

## 근해 대형 선망선의 횡동요 경감을 위한 최적의 빌지킬 설계

김용직 · 강일권<sup>1\*</sup> · 박병수<sup>2</sup> · 함상준<sup>3</sup>

부경대학교 조선해양시스템공학과, <sup>1</sup>부경대학교 해양생산시스템관리학부,  
<sup>2</sup>경상대학교 해양경찰시스템학과, <sup>3</sup>부경대학교 대학원

### An optimal bilge keel design to reduce the rolling of the offshore large purse seiner

Yong-Jig KIM, Il-Kwon KANG<sup>1\*</sup>, Byung-Soo PARK<sup>2</sup>, Sang-Jun HAM<sup>3</sup>

*Dep. of Naval Architecture & Marine System Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

*<sup>1</sup>Division of Marine Production System management, Pukyong National university, Busan 608-737, Korea*

*<sup>2</sup>Dep. of maritime police & production system, Gyeongsang National University, Tongyeong, 650-160, Korea*

*<sup>3</sup>Dep. of Fisheries Physics, Graduate school, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

The purpose of this paper is to examine the roll damping characteristics by bilge keels on the fishing vessel. Unlike other degree of freedom motions, roll motion is highly nonlinear. However the quantitative evaluation of roll damping combined with waves is very important for the fishing vessel. To reduce roll motion, roll motion stabilizers such as a bilge keel is used due to easy made and cheap cost rather than anti-rolling tank and fin-stabilizer. Authors paid attention to the shape of bilge keel and waves to grasp the roll damping for the fishing vessel and studied about the difference of tendencies of roll angle following the shapes of bilge keel. The model ship was the offshore large purse seiner and four types of bilge keel were used. The data from the experiments were provided and analyzed to investigate the rolling characteristics of the model ship being affected by the wave height, wave period and bilge keel shape. The results of the study showed that three types of the bilge keel have little effective, but only one has an effect on the roll damping. So bilge keel shape and its attachment method need to be a future study for the practical use in fishing vessel.

Keywords : Roll damping, Bilge keel, Offshore large purse seiner, Wave height, Wave period, Rolling characteristics

#### 서 론

횡동요 운동은 다른 선체 6자유도 운동과 달리 비선형적이어서 정량적인 파악이 매우 어렵다. 그러나 횡동요 감쇠는 어선, 특히 국내 근해 대형 선망의 망선(이하 선망선이라 한다)의 안전에 매우 중요한 요소이다. 선망

선은 투망시 빠른 속력으로 선회하게 되고, 특히 양망시에는 파워 블록에 걸리는 그물의 하중을 감당해야 하기 때문에 큰 복원력이 요구된다. 이때 선망선의 횡동요에 대응하는 것은 기본적으로 하방으로 깊게 돌출된 방형 용골과 만곡부 용골(이하 빌지 킬이라 한다)이다.

\*Corresponding author: [ikkang@pknu.ac.kr](mailto:ikkang@pknu.ac.kr), Tel : 82-51-629-5895, Fax : 82-51-629-5885

국내 선망선은 구조적으로 횡동요에 취약한 점을 가지고 있다 (Ham et al., 2011). 즉, 모든 표준 재화 상태에서 초기 복원력은 매우 양호하나, 긴현이 낮아 복원성 범위가 좁고, 또한 최대 복원정이 발생하는 각도가 작아 초기복원력의 계산식이 적용되는 범위를 넘어서면 횡경사각이 크지 않아도 위험에 처할 수 있는 구조적인 문제점을 안고 있다. 이러한 이유로 선망선의 횡동요를 억제할 수 있는 효율적 방안을 찾기 위한 관심과 노력의 산물로 선망선 마다 독특한 형태의 횡동요 방지 구조를 추가적으로 갖추게 되었다. 즉, 불워크 판을 선측 외판보다 외부로 더 돌출시킨 형태와 그런 형태에 추가하여 불워크 판과 빌지 킬 사이의 선측에 다수의 앵글을 선수미 방향으로 붙인 형태, 선미 buttock 하측 양쪽에 별도의 짧은 용골을 붙인 형태, 만재 흡수선 부근에 빌지 킬의 폭과 거의 같고, 길이는 더 긴 측면 용골을 하나 더 붙인 형태 등이 그것이다. 이렇게 다양한 형태의 구조와 추가적으로 부착한 형강(形鋼) 등은 횡동요를 경감시키기 위해 각고의 노력을 경주한 결과물이다.

