

한국 근해 대형 선망 어선의 횡동요 감쇠 특성

강일권* · 김형석 · 조효제¹ · 김정창² · 함상준³

부경대학교 해양생산시스템관리학부 · ¹한국해양대학교 해양시스템공학부
²부경대학교 탐사선 · ³부경대학교 실습선

Roll reduction characteristics of the offshore large purseiner in Korea

Il-Kwon KANG*, Hyung-Seok KIM, Hyo-Jae JO¹, Jung-Chang KIM² and Sang Jun HAM³

Division of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Division of Ocean System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

²Research ship, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

³Training ship, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The inherent efficiency of a ship would be prior to any other quality factors in ship's safety, because lack of it may give rise to a serious sea casualty even if it were a light mistake in operation. And the representative casualty comes from a deficiency of stability and an operating error combined would be capsizing. The Korean offshore large purseiner looks to have a structural weak point with small range of stability in spite of her big initial metacentric height, and have various type of roll reduction devices in order to cover up the defect. The aim of this study is to grasp for the roll reduction characteristics of the purseiner with bilge keel only and a stern keel additionally attached. The results are summarized as follows; The rolling angle of the model ship was increased in accordance with increase of the wave period and height, especially at close to the natural wave period of her, and the trends were more distinguished in the situation of bilge keel only installation than in the stern keel additionally installed. And stern keel has not noticeable effect on the reduction of the roll in the light ship condition, but has a little effect in full load condition.

Keywords: Inherent stability, Rolling reduction installation, Wave height, Wave period, Natural wave period

서 론

우리나라 해양사고의 통계를 보면, 전체 해양

사고의 약 70%는 어선에 의해 유발된 것이고, 그중에서도 150톤 미만의 소형선이 약 90%를

*Corresponding author: ikkang@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5895, Fax: 82-51-629-5885

차지하고 있어 (KMCT, 2006, KCG, 2007), 소형선의 해양사고 발생율이 매우 높다는 것을 알 수 있다.

해양사고는 흔히 조선자의 오인, 조작의 잘못 등에 의한 인적인 과실 (human error)에 따른 것으로 생각한다. 그러나 그것은 선박고유의 성능을 충분히 갖추고 있고, 관련 규정을 만족하는 조건을 전제로 한다. 따라서 선박 고유의 성능은 선박 안전에 있어서 모든 것을 우선하게 되고, 그 지표가 복원성능이다. 복원성 저하와 조선자의 조선불량이 결합되어 일어나는 대표적인 해양사고는 전복사고이며, 업종에 따라 차이가 있긴 하지만, 이 사고는 일련의 연쇄과정을 거쳐서 일어나게 된다. 그것은 기상예보의 청취 소홀, 해상상태 악화, 피항시기 실기, 무리한 조선, 갑판 해수침입, 배수 장애 및 연속된 해수침입이 서로 얽혀 이루어진다 (Kang et al., 2007). 어선은 어로 작업중 악천후를 만나는 때가 있는데, 이때 복원성 저하와 조선불량이 연쇄작용을 일으키게 되면 사고에 이르게 된다.

본 연구의 대상으로 하는 국내 근해 대형 선망망선 (이하 선망선)은 초기복원성은 우수하지만 복원성 범위가 매우 작아 전복의 위험을 안고 있는 대표적인 선박이다 (Ham, 2010). 이 선박은 복원성 부족의 문제를 보완하기 위해 수선 하부에 여러 형태의 감요장치를 채택하고 있다. 기본적으로는 선저 bar keel과 bilge keel을 갖추고 있으나, 추가의 감요장치로서 선미 수면하에 별도의 keel을 장치한 경우, 만재흡수선 부근에 bilge keel과 평행하게 또 다른 keel을 설치한 경우, 만재흡수선을 따라 선수에서 선미까지 전통한 keel을 달고 있는 형태 등이 그것이다.

본 선망선은 횡동요를 경감시키기 위해 bar keel은 선수 선저부에서는 돌출의 정도가 미약하나 선미쪽으로 가면서 점차 커져서 최고 0.7m에 달하고, bilge keel은 폭이 0.7m로서 큰 감쇠효과를 가질 수 있도록 되어 있으며, 거기에 부가하여 별도의 stern keel을 추가하여 설치한 배도

있다. 따라서 본 연구에서는 bilge keel만 설치한 경우와 bilge keel에 추가하여 stern keel을 설치한 선망선의 횡동요를 비교함으로써 이들 keel의 감쇠효과를 고찰하고자 한다.

