

소형어선의 크기에 따른 규칙파 중 운동응답 특성에 관한 연구

임남균* · 이상민**†

* 목포해양대학교 항해학부 교수, ** 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부 교수

A Study on Motion Response of Small Fishing Vessels According to Various Tonnage in Regular Waves

Nam-Kyun Im* · Sang-Min Lee**†

* Professor, Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

** Professor, Division of Marine Industry Transportation Science and Technology, Kunsan National University, Kunsan 54150, Korea

요약 : 본 연구는 최근 해양사고가 점차 증가하고 있는 10톤 미만 소형어선의 규칙파 중 운동응답 특성에 대하여 수치해석을 통하여 분석하였다. 10톤 미만의 소형선박들을 크기별로 구분하여 해양사고 분석에 이용되고 있기 때문에 본 연구에서도 서로 다른 크기의 소형어선 3척을 대상으로 운동응답 해석을 수행하였다. 선수파인 경우 장파장 영역에서 속력이 높아질수록 상하동요 및 종동요 응답도 커지고 있는 현상을 확인하였다. 가장 작은 3톤급 어선의 운동응답이 다른 크기의 어선보다 더 크게 나타나는 특성을 보여주었다. 선수사파 상태에서의 횡동요 운동은, 선박의 크기와 관계없이 점차 속력이 높아질수록 운동응답의 최대값이 장파장 영역으로 이동되는 특성을 확인할 수 있었다. 선수사파와 횡파에서 3척의 소형어선 모두 속력이 가장 높은 15노트에서 횡동요 운동이 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 선수파 및 선수사파를 받으면서 항행할 경우 속력을 낮추는 것이 종운동과 횡운동 영향을 감소시킬 수 있는 방법이라고 보여진다. 횡파에 의한 횡동요는 속력 및 선박의 크기와 관계없이 특정 파장에서만 급격히 커지는 경향을 보여 주었다. 전진속력이 있을 경우 선수사파에 비해서 선미사파에서의 확연한 횡동요 감소 현상을 확인할 수 있었다. 선박의 크기 및 속력에 따라 선체운동응답의 최대값이 나타나는 특정 영역이 있으므로 이 운동 영향을 최소화 시킬 수 있는 운항방법이 고려되어 실행되어야 한다.

핵심용어 : 소형어선, 규칙파, 수치해석, 상하동요, 종동요, 횡동요

Abstract : Recently, reports of marine accidents of small fishing vessels less than 10 tons have been increasing. In this study, the characteristics of the motion response in regular waves were analyzed using computations for these ships. Small vessels less than 10 tons are classified by size and used for marine accident investigations. Therefore, the motion response analysis was performed on three small fishing vessels of different sizes. In the case of the head sea, it was confirmed that as the speed of the vessel increased in the long wavelength region, the motion responses of heave and pitch became large. The motion response of the smallest 3-ton fishing vessel was greater than that of the other sizes of fishing vessels. The maximum value of the roll motion shifted to the long wavelength region as the speed gradually increased in the bow sea, regardless of the size of the ship. In all the three small fishing vessels, it was found that the roll motion was the greatest at 15 knots, the highest speed in both bow and beam seas. When sailing in the head sea and bow sea conditions, lowering the speed is one of the effective approaches to reduce the effects of the vertical and lateral plane motions. The roll motion caused by the beam wave showed a tendency to increase rapidly only at a specific wavelength regardless of the speed and the size of the vessel. It was confirmed that the roll motion was significantly reduced with forward speed in the stern wave compared to the bow wave. As there is a specific region where the maximum value of the hull motion response appears depending on the size and speed of the ship, an operation method that can minimize the effect of this motion should be considered and implemented.

Key Words : Small fishing vessel, Regular waves, Numerical calculation, Heave, Pitch, Roll

* First Author : namkyun.im@mmu.ac.kr, 061-240-7177

† Corresponding Author : smlee@kunsan.ac.kr, 063-469-1814

1. 서론

최근에 발생되고 있는 해양사고 척수는 매년 점차 증가하고 있으며, 10톤 미만의 선박이 매우 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다(Korean Maritime Safety Tribunal, 2021). 10톤 미만의 소형선박들을 크기별로 더 세분화시켜 매년 해양사고 통계 자료로 활용되고 있다. 소형선박 중 ‘소형어선’은 총톤수 10톤 미만의 어선이라고 정의되고 있다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2020). 소형어선은 파랑 영향 등에 의해 발생하는 전복 사고와 같은 중대한 해양사고 발생 위험이 높은 선박이라고 판단된다. 따라서 10톤 미만인 소형어선 중 서로 다른 크기의 선박을 대상으로 파랑 중 운동성능을 조사 및 분석하여 그 특성에 적합한 선박별 안전 운항 대책 마련이 필요하다고 할 수 있다.

