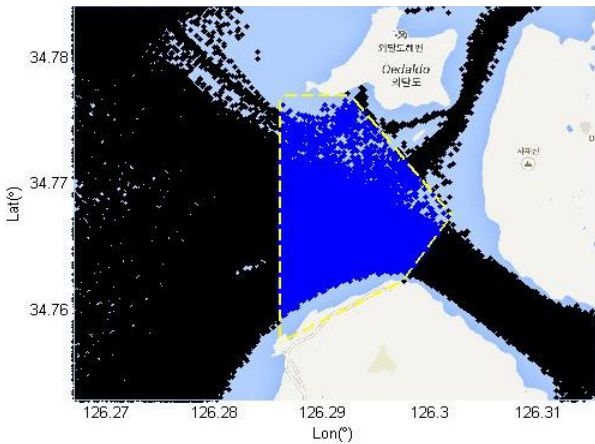


Fig. 1. Scope of study area (Mokpogu, Korea).

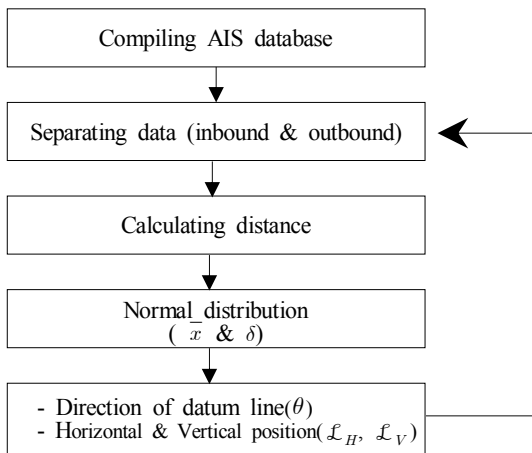


Fig. 2. Study procedure to identify the dependency of traffic distribution function with changing datum line and positions.

2.2 연구 방법

Fig. 2는 연구 방법의 절차를 나타낸 것이다. 기준선의 방향(θ)에 따라 입·출항 샘플 데이터를 추출하고, 기준선의 중심으로부터 각 선박의 통항한 거리를 산출하였다.

각 기준선별 통항 정규분포의 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)를 산출한 후, 기준선의 방향(θ), 수평위치(L_H), 수직위치(L_V)를 Fig. 3과 같이 다르게 설정하여 \bar{x} , δ 의 변화를 살펴보았다.

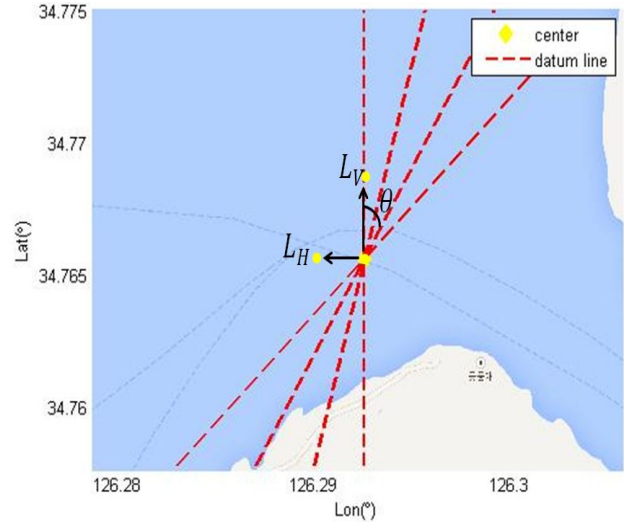


Fig. 3. Experiments with changing the direction of datum line(θ), horizontal position(L_H) and vertical position(L_V).

3. 기준선 변동에 따른 통항 분포 변화

3.1 기존 방법에 의한 통항 분포 흐름

기존에는 통항로를 입·출항하는 선박들의 평균 위치를 기준선의 중심으로 정하고, 입·출항 선박들의 통항 방향에 수직인 선을 기준선의 방향으로 정하여 통항 분포를 측정하였다.

Fig. 4는 연구 대상 지역에서의 2013년 1월달의 1개월간 (2013.1.1~2013.1.31) AIS로 측정된 선박 궤적의 평균 위치 (34.7656°N, 126.2926°E)를 기준선의 중심으로 설정하고, 선박 궤적에 수직인 선을 기준선의 방향으로 설정한 후 계산한 입·출항 선박의 수를 나타낸 것이다.

x-축은 선박의 수를 나타낸 것으로, 0척을 기준으로 좌측은 출항 선박의 수, 우측은 입항 선박의 수를 나타낸다. y-축은 거리(m)를 나타낸 것으로, 기준선의 중심위치를 0m로 두고, 중심위치보다 위쪽으로 통항한 선박의 거리는 부(-)의 값으로 표시하고, 아래쪽으로 통항한 선박은 정(+)의 값으로 표시하였다.

Fig. 4의 y-축에서 -200 m ~ 200 m 사이는 입·출항 선박들이

서로 겹쳐서 통항에 주의해야하는 구간임을 알 수 있다. 이와 같이 기존에는 선박 궤적의 평균 위치에 대해서 1개의 기준선을 설정하여 통항 분포를 계산하여 통항로 안전성을 평가하였다.

그러나 문제는 기준선의 타당성이다. 만약 기준선이 변하게 되면 Fig. 4의 통항 분포 특성은 달라진다.

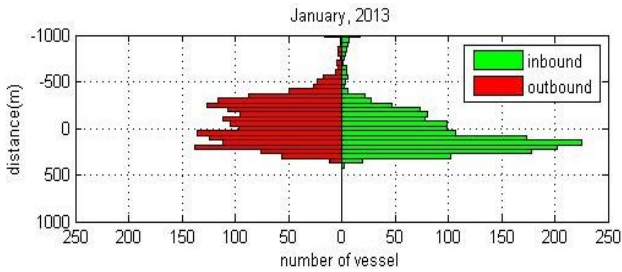


Fig. 4. Traffic distribution using fixed datum line and position calculating with average traffic tracks.