횡동요 감쇠는 모든 선박에 그 중요성이 매우 크기 때문에 이에 관한 많은 연구가 있다. 화물선의 방형계수의 크기에 따른 횡동요 감쇠에 관한 연구 (Ikeda et al., 1976, 1977a, 1977b, 1990), 또한 그 방법을 보다 진전시킨 횡동요 감쇠에 대한 연구가 있다 (Himeno, 1981). 이들 연구는 전진력을 가지는 선박의 횡동요 감쇠 요인을 마찰력, 파도, 와류 그리고 양력의 4가지로 보고, 이들 각각의 감쇠 요인을 분석하였고, 또한 빌지 킬의 넓이와 취부 각도에 대해 고찰한 것이다. 이론적인 연구로서는 선박과 바지선의 횡동요에 관한 것이 있으며 (Chakrabarti, 2001), 활어 탱크를 이용한 어선의 횡동요 감쇠력에 관한 연구 (Lee et al., 2005), 빌지 킬의 크기와 부착 위치에 관한 연구 (Ikeda, 2004) 등이 있다.

국내의 연구로는 선망선의 복원성 향상 방안 (Ham et al., 2011)과 횡동요 감쇠 특성에 관한 것 (Kang et al., 2011) 등이 있는데, 이들은 기존 135톤급 선망선의 선형에 대해 횡동요 특성을 고찰한 것이다.

이상 살펴 본 바와같이 빌지 킬의 형태 변화에 따른 횡동요 감쇠에 관한 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 국내에서 신조 선망선을 190총톤으로 대형화할 계획이 있으므로 이것을 시험선으로 하여 빌지 킬의 크기를 변화시키지 않고, 빌지 킬의 형태만 변화시켜 횡동요 감쇠력의 효과를 향상시키고자 한다. 따라서 본 연구는 신조 선

망선의 횡동요 현상을 바탕으로, 횡동요 경감을 위한 최적의 빌지 킬의 형상을 고안하는 것을 목적으로 한다.

## 재료 및 방법

### 이론

횡동요 운동방정식은 식 (1)과 같이 표현된다.

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

여기서, 좌변의 첫째항은 관성력 (hydrodynamic inertial force), 둘째항은 감쇠력 (damping force), 셋째항은 복원력이며,  $a, b, c$ 는 각각 관성력 계수, 감쇠력 계수, 복원력 계수이고,  $\phi$ 는 선체의 경사각이다. 그리고 우변의 항은 파랑 강제력이다.

횡동요시에 선체에 작용하는 감쇠모멘트는 조파저항과 조와저항, 그리고 마찰저항, 빌지 킬과 스킨(skeg) 등에 기인하는 부가물 성분 등으로 분리할 수 있으며, 감쇠모멘트 계수는 그 값이 대단히 작기 때문에 감쇠계수가 횡동요에 있어서 아주 중요한 역할을 한다.

횡동요 감쇠계수는 자유횡동요시험 (free rolling test)을 통하여 감멸곡선 (curve of extinction)을 도출하면 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$b = \frac{KT_{\phi}\Delta GM}{\pi^2} \quad (2)$$

여기서,  $\Delta$ 는 배수량,  $T_{\phi}$ 는 횡동요 주기, GM은 메터센터 높이이다.

그리고 감멸계수  $K$ 는 식 (3)에 의해 구할 수 있다.

$$-\frac{d\phi}{dn} = K\phi_m \quad (3)$$

여기서,  $d\phi$ 는 이웃하는 두 피크치의 차이 ( $\phi_B - \phi_A$ ),  $dn$ 은 동요횟수 ( $dn=1$ ),  $\phi_m$ 은 이웃하는 두 피크치의 평균값 ( $\phi_m = (\phi_A + \phi_B)/2$ )이다.

