

관제 지원을 위한 선박 교통 혼잡 예측에 관한 연구

† 오재용 · 김혜진*

*, † 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

Research on Prediction of Maritime Traffic Congestion to Support VTSO

† Jae-Yong Oh · Hye-Jin Kim*

*, † Principal Researcher, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon, Korea

요 약 : 해상교통 관제구역은 항만 시설을 사용하기 위한 입·출항 선박, 연안 해역을 이동하는 선박 등이 서로 복잡하게 운항하는 교통 패턴을 가지고 있다. 이를 안전하고 효과적으로 관리하기 위해 해상교통관제센터(VTS)에서는 선박을 실시간 모니터링하며 관제 업무를 수행하고 있지만, 교통 혼잡 상황에서는 업무 로드의 증가로 인해 관제 공백이 발생하기도 한다. 이에 교통 혼잡도 및 혼잡 구역을 예측할 수 있다면 보다 효율적인 관제가 가능하지만 현재는 관제사의 경험에 전적으로 의존하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 해상교통관제 관점에서 선박 교통 혼잡을 정의하였으며, 항적 데이터를 이용하여 교통 네트워크를 생성하고, 선박 교통 혼잡도 및 혼잡 구역을 예측하는 방법을 제안한다. 실험에서는 실해역 데이터(대산항 VTS)와 예측 결과를 비교 분석하였으며, 이를 통해 제안하는 방법이 관제 지원 도구로서 활용될 수 있는지 검토하였다.

핵심용어 : 해상 교통, 해상교통관제시스템, 교통량 예측, 선박 교통 분석, 시계열 예측

Abstract : Vessel Traffic Service (VTS) area presents a complex traffic pattern due to ships entering or leaving the port to utilize port facilities, as well as ships passing through the coastal area. To ensure safe and efficient management of maritime traffic, VTS operators continuously monitor and control vessels in real time. However, during periods of high traffic congestion, the workload of VTS operators increases, which can result in delayed or inadequate VTS services. Therefore, it would be beneficial to predict traffic congestion and congested areas to enable more efficient traffic control. Currently, such prediction relies on the experience of VTS operators. In this paper, we defined vessel traffic congestion from the perspective of a VTS operator. We proposed a method to generate traffic networks using historical navigational data and predict traffic congestion and congested areas. Experiments were performed to compare prediction results with real maritime data (Daesan port VTS) and examine whether the proposed method could support VTS operators.

Key words : maritime traffic, vessel traffic services, traffic volume prediction, traffic analysis, time-series forecasting

1. 서 론

항만은 선박의 출입, 승객의 승·하선, 화물의 하역 및 보관 처리 등을 위한 시설들이 갖추어진 곳을 의미한다. 이러한 항만은 외항선이 주로 입출항하는 무역항과 국내 운항 선박이 이용하는 연안항으로 구분되며, 국내에는 31개의 무역항과 29개의 연안항이 운영되고 있다(Ministry of Ocean and Fisheries, 2023). 이처럼 항만은 터미널, 부두, 정박지 등의 항만 시설을 사용하기 위한 선박들로 인해 매우 복잡한 교통 패턴을 가지고 있으며, 선박의 운항 밀집도 또한 높게 나타나는 것이 일반적이다. 이에 항내 선박 교통을 보다 안전하고 효율적으로 관리하기 위해 해상교통관제센터(VTS, vessel traffic services)를

설치하여 운영하고 있으며, AIS, RADAR, VHF 등을 이용하여 관제 구역에서 운항 중인 선박을 실시간 모니터링하고 있다(Korea Coast Guard, 2023). 그러나 교통량이 많아지는 혼잡시간대의 경우 관제사의 업무 로드가 증가하여 적시에 관제 정보가 제공되지 못하는 관제 공백이 생기기도 한다. 이러한 이유에서 혼잡을 예측하여 교통 상황을 통제하거나, 관제 자원을 추가로 배정하여 원활한 관제가 이루어지도록 조치하게 된다. 그러나 항내 교통 상황은 다양한 변수가 존재하기 때문에 교통 혼잡 상황을 정확하게 예측하기는 매우 어려운 일이며, 현재는 관제사의 관제 경험을 바탕으로 판단되고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 효율적인 항만 교통 관리를 위해 교통 혼잡도 및 혼잡 구역을 예측하는 방법을 제안하며, 실해역 데이터를 적용한 실험을 통해 제안된 방법이 관제 지원 도구로 활용될 수 있는지 고찰하고자 한다.

† 정회원, ojyong@kriso.re.kr 042)866-3648

* Corresponding author, 정회원, hjk@kriso.re.kr 042)866-3649

(주) 이 논문은 “빅데이터 기반 선박 교통 혼잡도 예측에 관한 연구”라는 제목으로 “2023 해양과학기술협의회 공동학술대회 논문집(부산 BEXCO, 2023.5.2-4, pp.101-103)”에 발표되었음.

2. 선행 연구 분석

공간 데이터의 분포 및 밀집도를 분석하는 방법 중 가장 기본적인 기법은 히트맵(heatmap)이다. 히트맵은 공간 데이터의 분포를 지도위에 중첩하여 표시하는 공간정보 분석 방법으로 데이터의 밀집 정도에 따라 열지도 형태로 보여주는 것이 특징이다. 이러한 히트맵 분석을 통해 대상 해역에서의 선박 밀집 영역을 거시적으로 파악할 수 있지만, 세밀한 교통 분석은 어려운 문제점이 있다(Kim et, al., 2018).

