해상교통류 평가모델 개발에 관한 연구

A Study on Development of Maritime Traffic Assessment Model

김광일* · 정중식** · 박계각**

Kwang-Il Kim, Jung Sik Jeong* and Gyei-Kark Park

*목포해양대학교 해운운송시스템학부, **목포해양대학교 국제수송과학부

† Mokpo National Maritime University

요 약

선박교통류 평가는 대상해역 해상교통특성 파악을 통하여 정량화된 체계화된 교통관리를 수행함으로써 해양사고를 예방하는데 중요하다. 해상교통류의 특성은 선박자동식별장치(AIS, Automatic Identification System)가 선박에 설치됨에 따라 이 장치에서 수신된 정보를 토대로 평가할 수 있다. 본 연구에서는 해상교통관제센터(VTS, Vessel Traffic Services)에서 선박으로부터 수집된 위치, 속도, 침로, 시간 정보로부터 항로상에 해상교통류를 평가하기 위한 시뮬레이터를 구현하였다. 그 결과 해상교통관제센터에서 수집된 데이터로부터 선박 통항량, 통항분포, 선박속력분포, 기하학적 충돌빈도가 계산되어 표시된다. 이러한 해상교통류평가 평가는 해상교통관제사가 해상교통관리의 관점에서 해상안전을 위한 서비스를 제공하는데 유효하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 해상교통류, 선박통항량, 통항분포, 기하학적 충돌빈도, 해상교통관제센터

Abstract

Maritime traffic assessment is important to understand the characteristics of maritime traffic and to prevent maritime accidents. The maritime traffic assessment can be calculated from the ship trajectory data observed by using AIS(Automatic Identification System). This paper develops a maritime traffic assessment tool using ship's position and speed, course, time data from ships navigating waterways. The results are represented in terms of the number of traffic quantity and traffic distribution, speed distribution, geometric collision candidates. The developed tool will contribute to advance maritime traffic safety by VTS(Vessel Traffic Services).

Key Words : Marine Traffic Flow, Ship Traffic, Traffic Distribution, Geometric Collision Candidates, VTS

1. 서 론

해상 물동량 증가로 인한 선박량 증가와 고유가 시대에 대응하기 위한 항행거리 단축으로 연안해역 해상교통밀도는 점차 증가되고 있다.

해상교통안전관리를 위한 실 해역 해상교통류의 분석은 대상해역의 특성 및 해상교통지수 평가를 위해 중요하다. 현재 우리나라에서 운용 중인 연안선박 모니터링

시스템(VMS, Vessel Monitoring System)은 선박자동식별장치(AIS, Automatic Identification System)를 탑재한 개별선박의 정적정보 및 동적정보를 보여 주어 대상선박의 항적을 실시간으로 추적하고 모니터링을 할 수 있다[1]. 그러나 해상교통을 관리하는 해상교통관제센터(VTS, Vessel Traffic Services)의 관점에서는 관제대상 해역에 대한 해상교통흐름에 대한 보다 정확한 특성 파악이 중요하다[2].

해상교통류의 특성을 이해하기 위해서 대상해역의 공간적인 통항분포, 통항선박의 크기분포, 속력의 분포 및 항로상의 항행선박의 조우관계에 따른 교차각과 같은 객관적이고 정량화된 지수가 결정되어야 한다[3,4]. 기존의 연구[5,6]에서는 수로 및 해역의 위험성 평가를 위한 국제항로표지협회(IALA, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)에서 권고하는 평가모델을 기초로 한 평가도구를 사용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 횡단상황에 대한 충돌위험도를 표시하였다. 그러나 충돌의 위험성은 항해자의 행동과 항해당시의 다양한 내적·외적요인에 의존하기 때문에 정량적인 수치로 표현하는 것은 해상교통관제사의 관점에서 의사결정에 직접 활용하기 위하여 보다 심도 깊은 검토가 필요하다[7].

접수일자: 2012년 10월 12일

심사(수정)일자: 2012년 10월 19일

게재확정일자 : 2012년 11월 30일

† Corresponding author

본 논문은 본 학회 2012년도 추계학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

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.

본 연구에서는 AIS 통신망으로부터 수집된 데이터를 활용하여 관제대상 해역의 공간적인 선박통행분포, 통행량, 속력의 분포를 계산한 후 이를 토대로 수로 및 해역의 위험성 평가를 위하여 사용되는 정량적이고 객관적이 기하학적인 충돌확률을 실시간으로 제시하는 시뮬레이터를 구현하였다.

