

선저 공기공급에 따른 활주형선의 저항특성 연구

† 박 충 환

† 중소조선연구원

A Study on the Resistance Characteristics for Planing Craft with Air Injection at the Bottom

† Chung-Hwan Park

*Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Busan 618-270, Korea

요 약 : 활주형선은 고속 운항시 선저에 동적압력을 발생시켜 선체를 부상시켜 침수표면적을 감소시킴으로서 저항이 감소하게 되어 고속의 항주가 가능하게 된다. 또한, 활주형선 선저부에 공기공급을 유도하면 고속 주행시 선저 공기공급에 따른 침수면 감소로 인하여 전체저항 감소에 따른 속도향상과 연비절감 효과가 있다. 이에, 본 논문에서는 고속 모형시험이 가능한 실 해역모형시험기법을 이용하여 고속 활주형선을 대상으로 선저부에 공기공급을 유도하여 침수표면적 감소에 따른 저항성능 개선을 위해 공기공급 유무에 따른 고속 활주형선의 저항특성을 비교, 분석하였다. 시험결과, 선저 공기공급 활주형선이 공기공급이 없는 선형에 비해 저항감소 효과가 현저하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 활주형선, 선형설계, 공기공급, 실 해역모형시험, 저항특성

Abstract : A planing craft is designed specifically to achieve comparatively high speed on the surface of the water. The frictional resistance of planing craft can be reduced further by injecting air to the craft's bottom. In this paper, the resistance characteristics of high speed planing crafts with & without air injection at the bottom were compared by sea model-test method. As a result, we conformed that planing craft with air injection has much greater the effect of resistance reduction.

Key words : Planing craft, Hull-form design, Air injection, At-sea model test, Resistance characteristics

1. 서 론

활주형선은 고속상태에서 선저 동역학적효과(Dynamic effect)에 의한 양력발생을 통한 마찰 저항감소와 배수량형 선박을 길이에 비하여 선체-폭(L/B)비를 작게 하여 조파저항의 증가를 방지하는 선형을 채택하고 있다(이와 반, 2003). 공기공급법은 물체 표면에 공기를 공급하여 물체 표면을 덮는 공기막을 형성시켜 주는 방법이다. 공기 막으로 덮인 부분에서는 원래 액체와 접촉하고 있던 물체 표면이 공기와 접촉하게 되어 마찰저항이 감소하게 된다. 이를 선박에 적용하는 경우에는 선박의 선저 표면을 얇은 공기 막(Air film)으로 덮어줌으로써 물에 잠겨있는 선체 표면의 일부분이 물 대신에 공기와 접촉하게 하고 이를 통하여 침수표면적이 감소하는 효과를 얻어서 선박의 마찰저항을 감소시키게 된다. 이에, 소형선박의 선저부분에 공기를 공급하면 물체 표면의 일부분이 공기와 접촉하게 되어 적은 침수표면적으로 인해 마찰저항의 감소와 이로 인한 연비

절감 효과를 얻을 수 있으며, 고속에서 최대의 효율을 낼 수 있어 점차 고속화되어 가는 소형선에는 적절한 선형이라 할 수 있다(박과 장, 2007 ; 장진호, 2002 ; 황과 김, 2010).

한편, 현재까지 공기 공급선박에 대한 연구는 러시아에서 저속 평저형 선박, 고속 배수량형 선박, 고속 활주형 선박의 순서로 수행되어 저속 비대선의 경우 15%, 고속선의 경우 최대 30%의 저항 감소 효과가 있다고 알려져 있다. 국내에서는 공기공급에 의한 축척 영향과 모형선 실험을 통한 저항 추정에 대한 연구가 아직까지 부족한 실정이지만 고속 활주형선은 선저 공기공급을 통한 저항 감소 효과가 입증된 만큼, 이에 대한 기술 개발의 가치는 충분하다고 할 수 있다.

이에, 본 논문에서는 고속 모형시험이 가능한 실 해역모형시험기법을 개발하여 고속 활주형선 선저부에 공기공급을 유도하여 동일배수량에서의 공기공급 유무에 따른 고속 활주형선의 저항특성을 정성적으로 비교, 분석하였다.