항만의 선박 교통 혼잡 분석에 관한 연구는 주로 선박 운항자의 관점에서 수행되었다. Park et, al.(2014)은 항적 데이터를 기반으로 교통량을 추정한 후, 대상 항로의 선박 수용 용량을 비교하여 최종적인 교통 혼잡도를 계산하는 방법을 제안하였으며, 이는 현재 대부분의 해상교통안전진단에 적용되고 있다. 이때, 교통량은 기본적으로 해상 상태, 해상교통관리 방식 등을 고려하여 결정하며, 안전 운항을 위한 영역을 정의하고 선박 운항자의 관점에서 이를 유지하여 운항하는 조건으로 교통량을 산출하기도 한다(Um et, al., 2012). 교통 혼잡 현황을 파악하기 위해 선박의 통항 분포 정보를 사용하기도 한다(Kim et. al., 2011). 히트맵 등으로 분석하고자 하는 해역의 선박 교통 밀집도를 파악한 후, 특정 위치에 탐색선(gateline)을 설치하여 선박의 통항 확률 분포를 추정한다. 이러한 방법은 IALA의 해상교통 안전성 평가 소프트웨어인 IWRAP에서 활용되고 있는 방법이며, 더욱 세밀하게 교통 혼잡을 분석할 수 있는 장점이 있지만, 통항 경로가 복잡한 경우 작업 시간이 많이 필요한 단점이 있다(GateHouse, 2018). 또한, 교통류 시물레이션 기법을 이용하여 교통 혼잡도를 예측하는 방법이 제안되기도 하였다(Park, 2022). 교통류 시물레이션은 선박의 출현 빈도, 선박의 제원, 운항 경로 등을 실제 운항 환경과 유사하게 설정하고 선박 교통류를 재현하는 기법이며, 시물레이션의 입력 파라미터를 조절하여 미래의 혼잡도 예측이 가능하지만, 실제계의 교통 현상을 재현하는데 한계가 존재한다.

한편, 항만 운영관리 관점에서 혼잡도를 평가하는 방법이 제안되기도 했다(Peng et. al., 2022). 화물선이 많이 통항하는 컨테이너 터미널의 혼잡도를 측정하는 방법으로 교통량과 항만 이용 시간 정보(turnaround time)를 이용하여 혼잡도를 분석하고 예측한다. 그러나 이러한 방법은 항만 시설에 대한 혼잡도를 분석하는 데는 효과적일 수 있지만, 다양한 선종이 운항하는 항만의 경우 그 특성을 모두 반영할 수 없게 된다.

이처럼 대부분의 선박 교통 혼잡도에 관한 연구들은 선박 운항자의 관점에서 교통 혼잡도를 정의하고 있다. 즉, 선박 교통량이 증가하면, 해당 해역에서의 선박 밀집도가 증가하고, 이에 따라 교통 혼잡도가 증가하게 된다. 그러나 관제구역 전체를 모니터링 해야 하는 해상교통관제의 관점에서는 교통 밀집에 따른 혼잡도뿐만 아니라, 관제 교신 횟수가 증가하는 교통 혼잡 상황에 대한 고려도 필요하다.

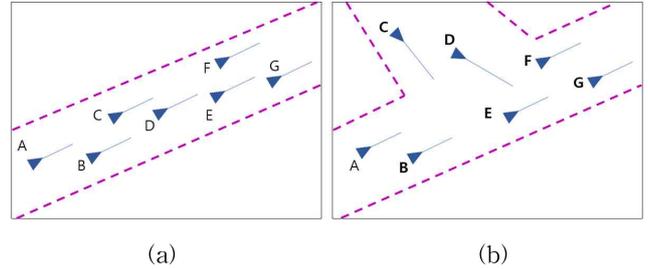


Fig. 1 Examples of maritime situation; (a) smooth traffic flow, (b) ship encounter expected

3. 선박 교통 혼잡 예측

3.1 선박 교통 혼잡 정의

해상교통관제 관점에서의 교통 혼잡 상황은 단순히 교통량이 많은 상황이 아니라 관제 개입의 여지가 많은 상황을 의미한다. Fig. 1의 (a)에서와 같이, 선박 밀집도는 높지만, 항로 내에서 선박이 원활하게 운항하는 경우 관제 개입이 필요하지 않다. 반면에 Fig. 1의 (b)는 두 개의 항로가 교차하는 지점이며, 이에 따라 선박이 조우 할 가능성이 매우 높아 관제 개입이 다수 필요한 상황이다. 이에 본 논문에서는 교통량 기반의 선박 교통 혼잡도 정의에 관제 개입의 요소를 추가하여 교통 혼잡도를 정의하였다. 혼잡 예측의 범위는 항만 시설을 포함하는 관제 구역으로 한정하고, 혼잡 예측 기간은 관제 업무에 영향을 미치는 향후 24시간 이내로 정하였으며, 시간에 따른 예측뿐만 아니라 공간적인 선박 교통 혼잡 예측을 포함하였다.

3.2 선박 교통 네트워크 모델링

해상교통관제 관점에서 선박 교통 혼잡을 예측하려면 대상 해역에서의 선박 운항 특성을 파악해야 하며, 이를 위해서는 선박의 운항 경로 정보를 추출해야 한다.

해양수산부에서는 항내를 운항하는 선박은 정해진 항로를 따라 항행하도록 규정하고 있다(Ministry of Ocean and Fisheries, 2023). 그러나 해당 규정에는 주요 항로에 대해서만 운항 방향, 운항 속도, 가항 영역 등을 지정하고 있어서 그 외의 영역에서는 선박의 운항 패턴을 예측하기 어려운 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 선박의 과거 항적 데이터를 바탕으로 선박의 주요 운항 경로 정보를 추출하였다.

선박의 운항 경로 정보는 노드와 방향성을 가지는 에지로 구성된 네트워크 그래프 형태로 나타낼 수 있으며, 출발지, 목적지, 운항 경로, 운항 빈도 등의 해상 교통 특성을 정량적으로 표현할 수 있는 특징이 있다. Fig. 2에는 대용량의 항적 데이터로부터 선박 교통 네트워크를 생성하기 위한 절차를 도식화하였다. 교통 네트워크 모델링 절차는 총 7단계로 구성되며, 각 단계별 세부 내용은 다음과 같다.

