

Spray Strip부착에 따른 고속 활주형선 저항특성 연구

박 충 환†

† 중소조선연구원

A study on Resistance Performance of the High-speed Planing Craft with Spray Strip

Chung-Hwan Park†

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

요 약 : 활주형선이 수면 위를 활주하여 고속이 가능하기 위해서는 특별하게 설계되어 진다. 대부분의 활주형선은 충격하중을 줄이고 횡요, 종요 등의 운동성능을 개선시키기 위하여 스프레이 스트립을 설치하며, 고속에서는 파형개선과 양력발생으로 스프레이저항과 마찰저항이 감소 되는 것으로 알려져 있다. 이에, 본 논문에서는 모형시험을 통하여 스프레이 스트립의 부착 유무에 따른 고속 활주형선의 저항특성을 비교, 분석하였으며, 시험결과, 스프레이 스트립 부착 고속 활주형선이 미 부착 선형에 비해서 3.0~5.0%의 저항감소 효과를 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 활주형선, 스프레이 스트립, 모형시험, 선형설계, 파형변화, 저항특성

Abstract : The planing craft is designed specifically to achieve comparatively high speed on the surface of the water. Most of planing crafts have installed the spray strip in decreasing of wave impaction and improving motion performance of rolling and pitching et al. It is known to reduce the spray and frictional resistance by the effect of lift and improvement of wave profile in high speed. In this paper, the high speed planing crafts with & without spray strip in bottom were performed to compare the resistance performance by model-test. In conclusion, the high speed planing crafts with spray strip in bottom was proved to effect of the resistance decrement of 3.0~5.0%.

Key words : Planing craft, Spray strip, Model test, Hull-form design, Wave profile, Resistance performance

1. 서 론

우리나라는 최근 국민소득의 증가와 주5일제 도입 등으로 해양레저 인구가 급증하고 있고, 해양레저 활동의 주요 수단인 레저선박에 대한 수요도 지속적으로 증가하고 있다. 또한, 2012년 여수 세계박람회 유치와 2014년 인천아시아 경기대회 유치 등 바다와 연계된 범국가적인 사업이 지속적으로 추진됨에 따라 관련 시설구축과 산업육성에 박차를 가하고 있으며, 각종의 주요 해양레저장비에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다(경남발전연구원, 2007). 해양레저의 핵심장비가 되는 모터보트의 경우 대부분이 소형의 고속 활주형선으로서 선체와 수면사이의 동적압력에 의하여 선체가 부양되어 수면위를 활주함으로써 마찰저항을 감소시켜 고속 성능을 향상시키도록 고안된 선형이다(이와 반, 2003). 따라서 유체역학적인 특성이 우수하면서 일반배치가 콤팩트한 기하학적 형상으로 최적화되어야 하므로 선진국에서는 파랑중에서 저항감소를 통한 고속 선형으로 적용하기 위해 다각도의 연구개발에 박차를 가하고 있다(Larsson, 2007)

활주형선은 대부분이 깊은 V선형으로서 선체 양현에 삼각형 모형의 가느다란 조각(Strip)형태의 스프레이 스트립을 장

착하게 되면 선측으로의 유체흐름의 분리현상을 유도하고, 수선면 주위의 물보라를 선체로부터 떨어져 밖으로 빗겨나가도록 하여 물과 접하는 선체의 면적을 감소시켜 전체저항을 줄여주는 역할을 한다(박, 2004). 일반적으로 스프레이 스트립은 선수로부터 활주형선 길이의 2/3정도에서 끝나게 하는데, 이는 활주형선의 선미는 매우 높은 속력을 제외하고는 물 안에 있기 때문에 스프레이 스트립이 오히려 항력을 발생시킬 수 있기 때문이며, 선미부분에 스프레이 스트립을 두지 않는 것은 프로펠러에 교란된 물이 유입되는 것을 방지하기 위함이다(Katayama, 1996). 본 연구는 모형시험을 통하여 스프레이 스트립(Spray strip)부착 유무에 따른 소형 고속 활주형선의 저항특성을 비교, 분석하여 시험선속별 스프레이 스트립 장착 고속 활주형선의 속도성능과 저항감소 효과를 확인하였다.