† 교신저자 : 연회원, chpark@rims.re.kr 010)5549-9781

(주) 이 논문은 “G/T 3.5톤급 레저보트의 선저 공기공급 유무에 따른 저항특성 비교 연구”란 제목으로 “2007공동학술대회 한국항해항만학회논문집(목포해양대학교, 2007.4.4.19-20, pp.37-40)”에 발표되었음

2. 선형설계

본 연구에 사용된 9m급 선저 공기공급 활주형 레저보트의 선형특징으로는 양력발생과 파랑 중 충격하중 감소에 유리한 직선 단면형상(Straight body)을 채택하였다(Hori, 1990). 또한, 접수면 감소를 통한 마찰저항 감소를 위해 스프레이 스트립(Spray strip)을 선저 좌·우현에 각각 부착하였다(박, 2004). 선저에 물체 표면의 일부분이 공기와 접촉하게 되어 적은 침수 표면적으로 인한 마찰저항 감소를 위해 선체길이 방향으로 스프레이 스트립 사이에 좌·우현 각각 3개의 공기공급부를 설치하였다.

공기공급부의 위치는 Fig. 1과 같이 상용프로그램 프루언트(Fluent)를 이용하여 시험대상 9m급 고속 활주형선의 선저부 접수면과 유체흐름을 검토하였으며, 이를 통해 추진기 공기유입에 따른 추진효율 감소 방지를 위하여 추진기 장착위치로는 공기공급부 위치를 배제하였고, 공기의 유입이 선저 접수면내에서만 발생되도록 고려하였다.

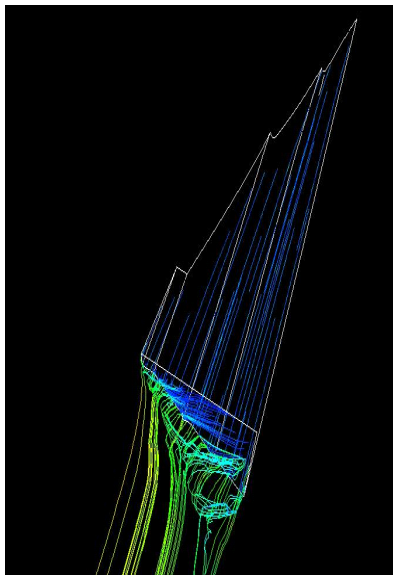


Fig. 1 Fluid flow of planing hull with air injection at the bottom

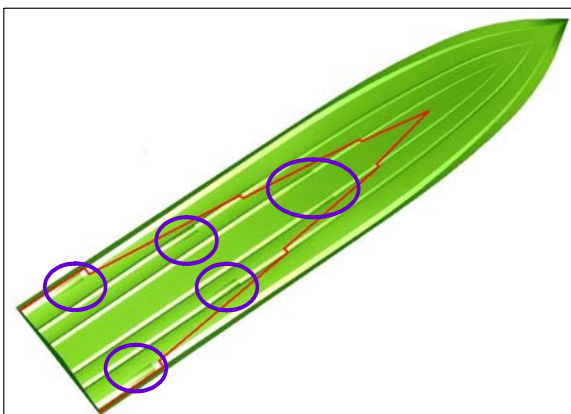


Fig. 2 Position for a part of air injection

또한, 선체 길이방향으로의 공급된 미소공기의 지속적인 진행을 고려하여 스프레이 스트립 사이를 오목하게 하여 공기공급부의 폭은 스프레이 스트립 사이 간격의 1/3의 범위로 폭/길이 비는 0.25로 고려하였으며, 고속시 선저형상이 과도한 공기유량에 따른 형상저항 증가를 고려하여 선저 공기유입 공급부의 단 높이는 4cm로 결정하였다. 이를 토대로 Fig. 2와 같이 선저 공기공급 활주형 선형의 공기공급부의 위치를 최종 결정하였다.

시험대상 선박은 전장 9.63m, 설계선속 34knot, 승조원 10명, FRP 선체라는 기본계획으로 유사 실적선 조사·분석, 경험식(Savitsky, 1981) 및 조선공학적 제 계산을 통해 산출되었으며, 시험대상선박의 주요제원은 Table. 1과 같다. Fig. 3은 선저 공기공급 고속 활주형 선형(w/ air injection)의 선형선도(Lines), Fig. 4는 선저 공기공급 고속 활주형 선형(w/ air injection)의 일반배치도이다.

