

해상교통위험성평가시스템을 이용한 주요 항만 접근 시 운항 안전성 분석

김원욱 · 김대희†

한국해양수산연수원(교수) · †㈜삼우이머션(대표)

Analysis of Safety Navigation for Major port using Maritime Traffic Risk Assessment System

Won-Ouk KIM · Dae-Hee KIM†

(Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(professor) · †SAMWOOimmersion Co., Ltd(ceo))

Abstract

Many countries are carrying forward the innovation for preparing in the future. Especially in the field of maritime, they concentrating on the researches for a smart maritime system, such as Autonomous Vessel or Maritime Logistics Automation. The Korea government also had completed the feasibility study in 2019 and planning 6-year research with a budget of 160.3 million dollars. In this research, we evaluate the safety of maritime arrival and departure for major ports using the Maritime Traffic Risk Assessment System for response on the safe navigation of autonomous vessels. The effects of the system are described in the following: First, the system can suggest the optimized velocity of navigation that has been considered on the length of vessel and the traffic situation around the vessels. Second, the system can suggest a safe area for maritime navigation. As a result, this system can suggest a safe area and the optimized speed of navigation, so it can support not only autonomous vessel but also ordinary vessels. Through future study also can make this system to suggest the optimized fairway and the optimized course for collision avoidance based on not only the data of the land markers but also the data of other vessels such as RADAR or AIS. This system is expected that can be used as fundamental data for a safe navigation system for autonomous vessels.

Key words : Autonomous vessel, Maritime traffic risk assessment System, Optimized speed, Optimized course, Collision avoidance

I. 서론

현재, 세계는 미래에 대비하기 위해 거의 모든 분야에서 혁신을 추진하고 있다. 이를 두고 현 상황을 제4차 산업혁명시대라고 한다. 우리나라도 미래를 대비하기 위해 정부에서는 한국형 뉴딜정책을 강하게 추진하고 있다. 해양 분야에서

는 디지털 분야의 자율운항선박, 항만물류 자동화와 같은 스마트 해운항만 구축 연구가 한창이다. 특히, 이 연구에서 언급되는 자율운항선박은 현재 유럽을 중심으로 상업 운항을 앞두고 있다. 우리나라의 경우 2019년 예비 타당성 조사를 통과하고 2020년부터 1,603억을 투자하여 6년간 각종 필요한 시스템을 개발 연구 중에 있다. 또한,

† Corresponding Author : 051-610-0301, kdavid73@gmail.com

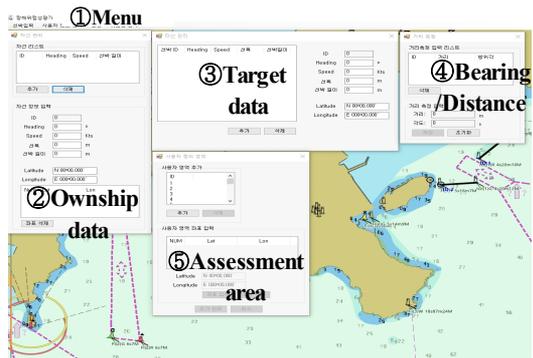
정부에서는 2025년까지 스마트 해운물류 활성화 기반을 마련하고 자율운항선박과 관련해서는 전문 인력을 2천명 양성하기로 했다. IMO(International Maritime Organization)에서는 나라별로 다른 기준을 표준화하기 위해 총 4단계로 자율운항의 단계를 설정하고 자율운항이 가능한 선박을 MASS(Maritime Autonomous Surface Ship)로 규정하였다. 1단계는 자동화된 프로세서 및 의사결정 시스템이 설치된 선박, 2단계는 선원이 승선하고 원격제어가 가능한 선박, 3단계는 선원이 승선하지 않은 상태에서 원격제어가 가능한 선박, 마지막으로 4단계는 완전한 자율운항선박을 지칭한다(IMO, 2018). 우리나라에서는 3단계를 목표로 하고 있다. 이 연구의 목적은 자율운항선박의 운항 과정에 가장 중요한 분야인 안전항로 지원을 위해 이미 개발된 해상교통위험성평가시스템을 이용하여 일부 항만에 대해 선박 운항 안전성을 검증하는 것이다. 그 이유는 이 시스템은 자율운항선박에 적용이 가능한지를 검토하기 위한 것이다

II. 연구 방법

이 연구에서는 일부 항만에 운항 안전성을 분석하기 위해 항해위험성평가모델을 적용하였다. 이 시스템은 전자해도 기반으로 개발되었으며 간단히 소개하면 다음과 같다(kim et al., 2017; Kim and Lee, 2018; Kim and Kim, 2018; kim et al., 2019). [Fig. 1]에서 보는 바와 같이 메뉴바(①)에 선박입력창, 사용자정의영역창, 측정창, 위험성평가창으로 구성되어있다. 선박입력창에는 자선(②)과 타선(③)의 전장 및 선속을 입력한다. 측정창(④) 특정 지점에 방위와 거리를 측정한다. 그리고 사용자정의영역창은 위험성평가(⑤)가 필요한 구역을 설정하는 기능을 담당한다.

