

제한수역에서 항행선박이 계류중인 선박에 미치는 간섭영향에 관한 연구

이 춘 기*

*한국해양대학교 수중운동체특화연구센터 연구교수

Hydrodynamic Interaction Effects Between Vessels in Confined Waters

Chun-Ki Lee*

*Research Professor, Underwater Vehicle Research Center, Korea Maritime University

요 약 : 제한수역에서, 정지해 있는 선박 부근을 대형선박이 항행할 경우, 항행선박으로 인하여 정지중인 선박에 미치는 간섭력은 항로설계 및 선박조종운동의 관점에서 보았을 때 대단히 중요한 문제이다. 이 논문에서는 대형 컨테이너 선박이 정지해 있는 선박 부근을 항행할 때, 두 선박간의 횡방향 거리, 항행선박의 속도, 항행선박의 크기 및 수심과 항행선박간의 흘수비(h/d)를 변수로 하여, 항행선박으로 인하여 정지 중인 선박에 미치는 간섭 영향에 대해서 다루었다. 이 연구의 목적은 제한수역에서 항행하는 대형컨테이너 선박과 계류중인 선박간의 상호간섭력을 수치적으로 계산하고, 계류선박에 미치는 간섭영향을 최소화할 수 있는 항행선박의 속도 및 선박간의 상호거리에 대한 검토를 행하여 항내에서의 안전조종운동에 필요한 기준을 제안하는데 있다.

핵심용어 : 선박간 간섭력, 안전속력, 횡방향거리, 제한수역, 항행선박, 계류선박

Abstract : The hydrodynamic interaction effects between the multi-bodies can not be neglected when vessels are close to each other in congested and confined waters, such as in a harbour or narrow channel. Increase in speed and size of modern vessels make it necessary to consider this interaction effects when designing harbours and navigation channels. In this research, the hydrodynamic interaction effects of the spacing between vessels and water depth along with ship's velocity are summarized and discussed. The goal of this research is to propose a guideline of appropriate speed and distance between passing and moored vessels to avoid the influence of hydrodynamic forces and to navigate safely in confined sea areas.

Key words : Ship-to-Ship Interaction effect, Safe speed, Safe distance, Confined waters, Passing vessel, mooring vessel

1. 서 론

일반적으로 많은 선박들이 왕래하여 교통량이 폭주하는 해역에서 부득이하게 대형선박이 정지중인 선박부근을 항행해야 할 경우, 항행중인 대형선박으로 인하여 정지중인 선박에 미치는 간섭영향은 해양안전 및 선박조종운동의 관점에서 보았을 때 상당히 중요한 문제이고, 이러한 해역에서는 선박간의 간섭작용과 천수영향 및 외력 등 여러 종류의 요인들이 복합적으로 작용하여 해양사고로 이어질 수 있는 위험성이 상당히 높다. 현재 부산 신항은 컨테이너 항만의 전략적 거점항임에도 불구하고 신항 기항 선박에 급유할 선박 연료유 저장·공급시설이 없어 기존 북항 시설을 이용함으로써 연료유 공급 부족과 수급 불안정으로 부산 신항의 대외 이미지 하락 및 국가 경쟁력 상실이 우려되고 있다. 따라서 부산 신항을 컨테이너 항만 개발 일변도에서 균형적인 항만발전을 위한 유류화물 취급 등 고부가가치 창출항만으로 전환하여 동북아 및 중국, 일본 등 인접국의 수출입 유류화물의 동북아 물류거점 항만으로