재료 및 방법

이론

횡동요 운동방정식은 다음 (1)식과 같이 표현된다 (Sohn, 2003).

$$a\ddot{\phi} + b\dot{\phi} + c\phi = M_{\phi} \quad (1)$$

여기서, a, b, c 는 각각 관성력 계수, 감쇠력 계수, 복원력 계수이고, ϕ 는 선체의 경사각이다. 그리고 우변항은 파랑강제력이다.

모형실험

실험 장치

실험에 사용된 수조는 한국해양대학교의 조파수조 (L:25m × B:1.0m × H:0.8m)이며, 파주기 0.5s - 3.0s, 파고 0.07m - 0.22m까지 생성 가능하다. 횡동요 계측에 사용된 수조와 3자유도 운동 계측기는 Fig. 1에, 그 시스템 사양은 Table 1에 나타내었다.

또한 실험에 사용된 모형선은 우리나라 연근

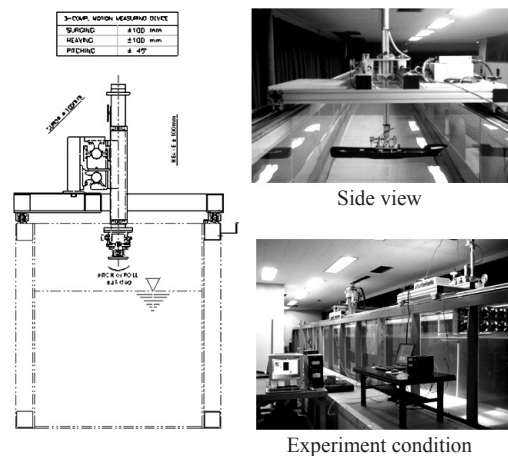


Fig. 1. The view of 3 degrees of freedom (3 DOF) motion measuring instrument and model ship.

Table 1. Specification of the 3 DOF measuring instrument

Measuring range	Performance of sensor		Output signal
	Linearity	Resolution	
Approx. $\pm 45\text{deg}$	$\pm 0.1\%$ of F.S.	Less than $\pm 0.05\%$	DC analog voltage $0 - \pm 10\text{V}$ for $0 - \pm 45\text{deg}$

Table 2. Principal dimensions of the real ship and model ship

Items	Real ship	Model ship
L.p.p (m)	43.3	0.8
B_{mid} (m)	7.60	0.14
D_{mid} (m)	3.05	0.056
Gross tonnage (ton)	121	0.0013
Displacement (ton)		
Full Load	454.7	1.5
GM (m)	1.5	0.03

해 어장에서 가장 많이 조업하고 있는 135톤급 선망의 망선으로 축적 1/54로 제작한 것이며, 실선과 모형선의 기본적인 제원은 Table. 2에 나타낸 것과 같다.

횡동요 계측 및 데이터 처리 방법

본 연구에서 대상으로 한 횡동요 감요설비는 Fig. 2에 나타낸 바와같이 bilge keel만 설치한 경우와 추가로 stern keel을 설치한 경우이다.

두 형태의 선망선의 배수량, 파고 그리고 파주기의 변화에 따른 횡동요각을 측정하도록 하되, 배수량은 경하상태와 만재출항상태 (이하 만재상태라 표기한다)의 2개를 취하였으며, 파도는

규칙파, 파고는 0.6m에서 2.2m, 파주기는 5.0초에서 9.0초의 범위로 하였다.

파주기를 이렇게 선택한 것은 선망선의 경우에는 횡파중에서도 파경사 1/7-1/10의 규칙파가 횡동요에 가장 크게 영향을 미치고, 또한 파주기가 선박횡요고유주기와 일치하도록 하는 것이 전복과 관련해서 최악의 조건이 되기 때문이다.

수조실험시 운동 계측기는 실험시 마다 교정하여 수행하였으며, 수조에서 정상적인 동요가 이루어지는 때부터 동요값을 취하였다. Sampling 간격은 0.05초로 하였고, 취득한 횡동요 데이터에 대하여 무차원화하여 나타내었다.