이때, 선박 간 충돌위험성은 타 선박과의 상대 속도와 상대방위 등에 의해 분석할 수 있는데 이

를 확인하기 위해 그 유효성이 평가된 충돌위험 평가식(Collision Judgement; CJ)(Kobayashi and Endoh, 1976; Arimura et al., 1988)을 적용하였다. 또한, 충돌위험평가식에 선박동적영역과 상대선박의 접근과 멀어짐이 명확히 반영하여 충돌회피 지수(Collision Avoidance Level: $CAL=CJ \times 10^4$)를 개발하여 이용한다(Kim et al., 2019).



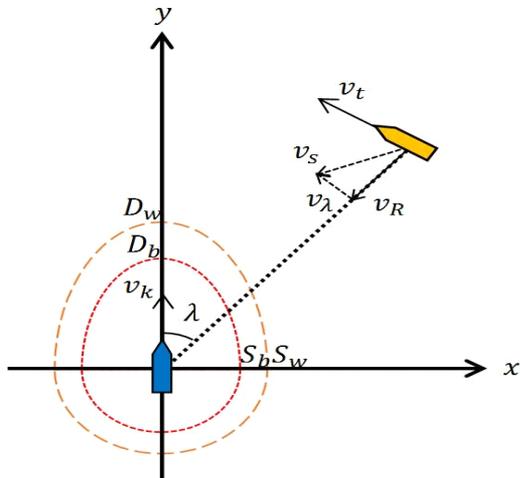
[Fig. 1] Maritime Traffic Risk Assessment System.

$$CJ = \frac{v_R}{R} - a|v_\lambda| + b\lambda \quad \dots\dots\dots (1)$$

식(1)과 [Fig. 2]에서 보는 바와 같이 CJ값은 선박 간에 충돌위험을 나타내는 값으로 값이 클수록 충돌의 위험이 커지는 것으로 평가된다. 이때, v_R 은 상대선의 접근속도, R 은 자선으로부터 상대선까지 거리, v_λ 은 v_R 에 대한 직교성분으로 상대벡터가 자선으로부터 멀어지는 속도이다. λ 는 자선의 선수방위로부터 상대선 위치의 각도 및 a, b 는 실험결과로부터 정해지는 계수이다.

이때, CAL값은 선박의 동적 위험영역 값을 구하고 그 값을 충돌위험평가식에 대입하여 개발하였다. 이때, 위험영역이란 이 영역 안에 상대 선박이 진입할 경우 충돌의 위험성이 있다는 뜻으로 영역을 단순히 선박의 길이만을 기준으로 한 정적선박영역(Fujii, 1971; Coldwell, 1983)과 선박의 길이뿐만 아니라 선속, 조종성능과 상대선의 주변 환경 등을 다양하게 반영한 동적선박영역(Kijima and Furukawa, 2003)으로 분류되며 이 연

구에서는 동적선박영역을 적용하였다. 한편, 위험 영역은 경계영역과 한계영역으로 구분되며 운항자는 경계영역에 진입한 장애물에 대해서 위험을 느끼고 특히, 한계영역에 도달하면 아주 큰 위험을 느끼는 것을 의미한다(Arimura et. al., 1988; Kijima and Furukawa, 2003). 이때, 선박의 전방에 형성되는 경계영역 및 한계영역의 각각의 최대값인 무차원 경계영역거리 D_w/LOA 및 무차원 한계영역거리 D_b/LOA 를 다음 식으로 나타낸다 (Arimura et. al., 1988; Kijima and Furukawa, 2003).



[Fig. 2] Dynamic ship domains and vector indications.

$$D_w/LOA = 2D_b/LOA - 1 \quad \dots\dots\dots (2a)$$

$$D_b/LOA = 1 + 1.34 \times \sqrt{[10^{(0.3591 \log v_k + 0.0952)}]^2 + [10^{(0.5441 \log v_k - 0.0795)}]^2} / 4 \quad \dots\dots\dots (2b)$$

여기에서, v_k 는 노트(kts)로 나타낸 자선의 속력이다. 식(2a)와 식(2b)는 자선의 조종성능 및 속력이 반영된 거리를 나타낸 것으로, 선박이 운항 중 대부분의 충돌위험이 발생하는 전방영역에 대해 중점 고찰하였다. 이 위험영역을 이용하여 Kim et al.(2017)의 식에 의하면 자선 침로 전방

(정선수방향)에 정지하고 있는 장애물을 고려할 때, 다음 식(3)과 같이 표현된다.

$$CJ = \frac{v_R}{R} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$= \frac{v_o}{R}$$

여기에서, $v_R = v_o$ 이다.

