

## 파랑중 8톤급 어선의 복원력 분석

이 희 상  
중앙해난심판원  
(1999년 5월 6일 접수)

### **The Stability Analysis of the 8 Ton Class Fishing Vessel in Seaway**

**Hee-Sang Lee**

Central Marine Accidents Inquiry Agency  
(Received May 6, 1999)

#### **Abstract**

In this study, the stability analysis of a fishing vessel in a seaway was done. The stability analysis is an important item in the ship design, and so the ship registers of each nation constrain the ships to be followed the stability criterion. Stability variation, exciting forces due to wave and wind, and the broaching phenomena cause the capsizing of a ship. In this study, the stability analysis to study of the capsizing of a fishing vessel was performed.

The relation between the speed of the ship and the wave length, that makes the encountering frequency vanish, was obtained. It was found that the encountering frequency tend to be zero when the wave whose length and direction are similar to those of ship. In this case, the possibility of dangerous situation becomes high. The calculated restoring arm becomes small when the ship is located near the wave crest. In general, the selected small fishing vessel is better than the large ship with respect to the stability, however the wave height becomes relatively high because of her small length.

Kim(1994) calculated the stability variation of the large cargo ship, the results of which showed the changes in stability great. But in the selected small fishing vessel in this study, the changes was small in comparison with the larger ship. This reason seems to be the shape of her midship section. In large cargo ships, the block coefficient is large, but that of the fishing vessel is relatively small and the small fishing vessel has chine, therefore the center of buoyancy moves much when the ship is inclined.

It is desirable that the dynamic stability analysis for a fishing vessel, whose speed and direction are similar to those of waves, shall be done in the near future.

서 론

해난사고중 전복현상에 의한 사고는 그 횟수는 적으나 사고에 의한 인적 물적 피해는 다른 사고에 비해 상당히 크다. 어선사고중 전복사고는 전체의 2.8%에 불과하나, 인명피해는 전체의 20%에 달하고 있다. 또한 선박의 전복사고중 어선이 차지하는 비율은 62%에 달하고 있어 어선의 전복사고는 심각한 문제이며, 전복의 원인중 해상상태에 따른 운항과실이 전체의 50%에 달하고 있어(중앙해난심판원, 1994-1998) 파랑중 어선의 전복에 대한 체계적인 분석과 대책이 요구되고 있다. 파랑중 어선의 전복은 여러 가지의 현상이 복합적으로 작용하여 발생하나(김운수, 1994), 그 근간이 되는 것은 복원력의 감소효과이다. 본 연구에서는 어선의 비손상시 파랑중 복원력에 대한 분석을 하여 안전한 어로에 대한 자료를 작성하는 데 목적이 있다. 파랑중 복원력 분석 결과는 다른 동역학적인 현상과 같이 전복현상을 분석하는 자료로 사용될 것이다.

재료 및 방법

1. 시험선박

본 연구의 대상으로 선정된 시험선의 선형은 수산청에서 수행한 “표준어선형 연구개발”에서 개발한 어선중 8톤급 소형어선으로, 7.93톤 FRP어선을 택하였다.(수산청, 1995) 이 어선은 서해에서 작업하는 연안유자망 어선의 표준선이다. 대상선형의 주요치수는 다음과 같다.

이 어선의 Body Plan과 Side Profile은 다음의 그림과 같다.

하중상태에 따른 전체중량과 무게중심의 위치는 다음과 같다.

Table 1. Principal Dimensions

Item	Value(m)	Item	Value(m)
LENGTH O.A.	15.90	DEPTH MLD.	1.20
LENGTH B.P.	13.00	DRAFT (DLWL)	0.84
BREADTH MLD.	3.20	TRIM	0.50

2. 파랑의 표현

해상에 존재하는 파도는 매우 복잡한 양상을 띄고 있다. 그러나 복원력 변화와 전복에 관련되는 파도는 선박과 비슷한 속도로 같은 방향으로 진행하는 파도이다. 이 경우 파도와 선박의 위치가 장시간 지속되어 복원력 변화나 동역학적인 효과가 장시간 이루어져 선박의 거동이 크게 일어날 가능성이 많아진다. 본 연구에서는 선형중력파의 범위에서 파랑을 표현하고자 한다. 선형중력파의 특성은 여러 연구자에 의해서 많은 분석이 이루어져 있다.(Newman, 1976) 파도에 의한 수면의 높이는 다음과 같이 표현된다.

$$\eta = A \cos(k(X \cos \alpha + Y \sin \alpha) - \omega t)$$

여기서 A는 파도의 크기로 파고의 1/2이며, X, Y는 공간좌표계에서의 위치 값이며, α는 선박과의 상대 파향이며, ω는 파의 주파수이고, k는 파수(Wave Number)이다. 파수는 다음과 같이 표현된다.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega^2}{g} \tag{2}$$

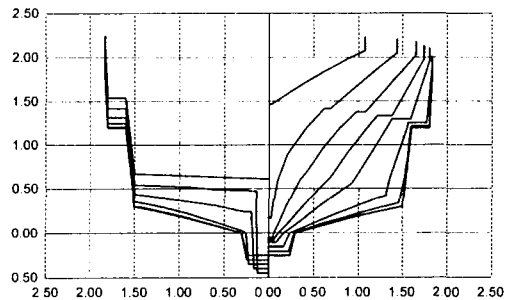


Fig. 1. Body Plan of 8ton Class Fishing Vessel.