결과 및 고찰

유체력계수

유체력계수를 만재상태의 조건으로 하면, 관성모멘트계수 a 는 418.0 (ton.m.sec²), 횡동요고유주기는 4.90 (sec.), 감쇠모멘트계수 b 는 196.5 (ton.m.sec)이다. 또한 이때의 횡동요 감쇠주기는 4.99 (sec)로써 횡동요고유주기와 비슷함을 알 수 있다. 복원모멘트계수의 값은 686.6 (ton.m)이

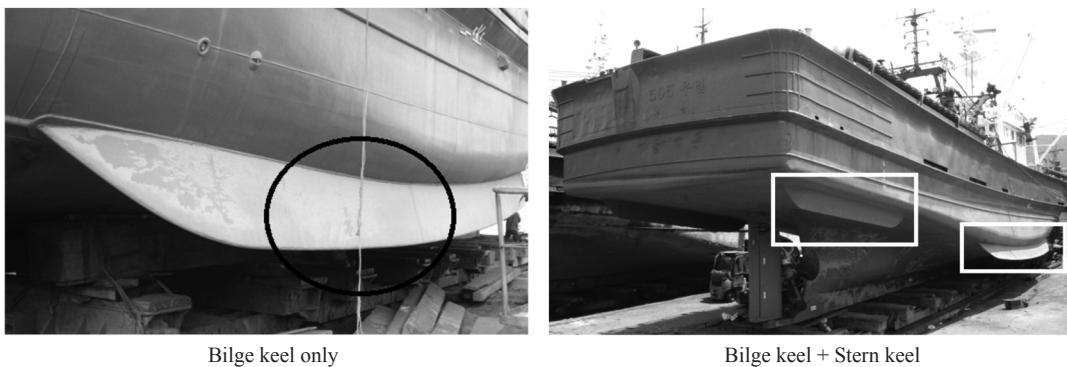


Fig. 2. Real ship showing bilge keel and stern keel.

며, 파랑강제모멘트는 대표파의 파경사가 1/7일 때 98.1 (ton.m)이다.

감요장치에 따른 횡동요 특성

Bilge keel만 설치한 경우

Bilge keel의 효과는 길이와 폭, 그리고 취부 각도에 따라나, 선망선의 bilge keel의 치수는 길이 12.7m, 최대폭 0.7m, 취부각도는 만곡부외판의 법선 방향이다.

파주기에 따른 횡동요 변화

Fig. 3은 bilge keel만 설치한 경우, 적하상태와 파주기의 변화에 따른, 선망선의 파고별 횡동요

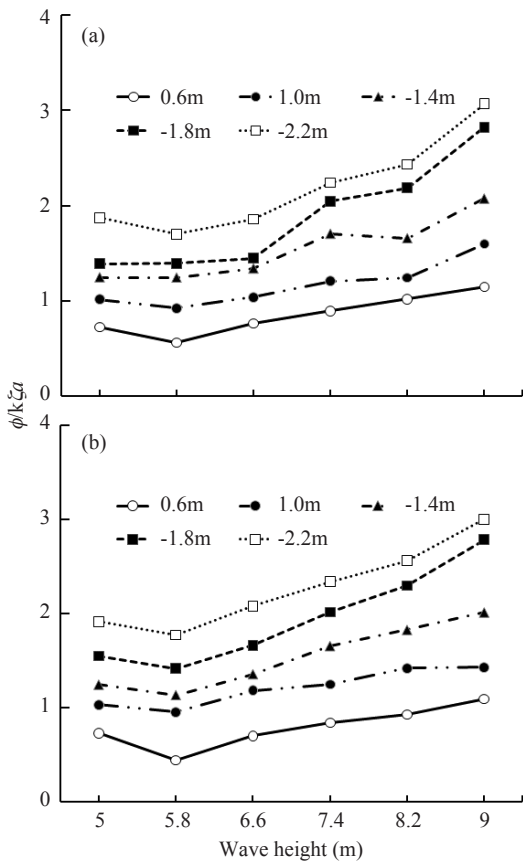


Fig. 3. Comparison of variation of rolling angles due to the loading condition and the wave period in bilge keel only : (a) light ship, (b) full load.

각의 변화를 나타낸 것이다.