식(4)의 거리 R 에 식(2)에서 구한 D_w 또는 D_b 를 대입하여 다음 식과 같이 해상교통위험을 평가한다(Kim et al, 2017).

$$CJ_w = \frac{v_o}{D_w} \quad \dots\dots\dots (4a)$$

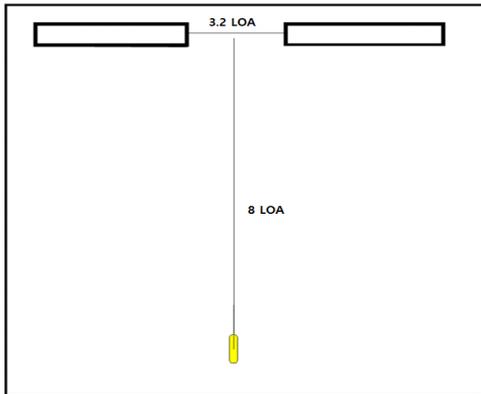
$$CJ_b = \frac{v_o}{D_b} \quad \dots\dots\dots (4b)$$

이때, 자율운항선박의 운항 시 실제와 동일한 상황을 고려하기 위해 개발된 수식 및 값을 전자해도에 적용하여 분석 값이 가시화되게 하였다. 이를 이용하여 일부 항만에 대한 운항 안전성 평가를 실시하였다. 안전해역은 녹색(Ⓞ), 주의해역은 노란색(Ⓢ) 그리고 위험해역은 붉은색(Ⓡ)으로 표현하여 운용자가 실시간 위험상황을 알 수 있도록 하였다. 앞서 밝힌 바와 같이 이 연구의 목적은 자율운항선박의 안전한 운항을 위해 해상교통위험성평가모델의 선박 적용 가능여부를 확인하는 것으로 시나리오 구성에서 특정 선박모델을 대상으로 하지 않았다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

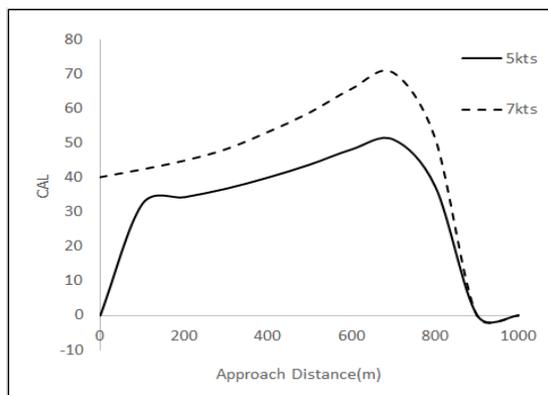
이 장에서는 해상교통위험성평가를 위해 방파제와 주요 항만을 대상으로 사전 테스트를 수행하였다. 이때, 방파제의 경우 진입 직선거리는 $8LOA$, 구조물간의 거리는 $3.2LOA$ 로 설정하였으며 그 이유는 “SHIP COLLISION WITH BRIDGES”에 Horizontal Clearance를 참조하였다 (SHIP COLLISION WITH BRIDGES, 1993). 또한,

각 항만에는 다양한 크기의 선박들이 운항하는 이유로 이 연구에서는 임의로 전장 100m로 하였으나, 선속의 경우는 2005년 항만 및 어항설계기준 제6편 수역시설편(p686)을 참조하여 5kts, 7kts로 분석하였다([Fig. 3]).



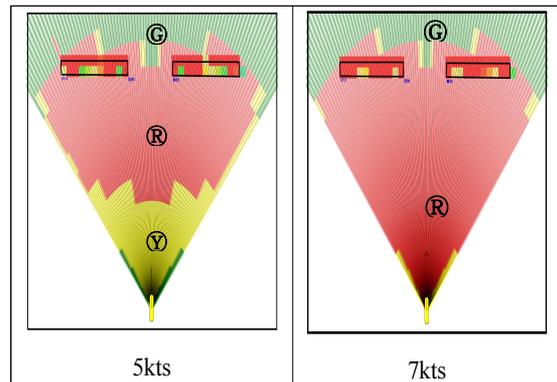
[Fig. 3] Pre-test of Breakwater entry.

[Fig. 4]는 전장 100m의 선박이 5kts, 7kts로 진입하는 상황을 그래프로 분석한 것으로 방파제 진입 전 CAL값이 서서히 증가하다가 입구인 700m에서 급격하게 증가하였다가 통과 후 그 값이 급격하게 감소됨을 알 수 있다. 이는 실제 운항자가 느끼는 심리적 부담감과 거의 유사한 것으로 보인다. 또한, 선속이 빠른 7kts에서 CAL값이 더 높은 것으로 나타났다.



