

선박동적영역과 충돌위험평가식을 결합한 항해위험성평가모델 전개

김원옥* · 김창제**†

* 한국해양수산연수원, ** 한국해양대학교

Establishment of Navigational Risk Assessment Model Combining Dynamic Ship Domain and Collision Judgement Model

Won-Ouk Kim* · Chang-Je Kim**†

* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan, Korea

** Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea

요 약 : 이 연구는 운항자가 항해 중 위험을 느끼는 고정 및 이동 물표에 대한 해상교통위험성평가에 대한 것이다. 이를 위해 선박 길이와 속력, 선박조종성능이 고려된 동적선박영역을 기초로 한 충돌위험평가식을 구하였다. 특히, 동적선박영역과 충돌위험평가식을 하이브리드 결합하여 자신의 크기, 속력 등의 영향을 정량적으로 지표화한 항해위험성평가모델을 검토 및 개선하고자 한 것이다. 기존 항해위험성평가 모델에 적용이 부족한 속장비(speed length ratio) 즉, 선박의 길이와 속력에 대한 비가 고려된 새로운 형태의 해상교통위험성평가 모델을 제안하고자 한다. 그 결과 무차원 속력 즉, 속장비가 클수록 *CJ* 값이 크며, *CJ* 값은 속장비에 의해 잘 표현되고 있다. 또한, 속장비가 크면 속장비가 작은 경우보다, 보다 먼 거리에서부터 [주의], [경계], [위험] 또는 [매우위험]상태에 도달한다. 이 연구의 결과는 위험항로 회피 또는 최적항로 구축, 방파제폭이나 교량경간 등을 포함한 항로나 항만개발, 연안항해용 안전해도 개발 및 향후 자율운항선박과 같은 스마트선박의 운항 중 충돌방지와 최적항로 선정에 자료로 사용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 해상교통위험성평가, 동적선박영역, 충돌위험평가식, 속장비, 최적항로계획, 스마트선박, 자율운항선박

Abstract : This paper considers the Marine Traffic Risk Assessment for fixed and moving targets, which threaten officers during a voyage. The Collision Risk Assessment Formula was calculated based on a dynamic ship domain considering the length, speed and maneuvering capability of a vessel. In particular, the Navigation Risk Assessment Model that is used to quantitatively index the effect of a ship's size, speed, etc. has been reviewed and improved using a hybrid combination of a vessel's dynamic area and the Collision Risk Assessment Formula. Accordingly, a new type of Marine Traffic Risk Assessment Model has been suggested giving consideration to the Speed Length Ratio, which was not sufficiently reflected in the existing Risk Assessment Model. The larger the Speed Length Ratio (dimensionless speed), the higher the *CJ* value. That is, the *CJ* value is presented well by the Speed Length Ratio. When the Speed Length Ratio is large, states ranging from [Caution], [Warning], [Dangerous] or [Very Dangerous] are presented from a greater distance than when the Speed Length Ratio is small. The results of this study, can be used for route and port development, including dangerous route avoidance, optimum route planning, breakwater width, bridge span, etc. as well as the development of coastal navigation safety charts. This research is also applicable for the selection of optimum ship routing and the prevention of collisions for smart ships such as autonomous vessels.

Key Words : Marine Traffic Risk Assessment, Dynamic ship domain, Collision judgment model, Dangerous route avoidance, Optimum route planning, Smart ship, Autonomous vessel

1. 서 론

선박의 의한 해양사고인 충돌, 좌초 등은 인간에 의한 위

험상황인지, 판단, 피항 조작 등의 실패로 인한 인적오류 때문에 발생하는 경우가 많다. 이러한 이유로 위험상황을 인지하여 위험여부를 판단하고 행동을 취할 경우, 판단착오나 조작실수가 일어나지 않도록 하는 대책이 필요하다. 이에 우리나라에서는 해양안전을 확립하기 위해서 해사안전법 시행규칙(2015.12.23.) [별표6] 안전진단 작성기준(제11조 제1