Table 1 Principal particulars of planing craft

Length(L)	9.63m	Main Engine	Abt. 450hp
Beam (B)	2.20m	Design speed	Abt. 34knot
Draft (d)	0.50m	Passenger	10 person

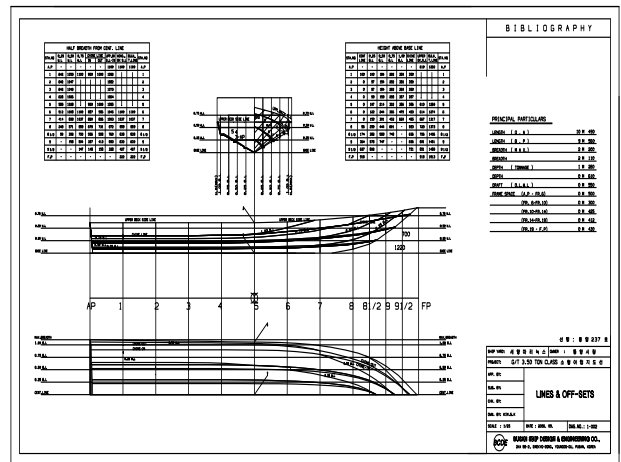


Fig. 3 Lines of planing hull without air injection

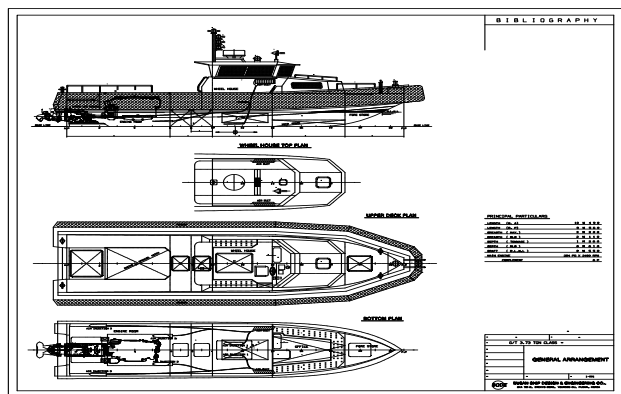
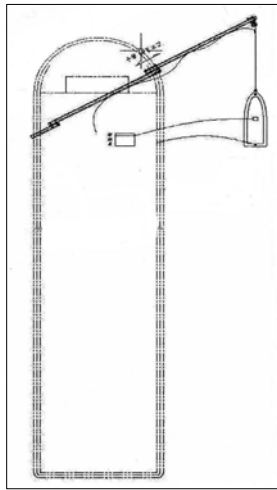


Fig. 4 G/A of planing hull with air injection

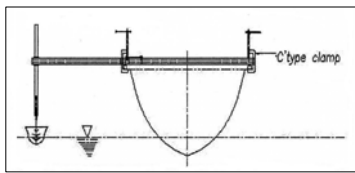
3. 시험설비 및 대상모형

3.1 시험설비

선박 건조이전에 주요성능을 시험·검증하는 선형시험설비는 회류수조, 예인수조 등이 있으나, 대형선에는 큰 축척비(Scale Ratio)에 따른 수조의 유속과 예인전차의 속력에 문제가 되지 않는다. 하지만, 소형의 고속 레이저보트의 경우에는 설계선속이 최소 30knot 이상의 고속선형으로서 작은 축척비(Scale Ratio)에 따른 회류수조 유속과 예인전차의 속도 제한으로 국내 관련 설비 보유 기관 및 대학에서는 선속 20knot 이상의 시험은 불가능하여 고속 활주형선의 모형시험은 한계로 작용하였다. 이에, 유럽 및 일본 등에서는 실 해역모형시험과 같은 소형 고속선의 선형시험에 대한 독자적이고 실용적인 시험방법을 찾기 위해 많은 노력을 기울이고 있다(Tanaka, et al., 1991).