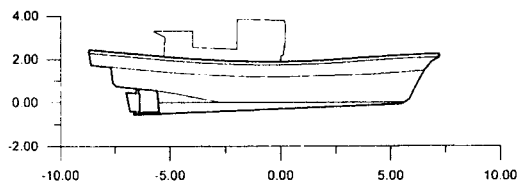


Fig. 2. Side Profile of 8ton Class Fishing Vessel.

Table 2. Displacements of Load Condition

하중 상태	배수량(ton)	LCG(m)	VCG(m)	흘수(m)	트림(m)
경하 상태	12.299	-1.624	1.091	0.790	-0.721
만재출항	17.318	-1.164	1.014	0.946	-0.315
어장발 상태	18.413	-0.747	1.017	1.000	-0.076
만재입항 상태	18.022	-0.712	1.019	0.991	-0.066
20% 입항 상태	17.386	-0.814	1.033	0.967	-0.133
시운전 상태	14.900	-1.762	1.093	0.852	-0.704

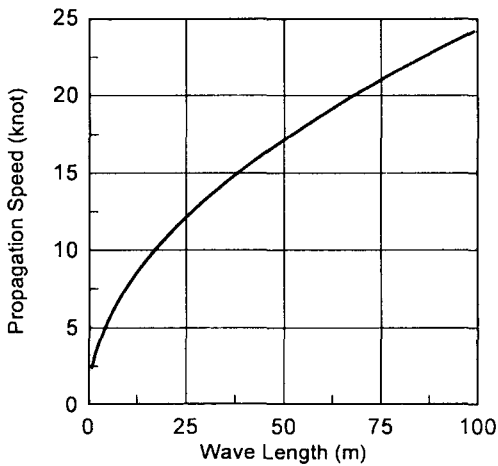


Fig. 3. Wave Propagation Speed.

여기서  $\lambda$ 는 파장이며,  $g$ 는 중력가속도이다. 파도의 진행속도는 다음과 같이 표현된다.

$$V_p = \frac{\omega}{k} = \frac{g}{\omega} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

여기서 보면 파장이 긴 파일수록 전파속도가 빠르다는 것을 알 수가 있다. 만일 선박이 X방향으로 진행하고 있으면 선박에서 본 파도는 다음과 같이 기술된다.

$$\eta = A \cos(k(X \cos \alpha + Y \sin \alpha) - \omega_e t) \quad (4)$$

여기서  $\omega_e$ 는 파도와 선박의 만남 주파수로 다음과 같이 표현된다.

$$\omega_e = \omega - kU \cos \sigma \quad (5)$$

만남 주파수가 없어지는 파장과 선속의 관계는 다음의 그림과 같다.

위의 그림에서 보면, 본 연구에서 택한 선박의

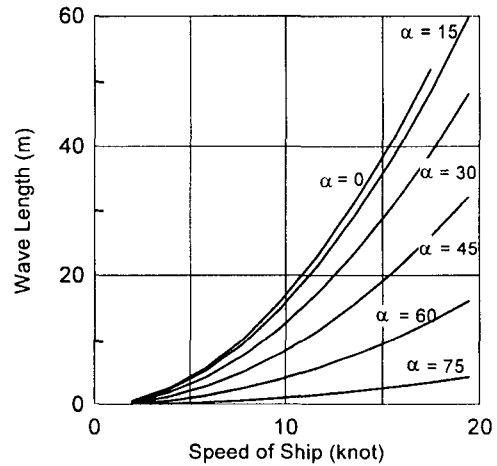


Fig. 4. Wave Length and Ship Speed when the encounter Frequency vanishes.

최대속도 12knot에서 선박의 길이와 비슷한 파장을 가지는 파가 0-30도 정도로 진행하면 만남 주파수가 없어질 가능성이 있다는 것을 알 수가 있다. 만남 주파수가 작아지면 파도와 선박의 상대위치가 변하지 않게 되어, 파도의 영향이 계속 누적되고 선박의 운동이 불안정해질 수 있다.