[Fig. 4] CAL Value of Breakwater entry.

[Fig. 5]는 이를 전자해도 상에 가시화한 것으로 실제 자율운항선박은 복잡한 교통상황에서 감속, 변침을 신속하게 결정해야 하므로 위험성 분석을 실시간 제공하는 것이 큰 도움이 될 것이다. 이때, 7kts로 진입할 경우는 5kts에 비해 위험영역이 넓음을 알 수 있다. 이런 경우 감속하여 안전 영역을 확대하여 운항하여야 할 것으로 보인다.



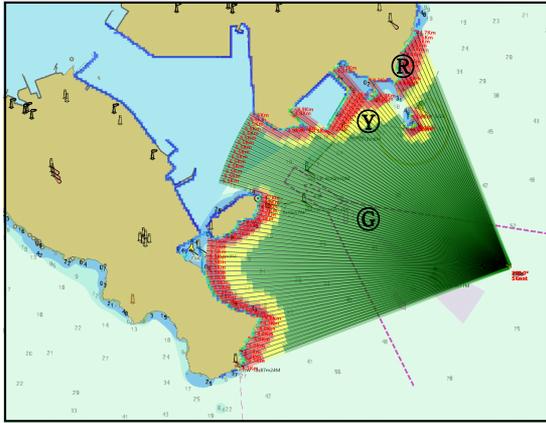
[Fig. 5] LOA 100m / Speed 5kts, 7kts.

그리고 실제 선박에 적용여부를 확인하기 위해 전자해도를 이용하여 주요 항만 진입항로에 대해 분석하였다. 이때, 지면상 모든 항만을 분석할 수 없어 임의적으로 부산항, 감천항, 울산항을 선정하고 <Table 1>과 같이 선박의 길이와 속력을 설정하였다.

<Table 1> Scenario 1 (Busan, Gamchun, Ulsan)

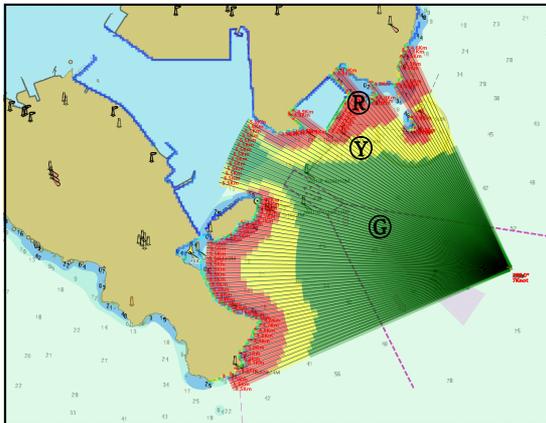
Scenario 1	Own Ship	Speed
	100m	5, 7kts

[Fig. 6]은 전장 100m의 선박이 부산항을 5kts로 진입하는 상황을 분석한 것이다. 항로를 이용하여 운항할 경우 주변 선박에 대한 장애가 없는 경우 안전한 진입이 가능할 것으로 보인다.



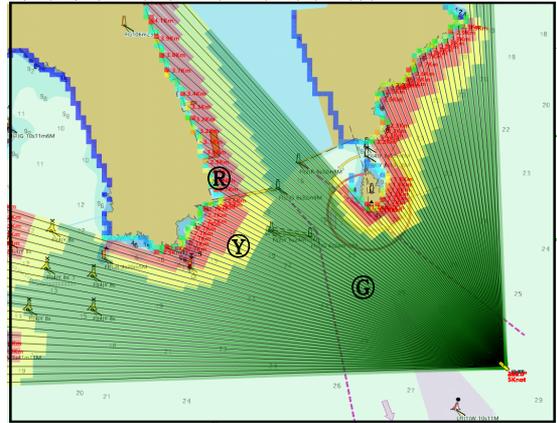
[Fig. 6] LOA 100m / Speed 5kts / Busan.

[Fig. 7]은 7kts로 진입하는 상황을 분석한 것으로 방파제 입구에서 5kts로 운항할 경우보다 안전 영역이 좁아짐을 알 수 있다. 하지만, 이 또한 안전구역이 항로 상에 있어 주변 선박에 대한 장애가 없는 경우 방파제 부근에서 주의를 기울이고 진입할 경우 안전하게 진입이 가능할 것으로 보인다.



