

선저 스텝개수에 따른 고속 활주형선의 저항특성 비교

박 충 환*

† 중소조선연구원

Comparisons of Resistance Characteristics of the High-speed Planing Craft with Respect to the Number of Bottom Steps

Chung-Hwan Park†

† Korea Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Pusan 618-270, Korea

요 약 : 활주형선은 고속 운항시 선저에 동적압력을 발생시켜 선체를 부상시킴으로서 저항이 감소하게 되어 고속의 항주가 가능하게 된다. 일반적으로 선저에 스텝을 적용한 선형은 일체형 활주형선에 비하여 고속 주행시 선저 공기공급에 따른 접수면 감소로 인하여 전체저항 감소에 따른 속도향상과 연비절감 효과가 있다. 본 논문에서는 고속 선형시험이 가능한 실 해역모형시험을 이용하여 선저 스텝개수에 따른 고속 Stepped Hull 선형의 저항성능을 비교, 분석하였다. 시험결과, 2개의 스텝을 가지는 선형이 최소저항 선형임을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 스텝 선형, 활주형선, 선형개발, 실해역 모형시험, 최소저항

Abstract : The planing craft is designed specifically to achieve comparatively high speed on the surface of the water. In general, the stepped hull craft has effect improvement in speed and fuel-efficiency because of the reduction of total resistance by a small wetted surface area without corresponding stepped hull craft. In this paper, the high speed stepped hull crafts with respect to the number of bottom steps were performed to compare the effect of resistance performance using at-sea model-test method. In conclusion, the stepped hull craft with twin-step was proved to be effective to reduce the total resistance.

Key words : Stepped hull, Planing craft, Hull-form development, At-sea model test, Minimum resistance

1. 서 론

최근 우리나라는 주5일제 근무제의 확산과 국민소득의 증가로 해양레저에 관한 관심이 고조되고 있다. 이에 연안지방자치단체에서는 요트와 레저보트 계류장 건설을 비롯하여 각종 경기대회 개최 등을 통해 관련 시설구축과 산업육성에 박차를 가하고 있다. 활주형선은 고속보트의 약 80%이상을 차지하는 선형으로서 연안경비정, 낚시선, 구난정 등 주로 고속정 선형에 많이 적용되고 있으며, 일정속도 이상으로 항주하면 중앙부 앞쪽 부위가 물위로 부상하고 중앙부 후방 일부만 물과 접촉하게 된다. 이 결과로 침수표면적이 작아져 고속성능 확보가 가능한 것이다(Niwa, 1997). 특히, 선저에 스텝(Step)을 적용한 활주형선은 고속 운항시 선저 스텝으로 공기가 유입되어 선저접수면 감소로 인한 전체저항이 더욱 감소되어 속도증가와 연비절감 효과가 있다고 알려져 있다(박과 장, 2007; Hori, 1990; 장, 2002). 하지만 스텝개수에 따른 최대 저항감소 최적 선형개발에 관한 연구는 여전히 부족한 실정이다.

그리고 활주형선은 소형의 고속정으로서 모형시험자료를 찾기가 쉽지 않다. 왜냐하면 소형선은 선박 건조비에 비해 모형시험비가 상대적으로 고가이고, 고속 성능을 재현할 수 있

는 선형시험설비는 러시아 등 일부 국가만 보유하고 있기 때문이다. 이에 각국에서는 회류수조 유속과 예인수조시험에서 예인전차의 속도제한이나 측벽효과 등의 각종 오차요인을 해소하기 위하여 독자적이고 실용적인 시험기법 정립에 많은 노력을 기울이고 있다(Tanaka, et al., 1991).

본 연구는 선저 스텝개수에 따른 최소저항 고속 활주형선의 선형개발을 위하여 선저에 스텝이 없는(Non-step)선형, 1개 스텝(Single-step)선형과 2개의 스텝(Twin-step)을 가지는 7 m급 동일 선형을 대상으로 실 해역 모형시험을 이용하여 저항성능을 비교, 평가한다.

