

## 선저파공이 침수속도에 미치는 영향

박석주\* · 이동섭\*\* · 박성현\*\*\*

The Sinkage Speed by Ship's under Water Damage

Sok-Chu Park\* · Dong-Sup Lee\*\* · Sung-Hyeon Park\*\*\*

<목 차>	
Abstract	3. 상형선에 적용
1. 서 론	4. 결 론
2. 침수 현상	참고문헌

### Abstract

Every ship might be exposed to collision, grounding and/or various accidents. They may make some underwater holes on the hull. An underwater damage would cause her loss of buoyancy, trim, and inclination. Although a ship has some provisions against these accidents, if the circumstance is serious, she would be sunk or upsetted.

Because of varieties of type of accidents, one could not prepare all of them. Many subdivision could prevent them, but it is difficult to realize it due to rising costs.

This paper deals with physical phenomena of sinkage and an application on box type ship, and some results are earned as follows;

1. sinkage speed up to the level of the damage hole is increased proportionally, and is decreased proportionally after filling the level.
2. the curve of draft shows cup type of second order polynomial up to the damage hole level, and shows cap type of second order polynomial after filling the level.
3. if damage occurs beneath half of the draft, changes of head and displacement, and sinking speed follow almost straight lines.
4. by careful observation, sinkage speed could be predicted.

\* 한국해양대학교 교수

\*\* 한국해양수산연수원 교수

\*\*\* 목포해양대학교 교수

## 1. 서 론

모든 형태의 선박은 충돌, 좌초, 선내 사고 등으로 선체에 구멍이 생길 수 있으며 이로 인하여 침수할 위험성을 항상 가지고 있다. 이러한 위험성에 대비하여 어느 정도의 기본 대비책이 마련되어 있지 않는 것은 아니나, 정도가 심각하여지면 침몰 또는 전복할 위험성도 배제할 수 없다. 이 대비책 중 가장 효율적인 수단은 선체를 횡방향 또는 거기에 부가해서 종방향이나 수평방향 수밀 격벽을 설치하고, 이중저를 설치하는 것이다.

침수는 먼저 부력의 손실을 가져오고, 또 배를  
기울게 하기도 하고, 트림을 발생시키기도 한다. 이  
러한 현상은 결국에 가서는 배를 침몰시키거나 전  
복시킬 수도 있다. 사고의 형태는 다양하여 손상의  
위치나 정도가 일정하지 않고 화물의 양이나 종류  
도 다양하여 모든 종류의 사고에 대비하여 그 대책  
을 세우거나 진행 상황을 상정할 수 없다. 유조선  
의 사고는 경우에 따라서 안정성만을 본다면 복원성  
이 좋아질 수도 있다. 그러나 이는 곧 기름 유출을 의  
미하기 때문에 더 큰 재앙을 유발할 것이다. 어느  
경우든 구획의 수를 늘이는 것이 이러한 사고로부터  
터 안전을 담보 받을 수 있는 수단이 되지만, 이는  
곧 선박의 건조 단가를 올리는 결과를 가져온다.

선체손상에 의한 파공은 그 단면이 다양한 형태로 생기고, 또한 수면하에 있기 때문에 그 크기, 모양, 깊이 등을 모르는 경우가 대부분이다. 따라서 사전에 계산을 해야한다든가 또는 예측할 수 있는 문제는 아니다. 다만, 사고 후의 검증 작업이나, 부양 작업을 할 때 계산이 필요하게 된다.

여기에서는 파공에 의하여 침수가 일어날 때 생기는 물리적인 현상을 고찰하고, 상형선에 적용하여 보고자 한다.

## 2. 침수 현상<sup>1),2),3)</sup>

그럼 1과 같이 깊이  $h_0$ 인 곳에 파공이 생기면 그 구멍을 통하여 선내로 물이 들어가게 되는데 그 속력은 베르누이 방정식으로부터 다음과 같이 얻어진다.

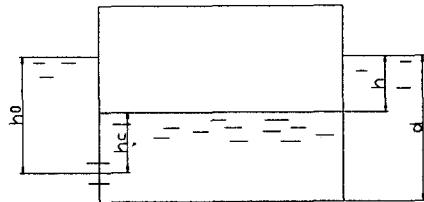


Fig. 1. flood by underwater damage

## 여기에서

$v$  ( $m/s$ ) ; 침수 속력,

$g$  ( $m/s^2$ ) ; 중력가속도,

$h$  ( $m$ ) ; 수면에서 침수면까지의 깊이이다.

그러나 실제로는 구멍의 형상이나, 와류, 배기의 비원활성 때문에 그 속력이 줄게 된다. 그래서 실제로는 적당한 상수  $C(≤ 1.0)$ 를 곱해서 사용한다.