3.2 기준선 방향(θ)에 따른 통항 분포 변화

Fig. 5는 Fig. 4에 적용한 데이터에 기준선의 방향(θ)을 북(000°)을 기준으로 015° 와 045° 로 변경한 경우, 기준선을 중심으로 나타난 입·출항 선박의 AIS 위치를 단순하게 표시한 것이다. Fig. 5(a)와 Fig. 5(c)는 입항 선박에 대한 것이고, Fig. 5(c)와 Fig. 5(d)는 출항 선박에 대한 것이다. 기준선의 방향을 변경함에 따라 AIS 데이터가 나타나는 위치가 변동됨을 쉽게 확인할 수 있다.

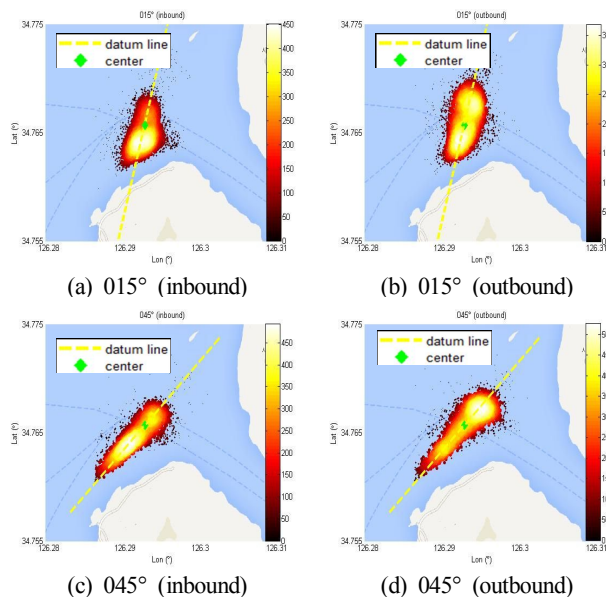


Fig. 5. Distribution feature of AIS data according to the direction(θ) of datum line.

Fig. 6은 Fig. 5에 대한 선박 척수의 통항 분포 특징을 나타낸 것으로 θ 에 따라서 통항 분포가 다르기 때문에 통항 분포의 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)도 변하게 된다. 부록의 Table A-1에 000° 부터 5° 간격으로 θ 를 변화시킨 경우 이에 대한 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)의 변화를 나타냈다. Table A-1에서 θ 를 015° 로 설정한 경우 $\bar{x} = 67$ m, $\delta = 211$ m로 나타났는데, θ 를 045° 로 설정한 경우 $\bar{x} = 152$ m, $\delta = 271$ m 등으로 나타나서 기준선 방향(θ)에 따라 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)가 변화하고 있음을 알 수 있다.

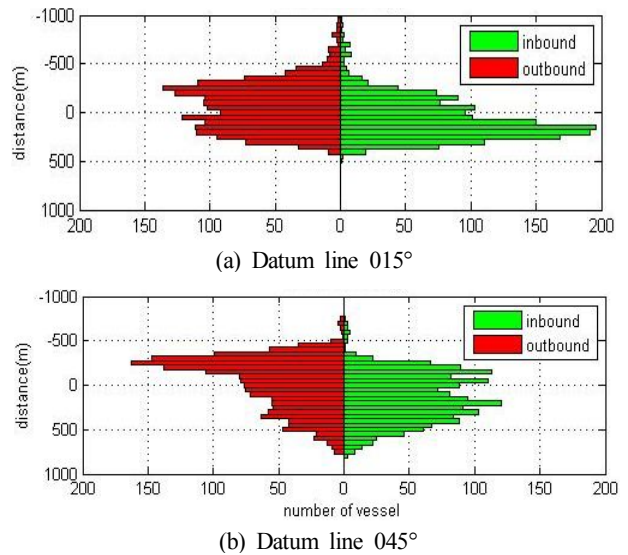


Fig. 6. Traffic distribution according to the direction(θ) of datum line.

3.3 기준선 수평위치(\mathcal{L}_H)에 따른 통항 분포 변화

Fig. 7은 Fig. 5와 달리 기준선의 방향(θ)을 000° 로 설정한 후, 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H)를 왼쪽과 오른쪽으로 각각 300 m씩 이동할 때 선박의 AIS 데이터 위치를 단순하게 나타낸 것이며, Fig. 8은 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H) 변동에 따른 통항 분포를 나타낸 것이다.

Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 수평위치(\mathcal{L}_H)를 300 m 좌측으로 이동한 경우 입항 통항로 분포와 출항 통항로 분포를 나타내고, Fig. 7(c)와 Fig. 7(d)는 수평위치(\mathcal{L}_H)를 300 m 우측으로 이동한 경우 입항 통항로 분포와 출항 통항로 분포를 각각 나타낸 것이다.

Fig. 8은 Fig. 7에 대한 선박 척수의 통항 분포 특징을 나타낸 것으로, Fig. 6과 같이 수평위치(\mathcal{L}_H)에 따라서 통항 분포가 변하기 때문에 통항 분포의 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)도 변하게 된다.

부록의 Table A-1에 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H)를 왼쪽으로 300 m 이동시킨 경우 $\bar{x} = 65$ m, $\delta = 293$ m이고, 기준선의 수평

위치(\mathcal{L}_H)를 오른쪽으로 300 m 이동시킨 경우 $\bar{x} = 62$ m, $\delta = 176$ m 등으로 나타났다. 따라서 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H) 변동에 따라서 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)도 변화하고 있음을 알 수 있다.