육성하기 위해서는 부산 신항에 선박급유 및 유류중계기 지 건설이 필요한 실정이고, 이와 관련하여 부산 신항 선박급유 및 유류중계기 지 건설에 따른 JETTY 평면배치 검토로 인하여 발생되어지는 부산 신항에 입항하는 대형 컨테이너 선박으로 인하여 계류중인 선박에 미치는 간섭력을 수치적으로 계산하고, 항행하는 대형컨테이너 선박으로 인한 간섭력이 계류 중인 선박에 미치는 영향에 대해서 구체적으로 검토할 필요가 있다. 한편, 제한수역에서 항행중인 선박간의 상호 간섭영향에 대해서는 다수의 연구자에 의해 수행되어 왔고(Kijima et al., 1991, Korsmeyer et al., 1993, Landweber et al., 1991, Taylor, 1973, Yanmin et al., 2008, Yeung, 1978), 이들 결과를 실용화하는 연구(Lee, 2003, 2010, Yoon, 1986)가 진행되고 있는 상황이다. 따라서 이 연구에서는 많은 선박들이 왕래하여 교통량이 폭주하는 해역에서의 대형 해양사고 방지를 위하여 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박과 정지해있는 선박간에 발생하는 간섭력에 대해서 양 선박간의 횡방향 거리, 항행선박의 속도, 항행선박의 흘수 및 크기를 변수로 하여 수치적으로 계

*연회원, leeck@hhu.ac.kr 051)410-4708

산하고, 이러한 간섭력이 정지해 있는 선박에 미치는 영향에 대해서 검토하여, 이러한 간섭영향을 최소화 할 수 있는 항행 선박의 속력 및 양 선박간의 상호거리에 대하여 제안하고 항내에서의 안전조종운동에 필요한 기준을 제안하고자 한다.

2. 좌표계

먼저 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박과 정지중에 있는 두 선박을 가정하자. Fig.1에 표시한 것처럼, 각 선박의 선체중심을 원점으로 하는 선체고정좌표계 $o_i - x_i y_i$ ($i = 1, 2$)를 생각할 수 있고, 대형 컨테이너 선박은 선속 U_2 로 정지중인 선박 부근을 항행하는 것으로 가정하며, 두 척의 대상선박 중 근접해 있는 1만 DWT 선박(북쪽 선박)에 대해서 검토하기로 하고, 따라서 두 선박의 방향은 일치하는 것으로 가정한다. 또한 이 연구에서 흡인력과 bow-inward moment를 +로 하였다.

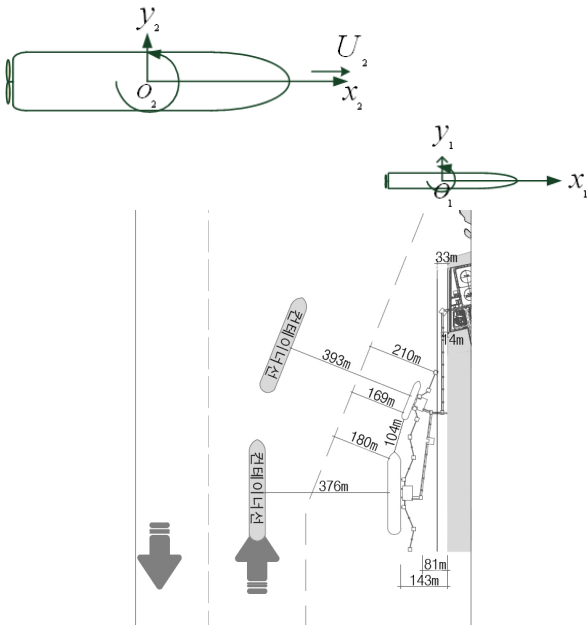


Fig. 1 좌표계 및 항로

여기서, 선체의 운동에 의한 선체 속도포텐셜 ϕ 는 다음 연속의 조건을 만족해야 한다.

$$\nabla^2 \phi(x, y, z; t) = 0 \quad (1)$$

또, $\phi(x, y, z; t)$ 가 만족해야할 경계조건은 다음과 같다.