총톤수 약 7톤의 소형어선을 대상으로 횡동요 특성을 파랑과의 만남각 및 선속 변화에 따라 분석한 연구가 실시되었다(Kang et al., 2007). 이 연구에서는 횡파에서 가장 큰 횡동요가 발생하고, 속력이 높아질수록 운동 응답도 커지는 결과를 확인하였으나, 단일 선박만을 대상으로 횡운동 특성만 분석하였기 때문에 서로 다른 크기의 소형어선에 대한 전반적인 운동 특성을 비교하는 연구가 필요하다. 100톤급 이상의 어선들을 대상으로 어선의 크기별 응답 특성을 비교한 연구가 실행 되었지만(Kang et al., 1996; Datta et al., 2011), 소형어선에 대한 상호 비교 연구는 현재까지 거의 수행되지 않고 있다. 약 15미터 길이의 어선을 대상으로 횡동요 실험 및 전복경고시스템 개발에 관한 연구가 수행되었으며(Yang and Kwon, 2017), 3톤급 어선의 부가물이 저항성능에 미치는 영향에 대한 연구도 실행되었다(Park, 2018).

본 연구에서는 소형어선 3척을 대상으로 규칙과 중 운동 및 횡운동 응답 특성을 각 선박별로 상호 비교·분석하였다. 수치계산은 계산속도가 빠르고 계산 결과에 대한 신뢰성이 비교적 높은 스트립 방법(Tezdogan et al., 2014)을 이용하였다.

2. 해양사고 분석

최근 5년간 발생한 해양사고에 대하여 중앙해양안전심판원에서 발간하는 해양사고 통계를 토대로 분석하였다(Korean Maritime Safety Tribunal, 2021). Fig. 1은 선박의 총톤수(gross tonnage)별 해양사고 현황을 나타내고 있다. 2016년부터 2020년까지 발생한 해양사고 선박의 전체 척수는 2,549척, 2,882척, 2,968척, 3,274척, 3,535척인데 이 중에서 상위 4

개의 톤수 범위의 선박만을 Fig. 1에 표시하고 있다. 가장 많이 해양사고가 발생하고 있는 톤수 범위는 5톤이상 10톤 미만의 선박들이고, 이어서 3톤이상 5톤미만의 선박들이 많이 발생하고 있는 것으로 나타난다. 최근 5년간 발생한 전체 해양사고 척수는 15,208척이며, 10톤 미만의 선박들은 9,896척으로 전체 해양사고의 65.07%를 차지하고 있다. 즉 전체 해양사고 발생 선박들 중 10톤 미만의 선박들이 상당 부분을 차지하고 있으며 또한 매년 해양사고가 증가하고 있는 현황을 확인 할 수 있다.

Fig. 2는 사고 종류별 해양사고 현황 중 전복 사고에 대한 내용만을 보여주고 있다. 전복 사고가 가장 많이 발생한 선박의 크기는 10톤 미만의 선박들임을 알 수 있다. 즉 소형선박일수록 전복과 같은 중대한 해양사고가 발생할 위험이 높다고 판단된다.

Fig. 3은 총톤수별 인명사고 현황으로서 사망·실종된 인원을 나타내고 있다. 가장 많은 인명사고를 발생시킨 선박의 크기는 5톤이상 10톤 미만의 선박들인 것으로 확인된다.

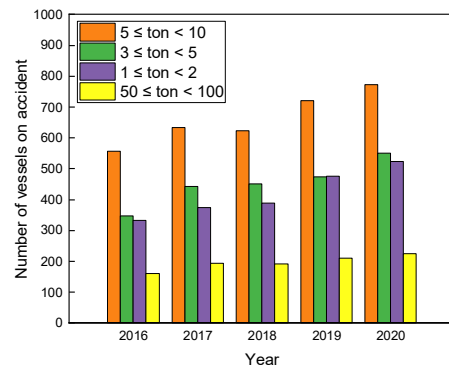


Fig. 1. Status of marine accidents according to gross tonnage (Source: Korean Maritime Safety Tribunal, 2021).

