

방파제 부근에서 선박 도메인의 침범 영역에 관한 기초 연구

송재영* · 이춘기** · 임정빈***

* 한국해양대학교 연구원, ** 한국해양대학교 항해학부 교수

Fundamental Study on Invasion Area of Ship Domain Near Breakwater

Jaeyoung Song* · Chun-ki Lee** · Jeong-bin Yim***

* Researcher, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

** Professor, Division of Navigation Science, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 선박과 물체의 충돌위험을 파악하는 것은 항해안전에 중요하다. 본 연구의 목적은 선박이 방파제 사이를 통과할 때 선박 도메인이 방파제에 의해서 침범당하는 현상을 분석하는 것이다. 연구방법은 먼저, 방파제가 주어진 조건으로 설계된 선박 도메인을 침범하는 영역을 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 그런 후, 부산항 방파제 부근을 항해하는 선박들의 AIS(Automatic Identification System)로부터 실험 데이터를 획득하고 처리하여 방파제 사이에서 형성될 수 있는 선박 도메인을 구축하였다. 이 때 선박 도메인은 Fujii의 Domain을 이용해 구축하였다. 마지막으로, 구축한 선박 도메인이 방파제에 의해서 침범당하는 현상을 분석하였다. 실험결과, 방파제에 의해서 침범당하는 선박 도메인이 확인되었다.

핵심용어 : 충돌, AIS 데이터, 선박 도메인, 방파제, 침범 영역

Abstract : The identification of the risk of collision between ships and objects is vital for achieving navigation safety. The purpose of this study is to analyze the phenomenon of ship domain invasion by breakwaters when ships pass between breakwaters. A method for evaluating the domain-invaded area under the conditions of the breakwater was developed. Next, experimental data were obtained and processed using the Automatic Identification System (AIS) of ships sailing near the breakwater at Busan Port to establish a ship domain that could be formed between the breakwaters. The ship domain was then constructed using Fujii's domain. Finally, the phenomenon in which the constructed ship domain was invaded by the breakwater was analyzed. Based on the experimental results, the domain of the ship invaded by the breakwater was identified.

Key Words : Collision, AIS data, Ship domain, Breakwater, Invasion area

1. 서 론

선박과 물체의 충돌위험을 파악하는 것은 항해 안전에 중요하다. 일반적으로, 항해사들은 다수의 충돌위험이 큰 후보를 식별한 후 위험회피를 위한 동작을 결정하기 때문에 우선하여 충돌위험을 파악하는 것은 중요하다(Kim, 2019). 충돌위험의 분석 또는 식별에 관한 다양한 방법이 보고된 바 있는데, 대표적인 것이 선박과 선박 사이의 충돌위험 식별을 위한 CPA/TCPA(Closest Point of Approach/Time to Closest Point of Approach)이고, 또 다른 것은 선박 도메인(Ship Domain)이다.

CPA/TCPA를 이용하는 방법(Bole and Jones, 1981)은 CPA/TCPA

라는 두 가지 측정변수를 정량적인 지표로 이용하는 것으로, CPA와 TCPA는 본선(own ship)과 타선(target ship) 사이의 상대운동으로부터 계산된다. 이 방법에 대해서는 두 가지 문제점이 제기될 수 있는데, 하나는 CPA와 TCPA의 두 가지 측정변수의 값들을 동시에 고려해야하기 때문에 항해자의 인지부하(cognitive load)가 증가할 수 있는 것이고, 다른 하나는, 충돌회피를 위한 CPA와 TCPA의 기준 값을 항해자의 판단에 의존하고 있어서 인적오류가 개입될 우려가 있다는 것이다(Yim et al., 2018).

이러한 CPA/TCPA에 대응되는 것이 선박 도메인인데, 선박 도메인은 Fujii and Tanaka(1971)가 제안한 선박 도메인 이론에서 도출된 개념으로, 현재 다양한 방법론이 제안되고 있다(Szlapczynski and Szlapczynska, 2017). 선박 도메인은 본선

* First Author : jysong@kmou.ac.kr, 051-410-4246

† Corresponding Author : jbyim@kmou.ac.kr, 051-410-4246

주위에 일정한 영역을 정한 후, 이 영역을 타선이 침범하면 충돌의 위험이 발생한다고 가정한 것이다. 이러한 선박 도메인 역시 다양한 문제점이 보고되고 있는데, 선박 도메인의 크기가 항해 상황에 따라서 달라질 수 있고, 그래서 최적의 선박 도메인 크기의 결정이 곤란하다는 것이다.