그런데 수면에서 파공까지의 깊이가 침수와 더 불어 변하게 된다. 이는 침수가 되면 배수량이 증가하여 홀수가 증가하게 되고, 트럼이 생기게 되며, 선내의 침수로 침수면이 올라오게 되기 때문이다. 즉 (1)식의 높이는 다음과 같이 된다.

여기에서

$h_o$ ; 초기 흘수면에서 파공까지의 깊이

$\Delta d$  : 침수로 인한 흘수의 증가량

$h_c$  : 침수구역의 파공위 침수깊이

$h_t$  ; 침수트림으로 인한 흘수의 증가량

단지  $h_c$ 는 밀바닥에서 파공까지 물이 차오를 때 까지는 영향이 없기 때문에 그 값이 0이다. 구체적으로 그 각각을 살펴보면 다음과 같이 된다.

$$\Delta d = \int_0^t \frac{\rho A_h v}{100 T_{cm}} dt = \int_0^t \frac{\rho A_h v}{\rho A_w} dt = \int_0^t \frac{A_h v}{A_w} dt \quad (m) \quad ....(3)$$



선택하고자 할 때는 여기에서 계산된 값에 단지 그들 비례상수의 값의 관계에 의하여 쉽게 보정할 수 있다.

### 3.1 선저파공에의한 침수

먼저 선저에 구멍이 난 경우에 대하여 살펴본다. 그림 3은 시간의 경과에 따른 수두의 변화를 보여주고 있다. 기관실의 침수가 가장 빠르게 진행되어 그 영향이 가장 크고, 침수에 의한 트림의 효과가 다음이고, 침수로 인한 배수량의 증가로 인한 훌수의 증가의 영향이 가장 적다는 것을 알 수 있다. 약 114분이 경과하면 기관실 꼭대기까지 물이 차오르는 것을 알 수 있다.

그림 4는 수두의 변화와 파공으로 훌려 들어가는 유속의 관계를 시간 축에 대비한 것이다. 유속과 수두의 변화가 거의 직선적으로 변하고 있다는 것을 알 수 있다. 식에서는 유속이 깊이의 제곱근에 비례하는 것으로 되어 있으나, 여기에서는 초속이 12.3m/s이고 물이 다 찼을 때의 유속이 9.62m/s로 그리 큰 차이가 없어서 직선적으로 나타나는 것이다.

그림 5는 배수량의 증가를 표시한 그림이다. 유속의 변화가 크지 않기 때문에 배수량도 거의 직선적으로 증가하고 있음을 보여준다.

그림 6은 훌수의 변화를 보여준다. 평균훌수는 그리 변화가 심하지 않으나 선수와 선미의 훌수는 상당히 급격하게 변하고 있고, 특히 31분 경과 시

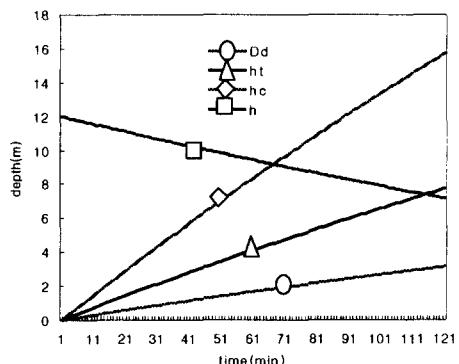


Fig. 3. Water head  $h$  and various depth

점에서 벌써 선미는 물에 잠기기 시작한다. 114분이 경과한 시점, 즉 기관실이 만수가 된 상태에서도 평균 훌수가 갑판선 아래 약 50cm에 위치하여

