

선박위치 클러스터링을 활용한 해상교통 근접사고 산출에 관한 연구

A Study on Near-miss Incidents from Maritime Traffic Flow by Clustering Vessel Positions

김광일* · 정중식**† · 박계각**

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

*목포해양대학교 해상운송시스템학과, **목포해양대학교 국제수송과학부

*Department of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University

**† Department of International Maritime Transportation Science, Mokpo National Maritime University

요 약

해상교통환경에서 선박간 근접사고(Near-miss)는 양 선박이 충돌 위험코스로 서로 근접하여 충돌에 임박한 상황으로 실제 충돌은 발생되지 않은 사고를 말한다. 본 연구에서는 통항 선박들간 근접사고 산출을 위해 선박 범퍼 영역모델을 활용한 근접사고 판별식과 선박 위치 클러스터링을 통해 해역의 근접사고 산출 모듈을 제안하고자 한다. 제안된 근접사고 산출 모듈을 완도해역 통항선박 항적데이터에 적용하여 선종, 항행속력 및 조우방향 등 선박 항해 위험 요인을 평가하고자 한다.

키워드 : 해상교통 근접사고, 선박 범퍼 영역, 선박위치 클러스터링, 근접화, 선박자동식별장치

Abstract

In the maritime traffic environment, the near-miss between vessels is the situation approaching on collision course but collision accident is not occurred. In this study, in order to calculate the near-miss between navigating vessels, the discriminating equation using ship bumper theory and vessel position clustering methods are proposed. Applying proposed module to the vessel trajectories of the WANDO waterway, we assessment navigational risk factors of vessel type, navigational speed, meeting situation.

Key Words : Near-miss in Maritime Traffic, Ship Bumper Dimension, Clustering Vessel Position, Clustering, Automatic Identification System.

1. 서 론

해역의 위험도 평가 자료는 해역을 관리하는 당국이나 해역을 진출입하는 선박에서 해상교통 사고예방에 중요한 참고자료가 된다. 특히, 선박 자동식별장치(Automatic Identification System, AIS) 도입으로 선박 항적자료의 취득

및 분석이 용이해져, 안전정보 제공이나 해상교통 근접사고 분석 등 활용방안이 다각적으로 검토되고 있다.

해상교통 근접사고는 양 선박이 서로 접근하여 충돌위험이 있는 상황에서 충돌은 발생하지 않았으나 근접하여 통과한 경우나 급격한 변침 및 속력감속 등의 충돌 회피동작을 취하여 충돌사고가 발생하지 않는 경우를 말한다. 특히 해상에서 선박은 정해진 항법 및 항로를 따라 항해를 하지만, 최단거리 항해, 항해당직 소홀 등의 이유로 정상적인 항로에서 이탈하여 근접사고 상황이 발생된다. 또한 항로의 교차구역이나 항로상 추월하는 선박에 의해 근접사고가 발생된다. 문헌 [1]의 연구결과에 따르면, 해상교통 근접사고는 주로 선박의 통항이 많은 항로나 교차점 부근에서 발생빈도가 많다.

근접사고(Near-miss)에 관한 문헌 [2] 와 문헌 [3]에 따르면, 다수의 근접사고는 하나의 경미한 준사고(Minor Incident)를 발생시키며, 다수의 경미한 사고는 하나의 대형사고(Major Incident)가 발생된다. 그림 1은 문헌 [3]의 하인리히 법칙을 나타낸다. 해상교통환경에서도 통항량이

접수일자: 2014년 9월 14일

심사(수정)일자: 2014년 9월 28일

게재확정일자: 2014년 12월 11일

† Corresponding author

본 논문은 2014년 한국선박안전기술공단의 지원을 받아 수행된 “e-Navigation 적용 신개념 중소형 선박 모델개발”에서 지원하여 연구하였음.

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.

밀집된 항로 및 교차점에서 항로 진행방향 및 제한된 항로 폭 등에 의해 선박간 근접통향이 빈번하게 발생되며, 이러한 혼잡해역에서 충돌 빈도가 높다. 그러므로 해상에서 관심해역의 위험도 평가는 해양사고 통계를 이용하기 보다는 해양사고를 일으킬 수 있는 준사고(Incident) 데이터에 기초를 두고 분석하는 것이 합리적이다[4].

