

# 평저선과 침저선의 직진성능, 선회성능 및 풍랑에 대한 저항성능 연구

이호태, 정호근\*

보성고등학교, 서울특별시 138-050

## Study on the Dynamics of U-Shaped and V-Shaped Boats in Terms of Straight-Advancing and Circling Performances, and Restoring Performance against Irregular Waves

Ho Tae Lee and Ho Keun Chung\*

Po Sung High School, Seoul 138-050, Korea

### 요약

본 연구는 임진왜란 당시 바다 환경과 배의 특성을 간파하여 평저선의 조선 수군이 침저선의 일본수군을 맞아 싸워 어떻게 승리를 이룰 수 있었는지 여러 가지 상황을 배의 모의 설정 실험을 하여 과학적으로 분석해 보았다. 조선 수군 전선(평저선)과 일본 수군 전선(침저선)의 차이점은 배의 밑부분 형태이다. 배 밑면의 경사각이 0도인 U자형의 평저선과 경사각이 각각 20도, 30도, 40도의 세 종류의 V자형 침저선등 모두 네 종류의 실험선에 대하여 직진성능, 선회성능 그리고 불규칙한 풍랑에 대한 복원성능 등을 연구하였다. 경사각이 작은 배일수록, 직진성능은 떨어졌으나 선회 시 이동변위와 선회반경은 더 작게 측정되어 선회성능이 향상됨을 보였다. 하중에 따른 복원성능 실험에서는 경사각이 작을수록 복원력이 우수한 결과를 보였으며, 불규칙한 풍랑에 대한 저항성능은 경사각 0도의 평저선이 매우 강함을 보였다. 남해 앞 바다는 먼 바다에 비하여 해형이 복잡하고, 암초가 많으며, 수심이 상대적으로 얕아 불규칙한 풍랑 등 심한 환경변화가 있어서 평저선이 직진성능 면에서는 침저선보다 열세이나 남해 앞바다와 같은 변화가 심한 환경 하에서는 선회성능과 풍랑 저항성능이 우수한 평저선이 침저선보다 더 유리하여 조선 수군이 일본 수군을 관이한 형태의 전선으로 변화가 심한 바다 환경을 우세하게 지배하여 과학적 승리를 이루었음을 알 수 있었다.

**주제어** : 평저선, 침저선, 직진성능, 선회성능, 저항성능

### 서론

임진왜란 및 정유재란 당시 조선 수군은 일본 수군에 비해 훨씬 적은 수의 전선으로 한산도 대첩, 명랑 대첩, 및 노량해전 등 수많은 전투에서 승리를 이루어냈다. 당시 조선 수군은 남해 앞바다의 얕은 수심, 불규칙한 풍랑, 해류 변화 등의 자연 환경을 활용하여, 보유하고 있던 전투선인 평저선으로 일본 수군의 침저선 함대를 수차례 침몰시키는 쾌거를 이루었다. 조선 수군이 일본 수군의 전선과는 관이한 형태의 전선으로 변화가

심한 바다 환경을 우세하게 지배하였다는 것으로 볼 수 있으며, 이는 과학의 승리라 말할 수 있다.

남해 앞바다 내해는 수심이 얕고, 물길이 거세며 풍랑이 불규칙하며 잦다(김훈, 2003). 이러한 환경 하에서 전선의 성능은 전선의 모양이나 형태에 크게 의존 된다. 조선 수군의 평저선은 배의 밑 부분이 U자형, 일본 수군의 침저선은 V자형으로 상이한 형태를 가지고 있다(김경진, 2005). U자형은 배 밑면의 경사각이 0도, V자형은 경사각이 일정한 크기를 갖는다고 할 수 있다. 김경진(2005)의 글에는 침저선이 평저선에 비해서 속도가 빠르다고 알려져 있으나, 경사각의 차이에 따른 배의 기동성능이 체계적으로 연구된 적은 없다. 이와 같은 경사각의 차

\*교신저자: stepha27@paran.com

•2008년 6월 17일 접수, 2008년 7월 18일 통과.

이가 배의 직진력 및 성능에 큰 영향을 미치리라 예상된다.

본 탐구에서는 경사각이 0도인 U자형의 평저선과 경사각이 다른 세 종류의 V자형의 침저선등 모두 네 종류의 실험선을 물 위에서 직진성능, 선회성능 그리고 불규칙한 풍랑에 대한 복원 성능 등을 실험하여, 결과를 비교, 분석함으로써 배 밑 부분의 경사각 크기와 전선의 성능과의 연관성을 연구해 보았다.

## 연구 절차 및 방법

### 실험 도구 및 평저선 및 침저선 실험선의 제작

**도구:** 평저선, 세 종류의 침저선, 수조, 100분의 1초 정밀도의 stop-watch, 모터 작동 프로펠러, 마그네틱 stirrer

**제작방법:** 경사각의 크기가 각각 다른 네 종류의 실험선의 도면을 작성하고 도면에 따라서 아크릴판을 자른다. 자른 아크

릴판을 모형도에 맞게 붙이어 배의 밑 부분을 U자형 모양으로 하여 경사각 0도인 평저선을 만들고, 경사각을 20°, 30°, 40° 3가지로 하여 V자형 모양의 침저선을 만든다(그림 1,2).

네 종류의 실험선 각각의 무게를 쇠막대 및 쇠 봉을 배 내부에 장착하여 모두 2240 g 으로 동일하게 맞춘다. 쇠막대 및 쇠 봉은 무게 조절 이외에도 무게중심을 안정적으로 잡아주어 경사각이 큰 배들이 성능 실험 시 물 위에서 균형 있게 움직일 수 있도록 하는 역할을 한다.

**평저선과 침저선의 폭, 길이, 높이, 무게:** 배의 성능은 배 밑 부분의 형태 이외에도 무게나 배의 치수 등에 의해 달라질 수 있다(大韓造船學會, 2000). 본 탐구에서는 폭, 길이, 높이 및 무게 등의 인자에 의해 성능 차이를 배제하기 위하여 평저선과 세 종류 침저선 모두 폭은 16 cm, 길이는 30 cm, 높이는 9 cm, 무게는 2240g 으로 동일하게 하였다. 길이/폭의 비는 2.19로 임진왜란 당시의 범선이나 전선 비율에 맞추었다(김재근, 1992).