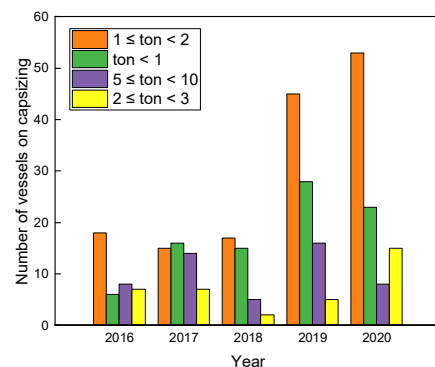


Fig. 2. Status of marine accidents of capsizing according to gross tonnage (Source: Korean Maritime Safety Tribunal, 2021).

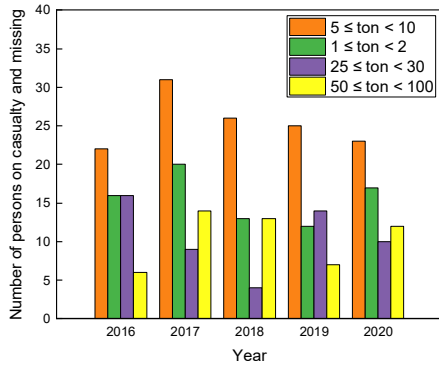


Fig. 3. Status of casualties according to gross tonnage (Source: Korean Maritime Safety Tribunal, 2021).

3. 수치계산

3.1 수치계산 방법

본 연구에서는 최근 해양사고 및 인명사고가 많이 발생하고 있는 선박의 크기인 10톤 미만의 소형어선을 대상으로 파랑 중 운동응답을 분석하기 위하여 수치계산을 실시하였다. 선박의 크기별 운동응답 특성을 비교하기 위하여 총톤수 3톤급, 7톤급 및 10톤급 어선을 선정하였다. 자세한 제원은 Table 1에 나타내고 있으며, Fig. 4는 각각의 소형어선 정면도 모습을 보여주고 있다.

수치계산에 사용된 스트립 방법은 전진속도 영향이 고려되며 어선의 내향성능 분석(Masuya, 2007)에도 활용된 NSM (New Strip Method)을 이용하였다. 선박의 운동응답 값은 규칙과 중에서의 종운동인 종동요와 상하동요, 횡운동인 횡동요를 대상으로 분석하였다. 횡운동 계산시 횡동요 운동응답에 중요한 영향을 미치는 감쇄력이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 마찰성분, 조파성분, 양력성분 및 조와성분이 포함된 감쇄력 계수를 제안한 Ikeda(1984)의 추정식을 사용하

였다. 소형어선의 선체 형상별 운동특성을 비교하기 위하여 빌지킬 영향을 고려하지 않았다.

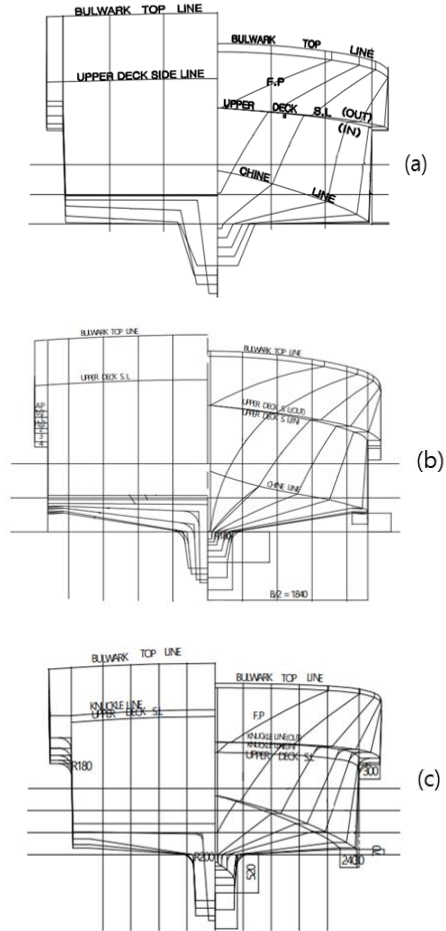


Fig. 4. Body plan for (a) 3ton, (b) 7ton and (c) 10ton class of small fishing vessel.