(a) Plane view



(b) Front view

Fig. 5 Outline scheme of At sea model-test system

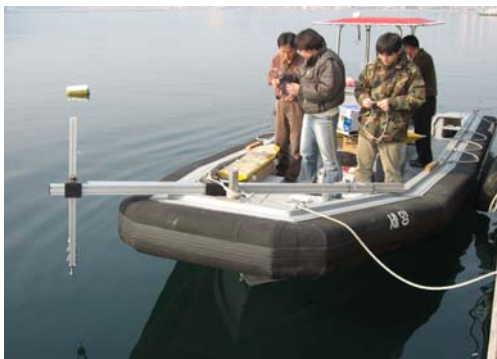


Fig. 6 Installation figure of At sea model-test system

이에, 본 연구에는 고속에서의 모형시험이 가능한 실 해역모형시험법을 개발하였다. 실 해역모형시험은 예인선에서 모형선을 예인하는 방식으로서 예인선박과 모형선의 연결설비는 Fig. 5와 같이 선수부 측면 앞쪽으로 길게 뻗어낼 수 있는 수평 가이드 레일과 그 단부에 모형선 흡수에 높이를 조절할 수 있는 수직방향의 치구로 구성하였다. 한편, 시험데이터는 예인선에 취부된 가이드(Guide)와 연결된 저항센서(Resistance load cell)로부터 갑판상의 자료 취득장치에 저장된다.

또한, 시험설비는 각각의 모형선의 흡수에 맞도록 상하위치 조정 및 예인선으로부터 발생하는 조류의 영향을 최소화하기 위하여 수평이송이 가능하도록 위치를 임의로 조절할 수 있도록 설계, 제작하였다.

3.2 대상모형

선저 공기공급 유무 고속 활주형 선형은 실선 대응 모형선의 축척비(Scale Ratio)는 선도(Lines)를 바탕으로 실선 및 모형선의 전장길이를 고려하여 1/8.025 비율로 하였으며, 모형선 재질은 시험조건이 되는 모형선 배수량, 흡수 등의 변화를 고려하여 FRP소재로 가볍게 제작하였다. 또한, 선저 공기공급 활주형선 모형선은 선저에 공기공급이 원활히 될 수 있도록 모형선 선체 좌·우현 상부 공기흡입부에서 비닐 호스를 이용하여 선저 공기공급부까지 연결하였다.

Table 2 Principal particulars of planing hull with and without air injection

Item	w/o air injection Type		w/ air injection Type	
	ship	model	ship	model
Loa (m)	9.630	1.200	9.630	1.200
Lwl (m)	8.921	1.112	8.921	1.112
B (m)	2.200	0.274	2.200	0.274
d(m)	0.500	0.0623	0.500	0.0623
S (m ²)	20.024	0.3109	19.610	0.3045
∇ (m ³)	4.39	0.00849	4.38	0.00848

실 해역모형시험에 사용된 선저 공기공급이 유무 고속 활주형선의 실선 대응 모형선의 주요제원을 Table 2에 정리하였고, 정면선도를(Body plan) Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 또한, 선저 공기공급 유무 모형선의 선수미 형상과 선저 공기공급부 모습을 Fig. 9에 나타내었다.

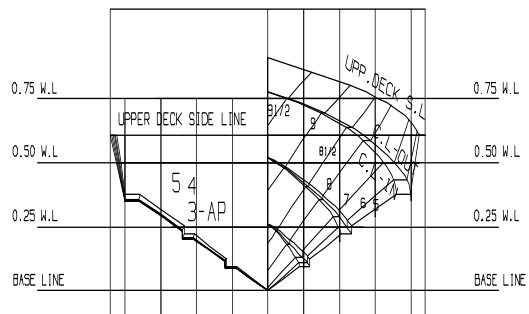


Fig. 7 Body plan of the planing hull without air injection

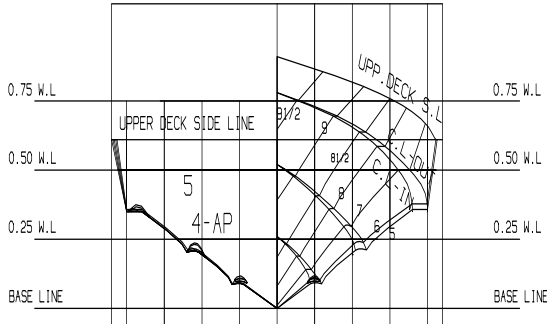


Fig. 8 Body plan of planing hull with air injection



(a) Bow shape (b) Stern shape



(c) w/o air injection (d) w/ air injection

Fig. 9 Model ship of planing hull with & without air injection

4. 실 해역모형시험

4.1 시험방법 및 해석

시험대상 9m급 선저 공기공급 유무 고속 활주형선의 저항시험은 실 해역모형시험법을 이용하였다. 실 해역모형시험을 통한 대상선의 저항시험은 예인선에 취부된 가이드(Guide)와 모형선의 선수 맨 앞쪽을 예인줄로 연결하여 예인줄 사이에 저항센서(Load cell)를 부착시켰고, 모형선의 선수회전(Yaw)과 좌우(Sway)가 자유로운 상태에서 예인선의 선속에 따른 모형선의 저항치를 계측하였다(Katayama, 1996).