* First Author : kwo0228@seaman.or.kr, 051-620-5816

† Corresponding Author : kimc@kmou.ac.kr, 051-410-4226

항관련)에서 진단항목으로 규정된 교통류시물레이션평가를 규정하고 있다. 항해위험평가모델(Kim et al., 2017)은 자선의 크기, 선속, 조종성 등이 포함된 정량적 모델로서 항해의 위험여부를 판단할 수 있는 매우 유효한 수단이라 할 수 있다. 항해위험평가모델의 한 축을 구성하는 동적선박영역은 자선의 크기, 선속, 조종성 등의 정보를 활용하여 상대선의 침범을 회피하는 선박영역(Arimura et al., 1988; Kijima and Furukawa, 2003)을 규정하고, 이 규정 영역을 상대선이 침범하는지 여부에 초점이 맞춰진 것으로 위험여부의 정량적 평가를 제시하지 못한다. 한편 항해위험평가모델의 또 다른 한 축을 구성하는 충돌위험평가식(Kobayashi and Endoh, 1976)은 자선과 장애물간의 상대거리, 장애물의 접근속력, 장애물의 상대각도 등을 고려하여 충돌위험의 정도를 정량적으로 나타내고 있으나 이 식에는 선박크기의 영향이 고려되지 않았다. 따라서 이 연구는 동적선박영역과 충돌위험평가식을 하이브리드 결합하여 자선의 크기, 속력 등의 영향을 정량적으로 지표화한 항해위험평가모델을 검토, 개선하고자 한 것이다.

2. 선박영역의 특성

항해사는 장애물이 경계영역에 침입하기 전에 미리 장애물에 대하여 철저한 감시와 주의를 기울이면서 장애물에 대한 정보수집, 장애물의 집중 감시 등의 과정을 거쳐 피항 조치를 한다. 또한, 항해사는 경계영역에 침입한 장애물에 대해 위험감을 느끼면서 더욱 주의 깊게 경계를 하고 한계영역에 침입하지 못하도록 조치를 하지만 장애물이 한계영역을 침입하면 더욱 큰 위험감을 느낀다. 선박영역은 어떤 선박이 다른 선박주변의 어떤 영역에 침범하는 것을 피하는 영역으로 선박의 길이를 기준으로 한 정적선박영역(Fujii and Tanaka, 1971; Coldwell, 1983)과 선박의 길이뿐만 아니라 선속, 조종성능과 상대선의 주변 환경을 반영하는 동적선박영역(Kijima and Furukawa, 2003)으로 분류할 수 있다(Kim et al., 2017). 선박영역은 영역의 형태에 따라서 원형, 타원형 및 다각형모델로 나뉜다. 선박영역은 항해위험도평가, 충돌회피, 항로계획, 해상교통시물레이션 및 최적항로계획에 매우 중요한 역할을 하며, 이 연구에서는 일반적인 선박의 운항형태인 전방영역이 강조된 타원형모델을 채택하여 항해위험도를 고찰 한다. 제한수역에서, 선박의 진행방향의 전방에 형성되는 타원형 선박영역으로 Fig. 1과 같이 표현되며 수식으로 정리하면 식(1)과 같다.

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1 \quad (x \geq 0) \quad (1)$$

여기에서, (x, y) 는 직교좌표계이며, 좌표의 원점에 자선의 중심이 존재하고, x 축은 자선의 침로방향, 즉 자선의 진행방향을 $(+)x$ 축, x 축에 직교하고 x 축의 오른쪽방향을 $(+)y$ 축, A, B 는 각각 타원형의 장축반경 및 단축반경으로 자선의 진행방향의 앞쪽($(+)x$ 축)만을 고려하며, 또한 A, B 는 각각 선박영역의 최대값과 최소값으로 피항거리 또는 회피거리(D)를 나타낸다.

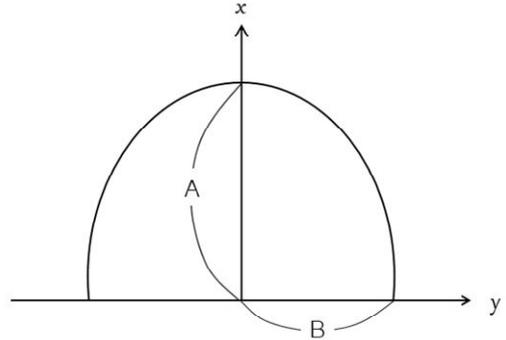


Fig. 1. Coordinate System.