Table 1. Principal particulars of vessels

Description	Symbol	3 G/T class	7 G/T class	10 G/T class
Length between perpendicular [m]	<i>L</i>	9.46	11.50	14.88
Breadth [m]	<i>B</i>	2.87	3.68	4.1
Draft [m]	<i>d</i>	0.54	0.83	0.8
Gross tonnage [ton]	<i>G/T</i>	2.99	7.31	9.77
Block coefficient	<i>C_b</i>	0.34	0.58	0.46
Metacentric height [m]	<i>GM</i>	0.837	0.876	1.28
Speed [knot]	<i>U</i>	0, 7, 11, 15	0, 7, 11, 15	0, 7, 11, 15
Speed	<i>F_n</i>	0.0, 0.374, 0.588, 0.801	0.0, 0.339, 0.533, 0.727	0.0, 0.298, 0.469, 0.639
Length to breadth ratio	<i>L/B</i>	3.296	3.125	3.382
Breadth to draft ratio	<i>B/d</i>	5.276	4.434	5.125

파랑과의 만남각(χ)은 Fig. 5와 같이 선수파(head sea), 선수사파(bow sea), 횡파(beam sea), 선미사파(stern sea), 선미파(following sea)인 상태에서 계산하였다. 선수파는 만남각이 180도, 선미파는 0도인 상태를 의미한다. 선체운동응답은 파진폭(ζ) 및 파수(K)에 의하여 무차원화된 값으로 표현하였다. 3톤급 어선의 경우 연간 약 80%를 11노트의 속력으로 운항하고 있다고 조사되었다(Kim et al., 2017). 그러나 본 연구에서는 선속이 운동응답에 미치는 영향을 파악하기 위하여 정지상태를 포함한 4가지의 속력 조건에서 수치계산을 실행하였다.

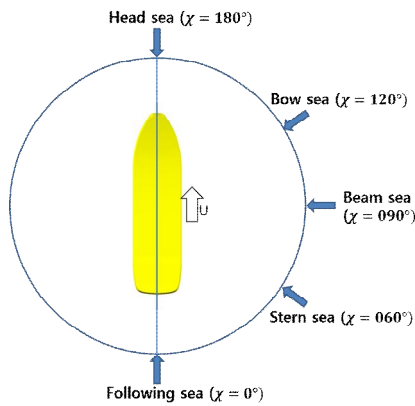


Fig. 5. Wave encounter angle.

3.2 중운동 특성 분석

수치계산에 의한 상하동요 및 중동요 결과를 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내고 있다. 좌측 그래프는 3톤급 어선, 중앙은 7톤급 어선, 우측은 10톤급 어선에 대한 계산결과이다.

Fig. 6의 선수파($\chi = 180^\circ$)에서의 상하동요 운동 특성을 살펴보면, 파장이 선박 길이의 2배 정도가 될 때까지의 파장 영역에서는 선박의 크기와 상관없이 정지상태에서 가장 큰 운동응답 값이 나타나고 있는 모습을 확인할 수 있다. 그러나 $\lambda/L = 2.0$ 이상이 되는 장파장 영역에서는 속력이 높아질수록 상하동요도 함께 커지고 있는 현상이 나타나고 있다. 다만, 10톤급 어선에서는 $\lambda/L = 2.7$ 이상에서 정지시의 상하동요가 가장 커지는 것을 볼 수 있다.

정지상태에서의 소형어선은 파장이 길어지면서 중동요 운동도 커지고 있는 것을 알 수 있다. $\lambda/L = 2.0$ 보다 파장이 긴 영역에서는 선속이 높아질수록 중동요도 커지고 있으며, 가장 작은 3톤급 어선의 응답이 다른 크기의 어선보다 더 크게 나타나는 특성을 보여주고 있다. $\lambda/L = 3.0$ 이상의 장파장 영역에서는 정지상태의 10톤급 어선에서 매우 높은 중동요 및 상하동요 운동응답이 나타나고 있어 주의가 필요하다고 할 수 있다. 또한 속력이 높을수록 운동응답이 커지기 때문에 7노트와 같이 속력을 감속하여 운항하는 것이 중운동을 경감시킬 수 있는 방법이라고 판단된다.