### 수조 실험

#### 2차원 조파 수조

실험에 사용된 수조는 부경대학교의 2차원 조파 수조로서 40 m × 2.5 m × 1.5 m (L × B × D)의 크기이며, 다양한 선형파와 ISSC, ITTC 그리고 JONSWAP 등의 불규칙 파형의 생성이 가능하다.

횡동요 계측 장비는 Hamamatsu(주)의 C549 position

sensor system이며, 광점 위치 계측 (light spot position detector) 방식으로써, 고속으로 이동하는 광점들의 위치를 시분할방식을 사용하여 계측하는 것이다. 본 실험에서는 모형선의 상갑판 중앙에 세운 막대에 수직으로 2개의 센서를 부착하여 이들 센서에 포착된 좌표로부터 모형선의 운동을 산출하였다.

모형선은 현재 일본에서 조업 중인 199총톤 선망선을 대상으로 일반배치도와 선도를 참고하여 1/4로 축소, 제작하였으며, 주요 치수는 Table 1과 같다.

Table 1. Principal dimensions of the real ship and the model ship

Items	Real ship	Model ship
Length overall (m)	48.00	1.200
Breadth (m)	8.80	0.220
Depth (m)	5.40	0.135
Draft (m)	3.41	0.086

빌지 킬의 제작

빌지 킬의 형태는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 3가지 형태에 선미 킬을 추가한 4가지이며, 기본적으로 실선의 빌지 킬 (길이 14 m, 최대 폭 0.35 m)을 상사비로 축소한 것으로써, 첫번째는 실선의 빌지 킬이고, 두번째는 실선 빌지 킬의 3/4되는 곳에 하나의 홈을 넣은 형태이며, 세번째는 실선 빌지 킬의 1/2되는 곳에 홈을 하나 더 추가한 형태이다. 이렇게 제작한 이유는 홈이 있는 부분의 물의 흐름이 달라짐으로써 와류를 발생시켜 감쇠력을 더 증대할 수 있다고 보기 때문이다 (Ikeda, 1994). 그리고 네번째는 실선 빌지 킬에 추가하여 선미 buttock 양쪽에 별도의 소형 선미 킬을 부착한 형태이다. 이와같이 빌지 킬을 부착한 모형선을 차례로 A~D 형으로 표현한다.

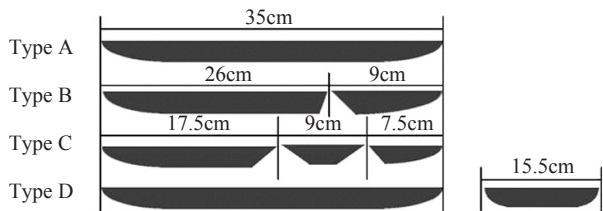


Fig. 1. Shapes of bilge keel(type A-D) used in the experiment.

모형선과 시험 방법

강제 횡동요 실험에서 조파기에서 생성된 진행파에 의해 선체의 떠밀림 현상이 생기기 때문에 이것을 억제하기 위해 Fig. 2와 같이 통상적으로 사용하는 방법인 선체와 수조 벽면에 가는 실과 와이어 스프링으로 연결된

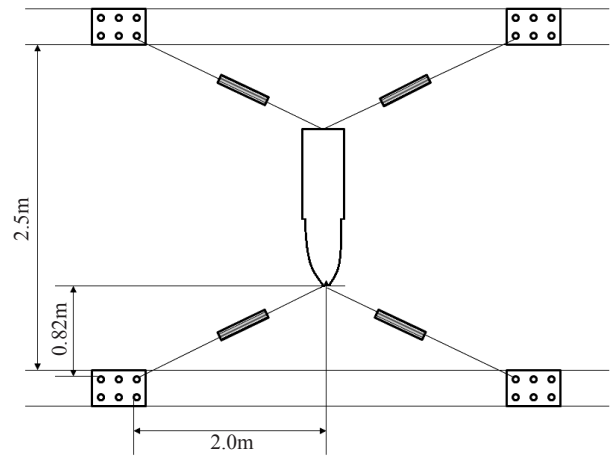


Fig. 2. Sketch of mooring system.