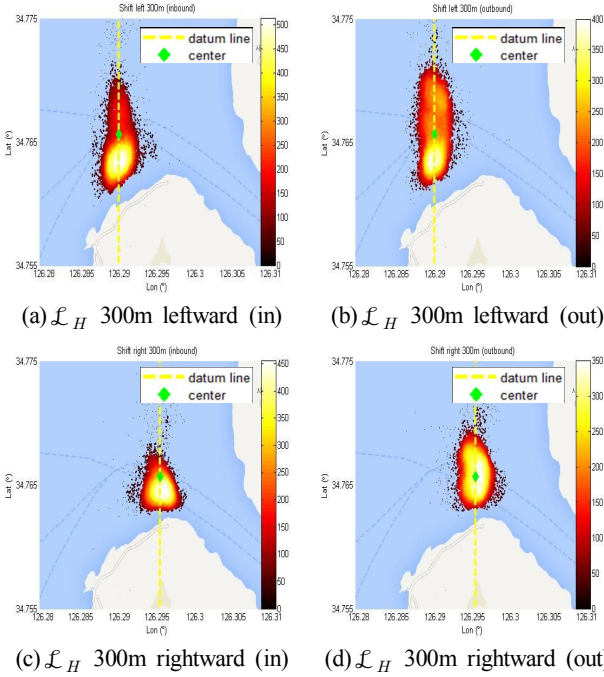


Fig. 7. Distribution feature of AIS data according to the horizontal position(\mathcal{L}_H) of datum line.

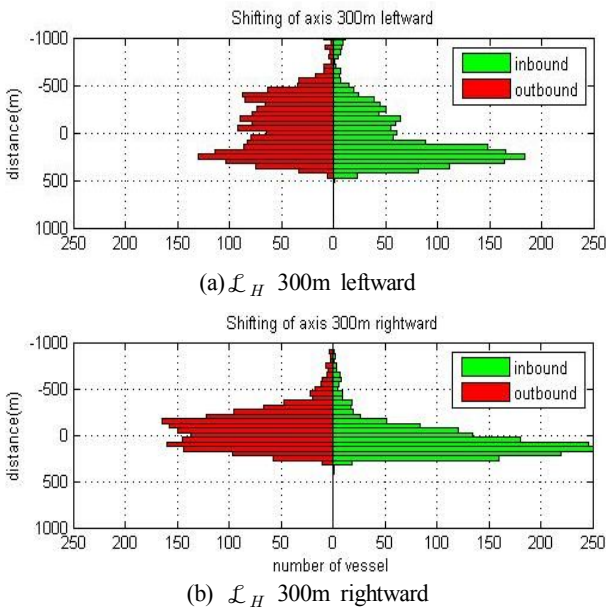


Fig. 8. Traffic distribution according to the horizontal position (\mathcal{L}_H) of datum line.

4. 정규분포에 미치는 요인

4.1 기준선 방향(θ)에 따른 정규분포 변화

Fig. 9와 Fig 12는 선박 궤적의 평균 위치를 기준선의 중심으로 설정하고, 기준선의 방향(θ)을 000° 부터 045° 까지 5° 간격으로 변화시킨 경우 입·출항 선박에 대한 통행 분포의 확률밀도함수(probability distribution function, pdf)를 나타낸 것이다. Fig 9와 Fig 12는 MATLAB의 pdf함수를 이용하여 작도한 것으로 다음의 식에 따른 것이다(MATLAB, 2014). 우선, 기준선의 방향(θ)에 따른 관측 값 n 개의 평균 \bar{x}_θ 과 표준편차 $\delta_\theta(\bar{x}_\theta)$ 는 다음 식(1)과 식(2)로 계산된다(Wikipedia, 2015a).

$$\bar{x}_\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i\theta}, \quad \theta = 000^\circ, 005^\circ, \dots, 045^\circ \quad (1)$$

$$\delta_\theta(\bar{x}_\theta) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{i\theta} - \bar{x}_\theta)^2} \quad (2)$$

그리고 위의 식(1)과 식(2)를 다음 식(3)에 적용하여 확률밀도함수(pdf)가 계산된다(Wikipedia, 2015b).

$$f(x : \bar{x}_\theta, \delta_\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \delta_\theta} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{x}_\theta}{\delta_\theta} \right)^2} \quad (3)$$

Fig. 9에 나타난 바와 같이, 기준선의 방향(θ)을 000° 부터 045° 까지 5° 간격으로 변화에 따라, 방향(θ)에 따라서 pdf의 형상과 최댓값 등이 변함을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞의 그림들에 나타난 결과와 일치하는 것으로, 기준선의 방향(θ)

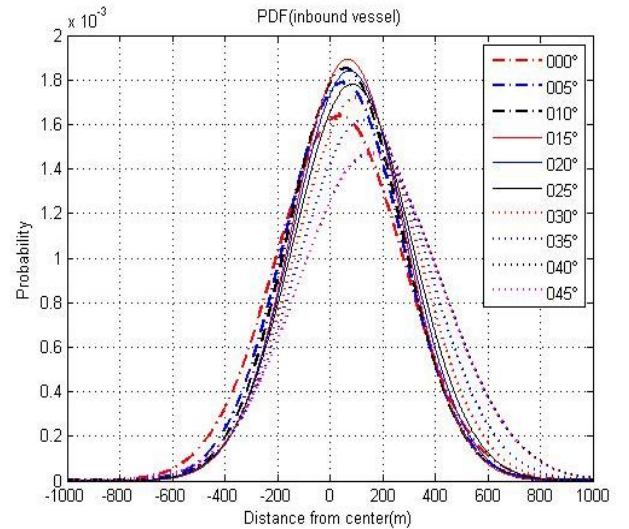


Fig. 9. The shape variations of probability density function(pdf) according to the direction(θ) of datum line with the span of 5 degree (inbound).