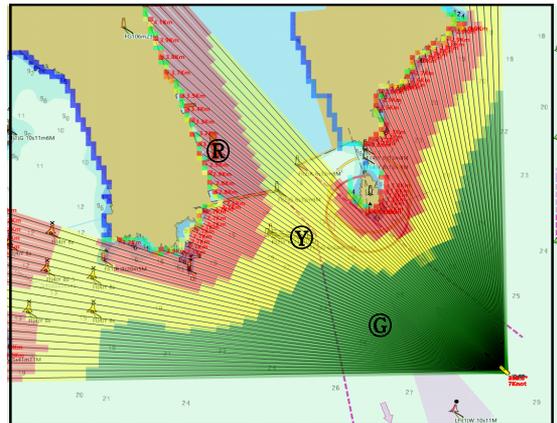
[Fig. 7] LOA 100m / Speed 7kts / Busan.

[Fig. 8]은 감천항을 5kts로 진입하는 상황을 분석한 것이다. 진입항로 우현에 위치한 두도 주변에서 주의를 기울이고 운항할 경우 주변 선박에 대한 장애가 없는 경우 안전한 진입이 가능할 것으로 보인다.



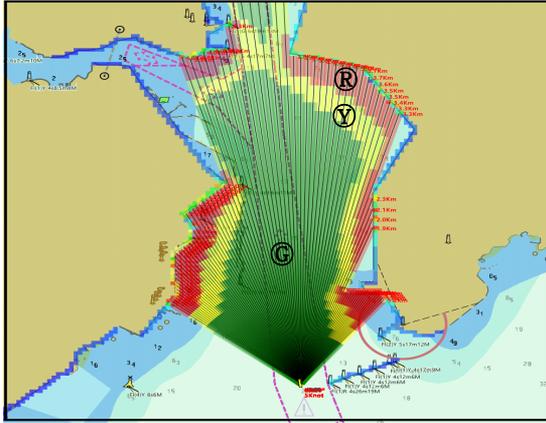
[Fig. 8] LOA 100m / Speed 5kts / Gamcheon.

[Fig. 9]는 7kts로 감천항을 진입하는 상황을 분석한 것으로 두도 및 방파제 입구에서 5kts로 운항할 경우보다 안전 영역이 좁아지고 주의영역이 넓어짐을 알 수 있다. 하지만, 안벽 주변에 표현되는 위험영역을 제외하면 주변 선박에 대한 장애가 없는 경우 안전하게 진입이 가능할 것으로 보인다.



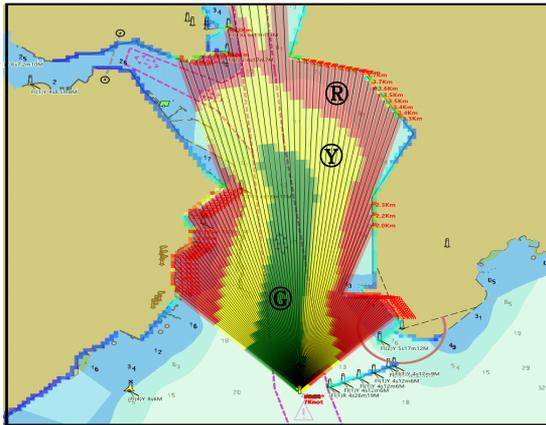
[Fig. 9] LOA 100m / Speed 7kts / Gamcheon.

[Fig. 10]은 울산항을 5kts로 진입하는 상황을 분석한 것이다. 항 내에 항로가 길고 직선에 가까워 5kts로 운항할 경우 전반적으로 안전한 진입이 가능할 것으로 보인다.



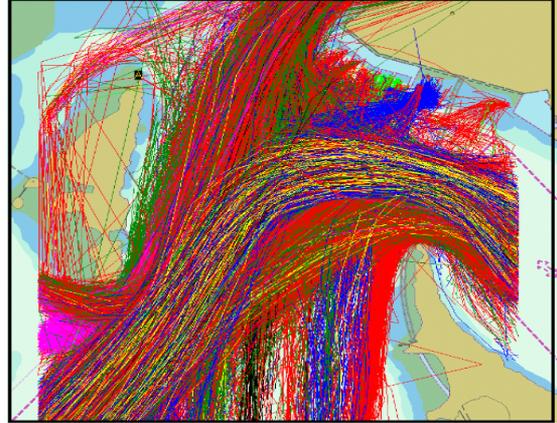
[Fig. 10] LOA 100m / Speed 5kts / Ulsan.

[Fig. 11]은 7kts로 울산항을 진입하는 상황을 분석한 것으로 [Fig. 8]과 마찬가지로 항내에 항로가 길고 직선에 가까워 전반적으로 안전하게 진입이 가능할 것으로 보인다.



[Fig. 11] LOA 100m / Speed 7kts / Ulsan.