계류 장치를 사용하였다.

모형선을 계류 시스템에 계류하고, 네가지의 서로 다른 빌지 킬을 취부한 상태에서 파고와 파주기에 따른 횡동요의 감쇠력과 동요치를 측정하였다.

모형선은 상갑판이 낮아 횡동요가 심해지면 갑판에 자유수가 생기므로, 갑판 위에 물이 쳐 올라와도 순간적으로 배수될 수 있도록 상갑판 중앙에 세운 막대에 샷갓 형태로 얇은 비닐로 갑판을 덮어 침입한 물이 순간적으로 빠지도록 하였다. 또한 자유 횡동요 시험은 각각의 모형선에 대해 2번씩 수행하여 오류를 최소화 하도록 하였다.

모형선의 재화 상태는 어장 출발 상태로 하고, 파주기는 4~11초로 하여 동조할 수 있는 범위로 정하였다. 파고는 너무 크면 갑판으로 물이 넘쳐 들어와 실험에 지장을 초래하므로 최대 2.5 m로 한정하였다.

결과 및 고찰

신조 선망선의 복원성

199톤급 선망선은 기존 135톤급 선망선의 전장과 선형을 그대로 유지하되, 선폭과 깊이를 각각 0.30 m, 0.33 m 연장시킨 것으로, 신조 선망선의 속력 시험과 경사 시험에 의한 복원성 관련 수치는 Table 2와 같다 (Daeu, 2009).

Table 2에 나타난 바와같이 신조 선망선의 GM은 어장 출발 상태에서 1.81 m로서 기존 선망선의 GM, 1.36 m 보다 매우 크다 (Ham et al., 2011). 이것은 건현을 0.15 m 증가시킨 효과로서 초기 복원성이 크게 향상되었다고 볼 수 있다.

Fig. 3은 Table 2의 자료와 선망선의 제원을 이용하여

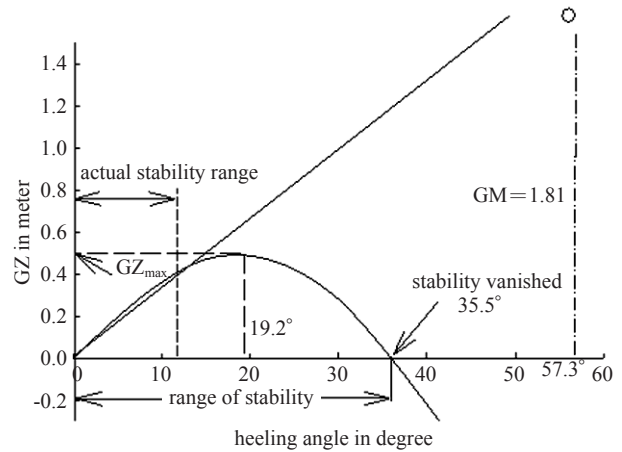
**Table 2. The result of experiment for stability on the loading conditions**

Condition Items	Full load Departure	F.G Departure	F.G Arrival
Displacement (ton)	601.62	524.23	502.77
Mean draft (m)	3.51	3.27	3.20
MTC (ton-m)	9.33	9.79	9.76
LCG (m)	-3.61	-3.48	-3.55
LCB (m)	-2.48	-2.04	-1.92
LCF (m)	-5.49	-5.25	-5.15
KG (m)	3.23	3.40	3.47
GM (m)	1.74	1.81	1.78

FG: Fishing ground

계산한 선조 선망선의 어장 출발 상태에서의 정적 복원력 곡선이다.