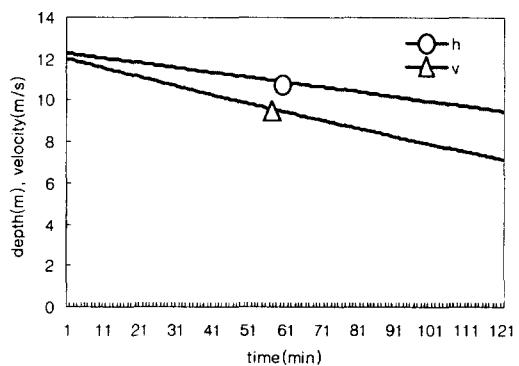


Fig. 4. Water head and flood speed

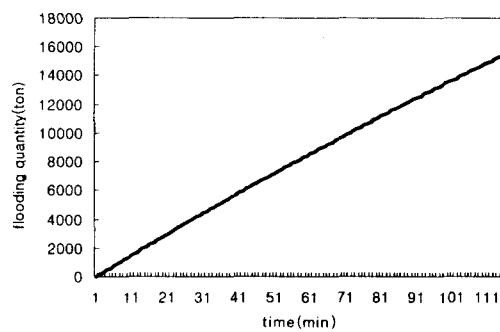


Fig. 5. Increase of displacement

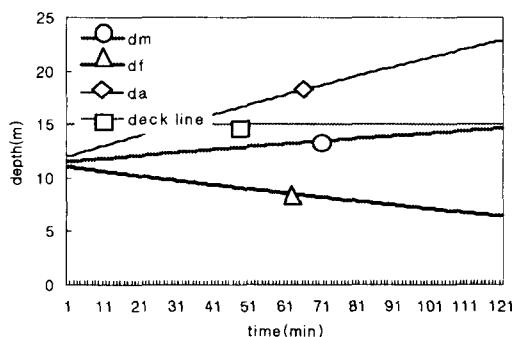


Fig. 6. Change of drafts

아직 여유 부력이 있음을 알 수 있다. 그러나 선미 흘수는 무려 22.37m로 선미 갑판은 물 속 7.32m 아래에 위치하게 된다.

### 3.2 입의의 깊이에 파공이 생긴 경우

다음에는 파공의 위치가 변하는 경우의 침수현상에 대하여 살펴본다.

그림 7은 파공의 깊이의 변화에 따른 수두의 변화를 보여주고 있다. 파공의 위치가 높아짐에 따라 일단 파공의 위치까지 물이 차오를 때까지는 흘수의 증가와 트럼의 증가로 인하여 수두가 점점 더 커지고, 파공의 높이를 지나면 급속히 수두가 감소하게 된다. 파공의 위치가 낮은 경우에는 수두의 증가가 거의 직선적으로 나타난다. 그러나 파공의 위치가 높으면 높을수록 시간이 지남에 따라 수두가 훨씬 빨리 커져 시간과 수두의 관계를 잘 보여준다. 또 개략적으로 선저의 수두 곡선에 부딪치는 시점이 파공까지 물이 차오르는 시각이 됨을 알 수 있다.

그림 8은 파공의 깊이에 따른 유속의 변화를 보이고 있다. 파공까지 물이 차오르기 전이나 파공까지 물이 차오르고 난 뒤의 유속의 변화가 거의 직선적으로 변하고 있음을 알 수 있다. 그림 7과 그림 8을 통하여 알 수 있는 사실은 유속은 직선적으로 변하고, 따라서 수두는 2차 함수로 나타난다는 것이다. 실제로 흘수선에 가장 가까운 위치에 파공이 생긴 그림 7의 2m인 경우에 대하여 물이 파공까지 차오른 108분까지를 2차 함수로 근사해본 결

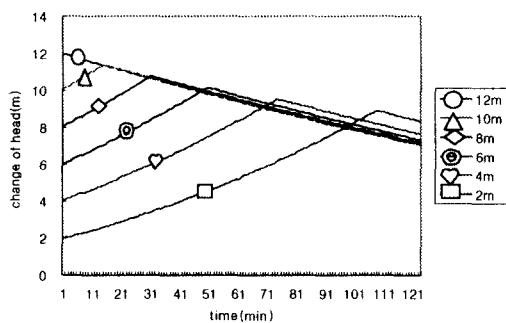


Fig. 7. Changes of head  $h$  by damage pos.

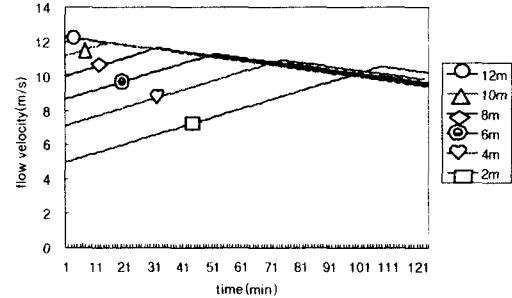


Fig. 8. Changes of flood velocity by damage depth.

과 그 최소자승 오차가 0.002로 거의 완벽한 2차식을 이루고 있었다. 물이 파공을 넘어 계속 차오르는 경우에도 수두는 2차 곡선을 따르고 유속은 직선을 따라서 변하고 있으나, 두 경우 모두 거의 직선에 가까워 선형으로 간주해도 무방하다.

그림 9, 그림 10, 그림 11은 침수량, 평균흘수의 변화량, 선미흘수의 변화량을 나타내고 있다. 세 그림 모두에서 흘수의 반(이 경우 6m) 이하의 파공에 대하여서는 시간에 비례해서 선형적으로 침하한다고 보아도 상관이 없음을 알 수 있다. 그러나 자세히 관찰하면 파공에 물이 차기 전까지는 곡선이 아래로 오목한 2차 곡선을 이루고 있고, 파공에 물이 차오른 뒤부터는 곡선이 위로 볼록한 2차 곡선을 이룸을 알 수 있다.