다음으로 선미파($\chi = 0^\circ$)에서의 상하동요 특성을 분석해

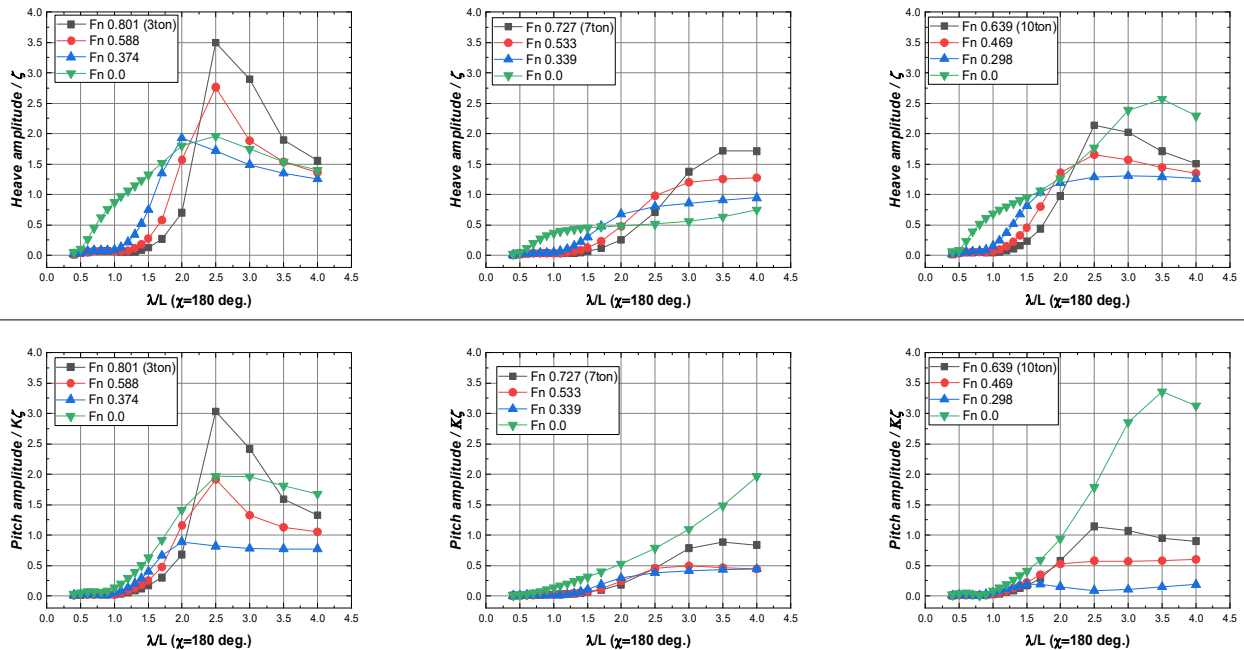


Fig. 6. Heave and pitch motions in head sea ($\chi = 180^\circ$).

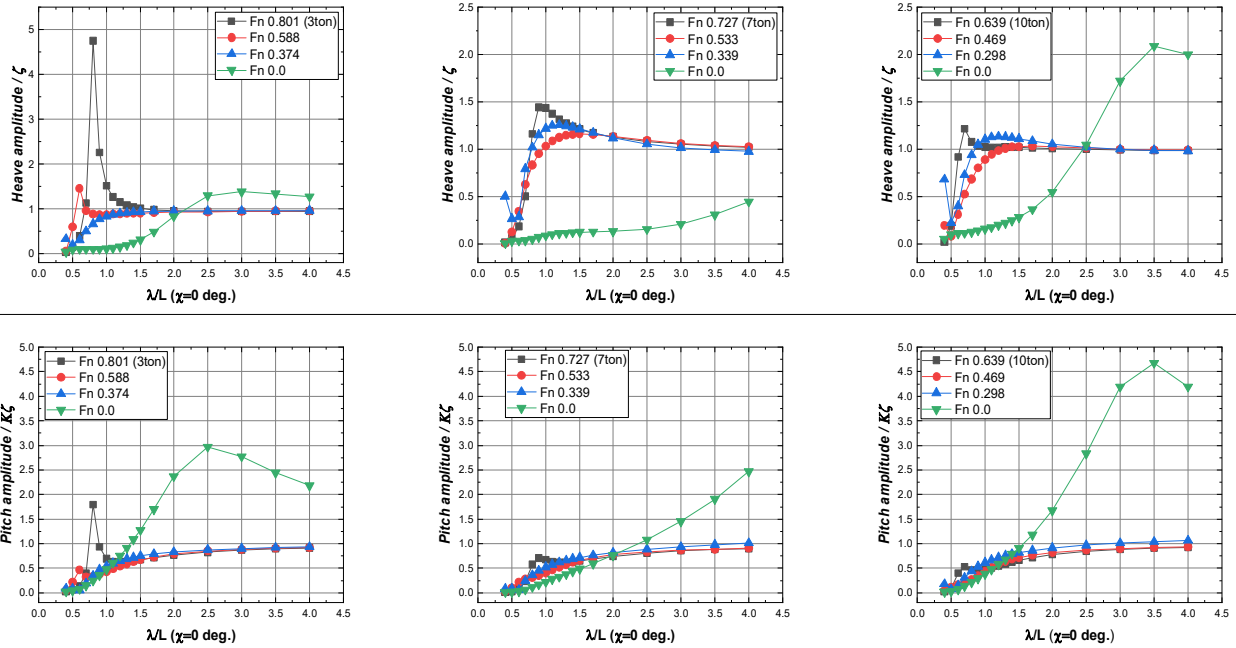


Fig. 7. Heave and pitch motions in following sea ($\chi = 0^\circ$).