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial z} \right|_{z=\pm h} = 0 \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial n_i} \right|_B = U_i(t)(n_x)_i \quad (3)$$

$$\phi \rightarrow 0 \text{ at } \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2} \rightarrow \infty \quad (4)$$

여기서, B_i 는 i 번째 선박의 선체표면, h 는 수심, $(n_x)_i$ 은 B_i 에 대한 안쪽 방향으로의 단위법선벡터 n_i 의 x_i 방향성분을 나타낸다. 조파의 영향을 무시하고, 수면을 딱딱한 고정벽으로 가정하여 자유표면조건을 표시하고, 수심에 관한 수저(水底)의 조건을 자유표면조건과 합하여 표시하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있고, (3), (4)는 각각 선체표면과 무한원방의 경계조건을 의미한다. 선체를 세장체로 가정하고, 상기 경계조건을 기초로 정리하면 선체중심선상에 대한 압력차 ΔP 가 얻어지고, 아래 식으로부터 선체에 작용하는 횡력 F_1 과 모멘트 M_1 을 구할 수 있다.

$$F_1(t) = -h \int_{-L/2}^{L/2} \Delta P(x_1, t) dx_1$$

$$M_1(t) = -h \int_{-L/2}^{L/2} x_1 \Delta P(x_1, t) dx_1$$

3. 정지선박이 항행중인 대형 컨테이너 선박으로부터 받는 간섭력

3.1 수치계산에 필요한 대상선박

이 절에서는 앞의 식을 기초로 하여 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박이 정지중에 있는 선박 부근을 항행하는 경우, 정지선박의 안전에 영향을 주는 간섭력에 대해서 수치 계산한다. 또한 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박과 정지중에 있는 선박의 주요 제원은 Table 1에 표시하였다. 계산 조건은 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박(6,200TEU, 12,800TEU)이 속력 U_2 (15kt, 12kt, 10kt, 8kt, 6kt)로 정지중인 선박 부근을 항행하는 것으로 가정하였고, 정지중인 선박의 현측과 항행하는 대형 컨테이너 선박의 현측간의 횡방향거리는 각각 169m(항계선에서부터 0m), 219m(항계선에서부터 50m), 269m(항계선에서부터 100m), 319m(항계선에서부터 150m), 369m(항계선에서부터 200m)로 하였으며, 항로 준설을 한다는 가정하에 수심과 항행선박의 흘수의 비, h/d 는 각각 1.2, 1.5, 2.0으로 하였다.

Table 1 항행선박과 정지중인 선박 제원

	항행선박		정지선박
	6,200 TEU	12,800 TEU	1만 DWT
Length L_{PP}	286.7m	349.6m	120m
Breadth B	40m	48.4m	20.8m
Draft d	12m	15.5m	7.9m