시험예인선은 반환주형 연안 소형선박으로서 선속에 따른 활주자세의 변화가 시험모형선의 시험상태에 영향을 미칠 수 있다. 이에, 모형선의 자유로운 예인방향에 따른 모형시험의 문제점을 극복하기 위하여 시험 선속별로 예인선의 선속별 부상

정도를 확인하여 모형선과 연결되는 와이어가 수평이 될 수 있도록 가이드 위치를 체크하였으며, 모형시험 중에는 예인선의 선속별 가이드의 높낮이를 조절하여 모형시험을 수행하였다. 또한, 시험선속별 일정한 방향으로 주행 횟수를 왕복 3회로 하여 6개의 결과 값을 분석, 검토하였으며, 가급적 주행은 바람을 선수방향과 반대방향으로 한 상태로 실시하였고, 시험해역은 파도가 잔잔하며, 안정적인 운전 상태를 얻을 수 있는 충분한 해역거리를 가지는 장소에서 수행하였다.

실 해역 모형시험에 적용될 1개의 예인점(Towing point)에 따른 결과치의 신뢰성 평가를 위해서 6m급 구조정을 대상으로 당 연구원 보유 회류수조 저항계측기 결과 값과 실 해역 모형 시험에 적용될 1개의 예인점(Towing point)에서의 로드 셀(load cell)의 저항계측 값을 상호 비교, 분석하였다. Fig. 10의 유효마력(EHP) 비교결과, 회류수조의 시험결과와 정성적으로 거의 동일한 경향을 보였으며, 정량적으로도 $\pm 2.5\%$ 이내의 오차 범위를 보여 실 해역 모형시험을 통한 고속 활주형선의 선형시험 결과가 정성적으로는 충분히 신뢰성 있는 시험방법임을 확인할 수 있었다.

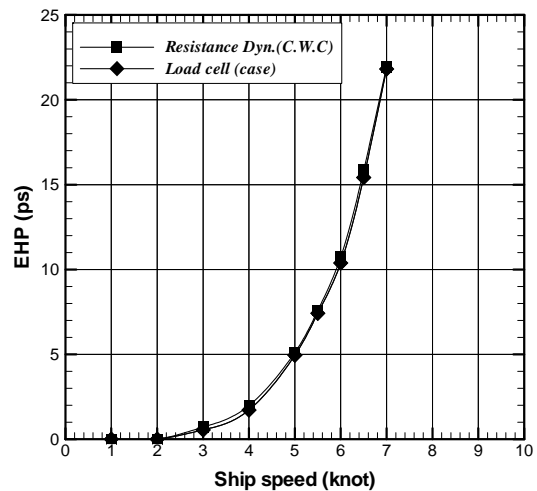


Fig. 10 Comparison of resistance result

또한, 비닐 랩을 이용하여 두 선형의 모형선 상부를 완전히 기밀하였고, 수선상부 공기저항 영향을 최소화하여 동일배수량에서의 9m급 고속 활주형선의 선저 공기공급 유무에 따른 모형선 2척의 저항시험을 수행하였다. 실 해역모형시험은 Froude 상사법칙에 따른 선속으로 수행되었으며, 해석방법은 1978 ITTC 2차원법을 적용하였다. 또한, 고속 운항시 활주형선의 자세변화에 따른 선저 접수면 변화가 발생하여 결과해석에는 선속별 침수표면적 변화량에 따른 마찰저항계수 적용이 핵심요소로 작용하지만 고속 활주형선의 침수표면적 계측을 위한 시험조건과 시험방법의 어려움으로 인해 본 연구에서는 두 선형모두 침수표면적에 기인하는 마찰저항계수는 1957년 ITTC에서 제안한 모형선 실선 상관곡선을 이용하였다. 저항시험 결과 해석방법을 요약하면 다음과 같다.