한편, 선박이 방과제 부근을 항해하는 경우, 항해자들은 선박과 방과제 사이(이하, 선박-방과제)의 충돌을 피하기 위하여 선박-방과제의 거리와 방위 그리고 부근의 수심, 마주치는 선박과의 조우관계 등 복잡한 항해환경을 고려해야 한다. 이러한 항해자의 고려 대상 변수의 수가 증가할수록 항해자의 인지부하와 인적오류는 증가할 수 있기 때문에 고려 대상 변수의 수는 가능한 축소될 필요가 있다. 그래서 본 연구에서는, 다양한 문제점이 있음에도 불구하고, 선박 도메인을 선박-방과제 충돌위험 평가에 적용할 수 있는 방법을 모색하고자 한다.

본 연구의 목적은, 방과제에 의해서 선박 도메인이 침범되는 영역을 분석하기 위한 것이다. 본 연구에서 선박 도메인을 고려한 이유는, 선박 도메인을 이용하는 방법이 CPA/TCPA를 이용하는 방법과 비교하여 충돌위험 평가 절차가 간단할 것으로 기대하고, 아울러, 근본적으로 CPA/TCPA는 서로 이동 중인 선박 사이의 상대적인 관계를 이용하기 때문에 고정되어 있는 방과제에는 적용이 적합하지 않을 것으로 고려했기 때문이다. 본 연구의 목적 달성을 위해서, 우선, 선박 도메인을 정의하고, 선박 도메인이 방과제에 의해서 침범당하는 현상을 관측하기 위한 데이터의 수집과 처리 그리고 방법론을 전개하였다. 그런 후, AIS(Automatic Identification System)을 이용하여 부산항 방과제 부근의 선박 통항 데이터를 수집하여 통항 패턴을 분석하고 선박 도메인을 구축한 후, 이 선박 도메인이 선박과 방과제의 형상과 지리적인 위치에 따라서 침범되는 영역을 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 선박 도메인의 정의

선박 도메인은 Fujii and Tanaka(1971)에 의해서 제안된 것으로, 타선의 도메인 침범 또는 타선 도메인과 본선 도메인의 중첩 등이 충돌위험 가능성이 높은 후보의 선정 기준으로 활용된다.

이러한 선박 도메인에서 중요한 것은, 도메인의 크기를 결정하는 것인데, 이에 관해서 분석적 방법, 경험적 방법, 확률적 방법 등의 다양한 방법론이 보고되고 있다. 아울러 선박 도메인은 대양에서 적용하기 위한 도메인과 연안에서 적용하기 위한 도메인 등으로 크게 구분할 수 있다.

현재까지 다양한 방법으로 연구된 도메인 결과들이 많았다. 하지만 선행연구들은 도메인 경계 값을 Fujii의 도메인과 같은 원시적 도메인과 비교하여 유사성을 검증하는 방법을 이용했다(Szlapczynski and Szlapczynska, 2017). 따라서 본 연구에서는, Fujii and Tanaka(1971)가 제안한 기본적인 도메인 개념을 기준으로 이용하고, 연안에서 적용하기 위한 도메인을 이용하였다.

Fig. 1에 본 연구에 적용한 선박 도메인을 나타냈다. x-축과 y-축은 각각 선박 도메인의 장축(m)과 단축(m)을 나타내고, 좌표 중심 위치(0, 0)는 선박 도메인의 기하학적 중심을 나타낸다. 이 선박 도메인은 길이(Length, L)가 200 m인 선박에 대해서 6L의 장축의 길이와 1.6L의 단축의 길이로 구성한 것이다.

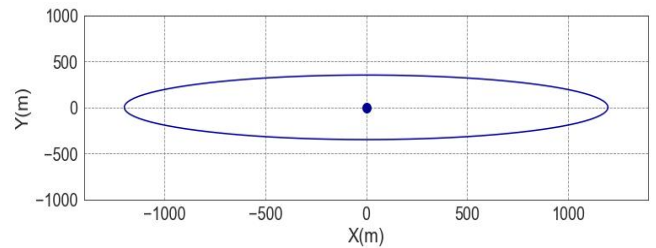


Fig. 1. Ship domain with a major axis length of 6LOA and a minor axis length of 1.6LOA for a 200 meter long vessel.

2.2 선박 통항 데이터 수집과 처리

선박 통항 데이터는 부산항 방과제 부근에 위치한 한국해양대학교 연구실에서 AIS 수신 장치(모델 XA-100)를 이용하여 수집하였다. 데이터는 2020년 5월 20일부터 6월 30일까지 연속된 24시간 동안 지속하여 수집하였다. 수집한 AIS 데이터는 360,787개의 AIS 메시지이며, 이 중 추출하여 사용한 데이터는 4,344개이다. 추출 및 분류단계는 아래에서 후술한다. 수집된 데이터는 PC에 CSV(Excel format)로 저장한 후, 연구에 필요한 데이터를 추출하였다. 이러한 통항 데이터 수집과 처리 절차를 각 단계별로 설명하면 다음과 같다.