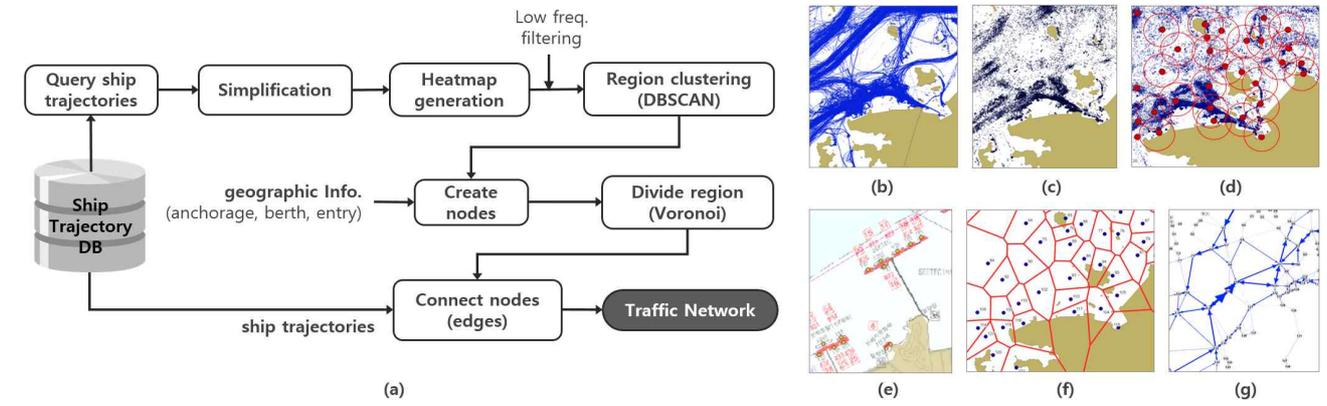


Fig. 2 Procedure of traffic network generation; (a) data processing procedure, (b) ship trajectories, (c) simplified trajectory points, (d) clustering points, (e) geographic information of harbor facilities, (f) divide region by nodes, (g) generate edges

STEP 1 항적 데이터 추출

항적 데이터는 데이터베이스에 저장되어 있으며, 탐색 영역, 시간 범위 등을 입력 조건으로 항적 데이터를 탐색한다. 교통 네트워크 생성을 위해서는 최소 6개월 이상의 항적 데이터가 필요하며, 대용량의 항적 데이터를 효과적으로 관리할 수 있는 데이터베이스 시스템이 필수적이다. 항적 데이터는 RADAR와 AIS의 통합 물표로 구성되며, 각 물표는 VTS 물표 통합 시스템에 의해 통합되어 있다. 각 데이터는 수신 시각에 따라 정렬되어 있으며, 수신 일시, 위도, 경도, 속도, 침로, 물표 ID 정보를 포함한다.

STEP 2 항적 단순화

추출된 항적 데이터는 물표 ID 별로 분류한 후, 시간 순서로 정렬하여 항적 단순화 단계를 거친다. 항적 데이터는 선박 운항 경로상의 연속된 점의 형태로 표현할 수 있으며, 선박의 운항 속도에 따라 다양한 주기로 저장된다. 이러한 항적 데이터 중 침로가 변경되는 변침점(waypoint) 정보가 중요한 의미를 가지며, 이를 통해 선박의 운항 경로 특성을 파악할 수 있게 된다. 항적 단순화 과정은 서로 다른 데이터의 시간 간격을 일반화하는 효과가 있으며, 운항 경로 특징은 최대한 유지하고 상대적으로 중요도가 낮은 포인트를 제거함으로써 데이터의 용량을 대폭 줄일 수 있다. 본 논문에서는 항적 단순화를 위해 Ramer-Douglas-Peucker(RDP) 알고리즘을 적용하였다(Ramer et al., 1972). RDP 알고리즘은 곡선 형태의 연속점을 직선 형태로 단순화하는 알고리즘이며, 이를 이용하여 연속된 항적 데이터로부터 변침점 포인트를 선별할 수 있다. 본 논문에서는 임계 거리 값($\epsilon=0.005$)을 적용하였다.

STEP 3 항적 군집화

항적 단순화 단계를 거친 대용량의 항적 데이터는 Fig. 2의 (c)와 같이 선박의 운항 경로 특성을 포함하는 변침점 포인트 집합으로 표현될 수 있으며, 이는 운항하는 선박의 주

요 변침 위치를 의미한다. 변침점 포인트의 군집화를 위해 히트맵 이미지를 생성한 후 저빈도 영역을 찾아내고 이 영역에 포함되는 포인트를 제거한다. 이를 통해 변침 영역이 불필요하게 많아지는 것을 방지하고, 데이터의 처리 속도를 향상시킬 수 있게 된다. 그 후, 필터링된 변침점 포인트들을 군집화하여 네트워크 노드의 후보군을 추출하게 되는데, 본 논문에서는 군집화를 위해 밀도 기반 군집화 알고리즘인 DBSCAN(Density-based spatial clustering of applications with noise)을 사용하였다. DBSCAN 알고리즘은 군집 그룹의 수를 정하지 않고 데이터의 밀도에 따라 군집화를 수행하기 때문에 기하학적인 모양의 군집에도 적용이 가능하다는 장점이 있으며(Ester et al., 1996), 세부 파라미터는 $\epsilon=1$, $minPts=10$ 으로 설정하였다.