2. 시험대상 활주형선 선형개발

2.1 선저 스텝적용 활주형선 특성

활주형선은 동적압력에 의한 수직성분을 더 높이기 위해 통상 가로 단면형상에 차인(Chine)을 두거나 선저에 일정간격으로 스프레이 스트립(Spray strip)을 부착한다. 또한, 저항감을 목적으로 선체와 물이 접하는 면적을 더욱 더 줄이기 위해 Fig. 1과 같은 일체형 선저선형에 Fig. 2와 같이 가로방향

* 교신저자 : 박충환(정회원), chpark@rims.re.kr 016)549-9781

으로 1~2개의 스텝(Step)을 주기도 한다.

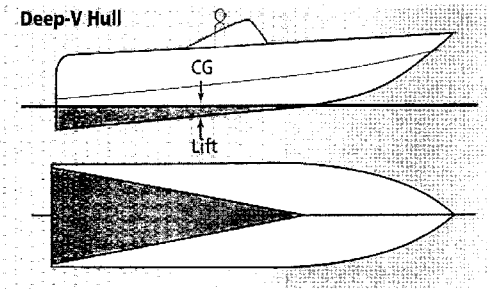


Fig. 1 Wetted area of non-step hull

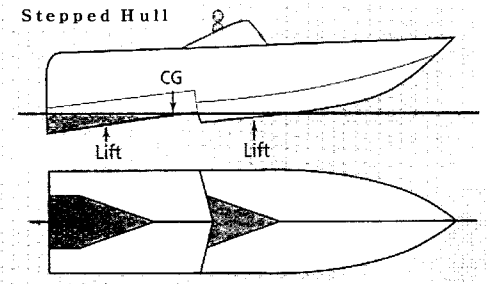


Fig. 2 Wetted area of one-step hull

2.2 주요제원

시험대상 선박은 선주요구사항인 전장 7.25 m급, 설계선속 35knot, 최대 승조원 10명, 레이저용, FRP제 선체임을 전제로 유사 실적선 조사 분석, 경험식 및 조선공학적 제검토를 통해 산출되었으며, 시험대상선박의 주요제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Principal particulars of Mother ship

Length(L)	7.25m	Main Engine	240hp (Stern driver)
Beam (B)	2.60m	Design speed	Abt. 35knot
Draft (d)	0.53m	Passenger	10 person

2.3 선형설계

시험 대상선박은 종방향 안정성을 향상시키고 파 충격을 줄이고 Savitsky(1981)가 제안한 선속 대응 선형분류 도표를 바탕으로 깊은 V형상의 멀티 차인(Multi chine)의 활주형 선형을 단면형상을 채택하였다. 선저는 저항을 감소시키면서도 승선감 향상에 기여할 수 있도록 직선형(Straight body)단면으로 하였으며(정 등, 2004), 선추파형 개선을 통한 양력향상과 운동성능 개선을 위해 좌·우현에 삼각형 형상의 각각 3개의 스프레이 스트립(Spray strip)을 부착하였다.

또한, 극심한 해상상태에서도 내항성능 향상을 위해 시어라인은 중앙부를 기점으로 선수부에 이르기까지 점차로 높아지도록 하고, 선수부의 횡단면적이 가파르게 감소되도록 하며, 선미부의 중앙부의 단면형상이 거의 그대로 유지되도록 하였다. 이는 선수형상을 날씬하고 뾰족하게 함으로써 선수부력을

줄여서 파도 속을 돌진해 나갈 때에도 파를 쉽게 통과할 수 있도록 하며, 돌고래 현상(Porpoising)과 같은 불안정한 선체 운동을 줄여서 승선감을 좋게 할 수 있다(반 과 김, 2002). 그리고 선미부의 통통한 형상은 정선 시 부력만으로도 만재중량을 충분히 떠받칠 수 있도록 한다. 그리고 이러한 선수미 형상은 초기 선미트림을 주어항주 시 선박이 빠른 시간 내에 활주 상태에 이르도록 하는 효과가 있다.