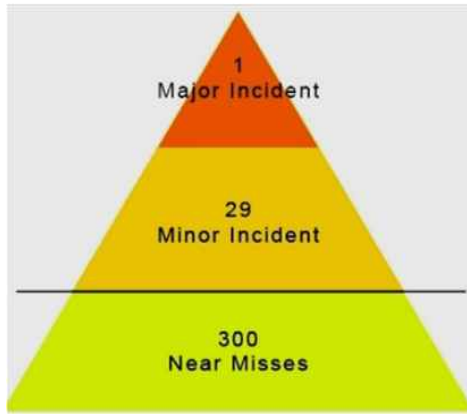


그림 1. 하인리히 법칙
Fig. 1. The Heinrich's law

근접사고 보고에 대해 IMO(International Maritime Organization)에서는 세부지침을 마련하여 각 선박회사에서 보고하도록 권고하고 있다[5]. 하지만, 선박에서는 보고로 인한 책임, 업무 과부하 등으로 인해 근접사고 보고에 소극적이다[6]. 그러므로 해상교통에 관한 근접사고 분석은 육상에서 항적자료를 활용한 체계적인 근접사고 통계 분석으로 접근이 필요하다.

관련 선행연구로 문헌[7]에서는 근접사고 정의, 산출 기법 및 선박간 조우 관계에 따른 근접사고에 대해 연구하였다. 선행연구는 근접사고 평가 기준에 대해 선박의 크기 및 속력에 대한 고려가 없었으며, 다수의 선박데이터를 처리함에 있어서 비효율적이었다.

이에 본 연구는 선박 범퍼영역을 활용한 근접사고 판별 기준 설정과 선박위치 클러스터링을 활용하여 해역의 근접사고 산출 모듈을 제안하고, 실해역인 완도해역에 적용하여 근접사고 통계 분석을 수행하였다.

2. 선박 타원반경에 의한 근접사고 판별

본 연구에서 근접사고 판별은 선박의 선회반경을 기준으로 설정된 타원반경 내 상대선의 존재유무를 판별하여 결정된다.

2.1 근접사고 판별기준

항해중인 선박은 타 선박, 위험물 등으로부터 일정한 이격거리를 유지하려고 노력한다. 이 이격거리는 선박의 조종 성능인과 선박크기에 의해 영향을 많이 받으며, 실제 선박에서 충돌회피를 하기 위한 최소한의 거리이다. 이와 관련된 선행연구인 문헌 [8]에서는 최소한의 피항 영역인 Vessel Domain을 일반적인 항행속도에서는 선수방향으로 8L, 횡방향으로 3.2L을 설정하였으며, 저속 항행시(4노트 이하)는 선수방향으로 6L, 횡방향으로 1.6L을 타원형태로 정의하였다 (L : 선박길이).

본 연구에서 근접사고 판별은 선박 속력과 선박길이에 따른 장반경 및 단반경에 의한 타원영역을 설정하여 타원영역내 상대선의 존재 여부를 판별하였다. 그림 2는 선박 속력에 따른 선박 타원 영역을 나타낸다.

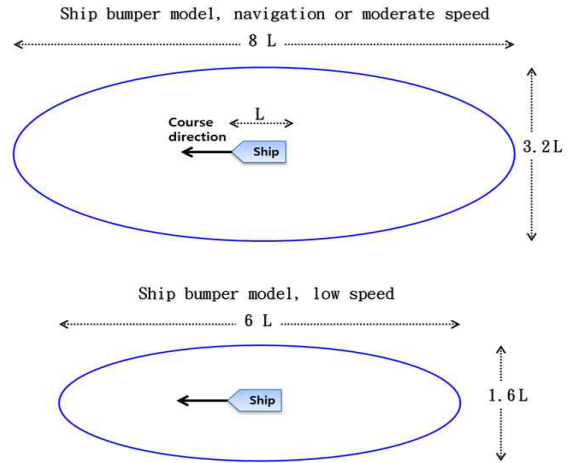


그림 2. 선박 범퍼 모델
Fig. 2. Ship Bumper Model

2.2 선박 충돌반경에 의한 근접사고 판별식

선박 속력에 따라 결정된 타원 영역 내 상대선의 존재 여부는 다음 그림 및 식에 의해 판별된다.