피항 거리 D (또는 자선의 선회 종거리 A_D , 또는 자선의 선회 횡거리 D_T)는 다음의 물리량에 주로 지배되는 것으로 판단된다.

$$D = \psi_1(x, y, L, v_R, \lambda, t, g) \quad (2)$$

여기에서, L 은 자선의 길이, v_R 는 장애물의 상대 접근속력, λ 는 장애물의 상대각도($-90^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$, 선수가 0°), t 는 접근시간, g 는 중력가속도이며 x 나 y 대신에 장애물의 상대거리 $R(= \sqrt{x^2 + y^2})$ 을 사용할 수 있다. 식(2)에서 무차원 피항거리 D/L 은 다음의 무차원 물리량에 크게 지배된다.

$$D/L = \psi_2(x/L, y/L, v_R/\sqrt{gL}, \lambda, gt/\sqrt{L}) \quad (3)$$

여기에서, v/\sqrt{gL} 은 Froude수이며, 중력가속도 g 는 지구상에서 일정하다고 가정하면 Froude수는 속장비가 되며, 식(3)을 다음 식과 같이 변형할 수 있다.

$$D/L = \psi(x/L, y/L, v_R/\sqrt{L}, \lambda, t/\sqrt{L}) \quad (4)$$

선박의 전방에 형성되는 피항거리 중에서 경계영역 및 한계영역(Arimura et al., 1988; Kijima and Furukawa, 2003)의 각각의 최대값인 무차원 경계영역거리 D_w/L (L 은 자선의 길이) 및 무차원 한계영역거리 D_h/L 를 각각 식(5)와 식(6)으로

나타낸다.

$$D_w/L = 2D_b/L - 1 \quad (5)$$

$$D_b/L = 1 + 1.34 \times \sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2} \quad (6)$$

여기에서,

$$k_{AD} = A_D/L = 10^{(0.3591 \log v_k + 0.0952)}$$

$$k_{DT} = D_T/L = 10^{(0.5441 \log v_k - 0.0795)}$$

및 v_k 는 노트(knots)로 나타낸 자선의 속력이다. 식(5) 및 식(6)은 선박의 크기, 속력, 조종능력을 고려한 동적선박영역을 나타낸다. 또한, 선박의 측면에 형성되는 경계영역 및 한계영역의 무차원 단축반경 S_w/L 및 S_b/L 를 각각 식(7)과 식(8)에 나타낸다.

$$S_w/L = 0.2 + 2k_{DT} \quad (7)$$

$$S_b/L = 0.2 + k_{DT} \quad (8)$$

식(1)에, 장축반경 A 에 D_w , 단축반경 B 에 S_w 를 대입하면 이 식은 경계영역을 표현하는 타원형을 구성한다. 또한, $A = D_b$, $B = S_b$ 인 경우 한계영역을 표현하는 타원형을 나타낸다.

3. 충돌위험평가식의 검토

충돌위험평가식(Collision Judgement : CJ^*) (Kobayashi and Endoh, 1976)을 다음 식과 같이 나타낸다.

$$CJ^* = \frac{v_R}{R} - av_\lambda + b|s| \quad (9)$$

여기에서, v_λ 는 v_R 에 대한 직교성분이며 장애물이 멀어져 가는 속도 a , b 는 실험결과로부터 정해지는 계수이며, 시뮬레이션 실험으로부터 각각 다음 값으로 나타낸다.

$$a \approx 3.75 \times 10^{-5} \quad (10a)$$

$$b \approx (1.3 \sim 1.7) \times 10^{-4} \quad (10b)$$

식(9)의 CJ^* 는 시간의 역수로서 장애물의 상대속력, 거리 및 수평위치의 차이에 따른 위험도의 차이를 나타내며, 선박크기에 따른 차이는 고려되어 있지 않다. CJ^* 의 주요항의 효과를 검토하면 다음과 같다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 v_R/R 효과는 마주치는 상태($\lambda = 0^\circ$)의 속도에 따른 CJ^* 값의 특징을 나타낸다. 상대거리가 동일해도 선속이 빠를수록, 선속이 같은 경우라도 상대거리가 가까울수록 CJ^* 값은 커지며 이 결과는 현실과 잘 일치한다.