전체적으로 경하상태와 만재상태 모두 파주기가 커질수록 파고별 횡동요각이 증가하는 현상을 보였으며, 양자간의 큰 차이는 없었다. 그러나 파주기 5.0초와 5.8초 사이에서는 모두 횡동요각이 감소하였다.

횡동요에 가장 큰 영향을 미치는 선박 요인은 중심의 위치이다. 선망선의 경하상태와 만재상태의 중심은 각각 2.9m와 2.8m로 큰 차이가 없으므로 양자간의 횡동요 현상에 큰 차이를 보이지 않은 것으로 보여진다.

배수량은 차이가 있음에도 불구하고 동요의 크기를 좌우하는 데는 크게 기여를 하지 않은 것으로 판단한다. 그리고 파주기 5.0초에서부터 5.8초까지 두 적하상태 모두 횡동요각이 감소한 현상은 선망선의 횡동요 고유주기와 관련이 있는 것으로 판단한다.

선망선의 경하상태와 만재상태의 횡동요 고유주기는 각각 5.2초와 4.9초이다. 5.0초 이하와 9.0초 이상의 주기에서 갑판수의 침입으로 실험을 할 수 없어 계측치가 없지만, 파주기와 횡동요 고유주기가 만나는 약 5.0초와 그 2배가 되는 10.0초에서 동조현상을 일으켜 횡동요가 갑자기 증가하는 경향을 그림을 통해 추정할 수 있다. 따라서 실험의 계측 범위를 지금보다 더 확대하여 많은 자료가 축적되면 보다 정확한 동조현상을 설명할 수 있을 것으로 생각된다.

파고에 따른 횡동요 변화

Fig. 4는 bilge keel만 설치했을 경우, 적하상태와 파고가 변할 때, 파주기별 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다.

경하상태와 만재상태 모두 파고가 커질수록 횡동요각이 증가하는 현상을 보였으며, 양자간의 큰 차이는 없었다. 그러나 파주기 9.0초의 동요치는 파고 1.8m-2.2m에서 다른 파에서 보다 큰 증가세를 나타내었다. 이것은 파주기가 선체 횡동요고유주기와 비슷하거나 그 배수로 될 때

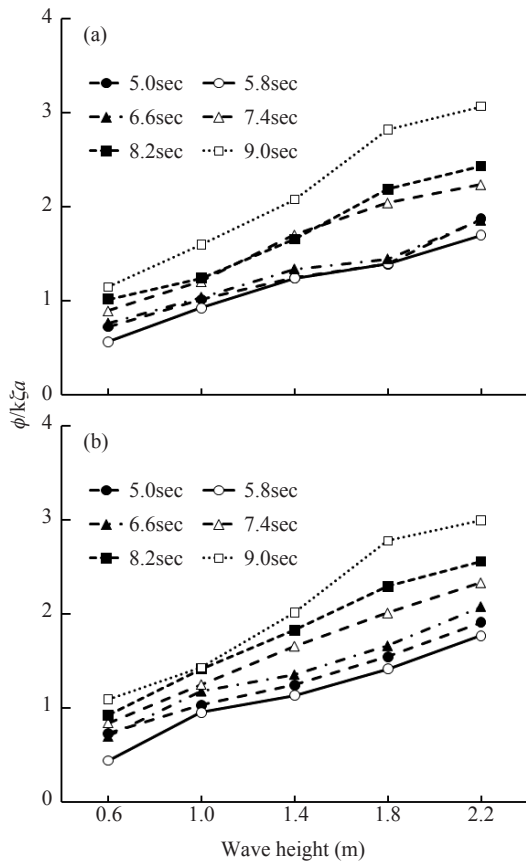


Fig. 4. Comparison of variation of rolling angles due to the loading condition and the wave height in bilge keel only : (a) light ship, (b) full load.

작은 파도보다 큰 파도쪽에서 횡동요 증가의 폭이 더 커진다는 것을 알 수 있다.

Bilge keel과 stern keel을 설치한 경우

선망선의 bilge keel은 앞의 것과 같고, stern keel의 치수는 길이 7.0m, 최대폭 0.7m이고, 취부 위치는 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 buttock 상부, 선미끝 1m와 선측 0.6m의 내측에서 선수방향으로 양현에 붙어 있으며, 단면의 형상은 직삼각형이다.