2. 해상교통류 평가 지수

해상교통류 평가를 위한 기초적인 평가지수는 선박 통행량, 항로 중심선상으로부터 이격거리를 나타낸 통행분포, 및 속력의 분포가 있다. 이러한 기초적인 평가지수를 바탕으로 해역의 정량적인 위험도를 평가하기 위한 기하학적 충돌빈도가 산출된다[3, 4].

2.1 선박 통행량 및 통행선박의 분포

선박 통행량은 대상 해역을 통행하는 선박의 척수를 나타낸다. 이러한 통행데이터를 바탕으로 대상해역 또는 수로에서 선박의 공간적인 통행분포 및 시간대별 항로가동률의 산출이 가능하다[8].

2.2 선박 속력 분포

대상해역 통과선박의 선박속력 분포는 관측기간이 주어졌을 때 관심의 해역의 관측선을 통과하는 선박들의 속력을 측정함으로써 표시할 수 있다. 계산된 속력분포 기하학적으로 주어지는 충돌확률의 계산 및 항계 내 속력제한을 위한 안전속력의 결정에 활용할 수 있다[3].

2.3 기하학적 충돌빈도

기하학적 충돌빈도(Geometric Collision Candidates), 는 통행량, 선속, 선박길이, 통행분포 등 통계적인 데이터를 바탕으로 산출이 된다. 산출된 기하학적 충돌빈도는 충돌회피를 실패할 확률, 즉 인과확률(Causation Factor)와의 곱으로 대상해역 충돌위험도를 계산할 수 있다. 문헌[7]에서는 베이지안 방법을 이용하여 인과확률을 계산함으로써 충돌위험도를 산출하고 있다. 그러나 인과확률은 선박운항자의 행동, 항해선박의 내적·외적 조건에 따라 선박의 움직임이 결정되는 불확실성이 높기 때문에 인과확률에 의하여 최종적으로 계산된 정량적인 충돌위험도를 해상교통관제에 직접활용하는 것은 추가적인 연구가 필요하다.

따라서 충돌위험도를 직접사용하기 보다는 실시간으로 수집되는 교통관측 데이터로부터 기하학적 충돌 위험도에 의하여 해상교통류의 흐름상태를 이해하는 것이 보다 현실적이다. 기하학적인 충돌빈도는 선박의 조우관계에 따라 마주치는 상태(Head-on), 횡단 상태(Crossing), 추월상태(Overtaking)에 대하여 계산할 수 있다.

1) 횡단상태

그림 1은 선박들의 통행분포가 횡단(Crossing) 상태로 나타나는 구간을 나타내고 있다. 횡단 상태에서의 기하학적 충돌빈도, N_G 는 선종이 i 인 항로 1의 선박과 선종이 j 인 항로 2의 선박들이 θ 의 교차각으로 횡단을 이룰 때, 다음 식 (1)에 의해서 계산된다[3, 4].

$$N_G = \sum_{i,j} \frac{Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \quad (1)$$

Q_i : i 항로에서 선박통행량

V_{ij} : 상대속력

D_{ij} : 선박의 기하학적인 충돌반경.

그림 1. 횡단상태로 조우되는 상황

Fig. 1. Crossing Collision Situation

V_{ij} 는 항로 1에서의 통행선과 항로 2 통행선들간의 상대속력이며, 식 (2)와 같다.

$$V_{ij} = \sqrt{(V_i^{(1)})^2 + (V_j^{(2)})^2 - 2V_i^{(1)} V_j^{(2)} \cos \theta}. \quad (2)$$

그림 2 및 그림 3는 횡단관계에서 선박들간 기하학적인 충돌 반경(D_{ij} , Collision diameter)의 정의 및 계산이다.

그림 2. 기하학적인 충돌 반경(D_{ij})

Fig. 2. Collision diameter(D_{ij})

D_{ij} 는 선박이 충돌시 이루어지는 반경이다. 그림 2와 같이 선박을 직사각형으로 가정을 하여 식 (3)에 의해서 계산한다[3].

$$D_{ij} = \frac{L_i^{(1)} V_j^{(2)} + L_j^{(2)} V_i^{(1)}}{V_{ij}} \sin \theta + B_j^{(2)} \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_i^{(1)}}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$+ B_i^{(1)} \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_j^{(2)}}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$L_i^{(1)}$: 항로 1 구간에서 선종 i 선박길이 평균
 $L_j^{(2)}$: 항로 2 구간에서 선종 j 선박길이 평균
 B_i : 선종 i 선박 폭
 B_j : 선종 j 선박 폭
 θ : 양 항로간의 교차각

