

해양수산종사자 교육교재

# 선박 복원성 실무

$$\tan\phi = \frac{V^2 \times BG}{37 \times r \times GM}$$



해양수산부  
중앙해양안전심판원





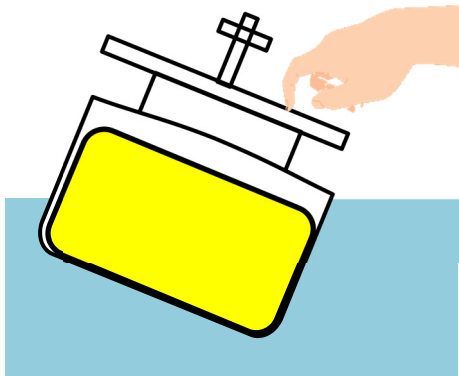
# 목 차

<b>1. 복원성 개념 이해</b>	<b>3</b>	<b>5. 복원성 평가</b>	<b>17</b>	<b>9. 화물의 선적과 복원성</b>	<b>43</b>
1.1 복원성이란 무엇이고, 왜 중요한가?		5.1 선박 제원의 영향		9.1 화물의 이동 원인	
1.2 복원성에 영향을 주는 요소		5.2 바람의 영향		9.2 화물 이동에 대한 복원성 대책	
1.3 복원정(GZ)과 메타센터높이(GM)		5.3 유동수의 영향			
<b>2. 복원성 기준</b>	<b>7</b>	5.4 트림의 영향		<b>10. 파랑과 복원성</b>	<b>46</b>
2.1 초기 복원성		5.5 복원력 감소요인의 통합		10.1 복원성에 영향을 미치는 파랑	
2.2 정적 복원력 곡선		<b>6. 손상 복원성</b>	<b>25</b>	10.2 Heave to로 인한 Rolling	
2.3 초기 경사와 대각도 경사시 복원력 비교		6.1 결정론적 손상 복원성 계산		10.3 Surf riding 으로 인한 Rolling	
2.4 최대 복원력각과 최대 경사각 및 복원성 범위		6.2 확률론적 손상 복원성 계산		10.4 동조횡요 및 Parametric Rolling	
2.5 양(+)의 GZ (90도 경사에서도 복원력이 있는 경우)		<b>7. GM의 계산</b>	<b>27</b>	10.5 조우파 복합현상	
<b>3. 선박 운용 중 정적 복원력 곡선의 변화</b>	<b>12</b>	7.1 경사시험에 의한 GM의 산출		10.6 Heavy sea 에서의 복원성 확보 조건	
3.1 화물의 수직이동으로 인한 복원력 변화		7.2 임의 선적에 따른 GM 산출		<b>11. 어선의 복원성 확보</b>	<b>53</b>
3.2 화물의 횡이동으로 인한 복원력 변화		7.3 횡요주기에 의한 GM 산출		11.1 조업 중 복원성 불량 대책	
3.3 Negative(-) GM (Loll)이면 전복하는가?		<b>8. 선박의 운항과 복원성</b>	<b>30</b>	11.2 어선 항해 중 복원성 불량 대책	
<b>4. IMO 복원성 규정</b>	<b>16</b>	8.1 선회와 복원성			
		8.2 선회 중 외방 경사각의 변화			
		8.3 선회 중 복원성 대책			
		8.4 풍압에 의한 횡경사			
		8.5 풍압에 대한 복원성 대책			
		8.6 유동수 영향			
		8.7 유동수 영향에 대한 복원성 대책			



# 1. 복원성 개념 이해

## 1.1 복원성이란 무엇이고, 왜 중요한가?



- 복원성 또는 복원력(Stability)이란 선박이 물 위에 떠 있는 상태에서 외부로부터 힘을 받아서 경사하려고 할 때의 저항 또는 경사한 상태에서 그 외력을 제거하였을 때 원래의 상태로 돌아오려고 하는 힘을 말한다.
- 선박 복원성이 불량할 경우 화물 손상이 발생하거나 선박 전복으로 인해 인명 손상이 발생하기도 하므로 출항 전 또는 항해 중 복원성 확보를 위해 노력하여야 한다.

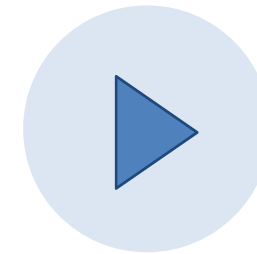
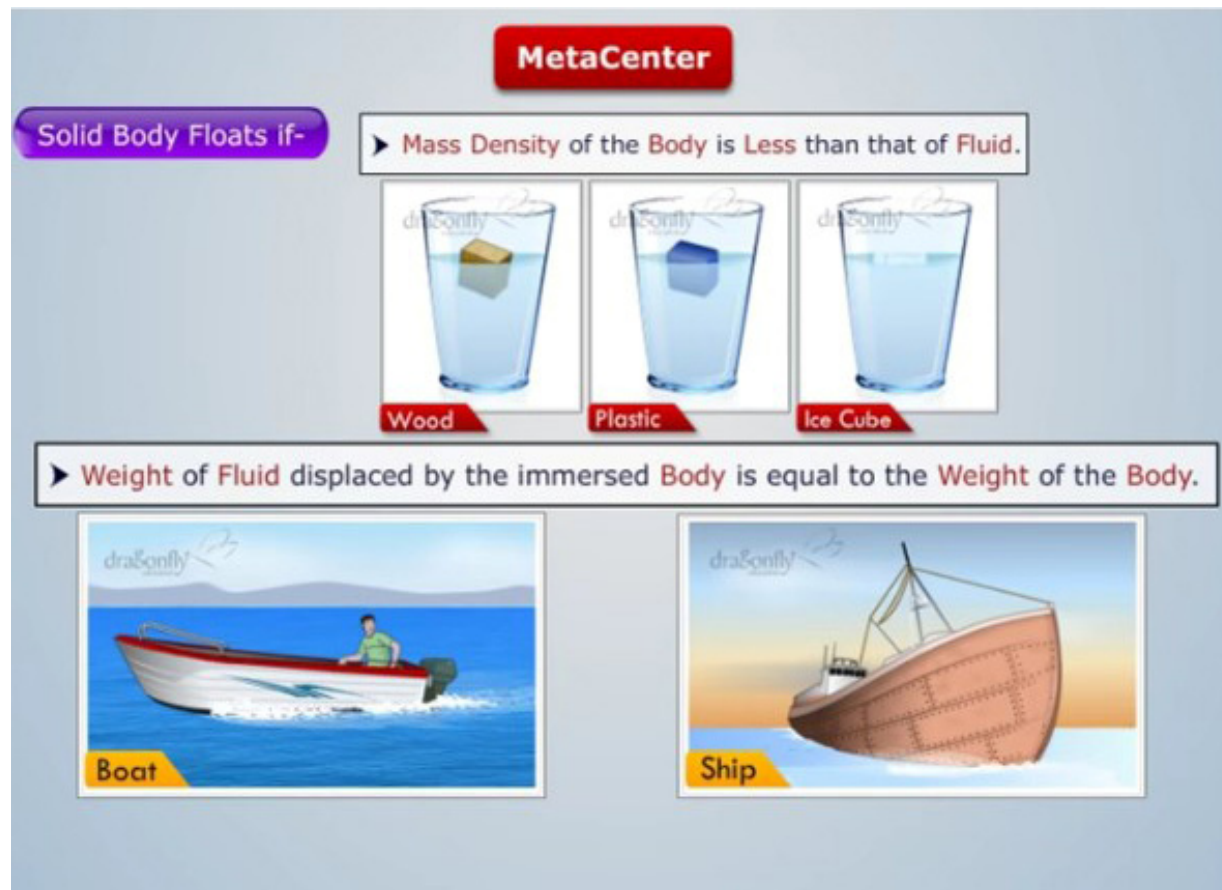
### ✓ 복원성에 대한 올바른 이해

- ① 적정 GM은 선폭의 몇 %라기보다 법규상의 비손상 복원성 요건을 만족하여야 한다.
- ② 초기 복원성은 GM으로 판단하나, 대각도 경사시는 GZ로 판단하여야 한다.
- ③ 선체가 경사되어도 적정 GM을 유지할 경우 경사된 상태에서 항해할 수 있다.
- ④ Loll(-GM) 상태에서 작은 외력만 가해져도 선박은 전복된다.
- ⑤ 적정 GM을 가진 선박도 유동수가 발생하면 복원력이 크게 감소한다.(GoM)
- ⑥ 복원력이 좋은 선박도 외력으로 갑판 끝단이 수면에 닿으면 복원력을 상실한다.

# 1. 복원성 개념 이해



## 1.2 복원성 이해를 돕는 동영상(3' 40")

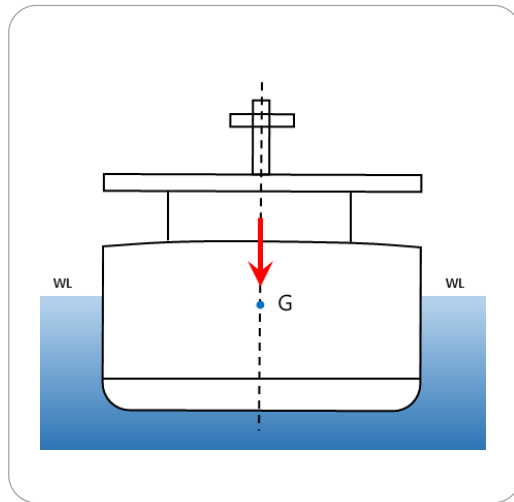


〈출처: <https://www.magicmarks.in>〉

# 1. 복원성 개념 이해

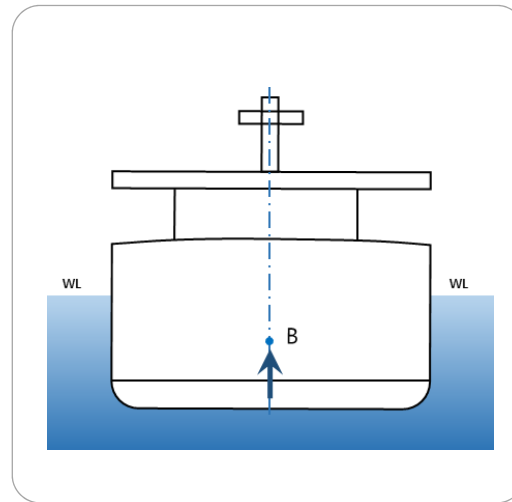


## 1.3 복원성에 영향을 주는 요소



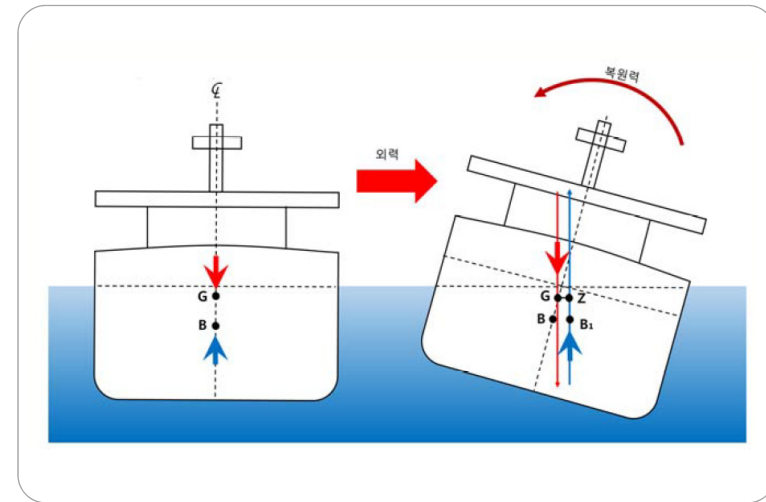
### 무게 중심(重心, G)

- 선박 무게의 중심을 말한다.



### 부력 중심(浮心, B)

- 선체에 대한 모든 상방향 부력이 집중된다고 생각되는 점이다.



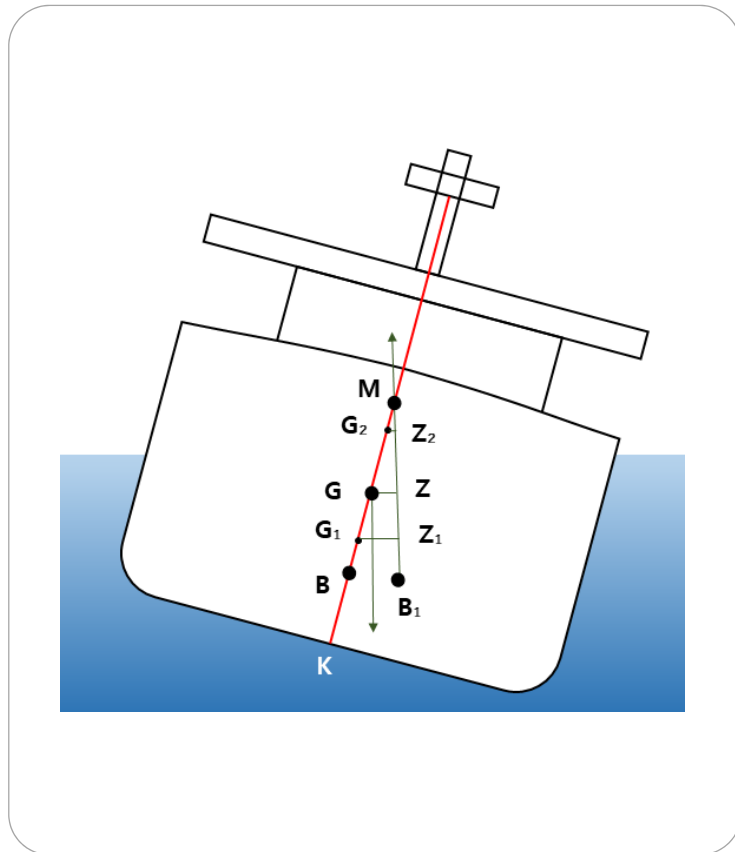
### 우력(偶力, The couple)

- 무게 중심(G)과 부력 중심(B)에 작용하는 동일한 힘이 반대 방향에서 평행하게 가해지는 힘을 말하며, 선체를 회전시키는 작용을 한다.

# 1. 복원성 개념 이해



## 1.4 복원정(GZ)과 메타센터높이(GM)

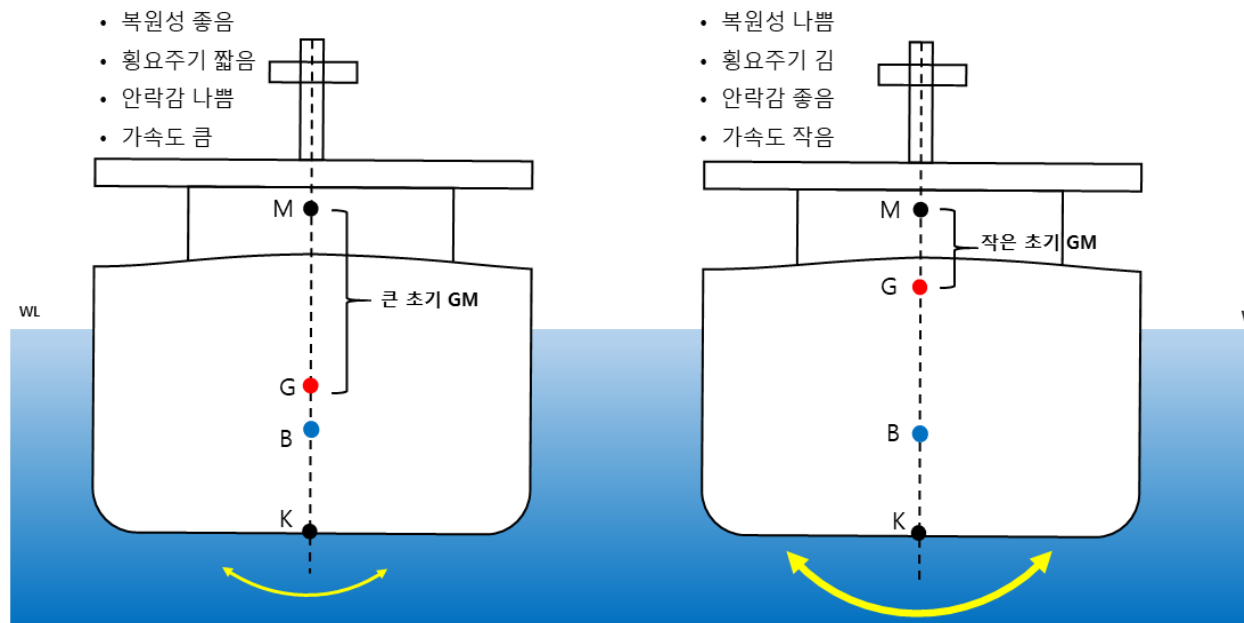


- 선체가 기울어지면 무게 중심(G)과 부력 중심(B)이 더 이상 같은 수직선 위에 있지 않게 되며, G점을 지나는 수직선과 B<sub>1</sub>점을 지나는 수직선 사이의 수평거리를 복원정(GZ)이라 한다.
- 무거운 화물이 하부에 적재되어 무게 중심 G가 선박 아래로 갈수록 GZ는 커지며(G<sub>1</sub>점), 화물의 무게 중심이 위쪽으로 올라갈수록 GZ는 작아진다(G<sub>2</sub>점).
- 선박이 직립했을 때의 부력 작용선과 소각도 경사했을 때의 부력 작용선과의 교점을 경심(M, Metacenter)이라 하며, G점과 M점간 거리를 GM(메타센터높이)이라 한다.
- GZ와 GM의 관계는  $GZ = GM \sin \theta$ 이다.
- 따라서 GM이 크면 GZ도 크다.

## 2. 복원성 기준



### 2.1 초기 복원성

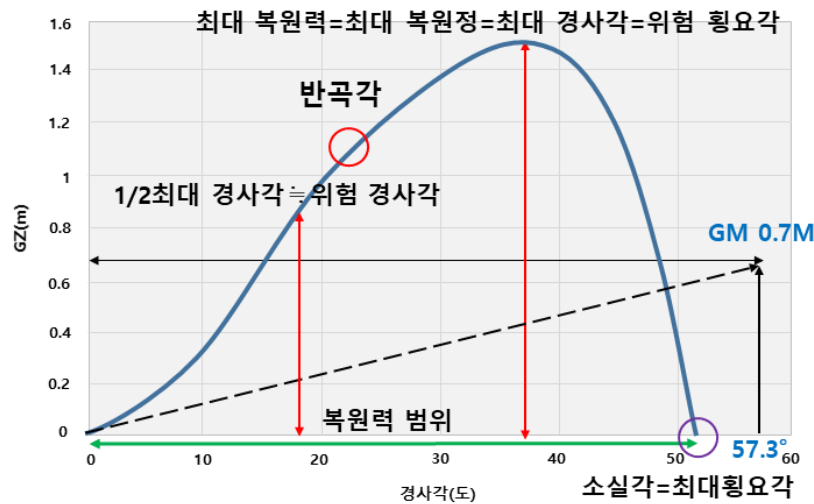


- 초기 복원력(Initial stability)은 외력에 대한 저항의 크기로 정의할 수 있다.
- M(경심)이 선박 중심선을 벗어나지 않는 소각도 경사시의 복원성을 말하며, 대각도 경사시 복원성과는 관계가 없다.
- 초기 복원력 =  $\Delta \times GM \times \sin\theta$  ( $\Delta$ : 배수량,  $\theta$ : 경사각)로 산출할 수 있다.