동역학적인 분석을 하기 위해서는 위의 결과 외에 유체입자의 속도, 수면 하에서의 압력 변화 등이 더 고려되어야 한다. 본 연구는 복원력 분석을 하므로 위의 결과만으로 충분하다. 앞으로 동역학적 분석을 할 때 파도의 동역학적 특성을 다루기로 한다.

### 3. 복원력 계산

복원력은 선체가 기울어졌을 때 직립상태로 돌아가게 하는 반대방향의 유체정역학적 힘을 일컫는다(Lewis, 1988). 보통 복원력은 메타센터높이

(GM)와 복원팔(GZ)로 표시하는데, GM은 GZ의 기울기이다. 이 값은 여러 가지 파라미터에 의해서 결정되는데, 중요한 파라미터는 선형과 무게중심의 높이이다. 선박의 적하상태에 따라서도 값이 변하게 되는데, 액체 화물 등에서 나타나는 자유표면이 존재하면 복원력에 상당한 악영향을 미친다. 본 연구에서는 비손상시 자유표면효과가 없을 시의 복원력에 대해서 다룬다.

복원력을 계산하는 방법은 두 가지인데, 하나는 전통적으로 계산하는 방법인 수면하의 체적과 부력중심을 계산하여 복원력을 계산하는 방식이고, 다른 하나는 선체표면에 작용하는 압력을 적분하여 복원력을 얻는 방법이다. 두 가지의 결과치는 항상 같게 나와야 한다. 이 두 가지의 계산 방식은 Lewis(1988)에 요약되어 있다. 선박분야에서는 복원력을 복원팔 GZ로 정리하는 방식을 택하고 있다.

GZ는 선체가 기울어졌을 때 복원모멘트를 배수량으로 나눈 값, 즉 복원팔이다. 계산하는 방법은 부력중심에서 연직 상방향으로 그은 직선과 무게중심에서 연직 하방향으로 그은 직선이 떨어진 거리를 구하면 된다.

$$\overline{GZ} = y_B - z_G \sin \phi \quad (6)$$

복원모멘트를 계산하는데 선체의 중심을 고정시키고 기울이면 배수량이 변하고, 트림 모멘트가 발생한다. 예전에는 계산이 복잡하여 이것을 무시하고 계산하는 방법을 택하였는데, 계산기의 발달에 의하여 배수량과 트림을 적하상태에 따른 값으

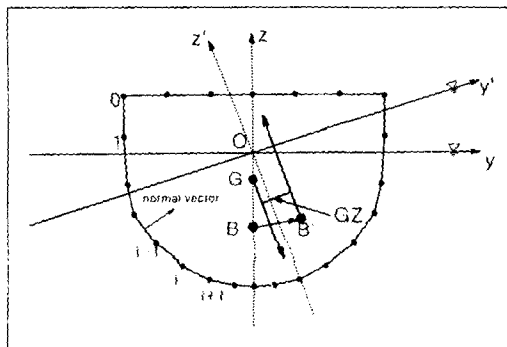


Fig. 5. Definition of GZ.

로 찾아내고 복원모멘트를 계산할 수가 있다. 복원모멘트의 정의를 그대로 따른다면 배를 기울인 상태에서 변위를 주어 배수량과 트림모멘트가 0이 되도록 배의 자세를 계산한 다음, 복원모멘트를 계산하는 것이 정의를 충실히 따르는 것이다.

본 연구에서는 배수량과 트림을 반복법에 의해서 찾아내고, 복원모멘트는 선체표면에 작용하는 압력을 직접 적분하여 계산하였다. 동역학적인 현상을 계산하는데는 이러한 방법이 기본이 되므로 앞으로를 위하여 위와 같은 방법을 사용하였다.

## 결 과

파랑중 복원력분석을 위하여 파장, 파고, 파향, 파와의 상대위치를 바꾸어가면서 GZ를 계산하였다. 또한 계산에서 사용된 하중상태는 만재입항 상태이었다.

### 1. 파장에 따른 복원력 변화

파장과 선박의 길이가 같을 때에 대하여, 파고 및 파정과의 상대위치에 따른 복원팔 GZ의 계산 결과는 Fig 6 도시하였다.

Fig 6의 결과를 보면 파정과 선박의 상대위치가 없을 때 가장 많은 GZ의 변화를 보여주고 있다. 이 때 파장의 영향을 보기 위하여 파장을 선박의

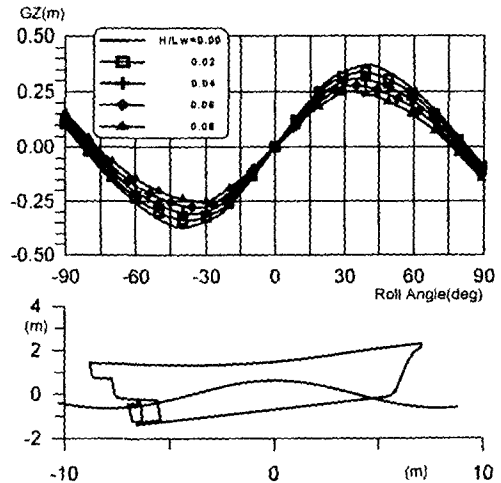


Fig. 6. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0$ , Wave direction=0deg.