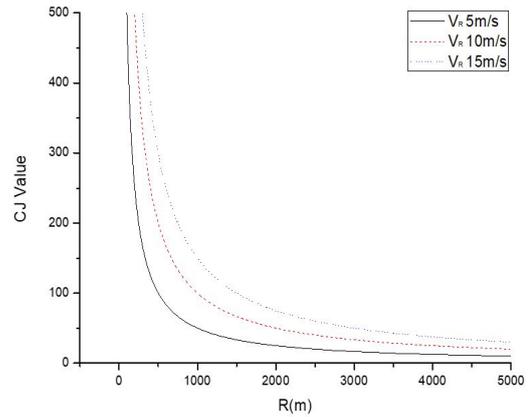


Fig. 2. Effects of v_R/R ($\lambda = 0^\circ$).

Fig. 3은 자선 정횡에서($\lambda = 90^\circ$) 자선을 향해 진행되는 장애물의 속도에 따른 CJ^* 값의 특징을 나타낸다. 마주치는 상태와 마찬가지로 동일한 상대거리에서 선속이 빠를수록, 동일한 선속인 경우 상대거리가 가까울수록 CJ^* 값이 커지며, 마주치는 상태보다는 값이 크다. 이것은 마주치는 상태에서는 피항이 비교적 쉽고 λ 가 클수록 피항이 곤란하다는 것을 의미하며 이 결과는 또한 현실과 잘 일치한다.

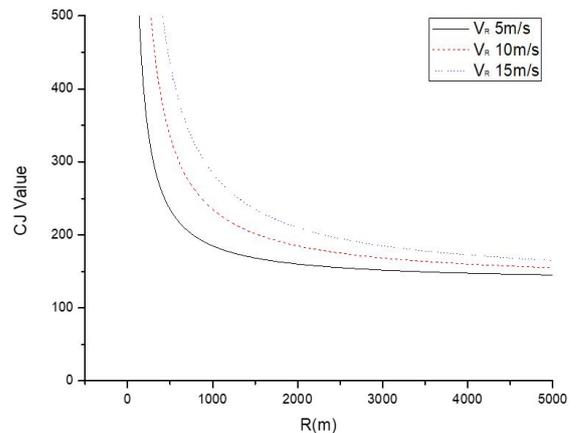


Fig. 3. Effects of v_R/R ($\lambda = 90^\circ$).

Fig. 4는 자선과 동일한 속도로 동일한 침로로 진행하는 장애물의 위치(각도)에 따른 CJ^* 값의 특징을 나타낸다. 각도가 클수록 CJ^* 값은 커지며 이 연구의 대상영역에서 $\lambda=90^\circ$ 일 때 CJ^* 값이 가장 크다. 또한 각도가 동일한 경우에, 상대거리가 크던 작던 CJ^* 값은 일정하다. 즉, 동일한 각도일지라도 상대거리가 작으면 CJ^* 값은 커야한다. 따라서 상대거리를 고려하여 상대거리를 제한할 필요가 있다.

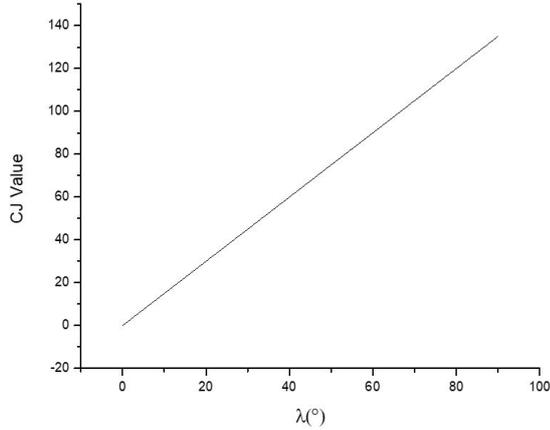


Fig. 4. Effects of $\lambda(v_R/R=0)$.