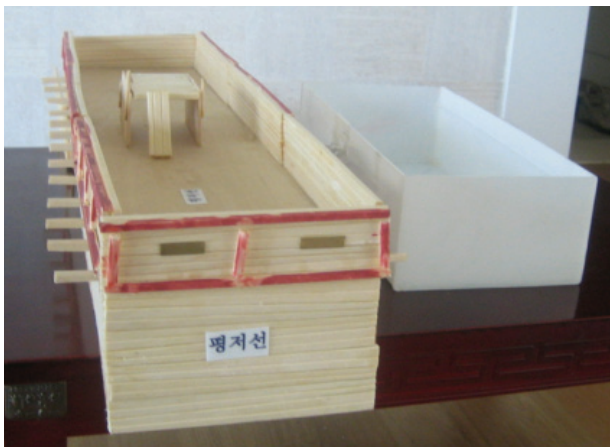


그림 1. 평저선 모형선과 실험선

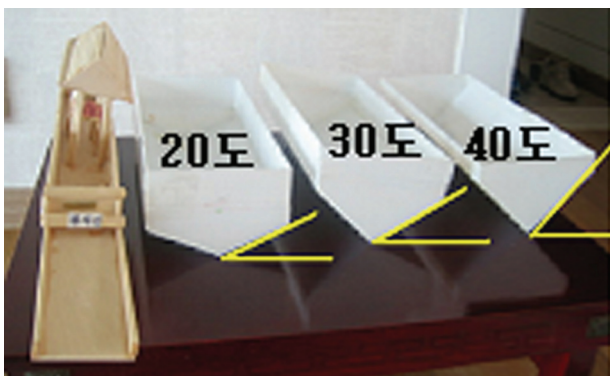


그림 2. 침저선 모형선과 실험선

## 전선 형태에 따른 성능 실험

### 1. 평저선과 침저선 실험선의 직진성능

#### 1) 파도가 없는 잔잔한 물에서의 직진실험

길이 250 cm, 폭 50 cm, 높이 40 cm의 수조에 물을 깊이 15 cm 정도로 채우고 수조의 맨 왼쪽에 배를 놓는다. 배 뒤쪽의 상판 양쪽에 같은 종류의 모터로 작동되는 프로펠러를 장착하고 전원을 연결시켜 프로펠러가 일으키는 바람의 반작용 힘으로 배를 수조의 길이 방향으로 250 cm 거리를 직진하도록 한다(그림 3). 배가 250 cm의 수조를 이동하는데 걸리는 시간

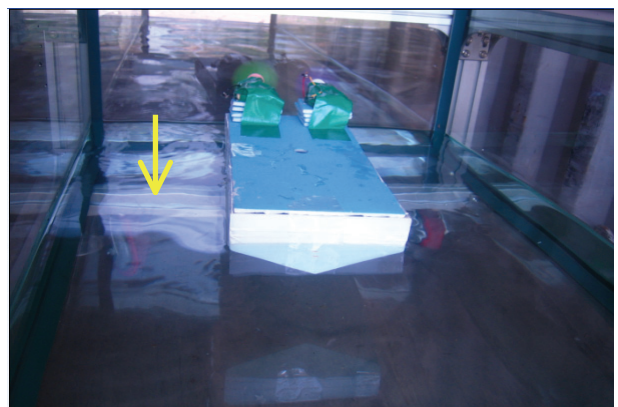


그림 3. 잔잔한 물



그림 4. 인공파도

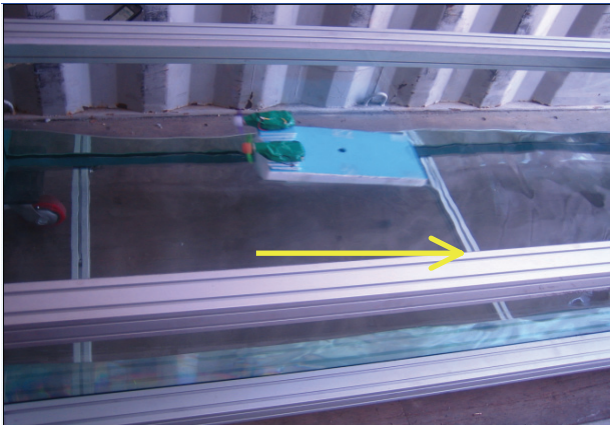


그림 5. 인공파도 속 직진

을 10회 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

### 2)인공파도 속에서의 직진실험

길이 250 cm, 폭 50 cm, 높이 40 cm의 수조에 물을 깊이 15 cm 정도로 채우고 수조의 맨 왼쪽에 배를 놓는다. 폭 50 cm, 두께 10 cm, 높이 30 cm의 직육면체 박스로 수조의 한쪽

끝에서 위에서 아래 방향으로 물을 10 cm 정도 3회 눌러서 인공파도를 발생시킨 후, 배의 전원을 켜서 직진하도록 한다(그림 4,5). 배가 250 cm의 수조를 이동하는데 걸리는 시간을 10회 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

## 2.평저선과 첨저선 실험선의 선회 및 회전성능

### 1)방향타를 이용한 선회 실험

직진을 위하여 배 뒤쪽의 상판 양쪽에 모터로 작동되는 프로펠러를 장착하고, 동시에 선회운동을 할 수 있도록 배 뒷부분 밑에 방향타를 붙인다. 배를 잔잔한 물 위에 띄우고 모터 전원을 연결시키어 배가 선회운동을 하게 한다. 선회운동 출발 지점부터 종착 지점까지의 직선거리를 3회 측정하고 평균값을 구한다(그림 6).

### 2)제자리에서의 회전 실험

**바람에 의한 회전 실험:** 지름 80 cm의 원형 수조에 물을 10 cm 깊이로 채우고 배를 물 위에 올려 놓는다. 배를 바람에 의해 회전시키기 위해 그림 7과 같이 선수와 선미의 양쪽 끝에 2조의 모터-프로펠러를 방향을 서로 반대로 하여 장착시키고 전원을 연결해서 작용-반작용 원리를 이용하여 배에 힘의 모멘트를 일으켜 배를 회전시킨다(그림 7). 배가 360도 1회전 하는데 걸리는 시간을 첫 번째 회전부터 열 번째 회전까지 매회전마다 측정한다.