에 따라서 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)가 변하기 때문에 pdf 역시 변화된 것이다. 여기서 문제는 최적의 θ 을 설정하는 것이다.

Fig. 10은 Fig. 9에서 기준선의 방향(θ)에 따른 입항 선박 데이터의 \bar{x} , δ 및 확률밀도의 최댓값 ρ_{max} 등의 변화를 나타낸 것이다. θ 가 015°일 경우, δ 가 가장 작고, ρ_{max} 는 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 당연한 것으로, δ 가 작으면 ρ_{max} 는 크게 나타나기 때문인데 위의 식(3)에서 확인할 수 있다.

Fig. 11은 θ 에 따른 \bar{x} 의 위치를 나타낸 것으로 \bar{x} 의 위치가 입항 선박 궤적들에 따라 움직이는 것을 나타내고 있다. Fig. 11의 삽도는 전체 연구대상 지역에 \bar{x} 를 나타낸 것이고, 바탕의 그림은 중심만 확대하여 나타낸 것이다.

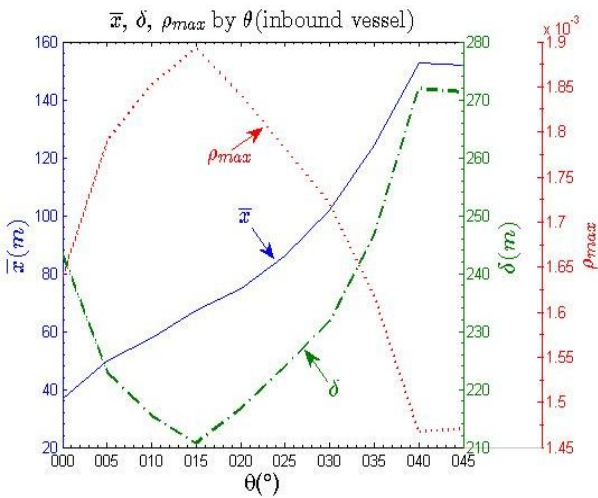


Fig. 10. The differences of three parameters \bar{x} , δ and ρ_{max} according to the direction(θ) of datum line (inbound).

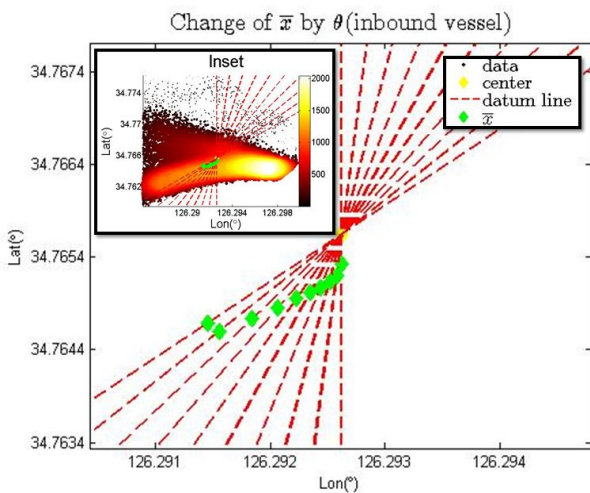


Fig. 11. Position of \bar{x} according to the direction(θ) of datum line (inbound).

Fig. 12는 기준선의 방향(θ)을 000°부터 045°까지 5° 간격으로 변화에 따른 출항 선박의 pdf를 나타낸 것이다. 기준선의 방향(θ)에 따라서 pdf의 형상과 최댓값 등이 변함을 알 수 있다.

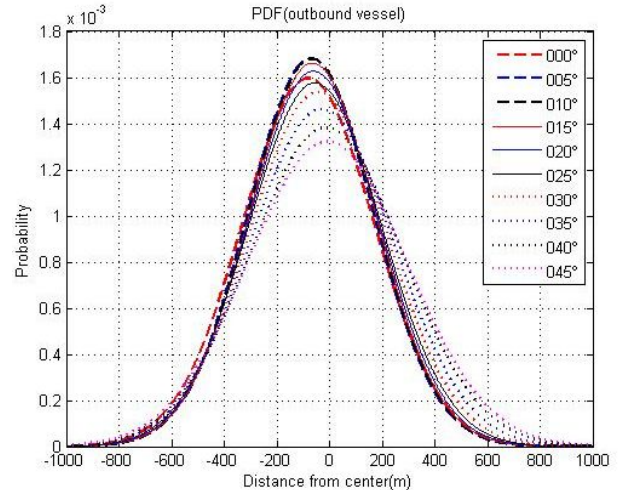


Fig. 12. The shape variations of probability density function(pdf) according to the direction(θ) of datum line with the span of 5 degree (outbound).

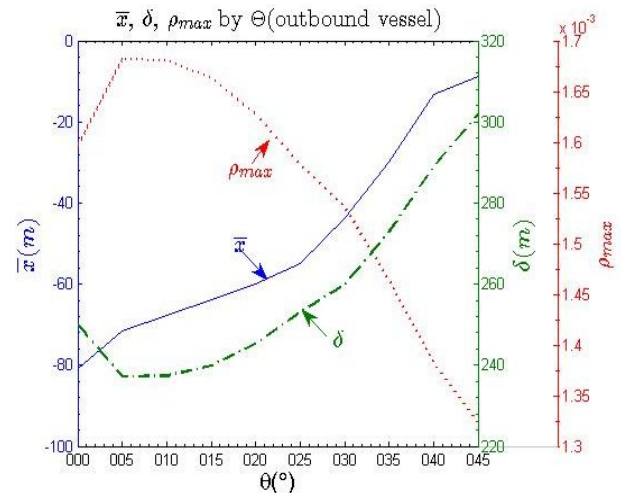


Fig. 13. The differences of three parameters \bar{x} , δ and ρ_{max} according to the direction(θ) of datum line (outbound).