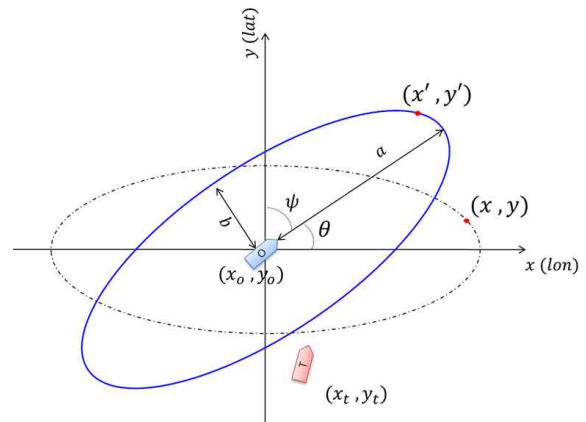


그림 3. 선박 타원영역 회전

Fig. 3. The Rotation of the Ship Ellipse Dimension

그림 3에서 본선의 위치 (x_o, y_o) 에서 x 축과 평행이고, 선박길이가 L_o 이며, 장반경 a 및 단반경 b 인 타원(점선)의 방정식은 식 (1)과 같다.

$$\frac{(x-x_o)^2}{(a \cdot L_o)^2} - \frac{(y-y_o)^2}{(b \cdot L_o)^2} = 1 \quad (1)$$

선박의 타원반경은 각 침로에 따라 위치가 다르므로, 침로에 따른 회전이 필요하다. 식 (1)에서 x 축에 평행인 타원상 임의의 좌표 (x, y) 를 선박 침로 (ψ) 방향으로 회전을 하여 변환된 좌표를 (x', y') 라 할 때, 이동된 타원 좌표와 회전된 타원 좌표와의 관계는 다음 식 (3) 및 (4)와 같다.

$$x = \cos\theta \times x' + \sin\theta \times y' \quad (3)$$

$$y = \sin\theta \times x' - \cos\theta \times y' \quad (4)$$

여기서, x 축에 대한 선수방향 교각 θ 는 선박 침로각(ψ)에 따라 다음 식 (5) 와 같이 결정된다.

$$\theta = \begin{cases} |90^\circ - \psi| & (\psi \leq 180^\circ) \\ |270^\circ - \psi| & (\psi > 180^\circ) \end{cases} \quad (5)$$

식(3) 및 (4)를 식(1)에 적용하여 회전된 본선 타원상의 점에 대한 방정식은 다음 식 (6)과 같다.

$$\frac{(\cos\theta \cdot (x' - x_o) + \sin\theta \cdot (y' - y_o))^2}{(a \cdot L_o)^2} + \frac{(\sin\theta \cdot (x' - x_o) - \cos\theta \cdot (y' - y_o))^2}{(b \cdot L_o)^2} = 1 \quad (6)$$

본선의 타원 영역 내 상대선 진입여부는 자신의 타원영역 좌표(x', y')에 상대선위치(x_t, y_t)를 대입하여 판별한다. 식 (7)은 근접사고 판별식이며, 판별식 값이 1 보다 크면 상대선이 본선 타원영역 밖에 존재하며, 1 이하면 본선 타원영역 내 존재하여 근접사고로 결정된다.

$$\frac{(\cos\theta \cdot (x_t - x_o) + \sin\theta \cdot (y_t - y_o))^2}{(a \cdot L_o)^2} + \frac{(\sin\theta \cdot (x_t - x_o) - \cos\theta \cdot (y_t - y_o))^2}{(b \cdot L_o)^2} \leq 1 \quad (7)$$

3. 항적데이터 클러스터링 및 근접사고 판별

근접사고 통계산출은 과거 항적데이터를 바탕으로 각 선박범퍼 영역에 다른 선박의 존재 여부를 판별하여 산출된다. 해역에는 다수의 선박이 통항하고 있으므로, 효율적인 항적데이터 처리 및 근접상황이 아닌 경우 등 불필요한 계산을 줄이기 위해 유클리드 거리(Euclidean distance)를 기준으로 한 항적데이터 군집화(Clustering)가 필요하다.