3.2 정지중인 선박에 미치는 간섭력 계산

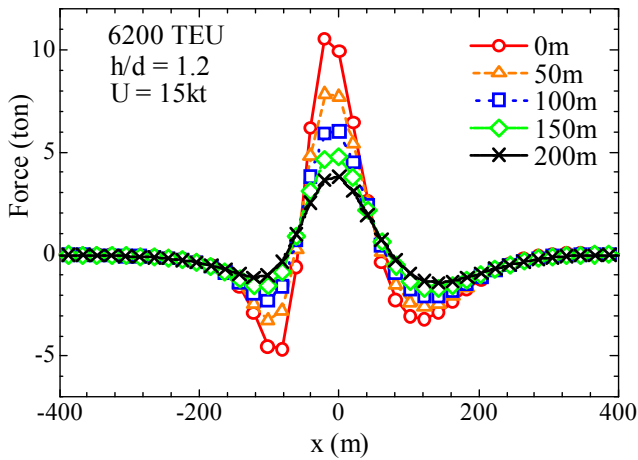


Fig. 2 Lateral force acting on stationary ship with function of lateral distance

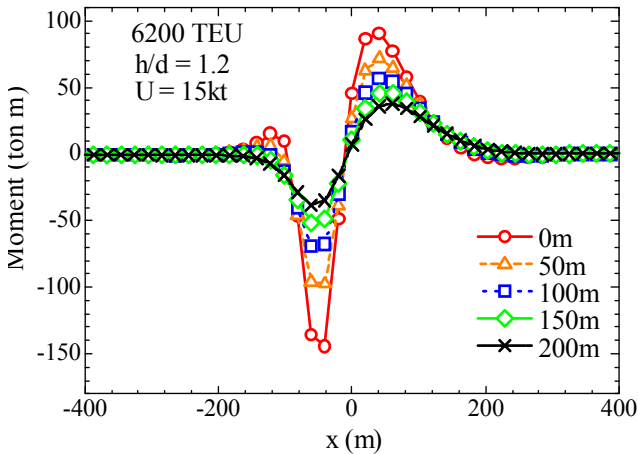


Fig. 3 Yawing moment acting on stationary ship with function of lateral distance

Fig.2 및 Fig.3은 항내로 입항하는 6200 TEU 대형 컨테이너 선박이 1만 DWT 정지선박 부근을 항행할 경우, 항행선박으로 인하여 1만 DWT 정지선박에 발생되는 간섭력의 계산 결과를 나타내고 있다. 여기서 항행선박에 대한 수심과 흘수비(h/d)는 1.2로 하였고, 항행선박의 속력은 15kt로 하였으며, 정지중인 선박의 현측과 항행하는 대형 컨테이너 선박의 현측간의 횡방향거리는 각각 169m(항계선으로부터 0m), 219m(항계선으로부터 50m), 269m(항계선으로부터 100m), 319m(항계선으로부터 150m), 369m(항계선으로부터 200m)로 계산하였다.

Fig.2에서 정지선박에 작용하는 간섭력의 일반적인 경향을 설명하면 다음과 같다. 항행하는 대형 컨테이너 선박의 중심이 정지선박의 중심으로부터 약 200m 전방을 항행할 때, 항행선박으로 인하여 정지선박은 간섭력의 영향이 나타나기 시작하는 것을 알 수 있고, 항행선박과 정지선박의 중심이 나란히 되었을 때, 정지선박에 작용하는 간섭력의 영향이 최대로 나

타나는 것을 알 수 있으며, 항행선박이 정지선박의 중심으로 부터 약 200m정도 지났을 때 이 간섭력은 점차 사라지는 것을 알 수 있다.

또한 정지선박에 작용하는 간섭력의 크기를 비교해 보면, 양 선박의 현측간의 간격을 169m로 하였을 경우에 비해서 양 선박의 현측간의 간격을 269m 정도 떨어져서 항행하는 경우, 정지중인 선박에 미치는 간섭력이 대략 40% 정도 감소하고, 양 선박의 현측간의 간격을 369m 정도 떨어져서 항행하는 경우에는 대략 60% 정도 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig.3에서 항행선박으로 인하여 정지선박에 작용하는 모멘트에 대한 일반적인 경향은 항행선박이 정지선박의 중심으로 부터 약 200m 전방과 200m 후방 사이에서 bow-inward 및 bow-outward 모멘트가 서로 반복하여 증감을 한 후, 항행선박의 영향이 점차 사라지는 것을 알 수 있다.