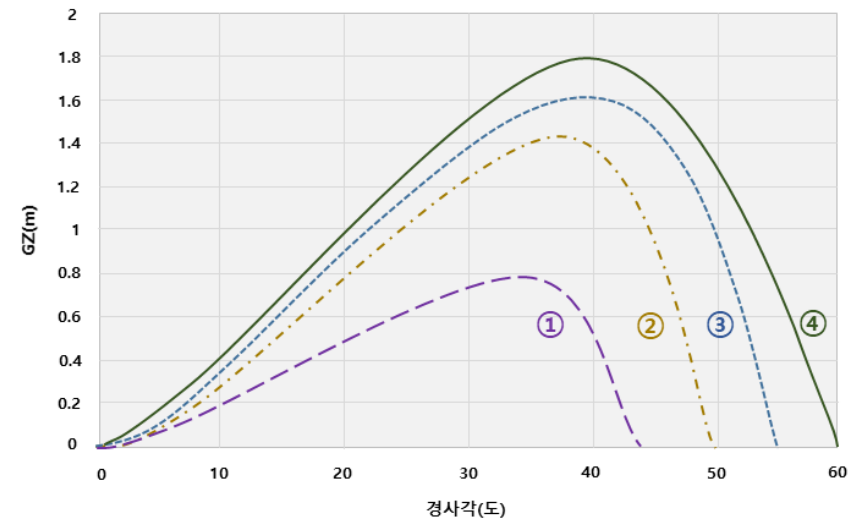
## 2. 복원성 기준



### 2.2 정적 복원력 곡선



- 정적 복원력 곡선(Static stability curve)은 주어진 적재 상태에서 선박의 횡경사각에 대한 복원정(GZ) 또는 복원 모멘트를 표시한 곡선이다.

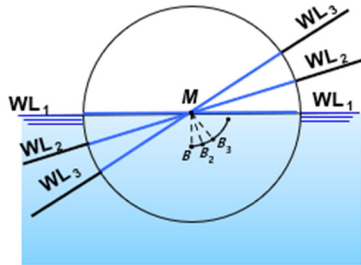


- 동일한 선박이라도 화물의 적재상태에 따라 GZ곡선은 달리 그려진다.
- 복원력 곡선 ①에서 ④로 갈수록 같은 경사각에서 GZ가 좋고, 건현은 높으며 선적된 화물량은 적다. 복원정 범위도 ①은 약 45° 경사각인 것에 비해 ④는 약 60° 경사각으로 크다.

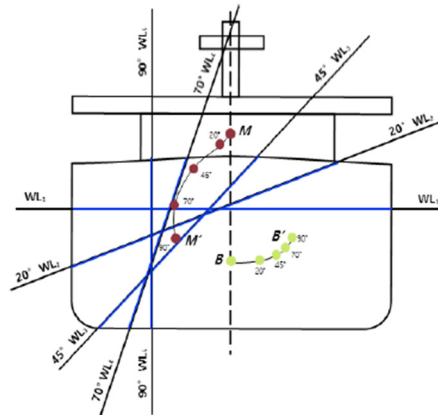
## 2. 복원성 기준



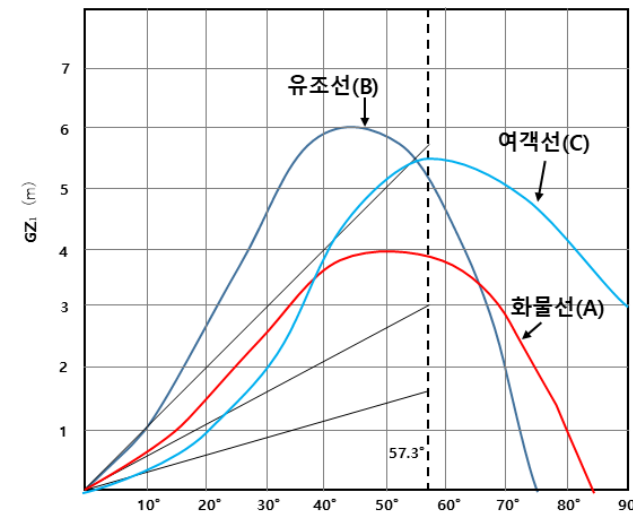
### 2.3 초기 경사와 대각도 경사시 복원력 비교



구형물체의 M점



선박의 M점



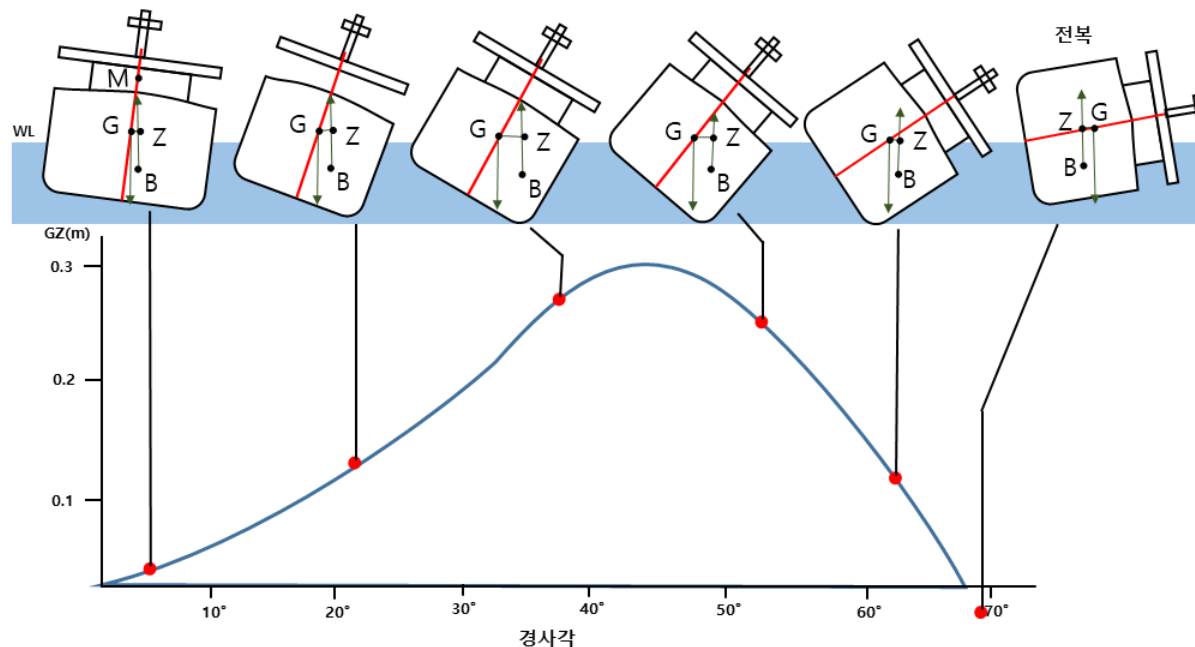
- 선체가 구형이면 소각도 경사와 대각도 경사시 복원력은 같게 되나, 방형의 선체는 소각도와 대각도 경사시 복원력은 달라진다.
- 선체가 대각도로 경사하면 M점이 중심선상에서 벗어나게 되어 초기 복원성곡선상의 GM값을 이용할 수 없으므로 대각도 경사에서는 GZ값으로 복원성을 판단하여야 한다.

- 초기 복원력의 크기가 대각도 경사에서의 복원력 크기를 나타내는 것은 아니다.
- 초기 복원력은 유조선(B)이 가장 크고, 다음은 화물선(A), 그리고 여객선(C)이 가장 작다.

## 2. 복원성 기준



### 2.4 최대 복원력각과 최대 경사각 및 복원성 범위

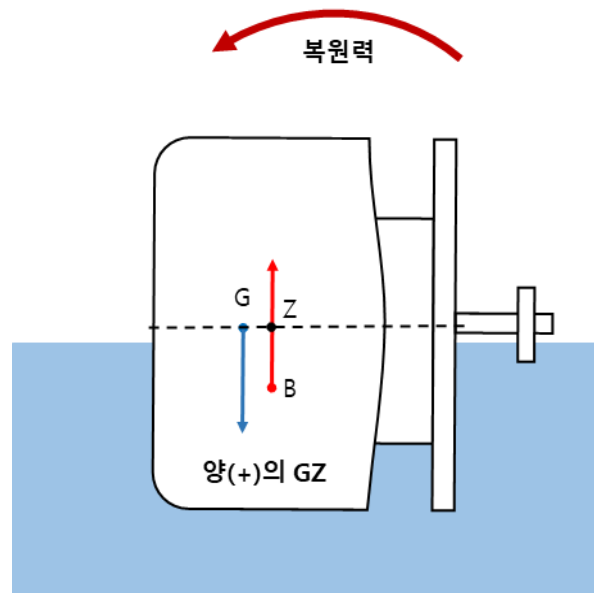


- 최대 복원력 = 최대 복원정 = 최대 경사각 = 위험 횡요각
- 1/2 최대 경사각 = 위험 경사각
- 선박이 횡요할 때 해기사들이 두려움을 느끼는 각도는 선박이 최대 복원력을 갖는 경사각(Angle of heel)이다.
- 선박의 최대 복원력은 갑판 끝단이 침수되는 각 부근에서 나타난다.

## 2. 복원성 기준



### 2.5 양(+)<sup>의</sup> GZ(90도 경사에서도 복원력이 있는 경우)



- 내부 경사우력이 없는 상태로 선박이 90°로 경사된 상태에서 양의 GZ(Positive arm)이 있다면, 이 각도 이상으로 경사할 때도 복원력은 계속 존재한다.
- 선체 하부에 중량물이 적재되어 있고 경사로 인해 화물이 이동하지 않는다면 선체는 바로 서는 복원력을 가진다.

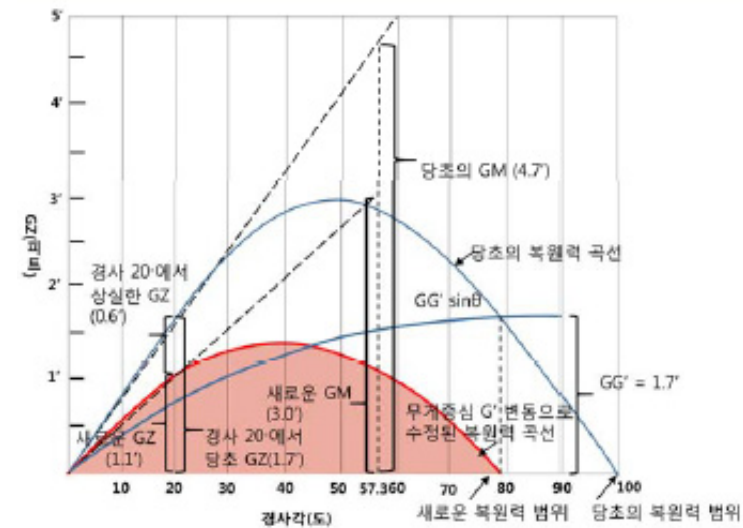
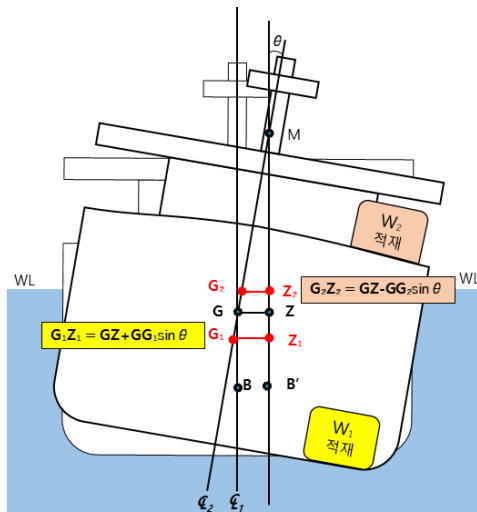


### 3. 선박 운용 중 정적 복원력 곡선의 변화

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



#### 3.1 화물의 수직이동으로 인한 복원력 변화



- 화물을 추가로 적재한 후 선체가 경사하면 당초보다 GZ가 변한다.
- 즉, 추가로 화물을 선저에 적재하면  $GZ + GG_1 \sin \theta$ , 갑판 상부에 적재하면  $GZ - GG_2 \sin \theta$ 만큼 복원정(GZ)이 변한다.

#### 갑판적 화물로 인한 복원력 곡선의 변화

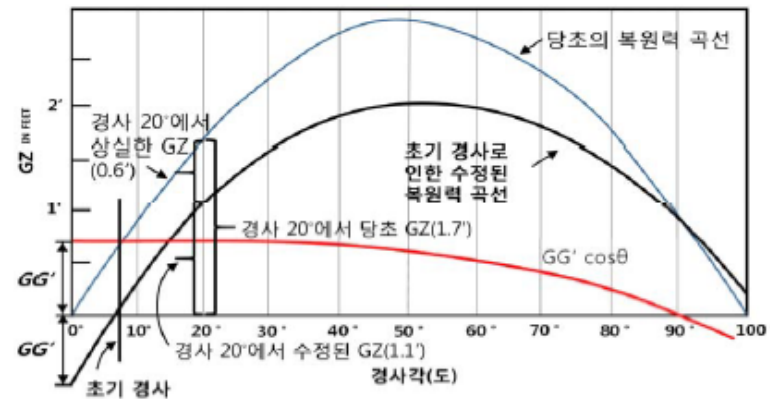
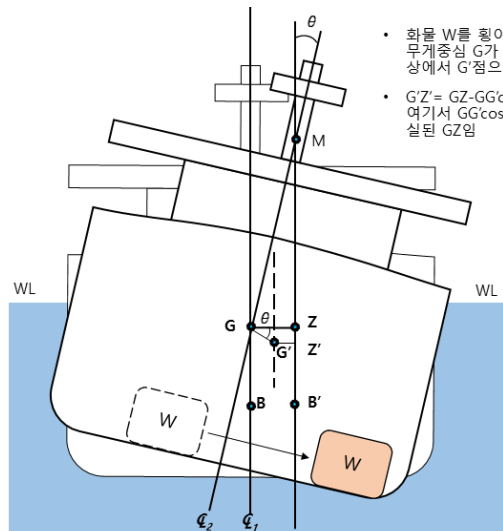
- 초기 복원력(GM)은 4.7' 이다.
- 정상적으로 화물을 적재하였을 때 20도 경사에서 GZ가 1.7'였다.
- 갑판으로 화물을 수직 이동 시 선체가 20도 경사하였을 때 GZ가 0.7'줄어든 1.0'가 된다.
- 결과적으로 화물이 수직이동할 경우 선박의 복원력이 약해지고, 복원력 범위도 줄어든다.

# 3. 선박 운용 중 정적 복원력 곡선의 변화

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



## 3.2 화물의 횡이동으로 인한 복원력 변화



다음과 같은 경우 화물의 무게 중심(G)이 중심선에서 이탈한다.

- 중심에서 벗어난 위치에 중량물을 적재 또는 양륙할 경우
- 화물의 고박불량으로 화물이 한 쪽으로 쏠린 경우
- 횡경사시 유동수가 이동하는 경우

화물의 횡이동으로 인한 복원력 곡선의 변화

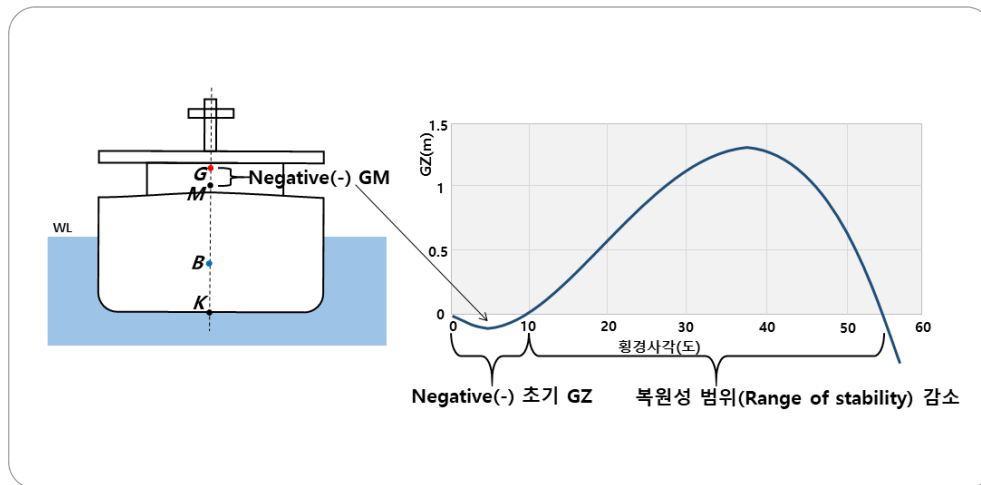
- 정상적인 상태에서 화물(또는 유동수)이 이동하여 선체가 20도 횡경사하였을 경우, 당초 GZ가 1.7'에서 0.7'줄어든 1.0'가 된다.
- 결과적으로 화물이 횡이동할 경우 선박의 복원력이 줄어든다.

### 3. 선박 운용 중 정적 복원력 곡선의 변화

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



#### 3.3 Negative(-) GM(Loll)이면 전복하는가?



- 선박설계를 잘못하여 직립상태에서 G가 M보다 높은 위치에 있게 된다.
- (-)GM은 선박이 전복한다기보다 초기 복원력이 없고 전복정이 없을 때까지 경사한다는 의미이다.
- 화물적재 중 상층부에 화물을 실어 무게중심(G)이 상승하는 경우에도 발생한다.

✓ (-)GM에 의한 경사 수정의 올바른 방법은 다음과 같다.

- ① 화물을 선체 아래쪽에 적재한다.
- ② 상층부 화물을 양하하거나 해상투기한다.
- ③ 유동수가 생기지 않도록 조치한다.

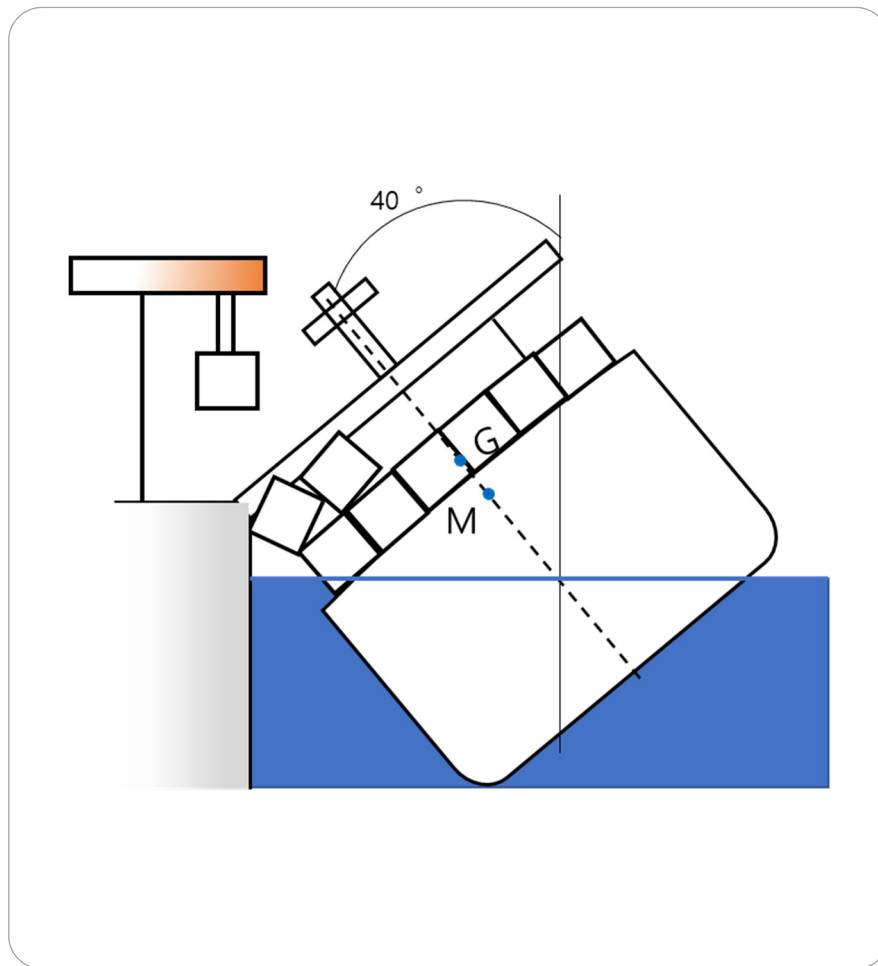
✓ (-)GM에 의한 경사를 잡기 위하여 화물이나 평형수 등을 횡방향으로 이동하는 것은 옳은 방법이 아니다.