STEP 4 네트워크 노드 생성

변침점 포인트의 군집화를 통해 추출된 노드 후보군과 부두, 정박지, 출입점 등 항만의 지리 정보를 추가하여 최종적으로 네트워크 노드를 생성한다. 이때 위치가 중복되는 포인트를 삭제하거나, 유사한 위치의 노드를 병합하는 등 네트워크 노드 최적화 단계를 거치게 된다.

STEP 5 영역 분할

Fig. 2의 (f)와 같이 최종적으로 생성된 노드를 기준으로 대상 해역을 분할하며, 본 논문에서는 보로노이 다이어그램(voronoi diagram)을 적용하였다. 보로노이 다이어그램은 노드 사이의 거리를 기반으로 평면을 분할하는 방법으로 교통 네트워크 노드를 기준으로 분할된 영역은 항적 데이터를 분류하는 기준이 된다.

STEP 6 네트워크 에지 생성

네트워크의 에지 정보는 이전 단계에서 분할된 네트워크 노드의 영역 정보를 이용하여 생성된다. 선박별로 구분된 항적 데이터를 시간 순서로 정렬한 후, 분할된 네트워크 노드 영역

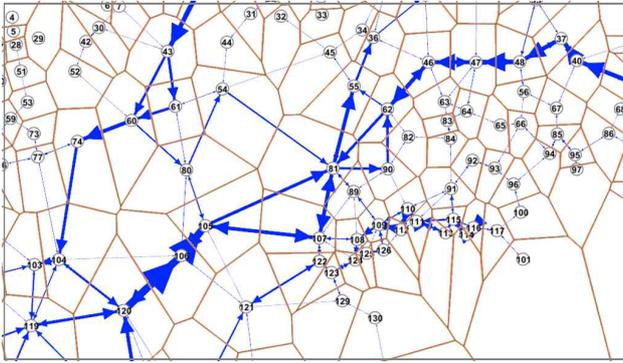


Fig. 3 Example of traffic network model

에 할당하게 되면, 노드 영역 시퀀스로 변환할 수 있다. 이렇게 변환된 노드 영역 시퀀스는 노드 영역 간 이동 정보를 포함하며, 이를 이용하여 네트워크 에지 정보를 생성할 수 있다.

STEP 1 에서 추출된 항적 데이터를 모두 영역 시퀀스로 변환한 후, 에지를 연결하고, 노드 간 이동 빈도에 따라 저빈도 에지를 제거하면 Fig. 3과 같은 교통 네트워크 모델이 완성된다. 생성된 네트워크 모델의 각 노드는 방향성을 가지는 에지로 연결된다. 각 노드에 연결된 에지의 개수는 연결도 (degree)로 표현할 수 있으며, 이러한 연결도 정보를 이용하면 각 노드 영역에서의 선박 교통 흐름의 특성(집중 혹은 분산)을 파악할 수 있게 된다.

3.3 선박 교통량 예측

선박의 교통량은 선박 교통 혼잡을 예측하는데 가장 기본이 되는 정보이다. 본 논문에서의 선박 교통량은 대상 해역을 운항하는 선박의 척 수를 의미하며, 전체 교통량과 노드 영역 교통량으로 구분된다. 노드 영역 교통량은 앞 절에서 기술한 선박 교통 네트워크 노드 영역에 포함된 선박의 척 수이며, 각 영역의 교통량을 모두 합산하면 전체 교통량과 같다. 한편, 정박 중이거나 접안된 상태의 선박은 교통의 흐름에 미치는 영향이 적기 때문에 교통량 산정에는 제외하였다.

본 논문에서의 교통량 예측 알고리즘은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 먼저, 대상 해역의 과거 교통량 데이터를 기준으로 향후 24시간에 대해 전체 교통량을 예측하며, 그 후, 예측된 전체 교통량을 영역별 교통량 비율에 따라 배분하여 노드 영역 교통량을 추정한다.

전체 교통량의 예측은 시계열 데이터 예측 알고리즘인 Prophet (Taylor, 2018)을 사용한다. Prophet 알고리즘은 주기적이지 않은 트렌드 정보와 계절, 월, 시간 등 주기적으로 나타나는 패턴 정보를 결합하여 예측을 수행하며, 정확도가 높고 처리 속도가 빠른 장점이 있다. 입력 정보는 시계열 교통량 데이터이며, 예측 요청 시간을 기준으로 향후 24시간의 예측된 교통량 데이터를 출력한다.

한편, 노드 영역의 교통량 비율은 항만의 교통 특성이 반영되어 시간대에 따라 서로 다른 특징을 가지고 있다. 본 논문에서

서는 노드 영역의 과거 교통량 비율의 시간대별 평균값을 이용하며, 이렇게 계산된 교통량 비율에 따라 전체 교통량을 배분하여 노드 영역별 교통량을 예측한다.

3.4 선박 교통 혼잡도 예측

선박 교통 네트워크 정보와 예측된 선박 교통량을 이용하여 교통 혼잡도를 예측할 수 있다. 앞서 기술한 바와 같이, 본 논문에서 정의하는 교통 혼잡은 선박 간 조우 가능성이 높아서 관제 개입이 필요한 상황을 의미하며, 교통량에 따른 혼잡도 값에 교통 네트워크 연결도 정보를 추가하여 혼잡도를 계산한다.