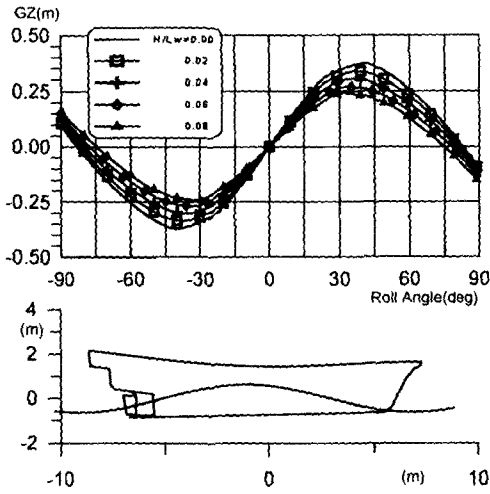


Fig. 7. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.07$ , Wave direction=0deg.

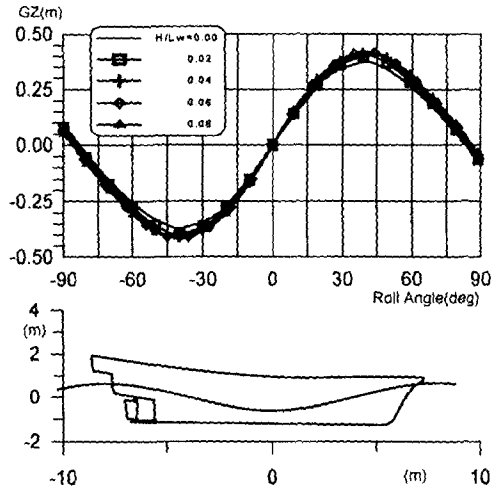


Fig. 9. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.5$ , Wave direction=0deg.

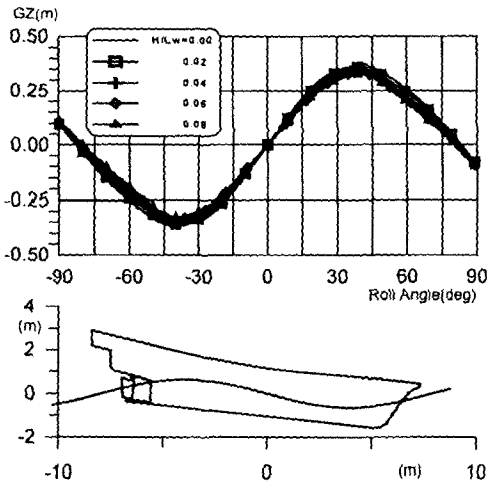


Fig. 8. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=0deg.

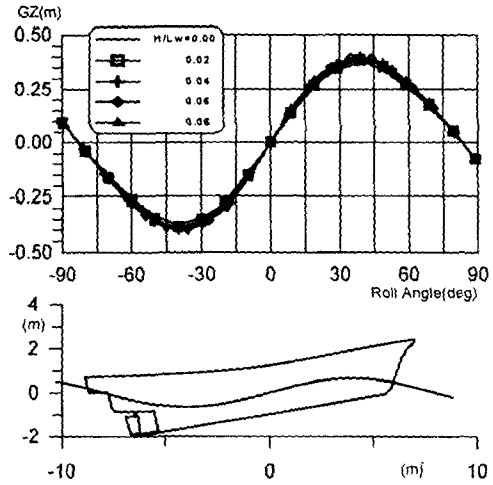


Fig. 10. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.75$ , Wave direction=0deg.

길이의 1.5배, 2배로 하여 GZ를 계산하였다.

파장이 선박의 길이의 1.5배일 경우에 대한 복원팔 GZ를 파정과 선체의 상대위치를 파장의 1/4, 1/2에 위치시키고 계산한 결과를 Fig.13 및 Fig.14에 도시하였다.

파장이 선박의 길이의 2.0배일 경우에 대한 복원팔 GZ를 파정과 선체의 상대위치를 파장의 1/4, 1/2에 위치시키고 계산한 결과를 Fig.15 및 Fig.16에 도시하였다.