### 3. 선박 운용 중 정적 복원력 곡선의 변화

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



#### 컨테이너 적재 중 -GoM으로 인한 컨테이너선 전복사고 사례

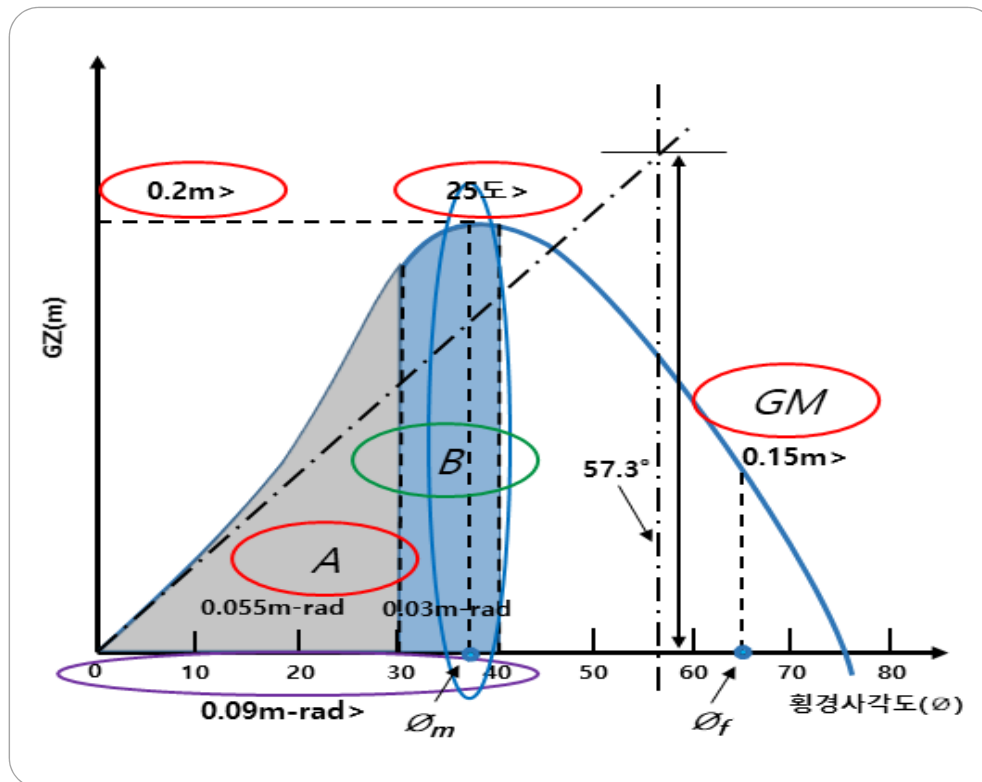


- 총톤수 3,096톤 컨테이너 피더선 H호가 2000.4.8. 부산 자성대부두에서 부산-인천간 컨테이너 선적작업을 하던 중 부적절한 적부계획 수립과 부적절한 컨테이너 적재로 인해 부두 접안한 상태에서 전복, 침몰하였다.
- 이 사고로 선박은 파손, 전복되고 대부분의 컨테이너가 침수되었다.
- 사고원인은 컨테이너 적부계획이 IMO 기준에 미달하였고, 갑판에 컨테이너를 적재할 때 선박경사가 심해졌으나 선적작업을 중단하지 않고 계속하였으며, 계산상태보다 컨테이너의 무게 부정확과 유동수 영향 등으로 본선이 LoI(-GM) 상태가 되어 경사 이후 어떠한 시정조치도 유효하지 않은 상태에서 선체가 전복하였다.

## 4. IMO 복원성 규정



- 모든 선박은 IMO A-749(18) 비손상 복원성 요건을 만족해야 하므로 본선 책임자는 출항전 반드시 이 규정을 만족시키는지 확인하여야 한다.



- $A \geq 0.055 \text{ m.rad}$ ,  $A$ 는  $0^\circ$ 에서  $30^\circ$ 까지의 면적
- $A+B \geq 0.09 \text{ m.rad}$ ,  $A+B$ 는  $0^\circ$ 에서  $40^\circ$  또는 해수 유입각(Flooding angle) 중 작은 각도까지의 면적
- $B \geq 0.03 \text{ m.rad}$ ,  $B$ 는  $30^\circ$ 에서  $40^\circ$ 까지 또는 해수 유입각 중 작은 각도까지의 면적
- $\phi \geq 30^\circ$ 에서  $GZ \geq 0.2 \text{ m}$
- 최대 복원성 각도  $\phi_{\max} > 25^\circ$ , 그러나  $30^\circ$  이상이 바람직
- $GoM \geq 0.15 \text{ m}$

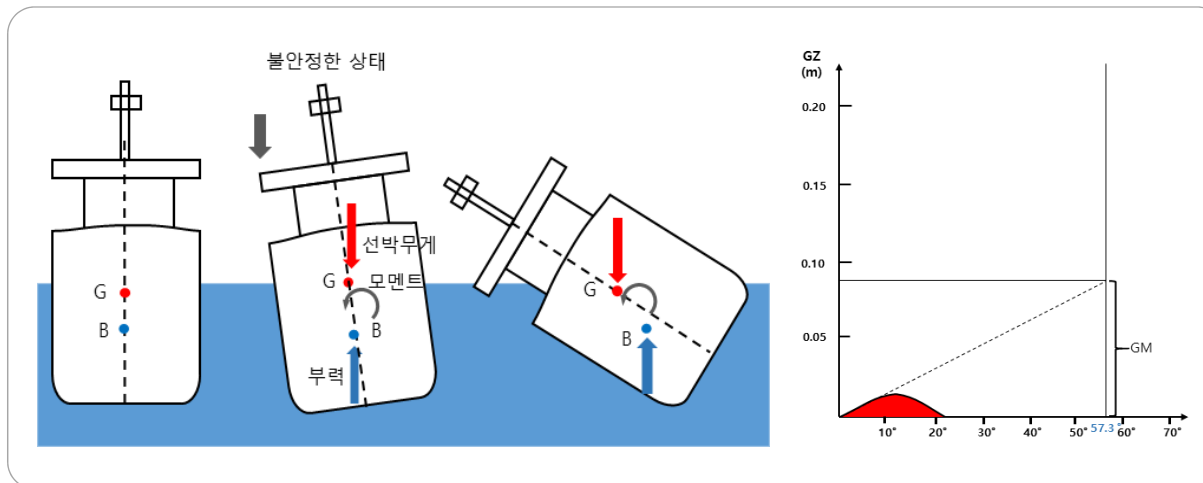
- 본선에 복원성 계산용 컴퓨터프로그램이 있으면 결과를 바로 알 수 있다.

# 5. 복원성 평가

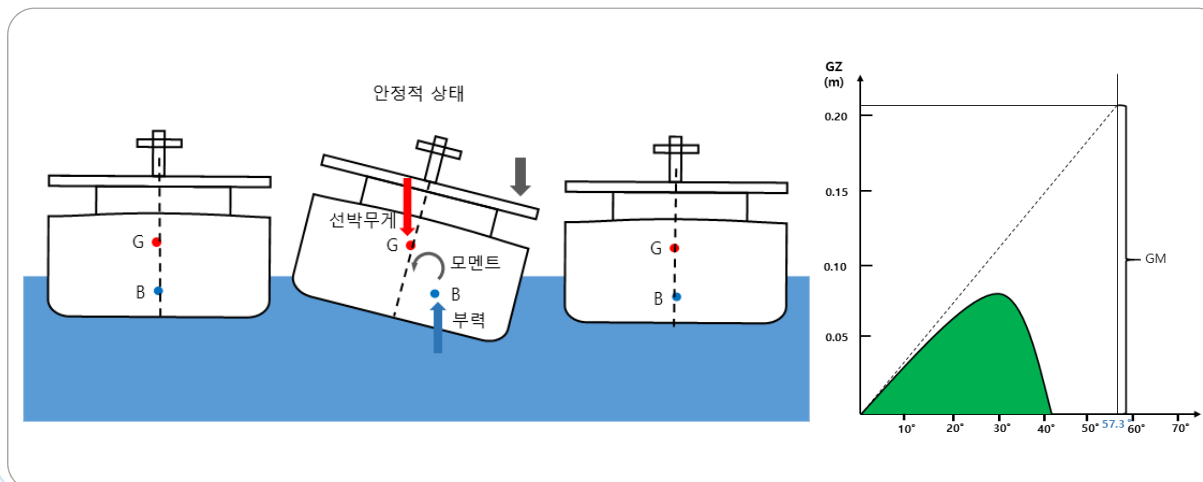


## 5.1 선박 제원의 영향

### 1) 선폭 (Breadth)



- 선폭이 증가되면 복원력 곡선의 기울기가 급해지고 경사에 따른 저항이 증가하여 최대 복원력도 커진다. 반면 최대 복원각 및 복원성 범위가 작아진다

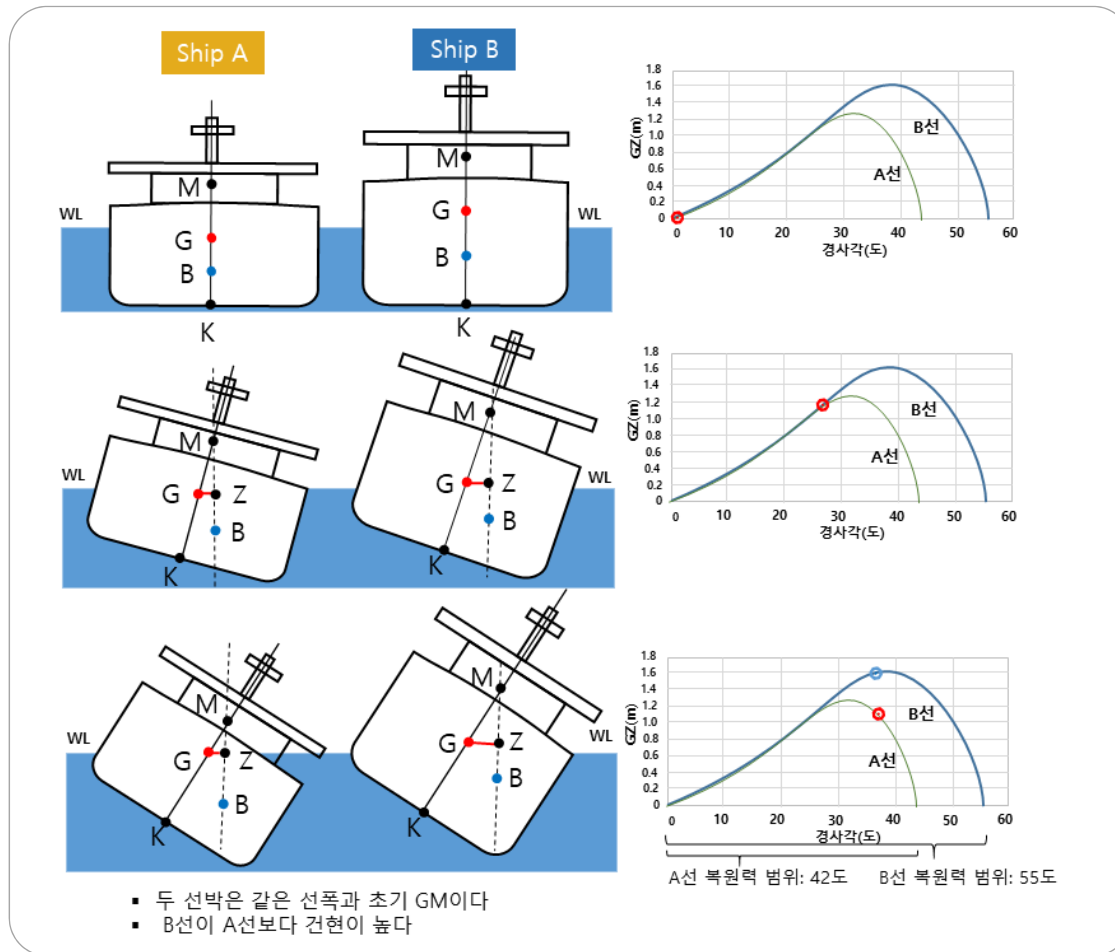


- *Ferry boat*와 같이 흘수가 얇고 중심이 높은 선박은 선폭을 넓혀서 복원성을 증가시킬 수 있다.

# 5. 복원성 평가



## 2) 건현 (Freeboard)



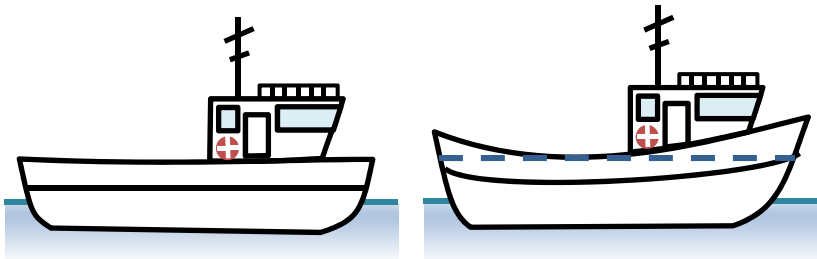
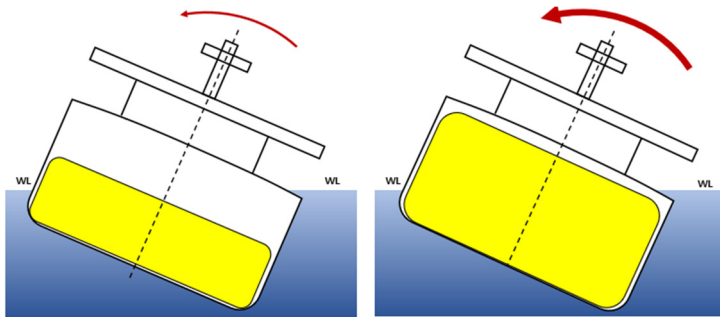
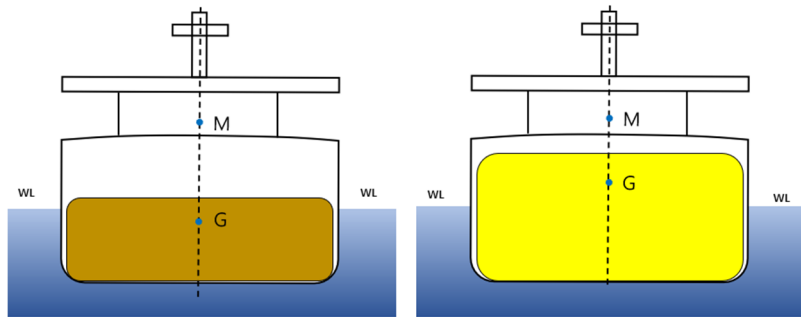
- 적당한 폭과 GM을 보유하고 있어도 충분한 건현을 갖지 못하면 경사하여 갑판단이 물에 잠기게 되는 각(Flooding angle)이 작아져서 복원성 범위가 보장되지 못한다.
- A선박과 B선박은 선폭과 초기 GM, 배수량이 같지만 B선박이 A선박보다 건현이 높다.
- B선박이 최대 복원정, 최대 복원력, 소실각 등에서 A선박보다 우수하다.

건현이 높은 선박으로는 여객선, 컨테이너선, 자동차선 등을 들 수 있다.

## 5. 복원성 평가



### 3) 중심, 배수량, 현호 (Sheer)



- 임의의 주어진 흘수에서 중심(Center of gravity)의 위치가 낮아질수록 GM은 커져서, 복원력 및 복원성 범위가 커지며 복원력 곡선의 기울기도 커진다.
- 배수량(Displacement)이 크면 복원 모멘트가 커져 복원성이 좋다.
- 현호(Sheer)는 건현을 증가시킨 것과 같은 효과를 나타내어 복원성에 좋은 영향을 미친다.

## 5. 복원성 평가



### 무게 중심의 상승으로 인한 전복사고 사례

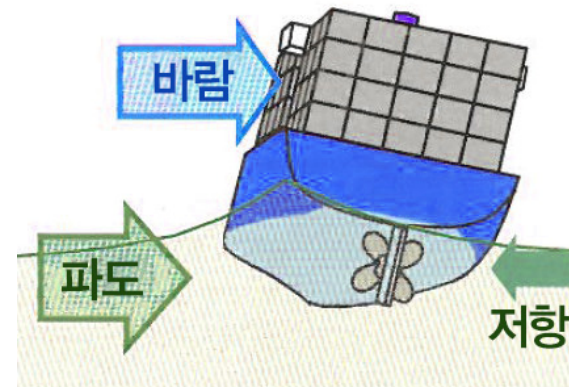
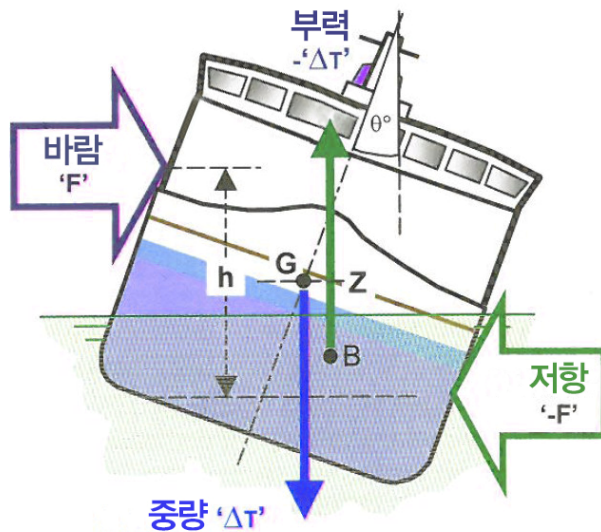


- 총톤수 11,800톤(길이 118m)인 카웨리 여객선 알 살람 보카치오 98호가 승객 1,318명과 승무원 96명을 태우고 사우디아라비아 두바흐항을 출항해 이집트로 향하다가 차량이 적재된 화물창에 화재가 발생하여 1차 진화는 하였으나 3~4시간 후 화재가 재발하여 소화노력을 하는 과정에서 배수구가 막혀 물이 고였고 여객들이 한쪽으로 대피하면서 선체는 더 기울어져 2시간 후 5분만에 홍해에 침몰하였다.
- 이 사고로 생존자는 400여 명에 불과했고 1,018명이 목숨을 잃었다.
- 사고원인은 이집트 선사가 중고선을 인수하면서 탑승인원을 더 늘리려고 상갑판을 2층 더 증축하였고, 무게 중심이 상승하여 복원력이 불량한 상태에서 소화수의 유동수 영향과 여객의 쏠림이 선박을 전복하게 만들었다.

## 5. 복원성 평가



### 5.2 바람의 영향



- 선박이 횡방향으로부터 정상풍을 받을 경우에는 풍압에 의한 경사 모멘트와 복원 모멘트가 평형이 되는 각도까지 경사해서 안정하게 된다.
- 바람의 풍향이 일정하면 그 각도를 중심으로 횡요를 하게 되며, 바람이 그치면 다시 직립하게 된다.
- 황천 시에는 돌풍, 높은 파도의 영향이 서로 합쳐져서 큰 경사 우력이 발생하고, 갑판에 침입하는 파도 때문에 복원력이 감소되어 선박이 전복되기도 한다.