본 연구에서 해역 내 존재하는 다수의 선박에 K-means 알고리즘을 적용하여 선박 군집별 분할하며, 각 군집에 대해 선박 타원영역의 최대반경인 $4L$ 의 임계거리를 적용한 계층적 군집방식을 선택하여 서로 근접한 선박조합을 산출한다. 클러스터링에 의해 결정된 선박 조합을 식 (7)에 따라 근접사고 유무를 판별하였다. 구체적인 항적데이터 클러스터링 및 근접사고 산출 과정은 다음과 같다.

단계 1 : 항적 데이터 분할 클러스터링

해역의 선박위치 분할 클러스터링은 비계층적 군집방법 중 가장 널리 사용되는 K-means 알고리즘을 적용하였다 [9]. K-means 알고리즘은 K개의 객체의 좌표를 초기 군집의 중심좌표로 선정하여, 각 객체에 대하여 K개의 군집 중심좌표와의 거리를 산출한 후 가장 가까운 군집에 그 객체를 배정하는 과정을 반복하여 군집이 형성된다. 본 단계에서는 대상해역 내 선박 수에 따라 군집수 K를 결정하였으

며, 선박 30척마다 군집을 할당하였다. 그림 4는 선박 위치를 k-means 군집법에 의하여 4개의 클러스터로 군집화한 결과를 나타낸다.

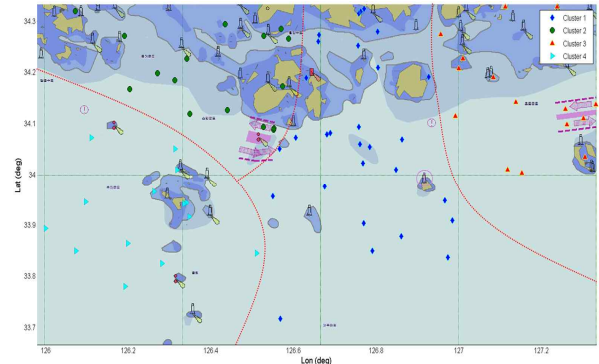


그림 4. 선박위치 군집화

Fig. 4. Clustering of the Vessel Position

단계 2 : 분할된 클러스터 내 계층적 클러스터링 적용

단계 2에서는 단계1에서 분할된 군집에 대해 병합 계층적 군집방법(Agglomerative Hierarchical Clustering)을 적용한다. 이 방법은 각 개체들 간 모든 경우에 대한 거리를 산출하여 근접한 객체들을 군집으로 묶고 다시 생성된 군집과 다른 객체 또는 군집을 새로운 군집으로 묶는 등 단계적 절차를 사용한다[10]. 이를 위해 타원반경의 최대거리인 $4L$ 을 각 선박에 대한 클러스터링 임계거리로 설정하여 군집 상호간 거리가 임계거리 이내인 경우를 탐색한다. 그림 5는 군집 내 선박타겟들의 계층적 군집 적용 결과를 나타내는 덴드로그램(Dendrogram)이다.

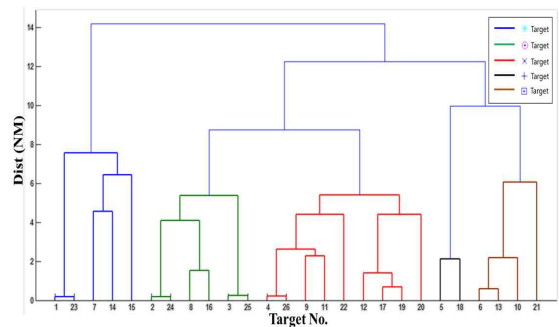


그림 5. 선박간 거리 덴드로그램

Fig. 5. Distance Dendrogram between Vessels

단계 3 : 근접사고 판별 및 저장

단계 2에서 산출한 동시간대에 조우하는 본선과 상대선의 선박 조합을 식 (7)에 적용하여 본선의 타원영역 내 상대선 진입 여부를 판단한다.

그림 6은 2단계에서 선정된 선박조합의 침로, 속력, 선박 반경과 상대선 위치를 전자해도에 표시한 그림이다. 검은색 반경 영역은 상대선과의 거리가 $4L$ 보다 작으나 선박 범퍼 영역 밖인 경우이며, 붉은색 반경은 상대선과 거리가 선박 범퍼 영역 내에 존재하는 근접사고인 경우이다.