단, 목포항의 경우는 다른 항만에 비해 진입 항로가 좁고 만곡 정도가 심해 좀 더 자세한 분석이 필요하여 실제로 이 구간을 운항한 선박의 길이별 선속인 1년(2018년)간의 GICOMS(General Information Center on Maritime Safety and Security, 이하 GICOMS) data를 이용하였다. 한편, [Fig. 12]는 이에 대한 전체 항적도를 전자해도 상에 누적 표현한 것이다.



[Fig. 12] GICOMS Data (Mokpo).

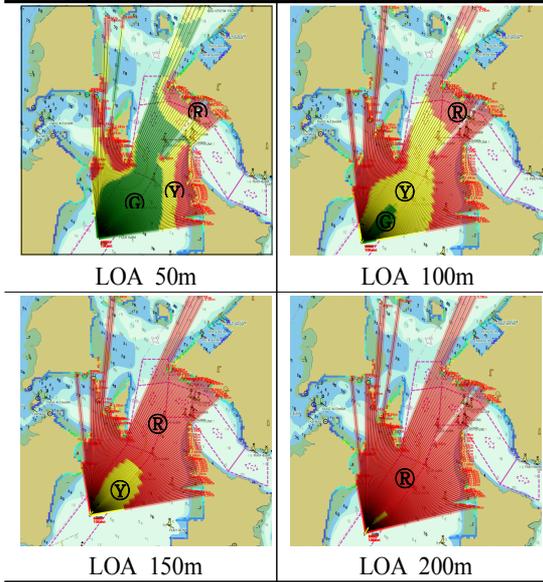
분석 결과 2018년도 1년간 목포항을 이용한 선박의 평균속력은 9.93kts, 평균 길이는 22.06m로 나타났다. 이때, 선박의 길이별로 평균 선속을 정리하면 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Analysis of speed according to LOA using GICOMS data (Mokpo)

LOA (m)	under 50	50~100	100~150	150~200
Ave. speed(kts)	9.93	9.25	10.59	10.85

[Fig. 13]은 GICOMS data(<Table 2>)를 이용하여 해상교통위험성을 분석한 것으로 전장이 50m와 100m인 경우는 대부분의 영역에서 안전과 주의로 분석되어 항해자가 세심한 주의 하에 운항하면 접근이 가능한 것으로 판단된다. 이는 실제의 운항 데이터와 유사하게 나타났다. 하지만, 전장이 150m와 200m인 경우 약 10kts로 운항하면 대부분의 영역이 위험으로 나타났다. 단, 이 경우 실제 운항 데이터인 GICOMS data와 결과가 다른 이유는 소형선은 운항 경험이 많은 선장의 직접 조종, 대형선의 경우는 도선사가 승선하는 경우가 많을 것으로 예상되기 때문이다. 즉, 위험이 예상되는 경우는 선장의 직접 조종, 도선사에 의한 조종, VTS(Vessel Traffic Service)관제와 같은

해상교통안전관리시스템을 통한 세심한 조종이 필요할 것이다.



[Fig. 13] Analysis of the proper speed according to LOA using GICOMS data / Mokpo.

하지만, 이 시스템이 적용되길 바라는 자율운항선박은 단계별로 다를 수 있지만 MASS 2단계 이상은 선장이나 도선사가 승선하지 않고 육상에서 원격조종 혹은 완전 자율적으로 상황을 판단하여 운항하기 때문에 더욱 안전한 조치가 요구된다. 이에 이 연구에서는 해상교통위험성평가시스템을 이용하여 비교분석을 위하여 <Table 3>과 같이 다양한 선박의 길이와 선속을 대상으로 하였다. 이에 대한 자세한 내용은 [Fig 14]와 [Fig 15]에 기술하였다.

<Table 3> Scenario 2 (Mokpo)

	Own Ship	Speed
	Scenario 2	50m 100m 150m 200m

<Table 4>와 같이 선박이 스스로 판단 가능한 선박 길이별 적정 선속을 제시한다. 물론, 이는 참고자료이므로 다양한 주변 상황에 따라 그 결과를 달라질 수 있음을 밝혀둔다. <Table 5>는 실제 목포항을 이용한 선박들의 선박 길이별 선속인 GICOMS data와 해상교통위험성평가시스템을 이용한 선박 길이별 선속을 제시한 데이터를 비교 분석한 것이다. 제시된 값에 의한 운항이 전체적으로 CAL값이 감소함을 알 수 있다. 선박의 길이가 50~100m의 경우는 GICOMS data와 해상교통위험성평가시스템을 이용한 경우가 CAL값이 10~20사이로 거의 동일하게 분석되었다.