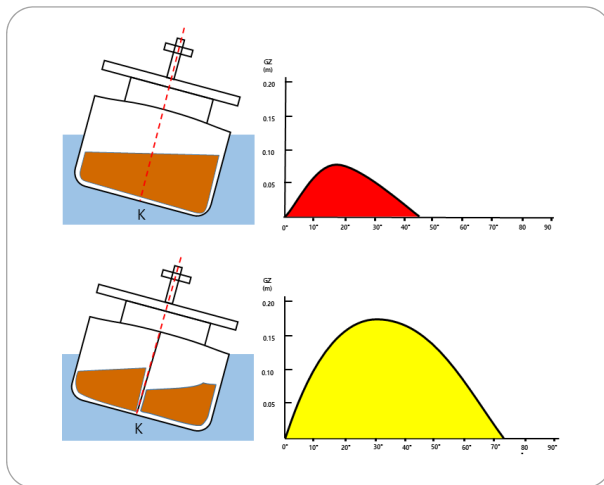
# 5. 복원성 평가



## 5.3 유동수의 영향

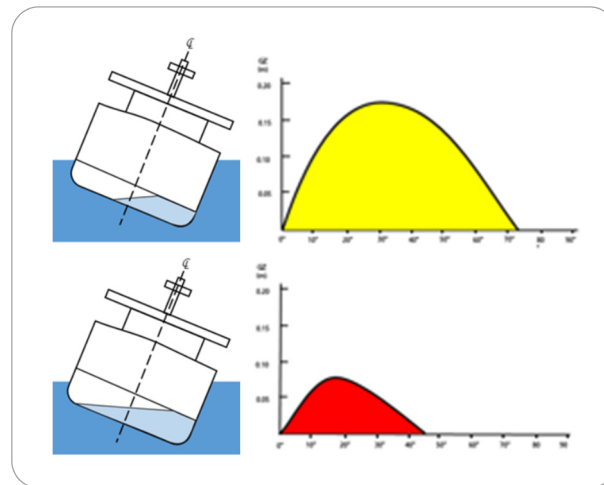
- ▶ 청수, 해수, 기름 등의 액체가 탱크 내에 만재되지 아니하여 자유표면(Free surface)이 있을 경우, 선박이 동요하면 선박 전체의 중심을 상승시킨 것과 같은 복원력의 감소효과가 생긴다.  
(탱크내 유체량에 거의 영향을 받지 않음)

### 1) 격벽의 개수



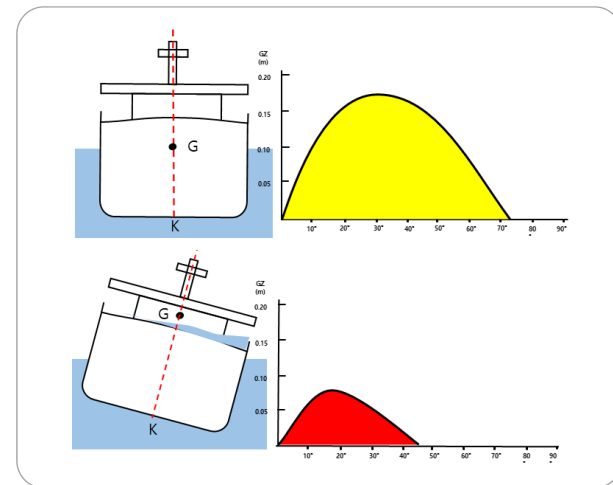
- 유동수의 영향은 등분수  $N$ 의 제곱에 반비례한다.
- 종격벽을 많이 설치하면 유동수 효과를 줄일 수 있다.

### 2) 탱크의 깊이



- 탱크의 깊이가 깊을수록 대각도 경사에서 유동수 효과가 크다.
- 탱크 깊이가 깊은 청수나 연료 탱크의 액체는 비우는 것이 좋다.

### 3) 갑판위 물

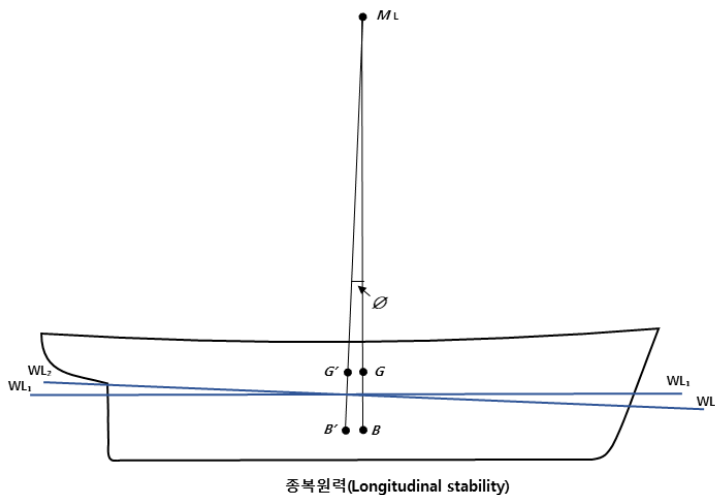


- 갑판상의 물은 선체상부에 중량물을 적재한 효과와 같다.
- 갑판에 올라온 물이 배수가 잘 되도록 한다.

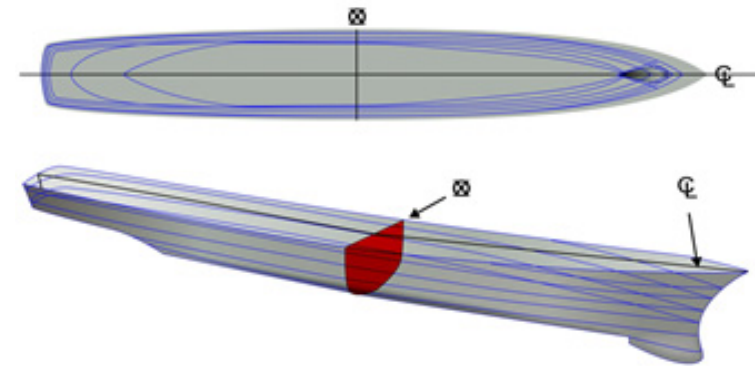
## 5. 복원성 평가



### 5.4 트림의 영향



- 중복원력( $GM_L$  (Longitudinal stability))은 횡복원력과 동일한 개념으로, 선박이 초기 중방향으로 복원력을 회복하려는 성질을 말한다.
- 중복원력은 매우 커서, 만선시에는 선박 길이와 거의 같아 선박의 안전상 큰 문제가 되지 않는다.



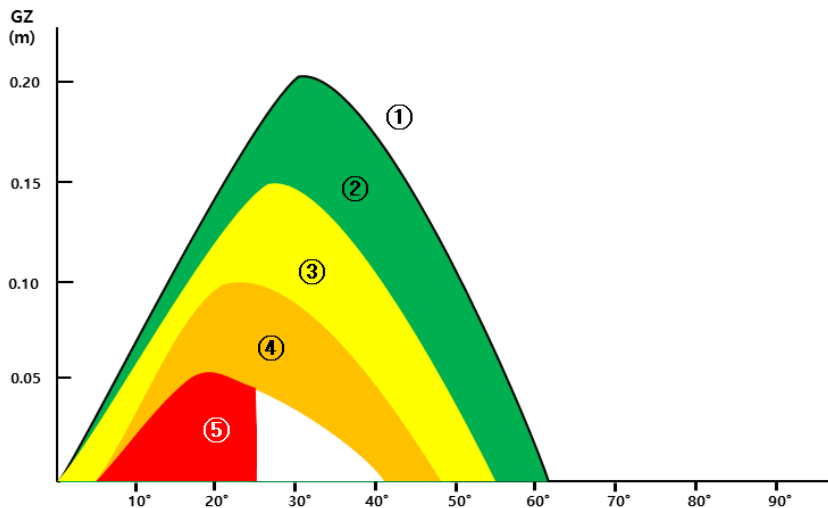
- 트림은 횡복원력에 영향을 준다. 선미 트림이 되면 선미부는 수선면적이 급격하게 증가하여 관성 모멘트( $I_T$ )가 커져 복원력을 증대시킨다.
- 선박이 매우 적은  $GM$ 을 가진 상황이라면 트림이 횡복원력에 영향을 줄 수 있으므로(트림이 과대하게 변하면  $M$ 점의 위치가 변할 수 있다.) 가능하면 화물을 복원력이 커지는 선미쪽에 선적해야 한다.

## 5. 복원성 평가



### 5.5 복원력 감소요인의 통합

- ▶ 만약 이들 조건들이 동시에 발생하면 선박과 선원들에게 치명적일 정도로 선박의 복원성이 나빠질 수 있다.
- ▶ 잘 설계·건조된 선박도 유능한 선원보다는 낫지 않다. 현장의 선박책임자의 올바른 판단과 조치가 매우 중요하다.



① 흑색 선 : 원래의 GZ 곡선

② 녹색 영역 : 갑판적 화물의 적재 ➡ 무게 중심의 증가 ➡ 복원성 감소

③ 노란색 영역 : 경사 ➡ 선체가 경사한 쪽 건현의 감소 ➡ 복원성 감소

④ 주황색 영역 : 홀드 내 침수 ➡ 자유수 효과 ➡ 복원성 감소

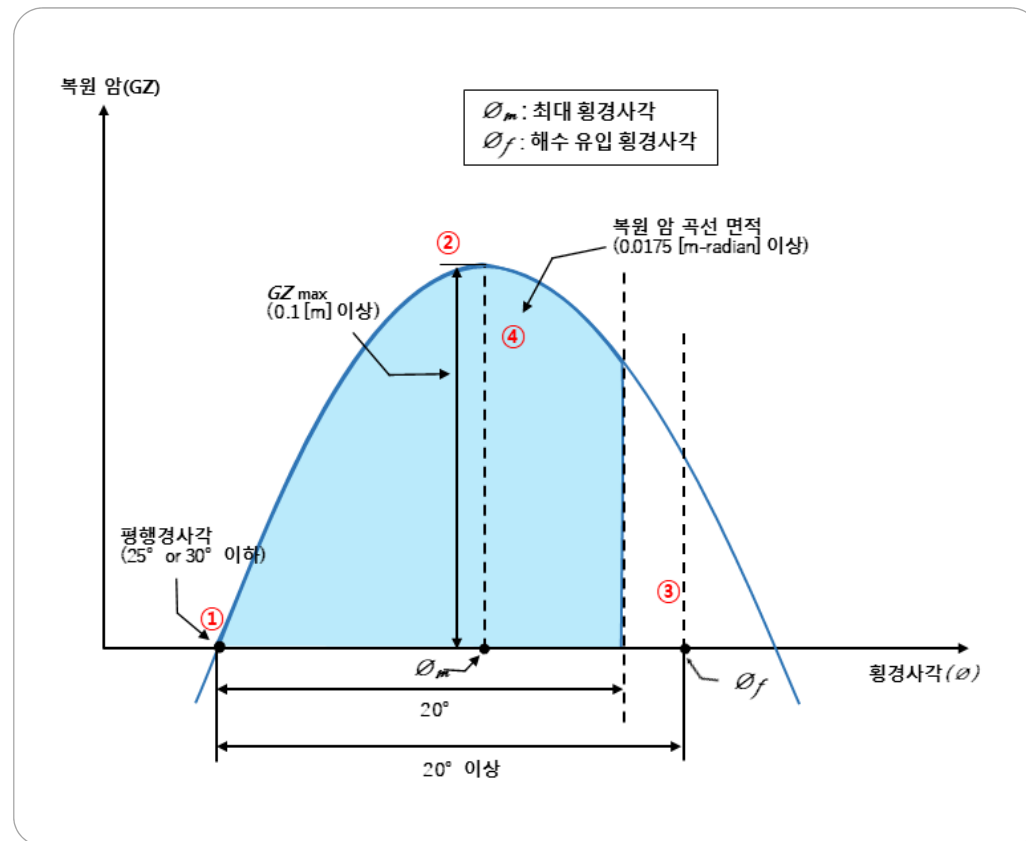
⑤ 빨간색 영역 : 주거/기관구역 수밀문 개방 ➡ 부력 감소와 자유수 효과 ➡ 복원성 감소

## 6. 손상 복원성

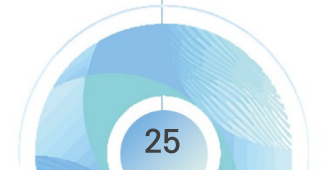


- ▶ 선박이 항해 중 하나 혹은 그 이상의 선체구획이 손상을 입어, 그 후 일어나는 Draft, Trim, Heel 및 복원력 등의 변화를 손상 복원성(Damage stability)이라 한다.

### 6.1 결정론적 손상 복원성 계산



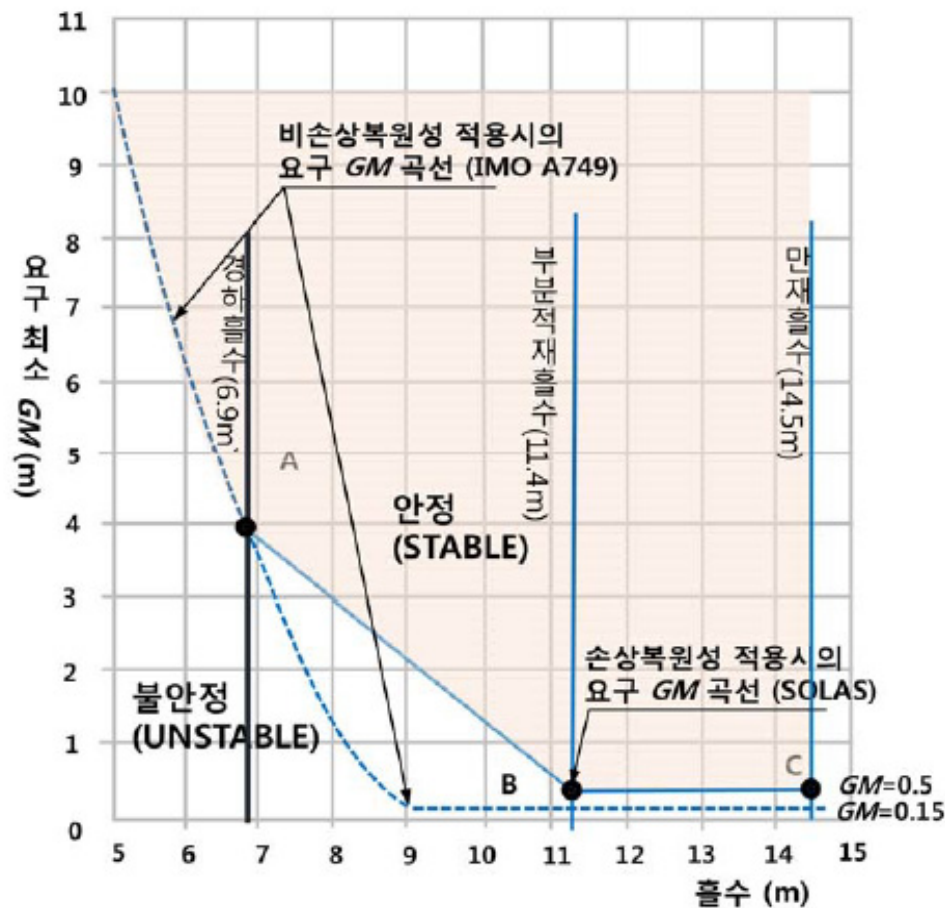
- 선박이 손상된 상태에서의 위치, 복원성 및 경사를 기반으로 선박의 생존 가능성을 계산하는 방식이다.
- 선박의 길이, 폭, 그리고 높이 방향으로 '손상 범위'를 가정하고, 이 손상 범위를 이용하여 여러 가지 '손상 경우'를 생성하고, 각각의 손상 경우의 잔존 복원성은 규정의 요구 값을 만족하여야 한다.
- 유조선, 케미컬탱커, 가스운반선과 같은 액체화물을 운송하는 선박들은 이 방식을 이용하여 손상의 범위를 어느 정도 예측할 수 있다.



## 6. 손상 복원성



### 6.2 확률론적 손상 복원성 계산

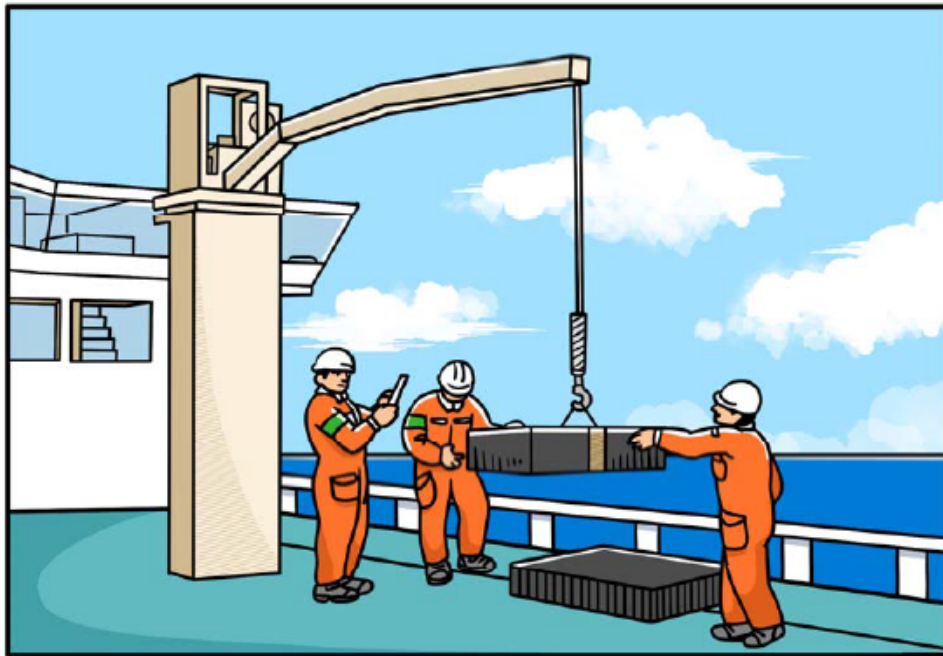


- 선박의 손상 가능성을 기반으로 선박의 생존 가능성을 계산하는 방식이다.
- 통계에 기반한 계산에 따라 최소GM곡선을 이용하여 잔존복원성을 판단한다.
- 점선 그래프는 각 흘수별로 비손상복원성 요건을 충족하기 위해 필요한 최소 GM을 나타내며, 실선 그래프는 선체가 손상되었을 때 해당 흘수에서 요구되는 최소 GM을 표시하는 경계선이다.
- 길이 80m 이상의 건화물선(컨테이너선, Ro-Ro선 등)과 길이에 상관없이 모든 여객선에 적용된다.