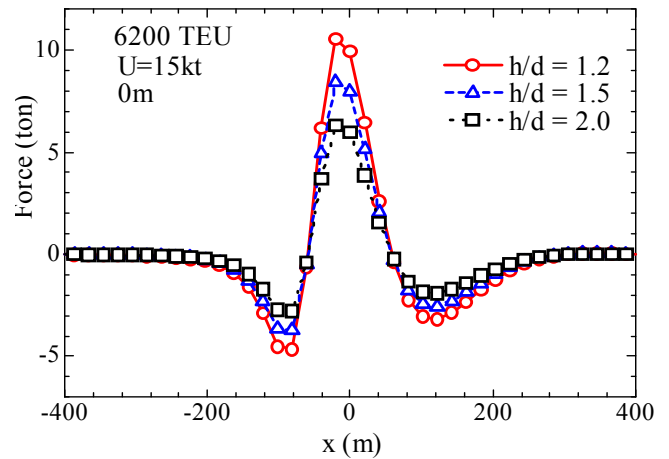


Fig. 4 Lateral force acting on stationary ship with function of h/d

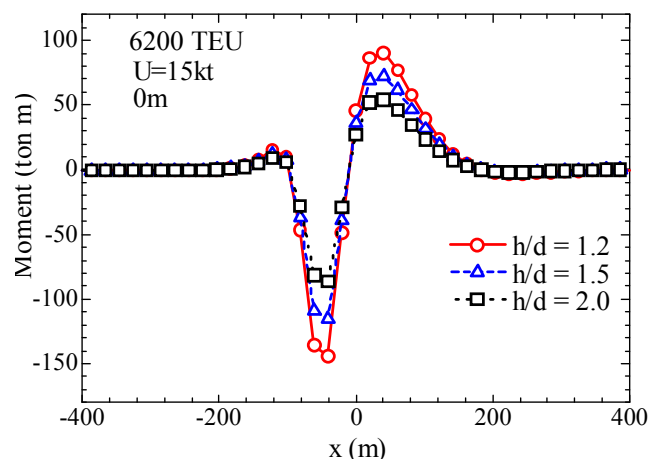


Fig. 5 Yawing moment acting on stationary ship with function of h/d

Fig.4와 Fig.5는 항내로 입항하는 6200 TEU 대형 컨테이너 선박에 대한 수심과 흘수비, h/d를 각각 1.2, 1.5, 2.0으로 변화

를 주었을 경우, 항행선박으로 인하여 1만 DWT 정지선박에 미치는 간섭력에 대한 계산 결과를 나타내고 있다. 여기서 항행선박의 선속은 15kt로 하였고, 항행선박은 항계선으로부터 0m, 즉, 항행선박의 현측과 정지선박의 현측간의 간격을 169m로 계산하였다. 계산 결과 간섭력에 대한 일반적인 경향은 Fig.2 및 Fig.3과 비슷한 경향을 보여주고 있는 것을 알 수 있고, 정지선박에 미치는 간섭력의 크기는 $h/d=1.2$ 에 비해서 $h/d=2.0$ 의 경우, 대략 40%정도 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig.6과 Fig.7은 항내로 입항하는 6200 TEU 대형 컨테이너 선박의 속력에 변화를 주었을 때의 1만 DWT 정지선박에 미치는 간섭력의 계산 결과를 보여주고 있다.

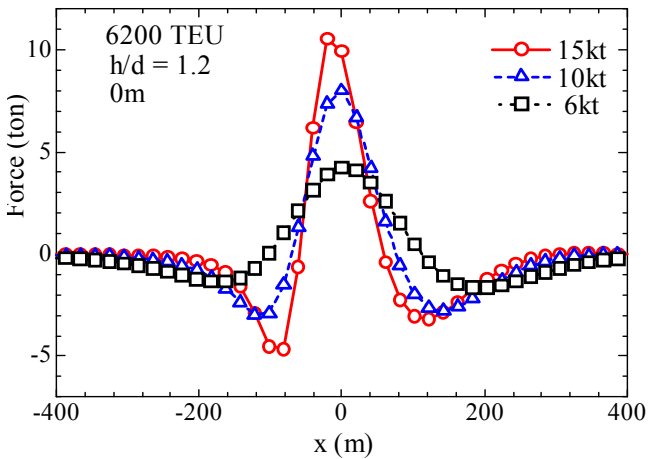


Fig. 6 Lateral force acting on stationary ship with function of velocity

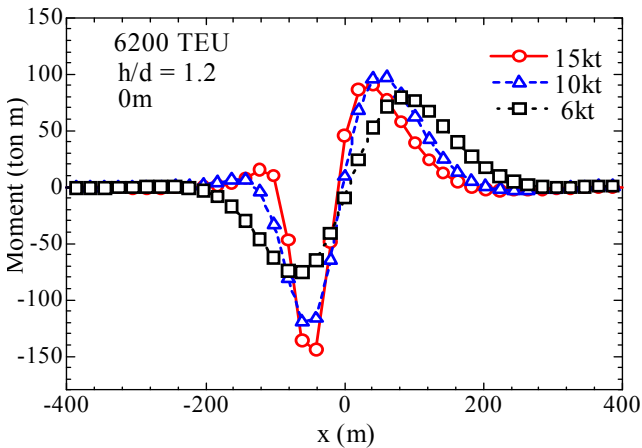


Fig. 7 Yawing moment acting on stationary ship with function of velocity

Fig.6과 Fig.7에서 항행선박은 항계선으로부터 0m, 즉, 항행선박의 현측과 계류선박의 현측간의 간격을 169m로 계산하였고, 선속은 15kt, 10kt, 6kt로 계산하였으며, 항행선박의 흘수와 수심간의 비, h/d 는 1.2로 계산하였다. 계산 결과 간섭력에 대한 일반적인 경향은 Fig.2 및 Fig.3과 비슷한 경향을 보