**물의 와류에 의한 회전 실험:** 지름 80cm의 원형 수조에 물을 10cm 깊이로 채우고 마그네틱 bar를 수조 밑바닥 중앙에 놓고 마그네틱 Stirrer 기구 위에 올려놓는다. 수조의 물 위에 배를 놓는다. 마그네틱 Stirrer 기구의 전원을 연결하고 물의 와류를 일으킨다(그림 8). 배가 360도 1회전 하는데 걸리는 시간을 첫 번째 회전부터 열 번째 회전까지 매회전마다 측정한다. 네

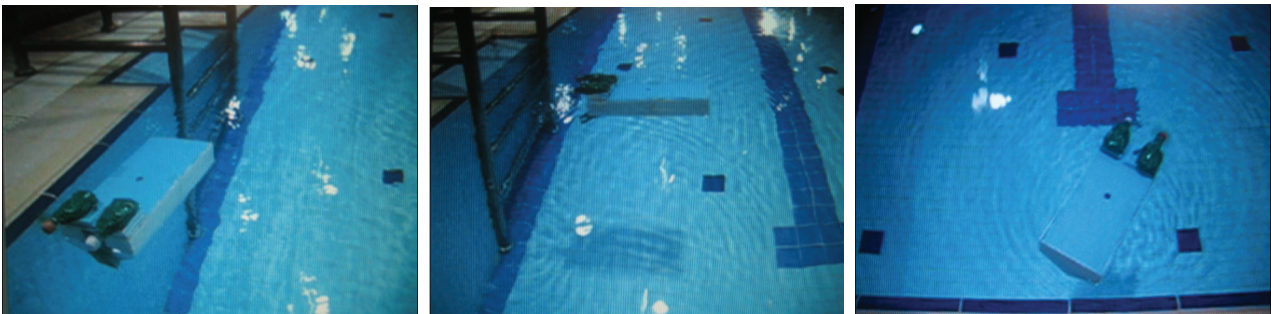


그림 6. 배의 선회 실험



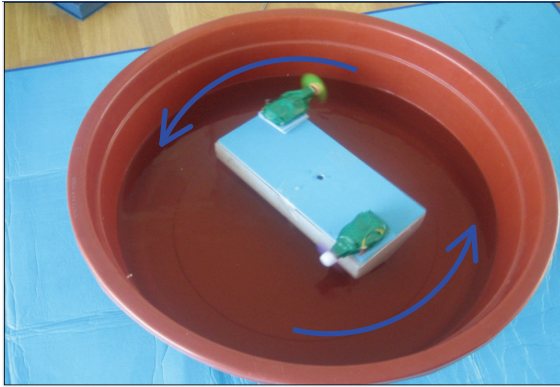


그림 7. 배의 바람에 회전 실험

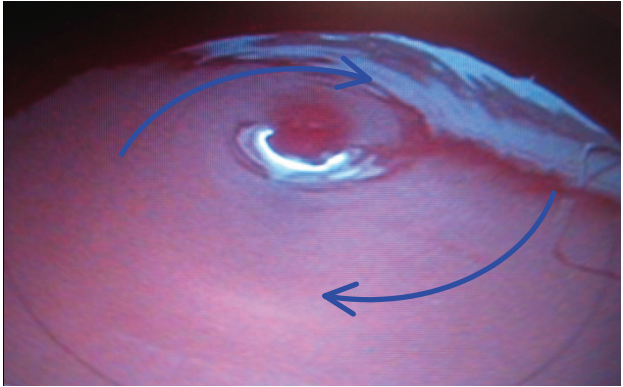


그림 8. 마그네틱 Stirrer 기구를 이용한 물의 와류

종류의 배 모두 동일한 방법으로 매 회전 시간을 측정한다.

**물의 와류 속에서 바람에 의한 역회전 실험:** 원형 수조 속에 서 와류를 일으켜서 세기가 일정해진 후, 곧바로 모터-프로펠러가 장착된 배를 와류 속에 놓고 배를 회전시킨다. 이때 와류의 회전 방향과 바람에 의한 회전 방향은 서로 반대로 한다. 배가 360도 1회전 하는데 걸리는 시간을 첫 번째 회전부터 열 번째 회전까지 매 회전마다 측정한다.

### 3. 평저선과 첨저선 실험선의 불규칙한 풍랑에 대한 저항성

#### 1)복원력 실험

배를 원형 수조에 띄우고 평형이 된 후, 배의 상판 한쪽 옆 가장자리에 금속 봉을 올려놓으면서 하중에 따른 배의 기울기와 전복 직전의 기울기 각도 및 하중을 잰다(그림 9).

#### 2)불규칙한 풍랑의 모의 물 풍선 실험

길이 150 cm의 수조에 15 cm 가량 물을 채우고 배를 수조의 가운데에 놓는다. 약 3 kg의 물 풍선을 배에서 약 3 cm 가량 떨어진 지점에 2m 높이로부터 떨어뜨리어 풍랑을 만든다.



그림 9. 하중에 따른 배의 기울기



그림 10. 불규칙한 풍랑의 모의 물 풍선 실험

## 실험 결과 및 고찰

풍랑에 의해 배가 좌초될 때까지 던진 물 풍선의 횡수를 센다 (그림 10).

배가 물에 뜨는 현상은 배의 무게와 부력이 평형을 이루기 때문이다. 배의 부력은 물에 잠긴 체적에 물의 밀도를 곱하여 얻으며 무게와 동일하다. 배가 물 밑에 잠겨있는 깊이를 나타내는 홀수는 무게 = 부력의 평형이 이루어지는 지점에서 결정된다. 배의 길이가 같으므로 선수의 침수표면적은 경사각 크기와 관계없이 네 종류의 배 모두 같다. 표 1에 실험선으로 사용된 평저선과 세 종류 첨저선의 홀수, 선수 침수표면적, 전체침수표면적, 선수의 물과 닿는 길이를 정리하였다.

