

HOVERCRAFT의 저항특성 연구

양종훈*, 이인선*, 김상근*((주)한진중공업*)

1. 서 론

Hovercraft(수륙양용 공기부양선)는 수면 또는 지면과의 마찰을 줄이기 위하여 공기압을 이용하여 수면 또는 지면 위로 부양시켜 운항한다. Hovercraft를 부양시키기 위한 부양체계는 부양송풍기와 스커트로 구성된다. 부양송풍기로 흡입된 공기는 아래쪽 스커트 내부에 유입되어 스커트 내부에 공기압을 형성하여 선박을 지지하게 된다. 이때 스커트는 쿠션 공기를 가두고 수면 또는 지면에 직접 접하는 부분이므로 저항 성능에 중요한 영향을 미친다.

이와 같은 체계로 구성된 Hovercraft는 저항 측면에서도 배수량형 선박과 다른 특성을 갖는다. 배수량형 선박은 고속에서 조파저항이 지배적인데 반하여, Hovercraft는 Hump 구간을 지나고 나면 조파저항이 급격하게 줄어들면서 고속에서 완만한 저항곡선을 나타낸다.

본 연구에서는 Hovercraft의 저항 특성과 스커트 설계가 저항특성에 미치는 영향에 대해 알아보고, Hovercraft의 저항성능 시험에 대해 살펴보자 한다.

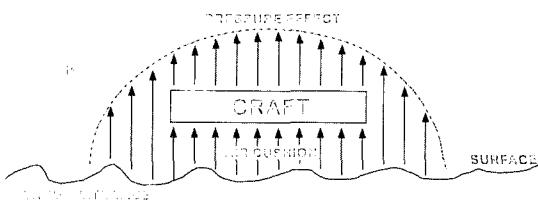


그림 1. Hovercraft의 개념

2. Hovercraft 일반사항

Hovercraft는 SES와 더불어 공기압으로 선체 중량을 지지하는 대표적인 공기부양선(ACV, Air Cushion Vehicle)이며 그림 1과 같이 Air Cushion에 의해 선체가 지지된다.

우선 Hovercraft의 저항을 나타내는 주요 특성치는 수선과 접하는 형상인 스커트의 주요 특성치로 쿠션 길이, 쿠션 폭, 쿠션 높이, 쿠션면적이다. 단, 쿠션 형상이 그림 2와 같이 직사각형이 아니기 때문에 Hovercraft의 특성을 대표하는 길이는 쿠션의 최전후 끝단 사이의 길이가 아닌, 식(1)과 같이 쿠션 면적을 쿠션 폭으로 나눈 값이며 이를 유효 쿠션 길이라고 정의한다.

$$L_E = \frac{A_c}{B_c} \quad (1)$$

L_E : 유효 쿠션 길이

B_c : 쿠션 폭

A_c : 쿠션 면적

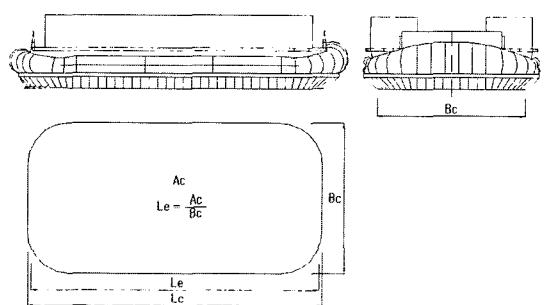


그림 2. Hovercraft의 주요 제원

표 1. 소요마력 비교

배수량형 선박
소요마력 = 추진마력
Hovercraft
소요마력 = 추진마력 + 부양마력

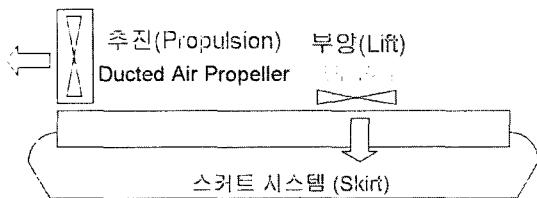


그림 3. Hovercraft의 소요 마력 구성

Hovercraft의 소요마력은 표 1 및 그림 3과 같이 부양마력(Lift Power)과 추진마력(Propulsion Power)의 합으로 구성된다.

부양마력은 함중량에 따른 부양공기 유량의 함수로 나타나고, 추진마력은 함속에 따른 저항과 프로펠러 성능 곡선으로부터 계산할 수 있다.