파주기에 따른 횡동요 변화

Fig. 5는 bilge keel에 대하여 stern keel을 설치

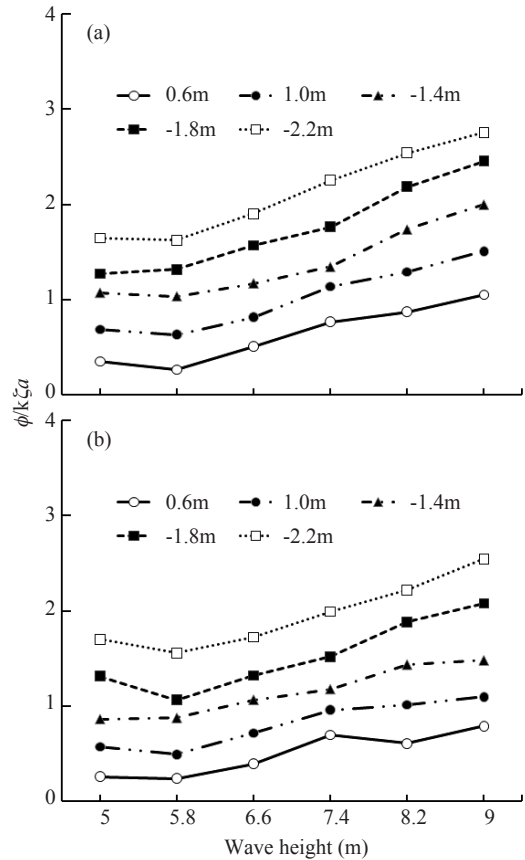


Fig. 5. Comparison of variation of rolling angles due to the loading condition and the wave period in bilge keel plus stern keel : (a) light ship, (b) full load.

했을 경우, 적하상태와 파주기가 변할 때, 파고별 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다.

경하상태와 만재상태 모두 파주기가 커질수록 횡동요각이 증가하는 비슷한 현상을 보였으며, 그러한 현상은 경하상태가 만재상태 보다 좀더 현저하나, 양자간의 큰 차이는 없다. 또한 bilge keel만 설치한 경우보다 동요치가 모두 약간 감소되었다. 그리고 파주기 5.0초와 9.0초에서 모두 횡동요가 증가하는 것은 bilge keel만 취부했을 때의 현상과 비슷하다.

파고에 따른 횡동요 변화

Fig. 6은 bilge keel에 대하여 stern keel을 설치

했을 경우, 적하상태와 파고가 변할 때, 파주기 별 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다.

경하상태와 만재상태 모두 모든 파주기에서 파고가 커질수록 횡동요각이 증가하는 비슷한 양상을 보였으며, 그러한 현상은 경하상태가 만재상태보다 좀 더 현저하여, 만재상태에서 횡동요 감감효과가 약간 더 크을 알 수 있다. 경하상태와 만재상태의 평균흘수는 각각 2.6m와 3.1m 이므로 만재상태에서 보다 많은 저항이 keel에 작용하여 횡동요 감쇠효과를 더한 것으로 판단한다.

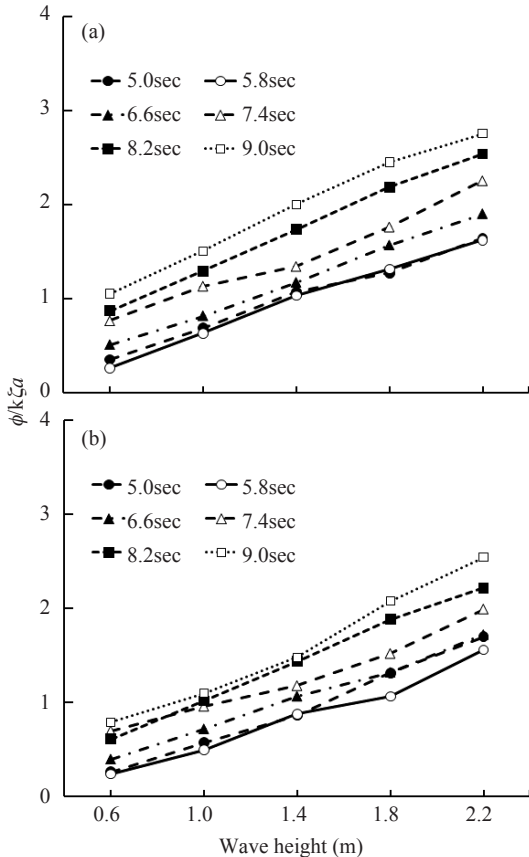


Fig. 6. Comparison of variation of rolling angles due to the loading condition and the wave height in bilge keel plus stern keel : (a) light ship, (b) full load.