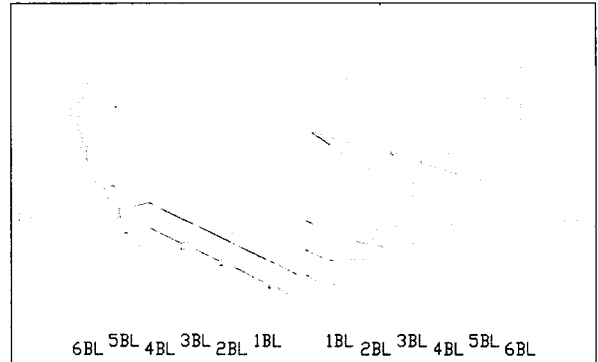


Fig. 3 Body plan of stepped hull

Fig. 3에 시험대상선의 정면선도(Lines)를 보였으며, 선저 스텝개수에 따른 최소저항 고속 활주형선 선형개발을 위해 동일 선형의 스텝이 없는 선형과 1개 스텝선형 및 2개 스텝 적용 선형의 선형선도를 Fig. 4~6에 나타내었다.

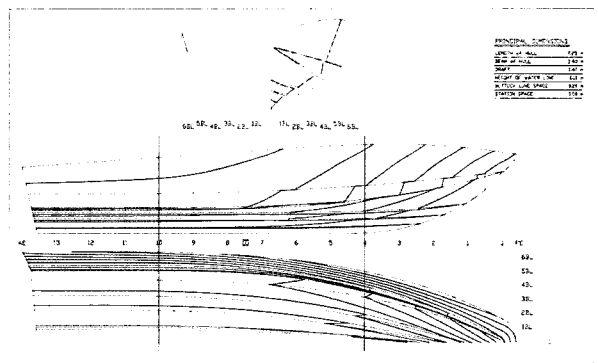


Fig. 4 Lines of non-step hull

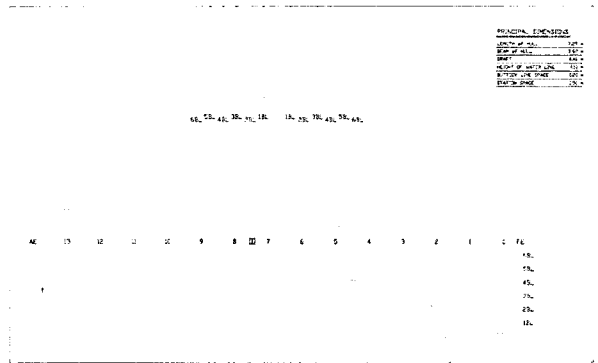


Fig. 5 Lines of single-step hull

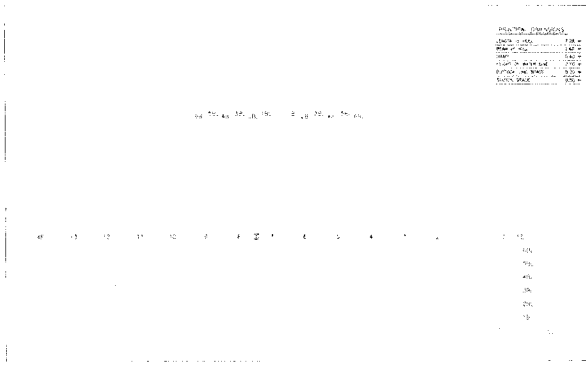


Fig. 6 Lines of twin-step hull

3. 시험설비와 모형

3.1 시험배경

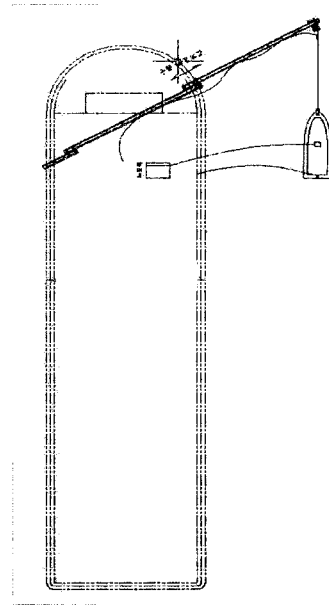
선박의 모형시험은 선박에 건조에 많은 비용이 소요되기 때문에 선박 건조 전에 선형시험을 통하여 주요성능을 사전에 검증하는 것이다. 하지만, 소형선박은 선박건조비 대비 모형시험비가 상대적으로 고가이기 때문에 십 수척 이상의 대량생산이 아니면 선주가 주로 기피한다. 이에 따라 관련 자료를 찾기도 힘들고 설계도 주로 경험에 의존한다. 그리고 고속선박의 모형시험은 고속성능을 재현함에 있어서 극히 일부 국가의 대형수조를 제외하고는 대부분 수조가 가속구간, 계측시간 등에 한계가 있고, 측벽효과나 축적비로 인해 실선 성능추정에도 오차가 많아진다. 이 결과로 선형의 작은 변화에도 민감한 소형 고속정은 저항특성, 운동성능 등의 각종 성능을 계획속도 전 구간에 걸쳐 모형시험을 통해 정량적으로 파악하기란 아주 힘들다(박, 2008).