Step 1(AIS 데이터 수집): 부산항 방과제로부터 약 3마일 (mile) 이내에 있는 선박으로부터 AIS 데이터를 수집한다.

Step 2(데이터 추출): 수집한 AIS 데이터는 그 양이 방대하므로, 다음과 같은 범위(방과제로부터 약 1마일 이내)의 데이터를 추출한다.

- 위도: 북위 35도 3분 43초부터 북위 35도 5분 30초 사이
- 경도: 동경 129도 5분 7초부터 동경 129도 9분 30초 사이

Step 3(데이터 분류): 데이터는 선박길이 200 m 이상의 데이터만을 이용하였다. Fig. 2와 같이 선박의 길이데이터를 분

석 하였을 때, 길이 200 m 이상 선박의 입항은 길이 200 m 미만의 선박보다 상대적으로 낮았기 때문이다. 데이터 수집구간이 부산 북항으로 대형 컨테이너 선박들은 부산 신항으로 입항한다는 점에서 200 m 이상 선박의 입항은 대상 항만의 특이 케이스로 사료되었기 때문에 200 m 이상 선박으로 대상을 한정하였다.

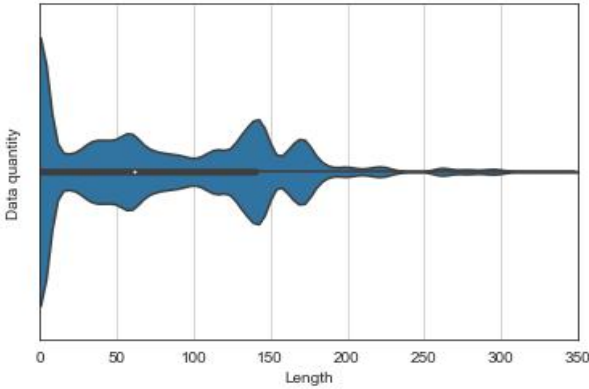


Fig. 2. Vessel data distribution by length.

Step 4(게이트라인 설정과 구분): 위의 Step 3의 데이터는 본 논문의 저자가 임의로 설정한 총 9개의 게이트라인(gate line, 이하 GL)을 통과하는 선박으로 구분하였다. GL은 방파제 부근의 통항량을 획득하기 위하여 방파제에 직교한 GL을 기준으로 항로의 방향을 고려하여 방파제 전 후 400 m에 평행하게 설정하였다. 이러한 GL은 각 GL을 통과하는 선박들의 선박 도메인을 구축하기 위한 것이다.

Step 5(좌표계 변환) : 위에서 추출한 경위도 데이터는 위치(위도 북위 35도 5분 4초, 경도 동경 129도 6분 20초)를 원점(0, 0)으로 정한 직각좌표 데이터로 변환하면서 미터(meter) 단위의 값으로 변환하였다. 이러한 좌표원점 위치는 부산항 오류도 방파제 좌측 끝단의 중앙에 해당된다. 그리고 좌표 변환에는 아래에 설명한 공식을 이용하였다. 그리고 본 연구에서는 파이썬(Python) 3.7 소프트웨어와 그에 따른 라이브러리를 계산에 이용하였다(SciPy, 2020; NumPy, 2020; Matplotlib, 2020).

$$\theta = \arctan\left(\frac{Med}{dLong}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

$$\lambda = \left(\frac{dLat}{\cos\theta}\right) \times 1852 \quad (2)$$

$$Med = 7915.7 \times \log\left[\log\left(\frac{\pi}{4} + \frac{Lat_C}{2}\right) - \log\left(\frac{\pi}{4} + \frac{Lat_V}{2}\right)\right] \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} dLong &= Long_V - Long_C \\ dLat &= Lat_V - Lat_C \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

여기서 Med 는 점장도법을 적용한 경도선, $Lat_V, Long_V$ 는 데이터 점의 위경도, $Lat_C, Long_C$ 는 좌표변환의 기준점이다(Bowditch, 2019).

2.3 게이트라인 설정 방법

본 연구에서 중요한 것은 어떻게 게이트라인(GL)을 정할 것인지가 관건이다. 본 연구에서는 총 9개의 GL을 설정하였는데, 설정기준은 선박들이 부산항 통항분리대(Traffic Separation Scheme, TSS)를 통과한 이후의 방파제 진입 전 4가지, 방파제 정형 시, 방파제 통과 후 4가지 등으로 정하였다.