2. 고속 활주형선의 선형특성

활주형선은 선박이 빨리 달리기 시작하면 선수가 서서히 물 밖으로 벗어나면서 수면을 미끄러지듯 빠르게 달리는 배이다. 이러한 자세는 선박이 움직이면 발생하는 동적압력에 기인하

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

며, 동적압력 중에도 선체에 수직인 성분이 선체를 침하 또는 부상시키며 트림을 야기하기 때문이다. 그리고 선박이 물에서 부상하면 선체와 물과 접하는 면적이 줄어들게 되고 저항이 감소하여 고속성능을 실현할 수 있는 것이다(丸尾, 1957).

근년 해양스포츠 활동이 늘어나고 각종 해상경주대회가 빈번히 개최되면서 메니아 층을 중심으로 한 활주형선의 고속 성능에 대한 요구치는 더욱 더 커지고 있다. 하지만, 선박의 고속성능은 엔진마력을 증가시키는 것만으로는 한계가 있어, 활주형선은 동적압력에 의한 수직성분을 더 높이기 위해 통상 가로단면 형상에 차인(Chine)을 두거나 선저에 일정간격으로 스프레이 스트립(Spray strip)을 부착한다(서 등, 2005).

일반적인 저항성분으로는 수중과 수면에서의 점성저항과 조파저항으로 생각할 수 있지만, 활주형선에는 활주시 나타날 수 있는 스프레이저항이 있으며, 선속이 증가하게 되면 선저에 양력발생에 따른 선체부상으로 선수 어깨파에 기인하는 조파저항은 완전히 스프레이를 형성하는 스프레이저항으로 변화하게 된다. 이에, 스프레이 스트립의 부착은 활주형선의 고속 운항시 선수부의 어깨파는 완전한 되고 현측에서 비상하여 뿌려지는 물보라(Spray)상태가 나타나게 되어 저항증가의 원인이 되기 때문에 Fig. 1과 같이 고속상태에서의 저항을 감소시키고, 선저로부터 박리를 이용하여 충격하중을 감소시켜 횡요, 중요 등의 운동성능을 개선시키는 역할을 하게 된다.

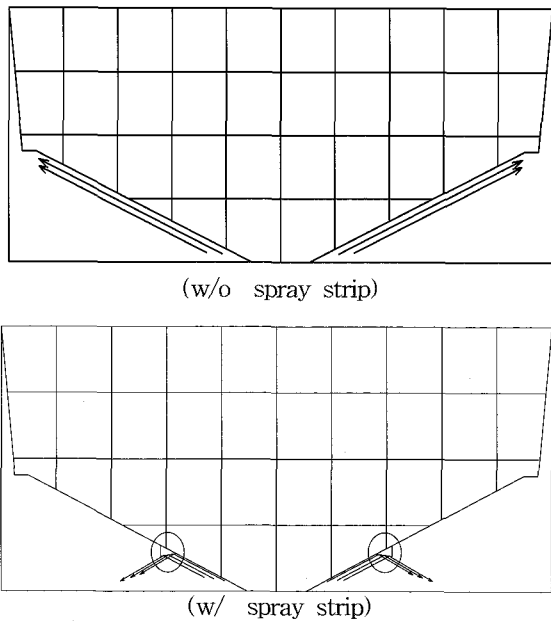


Fig. 1 Wave profile of planing craft

3. 시험대상 활주형선 선형설계

3.1 주요제원

시험대상 선박은 선주요구사항인 전장 6.2m급, 최대 선속

25 knot 이상, 승조원 5명, 레저용, FRP제 선체임을 전제로 유사 실적선 조사 분석과 경험식(Savitsky, 1981) 및 조선공학적 제검토를 통해 산출되었으며, 시험대상선박의 주요제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Principal particulars of planing craft

Length(L)	6.25m	Main Engine	Abt. 125hp(Out-board)
Beam(B)	2.44m	Design speed	Abt. 25 knot
Draft(d)	0.35m	Passenger	5 person

3.2 선형설계

본 연구의 수행에 사용된 대상선형은 단면형상은 오목(Concave), 볼록(Convex), 직선(Straight), 오목-볼록(Inverted bell) 4가지의 주요 단면형상의 장단점을 분석하여 고속성능에 유리한 직선형(Straight body) 단면형상을 채택하였다(Hori, 1990).