Fig. 5는 $v_R/R=b$ 이인 경우, 거리 R 과 각도 λ 의 상대적인 크기의 관계를 나타낸 것이다. 속력이 일정한 경우, 근거리에서는 거리의 차가 작아도 각도의 차는 크며, 먼 거리에서는 거리의 차가 커도 각도의 차는 작다. 이것은 근거리에서는 각도의 변화 즉 상대위치가, 먼 거리에서는 거리의 변화가 CJ^* 값에 더 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다. 속력이 증가하면, 동일각도, 동일거리라 해도 CJ^* 값은 증가한다. 즉, 고속선일 경우, 장애물이 선박영역 또는 자선근방에 침입하지 못하도록 먼 거리에서 미리 조치를 취해야 한다.

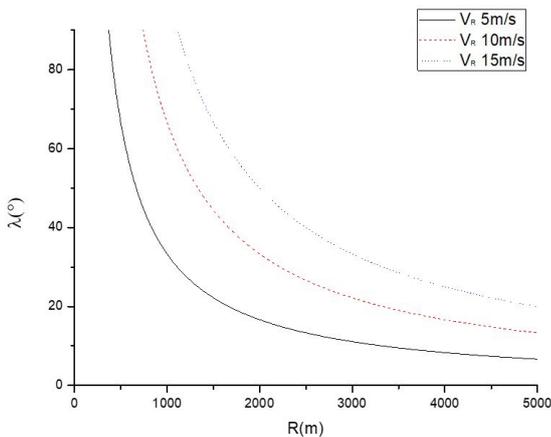


Fig. 5. Relative Effects between v_R/R and λ .

4. 항해위험평가지표

식(9)에서 자선침로전방(정선수방향)에 정지하고 있는 장애물을 고려할 때, 식(9)는 다음 식이 된다.

$$CJ^* = \frac{v_R}{R} = \frac{v}{R} \quad (11)$$

여기에서, v 는 자선의 속력이며, $v_R=v$ 이다.

식(11)의 거리 R 에 식(5), (6)에서 구한 D_w 또는 D_b 를 대입하여 다음 식과 같이 항해위험을 평가한다.

$$CJ_w^* = \frac{v}{D_w} \quad (12a)$$

$$CJ_b^* = \frac{v}{D_b} \quad (12b)$$

식(12)는 선박동적영역에 포함된 자선의 길이, 속력 및 조종능력 등을 충돌위험평가식과 하이브리드 결합하고 안전 측면을 고려하여 항해위험의 최소값을 산정한 것으로, 장애물이 경계영역 또는 한계영역에 도달한 경우의 자선의 속력과 거리를 지표화한 값이다. 한편, 물표가 자선의 정선수방향에서 횡방향으로 멀어질수록 CJ^* 값은 증가한다. 따라서 식(9)에서, 장애물이 정횡 한계영역에 도달한 경우의 CJ_s^* 값을 다음과 같이 정의한다.

$$CJ_s^* = \frac{v}{S_b} + b|\lambda| \quad (\lambda = 90^\circ) \quad (13)$$

이 식은 한계영역이 시작하는 경우의 경계선에서 최대값을 나타낸다. 식(9)의 CJ^* 는 시간의 역수로서, 식(4)를 고려하여 다음 식과 같이 무차원 CJ 정의하고 CJ 의 특성을 고찰한다.

$$CJ = CJ^* \times \sqrt{L} \quad (14)$$

또한, $CJ_w = CJ_w^* \times \sqrt{L}$, $CJ_b = CJ_b^* \times \sqrt{L}$, $CJ_s = CJ_s^* \times \sqrt{L}$ 를 적용한다. 구체적으로는, 고정 장애물이 존재할 때, 먼거리에서부터 경계를 하면서 장애물이 경계영역의 두 배인 장반경 $2D_w$, 단반경 $2S_w$ 범위의 타원에 들어오면 이 타원을 기준으로 물표의 CJ 값을 자선 정선수를 기준으로 -90° 에서