여주고 있는 것을 알 수 있고, 정지선박에 미치는 간섭력의 크기는 항행선박의 선속을 15kt로 하였을 경우에 비해서 6kt로 하였을 때, 대략 60%정도 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig.8과 Fig.9는 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박의 크기에 변화를 주었을 때의 1만 DWT 정지선박에 미치는 간섭력의 계산 결과를 보여주고 있다. Fig.8 및 Fig.9에서 항행선박은 항계선으로부터 0m, 즉, 항행선박의 현측과 정지선박의 현측간의 간격을 169m로 계산하였고, 항행선박의 선속은 15kt로 하였으며, 항행선박의 흘수와 수심간의 비, h/d 는 1.2로 계산하였다.

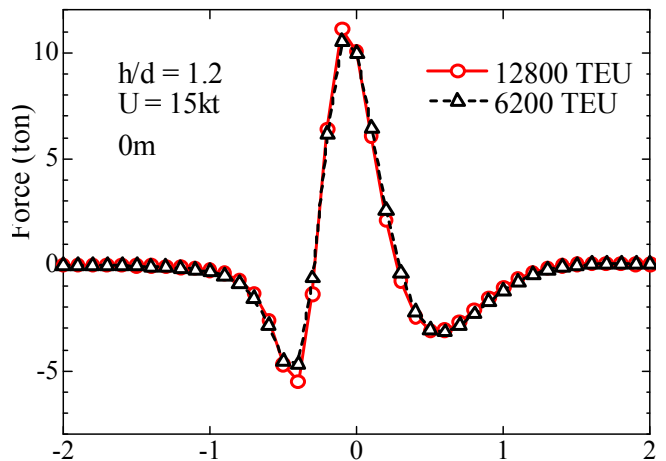


Fig. 8 Lateral force acting on stationary ship with function of length

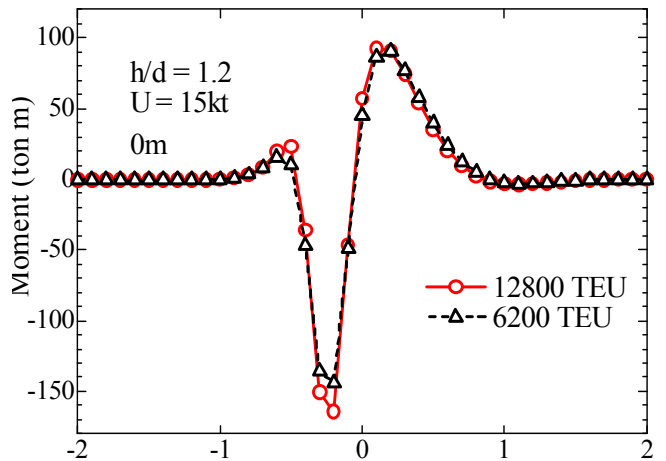


Fig. 9 Yawing moment acting on stationary ship with function of length

Fig.8 및 Fig.9로부터 알 수 있듯이 항행선박의 크기가 커질수록 정지선박에 미치는 간섭력도 증가를 하나, 양 선박의 횡방향거리가 150m 이상 되었을 경우에는 간섭영향의 크기가 미미하게 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 x축 방향은 선박 진행거리에 대한 무차원화된 값을 의미한다.

Fig.10 및 Fig.11은 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박의

크기 및 속력에 변화를 주었을 때의 1만 DWT 정지선박에 미치는 최대 힘 및 최대 모멘트 값을 표시한 것이다. Fig.10 및 Fig.11에서 항행선박은 항계선으로부터 0m, 즉, 항행선박의 현측과 정지선박의 현측간의 간격을 169m로 계산하였고, 항행하는 대형 컨테이너 선박은 12800 TEU 및 6200 TEU로 하였으며, 항행선박의 흘수와 수심간의 비 h/d 는 1.2로 계산하였다.