이에 본 연구는 스텝 적용 소형 고속 활주형선에 대해 실험역에서의 모형선 예인시험을 통해 계획속도 전 구간에 걸친 스텝개수에 따른 저항특성의 변화를 정성적으로나마 파악하고자 시도한 것이다. 그리고 이를 토대로 활주형선에 적용된 선저 스텝개수가 선속과 저항특성 등에 미치는 영향을 살펴보았다.

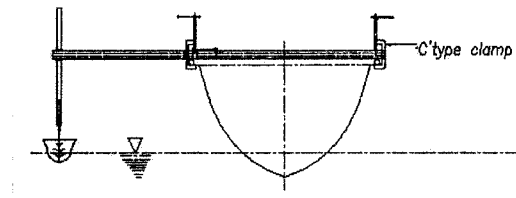
3.2 시험설비의 개요

본 시험은 고속 활주형 모터보트에 대해 계획속도 전 구간에 걸쳐 모형시험을 하기 위해 날씨가 좋고 파도가 작은 날을 택해 실험역에서 수행하였다. 그러므로 모형선을 예인하기 위한 예인선박이 필수적이며, 예인선박에서 발생하는 파도가 모형선의 거동에 영향을 미치지 않도록 하는 설비가 요구된다.

예인선박과 모형선의 연결설비는 Fig. 7과 같이 선수부 측면 앞쪽으로 길게 뻗어낼 수 있는 수평 가이드 레일과 그 단부에 모형선 홀수에 높이를 조정할 수 있는 수직방향의 치구로 구성하였다. 한편, 시험데이터는 예인선에 취부된 가이드(Guide)와 연결된 저항센서(Resistance load cell)부터 별도의 와이어를 통해 갑판상의 자료 취득장치에 저장된다.



(a) Plane view



(b) Front view

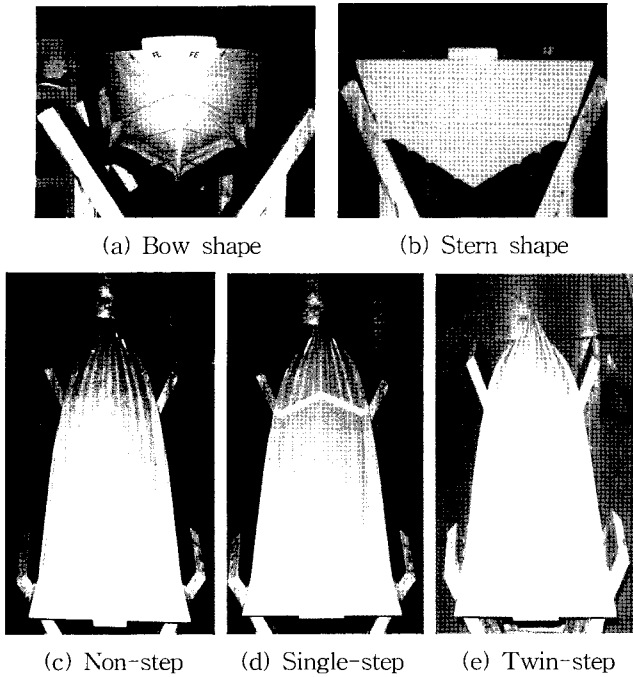
Fig. 7 Outline scheme of model-test facilities