적하상태에 따른 횡동요 특성

적하상태는 경하와 만재로 구분하고, 이 때의 배수량은 각각 320.8ton과 454.7ton이다.

경하상태의 경우

파주기에 따른 횡동요 변화

Fig. 7은 경하상태에서 bilge keel만 설치했을 경우와 stern keel을 추가로 설치한 경우, 파주기의 변화에 따른 파고별 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다.

파주기가 증가할수록 모든 파고에서 횡동요각이 증가하는 현상을 보였으나, bilge keel만 설

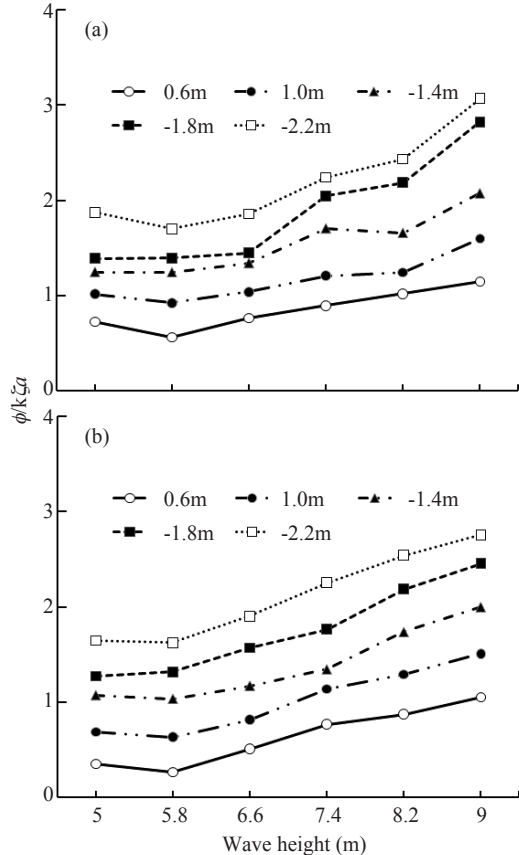


Fig. 7. Comparison of variation of rolling angles due to the reduction keel device and the wave period in light condition : (a) bilge keel only, (b) bilge keel + stern keel.

치한 경우가 더 현저하였다. 또한 두 경우 모두 파주기 5.0초와 9.0초에서 횡동요치가 증가하는 현상이 나타났으나, bilge keel만 설치한 경우가 더 심하였고, stern keel을 설치한 경우에는 모든 파에서 증가세가 둔화되는 현상을 나타내었다. 이것은 stern keel이 횡동요를 경감시키는 데 효과를 나타낸 것으로 보이며, 파에 따라 차이가 있으나 5%~10%의 횡동요를 저감시킨 것으로 판단한다.

파고에 따른 횡동요 변화

Fig. 8은 경하상태에서 bilge keel만 설치했을

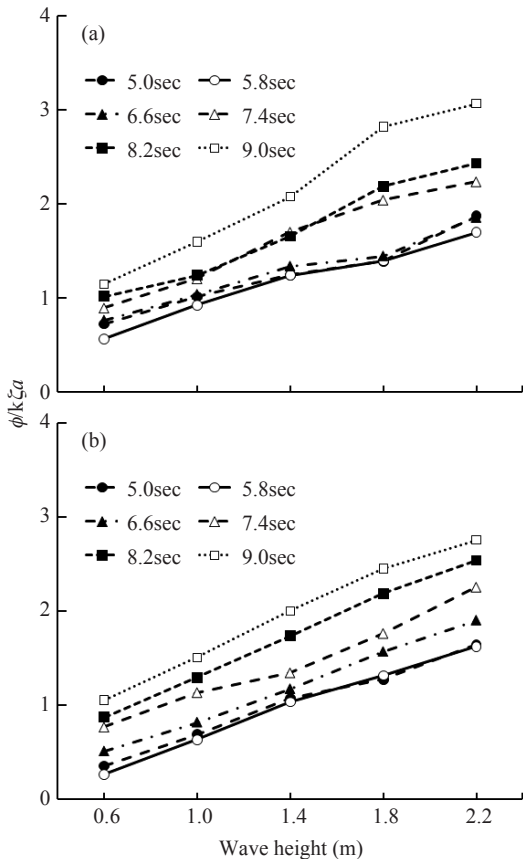


Fig. 8. Comparison of variation of rolling angles due to the reduction keel device and the wave height in light condition : (a) bilge keel only, (b) bilge keel + stern keel.