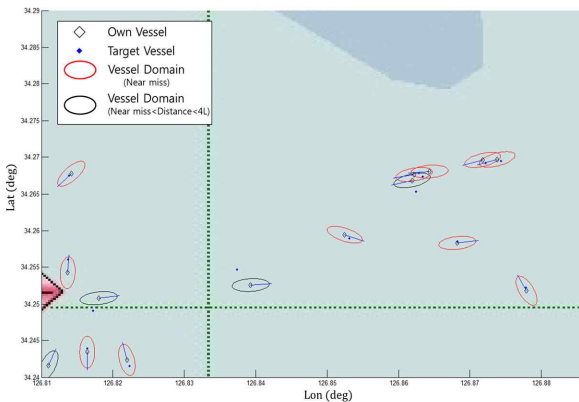


그림 6. 근접사고 분포 표시
Fig. 6. Display of the Distribution of the Near-miss

4. 근접사고 산출 모듈 구성

근접사고 통계 산출모듈은 동 시간대의 선박위치를 클러스터링하여 거리가 $4L_1$ 이하인 선박 조합을 근접사고 판별식에 적용하여 DB에 저장되는 과정으로 구성된다. 그림 7은 근접사고 산출 모듈 흐름도이다.

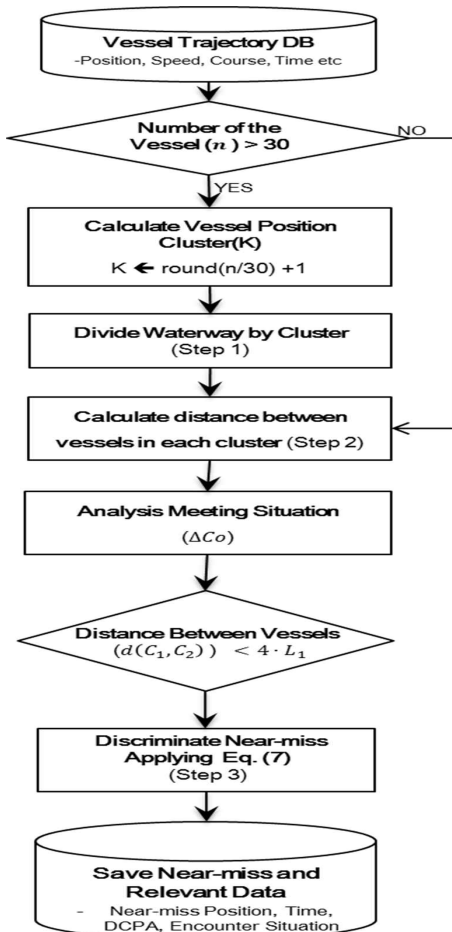


그림 7. 근접사고 산출 모듈 흐름도
Fig. 7. Flow of the Near-miss Calculation Module

근접사고 산출 모듈은 선박 항적 데이터베이스로부터 동일 시간 내 선박위치를 추출하여 해역 내 선박 수가 30척 이상일 경우 3장의 단계 1에 의한 선박위치 군집화와 단계 2의 군집 내 선박간 거리 산출되며, 그렇지 아니하면 단계 2의 군집 내 선박간 거리 산출만 수행한다.

그 후 각 군집 내 선박간 거리를 산출하여 계층적 군집이 군집 임계거리인 $4L_1$ 까지 군집이 수행되며, 선정된 군집은 식 (7)의 판별식에 의해 본선의 타원영역 내 타선의 존재 유무를 판단하고, 타원영역 내 존재하는 선박에 대해 조우 각도, 근접사고 거리가 산출되어 저장된다. 산출되는 근접사고 통계 DB에는 선박간 거리, 발생 시간, 선박의 동적정보(위치, 속력, 코스), 근접사고유무, 선박조우상태가 저장된다.

근접사고 산출결과를 활용한 통계분석은 단순 근접사고 통계 분석과 다른 통계 변수를 반영한 복합 근접사고 통계 분석으로 수행하였다. 단순 근접사고 통계분석은 근접사고 통계를 조우방향, 선종 및 시간대별로 분류하여 해역의 위험도를 평가하였으며, 복합 근접사고 통계분석은 해역의 동향량, 선박 조우빈도 대비 근접사고 비를 분석하였다.