그림 3. 기하학적 충돌반경(D_{ij}) 계산

Fig. 3. Calculation of collision diameter(D_{ij})

2) 마주치는 상태 및 추월상태

그림 4. 정면으로 조우되는 상황

Fig. 4. Head-on Collision Situation

그림 4는 항로상에서 서로 마주보며 항해하는 상황을 나타낸다. 이 경우의 N_G 값은 다음 식(4)에 의해 산출된다[3, 4].

$$N_G = Lw \sum_{i,j}^K P_{G_{i,j}}^{head-on} \frac{V_{ij}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} (Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}) \quad (4)$$

L_w : 항로폭

V_{ij} : 상대 속력($V_{ij} = V_i^{(1)} + V_j^{(2)}$)

$V_i^{(1)}$: i 선종 선박들이 항로1 (Route 1)에서 통항하는 선박의 평균속력

$V_j^{(2)}$: j 선종 선박들이 항로2 (Route 2)에서 통항하는 선박의 평균속력

$Q_i^{(1)}$: 항로 1 구간에서 선종 i 선박 통항량

$Q_j^{(2)}$: 항로 2 구간에서 선종 j 선박 통항량.

P_G 는 선박의 통항 분포데이터와 선폭으로 다음 식(5)에 의해 계산된다[4].

$$P_{G_{i,j}}^{head-on} = \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\delta_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\delta_{ij}}\right) \quad (5)$$

$\Phi(x)$: 표준정규분포함수

μ_i : 통항하는 분포의 평균치($\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$)

σ_i : 표준 편차 ($\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_i + \sigma_j}$)

B_i : 선박 폭의 평균값. ($B_{ij} = \frac{B_i + B_j}{2}$).

추월(Overtaking)의 경우 양 선박 교통류가 같은방향으로 통항하므로, 상대속력(V_{ij})은 $V_{ij} = V_i^{(1)} - V_j^{(2)}$ 을 적용하며, 선박 통항분포 평균치(μ_{ij})는 $\mu_{ij} = \mu_i - \mu_j$ 가 된다.

3. 해상교통류 평가 알고리즘 구현

완도해상교통관제센터에서 수집된 선박 GPS위치, 속력, 침로정보, 시간 등을 포함한 AIS 데이터를 이용하여 그림 5과 같이 해상교통류 평가 모델개발을 위한 알고리즘을 구현하였다.

3.1 알고리즘 개요

원본 데이터는 선박에서 실시간으로 항적데이터를 전송하므로, 선명, 위도, 경도, 선속, 침로 등이 시간순으로 저장되어 있다.

단계 1: 해당 위도 및 경도를 입력하여 대상해역을 분류 → 불필요한 해역데이터 제거

단계 2: 시간순으로 정렬된 데이터를 선박기준으로 시간순 정렬 → 한 선박기준(MMSI: 선박 고유식별번호)으로 위치변화, 속력 및 침로변화, 시간 변화 분석 용이

단계 3: 선박 통항 분포 계산 → 통항분포 분석그래프 및 항로별 통항량 산출

단계 4: 기하학적인 선박 충돌 빈도 산출 → 산출된 선박 통항데이터를 토대로 기하학적인 선박 충돌

돌빈도 산출

그림 5. 해상교통류 평가 모델계산을 위한 플로우차트
Fig. 5. Flow Diagram for Maritime Traffic Assessment

3.2 항로상 선박 통행분포 산출

항로상 선박 통행분포 산출은 그림 6 와 같이 적용하였다. 각 선박의 통행분포는 각각의 본선 위치에 대한 항로중심선까지 거리를 산출한 후 각 선박에 대한 이격거리 평균값을 적용하여 항로중심선상에서 평균적인 이격거리를 산출하였다.

그림 6. 항로상 선박 통행분포 산출 개요

Fig. 6. Calculate Traffic Distribution on the Route
4. 분석대상해역

4.1 대상해역 특성

분석대상인 완도해상교통관제구역은 다도해 지역을 항해하는 여객선과 중소형 연안화물선 및 연안예부선이 대상해역을 통과하여 항행을 하고 있다. 이 해역은 항로 중앙에 부이가 설치되어 우측항행을 하는 통항분리항로(TSS)가 시행 중이다.