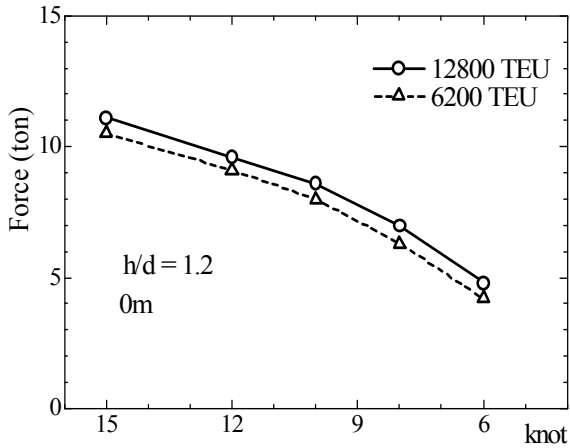


Fig. 10 Variation of maximum lateral force acting on moored ship according to passing ship size and velocity

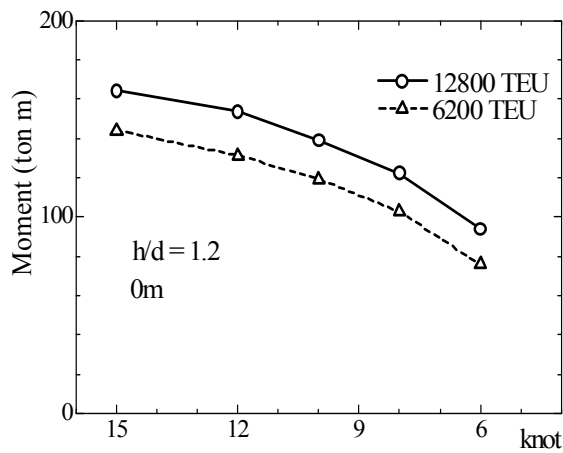


Fig. 11 Variation of maximum yaw moment acting on moored ship according to passing ship size and velocity

Fig.10 및 Fig.11로부터 알 수 있듯이 항행선박의 크기 및 속력이 커질수록 정지선박에 미치는 간섭력의 크기도 증가하는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박이 부득이하게 정지중에 있는 선박 부근을 항행해야 할 경우, 항행선박으로 인하여 정지선박에 미치는 간섭력에 대해서 검토하였다. 검토결과, 항행선박과 정지중인 선박간의 횡방향거리가 멀면 멀수록, 선속을 줄이면 줄일수록, 수심이 깊어지면 깊어질수록 간섭력의 크기도 현저하게 감소하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 항내에서의 대형 해양사고 방지를 위하여 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박과 정지해있는 선박간에 발생하는 간섭력에 대해서 양 선박간의 횡방향 거리, 항행선박의 선속, 항행선박의 흘수 및 크기를 변수로 하여 수치적으로 계산하였고, 이러한 간섭력이 정지해 있는 선박에 미치는 영향에 대해서 검토하였으며, 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박의 현측과 정지중인 선박의 현측간의 횡방향거리가 간섭력의 크기에 많은 영향을 주는 것을 알았다. 즉, 항행선박의 선속을 15kt로 증속하였을 경우, 항행선박의 현측과 정지선박의 현측간의 간격을 169m로 하였을 경우에 비해서 양 선박의 현측간의 간격을 269m 정도 떨어져서 항행하는 경우, 정지중인 선박에 미치는 간섭력이 대략 40% 정도 감소하고, 양 선박의 현측간의 간격을 369m 정도 떨어져서 항행하는 경우에는 대략 60% 정도 감소하는 것을 알았다. 따라서 간섭력만을 놓고 보았을 때, 항행선박의 속력을 증속할 경우에는 항계선으로부터 상당한 거리를 두고 항행하고, 정지선박의 안전을 위하여 필요한 예선을 적절하게 이용하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