# 7. GM의 계산



## 7.1 경사시험에 의한 GM의 산출

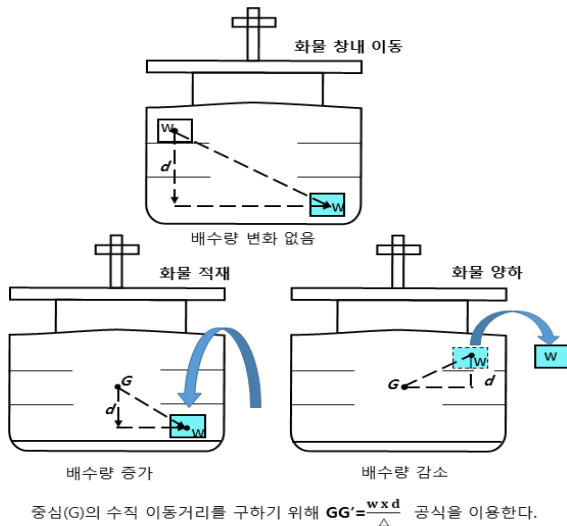


- 인위적으로 선박이 횡경사하도록 하고, 그때 경사각을 잰 뒤 계산에 의해 중심의 상하방향의 위치(KG)를 구한다.
- 화물적재 완료후 모든 화물을 고정시킨 후 무게를 알고 있는 중량물( $w$ )을 한 지점에서 다른 지점으로 일정 거리( $d$ )만큼 이동시키면 발생하는 경사각을 측정하여 GM을 산출한다.
- *선박 건조 후 또는 선박 개조 후 건조자와 선급에 의해 수행된다.*

# 7. GM의 계산



## 7.2 임의 선적에 따른 GM 산출



	Weight (MT)	L.C.G (M)	L.C.G.MT (MT·M)	V.C.G (M)	V.C.G.MT (MT·M)	T.C.G (M)	T.C.G.MT (MT·M)	FSM (MT·M)
Light Weight	43820.6	-15.34	-672076.5	18.25	799813.6	-0.03	-1489.9	0
Dead Weight	146046.4	-4.14	-604378.4	22.93	3349164.9	0.02	2358.6	9996
Displacement	189867.0	-6.72	-1276454.0	21.85	4148978.5	0.00	868.7	9996
DW Constants	1340.0	-24.31	-32576.0	16.32	21871.2	0.00	0.0	0
① KMT (M)	23.15		G.M (M)	⑧ 1.30		Heeling Angle (Deg)	⑫ 0.21P	
② VCG (KG)(M)	21.85		GGo (M)	⑨ 0.05		Heeling Moment (M)	⑬ 4130.7	
③ L.C.G (M)	-6.72(168.03)		GoM (M)	⑩ 1.25		Flood Angle (Deg)	⑭ 38.922	
④ L.C.B (M)	-6.73(168.02)		Draft Equiv. (M)	⑪ 15.52		Trim by stern (M)	0.12A	
⑤ L.C.F (M)	-17.76(156.99)		Draft at AP (M)	15.58		Sea Water Density	1.025	
⑥ M.T.C (MT·M)	3679.2		Draft at FP (M)	15.46		Propeller Immersion (%)	165.8	
⑦ T.P.C (MT/CM)	154.628		Draft Mean (M)	15.52				

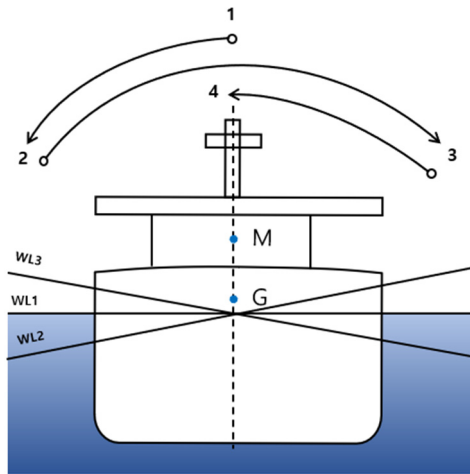
- 선적이 진행됨에 따라 개별 화물의 이동으로 GM이 변하는 것을 계산한다.
- GM의 계산은 각 구획의 KG 계산, 적·양하시의 VCG(KG)의 계산, GG'를 산출한 후 GM을 산출한다.
- 선적완료 전에 계산을 완료해야만 Stowage 변경이 용이하다. Good stability를 만족하기 위해서는 적양하 단계에서도 지속적으로 GM을 계산하여야 한다.

- Load master가 있는 선박에서는 각 홀드별 화물량, 평형수량, 청수와 연료량 등을 입력하면 선박의 컴퓨터가 자동적으로 계산하여 결과를 보여준다.

# 7. GM의 계산



## 7.3 횡요주기에 의한 GM 산출



선박의 횡요주기 측정  
(1번 위치에서 4번 위치 까지 시간 측정)

- 선박의 횡요주기를 이용하여 GM을 약산하는 방식이다.

$$Tr = 2C \times B / \sqrt{GM}, \quad GM = (2C \times B)^2 / Tr^2$$

여기서  $Tr$  = 횡요주기

$$C = 0.373 + 0.023 (B/d) - 0.043 (L/100) \quad (\text{IMO에서 검증한 공식})$$

$B$  = 선폭,  $d$  = 흘수,  $L$  = 선체길이(LOA)

### ✓ 횡요주기에 의한 GM 산출(예)

- 선폭( $B$ )이 30.2m, 선체길이( $L$ )는 183m인 본선의 현재 평균흘수( $d$ )는 8m이다. 항해 중에 본선의 Rolling 주기( $Tr$ )는 23초로 측정되었다면, 본선의 GM 추정치는 얼마인가?

〈계산〉

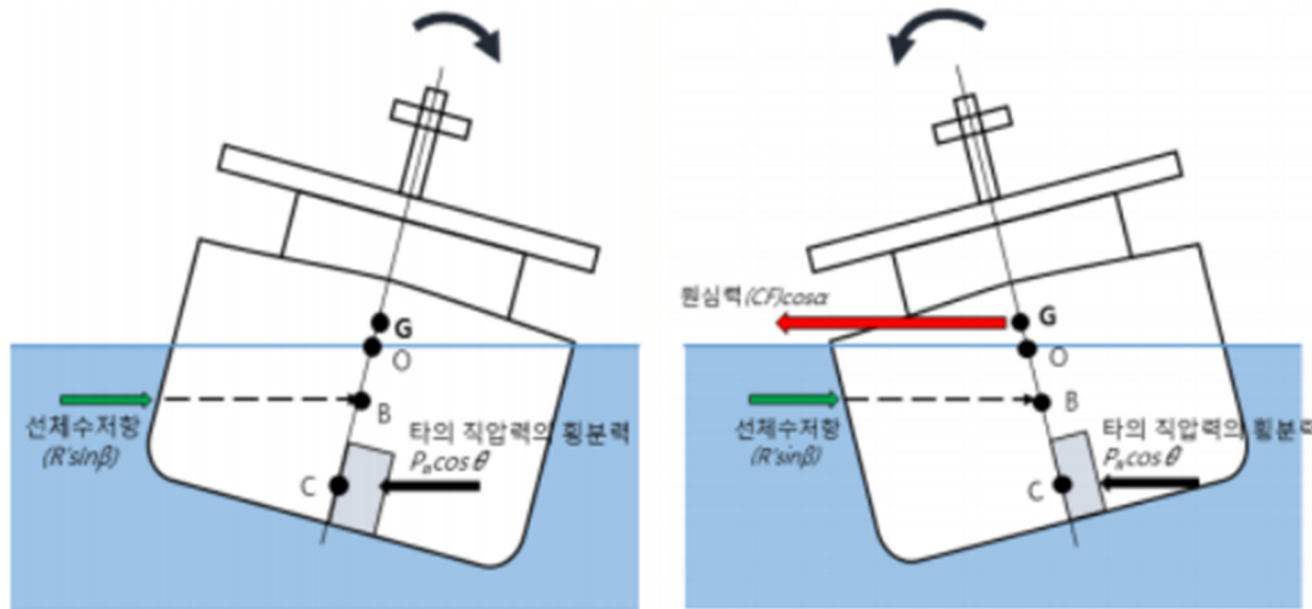
- $C = 0.373 + 0.023(B/d) - 0.043(L/100) = 0.373 + 0.023(30.2/8) - 0.043(183/100) \div 0.38$
- $GM = (2C \times B)^2 / Tr^2 = (2 \times 0.38 \times 30.2)^2 / 23^2 \div 1.0m$

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 8.1 선회와 복원성



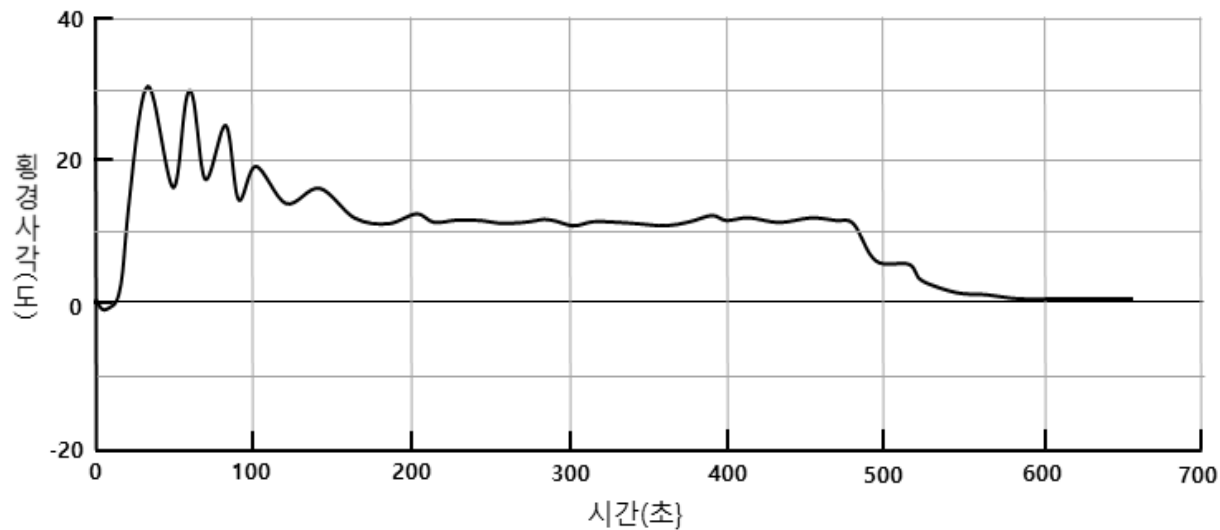
- 저 GM 선박이 선회하는 경우에는 1차적으로 내방경사가 일어나고, 이후 선회가 계속되면서 정상선회에 들어가면 외방경사가 일어난다.
- 외방경사는 일반적으로 선속이 높고 선회경이 작아지고 GM이 상대적으로 낮아지면 외방 경사각이 커진다.
- 컨테이너선은 상대적으로 GM을 적게 설계한다. 왜냐하면 복원력이 커서 롤링주기가 빠르게 되면 갑판상에 적재된 화물의 손상 가능성이 높고, 심지어는 고박이 파손되어 컨테이너가 붕괴될 수 있기 때문이다.

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 8.2 선회 중 외방 경사각의 변화



- 처음에는 내방경사가 약하게 발생하였다가 이후에는 초기 선회과정에서 최대 횡경사가 일어난 후 그 다음에는 정상값으로 안정되게 변화였다.
- 경사각은 타각의 크기, 선속중 선속의 영향이 더 크며, GM이 작으면 선회중 외방경사각이 커진다.
- 최근의 연구결과에 따르면 선회 초기에 발생하는 최대 횡경사각은 일반적인 정상상태 때의 횡경사각보다 최대 5배에 이를 수 있는 것으로 나타났다.

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 과속으로 인한 전복사고 사례



- 총톤수 51,770톤(길이 179.9m)인 PCTC선 HOEGH OSAKA호가 2015.1.3. 영국 사우스햄턴 수로에서 도선사가 승선하여 항해하다가 변침점에서 12노트로 좌현변침하다 갑자기 우현으로 40도로 기울어졌다.
- 사고원인은 차량적재 상갑판은 만재하였으나 하갑판은 적재하지 않고 연료유도 적게 실었으며 추가적인 평형수도 적재하지 않아 상대적으로 선박의 무게중심(G)이 높아 복원성이 불량하였다.
- 과도한 선체경사로 인해 선박의 회두율이 증가하고 이것이 선체를 비상하게 좌회두시켜 브램블뱅크에 좌초하였다.

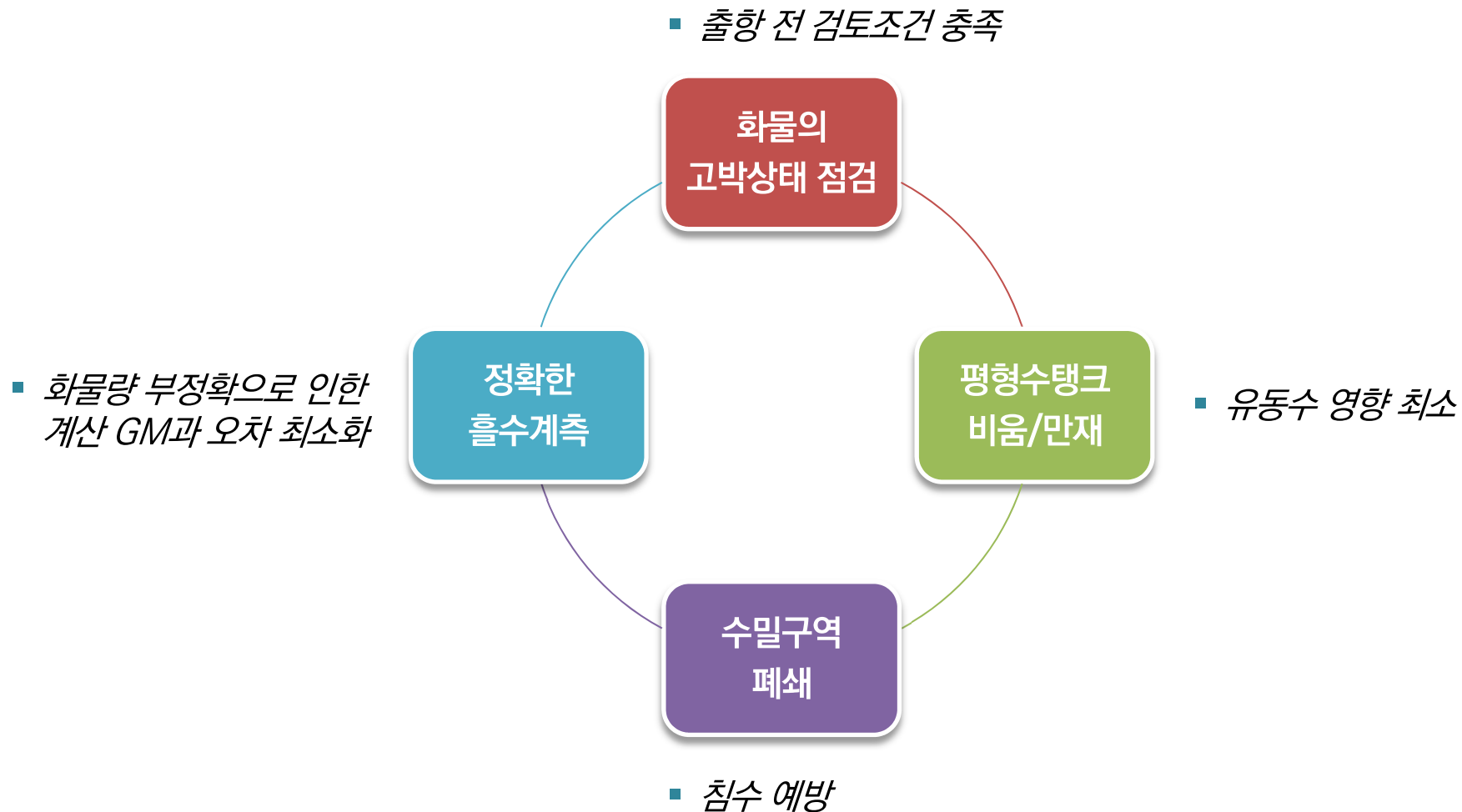
## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 8.3 선회 중 복원성 대책

#### 1) 출항 전 조치사항

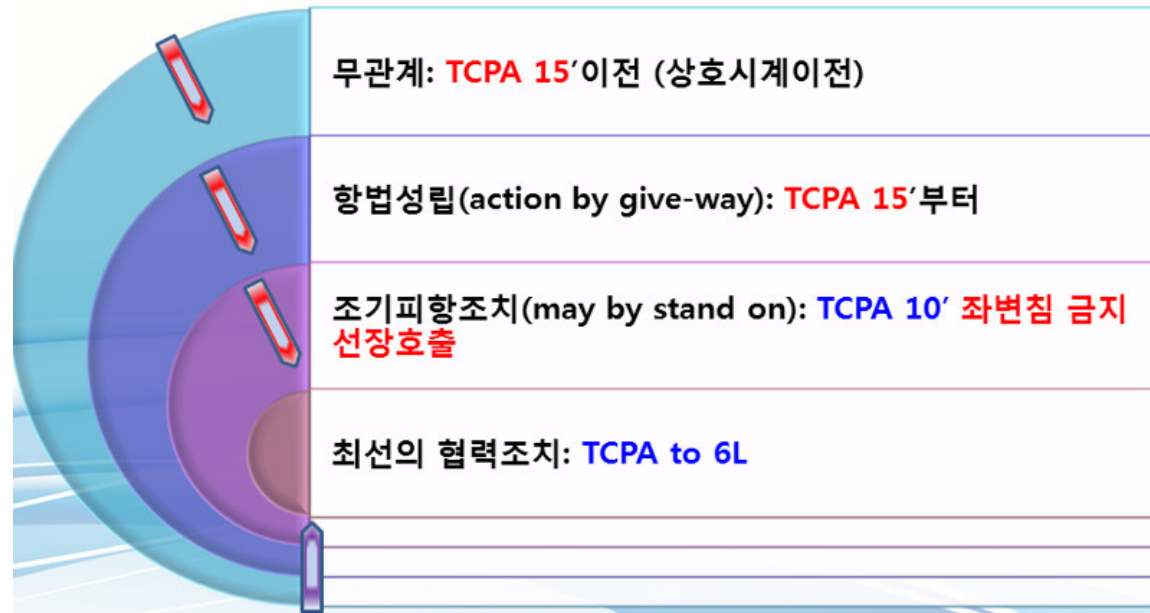


## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 2) 대항 항해 중 조치사항



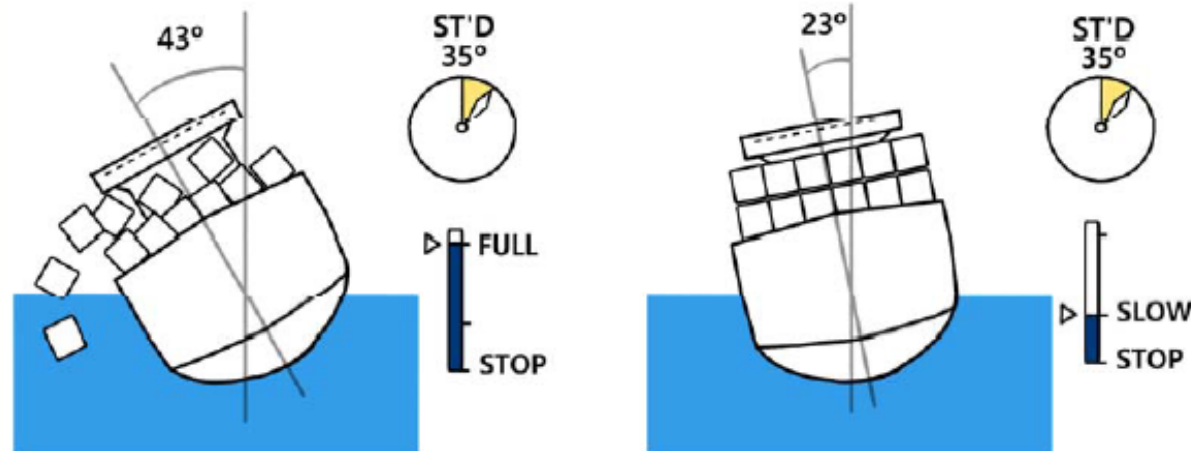
- 대양 항해 중에 충돌의 위험을 피하기 위해서는 TCPA 15분전, 10분전, 선박길이 6배에 해당하는 TCPA 기준을 참조하여 미리 충돌회피 동작을 취하여 대각도 타각사용을 피한다.
- 대각도 변침시에도 가능한 한 조기에 타각을 5°~10° 정도 사용하여 변침하며 외방 경사각을 최소화한다.
- 그러나 긴박한 위험이 있는 경우에는 충돌회피가 최우선이므로 대각도 타각을 사용하여야 한다.