### 1.평저선과 첨저선 실험선의 직진성능

물에서의 직진실험 시 동력원으로 배터리로 작동되는 모터에 소형 프로펠러를 연결한 후 전원을 켜서 프로펠러가 일으키는 바람의 반작용 힘을 이용하였다. 프로펠러는 공기를 밀어서

표 1. 경사각 크기가 다른 배의 물에 잠기는 부분

배의종류 제원	평저선 경사각 0°	첨저선		
		경사각 20°	경사각 30°	경사각 40°
흘수 (cm)	4.0	5.5	6.6	7.5
선수침수 표면적(cm <sup>2</sup> )	64	64	64	64
전체침수 표면적(cm <sup>2</sup> )	968	898	891	921
선수의 물과 닿는길이(cm)	24.0	22.2	22.1	22.2

바람을 일으키고, 공기는 반작용으로 프로펠러를 밀어낸다. 반작용의 힘은 모터-프로펠러와 고정되어 있는 배가 물의 저항을 뚫고 직진하게 한다. 배가 정지 상태에서 등속도 직진운동까지는 뉴턴 제2법칙인

$$F=ma \text{ (F는 알짜 힘, m은 질량, a는 가속도)}$$

법칙과 관성의 법칙을 따른다. 배의 직진 시 저항은 배와 물과의 마찰저항과 공기에 의한 저항으로 크게 나눌 수 있으며 공기저항은 마찰저항에 비해 매우 작은 것으로 알려졌다(유병용, 2005). 따라서 알짜 힘 F는 반작용 힘과 물과의 마찰저항에 의한 힘의 차이로 볼 수 있으며, 이 차이가 배의 가속도를 갖게 하고 두 힘이 같아지면 배는 관성의 법칙으로 등속도 직진운동을 한다. 평저선과 세 종류의 첨저선 각각의 무게가 동일하고, 동력원인 모터 프로펠러의 반작용에 의한 힘이 모두 동일하므로, 평저선과 첨저선의 직진성능은 물의 마찰저항에 의해 좌우된다.

수심이 얇은 남해 앞바다에서는 배의 직진 시 배와 물의 접촉에 의한 마찰저항이 주로 작용할 것이며, 수심이 깊은 남해 먼 바다는 높은 파고의 파도가 또 다른 저항으로 작용될 것이다(유병용, 2005).

그림 11은 파도가 없는 잔잔한 물에서 경사각 0도의 평저선은 평균 19.0초, 첨저선은 경사각에 따라서 평균 16.0에서 17.6초의 시간이 걸렸다. 가장 빠른 경사각 40도와 경사각 0도의 시간 차이는 약 3초 정도를 보였다. 파도를 발생시킨 물에서도 평저선은 평균 23.2초, 첨저선은 경사각에 따라서 평균 17.0에서 21.4초의 이동시간 결과가 나타났다. 가장 빠른 경사각 40도와 경사각 0도의 시간 차이는 약 6.2초 정도를 보였다. 두 가지 직진성능 실험 모두에서 경사각이 클수록 직진성능에서 우수하였으며, 특히 인공파도가 있는 경우 직진성능 차이는 더 커졌다. 결과로부터 경사각 40도 > 경사각 30도 > 경사각 20도 > 경사각 0도의 순으로 직진성능이 우수한 것으로 나타났다.

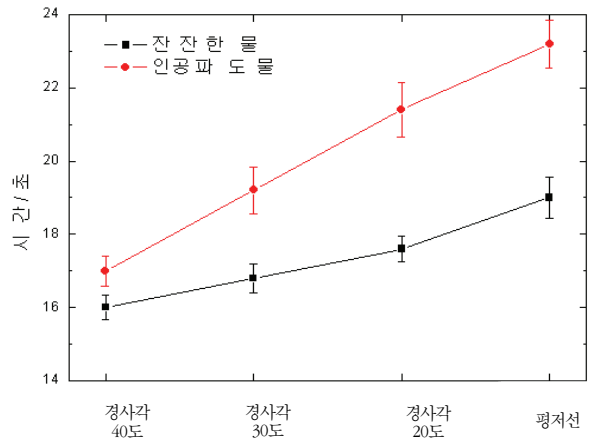


그림 11. 파도가 없는 잔잔한 물과 파도 발생시킨 물에서의 직진시간

경사각 0도의 평저선이 속도가 느린 것은 선수의 흘수 구간에서 물을 가르는 마찰저항이 가장 크기 때문이라고 생각할 수 있다. 유병용(2005)에 따르면 마찰저항은 물과 배가 닿는 길이가 클수록 증가한다. 표 1에서 보면 평저선이나 첨저선이나 선수의 침수표면적은 동일하나 평저선이 첨저선에 비해 물에 닿는 길이가 크다. 따라서 마찰저항이 커서 직진성능이 뒤떨어지는 것으로 생각된다. 배의 폭과 길이가 같을 때, 평저선이 첨저선에 비해 물에 닿는 길이가 항상 크다는 것을 부록 1에 수식으로 정리하였다. 첨저선 간에는 물에 닿는 길이가 거의 차이가 없으며, 이는 배 밑 부분의 경사각 크기가 클수록 물을 가르고 직진하는데 더 효과적으로 작용하는 것으로 여겨진다.

인공파도 속에서 경사각이 작은 배 일수록 파도를 올라타는 능력이 더 떨어짐이 실험에서 관찰되었다. 이로 인하여 평저선과 첨저선의 직진시간 차이가 인공파도가 없는 경우에 비해 더 벌어지는 것으로 여겨진다. 첨저선 사이에서는 경사각이 클수록 이러한 직진시간 차이가 더 작아짐을 보였으며 이는 경사각이 클수록 파도를 올라타서 직진하는 능력이 우수한 것으로 생각된다. 이러한 실험결과 해석으로부터 임진왜란 당시 조선수군이 남해 먼 바다가 아닌 앞바다에서 교전을 치렀던 것은 직진성능의 차이를 최소화하고자 하는 것으로 생각된다. 먼 바다 일수록 파고가 높아 평저선은 직진성능에서 매우 불리함을 겪게 될 수 있기 때문이다(김경진, 2005; 유병용 2005).

## 2. 평저선과 첨저선 실험선의 선회 및 회전성능

임진왜란 당시 조선 수군의 전선은 뜻이나 노를 이용하여 직

진하고 방향타를 이용하여 진행 방향을 바꾸면서 학익진이나 장사진 등 여러 가지 대형으로 전개 후, 정지상태거나 또는 제 자리에서 방향을 바꿔가며 화포나 화살을 발사하면서 교전했음이 추측된다(김훈, 2003; 라이오넬 카슨, 2001). 빠른 속도로 운항하는 현대의 전선과는 달리 당시의 전선은 교전을 위하여 배의 방향 선회 및 배의 정지 자세 유지가 매우 중요하였을 것이다.

남해 앞바다에서는 불규칙하게 불어오는 바람, 좁은 해협과 수많은 암초들에 의한 와류 발생 등등 여러 가지 형태의 바다 환경을 짐작할 수 있다. 이러한 불규칙한 바람이나 와류 등은 배를 회전시키어 정지자세의 유지를 어렵게 할 수 있다. 경사각 크기가 다른 네 종류의 배에 대해 방향 선회능력과 제자리에서의 회전 성능 실험을 각각 하고 그 결과를 배 밑 부분의 경사각의 크기와 연관 지어 연구하였다.