위의 결과들은 선체가 파장 근처에 있을 때 복

원력의 변화가 심하고, 다른 곳에 위치할 때는 변화가 작다는 것을 알려준다. 또한 파정에 있을 때 복원력은 작아지고, 파저에 있을 때 복원력이 커진다는 것을 알려준다. 파정에 있을 때 본 어선의 복원력 감소 폭은 파고에 따라 다르지만 파고와 파장의 비가 0.04일 때(해상에서 흔히 볼 수 있는 파도) 25% 정도인 것을 알 수 있다.

## 2. 파향에 따른 복원력 변화

앞 절에서의 결과는 파도의 진행방향과 선박의

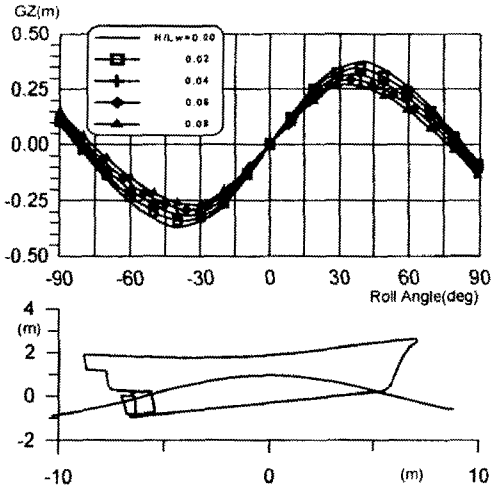


Fig. 11. GZ Curve with  $L_w/L=1.5$ ,  $X/L_w=0$ , Wave direction=0deg.

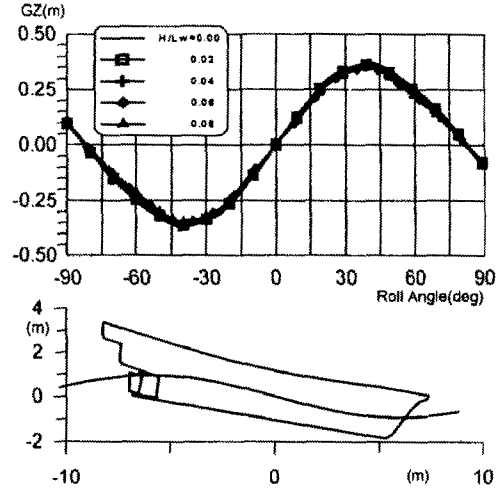


Fig. 13. GZ Curve with  $L_w/L=1.5$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=0deg.

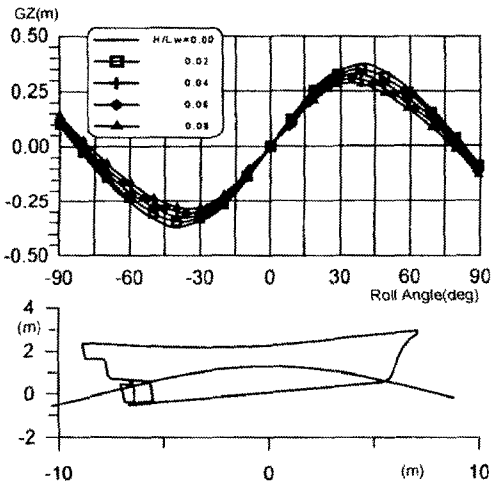


Fig. 12. GZ Curve with  $L_w/L=2$ ,  $X/L_w=0$ , Wave direction=0deg.

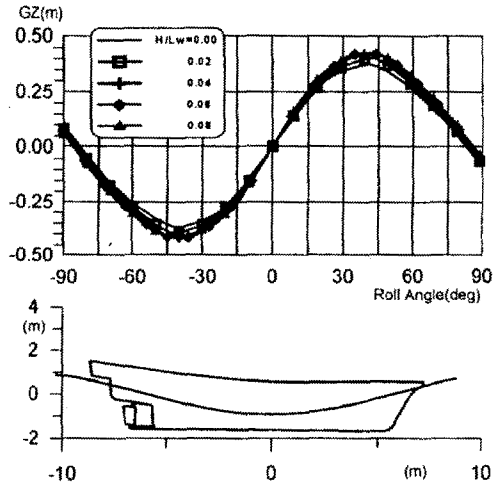


Fig. 14. GZ Curve with  $L_w/L=1.5$ ,  $X/L_w=0.5$ , Wave direction=0deg.

진행방향이 같을 때에 대한 결과이었다. 파향이 다르게 되면 선박이 파장에 있지 않을 때 기울어진 면에 선박이 위치하게 되어 복원력이 한쪽으로 편향되게 된다. 다음의 Fig.17, Fig.18 및 Fig.19 계산 결과는 파도와 선박의 진행방향이 15도 차이가 있고, 선박의 길이와 파장과 같을 때의 결과이다.