Fig. 13은 Fig. 12에서 기준선의 방향(θ)에 따른 출항 선박 데이터의 \bar{x} , δ 및 확률밀도의 최댓값 ρ_{max} 등의 변화를 나타낸 것이다. θ 가 005°일 경우, δ 가 가장 작고, ρ_{max} 는 가장 높게 나타났다. Fig. 14는 θ 에 따른 \bar{x} 의 위치를 나타낸 것으로 \bar{x} 의 위치가 출항 선박 궤적들에 따라 움직이는 것을 나타내고 있다. Fig. 14의 삽도는 전체 연구대상 지역에 \bar{x} 를 나타낸 것이고, 바탕의 그림은 중심만 확대하여 나타낸 것이다.

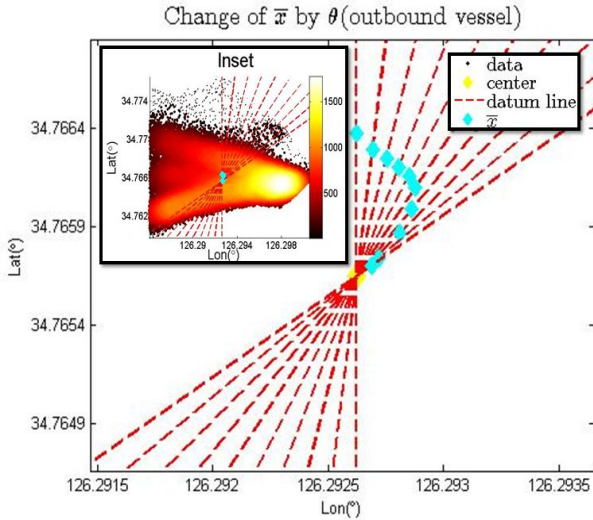


Fig. 14. Position of \bar{x} according to the direction(θ) of datum line (outbound).

4.2 기준선 방향(θ)에 따른 \bar{x} , δ 관계

기준선의 방향(θ)과 평균(\bar{x}), 표준편차(δ) 각 관계는 곡선 적합(curve fitting) 결과, sine 함수의 합인 식(4)로 표현되며, 적합모델은 2개의 sine 함수의 합인 식(5)로 나타났다.

Table 1과 Table 2는 모델의 적합도와 계수를 제시한 것이다. 각 모델 관계식의 결정계수(coefficient of determination, R^2)는 0.97, 수정된 결정계수(Adjusted R-squared, $adj.R^2$)는 0.94이상으로 나타나 기준선의 방향(θ)과 평균(\bar{x})의 관계 및 기준선의 방향(θ)과 표준편차(δ)의 관계는 sine 함수의 합으로 잘 설명해 주고 있음을 알 수 있다.

이는 기준선의 방향(θ)에 따라 추출되는 샘플 데이터가 달라지므로, 기준선 방향(θ)의 영향을 받아 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)가 sine함수의 형태로 변화하는 것을 알 수 있다.

$$f(\bar{x}, \delta) = \sum_{i=1}^y a_i \sin(b_i \theta + c_i) \quad (4)$$

$$f(\bar{x}, \delta) = a_1 \sin(b_1 \theta + c_1) + a_2 \sin(b_2 \theta + c_2) \quad (5)$$

Table 1. Goodness of fit of $f(\bar{x}, \delta)$

| | inbound | | outbound | |
|------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | θ & \bar{x} | θ & δ | θ & \bar{x} | θ & δ |
| SSE | 81.88 | 113.1 | 13.63 | 73.7 |
| R^2 | 0.9947 | 0.9747 | 0.9975 | 0.9837 |
| adj. R^2 | 0.9880 | 0.9430 | 0.9945 | 0.9633 |
| RMSE | 4.524 | 5.318 | 1.846 | 4.293 |

Table 2. Coefficients of $f(\bar{x}, \delta)$

| | inbound | | outbound | |
|-------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | θ & \bar{x} | θ & δ | θ & \bar{x} | θ & δ |
| a_1 | 869.6 | 3795 | 86.85 | 1.7320 |
| b_1 | 0.0727 | 0.0387 | 0.02393 | 0.04213 |
| c_1 | -0.3964 | 1.15 | -1.204 | 0.6432 |
| a_2 | 777.9 | 3581 | 5.41 | 1.7080 |
| b_2 | 0.07872 | 0.0408 | 0.1926 | 0.04254 |
| c_2 | 2.644 | 4.26 | 0.01042 | 3.778 |

4.3 기준선의 방향과 수평 및 수직 위치에 따른 \bar{x} , δ 변화

Fig. 15는 입항 선박 데이터를 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H), 수직위치(\mathcal{L}_V)에 변화에 따른 평균(\bar{x})과 표준편차(δ) 변화를 기준선의 방향(θ)별로 나타낸 것이다.