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 3) 협수로 또는 항내조선 중 조치사항



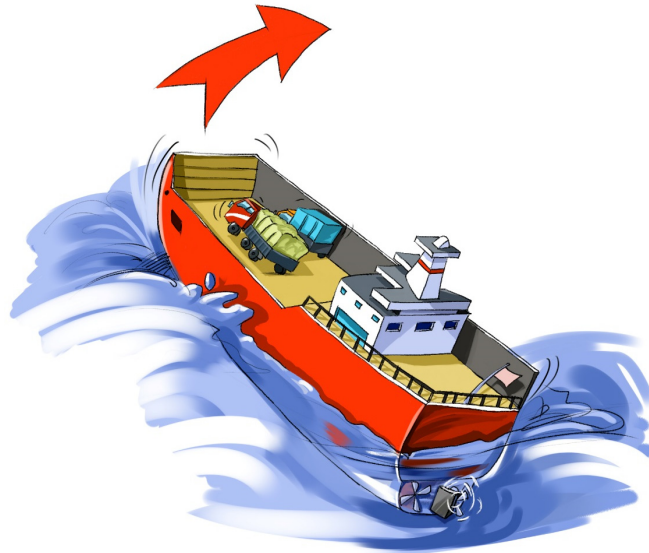
- 만곡부 통항 시 또는 입출항 시 불가피하게 대각도 변침을 하여야 할 경우에는 선속을 충분히 감속하여야 한다.
- 항내조선은 저속이므로 타를 대각도로 하여 적극적으로 사용해야 한다.
- 대각도 타각 사용이 부득이한 상황이면 적극적으로 감속조치를 한 후 대각도 타각을 사용하도록 한다.

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 대각도 선회로 인한 전복사고 사례

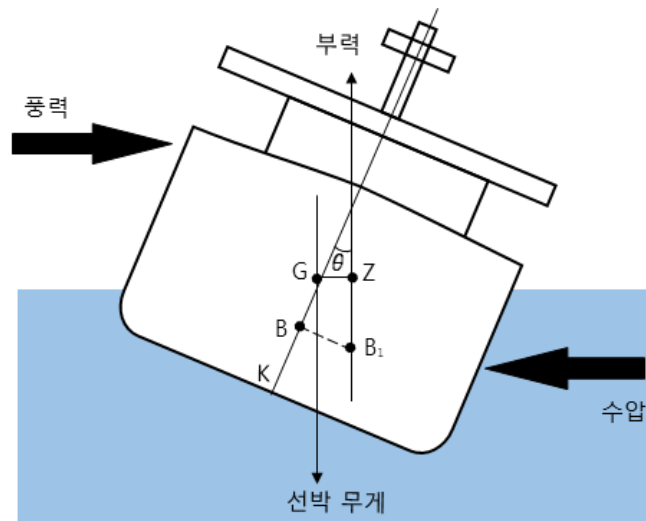


- 총톤수 65톤 일반화물선 C호가 2003.5.2. 연평도항을 출항하여 인천항으로 항해하던 중 한쪽 추진기에 로프가 감기면서 보침성을 잃고 선체가 급격하게 회전하면서 대각도 경사하자 적재된 차량이 이동하게 되어 순식간에 전복, 침몰하였다.
- 이 사고로 선원 1명이 사망하고 5명이 실종되었다.
- 사고원인은 연안항해라 출항전 차량을 적재하면서 단단하게 고박하지 아니한 채 항해를 하다가 한쪽 추진기에 로프가 감겨 좌우 기관의 추진력 차이로 보침성을 잃어 선체가 급격하게 선회 중 대각도 경사를 하면서 차량이 한 쪽으로 이동하여 복원력을 상실한 것으로 추정된다.

## 8. 선박의 운항과 복원성



### 8.4 풍압에 의한 횡경사



- 현측에서 부는 바람(Beam wind)은 수선 위의 선체부분에 작용하고, 수면 하에서는 그 크기에 대항하는 수저항이 발생하여, 이 두 힘이 결합한 모멘트가 발생한다.
- 횡방향 바람을 받으면 선체는 복원모멘트와 경사모멘트가 균형을 이루는 각도까지 경사하게 된다.

#### ✓ 풍압력의 크기와 횡경사각(예)

- 선폭이 30.2m, 선체길이는 180m, 측면 풍압면적 3,240m<sup>2</sup>, Freeboard 18m, 흘수 8m, GM 1.0m, 배수량이 3만톤인 PCC선이 풍속 30kts의 바람을 정횡으로 받을 때 본선의 횡경사각인 대략 몇도나 될까?

〈계산〉

- $\sin\theta = 0.084 \times 3,240 \times (0.514 \times 30)^2 \times (18/2 + 8/2) \times 0.001 / (30,000 \times 1.0) = 0.031$
- $\theta = 0.031 \times 57.3 \div 1.8^\circ$

## 8. 선박의 운항과 복원성



### 8.5 풍압에 대한 복원성 대책

- ▶ 변침시 외방경사를 가중시키는 방향으로 풍압 또는 파도가 작용할 때는 충분한 시간적 여유를 두고 소각도 변침하거나 감속해야 한다.
- ▶ 풍압에 의한 횡경사가 발생할지라도 복원성이 충분히 있다면 연안이나 항내에서는 압류에 유의하여야 하며, COG를 확인하여 합리적인 Leeway를 적용해야 한다.

#### 풍압/파랑으로 인한 컨테이너 상실사고 사례

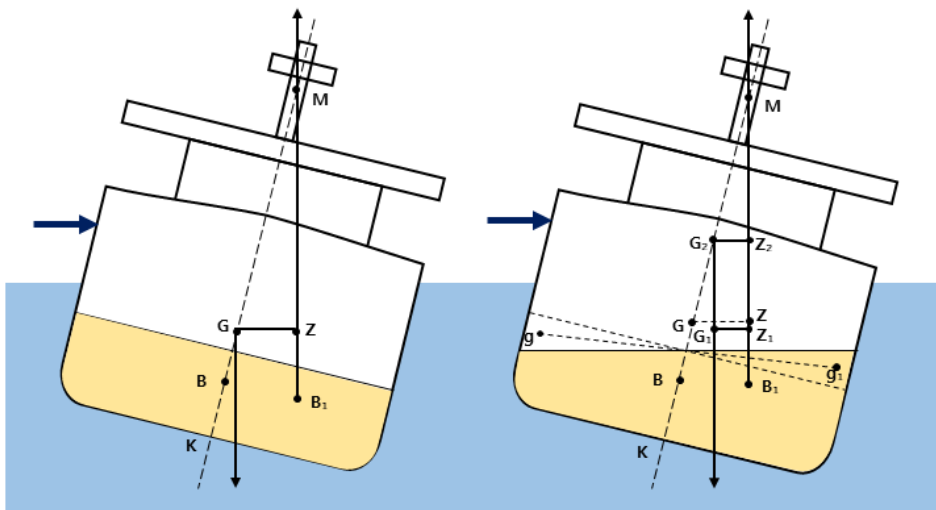


- 총톤수 192,237톤(19,224TEU) 컨테이너선 MSC Zoe가 2019.1.1. 영국해협에서 풍력 35~45노트, 파고 10m 상태에서 항해 중 좌현 0~90도 사이의 파고 8m 파도를 받아 선체가 과도하게 횡요를 하면서 원심력으로 컨테이너 고박장치가 연쇄적으로 파손되어 막대한 컨테이너가 유실되었다.



## 8. 선박의 운항과 복원성

### 8.6 유동수 영향



유동수로 인한 무게중심(G)의 중심이탈( $G_1$ )은 상부에 화물적재시 중심상승( $G_2$ )과 같은 효과를 가진다.

- 항해 중 연료유나 청수가 소모되면 경사시 유동수 영향으로 무게 중심(G)이 이동하여 복원정( $GZ$ )이 줄어 복원력이 감소되는 효과를 가져온다.
- 수밀문의 누설이나 Car-hold 내부를 관통하는 Ballast pipeline 등이 누설될 경우 선폭(Cargo hold 폭) 크기만큼의 공간에서 큰 유동수 영향이 발생한다.
- 이런 상황에서 변침 등으로 인하여 외방횡경사가 발생하면 이들 유동수 영향으로 복원성이 크게 감소하여 대각도 횡경사로 인해 선박이 전복되는 사고가 종종 발생한다.

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 선내 유동수로 인한 전복사고 사례



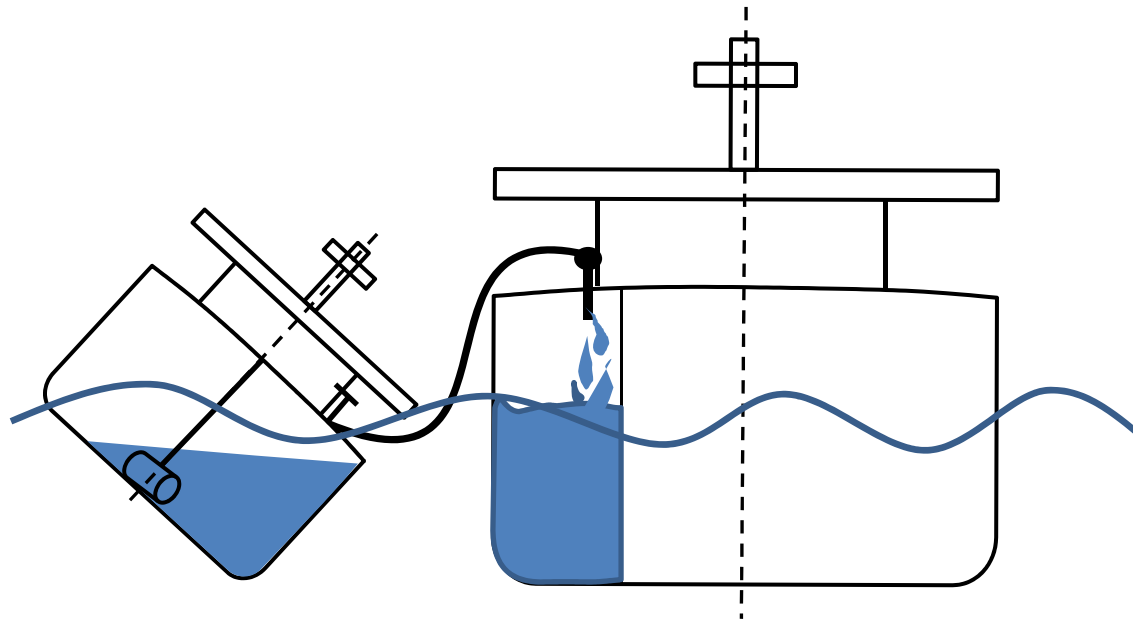
- 총톤수 7,951톤(길이 131.91m)인 로로페리 여객선 Herald of Free Enterprise호가 1987.3.6. 벨기에 지브그항 외항에서 침수된 해수의 유동수로 침몰하여 선내에 갇힌 여객 155명과 승무원 30명이 저체온증으로 사망하였다.
- 사고의 근본원인은 승무원이 출항시 선수문(Bow door)를 닫지 않아 이곳으로 해수가 침수되어 발생한 사고이나, 침수된 해수로 인해 유동수가 발생하여 선체가 경사되면서 고박하지 않은 차량들이 이동하여 복원성을 상실하였다.

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 선내 유동수로 인한 전복사고 사례



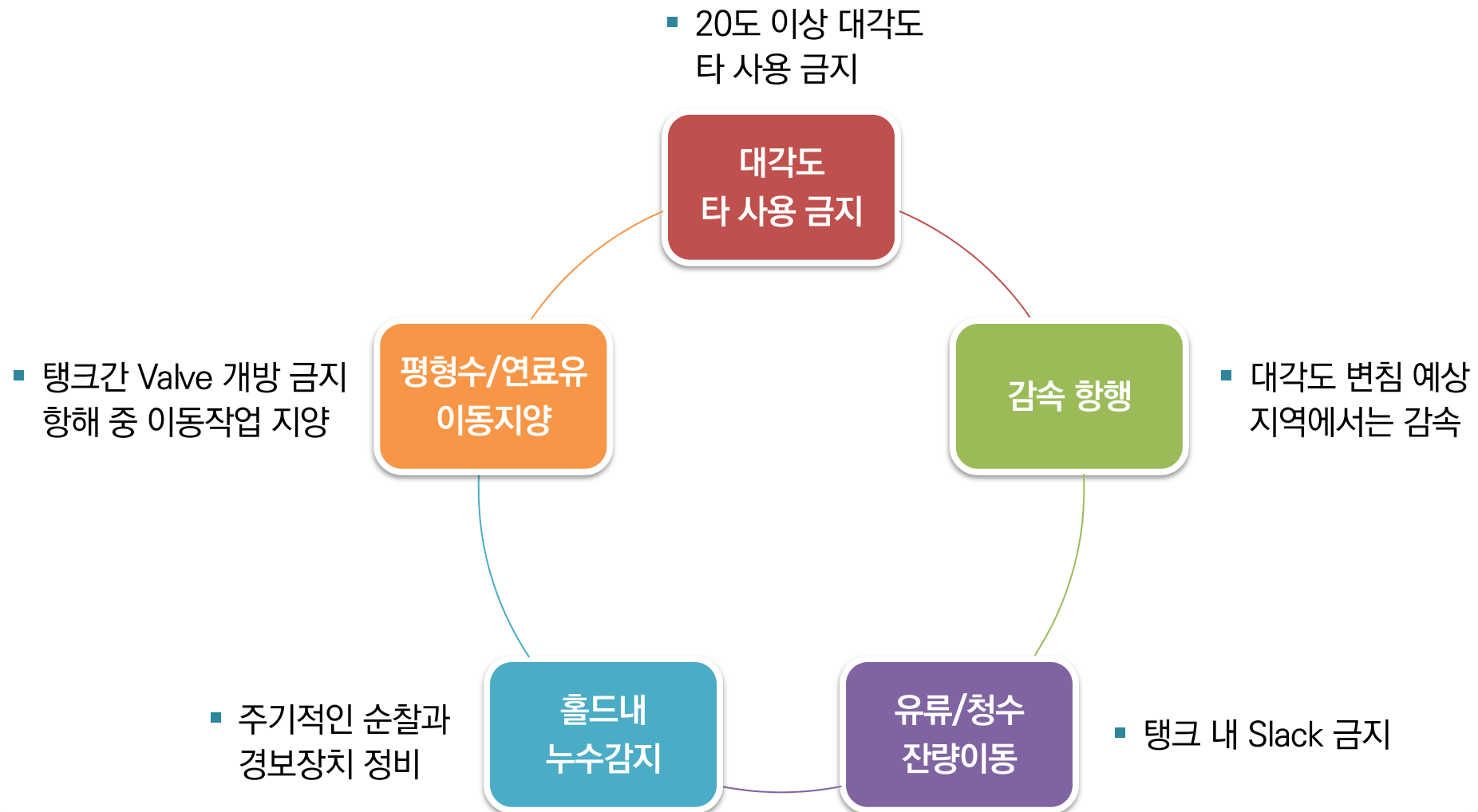
- 총톤수 22톤(길이 17.52m)인 급수선 K호가 2013.10.11. 부산 남외항 정박지에서 투묘대기중이던 케미컬탱커 T호에 계류하여 급수를 하던 중 선체가 좌로 15도 기울어지고 그 위로 너울이 덮쳐 열린 해치코밍을 통해 침수되면서 약 45도 경사되면서 전복, 침몰하였다.
- 사고의 원인은 청수탱크가 만재상태가 아니면 유동수 영향을 크게 받는 본선이 급수작업을 한 탱크를 완전히 양하한 후 다음 탱크로 급수순서가 넘어가야 하나, 선장이 기상이 나빠 한꺼번에 양하하고자 여러 탱크를 동시에 개방함으로써 유동수 영향이 많이 발생하여 선박이 복원력을 상실하였다.

## 8. 선박의 운항과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 8.7 유동수 영향에 대한 복원성 대책



## 9. 화물의 선적과 복원성



### 9.1 화물의 이동 원인



컨테이너선

- 갑판상에 적재된 1단적 화물의 Twistlock이 잠기지 않거나 헐거워져 Unlock 되는 경우, 항해중 동조 Rolling 등으로 1단적 컨테이너 하부와 Hatch cover 상부에 취부된 Socket과의 Gap이 점차적으로 확대되어 엄청난 압축력이 발생하며, 이 힘은 Twistlock 또는 Socket을 파손시키게 된다.



원목선

- 갑판에 적재된 화물이 황천 등으로 인하여 Lashing이 절단되거나 Temporary stanchion이 절단되어 갑판적 화물의 일부가 유실되는 경우 또는 동절기 항해중에는 갑판상에 올라오는 파도(Green seas)나 내리는 눈이 쌓여 얼게 된다.



자동차전용선

- 규정된 지침에 따라 정격 고박장구를 사용하여 화물을 고박하지 않거나, 양하항이 연속되는 경우 고박장치를 벗겨둔 경우, 대각도 변침시 외방경사로 인해 화물이 이동할 수 있다.



벌크선

- 곡물을 Slack hold로 적재하거나 수분 함유량이 많은 화물 또는 액상화 화물을 적재할 경우 화물이 쏠리게 된다.

## 9. 화물의 선적과 복원성

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



### 액상화 화물의 이동으로 인한 전복사고 사례



화물 액상화로 침몰한  
Hui Long호 사진

- 총톤수 31,256톤(길이 190m)인 산적화물선 Bulk Jupiter호가 말레이시아에서 보크사이트 화물을 적재하고 중국으로 향해 중 2015.1.2. 동중국해역에서 높은 파랑으로 선체가 약 45도 기울다가 전복, 침몰하였다.
- 이 사고로 선원 1명이 구조되고 2명 사망 및 16명이 실종되었다.
- 사고원인은 선적전 보크사이트 화물이 수분함유량이 21.3%로 상당히 젖어 있었는데 기상이 나쁜 상태에서 향해 중 선체가 심한 동요로 화물이 액상화되면서 선체가 한 방향으로 경사된 채 복원되지 않고 대각도 경사하였다.



## 9. 화물의 선적과 복원성

### 9.2 화물 이동에 대한 복원성 대책

대각도 횡요나 중요 금지

고박매뉴얼에 따른 조치

출항 전/항해 중 화물 고박상태 점검

엄격한 복원성 기준 적용

곡물의 이동 금지

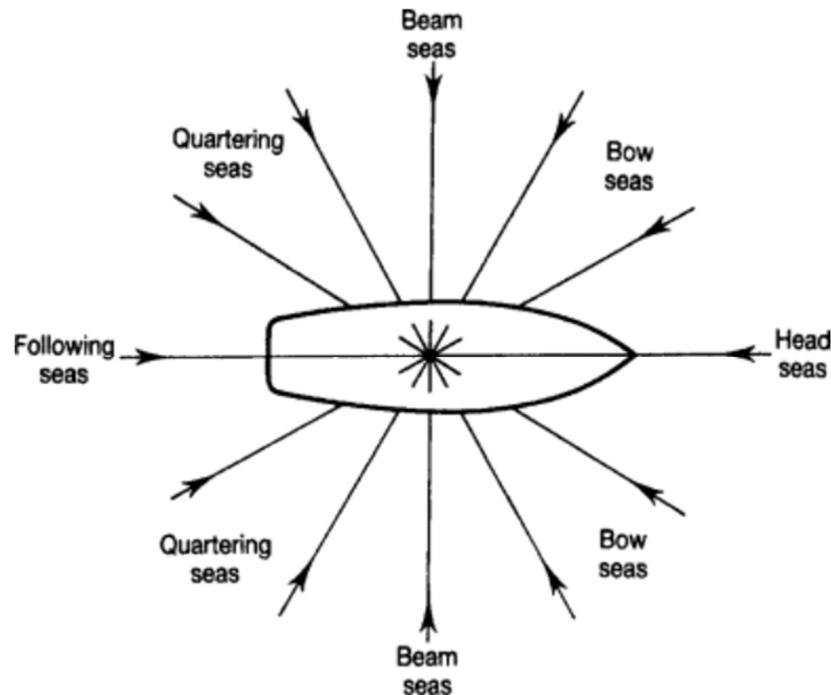
액상화 화물 관리철저

- 선저에서 높은 위치 적재화물의 영향 최소화
- 출항 전 수밀구역 폐쇄 및 철저한 화물 고박
- 출항 전이나 항해 중 고박상태 점검 및 매일 고박장치 관리
- 갑판적 화물이 부적절하게 적재시 갑판적 화물이 없는 조건의 복원성 기준 적용
- Shifting-board 설치 또는 Bundling
- 기준초과 화물의 선적거부 및 항해중 빌지관리

# 10. 파랑과 복원성



## 10.1 복원성에 영향을 미치는 파랑



### ■ 선수파 (Head seas)

선수파를 받으면서 Full Sea Speed로 항해하면 Bow Impact에 의한 선체 및 화물에 손상이 자주 발생한다.