파향이 15도 정도에는 파향이 0도 인 결과와 많은 차이가 나지 않는다. 파도의 기울기가 가장 심한 파장의 1/4 위치에 선박이 놓이고, 파향이 45도 인 경우, 파장을 변화시키며 계산한 결과를

Fig.20, Fig.21 및 Fig.22에 도시하였다.

이 경우 횡경사 각도 0도에서 복원 모멘트가 존재하기 때문에 선박은 직립상태로 있지 못하고 복원 모멘트가 없어지는 각도까지 기울어지게 된다. 파장이 길면 변화가 더 심해지는 것을 알 수가 있다. 다음의 Fig.33 및 Fig.24는 가장 많이 기울어지게 되는, 파향이 90도 일 경우에 대한 계산 결과이다.

결과를 보면 파장에 큰 상관성이 없는 것을 알았다. 이것은 선체 폭이 파장에 비하여 상대적으로

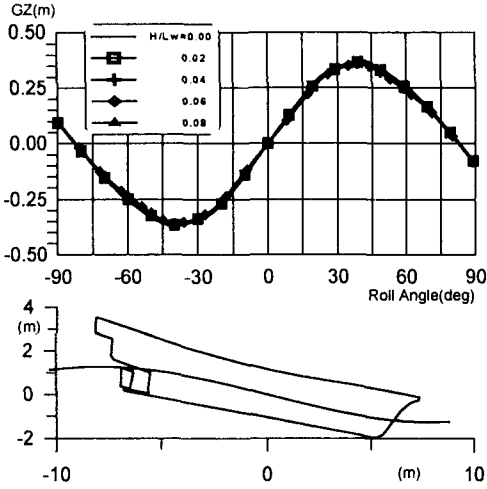


Fig. 15. GZ Curve with  $L_w/L=2$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=0deg.

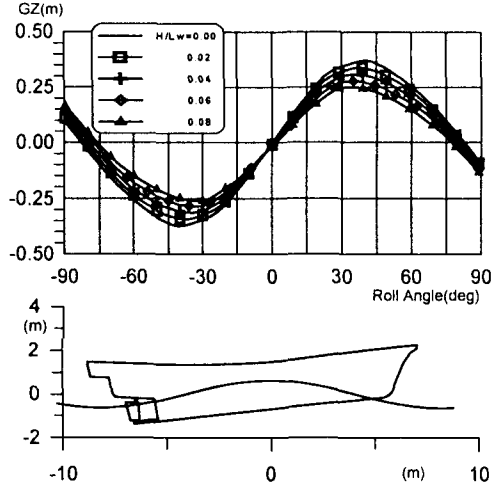


Fig. 17. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0$ , Wave direction=15deg.

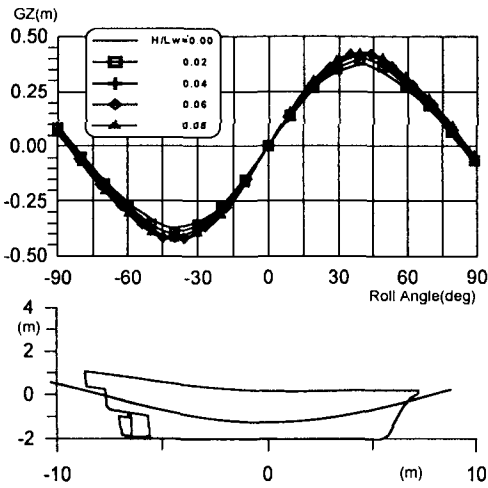


Fig. 16. GZ Curve with  $L_w/L=2$ ,  $X/L_w=0.5$ , Wave direction=0deg.

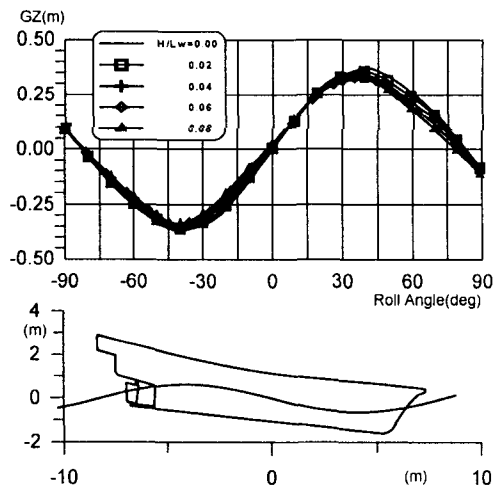


Fig. 18. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=15deg.

작기 때문에 파장의 영향을 별로 받지 않는 것이라 할 수 있다. 파고와 파장의 비가 1/25인 경우 선체는 약 10도 정도 기울게 된다. 또한 위의 그림에서 보면 GZ 곡선 밑의 면적이 기울어진 쪽으로 많이 줄어들을 알 수가 있다. 따라서 동복원력이 작아져서 돌풍 등이 옆에서 기울어진 쪽으로 가해지면 선박이 위험한 상황에 처해질 가능성이 있다.