Hovercraft와 배수량형 선박의 저항성분을 비교하면 표 2와 같다.

Hovercraft의 저항 특성은 그림 4와 같이 배수량형 선박과 다르기 때문에 Hovercraft의 추진마력 또한 배수량형 선박과는 달라지게 된다. 따라서 Hovercraft의 저항 성분에 대하여 알아보자 한다.

3. Hovercraft 저항 특성

Hovercraft의 전체저항은 다음의 5가지 성분의 합

표 2. 저항성분 비교

Hovercraft의 저항 성분	배수량형 선박의 저항 성분
공기 저항	공기 저항
모멘텀 저항	마찰 저항
조파 저항	잉여 저항
스커트 저항	부가물 저항
파링증 스커트 부가저항	

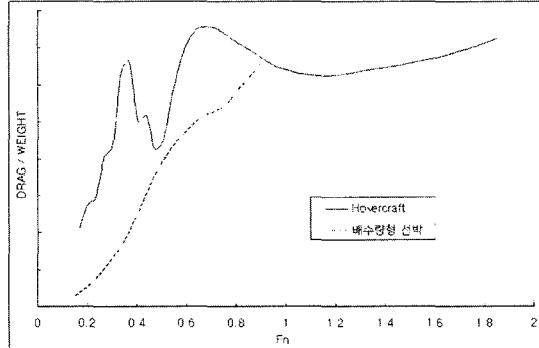


그림 4. Hovercraft와 배수량형 선박의 저항 곡선

으로 정의된다.

(1) 공기 저항 (D_A)

공기저항은 공기 중을 항주하는 공기부양선의 형상에 의해 발생하는 저항성분이다. 공기저항은 풍압 면적 및 풍속에 대한 선박의 상대속도의 함수로 정의된다.

$$D_A = C_{D_A} \frac{\rho_{Air}}{2} (V_s + V_w)^2 A_F \quad (2)$$

C_{D_A} : 공기저항 계수

A_F : 정면 투영면적

V_s : 함속

V_w : 풍속

(2) 조파 저항 (D_w)

조파저항은 부양상태로 수면 위를 항주할 때, 부양 압력(Cushion Pressure)에 의해 발생되는 파도에 의한 에너지 손실을 말한다.

조파저항은 Froude Number에 따라 저항의 과정과 파저가 나타나며, primary hump가 지나면 조파저항이 감소하는 경향을 보인다. 조파저항은 edge effect parameter인 α 와 β 및 쿠션의 종횡비 L_E/B_C 에 따라 다른 경향을 보이는 특성을 갖는다.

$$D_w = C_w \frac{4}{\rho_{sw} g} \cdot \frac{P_c}{L_E} W \quad (3)$$

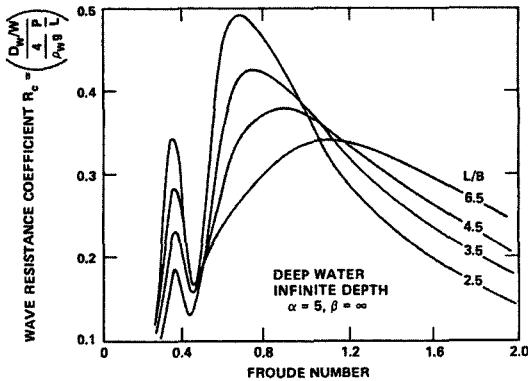


그림 5. 조파저항 계수 곡선

Edge Effect를 고려한 조파저항 계수 곡선은 Doctors와 Sharma의 그림 5와 같다.

(3) 모멘텀 저항 (D_M)

모멘텀 저항은 부양송풍기로부터 연속적으로 부양실(Cushion Chamber)에 공급되는 공기흐름에 의한 저항성분이다.

모멘텀 저항은 부양공기 유량(Cushion Flow)의 함수로 정의된다.

$$D_M = \rho_{Air} Q_F (V_s + V_w) \quad (4)$$

V_s : 함속 (Ship Speed)

V_w : 풍속 (Wind Speed)

Q_F : 부양송풍기 유량 (Fan Flow)

(4) 정수중 스커트 저항 (D_S)

정수중 스커트 저항은 스커트 마찰저항과 스커트 조파저항의 합으로서 스커트가 수면과 접촉하면서 발생하는 저항성분이다.