○ Froude 해석법 ($C_{TS} = C_{TS} + C_R + C_A + C_{AA}$)

- 마찰저항계수 ; C_{FS} (1957 ITTC 제안식)
- 모형선-실선상관수정계수 ; C_A (1978 ITTC 해석법)
- 실선 공기저항계수 ; C_{AA}
- 실선상태 : 15°C 해수 기준상태
 파랑에 의한 부가저항은 고려치 않음
- 해상조건 : 평균기온(13.6°C), 해수온도(14.9°C),
 풍속(0.38m/s), 조류(0.098m/s)

4.2 시험결과 및 고찰

저항시험 결과로서 계측된 동일배수량에서의 선저 공기공급이 없는 선형과 공기공급 활주형 선형의 잉여저항계수(Cr)곡선은 선저 공기공급 선형이 공기공급이 없는 선형에 비하여 전반적으로 유사하게 감소되는 경향을 보이고 있다. 저속에서는 큰 저항 감소율을 보이다가 고속으로 갈수록 즉, 프루드 수가 커질수록 저항 감소율은 작아지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 11은 시험선속(V)에 대응하는 선저 공기공급 유무 고속 활주형선의 전 저항계수를 비교한 곡선이다.

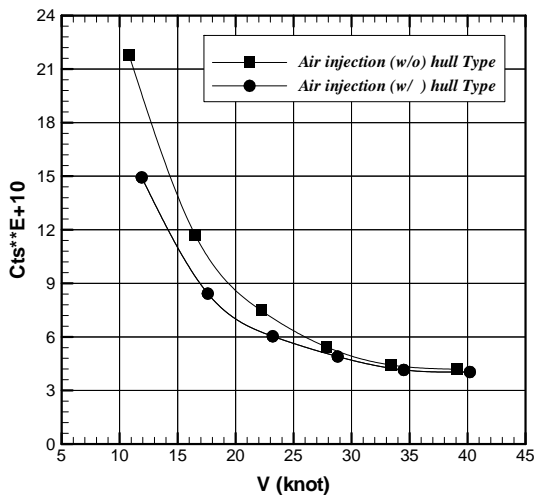


Fig. 11 Comparison of C_{ts} for planing hull with & without air injection at the bottom

개발대상선의 유효마력(EHP)은 실선속력 10knot (약 $Fn=0.60$) 부근에서는 선저 공기공급이 있는 선형이 공기공급이 없는 선형에 비해 약 27.0% 정도의 소요마력 감소율을 보이다가, 설계 선속 34knot (약 $Fn=1.85$)부근에서는 대략 2.5% 정도의 소요마력 감소율을 보여, 실선선속 10knot~20knot에서는 14.5%~27.0%의 저항 감소율을 나타내다가 선속이 증가되는 25knot~40knot에서는 2.0%~4.5%로서 저항 감소율이 작아지는 경향을 보이고 있다.

이는 선저 공기공급 선형이 공기공급이 없는 선형보다 공기공급의 영향에 따른 선체의 부력상승 효과와 선체 접수면이 공기와 접촉하게 되어 적은 침수표면적으로 인해 선박의 전체저항에서 큰 비중을 차지하는 마찰저항이 감소하는 원인에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 12는 선속에 대응하는 선저 공기공급 유무 고속 활주형선의 유효마력(EHP)을 비교한 곡선이며, Fig. 13~14는 선저 공기공급 유무 고속 활주형선의 실 해역 모형시험 모습을 각각 나타낸 것이다.

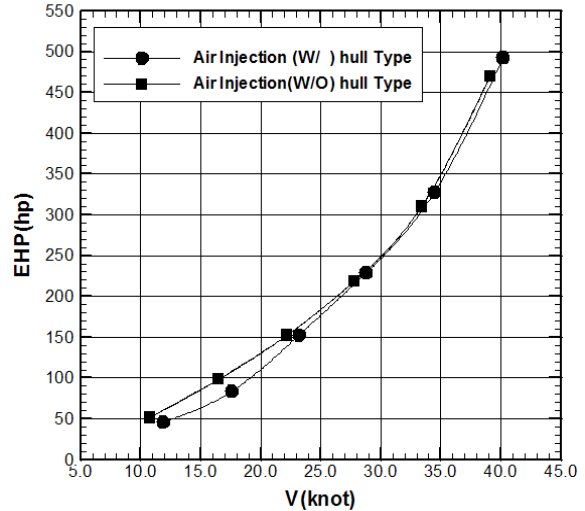


Fig. 12 Comparison of EHP for planing hull with & without air injection at the bottom