3.3 시험모형

실 해역 모형시험에 사용된 시험대상 선형은 선저 스텝개수의 차이가 있는 동일한 치수, 형상의 스텝이 없는(Non-step) 선형, 1개 스텝(Single-step)선형, 2개의 스텝(Twin-step)선형의 모형선 3척을 제작하여 사용하였다. 실선 대응 모형선의 축척비(Scale Ratio)는 선도(Lines)를 바탕으로 실선과 모형선의 전장길이(Loa)를 고려하여 1/8.82 비율로 하여 모형선의 치수는 전장(Loa)이 1.0 m가 되도록 제작하였으며, 모형선 재질은 시험조건인 모형선 배수량, 홀수 등의 변화를 고려하여 FRP와 목재로서 가볍게 제작하였다. 실선과 모형선의 주요제원은 Table 2와 같으며, Fig. 8은 제작, 완성된 모형선의 선수미 형상과 선저부를 보인 것이다.

Table 2 Principal particulars of ship and model

Items	Non-step hull		Single-step hull		Twin-step hull	
	Ship	Model	Ship	Model	Ship	Model
Loa(m)	7.250	1.000	7.250	1.000	7.250	1.000
Lwl(m)	6.202	0.855	6.346	0.875	6.334	0.874
B(m)	2.600	0.359	2.600	0.359	2.600	0.359
d(m)	0.402	0.0554	0.442	0.0609	0.433	0.0597
S(m ²)	12.06	0.229	12.00	0.228	12.12	0.231
∇(m ³)	1.75	0.0046	1.75	0.0046	1.75	0.0046



(a) Bow shape (b) Stern shape

(c) Non-step (d) Single-step (e) Twin-step

Fig. 8 Model shape of the stepped hull

4. 실험역 모형시험

4.1 시험방법 및 해석

실험역 모형시험은 속도별로 충분히 저항특성을 측정할 수 있는 거리를 가진 해역에서 파고 0.2~0.3m의 잔잔한 날을 택해 실시하였다. 시험은 프루드 수($F_{V\Delta}$) 3.0~7.0의 범위에서 20~48knot사이의 5단계 속도별로 수행하였고, 시험선속별로 정확하게 그 반대방향으로 주행하는 왕복 2회에 걸쳐 측정하였다.

시험대상 모형선의 저항시험은 예인선에 취부된 가이드(Guide)와 모형선의 선수 맨 앞쪽을 예인줄로 연결하여 예인줄 사이에 저항센서(Resistance load cell)를 부착시켰고, 모형선의 선수회전(Yaw)과 좌우(Sway)가 자유로운 상태에서 예인선 선수부에 취부된 가이드(Guide)로 모형선을 연결하고, 예인선의 선속에 따른 모형선의 저항치를 측정하였다.

한편, 시험결과치의 정도향상을 위해 수평 가이드 레일의 길이를 조정하여 예인선이 일으키는 파도가 모형선에 영향을 미치지 않도록 하였으며, 수직 치구도 높이를 조정하여 시험 과정에 예인줄이 수평을 유지하도록 하였다. 그리고 실 해상에서 모형선 수선상부의 공기저항 영향을 최소화하기 위해 비닐 랩으로 모형선의 상부를 완전히 덮었다. 모형선 초기트림과 시험흡수는 무게 추(Weight)로 조정하고, 소정의 위치에 테이프를 고정시켜 움직이지 않도록 하여 7m급 고속 Stepped hull선형의 선저 스텝개수에 따른 모형선 3척의 저항시험을 수행하였다.

실 해역 모형시험은 Froude 상사법칙에 따른 선속으로 수행되었으며, 해석방법은 1978 ITTC 해석법을 따르되 2차원법을 적용하였다. 저항시험 결과 해석방법을 요약하면 다음과 같다.