Fig. 3에 나타난 바와같이, 이 선망선의 GM은 매우 크나, 복원력 소실각은 35.5°로써 복원성 범위는 매우 적다. 실질적인 복원성 범위(위험 경사각)는 현단 물수각으로 볼 수 있으므로 11.5°에 불과하다. 또한 최대 복원정이 생기는 경사각도 19.2°로써 매우 적다. 따라서 횡동요에 취

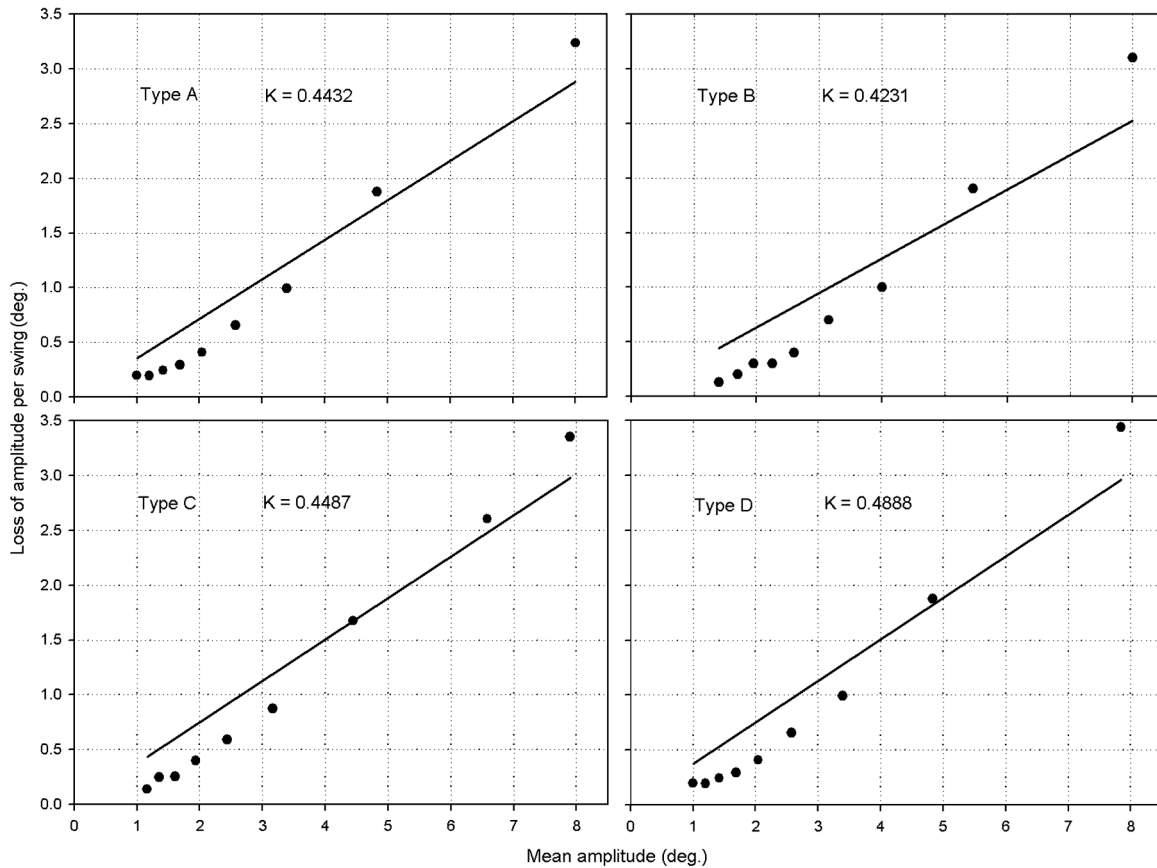


**Fig. 3. Restoring lever (GZ) curve of the purseiner in F.G departure condition.**

약한 구조적인 문제를 여전히 가지고 있다고 할 수 있다.

**빌지 킬에 따른 횡동요 감쇠**

Fig. 4는 자유 횡동요 시험을 수행하여 A~D 형의 빌지 킬을 달았을 경우의 모형선의 감쇠력을 나타낸 것이



**Fig. 4. Roll damping of the bilge keels (type A-D) by the free rolling test.**

다. Fig. 4에 나타낸 바와같이, 감쇠계수(K)는 차례로 각각 0.4432, 0.4231, 0.4487, 0.4888, 감쇠계수는 차례로 각각  $1.5806 \times 10^{-5}$ ,  $1.5089 \times 10^{-5}$ ,  $1.6002 \times 10^{-5}$ ,  $1.7432 \times 10^{-5}$ 였다.