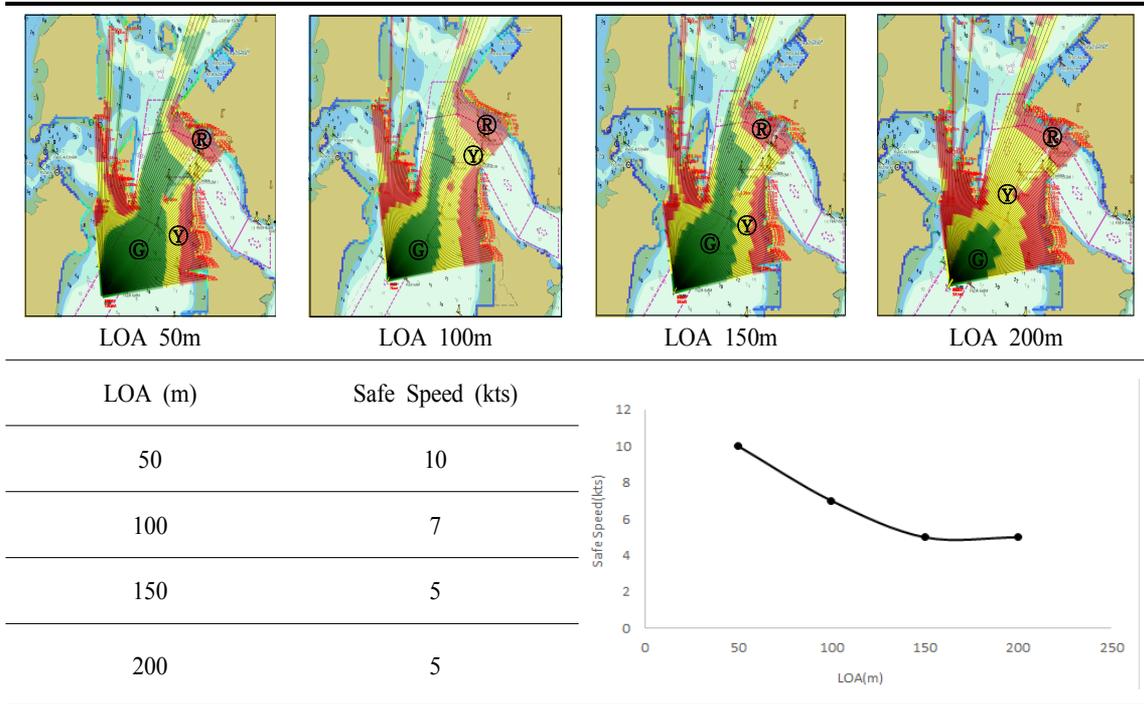
그러나 150~200m의 경우는 실제 데이터인 GICOMS 자료를 이용하여 분석하면 CAL값 최대 50까지 증가하였으나 이 연구에서 제시된 선속에 의하면 10까지 낮아짐을 확인하였다. 물론, 선박의 운항은 여러 가지 상황에 의한 복합적인 것이나 이 연구에서는 선속과 관련하여 분석한 것임을 밝혀둔다.

IV. 결론

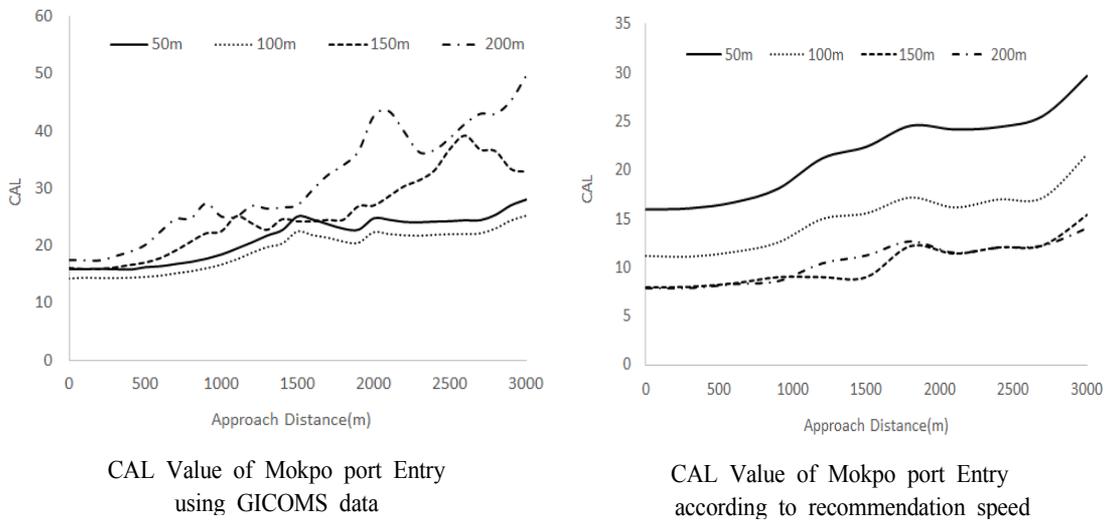
이 연구의 목적은 해상교통위험성평가시스템의 선박 적용 여부를 확인하기 위한 것으로 이를 위해 부산, 감천, 울산항 대한 일반 분석을 수행하였다. 특히, 목포항의 경우는 운항 난이도를 고려하여 세밀한 분석을 추가하고 그 결과를 아래와 같이 정리하였다.