### ■ 선미사파(Quartering seas)와 선미파 (Following seas)

정횡 이후 방향 또는 선미방향에서 파도를 조우할 때 대각도 Rolling을 경험하는 수가 많다(저 GM 선박).

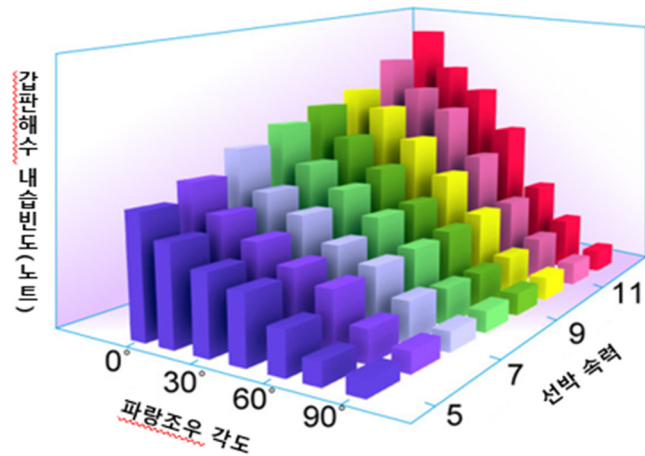
### ■ 정횡파 (Beam seas)의 Swell/Wave

Swell/Wave를 정횡에서 조우 시 가장 우려되는 위험은 대각도 횡요로 인한 선박 및 화물의 손상과 유실이다(고 GM 선박).

# 10. 파랑과 복원성

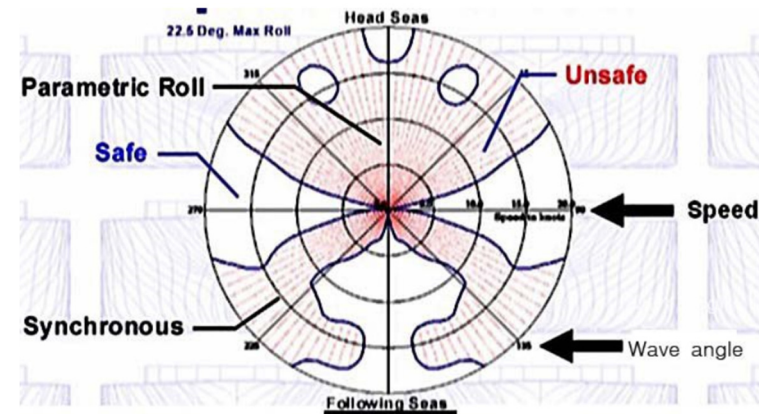


## 10.2 Heave to로 인한 Rolling



선속과 조우파 방향별 갑판 해수 내습 빈도

- 황천시 일반적으로 택하는 Heave to(선수를 풍랑 쪽으로 향하게 하여 조타가 가능한 최소의 속력으로 전진하는 방법)로 항해할 때, 선수 충격과 갑판에 해수가 올라오는 경우가 많다.
- 이때 감속을 하면 선속이 너무 낮아 타압이 작으면 선수가 파도에 의해 Yawing하면서 파도방향에 횡으로 놓여 Rolling하게 되며, 이때 많은 양의 해수가 선체를 덮쳐 선박, 화물에 손상을 발생시킬 가능성이 높다.

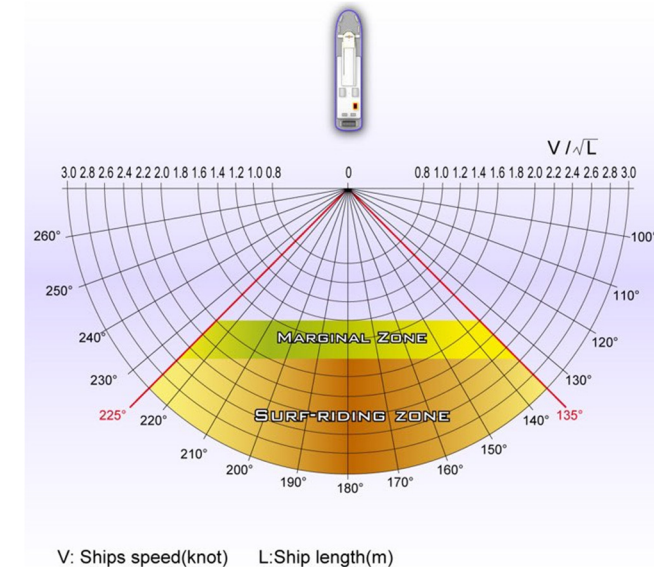
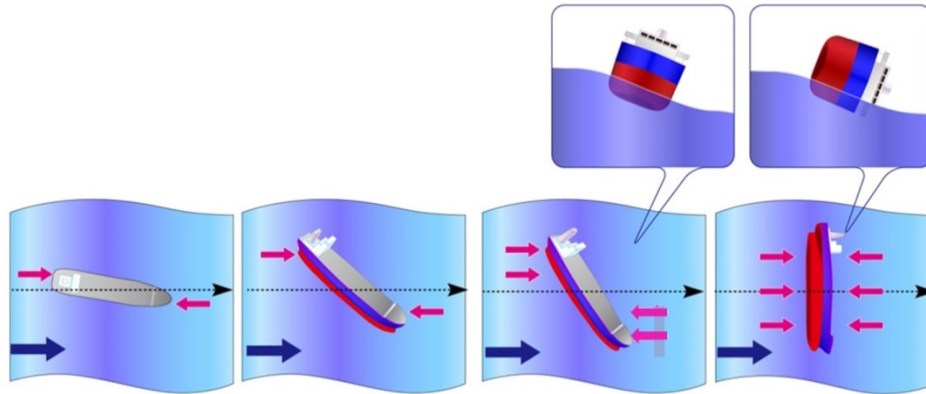


- 선박이 감속하면 저 GM 선박의 경우 조우파 주기와 선박의 Rolling 주기가  $T_e = T_r/2$ 로 되어 Parametric Rolling Condition을 형성하여 대각도 횡요를 할 위험성이 크다.

# 10. 파랑과 복원성



## 10.3 Surf riding으로 인한 Rolling



저 GM 선박이 선미사파를 받을 때 Surf riding 영역

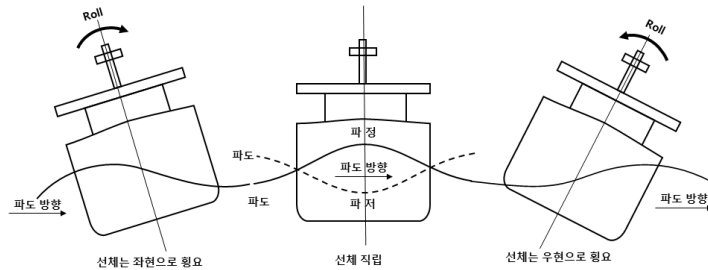
- 선박이 추종파나 선미사파에 조우하면 Surf Riding (파도타기) 현상과 Broaching To 현상(파도의 내리막 경사에서 선체가 파도에 정횡으로 놓임)이 일어난다.
- 이때, 예기치 않은 대각도 경사 및 Green Seas의 내습으로 선체 전복의 위험에 놓이게 된다.

- 선속이  $1.8\sqrt{L}$  (L은 선체 길이 Meter) 이상일 때 Surf Riding 현상이 주로 발생한다.

# 10. 파랑과 복원성

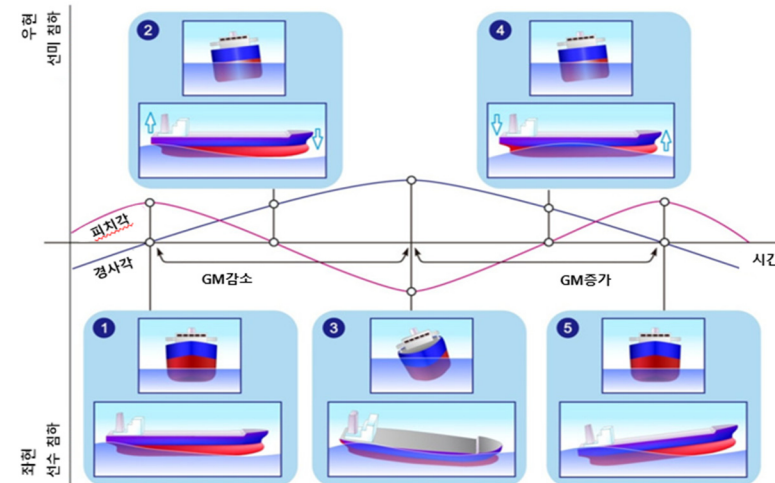


## 10.4 동조횡요 및 Parametric Rolling



Synchronous rolling  
(횡파시 고 GM 선박)

- 선박의 조우파 주기( $T_e$ )와 자유횡요주기( $T_r$ )가 거의 일치하면 대각도 횡요가 일어난다.
- 추종파에서는 횡복원력이 적을 때 일어날 수 있다. 그러므로 횡요주기가 길어지게 된다.



Synchronous rolling  
(횡파시 고 GM 선박)

- 한편, 조우파의 주기가 자유횡요주기의 절반이 되었을 때( $T_r \approx 2T_e$ ) Parametric Rolling 현상이 발생한다.
- 이때 선박은 공명현상이 일어나 예기치 않은 대각도 횡요를 시작하며, 이로 인해 컨테이너가 손상되거나 멸실되고 심지어는 선박이 전복되기도 한다.

# 10. 파랑과 복원성



## Parametric rolling으로 인한 전복사고 사례



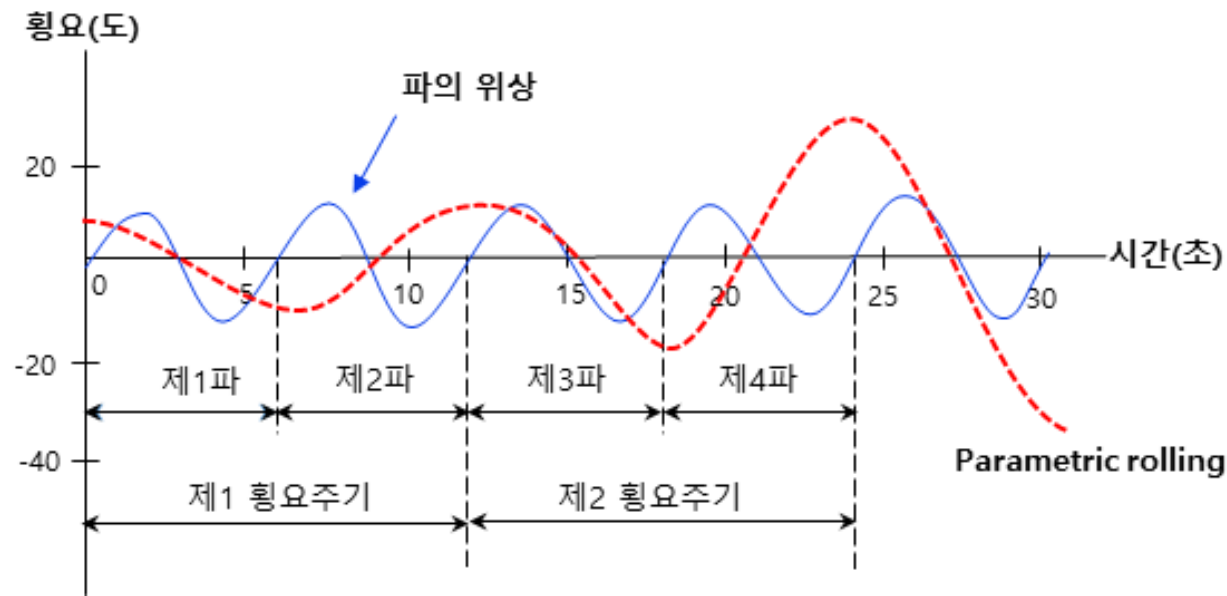
- 총톤수 7,910톤(길이 166.86m)인 카웨리 여객선 ARIAKE호가 2009.11.13. 일본 구마노나다 인근해역에서 21노트로 항해 중, 파장이 선체길이와 같고 주기 10초, 파고 4.6m 상태에서 약 6.9m의 파가 선체 중앙에 미치면서 동조횡요를 일으켰다.
- 이 사고로 선박의 경사가 30~35도까지 확대되면서 화물들이 이동하고 선체는 인근 해역에 좌초되었다.

# 10. 파랑과 복원성

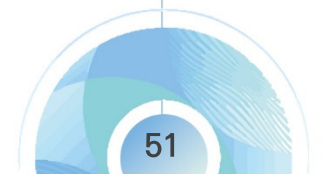
해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



## 10.5 조우파 복합현상



- 추종파를 받을 때 조우파의 주기가 평균파 주기의 약 두 배(1.5~2.8배)가 되는 경우 연속적인 파도의 내습 및 동조 횡요, Parametric Rolling 등의 위험현상이 복합적으로 발생하여 선박이 전복될 위험이 있다.
- *이때는 선속과 Heading을 조정하여 위험한 조우파 주기 영역에 놓이지 않도록 주의하여야 한다.*

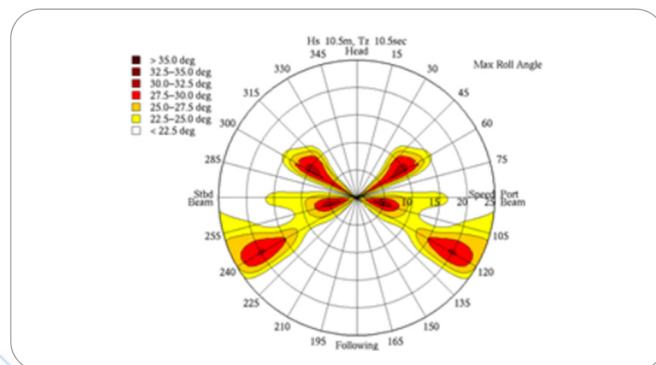


# 10. 파랑과 복원성

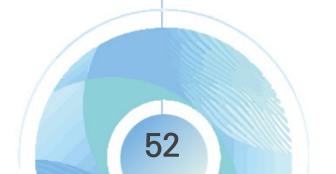


## 10.6 Heavy sea에서의 복원성 확보 조건

현상	복원성 확보 조건
대각도 종요와 횡요 발생	횡요 22.5°, 종요 7.5°이상이 되지 않도록 조선
고 GM 선박이 횡방향 Swell/Wave 조우	정횡파는 피하고 선수파 또는 선미사파를 받으며 항해
저 GM 선박	주로 횡파(60~120°영역)를 받으며 조선( $Tr=Te$ , $Tr=2Te$ 가 되지 않는 조건)
Surf Riding 현상이 발생	선속을 $1.8\sqrt{L}$ 이하로 낮춘다. $1.4\sqrt{L} \sim 1.8\sqrt{L}$ 사이의 선속에서도 Surging이 심해지면 속력을 $1.4\sqrt{L}$ 이하로 감속
롤링과 피칭에 동시에 발생	감속과 변침으로 위험영역( $Tr=Te$ , $Tr=2Te$ )을 벗어난다.



- 선박에 Polar diagram을 이용할 수 있다면 현 적재상태와 가장 비슷한 LC (Loading case)를 참조하여 도래파각에 대한 대각도 횡요를 사전 예측한다.

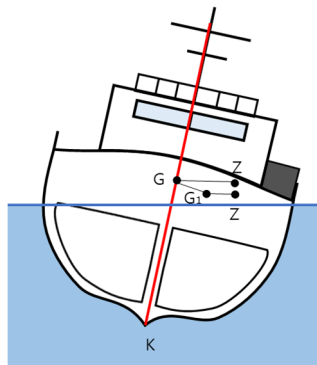


# 11. 어선의 복원성 확보

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무

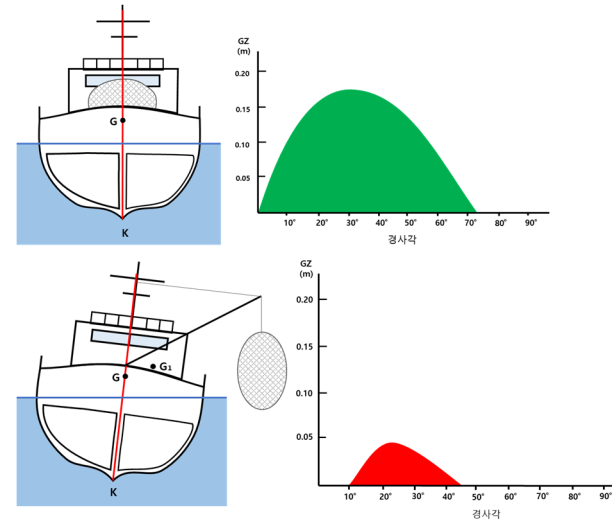


## 11.1 조업 중 복원성 불량 대책



경사

- 어획물을 한쪽으로 적재하여 선체가 경사지면 선박의 무게중심도 경사진 쪽으로 이동한다. 경사진 선박은 복원정(GZ)이 작아져 선박이 어떤 이유로 경사되었을 때 복원성을 더 나쁘게 만든다.
- 대책: 어획물을 한쪽으로 쏘리지 않게 적재한다.



어획물 들어올림

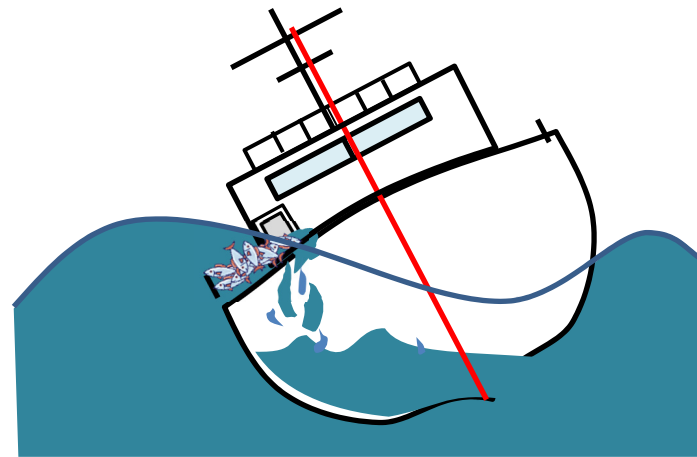
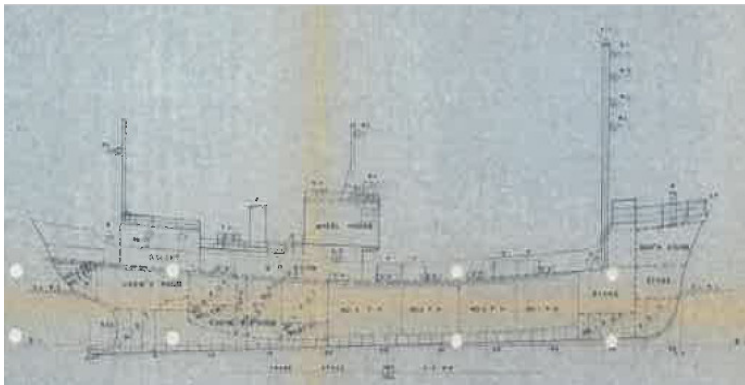
- 그물에 잡힌 어획물을 어선에 들어 올릴 때 선체를 기울이는 힘이 커지며, 특히 어획물이 담긴 그물이 수면 위로 들어 올려 질 때는 전체 무게가 붓의 끝단에 걸리게 되어 가장 위험하다.
- 대책: 만약 선체가 경사하기 전에 어획물이 담긴 그물을 선내에 들어 올릴 수 없다면, 그물을 다시 수면에 내려놓아야 한다.