그림 12는 기관실이 만수될 때까지 걸리는 시간을 나타내고 있다. 지수 함수적인 변화를 보이고 있어 수면하 2m의 파공일 경우에는 149분이 걸리고 파공의 위치가 깊어짐에 따라 침수에 걸린 시간

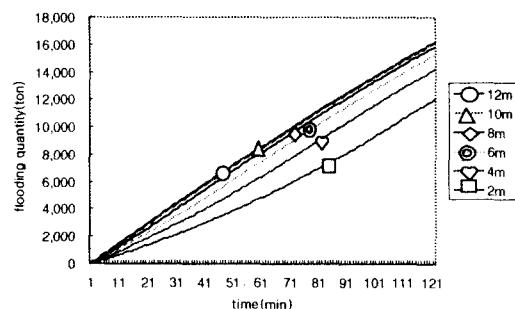


Fig. 9. Flooding quantity by damage depth.

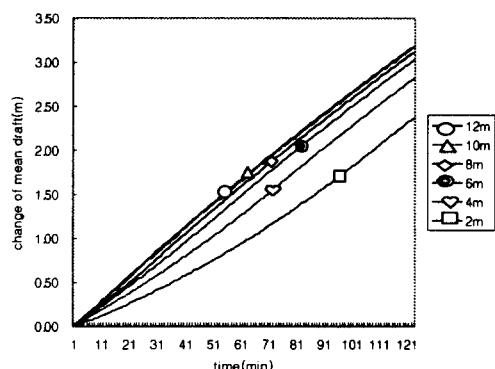


Fig. 10. Changes of mean draft

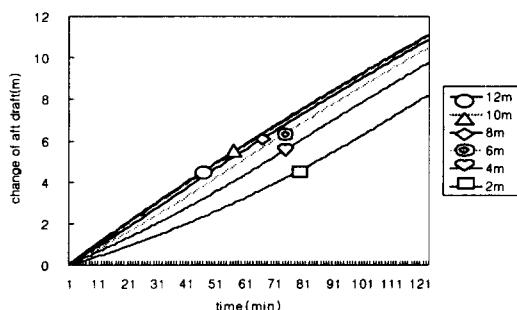


Fig. 11. Changes of aft draft

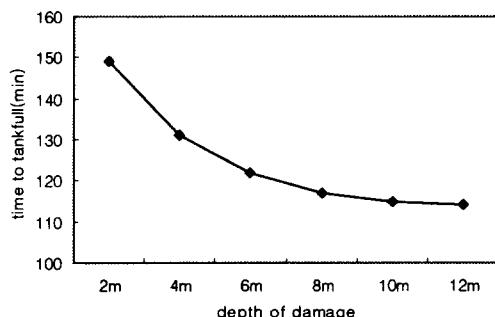


Fig. 12. Time to fill engine room

이 짧아져 114분에 수령함을 알 수 있다.  
이상에서 파공의 위치 변화에 따른 기관실의 침수현상에 대하여 살펴보았다. 파공의 크기 변화는

고려하지 않았으나 이것은 비례적인 문제이므로 파공의 크기와 여기에서 나온 시간, 흘수 등 제반값들을 파공의 크기와 반비례시켜 고려하면 될 것이다.

#### 4. 결 론

선박의 수면하에 파공이 생겼을 경우 침수량과 침수 속도 등에 대하여 수치 적분법을 제안하고, 상형선에 대하여 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 파공에 이를 때까지의 침수 유속은 직선적으로 증가하고, 파공을 지나면 직선적으로 침수 유속이 감소한다.
- 침수가 파공에 이를 때까지 흘수는 아래로 오목한 2차곡선의 형태로 가파르게 증가하고, 파공을 지나면 위로 불룩한 형태의 2차 곡선형으로 흘수가 증가율이 약간 둔화된다.
- 흘수의 반보다 낮은 위치에 파공이 생기면 침수 속도가 그리 빠르지 않는 범위에서는 수두의 변화, 침수유속, 배수량의 증가 등이 거의 선형적으로 변한다.
- 기관실 침수의 경우 매우 빠르게 선미 트림이 증가하여 선미가 물 속에 쉽게 잠기게 되나 부력을 상실하게 되는 데 걸리는 시간은 상당히 오래 걸린다.
- 실선에서 침수가 생겼을 때 흘수를 계속적으로 채서 변화의 정도를 점검하면 결론3에 의하여 침수 속도를 예측할 수 있다.

#### 참 고 문 현

- Principles of naval architecture, Vol. 1, Edward V. Lewis, The society of naval architects and marine engineers, p. 143.
- 理論船舶工學, 上卷, 大串雅信, 海文堂 p. 22.
- 기초조선공학, 송강섭, 태화출판사, p. 173