- Froude 해석법 ($C_{TS} = C_{FS} + C_R + C_A + C_{AA}$)
- 모형선-실선상관수정계수 ; C_A (1978 ITTC 해석법)
- 실선 공기저항계수 ; C_{AA}
- 실선상태 : $15^\circ C$ 해수 기준상태
파랑에 의한 부가저항은 고려치 않음
- 해상조건 : 평균기온($13.6^\circ C$), 해수온도($14.9^\circ C$), 풍속($0.38m/s$), 조류($0.098m/s$)

4.2 모형시험 결과 고찰

동일배수량에서의 스텝이 없는(Non-step)선형과 1개 스텝(Single-step)선형 및 2개 스텝(Twin-step)적용 고속 활주형선의 저항시험 결과, 전 저항계수(C_{TS})곡선은 전체 속도범위($F_{V\Delta}$: 3.0~7.0)에서 유사한 곡선의 기울기 경향을 보여주고 있으며, 프루드 수($F_{V\Delta}$) 약 4.0이 되는 선속 약 28knot를 기점으로 선속이 증가할수록 전체저항이 감소되는 현상을 보이고 있다. 또한, Non-step 선형은 프루드 수($F_{V\Delta}$) 약 4.0에서 Single-step과 Twin-step 적용 선형에 비해 상당한 저항증가(hump)를 나타내고 있으며, 전체 속도구간에서도 Single-step과 Twin-step 적용 선형에 비해서 현저한 저항증가 현상을 보이고 있다. 한편, Twin-step선형은 Single-step선형에 비해 전체 속도범위($F_{V\Delta}$ 3.0~7.0)에서 선속이 증가할수록 현저하지는 않지만 전체저항이 감소하는 것으로 확인되었다. Fig. 9는 스텝개수에 따른 시험선속(V) 대응 전 저항계수 비교곡선이다.

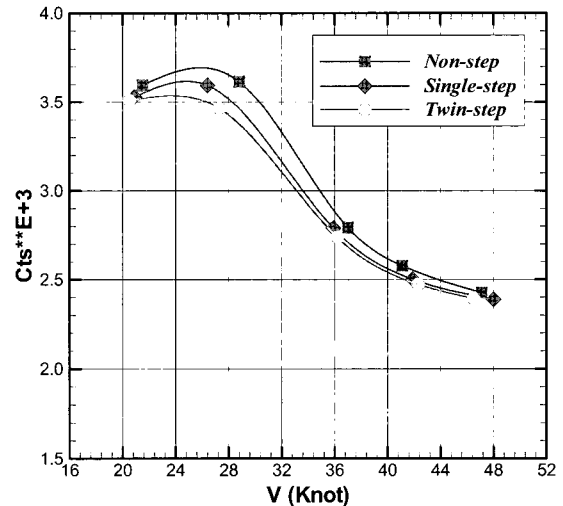


Fig. 9 Comparison of C_{TS} for the stepped hull (V)

또한, 고속 활주형선의 선저 스텝개수에 따른 유효마력(EHP)곡선도 선속 20knot(약 $F_{V\Delta}=3.0$)기점으로 선속이 증가할수록 Twin-step선형이 Non-step선형과 Single-step에 비해서 소요마력 감소율을 보이다가, 설계선속 35knot(약 $F_{V\Delta}=5.3$)에서는 Twin-step선형이 Non-step선형에 비해서는 약 7.4% 정도의 소요마력 감소율을, Single-Step선형에

비해서는 약 3.7% 정도의 소요마력 감소율을 보였다. Fig. 10 은 시험선속(V)에 대응하는 선저 스텝개수에 따른 유효마력 비교곡선이다.