**1) 방향타를 이용한 선회성능**

직진하는 배가 선회하는 원리는 그림 12와 같이 방향타에 작용하는 힘과 힘의 모멘트(또는 회전력, 토크라고 함)에 의해 이루어진다. 방향타에 의한 힘  $F$ 는 배에 힘의 모멘트  $M(=F \times d, d$ 는 힘의 작용점에서 무게 중심까지의 수직 거리)을 일으켜 배를 시계 방향으로 회전시키려 한다. 또한 힘  $F$ 는 배를 왼쪽으로 밀어주려는 작용을 하여, 힘의 모멘트  $M$ 과 함께 배의 이동경로를 배의 방향과  $\theta$  만큼 각도 차이가 나게 하면서 선회시킨다(유병용, 2005).

평저선과 침저선 선미에 방향타를 부착하고 선회성능을 비교하였다. 완전한 1회전의 선회운동을 시킨 후, 선회반경을 측정, 비교하여야 했으나 물 위에서 방향타 이외의 정밀한 제어 장치가 없어서 선회 궤적의 정확한 측정이 어렵고, 또한 정확한 원형의 선회운동을 보이지 않아 출발지점과 종착지점 사이의 이동변위를 측정하여 각 실험선의 선회성능을 비교하고 그 결과를 표 2에 나타내었다. 이동변위는 경사각 40도 > 경사각 30도 > 경사각 20도 > 경사각 0도 순서로 컸으며, 이러한 순서는

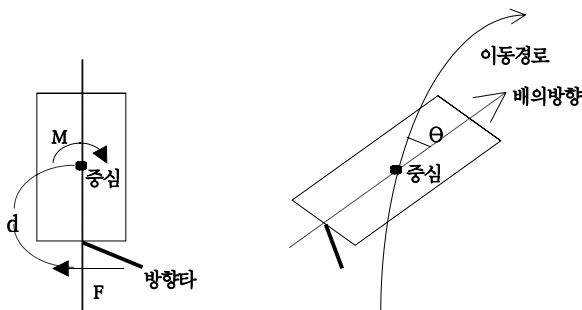


그림 12. 방향타에 의한 배의 선회

표 2. 경사각 크기가 다른 실험선의 이동 변위

배의종류 횟수	평저선 경사각0°	침저선		
		경사각 20°	경사각 30°	경사각 40°
1	95cm	115cm	136cm	148cm
2	103cm	108cm	130cm	138cm
3	110cm	120cm	128cm	140cm
평균	102cm	114cm	131cm	142cm

직진성능과 마찬가지로 경향이다. 이동변위가 크다는 것은 그만큼 선회하기 어렵다고 해석할 수 있으므로 결과에서 경사각 0도의 평저선의 선회성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

실험선들의 평면상에서의 선회 궤적은 경사각 0도와 20도의 배가 약 80% 정도, 경사각 30도와 40도의 배가 약 60% 정도의 원 궤적을 보였으며, 경사각이 작은 배일수록 더 적은 이동 변위가 관찰되었으며 이를 그림 13에 개략도로 나타내었다. 여기서 화살표는 배의 매 순간의 진행 경로를 의미한다.

**2) 제자리에서의 회전성능**

배의 회전은 선회와 마찬가지로 힘의 모멘트에 의해 이루어지며, 힘의 모멘트는  $M = F \times d$  ( $M$ 은 모멘트,  $F$ 는 힘,  $d$ 는 힘의 작용점에서 무게 중심까지의 수직 거리)로 표시된다. 본 실험에서는 네 종류의 배 모두 폭과 길이를 동일하게 하였고, 회전축에서 힘까지의 거리 및 반작용 힘을 같게 하였으므로 원리에 의해 네 종류의 배 모두 동일한 힘의 모멘트를 갖고 회전을 한다. 이러한 힘의 모멘트는  $M = I \times \alpha$  ( $M$ 은 힘의 모멘트,  $I$ 는 관성모멘트,  $\alpha$ 는 각가속도)로 또한 나타낼 수 있다. 각가속도가 크기 위해서는, 즉 빨리 회전하기 위해서는 관성모멘트가 작아야 한다. 관성모멘트는 질량 및 질량의 분포에 의해 달라진다(유병용, 2005). 실험에 사용된 배는 질량은 같으나 배 밑 부분의 경사각이 각각 달라서 질량분포가 다르며 배의 침수표면적에서 차이가 난다. 이런 차이가 회전시간에 미치는 영향을 알아보았다.

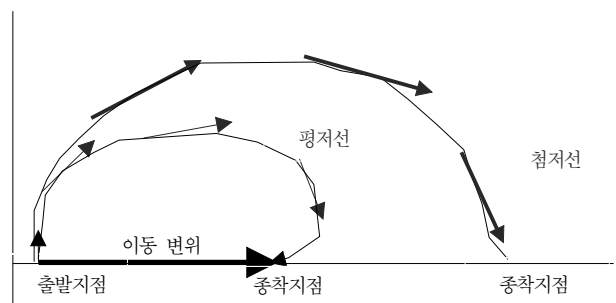


그림 13. 선회 궤적의 개략도

**바람에 의한 회전성능:** 그림 14는 모터-프로펠러 작용-반작용의 힘으로 배에 힘의 모멘트를 일으켜 배를 제자리에서 회전시킨 결과를 보여준다. 모두 첫 번째 회전하는데 걸리는 시간이 가장 길고 회전이 계속 진행됨에 따라 회전에 걸리는 시간은 거의 일정해 짐을 알 수 있다. 회전이 점차로 빨라지면서 일정해지는 것은 처음에는 바람에 의해서 배가 물의 정지 마찰 저항을 극복하고 회전하다가, 이 회전 힘이 다시 물을 회전시키어 물에 회전관성을 일으켜 거의 일정한 값의 구간의 회전시간을 보이는 것 같다.

회전시간이 일정해지는 구간을 비교해보면 경사각 20도와 30도의 배가 엇비슷하며 다음이 경사각 40도, 경사각 0도의 배 순으로 빠르기가 나타났다. 침수표면적의 크기가 경사각 0도 > 경사각 40도 > 경사각 20도 > 경사각 30도의 순서인 것(표 1)으로 보아 평저선은 흘수는 작으나 침수표면적이 가장 커서 회전 시 물에 의한 마찰저항을 크게 받는 것으로 생각된다.