이와 같은 기준으로 정한 GL에 대해서 계산된 선박-방파제 사이의 거리는 통계적 분석과 분포함수 분석을 통하여 통계적으로 유의한 통항 패턴을 도출하였다. 이러한 통항 패턴은 중요한데, 그 이유는 방파제 부근에서 선박 도메인이 침범당하는 현상을 분석하기 위해서는 우선 통계적으로 유의한 선박과 방파제 사이의 거리 관계가 검증될 필요가 있기 때문이다. 통항 패턴의 통계적 분석은 평균 μ 과 분산 σ^2 를 이용하여 수행하였다.

3. 실험 및 결과

3.1 데이터 수집 결과

Fig. 3은 수집한 데이터를 이용한 선박의 궤적을 나타낸 것으로, x-축과 y-축은 각각 경도와 위도를 나타낸다. 이 궤적은 방파제 부근을 통항하는 선박 중에서, 길이 200미터 이상의 선박으로 분류되고, 경위도 범위(위도 북위 35도 3분 43초부터 북위 35도 5분 30초 사이, 경도 동경 129도 5분 7초부터 동경 129도 9분 30초 사이)에 해당하는 선박에 대한 것이다. 그림에서, 적색은 부산항에서 입항하는 선박을 나타내고, 청색은 출항하는 선박을 나타낸다.

그림에서 방파제는 그림 상단 좌측에 위치해 있는데, 이 방파제 사이에서는 적색 청색 주황색 등으로 나타난 선박들의 궤적이 겹쳐진 매우 조밀한 통항 패턴을 보이고 있다. 그리고 궤적들은 크게 세 방향으로 분리되어 보이는데, 이것은 부산항 TSS를 따라서 선박들이 항해하기 때문으로 고려된다. 이와 같이 부산항 방파제 사이의 항로는 통항이 밀집되기 때문에 선박-방파제 충돌위험의 가능성이 크고 이에 대한 예방방안의 수립이 필요함을 알 수 있다.

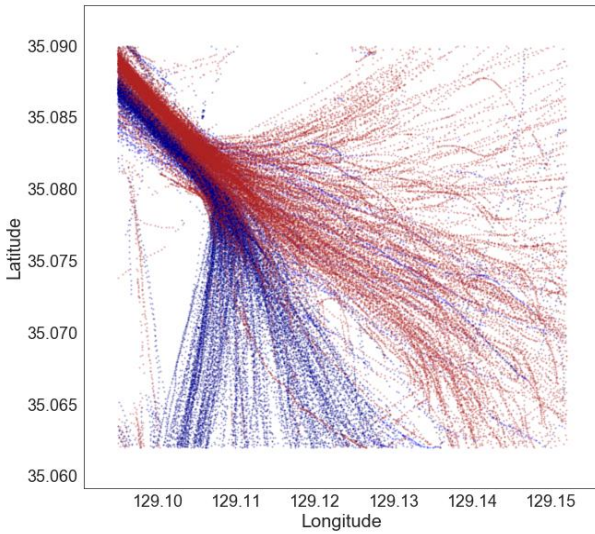


Fig. 3. Vessel trajectories near breakwater, Port of Busan.

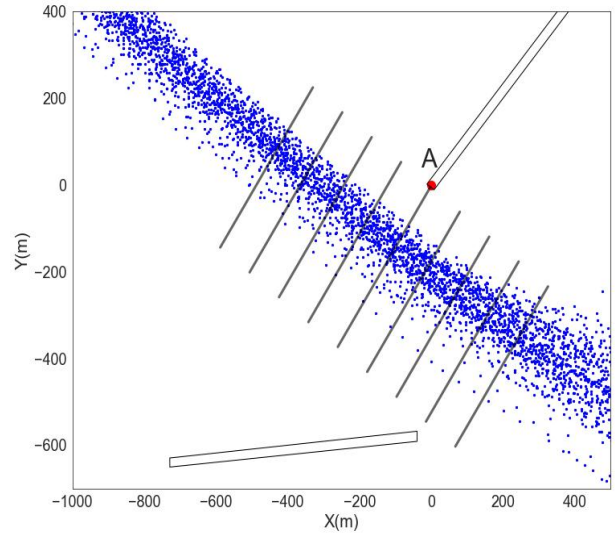


Fig. 4. Result of organized gateline near breakwater, Port of Busan.

3.2 게이트라인 위치 설정 결과

Fig. 4는 방파제 사이를 통과하는 선박 위치(청색의 점)와 9개의 GL(검은 실선) 위치를 나타낸다. 이 그림은 AIS를 이용하여 수집한 선박 위치(경도, 위도)를 미터 단위의 직각좌표계로 변환한 것으로, 좌표원점(0, 0)은 방파제 끝단(A)으로 정한 것이다. 그래서 x-축과 y-축의 값은 정부(±)의 값으로 표시된다. 아울러, 방파제 끝단과 끝단 사이의 직선거리는 550 m이다.