보면(Fig. 7), 15노트 속력의 3톤급 선박이 $\lambda/L=0.8$ 에서 나타나는 피크 값을 제외하면 모든 크기의 어선은 전진 중인 속력과 상관없이 일정한 운동값인 1.0에 근사하고 있는 모습이 확인되고 있다. 정지상태에서는 파장이 길어질수록 운동 응답도 같이 커지고 있으며, 10톤급 어선에서 제일 큰 변화를 보여주고 있다.

중동요 운동응답은 상하동요와 유사하게 속력과 상관없이 일정한 운동값에 근사하고 있으며, 정지상태에서는 장파장이 될수록 운동응답도 커지고 있는 모습을 나타내고 있다. 선수파에서와 마찬가지로 선미파에서도 정지상태인 10톤급 어선의 경우 $\lambda/L=3.0$ 이상의 장파장 영역에서 상하동요 및 중동요 운동응답이 매우 커지고 있으므로 이러한 상황을 피하도록 운항해야 될 것으로 판단된다.

3.3 횡운동 특성 분석

Fig. 8~Fig. 10은 규칙파에 의한 횡동요 운동응답 계산 결과를 선수사파($\chi=120^\circ$), 횡파($\chi=090^\circ$) 및 선미사파($\chi=060^\circ$)로 구분하여 각각 나타내고 있다.

Fig. 8의 선수사파 상태에서의 횡동요 운동 특성을 분석해보면, 선박의 크기와 관계없이 정지상태에서 점차 속력이 높아질수록 운동응답의 최대값이 장파장 영역으로 이동되는 특성을 확인할 수 있다. 3톤급과 7톤급 어선은 속력이 높을수록 최대값 또한 점차 커지고 있는 것을 보여주고 있다. 3척의 선박 모두 속력이 가장 높은 15노트에서 횡동요 운동이 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

정지상태에서는 3톤급과 7톤급에서 $\lambda/L=1.7$ 일 때 최대값을 나타내고 있으며, 10톤급에서는 $\lambda/L=1.2$ 에서 최대값

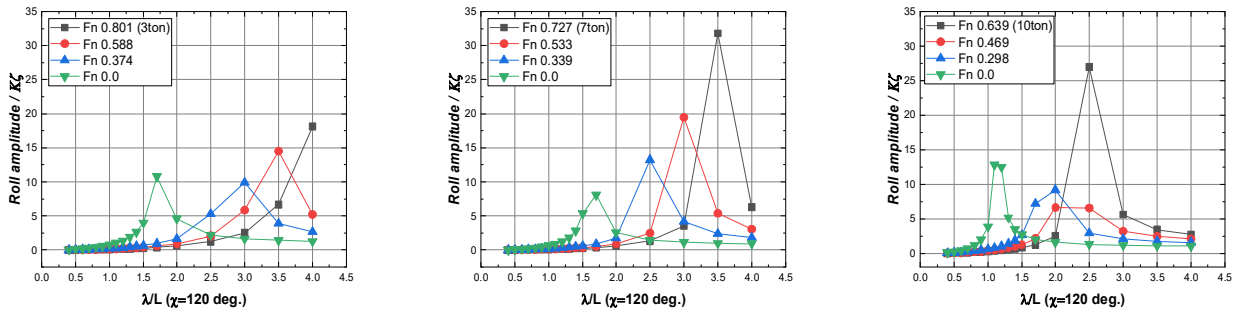


Fig. 8. Roll motions in bow sea ($\chi = 120^\circ$).

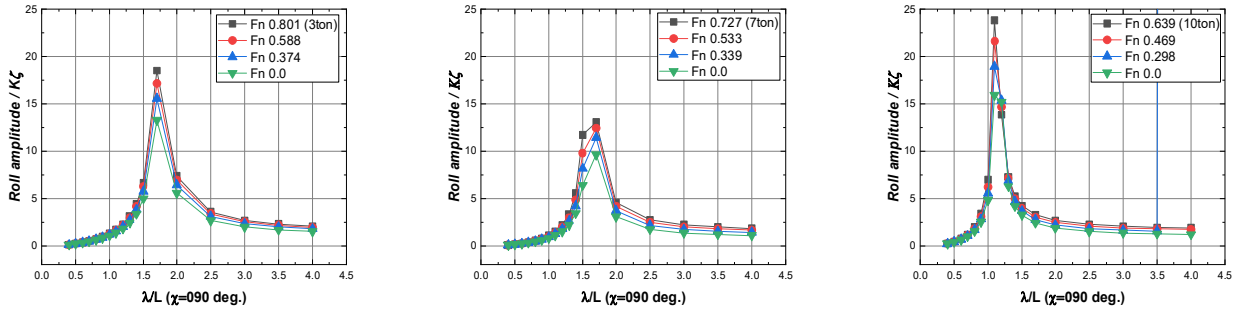


Fig. 9. Roll motions in beam sea ($\chi = 090^\circ$).

