

선저파공이 침수속도에 미치는 영향

박 석 주*, 이 동 섭**, 박 성 현***

The flood speed by ship's under water damage

S. C. Park*, D. S. Lee**, S. H. Park***

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. 이러한 현상은 결국에 가서는 배를 침몰시키거나 전복시킬 수도 있다. 사고의 형태는 다양하여 그 위치나 크기가 일정하지 않고 화물의 양이나 종류도 다양하여 모든 종류의 사고에 대비하여 그 대책을 세우거나 진행 상황을 상정할 수 없다. 유조선의 사고는 경우에 따라서 안정성만을 본다면 복원성이 좋아질 수도 있다. 그러나 이는 곧 기름 유출을 의미하기 때문에 더 큰 재앙을 유발할 것이다. 어느 경우든 구획의 수를 늘이는 것이 이러한 사고로부터 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.

* 한국해양대학교 교수

** 한국해양수산연수원 교수

*** 목포해양대학교 교수

2. 침수 현상^{1),2)}

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

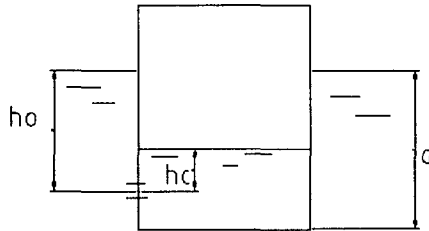


Fig.1 Flood by under water damage.

$$v = \sqrt{2gh_o} \quad (m/s) \quad (1)$$

여기에서

v (m/s) ; 침수 속력,

g (m/s²) ; 중력가속도,

h_o (m) ; 수면에서 파공 또는 침수면까지의 깊이이다.

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

$$v = C\sqrt{2gh_o} \quad (m/s) \quad (1)$$

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

$$h = h_o + \Delta d - h_c + h_t \quad (2)$$

여기에서

h_o ; 수면에서 초기 파공까지의 깊이

Δd ; 침수로 인한 흘수의 증가량

h_c ; 침수로 인한 침수구역의 수두

h_t ; 침수트림으로 인한 흘수의 증가량

단, h_c 는 밑바닥에서 파공까지 물이 차오를 때까지는 영향이 없기 때문에 그 값이 0이다.
구체적으로 그 각각을 살펴보면 다음과 같이 된다.

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

$$h_c = \int_{t_1}^t \frac{\rho A_h v}{\rho A_c} dt = \int_{t_1}^t \frac{A_h v}{A_c} dt \quad (m) \quad (4)$$

$$h_t = \frac{1}{2} \frac{\Delta w l}{100 M_{cm}} \frac{l}{L/2} \quad (m) \quad (5)$$

단,

$$\Delta w = \int_0^t \rho A_h v dt \quad (ton) ; \text{침수량} \quad (6)$$

t (s) ; 침수 시간

t_1 (s) ; 파공까지 물이 차오르는데 걸리는 시간

ρ (ton/m^3) ; 해수 밀도

A_w (m^2) ; 수선면의 면적

A_h (m^2) ; 파공의 단면적

A_c (m^2) ; 침수구역의 수선면의 면적

T_{cm} (ton/cm) ; cm 당 배수톤

l (m) ; 부면심에서 침수구역의 중심까지의 거리

L (m) ; 수선간장

M_{cm} ($ton \cdot m/cm$) ; cm 당 트림모멘트

또 이 때 홀수는 다음과 같이 된다.

$$d_m = d_{m0} + \Delta d \quad (7)$$

$$d_f = d_{f0} + \Delta d - h_t \quad (8)$$

$$d_a = d_{a0} + \Delta d + h_t \quad (9)$$

여기에서

d_m ; 평균홀수

d_{m0} ; 초기 평균홀수

d_f ; 선수홀수

d_{f0} ; 초기 선수홀수

d_a ; 선미홀수

d_{a0} ; 초기 선미홀수

위 식들에서 알 수 있듯이 Δd , Δw , h_c 등을 적분에 의하여 구하여야만 함은 물론이고, 이 적분 속에 들어있는 A_w , A_h , A_c , T_{cm} , l , M_{cm} 등 거의 대부분의 변수들이 시간의 함수이다. 더구나 그 속에 들어있는 속력 v 는 수면에서 파공까지의 깊이 h 가 결정되어야 하기 때문에 해석적 방법으로는 풀기 어렵다. 따라서 수치해석적인 방법을 동원할 수밖에 없다.