Fig. 13 At-sea model test of planing hull without air injection at the bottom



Fig. 14 At-sea model test of planing hull with air injection at the bottom

5. 결 론

본 논문에서는 9m급 선저 공기공급 유무에 따른 고속 활주형선의 저항특성 비교, 검토를 위하여 동일 배수량에서 선저 공기공급 유무에 따른 2척의 모형선을 대상으로 실 해역모형시험

을 수행하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소형 고속선박은 실선 대응 모형선의 축척비가 대형선에 비해 매우 작아 국내 회류수조 유속과 예인수조 전차속도의 제한으로 20knot이상의 소형 고속선의 선형시험은 한계로 작용하였다. 이에, 선속 40knot 이상의 고속영역에서도 소형 고속선의 선형시험·검증이 가능한 실 해역모형시험기법을 개발하였다.

(2) 다음으로 선저 공기공급이 없는 일반적인 활주형 선형과 선저 공기공급 선형의 저항특성을 정성적으로 비교, 분석하기 위하여 동일배수량에서 9m급 고속 활주형선을 대상으로 실 해역모형시험을 통한 저항시험을 수행하였다.

(3) 시험결과, 저항시험 결과로서 예측된 동일배수량에서의 선저 공기공급이 없는 선형과 공기공급 활주형 선형의 전 저항계수(Ct)곡선은 선저 공기공급 선형이 공기공급이 없는 선형에 비하여 전반적으로 감소되는 경향을 보이고 있으며, 고속으로 갈수록 저항 감소율은 아주 작아지는 경향을 보이고 있다.

(4) 유효마력(EHP)은 실선속력 10knot (약 $Fn=0.6$)부근에서는 선저 공기공급이 있는 선형이 공기공급이 없는 선형에 비해 약 27.0% 정도의 소요마력 감소율을 보이다가, 설계선속 34knot (약 $Fn=1.85$)부근에서는 대략 2.5% 정도의 소요마력 감소율을 보였다. 이는 선저 공기공급 선형이 공기공급이 없는 선형보다 공기공급의 영향에 따른 선체의 부력상승 효과와 선체 접수면이 공기와 접촉하게 되어 적은 침수표면적으로 인해 선박의 전체저항에서 큰 비중을 차지하는 마찰저항이 감소하는 원인에 기인한 것으로 사료된다.

본 연구결과는 앞으로 개발될 다양한 형태의 고속 활주형 레저보트 및 경주정 등의 설계 및 실용화 관련 연구에 유효한 핵심기초자료로 활용하고자 한다. 이를 위하여 향후 실 해역모형 시험에서의 시험선의 항주자세 및 선수미 트림계측 등에 대한 시험방법 개선과 모형선 시험결과와 실선 확장 시 정량적인 해석이 가능할 수 있도록 마찰저항에 기인하는 침수면적 추정 등의 세심하고도 추가적인 연구를 계속할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 박충환(2004), “활주형선의 Spray Strip 부착에 따른 저항특성연구”, 대한준계조선학회, pp.60-65.
- [2] 이춘주, 반석호(2003), “반활주형 선형의 저항특성 연구”, 대한준계조선학회, pp.211-215.
- [3] 장동원, 박충환 (2007), “7m급 고속 구난정의 Step개수에 따른 저항특성 연구”, 한국항해항만학회 제31권 제1호, 춘계학술대회논문집, pp.41-43.
- [4] 장진호(2002), “공기공급법을 이용한 선박의 저항감소”, 서울대학교 박사학위논문, pp.1-14.
- [5] 황선규, 김용섭(2010), “활주형선의 공기저항에 대한 실험적 연구”, 한국해양과학기술협의회 춘계공동학술대회, pp.218.
- [6] Hori, T, et. al(1990), “Model Tests of Stepless and

stepped Planing Boats with Deep-V Hull”, PACON.

- [7] Katayama. T, Ikeda, Y(1996), “A Study on Unstable Rolling Induced by Pitching of Planning Crafts AT High Advance Speed”, Journal of the kansai Society of Naval Architectes, Japan, No.225, pp.141-148.
- [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, et. al(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 : 2012년 3월 6일

심사완료일 : 2012년 4월 27일

원고채택일 : 2012년 4월 27일