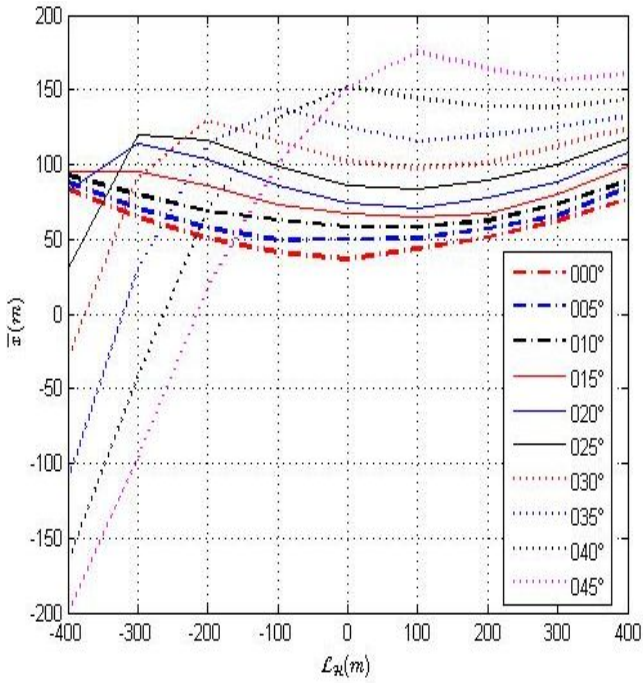
Fig. 15(a)와 Fig. 15(b)를 통해 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H)를 오른쪽으로 이동할수록, 평균(\bar{x})을 중심으로 통항 선박이 많아져 표준편차(δ)가 작아지고 있는데 이는 통항로가 좁아져 선박 궤적이 수렴되는 구간으로 고려된다. 또한, 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H)를 왼쪽으로 이동할수록 표준편차(δ)가 커지는 것은 통항로가 넓어져 선박 궤적이 발산되는 구간으로 분석할 수 있다.

Fig. 15(b)에서 기준선의 수평위치(\mathcal{L}_H)를 오른쪽으로 400 m 이동했을 경우에는 기준선의 방향(θ)을 025° 설정했을 때 표준편차(δ)가 가장 작으며, 수평위치(\mathcal{L}_H)를 왼쪽으로 400 m 옮겼을 경우에는 기준선의 방향(θ)을 045° 설정했을 때 표준편차(δ)가 가장 작다.

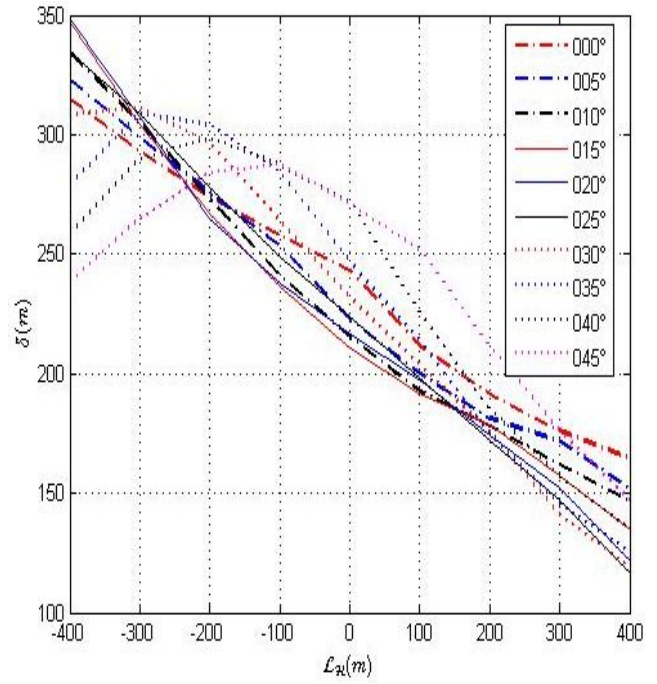
한편, Fig. 15(c)와 Fig. 15(d)를 통해 기준선의 수직위치(\mathcal{L}_V)를 아래쪽으로 이동할수록, 평균(\bar{x})도 비례해서 작아지고 있으며, 표준편차(δ)역시 모든 기준선의 방향(θ)에서 작아지는 것은 평균(\bar{x})을 중심으로 통항 선박이 밀집분포하기 때문인 것으로 고려된다.

Fig. 15(d)에서 기준선의 수직위치(\mathcal{L}_V)를 아래쪽으로 400 m 이동했을 경우에는 기준선의 방향(θ)을 045°로 설정했을 때 표준편차(δ)가 가장 작으며, 기준선의 수직위치(\mathcal{L}_V)를 위쪽으로 400 m 이동했을 경우에는 기준선의 방향(θ)을 005°로 설정했을 때 표준편차(δ)가 가장 작다.