교통량에 따른 혼잡도는 해당 시간대의 평균 교통량을 기준으로 기본 혼잡도 값을 추정하며, 각 네트워크 에지에 대해 입력 연결도(in-degree)와 출력 연결도(out-degree) 값을 반영하여 최종 혼잡도를 계산한다. 혼잡도는 식 (1)에 따라 각 에지별로 계산되며, -1.0부터 1.0까지의 값을 가진다.

$$cgst_{rgn} = (cgst_{global} + VR_{rgn}) \times \omega I_{rgn} \times \omega O_{rgn} \quad (1)$$

$$cgst_{global} = \frac{V_{pred}}{\mu(V_{prev})}$$

V_{pred} : predicted traffic volume

$\mu(V_{prev})$: mean of previous traffic volumes

VR_{rgn} : traffic volume ratio of region

I_{rgn} : in-degree of region

O_{rgn} : out-degree of region

ω : network degree constant

3.5 선박 교통 혼잡도 가시화

예측된 혼잡도 정보는 Fig. 4와 같이 네트워크 그래프의 형태로 출력하며, 혼잡도에 따라 한산(파랑), 원활(초록), 혼잡(빨강)의 3단계로 구분하여 색상으로 표시된다. 각 에지는 노드 간 교통 흐름을 식별할 수 있도록 방향을 구분하여 표시하였으며, 화면 하단의 슬라이더를 통해 예측 시간(1시간 간격)을 조절하여 예측 혼잡도를 확인할 수 있도록 하였다.



Fig. 4 Visualization of traffic congestion prediction result

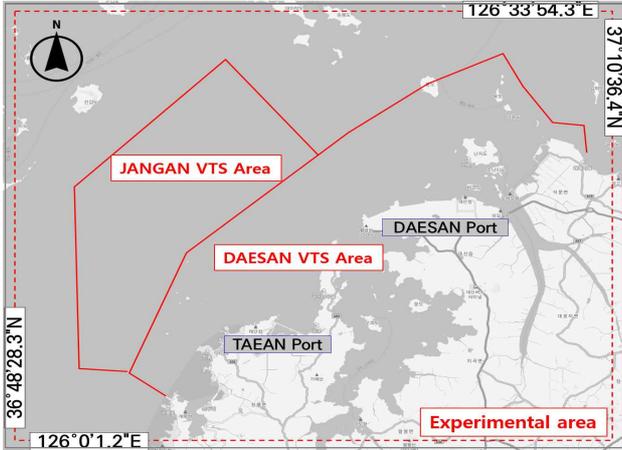


Fig. 5 Experimental area

4. 실험 및 고찰

4.1 실험 개요

본 논문에서 제안된 선박 교통 혼잡 예측 방법을 검증하기 위해 실험역 교통 데이터를 적용한 실험을 수행하고 그 결과를 분석하고자 한다.

실험 대상 항만인 대산항은 국내 주요 무역항 중 한 곳으로 주로 석유화학 기업의 항만 시설들이 설치되어 있으며, 현재는 총 31개의 선석이 운영되고 있다(2023년 기준). 또한, 대산항 근처 해역에는 인천항, 평택항, 대산항을 이용하는 선박들이 입항 대기 장소로 이용하는 ‘장안서 대기 정박지’가 있어서 다양하고 복잡한 선박 교통 흐름을 보이는 지리적 특성을 가진다. 본 논문에서는 Fig. 5와 같이 대산항 관제 구역과 장안서 관제 구역을 모두 포함하는 해역에 대해 실험을 수행하였다.

실험에 사용되는 선박 교통 데이터는 관제 빅데이터 체계(BEAD)의 API(Application Programming Interface)를 통해 추출되었다. BEAD 시스템은 AIS, RADAR, VHF 등 해상교통관제센터에서 수집되는 관제 데이터를 실시간으로 수집하고 저장, 분석할 수 있는 빅데이터 체계이다. BEAD 시스템은 현재 대산항 해상교통관제센터에 설치되어 시범 운영 중이며, API를 통해 대용량의 관제 데이터를 조회하고 추출할 수 있다. 본 실험에서 사용된 데이터는 약 6개월 동안(2022년 1월부터 2022년 6월까지) 수집된 관제 데이터이며, 항적 데이터와 교통량 데이터로 구분된다. 항적 데이터는 AIS 및 RADAR 데이터가 통합된 물표 데이터이며, 1초 주기로 생성된 데이터가 생성 시각에 따라 정렬되어 있다. 교통량 데이터에는 매 10분 간격으로 전체 교통량과 노드 영역별 교통량 데이터가 포함되어 있다. 본 실험에서 사용된 모든 데이터는 해양경찰청이 소유권을 가지고 있으며, 해상교통관제센터 내부에서만 접근이 가능하다.

한편, 추출된 항적 데이터를 이용하여 교통 네트워크를 미

리 생성하였으며, 생성된 교통 네트워크 정보를 바탕으로 교통량 및 혼잡도를 실시간 예측하였다.

실험은 2022년 6월 16일 0시를 기준으로 향후 24시간 동안의 교통량과 혼잡도를 예측한 후, 실제 교통 데이터와의 비교를 통해 예측 결과를 검증하였다.

4.2 실험 결과 분석

4.2.1 교통량 예측

예측 시작 시각(2022-06-16 00:00:00)을 기준으로 과거 3개월간의 교통량 데이터를 입력하여 향후 24시간 동안의 교통량을 예측하였으며, 실험에 사용된 Prophet 모듈의 세부 사항은 Table 1과 같다.

Table 1 Details of Prophet module

Input	previous time-series traffic data	
	from	2021-03-16 00:00
	to	2021-06-15 23:50
	interval	10 minutes
	total	13,248 rows
Parameters	changepoint_prior_scale	0.01
	seasonality_prior_scale	10 [default]
	daily_seasonality	'auto' [default]
	weekly_seasonality	'auto' [default]
	growth	'logistic'
	max limit	300
Output	predicted time-series traffic data	
	from	2021-06-16 01:00
	to	2021-06-17 00:00
	interval	1 hours
	total	24 rows

Fig. 6은 입력된 과거 교통량 데이터와 교통량 예측 결과를 나타낸다. Fig. 6의 아래쪽 그래프에 표현된 검은색 점은 실제 교통량 데이터이며, 파란색 실선이 예측된 교통량을 의미한다. 빨간색 사격형은 예측 구간(24시간)이며, 예측 결과는 1시간 간격으로 총 24개의 교통량 데이터가 생성된다.