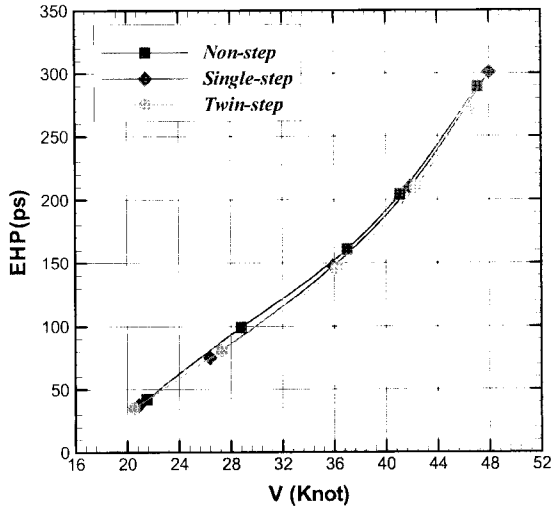
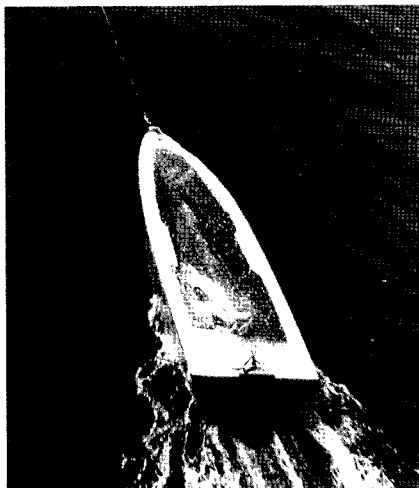


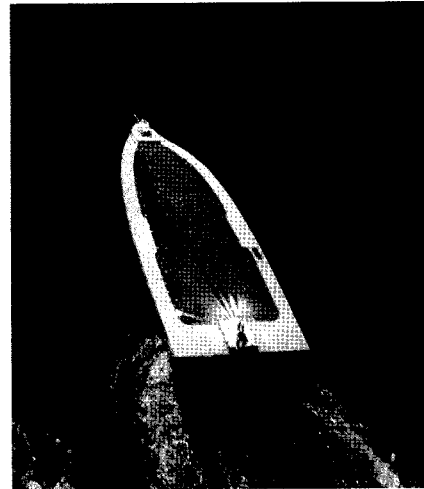
Fig. 10 Comparison of EHP for the stepped hull (V)

이는, 소형 고속 활주형선의 선저에 스텝을 적용하게 되면 고속 활주(Planing) 주행상태에서 공기유입에 따른 선저부분의 공동현상으로 접수면(침수표면적)을 감소시켜 저항감소 효과에 따른 속도 증가와 연비절감 효과 발생시키게 된다. 시험대상선도 실선선속 20knot 이상의 고속에서는 스텝 적용 선형이 Non-step선형에 비해서 선저바닥의 양력발생에 따른 고속 항주주행상태에서 최적의 선수 유효양각(Angle of attack) 및 주행 트림 각(Trim angle)을 유지시켜 선수부에서의 스프레이 저항과 조파저항이 감소되었고, Twin step선형이 Single-step 선형에 비해 선저 공기유입에 따른 선저부분의 공동현상으로 접수면 감소에 따라 마찰 저항감소 효과도 조금 더 발생된 것으로 사료된다. Fig. 11~13은 소형 고속 활주형선의 선저 스텝개수에 따른 실 해역 모형시험모습을 각각 보였다.



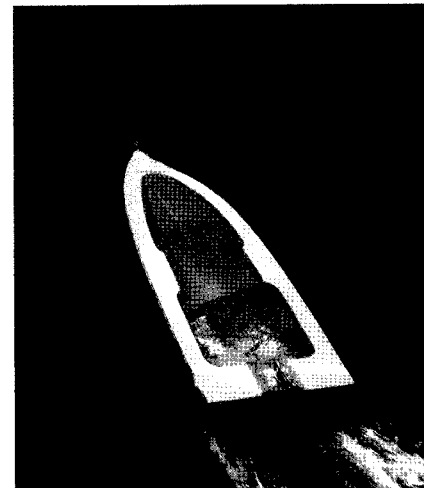
($F_N \nabla : 7.050$)

Fig. 11 Experimental feature of non step hull



($F_N \nabla : 7.184$)

Fig. 12 Experimental feature of single-step hull



($F_N \nabla : 6.954$)