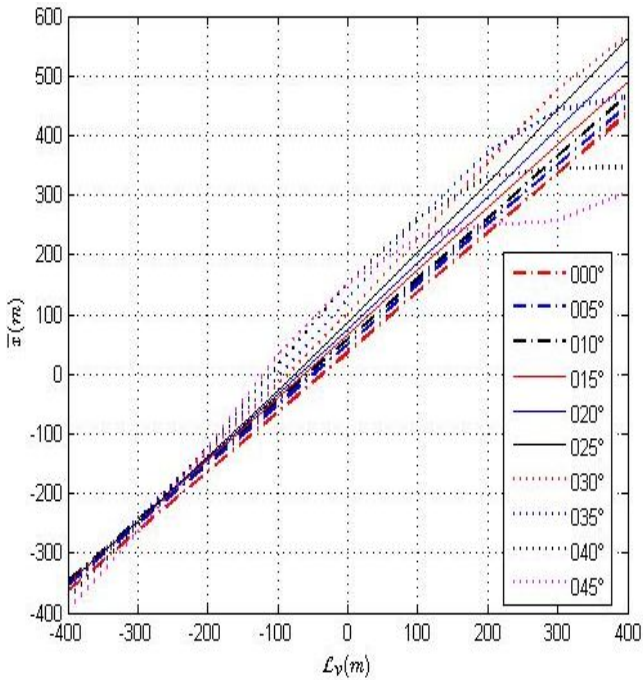
통항분포함수 측방향 의존성에 관한 연구



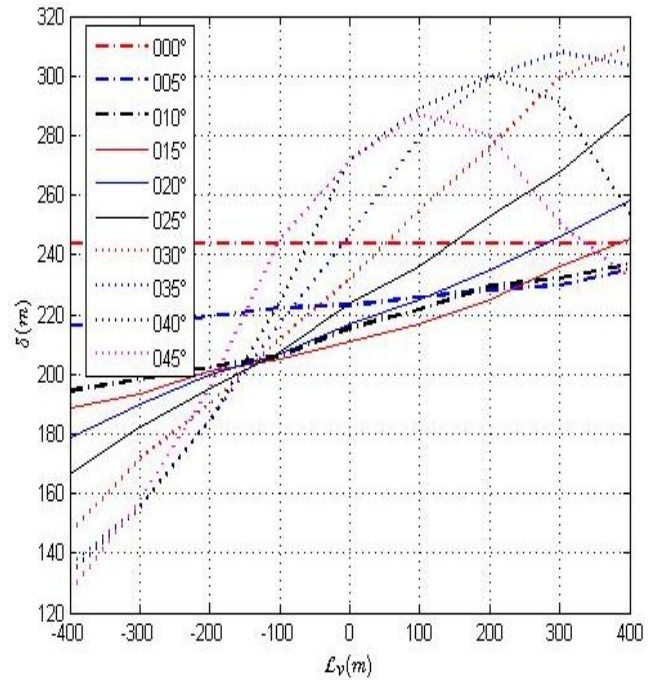
(a) \bar{x} by \mathcal{L}_H (inbound)



(b) $\bar{\delta}$ by \mathcal{L}_H (inbound)



(c) \bar{x} by \mathcal{L}_V (inbound)



(d) $\bar{\delta}$ by \mathcal{L}_V (inbound)

Fig. 15. \bar{x} , $\bar{\delta}$ according to the horizontal position(\mathcal{L}_H) or vertical position(\mathcal{L}_V), direction of datum line(θ).

5. 결 론

본 연구에서는 목포항 입구에 있는 항로를 대상으로 2013년 1월달의 AIS 실측자료를 이용하여 기준선의 방향(θ), 수평위치(\mathcal{L}_H) 및 수직위치(\mathcal{L}_V) 등의 3가지 변수가 통항 분포함수의 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)에 미치는 영향을 실험하였다.

실험결과, 기준선의 방향(θ)에 따라 추출되는 샘플 데이터가 달라지기 때문에 기준선의 방향(θ)의 변화에 따라서 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)가 달라지는 양상을 확인하였고, 기준선의 방향(θ)에 따른 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)의 변화는 사인(sine)함수 합의 관계로 도출되었다. 또한 최적의 통항분포함수를 결정하기 위해서는 표준편차(δ)의 변화 값이 최소가 되는 θ 를 기준선의 방향으로 설정하는 것이 타당함을 알았다.

따라서 항로가 여러 갈래인 복잡한 해역에서의 최적 확률밀도함수를 산출하기 위해서는 표준편차(δ)가 가장 작은 기준선 방향(θ)을 설정하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 또한, 구역별 · 월별 · 요일별 · 시간별 통항 분포 흐름을 분석시 기준선의 방향(θ), 수평위치(\mathcal{L}_H), 수직위치(\mathcal{L}_V)에 따른 기하학적인 변화와 선박 위치 분포 특성을 고려하여 정규분포가 달라지는 현상을 고려해야 할 필요가 있다.

본 연구의 결과는 정규분포함수가 보다 더 정량화된 수치로 표현되어 해상교통흐름을 파악하고 해상교통안전관리 의사결정을 위한 기초자료로 활용될 것으로 판단된다. 향후 기준선의 방향(θ), 수평위치(\mathcal{L}_H), 수직위치(\mathcal{L}_V) 3가지 변수가 얼마만큼 평균(\bar{x})과 표준편차(δ)에 영향을 미치며, 상호 어떤 관계에 있는지 정량화된 모델식을 반영한 연구가 뒷받침 되어야 하겠다.

후 기

이 논문은 2015년도 해양수산부지정 호남씨그랜트 센터의 연구개발사업 과제지원에 의해 수행된 연구임.

Reference

[1] AASHTO(1991), Guide Specification and Commentary for Vessel Collision Design of Highway Bridges, Vol. 1, pp. 1-120.
 [2] AASHTO(2014), LRFD Bridge Design Specifications, Customary US. Units, 7th Edition, pp. 141-161.

[3] Fujii, Y., H. Yamanouchi and N. Mizuki(1974), Some factors affecting the Frequency of Accidents in Marine Traffic, Journal of Navigation, Vol. 27, pp. 239-247.
 [4] Kim, D. W., J. S. Park and Y. S. Park(2011), Comparison Analysis between the IWRAP and the ES Model in Ulsan Waterway, Vol. 35, No. 4, pp. 281-287.
 [5] Kwon, Y. M., E. J. Kim, S. C. Kim and C. S. Kim(2014), A study on probability distributions for sailing vessel of ocean bridge by marine traffic flow analysis, Proceedings of KOSOMES Autumn Conference, pp. 124-126.
 [6] MATLAB(2014), Programming, MATLAB Version 8.3(R2014a).
 [7] Nguyen, X. T., Y. S. Park, J. S. Park and J. Y. Jeong(2013), Developing a Program to Pre-process AIS Data and applying to Vung Tau Waterway in Vietnam : Based on the IWRAP Mk2 program, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 19, No. 4, pp. 345-351.
 [8] Nguyen, X. T., Y. S. Park, J. S. Park and T. G. Kim(2015), A Study on the Marine Traffic Assessment based on Traffic Distribution in the Strait of Malacca, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, No. 1, pp. 25-33.
 [9] Friis-Hansen, P.(2008), Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies, IWRAP Mk II, Rev. 4.
 [10] Yim, J. B.(2010), Development of Collision Risk Evaluation Model Between Passing Vessel and Mokpo Harbour Bridge, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 6, pp. 405-415.
 [11] Yim, J. B. and D. H. Kim(2010), Statistical Parameter Estimation to Calculate Collision Probability Between Mokpo Harbor Bridge and Passing Vessels, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 8, pp. 609-614.
 [12] Wikipedia(2015a), Tutorial for Standard Deviation, http://en.wikipedia.org/wiki/Standard_deviation.
 [13] Wikipedia(2015b), Tutorial for Normal Distribution, http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution.