둘째, 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박에 대한 수심과 흘수비(h/d)가 간섭력의 크기에 많은 영향을 주는 것을 알았다. 즉, 항행선박의 선속을 15kt로 하고, 항행선박의 현측과 정지선박의 현측간의 간격을 169m로 하였을 경우, $h/d=1.2$ 에 비해서 $h/d=2.0$ 의 경우, 간섭력은 40%정도 감소하는 것을 알았다. 따라서 간섭력만을 놓고 보았을 때, 항행선박의 속력이 상당히 있을지라도 항행선박의 흘수에 비해 여유수심이 상당히 있고, 항계선으로부터 상당한 거리를 두고 항행하면서 정지선박의 안전에 필요한 예선을 적절하게 이용할 경우에는 정지선박에 크게 지장이 없을 것으로 사료된다.

셋째, 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박의 속력 변화가 간섭력의 크기에 많은 영향을 주는 것을 알았다. 즉, 항행선박의 현측과 정지선박의 현측간의 간격을 169m로 하였을 경우 항행선박의 선속을 15kt에서 6kt까지 계산한 결과, 선속 15kt에 비해서 6kt로 하였을 경우, 정지중인 선박에 미치는 간섭력은 60%정도 감소하는 것을 알았다. 따라서 부득이 정지선박 부근을 항행할 경우에는, 저속으로 항행하고, 정지선박의 안전에 필요한 예선을 적절하게 이용해야 할 것으로 사료된다.

넷째, 선박과 선박간의 현측간의 거리를 150m이상 두고 항행할 경우에는 항내로 입항하는 대형 컨테이너 선박의 크기가 간섭력의 크기에 영향을 주지만, 미미하게 커진다는 것을 알았다. 따라서 이상의 결과로부터 볼 때, 위의 사항을 고려하여 조선(操船)하면 정지중인 선박의 안전에는 크게 문제가 되지 않을 것으로 사료된다.

마지막으로 본 연구에서는 간섭력에 대해서만 검토하였으나, 향후 연구과제로서 계산되어진 간섭력을 바탕으로 선박조종운동시뮬레이션을 행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 방위사업청 지정 수중운동체특화연구센터 및 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2011-0003039)

참 고 문 헌

- [1] Kijima, K., Furukawa, Y. and Qing, H.(1991), "The Interaction Effects between Two Ships in the Proximity of Bank Wall", Trans. of the West-Japan Society of Naval Architects, Vol.81.
- [2] Korsmeyer, F.T., Lee, C.H. and Newman, J.N.(1993), "Computation of Ship Interaction Forces in Restricted Waters", Journal of Ship Research, Vol.37.
- [3] Landweber, L., Chwang, A.T. and Guo, Z.(1991), "Interaction Between Two Bodies Translating in an Inviscid Fluid", Journal of Ship Research, Vol.35.
- [4] Lee, C.K.(2003), "Assessment of Safe Navigation Including the Effect of Ship-Ship Interaction in Restricted Waterways", International Journal of Navigation and Port Research, Vol.27.
- [5] Lee, C.K.(2010), "천수역에서 외력하에 근접 항행중인 선박의 안전조건에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 제34권 제10호.
- [6] Taylor, P.J.(1973) "The Blockage Coefficient for Flow about an Arbitrary Body Immersed in a Channel", Journal of Ship Research, Vol. 17.
- [7] Yanmin Xu, Zaojian Zou, Mingjun Liu, and Kamlesh S.V.(2008), "Study on Critical-uncontrollable Hydrodynamic Interaction between Ships" Proceedings of the Eighteenth(2008) International Offshore and Polar Engineering Conference, Canada, 2008.
- [8] Yeung, R.W(1978), "On the Interaction of Slender Ships in Shallow Water", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 85.
- [9] Yoon, J.D.(1986) "선박간의 상호작용과 안전조건에 관한 연구", 한국항해학회지, 제10권 제1호.

원고접수일 : 2011년 10월 27일

심사완료일 : 2011년 12월 14일

원고채택일 : 2011년 12월 20일