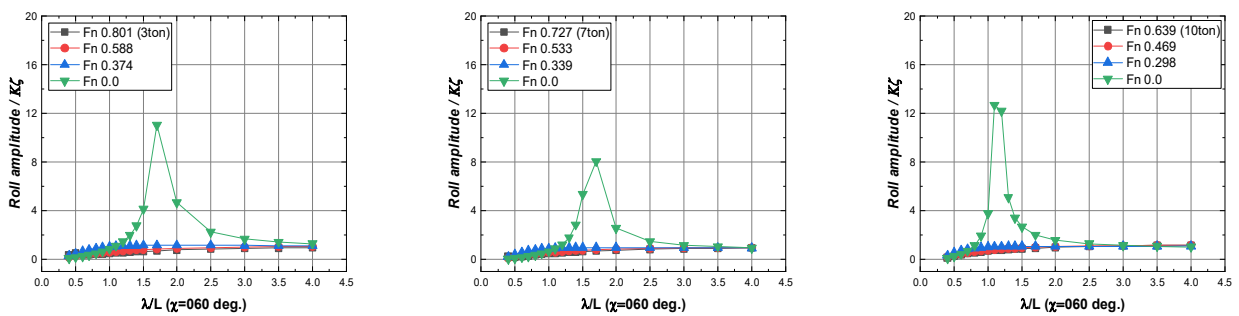


Fig. 10. Roll motions in stern sea ($\chi = 060^\circ$).

을 나타내고 있다. 또한 7노트 이상의 속력에서는 $\lambda/L = 2.0$ 이상의 장파장 영역에서 운동응답이 커지고 있다. 선수사파를 받으면서 항행할 경우 횡동요가 심하게 발생하면 가능한 한 속력을 낮추는 것이 횡운동 영향을 감소시킬수 있는 방법이라고 추정된다.

Fig. 9는 정횡 방향에서 파랑을 만나게 되는 상황의 횡동요 운동응답 계산 결과를 보여주고 있다. 횡동요 운동응답 결과는 선수사파에서 나타나는 현상과는 다른 모습을 나타내고 있다.

정횡 방향의 파랑에 의한 횡동요는 속력 및 선박의 크기와 관계없이 특정 파장에서만 급격히 커지는 경향을 보이고 있으며, 속력이 높을수록 최대값도 조금씩 커지고 있는 것을 확인할 수 있다. 3톤급 및 7톤급에서의 최대값은 $\lambda/L = 1.7$ 에서, 10톤급은 $\lambda/L = 1.1$ 에서 가장 큰 운동응답 값을 보여주고 있다.

마지막으로 만남각이 $\chi = 060^\circ$ 인 선미사파인 경우(Fig. 10), 횡동요는 정지상태에서만 상대적으로 크게 나타나고 전진 속력이 있는 경우에는 운동응답이 매우 작게 발생하고 있는 모습을 알 수 있다. 특히 선수사파와 비교하게 되면 선미사파에서의 확연한 횡동요 감소 현상을 파악할 수 있다. 본 연구에서 선택된 소형어선들의 경우 크기와 관계없이 선수사파, 횡파보다는 선미쪽 비스듬한 방향에서 파랑을 받

며 항해할 경우 횡동요 영향을 대폭 감축시키면서 운항할 수 있을 것으로 추정된다.

파도와 의 만남각별 횡동요 운동의 최대값만을 비교할 경우, 선수사파와 횡파에서 최대속력인 15노트일 때 가장 큰 값을 나타내고 있으며 횡파보다는 선수사파에서 더 크게 응답하는 것으로 확인된다. 특히 7톤급 어선에서 그 차이가 더 큰 것으로 보여진다. 정지상태에서는 3방향의 만남각에서 각각 큰 차이는 없는 것으로 나타난다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 해양사고가 점차 증가하고 있는 10톤 미만 소형어선의 규칙파 중 운동응답 특성에 대하여 수치해석을 통하여 분석하였다.