90°까지 1°간격으로 취한 후 CJ 값의 평균을 구한다. 물표가 타원의 장반경 D_w , 단반경 S_w 범위에 들어오면 이 타원을 기준으로 이 타원내에 있는 물표를 기준으로 앞서서와 동일한 방법으로 CJ 의 평균값을 구하고 그 값이 다음의 어느 범위에 위치하는가를 다음 식에 의해 지표화하여 위험지표로 정의한다.

$$\begin{aligned}
 0 \leq CJ < CJ_w & : [\text{주의}] \\
 CJ_w \leq CJ < CJ_b & : [\text{경계}] \\
 CJ_b \leq CJ < CJ_s & : [\text{위험}] \\
 CJ \geq CJ_s & : [\text{매우위험}]
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

식(15)에 의해 지표화한 값을 이용하여 Fig. 6 및 Fig. 7에 방파제를 통과하는 길이 100 m인 중형선박의 선속에 따른 CJ 값을 나타낸다. 횡축은 방파제($x/L=0$)까지의 무차원 거리, 종축은 CJ 값이며 방파제폭 W 대 선박의 길이 $L(=W/L)$ 은 1.0(Fig. 6) 및 2.0(Fig. 7)이다. 무차원 속력 즉, 속장비가 클수록 CJ 값이 크며, CJ 값은 속장비에 의해 잘 표현되고 있다. 그림속의 ▲는, 먼 거리로부터 [주의](attention)를 기울이다가 더욱 세심한 주의를 기울여야 하는 [경계](alert)의 시작점, ●는 [위험](danger)의 시작점, ×는 [매우 위험](extreme danger)의 시작점을 나타내며 속장비가 클수록, 보다 먼 거리에서부터 [주의], [경계], [위험] 또는 [매우 위험]상태에 도달함을 알 수 있다. 또한, 무차원 방파제폭 W/L 이 작을수록 CJ 값은 크며, 위험지표는 보다 먼 거리에서 나타난다. Fig. 6에서 x/L 이 7-8일 때 [위험], 2-3일 때 [매우 위험] 및 Fig. 7에서 x/L 이 5-6일 때 [위험], 1-2일 때 [매우 위험]을 나타내며 방파제사이의 간격이 커지면 방파제에 보다 근접하면 위험을 느낀다고 볼 수 있다.

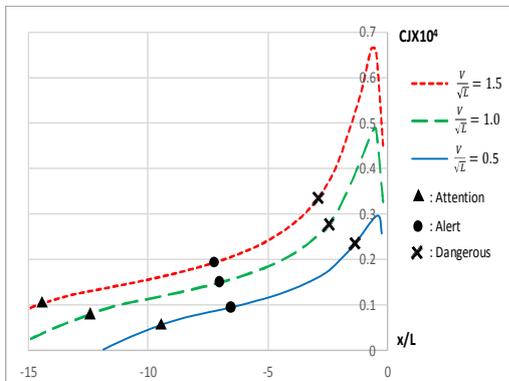


Fig. 6. CJ values due to speed variations of breakwater passing ships ($W/L=1.0 : L=100\text{m}$).

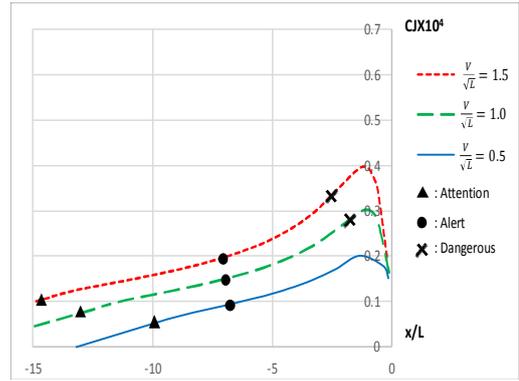


Fig. 7. CJ values due to speed variations of breakwater passing ships ($W/L=2.0 : L=100\text{m}$).