5. 실험 결과

제안하는 근접사고 산출 모듈을 완도항 항만교통관제센터에서 30일간 수집한 항적데이터에 적용하여 해역의 근접사고 분포를 산출하였다. 분석결과 완도 해역 동향선박간 발생하는 근접사고는 30일간 총 354건(선박별 708건) 발생되었으며, 주로 선박이 통행이 많은 항로와 교차점에서 발생한다. 그림 8은 완도해역 근접사고 통계분포를 나타낸다.

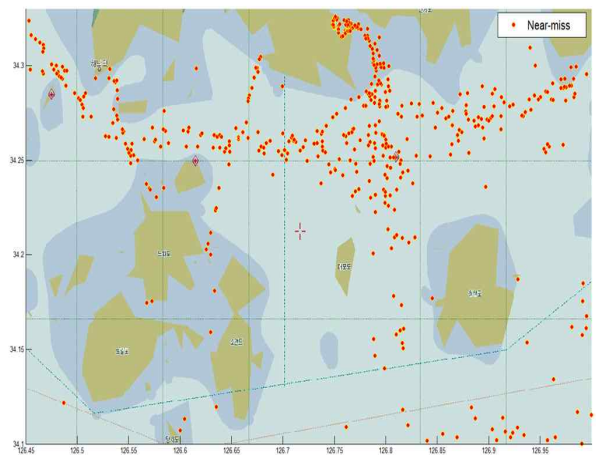


그림 8. 완도해역 근접사고 분포
Fig. 8. Distribution of the Near-miss in the WANDO waterway

5.1 단순 근접사고 통계

완도해역 전 구역을 대상으로 산출된 근접사고 데이터를 선종, 조우방향 및 속력별로 표 1 과 같이 분석하였다. 조우방향에 따른 분류는 양 선박의 침로 교각에 따라 추월, 정면, 횡단상태로 분류된다. 추월 상태는 양 선박 침로 교각이 15도 미만이며, 횡단의 경우 15도 이상에서 165도 미만, 그리고 정면으로 마주치는 상태는 165도 이상 180도 이하로 설정하였다[11].

표 1. 단순 근접사고 통계 분석
Table 1. Simple Statistical analysis of Near-miss

Ship Type	Cargo	Chemical	Passenger	Towing	Fishing, Others	Sum	
Encounter	Headon	15	14	26	41	248	344
	Cross	6	5	53	19	193	276
	Overtake	6	3	15	7	57	88
Speed	0~5	0	0	8	16	134	158
	6~10	12	11	53	48	251	375
	11~15	14	11	30	3	85	143
	16~	1	0	3	0	28	32
Sum	27	22	94	67	498	708	

(Speed unit : knot)

분석결과 근접사고 빈도가 높은 구간은 선종별로는 어선 및 잠종선이, 조우방향은 정면으로 마주치는 상태, 속력별로는 6~10 노트구간으로 나타났다.

5.2 복합 근접사고 통계

복합 근접사고 통계는 완도해역 No.10 Buoy부근 교차해역을 대상으로 선박의 통항량과 구역 내 선박 간 조우방향을 산출하여 근접사고 통계와 비교하여 분석하였다.

그림 9는 대상해역의 선박항적과 근접사고 발생위치를 나타내며, 표 2는 선박 조우방향별 근접사고 비 산출 결과를 나타낸다.

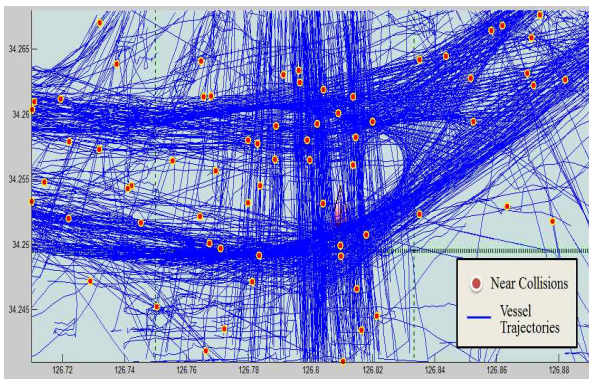


그림 9. 근접사고 및 통항 패턴 비교

Fig. 9. Comparison of Near-misses and Vessel Traffic

표 2. 복합 근접사고 통계 분석
Table 2. Complex Statistical analysis of Near-miss

Encounter Direction	Number of the Near-miss	Number of the Encounter	Ratio of the Near-miss
Headon	5	51	9.8 %
Crossing	32	223	14.3 %
Overtaking	25	91	38.5 %
Sum	72	365	19.7 %