선수파인 경우, $\lambda/L = 2.0$ 이상이 되는 장파장 영역에서 속력이 높아질수록 상하동요 및 종동요 응답도 커지고 있는 현상을 확인하였다. 가장 작은 3톤급 어선의 운동응답이 다른 크기의 어선보다 더 크게 나타나는 특성을 보여주었다. 선수파에서는 속력을 감속하여 운항하는 것이 종운동을 경감시킬 수 있는 방법이라고 판단된다.

모든 크기의 소형어선은 정지상태를 제외하고 속력과 상관없이 일정한 종동요 및 상하동요 운동응답 값에 근사하고

있는 모습이 선미파에서 확인되었다.

선수사파 상태에서의 횡동요 운동은, 선박의 크기와 관계없이 정지상태에서 점차 속력이 높아질수록 운동응답의 최대값이 장파장 영역으로 이동되는 특성을 확인할 수 있었다. 3척의 소형어선 모두 속력이 가장 높은 15노트에서 횡동요 운동이 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 선수사파를 받으면서 항행할 경우 속력을 낮추는 것이 횡운동 영향을 감소시킬수 있는 방법이라고 보여진다.

횡파에 의한 횡동요는 속력 및 선박의 크기와 관계없이 특정 파장에서만 급격히 커지는 경향을 보이고 있으며, 속력이 높을수록 최대값도 커지고 있는 것을 확인하였다. 선미사파인 경우, 횡동요는 정지상태에서만 비교적 크게 발생하고 전진 속력이 있는 경우에는 운동응답이 매우 작게 나타났다. 특히 선수사파와 비교하게 되면 선미사파에서의 확연한 횡동요 감소 현상을 확인할 수 있었다.

10톤 미만의 소형어선일지라도 선박의 크기 및 속력에 따라 선체운동응답의 최대값이 나타나는 특정 영역이 있으므로 이 운동 영향을 최소화 시킬 수 있는 운항방법이 고려되어야 할 것으로 보인다.

단일 어선의 횡동요만을 분석한 기존 연구에 비해, 본 연구에서는 소형어선 3척을 대상으로 규칙파에서의 종운동 및 횡운동에 대하여 수치계산을 수행하였다. 향후 더 많은 선형 자료를 확보하여 다양한 불규칙파 상황에 대한 선체운동 응답 함수를 데이터베이스화 하면 유의진폭치 및 평균주기 등을 이용한 안전운항 기술개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 과제는 행정안전부 지역맞춤형 재난안전 연구개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(20015029).

References

- [1] Datta, R., J. M. Rodrigues, and C. G. Soares(2011), Study of the motions of fishing vessels by a time domain panel method, *Ocean Engineering*, Vol. 38, pp. 782-792.
- [2] Ikeda, Y.(1984), Roll damping of ships, 1st Marine Dynamics Symposium, pp. 241-250.
- [3] Kang, I. K., J. D. Yoon, and H. J. Jo(1996), A study on the response of fishing vessels in seas according to various tonnage, *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol. 20, pp. 31-42.
- [4] Kang, I. K., H. S. Kim, M. S. Kim, Y. W. Lee, J. C. Kim, H. J. Jo, and C. K. Lee(2007), Characteristics on the rolling response of a small fishing boat according to the waves and the ship's speed, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Technology*, Vol. 43, pp. 62-70.
- [5] Kim, I. S., D. G. Go, and D. W. Park(2017), A study on hull form design for small fishing vessels, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 41, pp. 316-322.
- [6] Korea Maritime Safety Tribunal(2021), *Maritime accidents statistical yearbook*.
- [7] Masuya, T.(2007), Hull form improvement of fishing vessels from the view point of seaworthiness, *Fisheries Engineering*, Vol. 43, pp. 193-199.
- [8] Ministry of Oceans and Fisheries(2020), *Standard of structure and facility of small fishing vessel under G/T 10 tons*, 2020-13.
- [9] Park, D. W.(2018), Assessment of the resistance performance of hull appendages attached to fishing vessels using CFD, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 24, No. 2, pp. 267-274.
- [10] Tezdogan, T., A. Incecik, and O. Turan(2014), Operability assessment of high speed passenger ships based on human comfort criteria, *Ocean Engineering*, Vol. 89, pp. 32-52.
- [11] Yang, Y. J. and S. Y. Kwon(2017), Rolling motion simulation in the time domain and ship motion experiment for algorithm verification for fishing vessel capsizing alarm systems, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 23, No. 7, pp. 956-964.

Received : 2021. 10. 08.

Revised : 2021. 10. 22.

Accepted : 2021. 10. 28.