또한 주변에 많은 섬으로 인해 항로가 협소하며, 강조류의 영향이 크다. 특히 완도항 입구 부근 교차해역은 남북 통항류와 동서 통항류가 교차되는 지역으로 해양사고가 빈번한 구역이다. 그림 7은 완도해역 분석대상 해역 및 선박항적분포이다.

그림 7. 분석 대상 해역
Fig. 7. Target area

4.2 연간 선박 통항량

대상 해역의 통항 데이터는 여객선, 화물선, 예부선, 잠종선으로 분류하였다. 해당 선박의 속력, 길이는 각 선종별 평균 값이며, 예부선의 경우 부선을 끌고 가기 때문에 부선 길이와 예인줄의 길이를 감안한 150m를 적용하였다. 표 1은 완도해역 통항 선박 데이터를 나타낸 표이다.

표 1. 완도해역 통항 선박 데이터
Table 1. Vessel traffic data of WANDO waterway

	통항량 (년간 통항량)	속력 (Knot)	길이 (m)
여객선	27,740	10~12	50~75
화물선	17,503	10~12	75~100
예부선	16,000	5~7	150~200
잠종선	35,000	9~12	0~25

5. 분석결과

2012년4월6일 1일(00시~24시)동안 대상해역 VTS 선박항적데이터를 3장에서 구현한 해상교통류 평가 모델 알고리즘에 적용하였다.

그림 8은 분석대상해역 항로 및 선박 GPS 항적분포를 나타내었다.

그림 8. 분석 대상 항로 및 항적분포
Fig. 8. Target area and Ship Trajectory

5.1 대상해역 선박통항분포 및 통항량

남북항로 선박통항분포는 그림 9 와 같이 나타났다. 분석기간 중 완도항 입항선박(S→N) 85척, 출항선박(N→S) 83척 입출항 하였다. 남북항로는 선박 통항분리(TSS)가 시행중이지만, 대부분 선박들이 목적지와 가까운 방향으로 향하는 관습적 항해가 이루어지고 있다.

그림 9. 남북항로 통항분포
Fig. 9. Traffic Distribution of N-S Fairway

동서항로 선박통항분포는 그림 10과 같다. 분석기간 중 서진선박(E→W) 85척, 동진선박(W→E) 71척 통항하였으며, 남북항로보다 선박통항분리(TSS)가 잘 지켜지고 있다. 동진항로는 약 35% 통항류가 항로 역행을 하였으며, 서진항로는 약 18% 통항류가 항로 역행을 하였다.

그림 10. 동서항로 통항분포
Fig. 10. Traffic Distribution of E-W Fairway

5.2 통항선박 속력 분석

남북항로 선박속력분포는 그림 11 와 같이 나타났다. 분석기간 중 완도항 입항선박(S→N)속력 평균은 11.86 노트, 표준편차는 6.7노트이며, 출항선박(N→S) 속력 평균은 10.7노트, 표준편차는 5.32노트이다.

그림 11. 남북항로 속력분포
Fig. 11. Speed Distribution of N-S Fairway

동서항로 선박속력분포는 그림 12와 같이 나타났다. 분석기간 중 서진선박(E→W)속력 평균은 7.93노트, 표준편차는 3.38노트이며, 출항선박(W→E) 속력 평균은 7.57노트, 표준편차는 3.13노트이다.

그림 12. 동서항로 속력분포
Fig. 12. Speed Distribution of E-W Fairway

5.3 기하학적 충돌빈도 산출

알고리즘 산출 결과에 의한 관측기간동안 대상해역 통항량 및 기하학적 충돌빈도는 동서항로는 168척, 남북항로는 156척으로 나타났으며, 선종별 통항량은 표 1과 같다. 대상선박 선종은 화물선, 여객선, 예부선, 잠종선으로 분류하였다.

표 2. 선박 통항량 분석 결과

Table 2. Results of the number of Ship Traffic

항로	선종	통항량
East-West	화물선	41
	예부선	36
	잠종선	91
North-South	화물선	18
	여객선	41
	잠종선	97

대상해역 통항량과 선박통항분포 데이터를 토대로 표 3와 같이 기하학적인 선박충돌빈도를 산출하였으며, 산출 결과 Crossing상황에서 기하학적 충돌빈도가 가장 높게 산출되었다.