경우와 stern keel을 추가로 설치한 경우, 파고의 변화에 따른 파주기별 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다.

횡동요 경감장치 상태와 관계없이 파고가 증가할수록 모든 파주기에서 횡동요각이 증가하는 현상을 보였으며, 그 양상은 서로 비슷하였다.

만재상태의 경우

파주기에 따른 횡동요 변화

Fig. 9는 만재상태에서 bilge keel만 설치했을 경우와 stern keel을 추가로 설치한 경우, 파주기

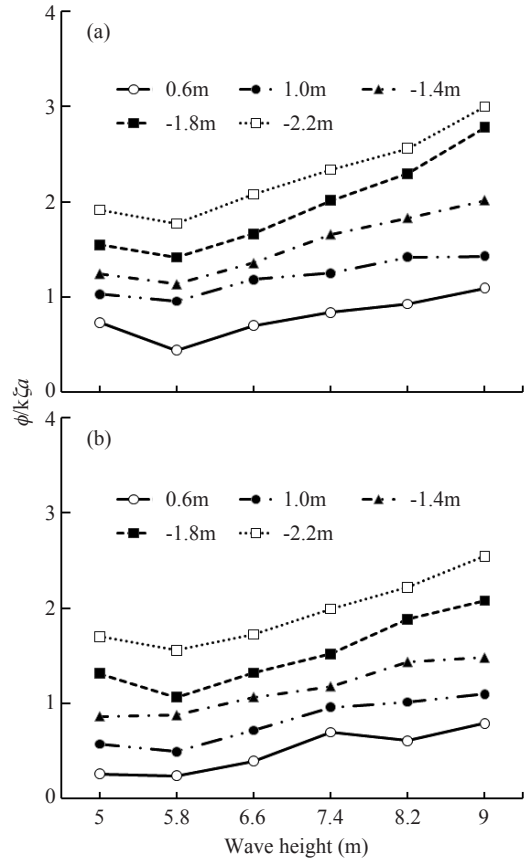


Fig. 9. Comparison of variation of rolling angles due to the reduction keel device and the wave period in full load condition : (a) bilge keel only, (b) bilge keel + stern keel.

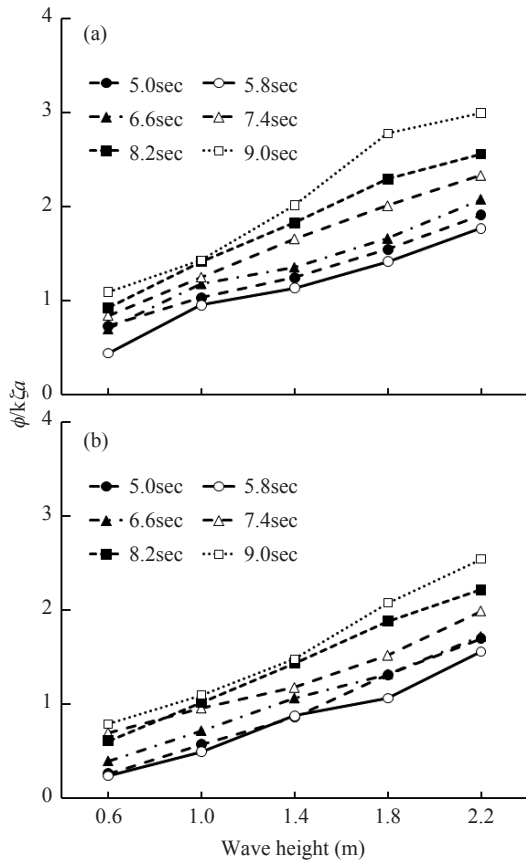


Fig. 10. Comparison of variation of rolling angles due to the reduction keel device and the wave height in full load condition : (a) bilge keel only, (b) bilge keel + stern keel.