## 요 약

본 연구에서는 8톤급 어선의 복원력 분석이 이루어졌다. 복원력 분석은 안정성과 관련이 있어, 선박의 기본설계시 중요한 항목중 하나이고, 각국 선급에서 규정을 준수하도록 하고 있다. 파랑중 어선의 전복현상은 파랑 및 바람에 의한 외력과 파랑중 선박의 브로우칭(broaching) 현상과 복원력 변화가 어우러져 발생한다. 본 연구에서는 전복현상에 대한 분석을 하기 전에 필요한 파랑중

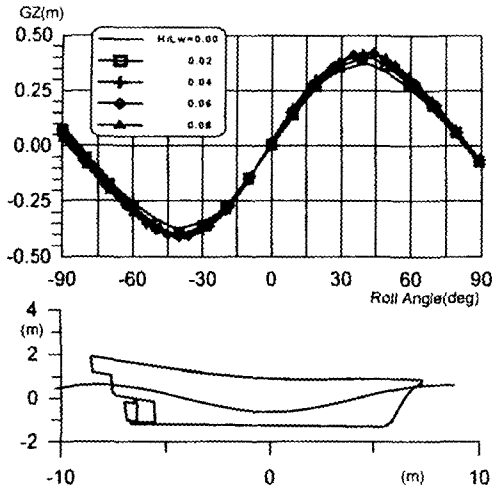


Fig. 19. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.5$ , Wave direction=15deg.

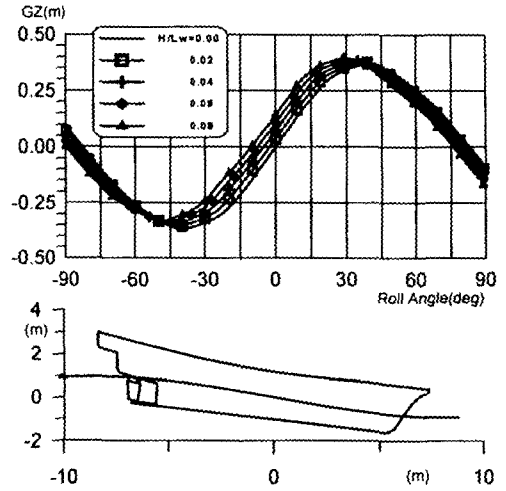


Fig. 21. GZ Curve with  $L_w/L=1.5$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=45deg.

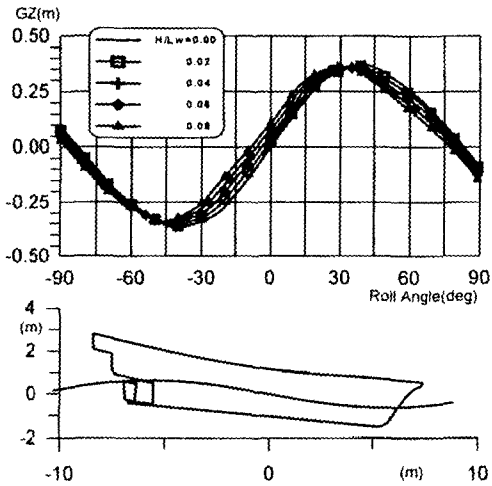


Fig. 20. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=45deg.

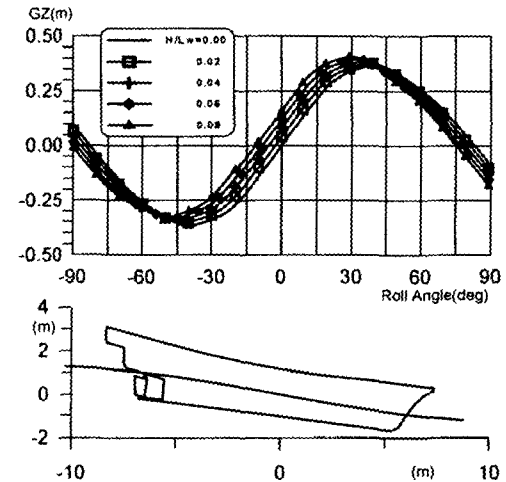


Fig. 22. GZ Curve with  $L_w/L=2$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=45deg.

복원력 분석이 수행되었다.