이 결과를 보면, 감쇠계수는 기준선인 A 형에 비해 B 형은 4.5% 감소, C 형과 D 형은 각각 1.2%와 9.3% 증가하였다. 또한 감쇠계수는 기준선인 A 형에 비해 B 형은 4.5% 감소, C 형과 D 형은 각각 1.3%와 10.1% 증가하였다. 따라서 B 형은 감쇠력이 오히려 저하되었고, C 형은 항상 정도가 미미하며, D 형은 매우 향상된 결과이다. 본 연구에서는 B 형과 C 형이 실제로 빌지킬의 형태를 변화시킨 것이나, 이들 형태는 감쇠력을 거의 향상시키지 못하는 것으로 보여진다. 따라서 추후 또 다른 형태의 빌지킬을 구상하여, 크기와 취부 방법 등을 연구해야 할 것으로 판단된다. 그러나 선미 하부에 작은 길은 추가로 설치하면 횡동요를 감쇠시키는데 상당히 기여

를 할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 빌지킬의 부착 위치의 수직적 변화, 또는 수평적 변화에 따라 감쇠의 정도가 달라지므로(Ikeda, 2004), D 형의 선미 하부에 추가로 부착한 소형 길의 부착 위치가 최적인가는 또다른 고찰이 필요하다. 따라서 어로 작업 중 불편과 전진 중 선속의 저하라는 부정적인 면이 크지 않다면, 그 형상과 크기 그리고 부착 위치에 대한 심층적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

**빌지킬에 따른 횡동요 특성**

Fig. 5는 빌지킬의 형태에 따른 모형선의 횡동요각의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5에 나타낸 바와같이, A 형은 파고가 커질수록 모든 파주기에서 횡동요각이 선형적으로 증가하는 현상을 보였으며, 그 증가폭은 고유 횡동요 주기에 가까울수록 컸다.