(5) 파랑중 스커트 부가저항 (D_{S_R})

파랑중 스커트 저항은 정수중이 아닌 파랑 조건에 의해 부가되는 저항성분으로 해상상태를 고려한 저항성분이다.

(6) 전체 저항 (D_T)

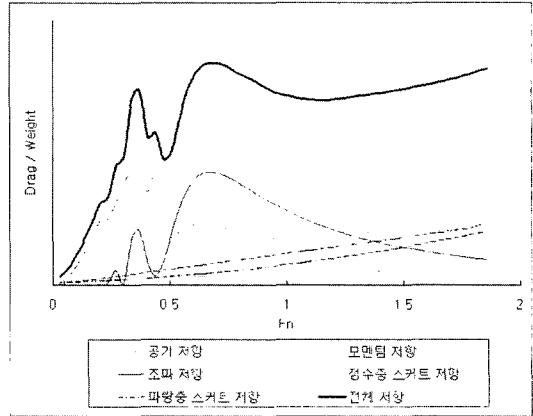


그림 6. 성분별 저항 곡선

전체 저항은 위의 각 저항성분의 합으로써 식(5)과 같다.

$$D_T = D_A + D_W + D_M + D_S + D_{S_R} \quad (5)$$

Hovercraft의 전체 저항을 성분별로 분석해 보면 그림 6과 같다.

Hump 속력은 조파저항이 최대가 되는 곳에서 나타나는데, Froude Number 0.4 부근에서 secondary hump가, 0.7 부근에서 primary hump가 나타난다. 조파저항은 edge effect parameter인 α 와 β 및 쿠션의 종횡비 L_c/B_c 에 따라 다르게 나타난다.

일반적으로 공기부양선은 primary hump 속력의 2~3배 되는 곳에서 순항하도록 설계된다.

성분별로 살펴보면 조파저항은 Hump 구간에서 두드러지고 이후에는 급격히 감소한다. 스커트 저항은 secondary hump에서 최대가 되며 속력이 증가하면서 완만해진다. 공기저항은 함속의 제곱에 비례하고, 모멘텀 저항 및 파랑중 스커트 부가저항은 함속에 비례하여 증가한다.

4. 스커트 설계와 저항 특성

Hovercraft의 저항특성은 스커트 설계에 따라 크게 달라진다. 따라서 스커트 체계를 선정할 때 중요한 고려 수단 중의 하나가 저항 특성에 대한 검토



표 3. 스커트 체계

구 분	스커트 체계
Type 1	Bag & Finger Skirt - No Compartmentation
Type 2	Bag & Finger Skirt - Aft Compartmentation
Type 3	Pericell Skirt
Type 4	Deep Skirt

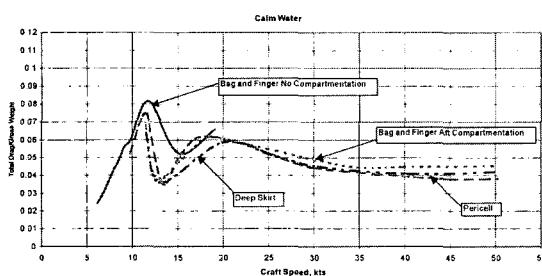


그림 7. 속력 대 저항 곡선 (정수증)

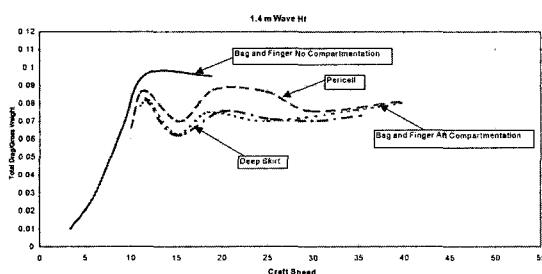


그림 8. 속력 대 저항 곡선 (파랑증)

이다. ‘고속상륙용 공기부양선의 Skirt Type에 관한 연구’에서 표 3과 같은 네 가지 종류의 스커트 체계에 대하여 검토하였는데, 각 스커트 체계에 대한 정수증 및 파랑증 저항을 검토한 결과 그림 7 및 그림 8과 같이 저항성능의 상당한 차이를 확인하였다.