# 11. 어선의 복원성 확보

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



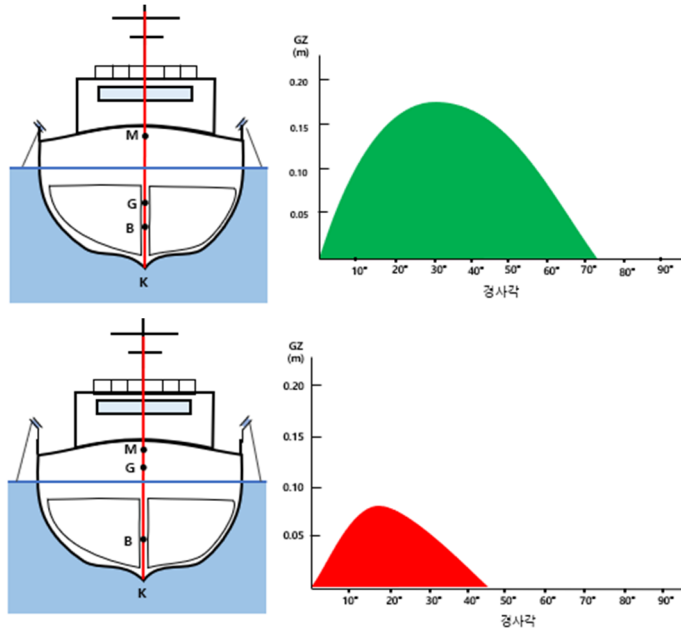
## 상갑판의 어획물의 이동으로 인한 전복사고 사례



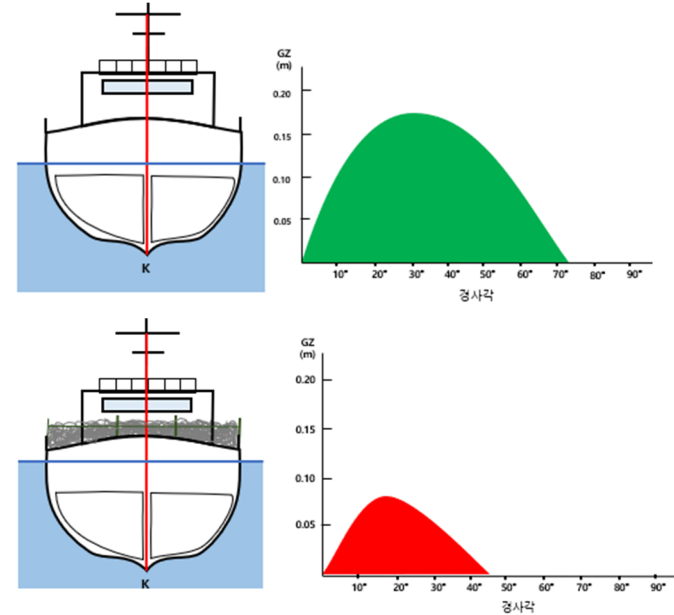
- 총톤수 59톤 외끌이 중형저인망 어선 S호가 2019.1.3. 동해안에서 풍속 32노트, 파고 3~4미터의 악기상에서 청어잡이 조업을 하던 중 우현에서 들이친 파도로 갑판에 선적된 어획물이 좌현으로 이동하고, 좌현쪽 그물의 어획물을 들어 올리면서 선체가 더욱 기울게 되어 좌현에 열린 현문으로 해수가 들어와 기관실이 침수되면서 선체가 전복, 침몰하였다.
- 이 사고로 선박은 침몰되었으나 선장의 적절한 퇴선조치로 선원 7명이 모두 구조되었다.
- 사고원인은 어획물을 선창에 적재하여야 하나 하역을 빨리 하기 위해 갑판위에 선적하여 어획물 이동이 용이하였고, 배수구는 막혀 있었으며, 선체가 좌현으로 기울어짐에도 자루그물을 좌현에 붙여 선적한데다, 기관실 수밀문을 폐쇄하지 않아 선내로 해수가 유입하여 복원력을 상실하였다.

# 11. 어선의 복원성 확보

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



그물 끌기



이물질이 든 그물의 갑판상 적재

- 그물꼬는 장치 위치가 높을수록, 그리고 그물이 무거울수록 복원성은 감소한다.  
그물을 끌면서 선회하면 선측이 경사져 수면에 잠기면서 물이 선내로 들어치면 선박은 허용 복원성 범위를 넘어 경사져서 전복의 위험이 있다.

- 대책: 그물을 끌면서 선회하지 않는다.

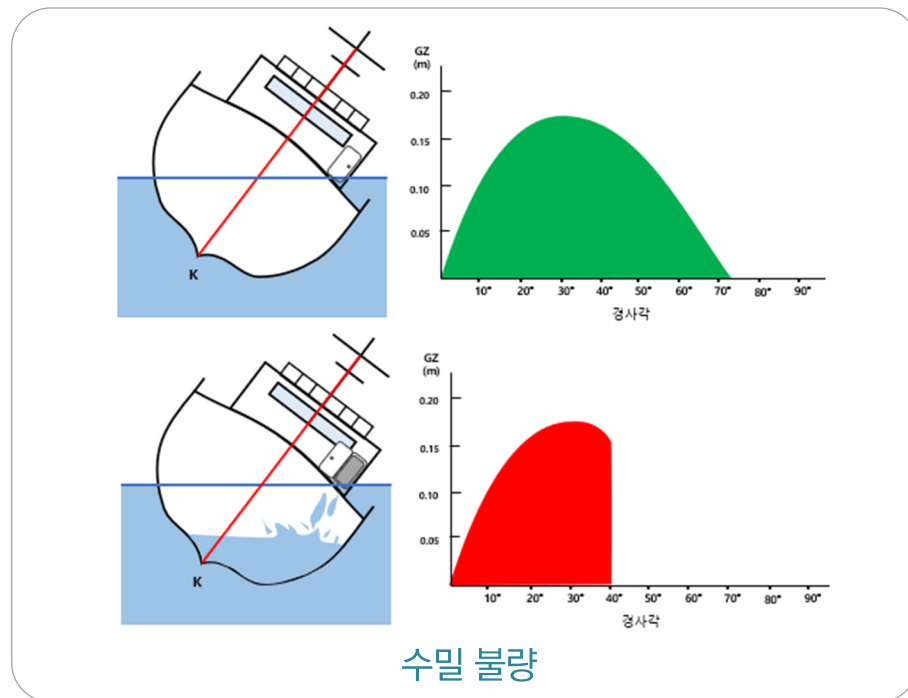
- 갑판위에 쌓여있는 그물에 이물질이 많을 경우, 무게중심을 높여 GM을 나쁘게 하고 건현을 감소시켜 복원성이 불량해진다.
- 대책: 그물을 덮거나 갑판위에 배수가 잘 되도록 한다.

# 11. 어선의 복원성 확보

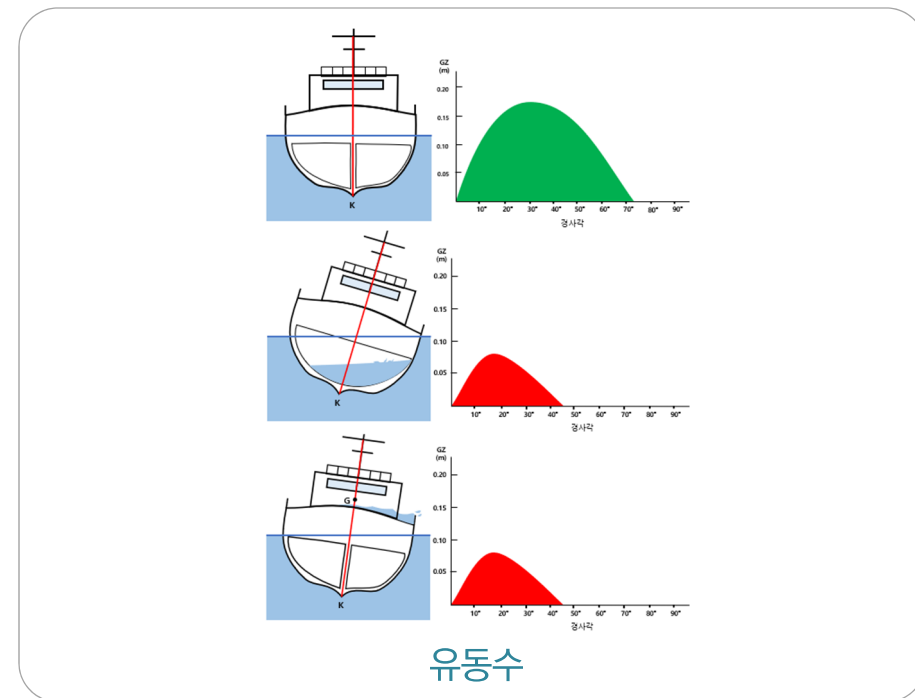
해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



## 11.2 어선 항해 중 복원성 불량 대책



- 선체의 수밀문이 열려있어 해수가 선내로 침입할 경우 복원성이 급격히 나빠져 선박이 침몰할 위험성이 있다.
- 대책: 모든 수밀문이나 갑판상의 통풍구를 폐쇄한다.



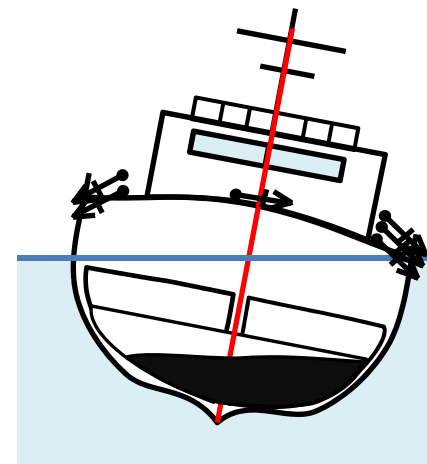
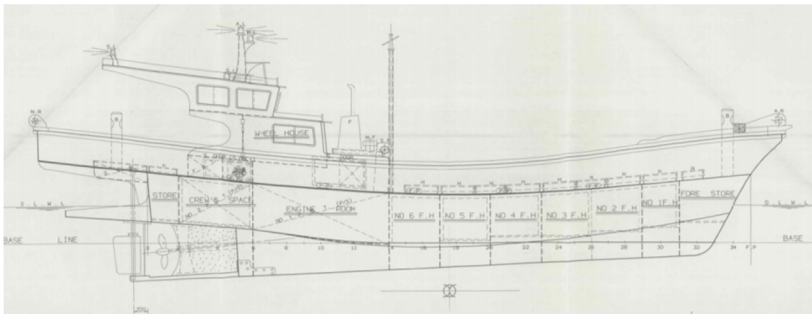
- 탱크, 화물창 또는 갑판위의 유동수는 선박의 복원성에 부정적인 영향을 준다.
- 대책: 횡격벽 수를 많이 만들거나, 갑판위의 물이 쉽게 선외로 배출되도록 한다.

# 11. 어선의 복원성 확보

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



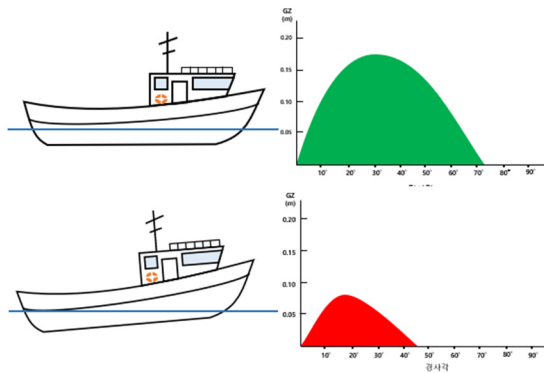
## 유동유와 닻 무게로 인한 전복사고 사례



- 총톤수 9.77톤 연안개량안강망 어선 7-B호가 2017.2.27. 전북 군산시 연도항 내에서 안강망 고정용 닻의 무게로 발생한 선체경사를 잡기 위해 부두에서 이안한 직후 닻의 무게와 연료유의 쓸림으로 인해 복원력을 상실하여 전복, 침몰하였다.
- 이 사고로 선원 1명이 사망하였다.
- 사고원인은 상갑판에 적재된 무거운 닻(1개당 0.9톤) 8개를 적재하여 복원성이 나빠진데다 우현보다 좌현에 1개를 더 실어 좌현으로 경사우력을 증가시켰고, 닻기동을 정확히 고정시키지 않아 선체경사시 닻이 이동하여 선체경사를 증가시켰다. 또 좌우 연료탱크에 연료를 부분적재하고 중간밸브를 열어두어서 선체경사시 연료유가 이동하면서 복원력을 더욱 감소시켜 선박이 전복하였다.

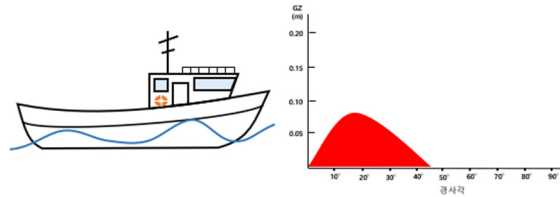
# 11. 어선의 복원성 확보

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



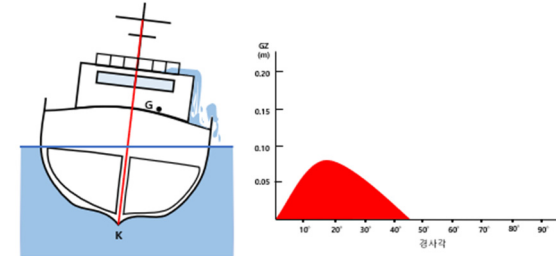
선미잠김 트림

- 과대한 선미트림으로 선체 후미가 수면에 닿으면 선미를 더욱 물속으로 당겨 전복하게 만든다.
- **대책:** 어획물을 선수쪽으로 적재한다.



황천 항해

- 선박의 속력이 너울의 속력과 같거나 비슷할 경우 선체 중앙이 파정에 놓이거나 선수미가 파정에 놓이게 되어 복원성이 급격히 줄어든다.
- **대책:** 선수 또는 선미사파를 받도록 침로를 변경한다.



갑판상의 결빙

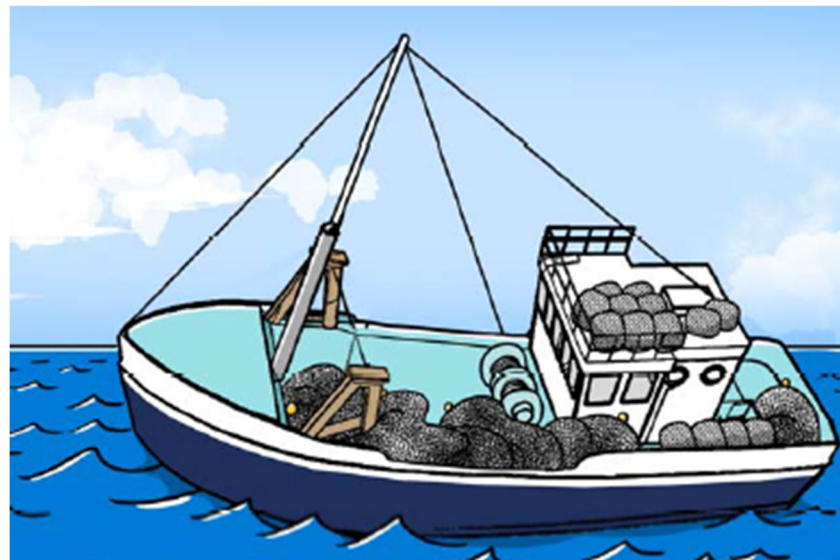
- 겨울철에 갑판위 해수가 얼어붙게 되면 무게중심을 높여 복원성을 나쁘게 하고, 한쪽으로 결빙되면 선체를 경사지게 만든다.
- **대책:** 갑판위 얼음을 신속히 제거한다.

# 11. 어선의 복원성 확보

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



## 상갑판 어구 무게로 인한 전복사고 사례



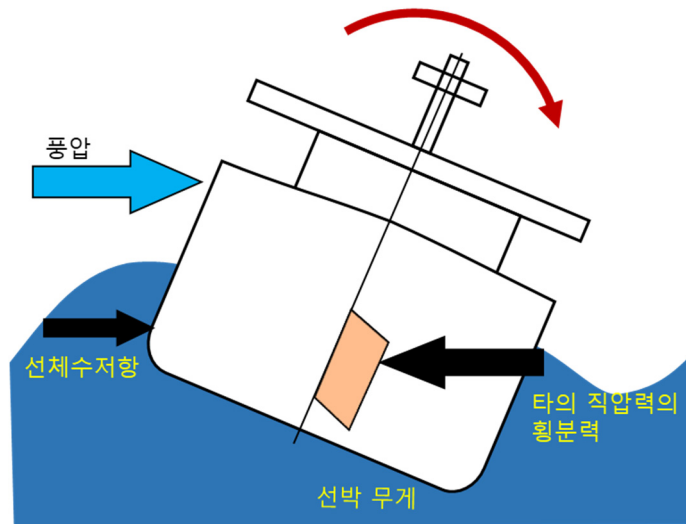
- 총톤수 27톤급 어선 제803 G호가 2017.8.30. 한국 동해안에서 조업작업을 하던 중 기상이 악화되어 본선에 적재된 어구와 로프가 한 쪽으로 쏠리면서 복원력을 상실하여 전복, 침몰하였다.
- 이 사고로 선원 4명이 사망하고 2명이 실종되었다.
- 사고원인은 상갑판 상부에 높게 적재된 통발 등이 좌현 쪽으로 쏠리면서 선박의 경사우력을 가중시켜 전복하였다.

# 11. 어선의 복원성 확보

해양안전심판원 교육교재  
선박 복원성 실무



## 대각도 전타와 정횡파로 인한 전복사고 사례



- 총톤수 51.14톤 기선저인망 어선 H호가 2006.3.19. 동해안에서 선단을 이루어 저인망어업을 하고 있다가 기상이 악화되어 모항으로 회항하던 중 선미방향의 높은 파도와 횡방향의 불규칙한 파도로 인해 선체가 침로 180도에서 갑자기 270도로 급선회하면서 전복, 침몰하였다.
- 이 사고로 선장을 포함한 선원 6명이 사망하고 2명은 실종되었다.
- 사고원인은 풍속 28~32노트, 파고 3~4미터의 악기상에서 조타경험이 미흡한 갑판장이 정침을 위해 타를 대각도로 사용하는 순간 내방경사와 정횡파로 인해 선체경사가 가중되면서 복원력을 상실하고 전복한 것으로 판단된다.