Fig. 8에 방파제를 통과하는 길이 289 m인 대형선박의 선속에 따른 CJ 값을 나타낸다. 대형선인 경우, 대체로 중형선과 동일한 경향을 보이며, x/L 이 9-10일 때 [위험], 2-3일 때 [매우 위험]을 나타내며 선박크기가 커지면 방파제의 보다 먼 거리에서 위험을 느낀다고 볼 수 있다.

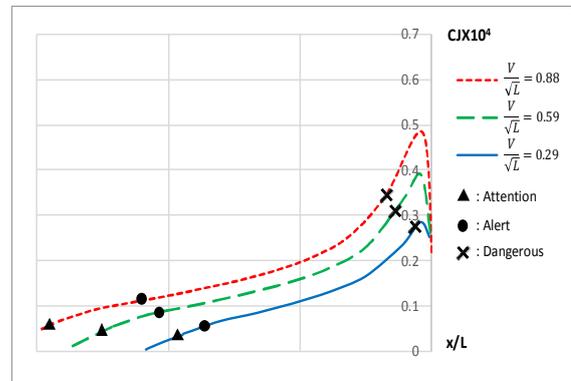


Fig. 8. CJ values due to speed variations of breakwater passing ships ($W/L=1.0 : L=289\text{m}$).

Fig. 9 및 Fig. 10에 방파제폭의 차이에 의한 항해위험지표를 나타낸다. 두 경우 모두 먼 거리에서는 방파제폭의 차이를 의식하지 못하고 방파제 가까이 접근하면, 방파제폭이 좁을수록 위험감을 크게 느낀다고 볼 수 있다. 방파제폭이 선박길이의 3배(Fig. 9), 방파제폭이 선박길이의 2배(Fig. 10) 이상이면 [매우위험]한 상태에는 이르지 못한다. 이것은 교량의 경간폭을 선박길이의 2-3배 이상으로 해야 한다는 결과(Youn et al., 2003; Park et al., 2008)와 잘 일치하며, 방파제폭, 교량경간 등을 설계할 때 선박의 길이뿐만 아니라 속력(속장비)도 고려해야 함을 알 수 있다.

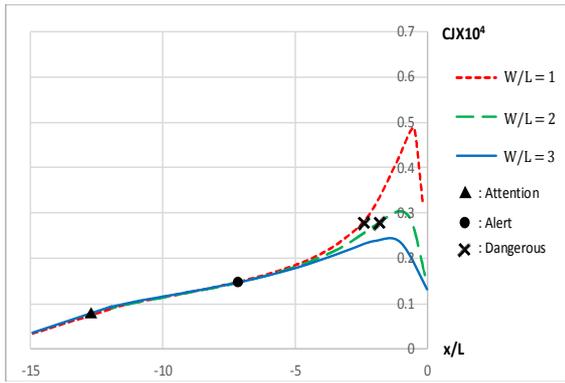


Fig. 9. CJ values due to breakwater widths of breakwater passing ships ($v/\sqrt{L}=1.0$: $L=100m$).

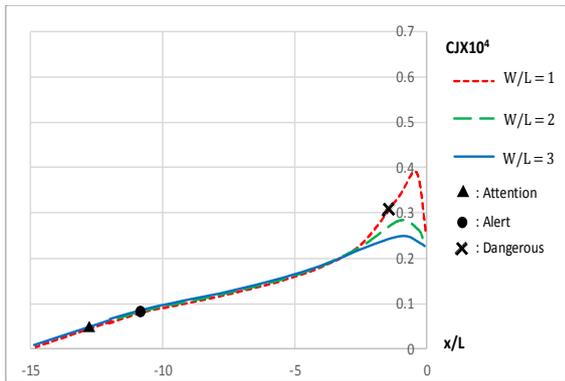


Fig. 10. CJ values due to breakwater widths of breakwater passing ships ($v/\sqrt{L}=0.59$: $L=289m$).