그리고 GL의 위치는 평균 선박위치와 평균 선수방위를 이용하여 정하였다. 먼저, 평균 선수방위에 대해서 직각인 방향으로 GL의 방향을 정하고, 평균 선박위치 사이를 100 m 간격으로 9개로 구분한 임의의 위치를 정하였다. 그런 후 9 개 위치 각각에서, 방파제 끝단(A)을 평균 선수방향으로 연장했을 때의 가상의 점을 GL의 x-축 원점위치 0 m로 두고, 방파제 반대방향으로 그리고 1 m 간격으로 480 m까지 연장했을 때의 가상의 점의 자취를 GL의 위치로 정하였다. 그래서 GL 위치의 x-축 값은 모두 부(-)의 값으로 표시되고, y-축 값은 방파제 끝단(A)에 대해서 정부(±)의 값으로 표시된다.

Fig. 5는 9개의 GL 각각을 통과하는 선박들을 GL의 x-축을 따라서 점으로 나타낸 것이다. 각 GL별로 선박의 거리 분포가 다르게 나타남을 볼 수 있다. 이러한 GL별 선박 거리는 실제 방파제 끝단을 평균선수 방향으로 연장했을 때의 가상의 방파제 끝단으로부터 측정된 것인데, 본 논문에서는 이러한 거리를 선박(Vessel)과 가상의 방파제 끝단(Virtual Breakwater Ends) 사이의 거리라는 의미에서 ‘V-VBE 거리’로 칭한다. Fig. 5에 나타낸 V-VBE 거리 분포의 통계적 분석은 후술한다.

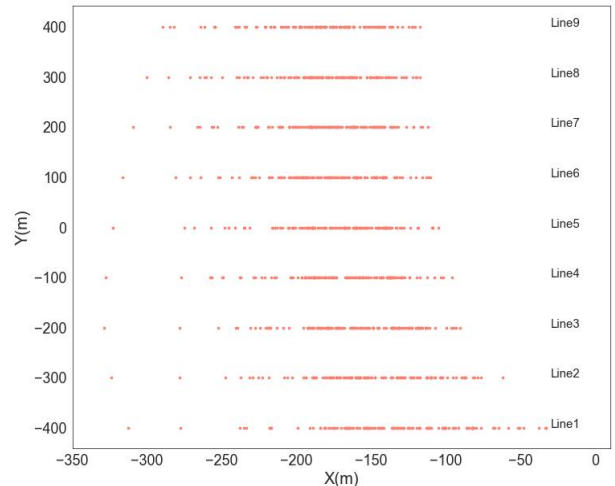


Fig. 5. Results of extracting data according to gateline.

3.3 게이트라인 별 V-VBE 거리 통계와 분포 분석

Table 1은 위의 Fig. 5에 나타낸 9개 GL별 V-VBE 거리의 통계 값(평균, 편차)과 범위(최대값, 최소값)를 나타낸다. 9개의 GL별로 V-VBE 거리의 평균값에 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 GL별 V-VBE 거리에 대한 통계를 분석하는 이유는, 선박의 위치에 따라서 방파제 끝단이 선박 도메인을 침범하는 영역을 비교하기 위한 것이다. 만약, GL별 V-VBE 거리가 같다면 선박 도메인을 침범하는 영역은 모두 동일할 것이기 때문에 그 차이가 나타나지 않을 것으로 예상할 수 있다. 아울러, V-VBE 거리의 특징은, 위의 통계 분석 이외에 분포함수를 이용한 분석을 통해서 확인할 수 있는데, 이러한 내용은 아래에 설명하였다.

Table 1. Result of Statistics and scope of distance between ship and breakwater end calculated from the gate line

Gate line	Statistics		Boundary	
	Mean	Variance	Maximum	Minimum
1	-135.572	48.247	-312.494	-33.296
2	-149.978	43.024	-324.037	-62.050
3	-160.811	39.303	-329.097	-90.674
4	-169.410	37.842	-327.613	-96.303
5	-174.107	36.392	-322.756	-105.312
6	-177.905	36.058	-316.363	-110.619
7	-180.138	36.124	-309.271	-112.283
8	-181.866	36.211	-300.598	-117.764
9	-183.173	36.290	-298.816	-117.694