이와 같이 스커트 설계에 따라 저항 성능이 달라지는 이유는 스커트 형상이 스커트 저항에 큰 영향을 미치기 때문이다. 이전의 Hovercraft의 저항 특

성 연구는 현재 개발되고 있는 스커트 형상의 저항 특성을 제대로 반영하지 못한다. 따라서 Hovercraft의 저항 특성 연구는 스커트 형상 개발과 각 스커트 설계에 대한 구준한 모형시험 데이터 축적이 필수적이다. 따라서 Hovercraft의 모형시험 중 저항성능 시험에 대해 살펴보자 한다.

5. Hovercraft의 저항성능 시험

(1) 저항성능 시험 일반

Hovercraft의 저항성능 시험은 기하학적 상사와 유체동역학적 상사를 이용하여 실선과 상사체인 모형을 제작하고, 수조에서 실제 운용조건과 유사한 환경을 인위적으로 형성하여 실험을 통해 모형선의 성능을 계측한다는 점에서 수상선과 동일하다. 그러나 Hovercraft는 일반 고속선보다 초고속으로, 그리고 수면 위에 부양하여 운항하기 때문에 일반 고속선과도 다른 운용조건을 갖는다. 따라서 이러한 특수한 운용 환경을 고려하여 수행하게 된다.

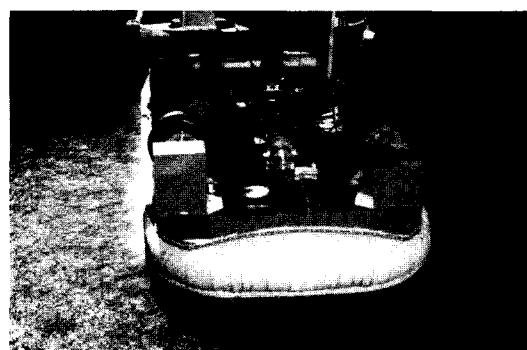


그림 9. Hovercraft 모형시험

(2) 모형시험 조건

Hovercraft는 배수량형 선박과 비교해 종횡비가 크고 고속에서 운항하므로 Hovercraft의 모형시험은 고속 수조에서 수행해야 한다.

예인수조에서 계측된 저항값은 수조 바닥 및 벽의 존재에 따른 상당한 영향을 받게 된다. Blockage Effect를 무시할 수 있으려면 식(6) 및 식(7)을 만족

해야 한다.

$$D_T/L_E > 1.0 \quad (6)$$

D_T : 수조 깊이

L_E : 유효 쿠션길이

$$W_T/L_E > 1.5 \quad (7)$$

W_T : 수조 폭

실선은 해수에서 운항하지만 수조의 물은 청수의 밀도에 가깝기 때문에 모형선의 실선 중량에 상당하는 중량은 식(8)과 같이 수조의 물과 해수의 밀도비만큼 감소한다.

$$W_{test} = W_{design} \times \frac{\rho fw}{\rho sw} \quad (8)$$

밀도 보정에 따른 중량 감소를 감안하여 모형선의 부양송풍기 회전속도는 식(9)와 같이 보정된다.

$$N_{test} = N_{design} \times \sqrt{\frac{W_{test}}{W_{design}}} \quad (9)$$

(3) 저항성능 시험을 통한 저항 추정 방법

모형선은 실선에서의 공기역학적인 외부형상을 적절히 반영하지 못하기 때문에 Air Tare Test를 먼저 수행한다. Air Tare Test는 모형선을 Carrage에 고정시킨 상태에서 예인하여 수조 시험에서 계측되는 저항값 중 공기역학적 저항값(Air Tare)만을 따로 계측하는 시험이다. Air Tare Test에서는 저항성능

시험 때와 같은 형상 조건을 갖추기 위해서 부양송풍기를 구동시켜 스커트를 부풀리고, 스커트 바닥에 판을 부착하여 부양공기에 의한 영향을 없앤다. 모형선을 Carrage에 고정시킨 상태에서 각 속도별로 예인하고 Air Tare를 계측하여 그림 9와 같이 2차 곡선식을 산출한다.