침저선 간에는 흘수가 클수록 더 느린 이유는 힘의 모멘트를 일으키는 동일한 힘이 경사각이 클수록 힘과 마주보는 방향으로 더 많은 면적을 밀어내기 때문인 것으로 생각된다. 결국 평저선과 침저선의 회전시간은 침수표면적과 경사각 크기에 따른 물과의 마찰저항에 의해서 결정된다고 생각된다. 하지만 평저선이 회전 속도가 느리다는 것은 그만큼 바람에 의한 움직임이 작아져서 자세 제어가 상대적으로 용이함으로 여겨진다.

**물의 와류에 의한 회전성능:** 그림 15는 물의 와류의 힘으로 배에 힘의 모멘트를 일으켜 배를 제자리에서 회전시킨 결과를 보여준다. 모두 첫 번째 회전하는데 걸리는 시간이 가장 길고 회전이 계속 진행됨에 따라 회전에 걸리는 시간은 거의 일정해 짐을 보인다.

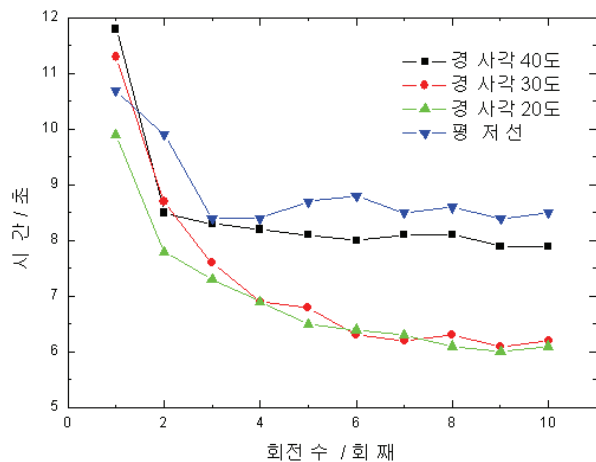


그림 14. 바람에 의한 회전시간

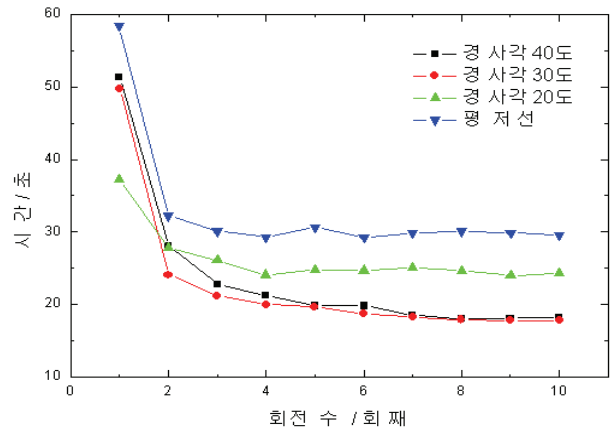


그림 15. 물의 와류에 의한 회전시간

회전시간이 일정해지는 구간을 비교해보면 경사각 40도와 30도의 배가 엇비슷하며 다음이 경사각 20도, 경사각 0도 순으로 빠르기가 나타났다. 평저선이 가장 느린 이유는 배 측면의 면적이 가장 작아서 와류의 힘을 덜 받기 때문이다. 경사각 20도의 경우도 마찬가지 이유인 것 같다 마찬가지로 평저선이 회전 속도가 느리다는 것은 그만큼 와류에 의한 움직임이 작아져서 자세 제어가 상대적으로 용이하다고 생각할 수 있다.

**물의 와류 속에서 바람에 의한 회전성능:** 그림 16은 물의 와류 방향과 반대로 배에 힘의 모멘트를 일으켜 배를 제자리에서 회전시킨 결과를 보여준다. 배의 회전 방향은 와류와 역방향으로 이루어졌다. 결국 바람에 의한 배의 회전이 흘수 구간에서는 물의 와류 방향을 바꿔놓은 것으로 생각할 수 있다. 이 경우도 마찬가지로 평저선과 침저선 모두 첫 번째 회전하는데 걸리는 시간이 가장 길고 회전이 계속 진행됨에 따라 회전에 걸리는 시간은 거의 일정해 짐을 보인다.

회전시간이 일정해지는 구간을 비교해보면 경사각 20도와 30도의 배가 엇비슷하며 다음이 경사각 40도, 경사각 0도의 순서로 빠르게 나타났다. 침저선에서는 흘수가 작은 순서대로 빨랐으며, 흘수가 가장 작은 평저선이 회전시간이 상대적으로 느리게 나타났다. 와류가 없이 바람 만에 의한 선회성능 결과와 유사한 경향의 결과가 나타났다. 여기서도 마찬가지로 평저선이 회전 속도가 느리다는 것은 그만큼 와류와 바람이 혼재된 상태에서도 움직임이 상대적으로 크지 않음을 의미함으로 해석되어진다. 결국, 바람이든, 와류든, 또는 이들이 혼재된 상태이든 평저선의 움직임은 외부 힘에 의하여 움직임이 느림을 알 수 있으며 이는 제자리에서의 자세 유지가 상대적으로 용이하다고 볼 수 있다.



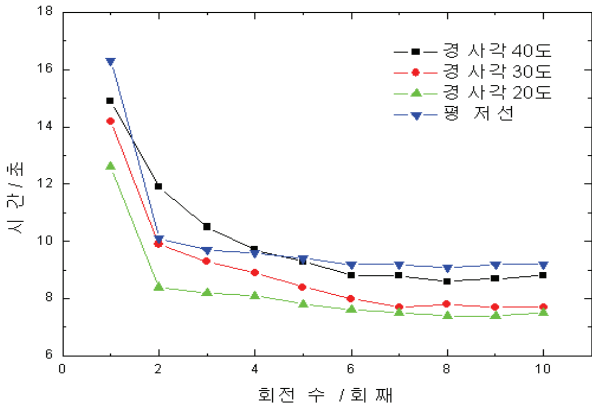


그림 16. 물의 외류 속에서 바람에 의한 회전시간

### 3. 평저선과 침저선 실험선의 불규칙한 풍랑에 대한 저항성

임진왜란 시 일본의 침저선이 조선 수군의 포탄 공격에 명중되어서 침몰된 것 이외에도 배 근처에 떨어진 포탄에 의해서 생긴 풍랑으로 인해 좌초되는 경우가 실제로 있었다(김재근, 1996). 포탄에 의한 풍랑 이외에도 앞바다에서 형성되는 불규칙한 풍랑이 배의 측면에 부딪치는 경우와 배 길이 방향으로 양쪽에 장착된 화포의 발사 시 반작용 힘이 배에 작용하는 경우에 좌우의 흔들림이 심해지고 복원 능력이 떨어지면서 전선의 교전 능력이 크게 저하됐을 것이다. 실험 3에서는 경사각 크기에 따른 배들의 복원 성능 차이를 비교하고 이들의 차이가 불규칙한 풍랑에 대한 복원 성능에 미치는 영향을 탐구하였다.