한편, 파의 주기에 따른 횡동요는 거의 선형 고유 횡

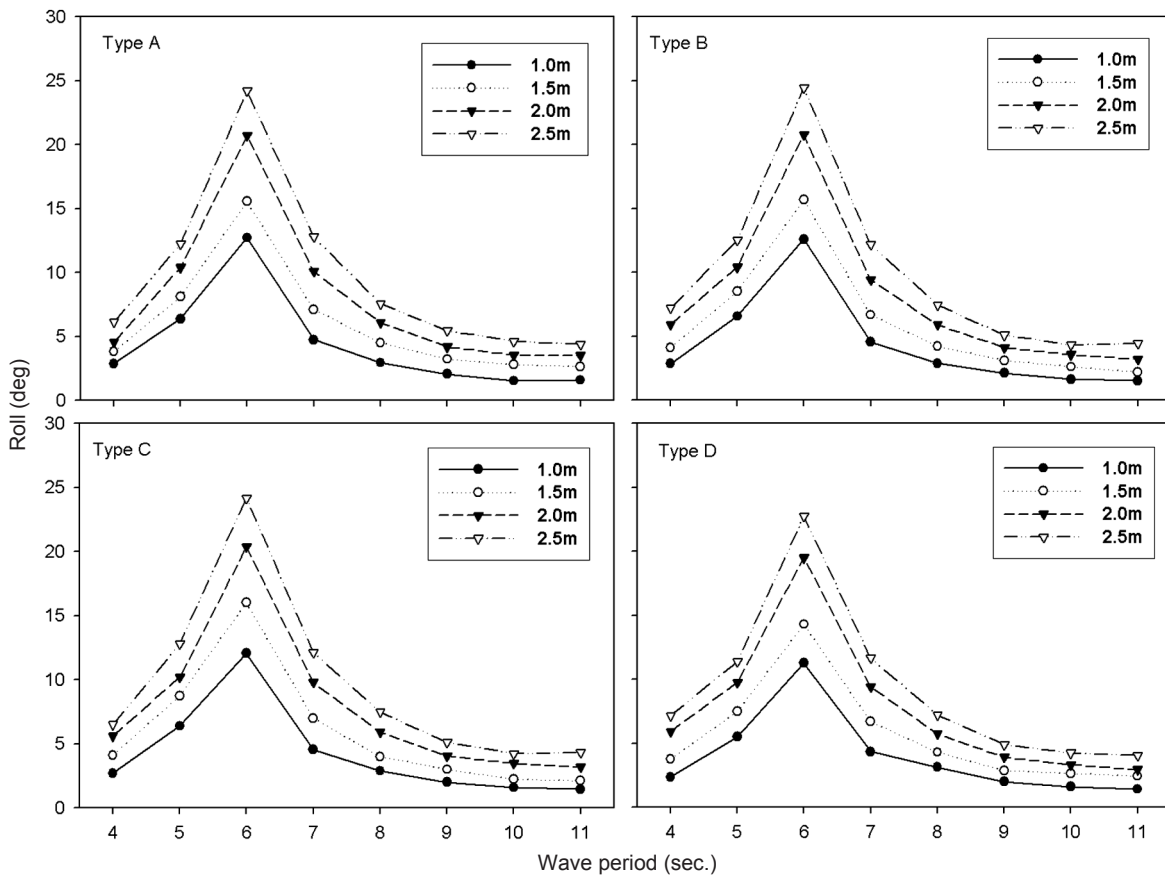


Fig. 5. Characteristics of roll motion on the types(A-D) of bilge keel.

동요 주기와 일치하여 증가하였다. 기준 모형선의 어장 출발 상태에서 고유 횡동요 주기는 5.7초이다. 따라서 이와 비슷한 파의 주기인 6초에서 최대 횡동요가 생기며, 이 그림에는 표시하지 않았지만 이 주기의 2배인 12초에는 횡동요가 너무 심해 현단이 몰수되는 현상이 생겨 실험을 포기할 정도였다. 따라서 선체 고유 횡동요 주기와 파의 주기가 일치하거나 그 배수로 될 때 동조현상이 매우 심한 것을 알 수 있었다.

B 형과 C 형은 A 형과 거의 같은 동조 현상을 보였으나, 빌지 킬의 형태에 따른 횡동요의 차이는 거의 보이지 않았다. 그러나 D 형은 A~C 형보다 횡동요각이 대체로 낮게 나타났으며, 기준선인 A 형과 비교하여 파고 2.5 m, 파주기 6초에서 6% 정도 동요 값이 작았다. 이러한 횡동요각의 감소 폭은 다른 파고와 파 주기에서도 비슷하였다. 이 수치는 Fig. 4에 나타난 D 형의 감별계수가 9.3% 증가한 것과 감쇠계수가 10.1% 증가한 것 보다는 약간 낮은 수치이다.

이상 살펴 본 바와같이 B 형과 C 형은 횡동요 경감에 거의 기여를 하지 못하지만, D 형은 횡동요 경감에 일정 부분 기여한 것으로 판단된다.

#### 신조 선망선의 동조 횡요 조건

정수중에서 자유 횡동요를 하고 있을 때 저항을 받고 있다고 가정하면 이때 모델선의 횡동요 주기 (T)는 선평 (B), 계수 (C) 일 때 다음과 같이 식 (4)로 구할 수 있다.

$$T_{\phi} = 2CB / \sqrt{GM}$$

$$C = 0.373 + 0.023 (B/d) - 0.043 (L/100) \quad (4)$$

식 (4)로 구한 신조 선망선의 어장 출발 상태에서의 동요 주기는 5.7초이다. 따라서 이 선망선이 파주기가 이것과 비슷하거나 또는 배수가 되는 때, 혹은 파장이 약 42 m 되는 조건에서는 동조 횡동요를 일으키게 된다.

파고 2.5 m, 파장 42 m일 때 어장 출발 상태에서 신조 선망선이 동조 횡요를 일으키면 이 때 최대파경사각은 25.9°, 최대 동조 횡요각은 10.7°에 이른다.