대상 해역의 교통량은 12시에서 13시 사이에 최대가 되고, 23시에서 1시 사이에 최소가 되는 패턴을 보이며, 이러한 패턴이 일 단위로 반복되는 주기적 특성이 있다. 예측 결과에는 이러한 교통량 데이터의 주기적 특성이 잘 반영되었으며, 1월부터 점차 증가하고 있는 전역적인 경향도 포함된 것으로 보인다.

예측 오차는 약 5.0으로 실제 교통량과의 MAE(Mean Absolute Error)를 계산하여 측정하였으며, 대상 해역의 전체 교통량이 평균 100척가량임을 고려하면 예측 결과를 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 예측 기간이 길어질수록 오차가 급증하여 예측 결과에 대한 신뢰도가 낮아지게 되는데, 본 실험의 예측 기간인 24시간 동안은 예측 결과에 대한 신뢰도가 유지됨을 알 수 있다.

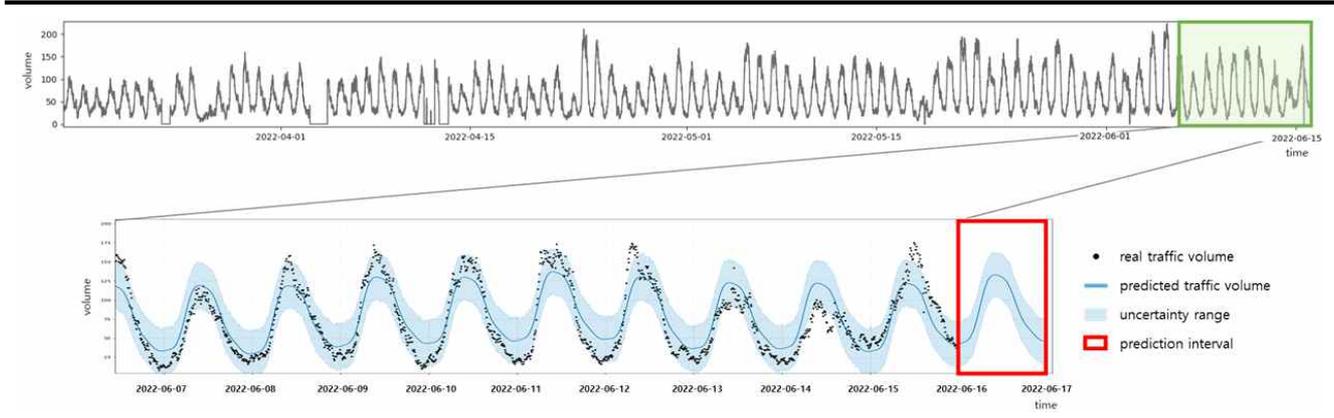


Fig. 6 Historical traffic volume data(black dots), predicted volume data(blue line) and prediction interval(24 hours, red rectangle)