분석결과 7일간 완도해역 전체 근접사고는 72건으로 전체 통항량 대비 약 12.2%이다. 완도 전해역을 대상으로 산출한 결과와 달리 대상해역의 근접사고 빈도는 Crossing이 가장 높으며, 근접사고비(근접사고/조우수)는 Overtaking의 경우가 가장 높다. 이는 항로 교차로의 특성이 반영된 결과라 할 수 있다.

5. 결론

해역의 해상교통 근접사고 평가는 과거 선박 항적데이터 기반 근접사고를 분석을 통해 근접사고가 빈번한 구역에 대한 선종, 항행속력 및 조우방향 등 위험 요인을 평가함이 목적이다.

이를 위해 본 연구는 선박에서 수신되는 항적데이터를 선박 위치 클러스터링과 선박 범퍼영역을 활용한 근접사고 관별식에 의해 해상교통 근접사고 통계 산출모듈을 제안하였다. 또한 제안한 모듈을 완도해역 해상교통환경에 적용하여 근접사고 통계분석을 수행하였다.

산출된 근접사고 통계 분석 결과는 해상교통관제사 및 해역을 진입하는 선박 항해사에게 해역에 관한 유용한 평가 요소가 될 것이다.

References

- [1] K. I. Kim, J. S. Jeong, W. S. Choi, "The Study on the calculation of the stastic of the near miss using VTS DATA in WANDO waterway", *Proceedings of Korean Institute of Navigation and Port Research Spring Conference*, Vol. 1, pp 290-293, 2014.
- [2] Bird F. E., Loftus, R. G., *Loss Control Management, Longanville: Institute Press*, Division of International Loss Control, 1976.
- [3] Heinrich, H. W., Petersen, D., Roos N., *Industrial Accident Prevention - Safety Management Approach*, London: McGraw-Hill, Inc, 5th edition, 1980.
- [4] Inoue K, Kawase M, "Innovative Probabilistic Prediction of Accident Occurrence.", *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 1, No.1, Mar 2007.
- [5] IMO, *Guidance on Near-Miss Reporting*, The International Maritime Organization, MSC-MEPC.7/Circ.7, Oct. 2008.
- [6] Kohler F., *Barriers to Near-miss Reporting in the Maritime Domain*. Chalmers tekniska hogskola, Master's thesis, 2010.
- [7] K. I. Kim, J. S. Jeong, G. K. Park, "The Decision of Ship Near-collisions Using Maritime Traffic Data," *Proceedings of KIIS Spring Conference*, Vol. 1, pp. 75-76, Apr, 2014.
- [8] Fujii Y, Tanaka K., "Traffic Capacity", *The Journal of Navigation*, Vol. 24, pp.543-552, 1971.
- [9] MacQueen, J. B., "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations",

Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, pp. 281-297.

- [10] D. Fisher, "Iterative Optimization and Simplification of Hierarchical Clusterings.", *Journal of Artificial Intelligence Research*, Vol. 4, pp 147-179, 1996.
- [11] IMO, *International Regulations for Preventing Collisions at Sea*, International Maritime Organization, London, 1972.

저 자 소 개



김광일(Kwang-II Kim)
 2005년 : 목포해양대학교 해상운송시스템학과 학사 졸업
 2012년 : 동대학교 대학원 해상운송시스템학부 졸업(공학석사)
 2012년8월 ~ 현재: 동대학교 대학원 해상운송시스템학부 박사과정
 2010년 1월 ~ 현재: 국민안전처 서해해양경비안전본부 해상교통관제사

관심분야 : 해상교통공학, 해상교통관제시스템, 교통데이터 분석
 Phone : +82-10-2799-9561
 E-mail : setis0420@korea.kr



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



박계각 (Gyei-Kark Park)
 1982년 : 한국해양대학교 항해학과 졸업(공학사)
 1986년 : 동 대학교 수송공학과 졸업(공학석사)
 1993년 : 일본동경공업대학 시스템학과(공학박사)
 2010년 : 전남대학교 무역학과 경영학박사 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