3. 상형선에 적용

그림 2와 같이 길이 200m, 폭 25m, 깊이 15m, 평균홀수 11.5m, 선수홀수 11m, 선미홀수 12m인 상형선을 4 개의 선창과 선미에 기관실을 두어 5 등분한 모델에 대하여 적용하였다. 기관실의 밑바닥에 면적 0.2m²(직경 약 50cm)의 파공이 생겼을 경우를 상정하였다.

해수밀도를 1.025로 하면 배수량은 58,938톤이 되고 필요한 정보들은 다음과 같다.

$$A_h = 0.3(m^2)$$

$$A_c = 1000(m^2)$$

$$A_w = LB = 200 \cdot 25 = 5000(m^2)$$

$$T_{cm} = \frac{\rho A_w}{100} = 51.25(\text{ton/cm})$$

$$M_{cm} \doteq \frac{I_L}{100L} = \frac{\frac{1}{12} BL^3}{100L} = 833.3(\text{ton} \cdot \text{m/cm})$$

$$M_{cm} \doteq \frac{I_L}{100L} = \frac{\frac{1}{12} BL^3}{100L} = 833.3(\text{ton} \cdot \text{m/cm})$$

$$l = 80(\text{m})$$

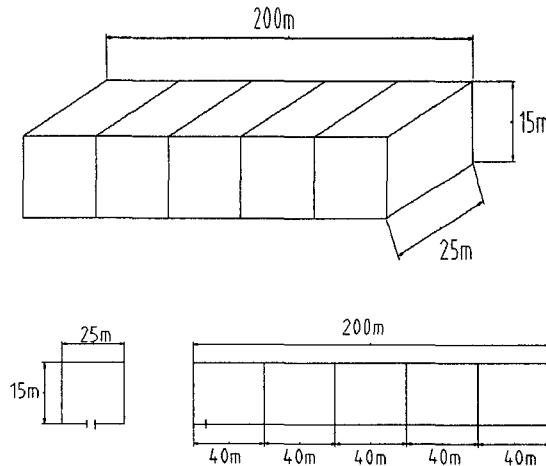


Fig. 2 analyzed model

초기 파공까지의 깊이에서 초기 유속 v_0 를 구한 다음 위 데이터들을 앞절에서 언급한 식들에 넣어 수치 적분하여 수두 h 를 구하고 구한 h 를 이용하여 (1)' 식에서 유속 v 를 구하는 방법으로 반복 계산하였다. 적분 시간 간격은 10초와 1분을 택하여 계산하였으나 거의 차이가 나지 않았다. 식(1)'에서의 상수값 C 는 선창의 종류 및 형상, 화물 등에 따라 상당히 다른 값을 갖게 되는데 여기에서는 0.8을 택하였다. 이 계수는 비례상수이므로 다른 값을 선택 하고자 할 때는 여기에서 계산된 값에 단지 그들 비례상수의 값의 관계에 의하여 쉽게 보정할 수 있다.

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 흘수의 증가의 영향이 가장 적다는 것을 알 수 있다. 약 114분이 경과하면 기관실 꼭대기까지 물이 차오르는 것을 알 수 있다.