1) 부산, 감천, 울산항에 대한 해상교통위험성평가 결과가 전자해도 상에 가시화가 가능하여 선박 적용이 가능할 것으로 판단된다.

2) 목포항의 경우 위험정도를 나타내는 CAL 값을 분석한 결과, 전장이 50~100m인 경우는 GICOMS data와 해상교통위험성평가시스템 모두에서 10~20사이로 거의 동일하게 분석되었다. 그러나 150~200m인 경우는 GICOMS 자료에서 최대 50까지 증가하였으나 해상교통위험성평가시스



[Fig 14] Analysis of the proper speed for LOA / Mokpo.



[Fig 15] CAL Value of Mokpo port Entry using GICOMS data and Recommendation speed.

템으로 제안한 선속에 의하면 10까지 낮아짐을 확인하였다.

3) 안전 운항을 위해 해상교통위험성평가시스템을 이용하여 선박 길이별 적정 선속을 제시하면 <Table 4>에서 보는 바와 같이 전장이 50m인 선박은 10kts, 100m인 선박은 7kts, 150~200m인 선박은 5kts와 같다.

4) 해상교통위험성평가시스템은 주변 상황을 고려한 안전항로 및 선박 길이별, 적정속력 제안이 가능하였다.

향후 자율운항선박의 실제 운항에 반드시 필요한 상대선 정보를 확인하는 RADAR 및 AIS 데이터 등을 실시간 수집하고 분석하는 기능을 선박에 적용하는 추가 연구가 필요하다.

References

- Arimura N, Yamada K, Watanabe K, Shiota N and Ohtani K(1988). A Study on Man-machine System in Vessel Traffic Flow, *Ship's Research*, 25(3), 55~71.
- Coldwell TG(1983). Marine traffic behaviour in restricted waters, *The Journal of Navigation*, 36, 431~444.
- Fujii Y and Tanaka K(1971). Traffic capacity, *The Journal of Navigation*, 24, 543~552.
- IMO(2018). MSC 99, Regulatory Scoping Exercise for The Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Agenda item 5.
- Kijima K and Furukawa Y(2003). Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area, *Proc. of IFAC Conf. on Maneuvering and Control of Marine Craft*, Girona, Spain.262~267.
[https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)37811-4](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)37811-4)
- Kim WO, Kang SJ, Youn DG, BAE JY and Kim CJ(2017). A Study on the Coastal Navigation Safety by Navigational Risk Assessment Model, *Journal of Fishier and Marine Education*, 29(1), 201~207.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.1.201>
- Kim WO, Kim CJ, Youn DG and Kim DH(2017). Development of Maritime Traffic Risk Assessment System based on ECDIS, *Journal of Fishier and Marine Education*, 29(6), 1670~1675.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2017.29.6.1670>
- Kim WO and Lee CH(2018). A Study on the Development of Collision Prevention Support System for Autonomous Surface Ship, *Journal of Fishier and Marine Education*, 30(1), 227~235.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.02.30.1.227>
- Kim WO and Kim CJ(2018). Establishment of Navigational Risk Assessment Model Combining Dynamic Ship Domain and Collision Judgement Model, *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety* 24(1), 036~042.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2018.24.1.036>
- Kim WO, Hong JH, BAE JY and Kim DH(2019). Development of Autonomous Navigation Support System using Maritime Traffic Risk Assessment Model, *Journal of Fishier and Marine Education*, 31(1), 257~263.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.2.31.1.257>
- Kim WO, Kang SJ, KIM YR and Kim CJ(2019). Study on a Small and Medium-sized Ship's Collision Avoidance Support Model, *Journal of Fishier and Marine Education*, 31(4), 1032~1039.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.8.31.4.1031>
- Kobayashi H and Endoh M(1976). "Analysis of Collision Avoiding Action of Ship", *Journal of Japanese Navigation Research*, 55, 101~109.
<https://doi.org/10.9749/jin.56.101>
- Ole Damagaard LARSEN(1993). SHIP COLLISION WITH BRIDGES, *International Association for Bridge and Structural Engineering*, 12~13.
- Wang N(2010). An Intelligent Spatial Collision risk Based on the Quaternion Ship Domain, *The Journal of Navigation*, 63, 733~749.
<https://doi.org/10.1017/S0373463310000202>

-
- Received : 11 March, 2021
 - Revised : 07 May, 2021
 - Accepted : 19 May, 2021