Fig. 6은 9개의 GL별 V-VBE 거리 분포를 나타내고, Fig. 7은 이러한 거리 분포에 대한 정규분포 가정의 검증에 위한 Q-Q 플롯을 나타낸다. Fig. 6에서, x-축은 각 GL의 x-축 거리를 나타내고, y-축은 확률밀도를 나타낸다. 막대(bar)는 거리의 빈(bin)에 대한 이산적인 분포를 나타내고, 적색 실선은 이산적인 분포에서 추정된 연속 분포를 나타낸다. GL별 V-VBE 거리는 모두 우측으로 치우친 분포 형태를 보이고, 그래서 입항 선박들은 모두 우측 방파제 쪽으로 치우쳐서 항해함을 알 수 있다. Fig. 7은 표준정규 값(x-축)에 대한 관측된 값(y-축) 사이의 선형성을 나타낸 것으로, 만약 V-VBE 거리 분포가 선형성을 갖는다면 관측된 값들은 적색 직선에 일치하게 된다. 전반적으로 적색 직선에 일치하는 경향을 보이고 있으나, 좌우 끝단 부근에서는 불일치하는 경향도 보이고 있다.

위의 두 결과로부터, 각 GL별 V-VBE 거리 분포는 모두 동일하게 정규분포와 달리 우측으로 치우친 분포를 나타내고, Q-Q 플롯의 경우는 모두 동일하게 부분적인 선형 특징을 보이고 있다. 그래서 각 GL별 V-VBE 거리는 통계적으로 유의한 비교에 적용 가능할 것으로 고려되었다.

3.4 선박 도메인의 침범영역 분석 결과

Fig. 8은 선박 도메인과 두 방파제를 나타낸 것인데, 그림에 나타난 선박 도메인은, 위의 Table 1에 나타난 총 9개의 GL 각각에 대한 V-VBE 거리의 통계 값 중에서 최소거리에 해당하는 위치를 선박 도메인의 좌표원점(0, 0)으로 두고 작도한 것이다. 여기서, 선박 도메인에 적용한 선박의 길이는 200 m이고, 선박 도메인의 장축은 이 선박 길이의 6배 그리고 단축은 1.6배로 정한 것이다. 그리고 Fig. 9와 Fig. 10은 각각 Table 1에 나타난 총 9개의 GL 각각에 대한 V-VBE 거리의 통계 값 중에서 평균값과 최댓값을 선박 도메인의 좌표

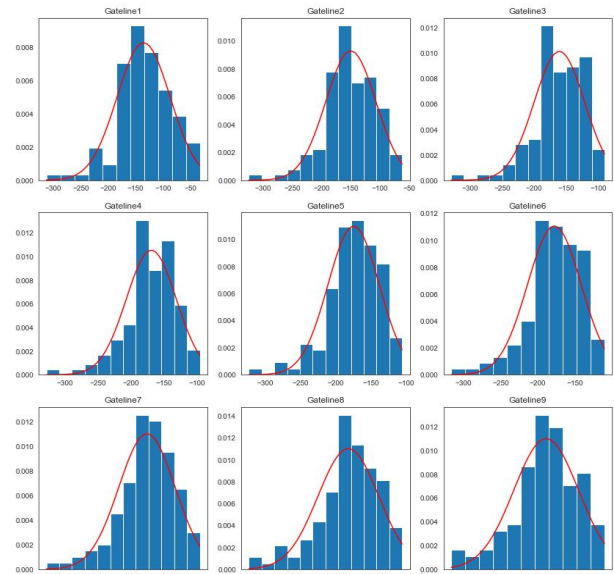


Fig. 6. Distribution of distance between ship and virtual breakwater by gate line.

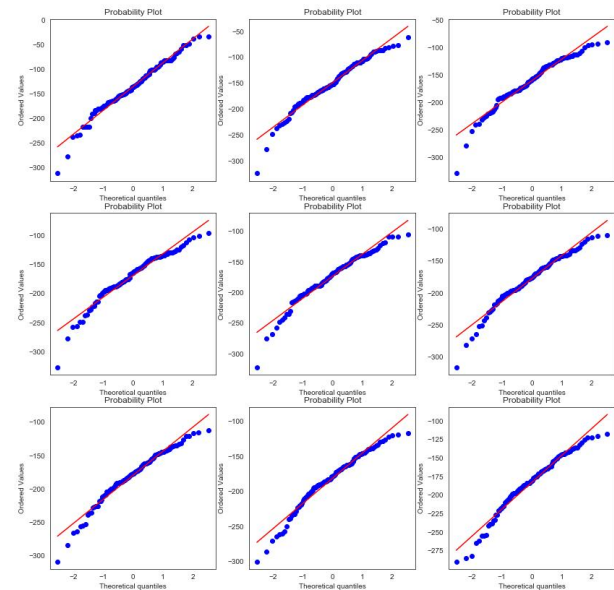


Fig. 7. QQ-plot for distance between ship and virtual breakwater by gate line.