의 변화에 따른 파고별 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다.

모두 파주기가 증가할수록 모든 파에서 횡동요각이 증가하는 현상을 보였으나, bilge keel만 설치한 경우가 현저하고, stern keel을 설치한 경우는 미미했다.

파주기 5.0초와 9.0초에서 횡동요치가 증가하는 현상은 bilge keel만 설치한 경우는 심하였으나, stern keel을 설치한 경우는 매우 둔화되었다. 이것은 stern keel이 횡동요를 경감시키는 데 영향을 미친 것으로 볼 수 있다.

파고에 따른 횡동요 변화

Fig. 10은 만재상태에서 bilge keel만 설치했을

경우와 stern keel을 추가로 설치한 경우, 파고의 변화에 따른 파주기별 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다.

두 경우 모두 파고가 증가할수록 모든 파주기에서 횡동요각이 증가하는 현상을 보였으며, 그 양상은 bilge keel만 설치했을 경우가 약간 더 현저했다.

선망선의 동조횡요 조건의 추정

정수중에서 자유횡동요를 하고 있을 때 저항을 받고 있다고 가정하면, 이때 선망선의 횡동요 주기는 다음 (2)식으로 구할 수 있다.

$$T_s = \frac{2k}{\sqrt{G_0 M}}$$

$$k = B \left(0.373 + \frac{0.023B}{d_{eq}} - \frac{0.043L_a}{100} \right) \quad (2)$$

선망선의 만재상태에서의 동요주기는 4.9초이다. 따라서 선망선은 파주기가 이것과 동일하거나, 파장이 약 38.3m 되는 조건에서 동기횡동요를 일으키게 된다. 파고 2.0m, 파장 38.3m일 때 만재상태에서 동조횡요를 일으키면, 이때의 최대파경사각은 9.4°, 최대 동조횡요각은 24.3°이다. 이것은 만재상태에서 선망선의 현단물수각이 약 5.5°인 점을 감안하면 대단히 큰 횡요각이다. 따라서 대파가 아닌 상태에서도 동기 횡동요를 일으키게 된다면 매우 위험한 상황에 처할 수 있으므로 극히 조심해야 한다.

결 론

국내 근해 대형 선망 망선의 횡동요 경감 장치와 적하 상태에 따른 횡동요 특성을 요약하면 다음과 같다.

Stern keel의 설치 유무에 관계없이 경하상태와 만재상태 모두 파주기가 커질수록, 파고가 클수록 횡동요각이 증가하며, 특히 bilge keel만 설치된 경우에는 선체고유횡동요주기와 비슷한 파주기 5.0초와 2배에 가까운 9.0초에서 횡동요

동조현상이 생길 가능성이 높다. 그러나 stern keel이 설치된 경우는 상대적으로 횡동요각의 크기가 작고, 횡동요 동조 현상이 발생할 가능성도 감소한다.

경하상태와 만재상태 모두 파주기가 커질수록, 파고가 클수록 횡동요각이 증가한다. 다만 만재상태가 경하상태보다 stern keel에 의한 횡동요 경감율이 5-10% 높다.

선망선의 동기횡동요는 파주기 5.0초(또는 그 배수), 혹은 파장 약 38.3m에서 일어나게 되며, 이때는 큰 파도가 아니라도 매우 위험한 상황에 처할 수 있다.

사 사

이 논문은 2008학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음 (PS-2008-0012000200904500).

참고문헌

- Annual judicial reports of Korean Maritime Safety Tribunal(KMST), 2006. KMST, Seoul, Korea, 697-701.
- Annual report of Maritime Safety, 2007. KOREA COAST GUARD, Incheon, Korea, 15-19.
- Ham, S.J., 2010. Stability and roll characteristics of the offshore large purseiner in Korea. Ph.M. thesis, Pukyong National University, 21-25.
- Kang, I.K., H.S. Kim, H.I. Shin, Y.W. Lee, J. C. Kim and H. J. Jo. 2007. Study on the casualties of fishing vessels in Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 43 (2), 149-159.
- Sohn, K.H., 2003. Ship's motion and maneuvering. Ship's maneuvering Lab., 59-73, 61-62.

2011년 6월 30일 접수

2011년 8월 10일 1차 수정

2011년 8월 12일 수리