저항성능 시험에서 모형선의 전체저항은 식(10)과 같이 계측 저항에서 Air Tare를 빼고, 함속 및 풍속을 고려하여 계산한 공기저항 및 모멘텀 저항 추정값을 더하여 구한다.

$$D_{TM} = (D_{test} - Air Tare) + D_{AM} + D_{MM} \quad (10)$$

D_{test} : 모형선 계측 저항

D_{TM} : 모형선 전체 저항

D_{AM} : 모형선 공기 저항

D_{MM} : 모형선 모멘텀 저항

실선의 전체저항은 식(11)과 같이 실선- 모형선 축척비를 고려하여 계산한다.

$$D_{Ts} = D_{TM} \times \lambda^3 \quad (11)$$

D_{Ts} : 실선 전체 저항

λ : 실선-모형선 축척비

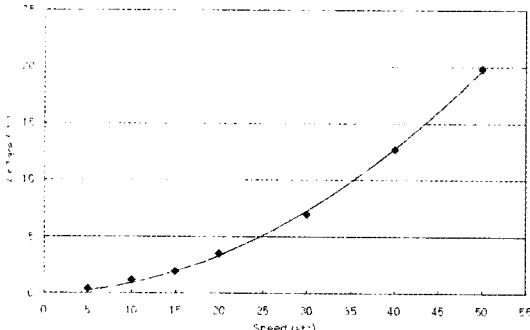
(4) 최적 LCG 도출 시험

Hovercraft의 저항은 LCG 위치에 따라 변화한다. Hovercraft는 일반적으로 LCG가 선수쪽으로 치우치면 Hump 구간에서의 저항값은 감소하지만 고속에서 Plow-in(챙기가 땅속으로 쳐박히듯, 공기부양 선이 물속으로 쳐박히는 현상)의 위험이 증가하고, LCG가 선미쪽으로 치우치면 Hump 구간에서의 저항값은 증가하는 대신 고속에서 Plow-in의 위험도가 낮아진다. 따라서 Hovercraft의 모형시험에서는 저항성능이 우수하고 Plow-in 위험이 낮은 최적 LCG를 찾기 위하여 여러 가지 LCG 위치에서 저항값을 계측하고 이로부터 최적 LCG 위치를 도출한다.

6. 결 론

Hovercraft의 저항 특성은 배수량형 선박과 비교

그림 10. 속력 대 Air Tare 곡선





해 전혀 다른 특성을 갖는다. 본 연구에서는 Hovercraft의 저항 성분 분석 및 배수량형 선박과의 비교를 통해 Hovercraft의 저항 특성을 살펴보았고, 스커트 설계가 저항 성능에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 또한 Hovercraft의 저항성능 시험에 대한 일반적인 사항과 모형시험 후 저항 추정 과정을 정리하였다. Hovercraft의 저항특성 연구는 스커트 선형 개발과 꾸준한 모형시험 데이터 축적이 필요한 분야이며, 모형시험을 통한 성능 확인 및 이를 통한 설계 재반영이 매우 중요하다. ⚓

참고문헌

- Mantle, P.J., 1975, "Air Cushion Craft Development", NSRDC.
- Doctors, L.J., Sharma, S.D., 1972, "The Wave Resistance of an Air-Cushion Vehicle in Steady and Accelerated Motion", Journal of Ship Research, Vol.16, No.4, pp248-260
- 이청근, 양종훈, 김상근, 2003, "고속 상륙용 공기부양선의 Skirt Type에 관한 연구", 대한조선학회 2003년도 추계학술대회논문집, pp. 155-159
- Forstell, B.G., Harry, C.W., 1985, "The Use of Model-Test Data for Predicting Full-Scale ACV Resistance".

양종훈 | (주)한진중공업



- 1979년생
- 2001년 서울대 조선해양공학과 졸업
- 현 재 : (주)한진중공업 기술연구소 주임연구원
- 관심분야 : 특수선 연구/개발
- 연락처 : 051-410-3354
- E-mail : jhyang@hanjinsc.com

이인선 | (주)한진중공업



- 1958년생
- 1981년 인하대 조선공학과 졸업
- 현 재 : (주)한진중공업 기술연구소 책임연구원
- 관심분야 : 공기부양선, Ro-Pax 설계
- 연락처 : 051-410-3353
- E-mail : islee@hanjinsc.com

김상근 | (주)한진중공업



- 1954년생
- 1978년 서울대 조선공학과 졸업
- 현 재 : (주)한진중공업 기술연구소장
- 관심분야 : 특수선, 초고속선 연구개발
- 연락처 : 051-410-3350
- E-mail : sgkim@hanjinsc.com