5. 결론

이 연구는 동적선박영역과 충돌위험평가식을 하이브리드 결합하여 자선의 크기, 속력 등의 영향을 정량적으로 지표화한 항해위험평가모델을 검토, 개선하고자 한 것으로 이상을 정리·종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

가) 동적선박영역과 충돌위험평가식을 하이브리드 결합한 항해위험평가모델은 무차원 속력 즉, 속장비가 클수록 CJ 값이 크며, CJ 값은 속장비에 의해 잘 표현되고 있다. 또한, 속장비가 크면 속장비가 작은 경우보다, 보다 먼 거리에서부터 [주의], [경계], [위험] 또는 [매우위험]상태에 도달한다.

나) 동일한 거리일 때, 속도가 빠를수록, 동일한 속도일 때, 거리가 가까울수록 CJ 값이 커지며 이 결과는 현실과 잘 일치한다. 무차원 방파제폭 W/L 이 작을수록 CJ 값은 크며, 위험지표는 보다 먼 거리에서 나타난다.

다) 방파제사이의 간격이 커지면 방파제에 보다 근접하면

위험을 느끼며, 선박크기가 커지면 방파제에서 보다 먼 거리에서 부터 위험을 느낀다고 볼 수 있다.

라) 먼 거리에서는 방파제폭의 차이를 의식하지 못하고 방파제 가까이 접근하면, 방파제폭이 좁을수록 위험감을 크게 느낀다. 방파제폭 교량경간 등을 설계할 때 선박의 길이뿐만 아니라 속력(속장비)도 고려해야 한다.

앞으로 이 결과는 위험항로 회피 또는 최적항로 구축, 방파제폭이나 교량경간 등을 포함한 항로나 항만개발, 연안항해용 안전해도 개발 등 해사안전법 시행규칙(2015.12.23.) [별표6] 안전진단 작성기준(제11조 제1항 관련)에서 진단항목으로 규정된 교통류시물레이션평가에 유효한 수단으로 자리매김하여 해양안전의 확립에 기여할 수 있을 것으로 본다. 특히, 전자해도 기반에 이 연구의 결과인 항해위험성평가모델을 적용한다면 자율운항선박의 충돌예방지원시스템으로 효과적일 것이다.

References

- [1] Arimura, N., K. Yamada, K. Watanabe, N. Shiota and K. Ohtani(1988), A Study on Man-machine System in Vessel Traffic Flow, Ship's Research, Vol. 25, No. 3, Research Report, pp. 55-71 (in Japanese).
- [2] Coldwell, T. G.(1983), Marine traffic behaviour in restricted waters, The Journal of Navigation, Vol. 36, pp. 431-444.
- [3] Fujii, Y. and K. Tanaka(1971), Traffic capacity, The Journal of Navigation, Vol. 24, pp. 543-552.
- [4] Kijima, K. and Y. Furukawa(2003), Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area, Proc. of IFAC Conf. on Maneuvering and Control of Marine Craft, Girona, Spain, pp. 262-267.
- [5] Kim, W. O., S. J. Kang, D. G. Youn, J. Y. Bae and C. J. Kim(2017), A Study on the Coastal Navigation Safety by Navigational Risk Assessment Model, Journal of Fishier and Marine Educational Research Vol. 29(1), pp. 201-207.
- [6] Kobayashi, H. and M. Endoh (1976), Analysis of Collision Avoiding Action of Ship, Journal of Japanese Navigation Research, No. 55, pp. 101-109 (in Japanese).
- [7] Park, Y., Y. Lee, J. Park, I. Cho and U. Lee(2008), A Proposal of Bridge Design Guideline by Analysis of Marine Accident Parameters occurred at Bridge Crossing Navigable Waterways, Vol. 32, pp. 743-750.
- [8] Youn, M. O., H. J. Kim, J. S. Keum and Y. C. Seong(2003), A Study on Assessment of Traffic Safety of

김원욱 · 김창제

Ship under Bridge, J. of The Korean Society of Marine
Environment and Safety, Vol. 9, No. 2, pp. 31-37.

Received : 2017. 12. 07.

Revised : 2018. 02. 02.

Accepted : 2018. 02. 26.