원점(0, 0)으로 두고 작도한 것이다. 그리고 이들 두 그림 역시 Fig. 8과 동일한 선박 도메인을 적용한 것이다. 아울러, Fig. 8부터 Fig. 10까지 세 개의 그림에서, 총 9개의 GL은 적색부터 청색까지 서로 다른 9개의 색으로 구분하여 나타낸 것이고, 이들 9개 GL의 위치는 위의 Fig. 4에 나타난 9개 GL의 위치와 동일하다. Fig. 7을 보면, 9개 GL에 대한 선박 도메인 모두는 방파제 끝단이 침범함을 볼 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 9(평균 값)와 Fig. 10(최댓값)에서도 나타나고 있다.

이러한 결과를 통해서, 200 m 선박 길이의 6배로 정한 장축 길이와 1.6배로 정한 단축 길이를 갖는 선박 도메인은 부산항과 같이 방과제 사이의 직선길이가 400 m인 경우에는 적합하지 않음을 확인하였다.

그래서 부산항 방과제 사이와 같은 좁은 항로에서는 새로운 선박 도메인의 설계 또는 개발이 필요함을 알았다. 이러한 필요성에 대해서는 후술하는 4절에서 논의하였다.

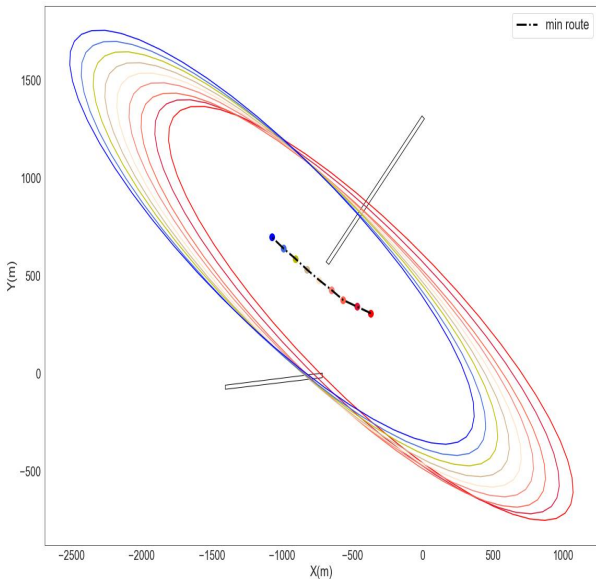


Fig. 8. Application of ship domain on minimum distance route from object.

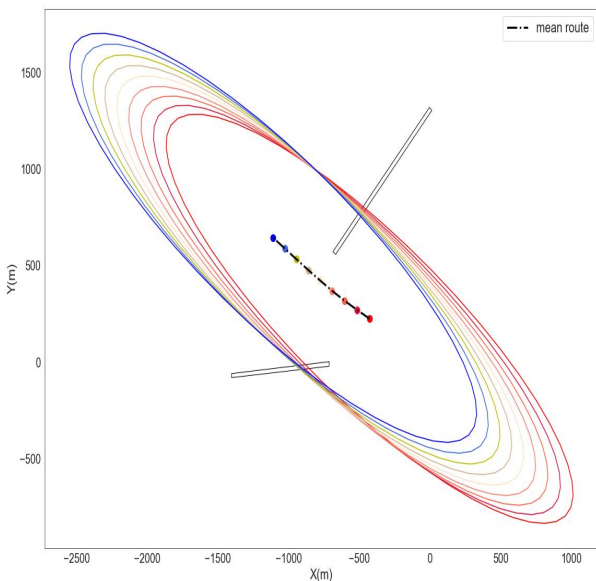


Fig. 9. Application of ship domain on mean distance route from object.

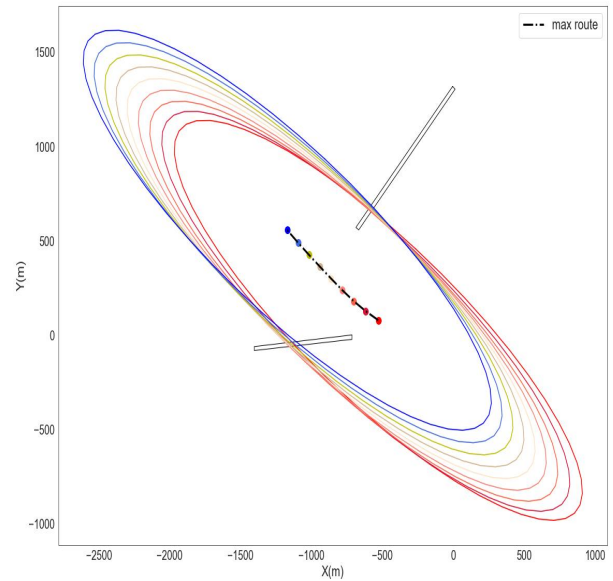


Fig. 10. Application of ship domain on maximum distance route from object.