Fig. 13 Experimental feature of twin-step hull

5. 결 론

본 논문은 7m급 선저 스텝 적용 고속 활주형선을 대상으로 실 해역 모형시험을 통해 고속영역에 걸쳐 선저 스텝개수에 따른 최소저항 선형을 개발한 것이다. 이는 시시각각 변하는 해상조건이 모형시험에 다양하게 영향을 미치긴 하지만, 정성적 성능특성과 경향을 고찰하는 것을 가능한 것으로 판단하였기 때문이다. 실 해역 모형시험 관련 시험설비를 제작, 구축하고 고속 활주형선의 선저 스텝개수별 3개의 모형선을 제작하여 저항특성을 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 소형 고속 활주형선의 선형시험은 국내의 회류수조 유속 및 예인전차의 속도제한과 수조 천수영향, 측벽효과 등의 여러 가지 문제가 작용하고 있다. 하지만, 본 연구에서 실 해역 모형시험은 고속 활주형선의 건조 이전 초기 설계단계에서 부가물 장착 또는 선저 형상개선에 따른 주요성능의 정성적인

비교, 평가에 용이하게 이용될 수 있을 것으로 보인다.

(2) 저항시험결과, 전 저항계수(C_{TS})는 전체 시험선속 약 20 *knot* ~ 48*knot* ($F_N \nabla$: 약 3.0~7.0)범위에서 선저 스텝 적용 활주형선이 선저에 스텝을 가지지 않는 활주형선에 비해 최소 2%에서 최대 8%의 저항감소율을 보였으며, 설계선속 35*knot* (약 $F_N \nabla = 5.3$)에서 Twin-step선형이 Non-step선형에 비해서는 약 7.4%, Single-step선형에 비해서는 약 3.7% 정도의 소요마력 감소율을 보였다. 이의 원인으로서 선저 스텝 적용 활주형선이 선저 공기유입에 따른 선저부분의 공동현상으로 점수면(침수표면적)을 감소시키고, 선저바닥의 양력발생에 따른 고속 활주 주행상태에서 최적의 선수 유효양각(Angle of attack)과 주행 트림 각을 유지시킨 원인으로 사료되며, 이를 통해 Twin-step선형이 최소저항 선저 스텝 적용 선형임을 확인할 수 있었다.

향후, 본 연구는 고속 활주형선을 대상으로 실선 대응 모형선의 실험역 모형시험 결과의 지속적인 비교, 검토를 통해 다양한 계측오차 요인을 분석하며, 실용성 향상을 위해 지속적인 노력을 경주할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 박충환(2008), “실험역 모형시험기법을 이용한 소형 고속 활주형선의 선형개발에 관한 연구”, 한국해양대학교 박사학위논문.
- [2] 박충환, 장동원(2007), “7m급 고속 구난정의 Step개수에 따른 저항특성 연구”, 한국해양학회 제31권 제1호, 춘계학술대회논문집, pp.41-43.
- [3] 반석호, 김상현(2002), “해양레저용 보급형 모터보트 설계에 관한 연구”, 대한조선학회 추계학술대회논문집, pp.115-118
- [4] 장진호(2002), “공기공급법을 이용한 선박의 저항감소”, 서울대학교 박사학위논문, pp.1-14.
- [5] 정우철, 박제웅, 정석호(2004), “연안용 소형 고속 레저선 선형개발”, 한국해양공학회지, 제18권, 제1호, pp.80-84.
- [6] Hori, T.(1990), “Model Tests of Stepless and Stepped Planning Boats with Deep-V Hull”, PACON.
- [7] Niwa, S.(1997), “High-speed Craft Engineering”, pp. 115-119.
- [8] Savitsky, D. (1981), “Status of Hydrodynamic Technology as Related to Model Tests of High-Speed Marine Vehicles”, DTNSRDC-81/026, 2p.
- [9] Tanaka, H.(1991), “Cooperative Resistance Tests with Geosim Models of a High-Speed Semi- Displacements Craft”, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 169, pp.55-64.

원고접수일 : 2008년 7월 28일
 심사완료일 : 2008년 10월 20일
 원고채택일 : 2008년 10월 23일