파도와 의 만남 주파수가 0이 되는 선속과 파장의 관계가 구해졌다. 본 연구에서 택한 어선의 경우 선박의 길이와 비슷한 파장을 가지는 파도와 같은 방향으로 가면 만남 주파수가 작아짐을 알 수가 있었다. 이런 경우 위험한 상황이 발생할 가능성이 있다. 복원력의 계산 결과 파정에 선박이 위치하고 있을 때, 복원력 감소가 상당히 발생하였음을 알 수가 있었다. 파정에 오래 머물지 않도록 하는 운항 지침이 있어야 하겠다. 전체적으로

본 연구에서 택한 어선을 대형 화물선보다 복원력 면에서는 유리한 것으로 판단되는데, 선체가 작아 상대적으로 높은 파도를 만날 가능성이 많다.

앞 절에서 여러 가지 경우에 대한 계산 결과를 보았다. 김운수(1994)는 대형 화물선에 대하여 복원력 변화를 계산하였는데, 파도에 의한 복원력 변화가 심하였다. 위의 그림을 보면  $H/L_w=0.025$ 에서 GZ 곡선의 최대 값이 1/2이하로 줄어들음을 알 수 있다. 그러나 본 어선의 결과인 Fig. 6과 7을 보면 변화가 대형 화물선과 비교하여 작음을 알 수



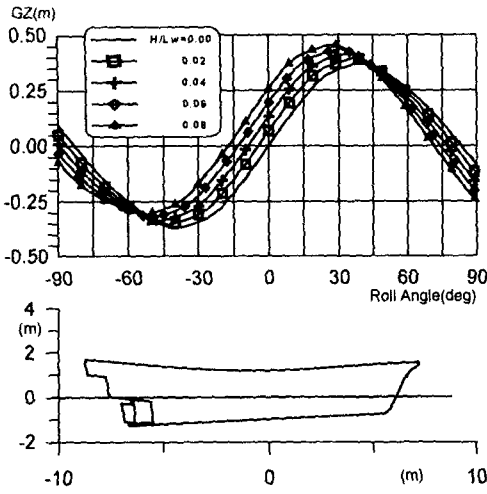


Fig. 23. GZ Curve with  $L_w/L=1$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=90deg.

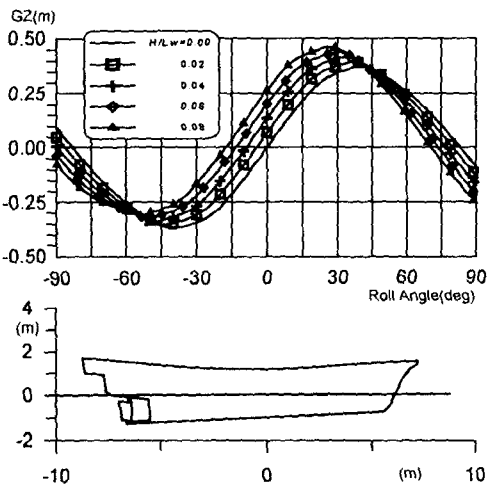


Fig. 24. GZ Curve with  $L_w/L=1.5$ ,  $X/L_w=0.25$ , Wave direction=90deg.

있다. 이 것의 원인은 중앙단면의 형상 때문인 것으로 판단된다. 대형화물선의 경우 방형 비척계수 (뚱뚱함을 나타내는 계수)가 큰데 반하여, 본 어선은 방형 비척계수가 작고 측면에 차인을 두어 부력중심의 변화가 커서 복원력이 많이 작아지지 않는 것으로 판단된다.

앞으로 파도와 비슷한 속도와 방향으로 항주하는 어선의 동역학적인 안정성에 대한 분석이 이루어져야 하겠다.

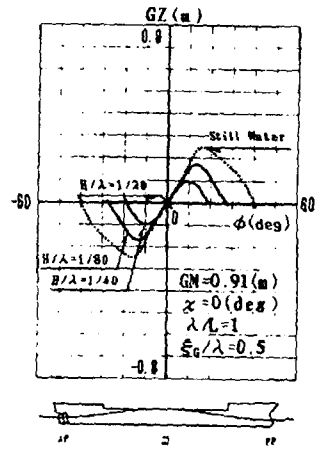


Fig. 25. Kim's Results for Cargo Ship.

### 참고문헌

- 중앙해난심판원(1994-1998) : 해난심판사례집.
- 김윤수(1994) : 파랑중을 항해하는 선박의 전복현상에 관한 연구, 오사카대학 박사학위논문.
- 수산청(1995) : 표준어선형 연구개발(III) - FRP 연안어선 5종 개념 및 기본설계 -, 연구개발 보고서.
- 수산청(1995) : 표준어선형 연구개발(III-1) - FRP 연안어선 5종 기본설계도서 -, 연구개발보고서.
- 임상전역(1971) : 기본조선학. 대한교과서주식회사.
- Newman, J.N.(1976) : Marine Hydrodynamics, MIT Press.
- Lewis, E.V. ed.(1988) : Principles of Naval Architecture. 2nd Rev, SNAME.