#### 1) 복원 성능

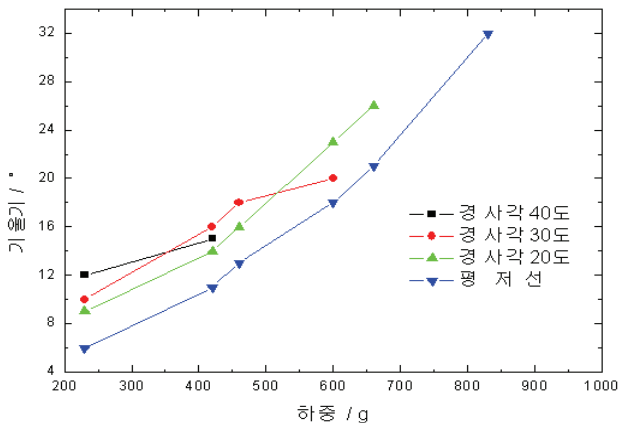


그림 17. 하중에 따른 배의 기울기 변화

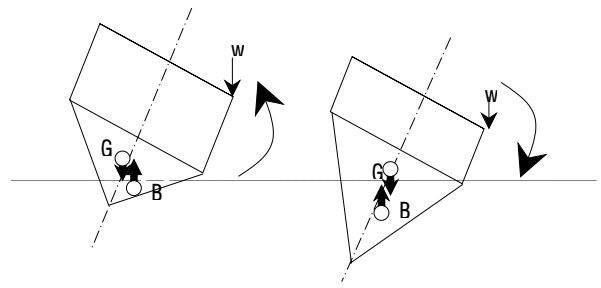


그림 18. 무게중심(G)과 부력중심(B)의 상호 위치와 복원력의 관계

하중에 따른 배의 기울임 정도를 보여주는 실험 결과(그림 17)를 보면 동일한 하중에서 경사각이 큰 배일수록 기울임이 커진다. 경사각이 클수록 더 적은 하중으로 전복되며, 그때의 기울기 각도 또한 작다(유병용, 2005). 평저선이 전복이 되기 위해서는 큰 하중이 필요하며, 배가 기울는 최대각도 또한 침저선에 비해 훨씬 크다. 즉 평저선은 침저선에 비해 하중을 가하여도 기울기가 작고, 기울임이 커지더라도 원래의 수평상태로 가고자하는 복원력이 더 크기 때문으로 생각된다.

배의 기울기와 복원력의 관계는 무게중심(G)과 부력의 중심(B) 간에 상대적 위치 변화로 설명할 수 있다(그림 18). 만일 하중(W)을 가하는 경우 배가 오른쪽으로 기울어진다. 이때 배의 부력중심이 무게중심 오른쪽에 위치한다면 배는 반시계 방향으로 힘의 모멘트가 작용하여 기울어진 상태에서 평형을 이루다가 하중을 제거하면 원래의 수평상태로 되돌아간다. 왼쪽에 위치한다면 시계 방향으로 힘의 모멘트가 작용하여 배는 곧 바로 전복된다. 또한 경사각이 클수록 조금만 기울어도 부력중심이 이동하여 배가 전복되기 쉽다. 전복 직전의 최대하중과 최대기울기를 비교해보면 평저선 > 경사각 20도 > 경사각 30도 > 경사각 40도의 순서로 복원 성능이 우수한 것으로 여겨진다.

#### 2) 불규칙한 풍랑의 모의 물 풍선

경사각 크기가 다른 배들의 복원력의 차이는 불규칙한 풍랑의 모의 물 풍선 실험결과를 뒷받침 해준다. 표 3은 약 3 kg의 물 풍선을 배에서 3 cm 가량 떨어진 지점에 2 m 높이로부터 던져서 풍랑을 만든 후 풍랑에 의한 배의 좌초 여부를 실험한 결과이다. 물 풍선의 사용은 수면과 충돌한 후 물이 튀어 오르면서 배의 측면과 부딪치게 하는데 용이하다. 풍랑에 의해 실험선이 좌초될 때까지의 던진 횟수를 보면 평저선이 풍랑에 대한 저항력이 매우 강함을 보인다.

직진성능이나 선회성능보다 모의풍랑에 대한 복원성능은 실



표 3. 경사각 크기가 다른 배의 불규칙한 풍랑에 대한 복원성능

배종류 횡수	평저선			
	경사각 0°	경사각 20°	경사각 30°	경사각 40°
1	-	-	-	x
2	-	-	-	-
3	-	-	x	x
4	-	-	-	x
5	-	-	x	x
6	-	x	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	x	x
총합	0회	1회	3회	5회

(- : 변화 없음, x : 좌초)

험선 간에 큰 차이를 보인다. 평저선은 U자형의 배 밑 부분 때문에 무게중심이 안정되어 있다. 이로 인하여 복원력이 뛰어나 풍랑이 일어도 좌우로 흔들림의 크기가 작아 안정성을 계속 유지하는 반면에, 첨저선의 경우, 밑 부분이 V자 모양이기 때문에 불안정한 무게중심 구조를 갖는다. 따라서 흔들림이 심하고 복원력이 떨어져 풍랑에 좌초되기 쉽다. 경사각이 큰 첨저선일수록 더욱 심하다. 이러한 결과는 그림 17의 실험결과에서 보여준 평저선과 첨저선의 복원력 차이에 근본적인 원인이 있는 것으로 여겨진다.

임진왜란 당시 일본수군의 첨저선은 조선수군과는 달리 배의 측면에 화포를 장착하지 못했다. 첨저선의 복원성능이 떨어져서 발사 시 반작용 힘이 작용하는 화포 설치에 많은 제약이 있었기 때문이다(김재근, 1996).