Received : 2015. 03. 23.

Revised : 2015. 04. 10. (1st)

: 2015. 04. 22. (2nd)

Accepted : 2015. 04. 27.

Appendix A

Table A-1. \bar{x} , δ by \mathcal{L}_H & Θ (inbound vessel)

(- leftward, + rightward)

| Direction (θ) | Horizontal position(\mathcal{L}_H) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | -400(m) | | -300(m) | | -200(m) | | -100(m) | | 0(m) | | 100(m) | | 200(m) | | 300(m) | | 400(m) | |
| | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ |
| 000° | 83 | 315 | 65 | 293 | 51 | 274 | 41 | 258 | 37 | 243 | 44 | 212 | 51 | 191 | 62 | 176 | 77 | 165 |
| 005° | 88 | 323 | 71 | 299 | 57 | 276 | 50 | 253 | 50 | 223 | 51 | 200 | 57 | 181 | 66 | 172 | 85 | 152 |
| 010° | 93 | 334 | 80 | 305 | 69 | 273 | 63 | 241 | 58 | 215 | 58 | 193 | 62 | 178 | 73 | 162 | 89 | 147 |
| 015° | 95 | 347 | 95 | 304 | 86 | 267 | 74 | 236 | 67 | 211 | 65 | 192 | 67 | 179 | 81 | 157 | 98 | 134 |
| 020° | 82 | 349 | 114 | 307 | 103 | 265 | 86 | 238 | 75 | 217 | 71 | 198 | 77 | 174 | 89 | 152 | 109 | 122 |
| 025° | 30 | 335 | 120 | 309 | 117 | 278 | 99 | 249 | 86 | 224 | 83 | 198 | 89 | 172 | 100 | 147 | 117 | 116 |
| 030° | -30 | 308 | 91 | 311 | 129 | 297 | 115 | 264 | 102 | 232 | 97 | 204 | 101 | 176 | 113 | 141 | 124 | 119 |
| 035° | -112 | 279 | 29 | 309 | 114 | 304 | 138 | 284 | 125 | 246 | 116 | 214 | 120 | 175 | 125 | 145 | 133 | 125 |
| 040° | -166 | 258 | -42 | 290 | 70 | 299 | 131 | 287 | 153 | 272 | 144 | 226 | 139 | 185 | 138 | 157 | 144 | 135 |
| 045° | -202 | 239 | -97 | 265 | 18 | 284 | 100 | 288 | 152 | 271 | 176 | 252 | 164 | 211 | 157 | 176 | 160 | 147 |

Table A-2. \bar{x} , δ by \mathcal{L}_V & Θ (inbound vessel)

(- downward, + upward)

| Direction (θ) | Vertical position(\mathcal{L}_V) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | -400(m) | | -300(m) | | -200(m) | | -100(m) | | 0(m) | | 100(m) | | 200(m) | | 300(m) | | 400(m) | |
| | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ | \bar{x} | δ |
| 000° | -364 | 243 | -264 | 243 | -163 | 243 | -63 | 243 | 37 | 243 | 137 | 243 | 237 | 243 | 337 | 243 | 437 | 243 |
| 005° | -354 | 216 | -252 | 216 | -152 | 219 | -51 | 222 | 50 | 223 | 150 | 226 | 250 | 228 | 352 | 230 | 451 | 235 |
| 010° | -348 | 194 | -246 | 198 | -144 | 202 | -42 | 206 | 58 | 215 | 160 | 222 | 261 | 229 | 365 | 232 | 468 | 237 |
| 015° | -350 | 189 | -246 | 193 | -143 | 201 | -38 | 205 | 67 | 211 | 173 | 217 | 279 | 225 | 384 | 236 | 491 | 246 |
| 020° | -350 | 179 | -247 | 190 | -142 | 200 | -33 | 207 | 75 | 217 | 186 | 225 | 297 | 235 | 410 | 246 | 524 | 258 |
| 025° | -351 | 167 | -246 | 182 | -137 | 195 | -26 | 207 | 86 | 224 | 203 | 236 | 321 | 253 | 443 | 268 | 563 | 288 |
| 030° | -352 | 147 | -245 | 172 | -132 | 190 | -17 | 212 | 102 | 232 | 226 | 255 | 355 | 276 | 476 | 299 | 568 | 310 |
| 035° | -361 | 136 | -244 | 156 | -126 | 185 | -5 | 217 | 125 | 246 | 258 | 279 | 372 | 299 | 443 | 308 | 466 | 303 |
| 040° | -378 | 133 | -254 | 155 | -123 | 184 | 14 | 224 | 153 | 272 | 261 | 289 | 330 | 300 | 345 | 291 | 347 | 253 |
| 045° | -396 | 127 | -267 | 158 | -124 | 195 | 32 | 245 | 152 | 271 | 229 | 287 | 248 | 280 | 257 | 250 | 305 | 232 |