표 3. 기하학적 충돌빈도 산출결과

Table 3. Results of Geometric Collision Candidates

Collision Situation	기하학적 충돌빈도 (Geometric Collision Candidates)
Overtaking	5.7
Head-on	3.2
Crossing	13.3

6. 결 론

해상교통류 평가모델은 분석대상해역의 특성 및 정량적인 해상교통지수 평가를 위해 중요하다. 본 연구에서는 VMS의 AIS 통신망을 통하여 실시간 관측된 AIS 데이터로부터 해상교통특성을 나타내는 선박통항량 및 통항분포, 속력분포를 계산한 후, 충돌위험성 평가를 위한 기하학적 충돌빈도를 선박의 조우관계별로 계산하는 시뮬레이터를 개발하였다.

본 연구는 VTS에서 해상교통관제사가 해상교통의 특성을 정확하게 파악하여 선박의 속력제한, 통항로 및 통항용량 관리와 같은 보다 효과적이고 체계화된 교통관제서비스를 제공하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 그러나 실시간 교통상황을 정확하고 현실성있게 반영할 수 있는 정량적인 충돌위험도의 계산은 향후 과제다 남는다.

References

- [1] <http://www.gicoms.go.kr>
- [2] Fujii Yahei, Hiroyuki Yamanouchi, Takayuki Matui, "Survey on Vessel Traffic Management Systems and Brief Introduction to Marine Traffic Studies," *Electronic Navigation Research Institute Papers*, no. 45, pp. 39-41, 1984.
- [3] Peter Friis-Hansen, "Basic Modelling Principles for Predication of Collision and Grounding Frequencies," *IWRAP Mk II, Rev.4*, pp. 1-59, 2008.
- [4] IALA-AISM, *IALA Risk Management Tool for Port Restricted Waterways Ed.2*, IALA Recommendation O-134, pp. 1-22, May 2009.
- [5] Jung Sik Jeong, Kwang Il Kim, Gyei-Kark Park, "A Quantitative Collision Probability Analysis in Port Waterway," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 3, pp. 373-378, June 2012.
- [6] Kwang Il Kim, Jung Sik Jeong, Gyei-Kark Park, "Analysis of Maritime Accident Probability, in Mokpo Waterways," *Journal of Navigation and Port Research*, vol. 35, no. 9, pp. 1-6, 2011.
- [7] P. Trucco, E.Cagno, F.Ruggeri, O.Grande, "A Bayesian Belief Network Modelling of Organisational Factors in Risk Analysis: A Case Study in Maritime Transportation," *Reliability Engineering System and Safety*, no. 93, pp. 823-834, 2008.
- [8] In-Yong Gong, Chan-Su Yang, "A Review on the Estimation of Traffic Capacity and Operating Rate of a Fairway," *Journal of Navigation and Port Research*, vol. 29, no. 1, pp. 231-235, 2005.

저 자 소 개

정중식(Jung Sik Jeong)

1987년 : 한국해양대학교 항해학과 졸업 (공학사).

1993년 : 동대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

2001년 : 일본동경공업대학 대학원
이공학연구과전기전자 전공
(공학박사)

2002년 ~ 현재 : 목포해양대학교 교수

관심분야 : 해양정보통신망, 해양안전시스템, 해상교통시스템, 선박충돌회피, 통계적 파라미터 추정

Phone : +82-61-240-7173

E-mail : jsjeong@mmu.ac.kr

김광일(Kwang-il Kim)
2005년 : 목포해양대학교 해상운송시스템학과 학사 졸업
2012년 : 동대학교 대학원 해상운송시스템학부 졸업(공학석사)
2012년 8월~현재 : 동대학교 대학원 해상운송시스템학부 박사과정

2010년 1월~현재 : 국토해양부 목포지방해양항만청
해상교통관제사

관심분야 : 선박충돌확률, 해상위험성평가, 해상교통시스템,
해상통신, VTS

Phone : +82-10-2799-9561

E-mail : setis0420@korea.kr

박계각(Gyei-Kark Park)
1982년 : 한국해양대학교 항해학과 졸업
(공학사)
1986년 : 동 대학원 수송공학과 졸업
(공학석사)
1993년 : 일본동경공업대학 시스템학과
(공학박사)

2010년 : 전남대학교 무역학과 경영학 박사 졸업

1995년~현재 : 목포해양대학교 교수

1995년~현재 : 한국지능시스템학회 이사, 부회장

2008년~현재 : 한국항만경제학회 이사

2009년~현재 : 한국해운물류학회 상임이사

관심분야 : 지능형 물류관리, 의사결정론

Phone : +82-61-240-7164

E-mail : gkpark@mmu.ac.kr