## 결 론

남해 내해의 환경을 유사하게 꾸민 모의조건 하에서 배 밑 부분의 경사각 0도의 U자형 평저선과 경사각 20도, 30도, 40도의 V자형 첨저선 모형선에 대해 직진성능, 선회성능, 불규칙한 풍랑에 대한 복원성능 3가지 성능 면을 실험 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 경사각이 작은 배일수록 잔잔한 물 및 인공파도 물속 모두에서 직진성능이 떨어졌으며, 인공파도 속에서는 떨어지는 정도가 더 커졌다. 이는 U자형의 밑 부분 모양이 V자형에 비해 선수의 침수표면적에서 물과 닿는 길이가 길어 물의 마찰저항을 더 많이 받기 때문으로 생각된다. 물에 닿는 길이가 비슷한 첨저선 간에는 경사각이 클수록 직진시간이 짧았으며, 이는 경

사각이 클수록 물을 가르는데 능력이 더 뛰어나기 때문이라 여겨진다.

둘째, 선회성능 실험에서 경사각이 작은 배일수록 이동변위가 작은 것으로 측정되었고, 선회반경 또한 작은 것으로 관찰되었다. 이와 같은 결과는 경사각이 작은 배일수록 선회성능이 더 우수함을 의미한다. 제자리에서의 회전 실험결과 평저선이 첨저선에 비해 외부의 힘에 의해 더 회전하기 어려웠으며, 이는 평저선이 정지상태의 자세제어 유지가 더 용이하다고 여겨진다.

셋째, 하중에 따른 복원성능 실험에서 경사각 0도 > 경사각 20도 > 경사각 30도 > 경사각 40도의 순서로 복원력이 우수한 결과를 보였으며, 불규칙한 풍랑에 대한 복원성능은 경사각 0도의 평저선이 매우 강함을 보였다. U자형의 평저선이 훨씬 안정된 무게중심과 부력중심의 상호 위치를 가짐으로 인해 흔들린 이후에도 복원력이 뛰어난 것으로 여겨진다.

본 탐구를 통하여 선회성능과 풍랑에 대한 복원성능은 경사각 0도의 평저선이, 직진성능은 경사각이 큰 첨저선이 더 뛰어난 것으로 나타났다. 남해 앞 바다는 먼 바다에 비하여 해형이 복잡하고, 암초가 많으며, 수심이 상대적으로 얇은 특성을 지니고 있다. 이러한 바다에서는 불규칙한 풍랑이 자주 일어난다. 복원력이 상대적으로 뒤떨어진 첨저선은 제대로 균형을 잡기 힘들다. 평저선이 직진성능 면에서는 첨저선보다 열세라 할지라도, 남해 앞바다와 같은 변화가 심한 환경 하에서는 선회성능과 풍랑 저항성능이 우수한 평저선이 첨저선보다 더 유리하였을 것이다. 즉 바다 환경과 배의 특성을 간과하여 일본을 맞아 싸워 얻어낸 이 승리를 우리는 과학의 승리라고도 부를 수 있을 것이다.

## ABSTRACT

In this paper, the historic victory of Korea naval forces over Japan naval forces by making use of sea environments and characteristics of boats during Japanese invasion of Korea was investigated scientifically through simulation experiments on dynamics of U-shaped (Korea warship) and V-shaped (Japan warship) boats. The big difference in warships between Korea and Japan was the shape of boat's bottom. For the investigation of the scientific victory, dynamics of U-shaped and V-shaped boats were examined in terms of straight-advancing and circling performances, and restoring performance against irregular waves. The bottom slope of U-shaped boat was 0° and those of V-shaped boats were varied with 20°, 30° and 40°, respectively. The

straight-advancing performance of boats was improved as the bottom slope was increased. The circling performance of the boats was improved as the bottom slope was decreased. The restoring capability of boats against irregular waves was observed to increase substantially by reducing the bottom slope. From the above experiments, it was concluded that U-shaped boat was better in circling and restoring performances, while V-shaped boat was superior in the straight-advancing performance. The southern near- sea is rocky, shallow and irregularly windy, compared to the open sea. The U-shaped boat has an advantage over the V-shaped boat under such sea environments. It can be said that Korea naval forces had a better understanding of sea environments and boat's dynamics, thereby winning a scientific victory over Japan naval forces.

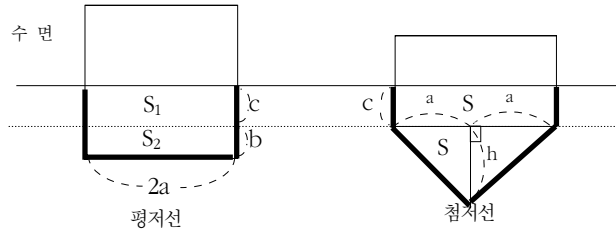
**Key words:** U-shaped boat, V-shaped boat, straight-advancing, circling performance, restoring performance against irregular waves

### 참고문헌

- 김경진(2005) 임진왜란. 자음과 모음.
- 김재근 (1992) 거북선. 정우사.
- 김재근 (1996) 우리의 배. 서울대학교 출판부.
- 김훈 (2003) 칼의 노래. 생각의 나무.
- 大韓造船學會(2000) 船舶艤裝. 東明社.
- 라이오넬 카슨 (2001) 고대의 배와 항해 이야기. 가람기획.
- 유병용 (2005) 과학으로 만드는 배. 지성사.

### 부 록

평저선과 침저선의 물에 닿는 길이 비교



평저선과 침저선의 무게가 같으므로 침수된 체적은 같다. 배의 길이가 같으므로 물에 잠긴 선수의 면적은 같다.

$$\therefore S_1 + S_2 = S_1' + S_2'$$

여기서  $S_2 = 2ab$ ,  $S_2' = ah$ ,  $S_1 = S_1'$ 이므로

$$\therefore 2ab = ah$$

$$\therefore h = 2b$$

물에 닿는 부분의 길이는

$$\text{평저선 경우, } l = 2a + 2b + 2c$$

$$\text{침저선 경우, } l' = 2\sqrt{a^2 + h^2} + 2c = 2\sqrt{a^2 + 4b^2} + 2c$$

$$L = l - 2c = 2a + 2b, \quad L' = l' - 2c = 2\sqrt{a^2 + 4b^2}$$

$$\therefore L^2 = 4a^2 + 8ab + 4b^2$$

$$\therefore L'^2 = 4a^2 + 16b^2$$

$$\therefore L'^2 - L^2 = 12b^2 - 8ab = 4b(3b - 2a)$$

표 1에서,

$$b < 4 \text{ cm}, \quad 2a = 16 \text{ cm} \text{ 이므로}$$

$$\therefore 3b - 2a < 0$$

$\therefore L'^2 < L^2$  즉, 평저선의 물에 닿는 길이가 침저선에 비해 길다.