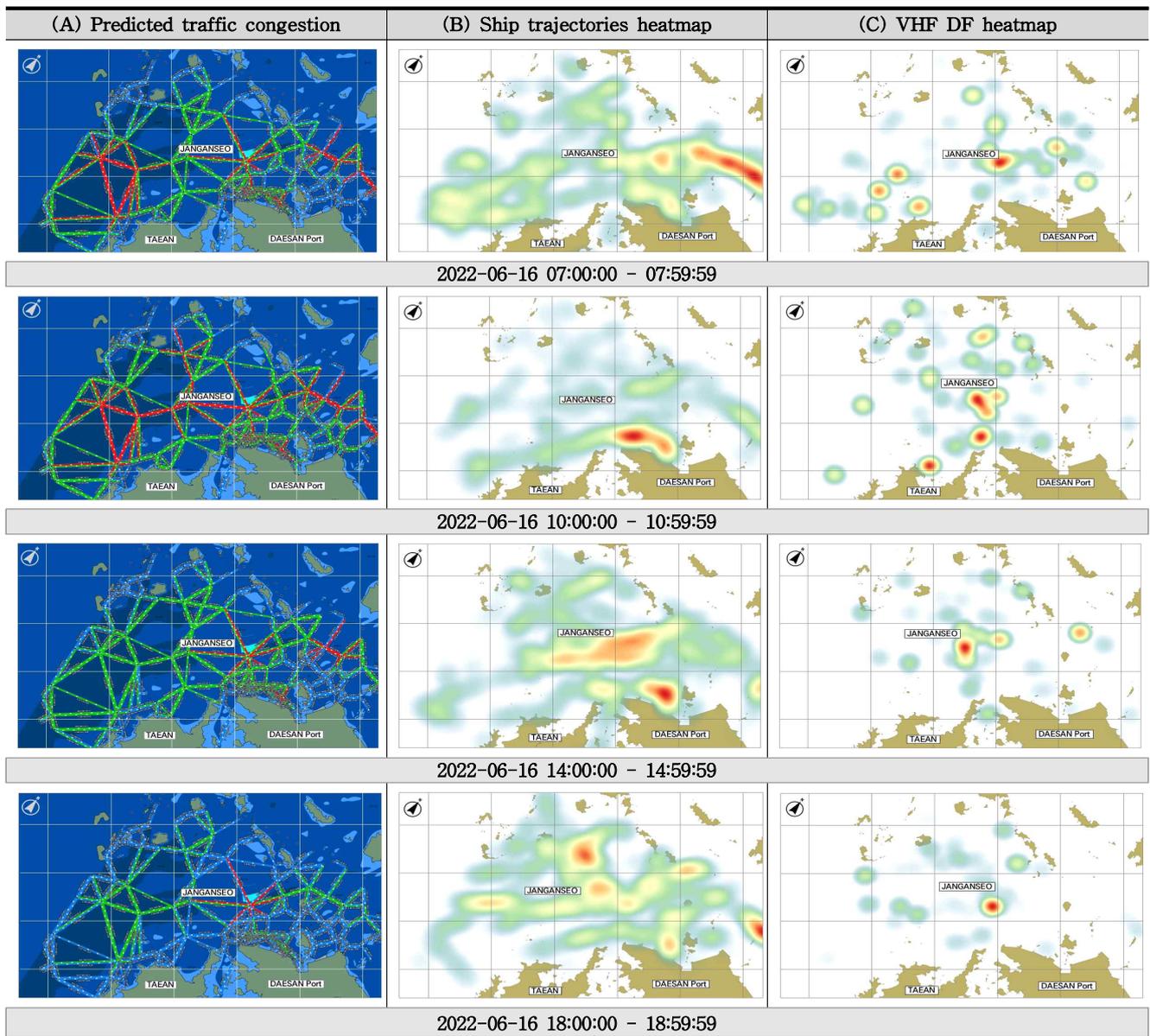


Fig. 7 Comparison of prediction result with real ship trajectories and VHF DF data at area near the DAESAN port; (A) predicted traffic congestion, (B) heatmap of ship trajectories, (C) heatmap of VHF DF(Direction Finder) data

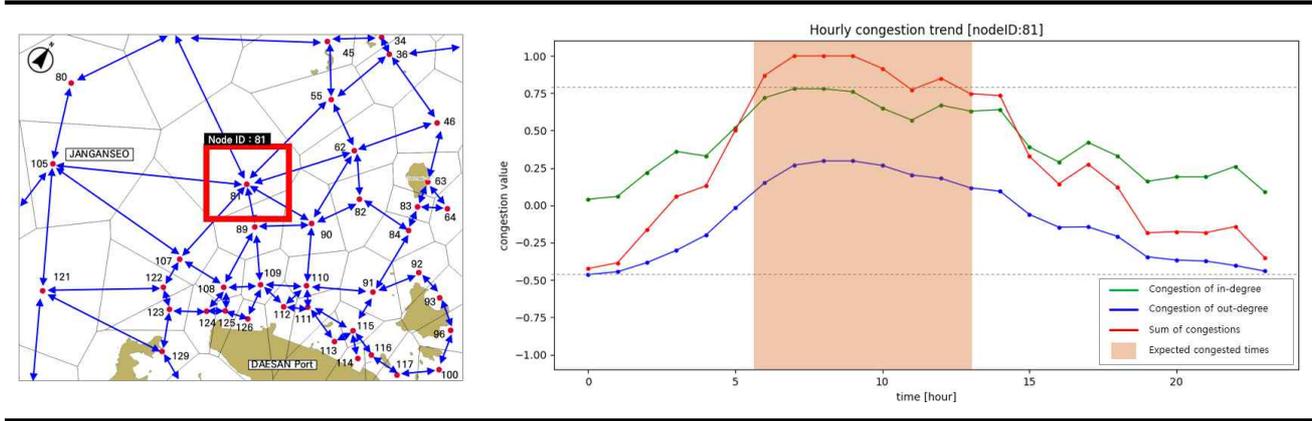


Fig. 8 Traffic network graph and hourly congestion trend graph of node No. 81

4.2.2 교통 혼잡도 예측

예측된 교통량 데이터를 바탕으로 실험 해역 전체에 대한 24 시간 동안의 혼잡도를 예측하고 그 결과를 분석하였다.

Fig. 7의 (A)열은 주요 시간대에 대한 혼잡도 예측 결과를 교통 네트워크와 함께 가시화한 결과이다. Fig. 7의 (B)열은 혼잡도와 실제 교통량과의 비교를 위해 해당 시간대의 선박 밀집도를 히트맵 형태로 표시하였다. 히트맵은 선박의 운항 속도가 1 노트 이상인 데이터를 이용하여 생성함으로써 정박 중이거나 접안 중인 선박을 제외하였으며, 히트맵 생성 반경(radius)은 3 km로 적용하였다.

한편, 교통 혼잡의 정도를 판단하는 기준이 주관적일 수 있으며 예측 결과에 개인차가 발생하는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 관제 교신이 이루어지는 위치와 빈도 정보를 이용하여 교신 밀집도를 계산하고 이를 혼잡도 예측 결과와 비교하였다. 이러한 교신 밀집도는 교통 혼잡을 정량화하는 기준으로 활용하였으며, 실제 교통 혼잡 상황과는 차이가 있을 수 있다. 관제 교신이 발생한 위치 정보는 해상교통관제센터에 설치된 VHF DF(Direction Finder) 데이터로부터 추정할 수도 있다. VHF 교신 위치 및 빈도는 Fig. 7의 (C)열과 같이 해당 시간대의 DF 데이터를 히트맵 형태로 표시하였으며, 정박 중이거나 접안 중인 선박은 제외하였고, 히트맵 생성 반경(radius)은 3 km로 적용하였다.

Fig. 7에서 예측된 혼잡도 정보는 같은 시간대의 선박 운항 밀집도와 비교할 때 전반적으로 유사한 패턴을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 7의 오전 7시에 대한 혼잡도 예측 결과를 살펴보면, 장안서 정박지를 중심으로 양쪽 영역의 혼잡도가 높게 예측되었다. 해당 시간대의 실제 교통량은 평택항으로 입출항하는 영역에 밀집되어 있어서 예측된 혼잡 영역과 다소 차이가 있지만, 실제 교신이 이루어진 영역은 예측된 혼잡도 영역과 유사한 것으로 나타났다. Fig. 7의 18시에 대한 혼잡도 예측 결과에서도 장안서 정박지 부근의 해역에 혼잡이 예상되었지만, 교통 밀집 영역과는 다른 양상을 보였으며, 교신 영역 히트맵과는 일치함을 알 수 있었다.