4. 논 의

위의 실험 결과에서 나타난 바와 같이 폭이 좁은 항로에서 선박 도메인이 물체에 의해서 침범당하지 않기 위해서는 선박 도메인의 새로운 설계가 필요함을 알았다.

이러한 결과는 이미 사전에 예상한 것인데, 그 이유는 방과제 사이의 직선길이가 400 m인 경우에, 선박길이가 200 m 라면 이에 대한 선박도메인(장축 6L, 단축 1.6L)은 방과제 끝단이 침범할 것이기 때문이다.

이와 같은 예상에도 불구하고 본 연구를 수행한 이유는, 1) 실제 환경에서 선박 도메인이 침범당하는 현상이 발생하는지를 확인하고, 2) 선박 도메인의 침범 현상을 분석하기 위한 방법을 제안하며, 3) 이에 대한 해결의 실마리를 모색하기 위한 것이다.

한편, 선박 도메인이 방과제 끝단에서 의해서 침범당하지 않기 위해서는 선박 도메인의 장축과 단축의 길이를 조정하면 될 것이다. 그러나 어떠한 기준에 의해서 장축과 단축의 길이를 조정하고, 장축과 단축의 길이의 비율은 어떻게 정할 것인가는 아직도 많은 연구에서 검토되고 있는 중이다.

이에, 물체가 선박 도메인을 침범할 수 있는 현상을 파악했고, 이러한 현상을 분석할 수 있는 방법을 제안한 본 연구는 향후 주어진 항로에 적합한 선박 도메인의 결정에 관한 연구에 한 가지 실마리로 적용될 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 부산항 입항선박들로부터 송신된 AIS 데이터를 이용하여, 방파제 사이의 직선길이가 400 m인 항로를 선박길이가 200 m에 대해서 장축을 6배와 단축을 1.6배로 정한 선박 도메인을 적용한 경우 발생 가능한 선박 도메인 침범 현상을 분석하였다. 연구결과는 다음과 같이 요약되었다.

첫째, 주어진 장축과 단축의 길이로 구축된 선박 도메인이 방파제 의해서 침범당하는 현상을 분석할 수 있는 방법을 제안하였다.

둘째, 부산항 방파제 사이와 같이 좁은 수로에서 통항하는 선박들에 대한 선박 도메인이 방파제에 의해서 침범당하는 현상을 관측할 수 있었다.

셋째, 선박 도메인은 선박의 평균 통항 위치에서 가시화되어 방파제에 의한 침범현상 관측이 가능하였다.

향후 계절, 시간, 기상, 선종, 톤수 등 다양한 조건 변화에 따른 선박 도메인들이 침범당하는 현상의 차이를 분석하여, 환경 변화가 선박 도메인에 미치는 영향에 관해서 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 논문은 2020년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 ‘자율운항선박 기술개발사업(20200615, 자율운항선박 육상제어 기술개발)’의 연구결과입니다.

References

- [1] Bole, A. G. and K. D. Jones(1981), Automatic radar plotting aids manual. Heinemann Publishing, London, UK. pp. 17-54.
- [2] Bowditch, N.(2019), Chapter 12- The sailings. In American practical navigator: an epitome of navigation, edited by Gerald J. and Clifford, Jr., National Geospatial Intelligence Agency: Springfield, Virginia, USA, pp. 193-213.
- [3] Fujii, Y. and K. Tanaka(1971), Traffic capacity. The Journal of navigation, 24(4), pp. 543-552.
- [4] Kim, D. K.(2019), Analysis of a Distributed Stochastic Search Algorithm for Ship Collision Avoidance, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 25, No. 2, pp. 169-177.
- [5] Matplotlib(2020), Matplotlib library, Online, Available at <https://www.matplotlib.org> [Accessed at 11th Sep, 2020].
- [6] NumPy(2020), NumPy library, Online, Available at <https://www.numpy.org> [Accessed at 11th Sep, 2020].

- [7] SciPy(2020), SciPy library. Online, Available at <https://www.scipy.org> [Accessed at 11th Sep, 2020].
- [8] Szlapczynski, R. and J. Szlapczynska(2017), Review of ship safety domains: Models and applications. Ocean Engineering, 145, pp. 277-289.
- [9] Yim, J. B., D. S. Kim, and D. J. Park(2018), Modeling perceived collision risk in vessel encounter situations. Ocean Engineering, 166, pp. 64-75.

Received : 2020. 09. 14.

Revised : 2020. 09. 29. (1st)

: 2020. 10. 16. (2nd)

Accepted : 2020. 10. 28.