이것은 어장 출발 상태에서 신조 선망선의 현단 몰수각에 근접하는 큰 횡요각이다.

#### 결 론

본 연구는 199총톤의 신조 선망선을 대상으로 먼저 기초적인 복원성을 파악하고, 다음으로 횡동요를 경감

시키기 위한 최적의 빌지 킬의 형태를 고안하고자 수행되었다. 빌지 킬의 형태는 네 가지이며, 수조 실험을 수행하여 고찰한 결과는 다음과 같다. 대상 선망선은 초기 복원성은 매우 양호하나, 복원성 범위가 작아 소각도 경사에서도 현단이 몰수될 수 있는 구조적인 문제점을 가지고 있다. 빌지 킬의 형태에 따른 횡동요 감쇠는 빌지 킬의 형태에 홈이 1개 있는 것 (B 형)은 기존의 빌지 킬 (A 형)에 비해 감쇠 효과가 오히려 감소하여 횡동요의 경감에 기여하지 못하였으며, 홈이 2개 있는 것 (C 형)은 기존 빌지 킬과 비슷하였다. 그러나 선미 하부에 추가로 소형 선미 킬을 부착한 것 (D 형)은 횡동요 감쇠율이 약 10% 증대되었으며, 이러한 현상은 파고와 파주기가 달라져도 비슷하였다. 따라서 본 연구에서 채택한 빌지 킬의 형태는 횡동요 감쇠 효과에 기여하는 바가 거의 없으며, 이에 따라 차후 빌지 킬의 형태와 취부 방법 등에 관한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 본다. 다만, 선미 킬을 추가로 부착한 경우에는 상당한 감쇠 효과가 있으나, 선속의 감소에 미치는 영향과 선박 운항시 불편의 정도에 대해서 향후 연구가 더 수행되어야 할 것으로 생각한다.

#### 사 사

이 논문은 2011학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임. (PK-C-D-2011-0764)

#### References

- Chakrabarti. 2001. Empirical calculation of roll damping for ship and barge. *Oce Eng* 28, 915–932.
- Daeu(LTD.). 2009. 199 ton class offshore purse seiner 81Chon-Wang. *Journal of fishing boat and system engineering association of Japan, Oce & Fish Eng* 86, 77.
- Ham SJ, Kang IK, Kim HS, Jo HJ and Kim JC. 2011. Stability of the offshore large purseiner in Korea. *J Koc Soc Fish Tech* 47, 241–247. (DOI:10.3796/KSFT. 2011. 47.3.241)
- Himeno Y. 1981. Prediction of ship rolling damping-state of the art. report of NA & ME, The Univ of Michigan, No. 239, Ann Arbor, MI.
- Ikeda Y, Himeno Y and Tanaka N. 1976. On roll damping force of ship effects of friction on bull and normal force of bilge keels. *J Kansai Soc Naval Arch* 161, 41–49.
- Ikeda Y, Himeno Y and Tanaka N. 1977b. On eddy making component roll damping force on naked hull. *J Soc Naval Arch* 142, 59–69.
- Ikeda Y, Komatsu K, Himeno Y and Tanaka N. 1977a. On roll

- damping force of ship effects of hull surface pressure created by bilge keels. J Kansai Soc Naval Arch 165, 31 – 40.
- Ikeda Y and Umeda N. 1990. A prediction method of roll damping of a hardchine boat at zero forward speed. J Kansai Soc Naval Arch 213, 57 – 62.
- Ikeda Y. 2004. Prediction methods of roll damping of ships and their application to determine optimum stabilization devices. Mar Tech 41(2), 89 – 93.
- Kang IK, Kim HS, Jo HJ, Kim JC and Ham SJ. 2011. Roll reduction characteristics of the offshore large purseiner in Korea. J Koc Soc Fish Tech 47, 248?256. (DOI:10.3796/KSFT.2011.47.3.248)
- Lee SK, Surendran S and Lee GW. 2005. Roll performance of a small fishing vessel with live fish tank. Oce Eng 32, 1873 – 1885.
- 
- 2014.2.6 Received  
2014.5.5 Revised  
2014.5.15 Accepted