일반적인 경우는 교통 혼잡도가 교통 밀도와 비례하지만, 그렇지 않은 경우도 종종 발생한다. 본 실험에서와 같이 교통 밀집도가 낮지만, 관제 교신이 많이 발생하는 경우에는 혼잡한 상황으로, 교통 밀집도가 높지만, 관제 교신이 발생하지 않는 경우는 한산한 상황으로 추정할 수 있으며, 제안하는 방법의 혼잡도 예측 결과가 이를 잘 반영하고 있다고 판단된다.

4.2.3 특정 해역의 혼잡 시간대 예측

교통 네트워크의 각 에지에 대해 예측된 혼잡도 정보를 이용하면 특정 해역에 대한 혼잡 시간대를 예측할 수도 있다.

Fig. 8은 특정 해역에 대한 교통 네트워크와 혼잡도 변화 추이를 나타내는 그래프이다. Fig. 8의 왼쪽 그림에서와 같이 81번 노드는 장안서 정박지 근처의 네트워크 노드이다. 이 영역은 대기 정박지로서 주위 영역에서 진입하거나, 주위 영역으로 이동하는 교통 상황이 많이 발생하는 특징을 가지며, 실제로 입력 연결도와 출력 연결도가 모두 6인 네트워크 노드이다. 이 노드 영역에서의 혼잡도 예측 결과는 Fig. 8의 오른쪽 그래프와 같다. 초록색 선은 노드 영역으로 진입하는 혼잡도의 평균값을 의미하며, 파란색 선은 노드 영역 밖으로 진출하는 혼잡도의 평균값을 의미한다. 빨간색 선은 진입 및 진출에 대한 혼잡도를 합산한 그래프이며, 오전 9시에서 오전 10시 사이에 최대 혼잡도가 예상되고, 오전 6시부터 13시까지 혼잡 상황이 지속될 것으로 예측할 수 있다.

5. 결 론

관제 구역 전체를 모니터링 해야 하는 해상교통관제사는 선박의 교통 밀집도와 관제 개입이 필요한 상황을 모두 고려하여 교통 혼잡을 판단한다. 이에 본 논문에서는 해상교통관제사의 관점에서 선박 교통 혼잡을 정의하고, 혼잡도와 혼잡 구역을 예측하는 방법을 제안하였다. 관제 빅데이터 체계로부터 추출된 과거 항적 데이터를 이용하여 선박 교통량을 예측하고, 대상 해역에서의 선박 운항 패턴을 분석하여 선박 간 조우가 예상되는 해역을 찾아 혼잡도 평가에 반영함으로써 관제 교신 요소가 반

영된 교통 혼잡도를 예측할 수 있다.

한편, 실험역 데이터를 이용한 실험을 통해 예측된 교통 혼잡도 정보에 교통 밀집도와 관제 교신 요소가 잘 반영되었음을 확인하였다. 실험 결과, 관제 현장에서 활용이 가능한 수준의 신뢰도를 보였지만, 현장에 적용하기 위해서는 관제사가 체감하는 실질적인 교통 혼잡도와와의 차이를 줄이는 세부 조정이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 해상교통관제를 수행하는 데 있어서 선박의 종류와 크기, 선적 화물의 종류 등이 관제 집중도에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이를 추가 반영해야 더욱 정확한 교통 혼잡도를 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서 제안된 교통 혼잡도 정보를 이용하여 관제 구역에 대한 보다 체계적이고 과학적인 관리가 이루어지고, 더 나아가 관제사의 업무 로드를 줄이고 항만의 운영 효율을 향상시킬 수 있기를 기대한다.

후 기

본 논문은 해양경찰청의 “해상교통정보 빅데이터 구축 및 안전예보 시스템 기술 개발(5/5)” 과제에 의해 수행되었습니다(PMS5570).

References

- [1] Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J. and Xu, X.(1996), "A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise", In Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 226-231.
- [2] GateHouse(2018), "TWRAP Mk2 User Manual", Engberg GateHouse Logistics A/S.
- [3] Korea Coast Guard(2023), "http://www.kcg.go.kr/kgc/vts".
- [4] Kim, K. I., Park, G. K. and Jeong, J. S.(2011), "Analysis of marine accident probability in Mokpo waterways", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 9, pp. 729-733.
- [5] Kim, H. J. and Oh, J. Y.(2018). "Research on the Analysis of Maritime Traffic Pattern using Centroid Method", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 42, No. 6, pp. 453-458.
- [6] Ministry of Ocean and Fisheries(2023), "Act on the arrival and departure of ships"
- [7] Park, Y. S. and Jeong, J. Y.(2014), "A Study on the Marine Traffic Congestion by Analysis of Ship's Domain", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 20, No. 5, pp. 535-542.
- [8] Park, S. W., Kim, C. H. and Park, Y. S.(2022). "A Basic Study on Intersection Congestion Using Simulation: Focusing on the Crossing Vessels in Busan New Port Caution Area", Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 40, No. 3, pp. 319-334.
- [9] Peng, Wen Hao, Bai, Xiwen, Yang, Dong, Yuen, Kum Fai, Wu, Junfeng(2022), "A deep learning approach for port congestion estimation and prediction", Maritime Policy & Management. pp. 1-26.
- [10] Ramer Urs(1972), "An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves", Computer Graphics and Image Processing, Vol. 1, No. 3, pp. 244-256.
- [11] Taylor, S. J. and Letham, B.(2018). Forecasting at scale. The American Statistician, 72(1), 37-45.
- [12] Um, H. C., Jang, W. J., Cho, K. M. and Cho, I. S.(2012), "A Study on the Assessment of the Marine Traffic Congestion and the Improvement of a Technical Standards", Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 5, pp. 416-422.

Received 22 June 2023

Revised 03 July 2023

Accepted 16 August 2023