그림 4는 수두의 변화와 파공으로 흘러 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 홀수의 변화를 보여준다. 평균홀수는 그리 변화가 심하지 않으나 선수와 선미의 홀수는 상당히 급격하게 변하고 있고, 특히 31분 경과 시점에서 벌써 선미는 물에 잠기기 시작한다. 114분이 경과한 시점, 즉 기관실이 만수가 된 상태에서도 평균 홀수가 갑판선 아래 약 50cm에 위치하여 아직 여유 부력이 있음을 알 수 있다. 그러나 선미 홀수는 무려 22.37m로 선미 갑판은 물 속 7.32m 아래에 위치하게 된다.

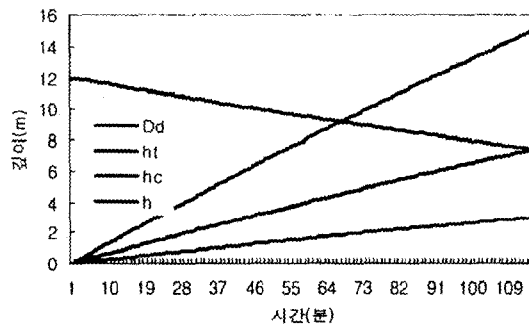


Fig. 3. Water head h and various depth

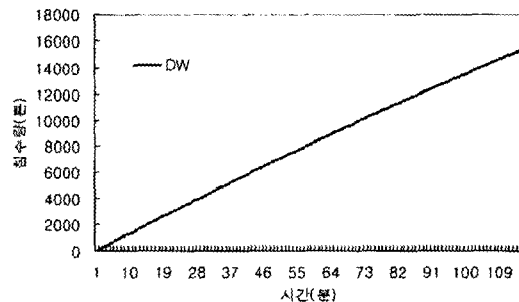


Fig. 4. Water head and flood speed

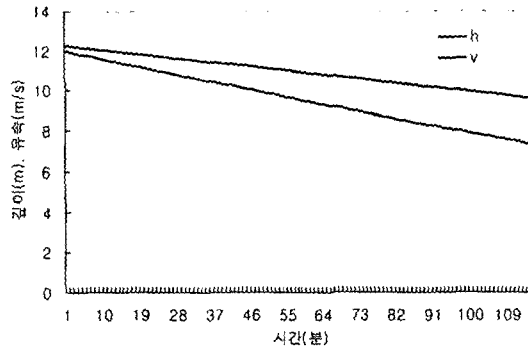


Fig. 5. Increase of displacement

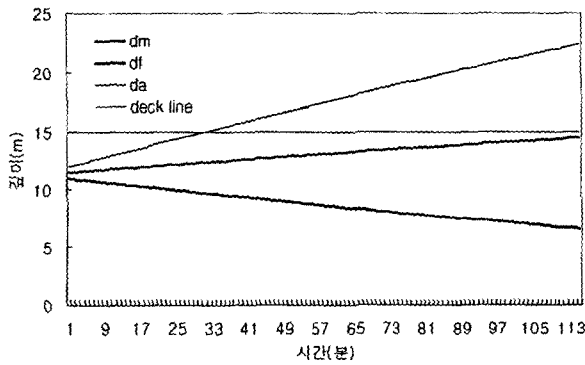


Fig. 6. Changes of drafts

4. 결 론

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

1. 침수 속도가 그리 빠르지 않는 범위에서는 수두의 변화, 침수유속, 배수량의 증가 등이 거의 선형적으로 변한다.
2. 기관실 침수의 경우 매우 빠르게 선미 트림이 증가하여 선미가 물 속에 쉽게 잠기게 되나 부력을 상실하게 되는 데 걸리는 시간은 상당히 오래 걸린다.
3. 실선에서 침수가 생겼을 때 흘수를 계속적으로 재서 변화의 정도를 점검하면 결론1에 의하여 침수 속도를 예측할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Principles of naval architecture, Vol. 1, Edward V. Lewis, The society of naval architects and marine engineers, p. 143.
2. 理論船舶工學, 상권, 마순일, 김진안, 한국이공학사, p. 19.