중방향 중심위치는 활주성능과 밀접한 관계를 갖고 있으므로 이의 결정이 매우 중요하므로, 선미단에서 일반적인 활주형선의 중심까지의 거리(L.C.G)는 수선길이(L.W.L)의 약 40%정도로 계획하였다. 선저 경사각(Deadrise)은 내항성능에 큰 영향을 미치므로 고속선 설계시 반드시 고려하여야 하는 중요한 인자로서, 모형시험 결과자료를 토대로 선저 경사각은 20°내외로 결정하였고, 활주성능을 향상시키기 위하여 선미로 가면서 경사각을 작게 한 비툼(Warped)형 형상을 채택하였다. 그러나 파에 의한 충격하중을 감소시키고 선측 면적의 증가로 인한 조종성능 개선을 위하여 선미부에서의 선저 경사각은 15°정도로 다소 작게 하였다(박, 2008).

또한 시험대상선박의 중방향 안정성을 향상시키고 파 충격을 줄이기 위하여 깊은 V형상에서 양력발생에 따른 침수표면적 감소, 그리고 횡요, 중요 등의 운동성능 향상을 위하여 스프레이 스트립을 선저 좌·우측에 각각 삼각형 형상으로 2개씩 설치하였다. Fig. 2는 시험대상선의 정면선도(Body Line)를 나타낸 것이고, Fig. 3에 선도(Lines)를 나타내었다.

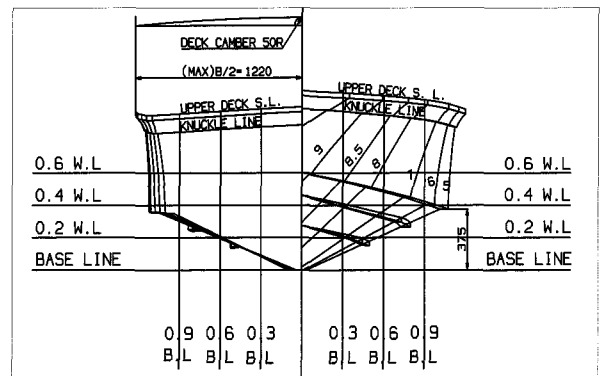


Fig. 2 Body plan of planing craft

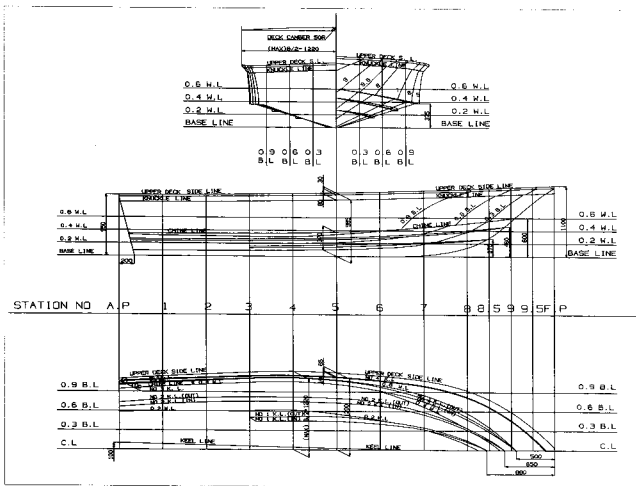


Fig. 3 Lines of planing craft

3. 시험설비와 대상모형

3.1 시험설비

스프레이 스트립 부착에 따른 활주형선의 저항성능 비교, 평가를 위해 실험에 사용된 회류수조 선형시험설비의 주요사양은 아래와 같으며 개략적인 형상은 Fig. 4와 같다.

- Type : 2 Impeller, Vertical type
- Whole body : 17.6(L)m×3.1(B)m×6.4(D)m
- Measuring body : 6.0(L)m×2.0(B)m×1.55(D)m
- Water capacity : Abt. 90 ton
- Velocity range : 0.1~3.0 m/sec

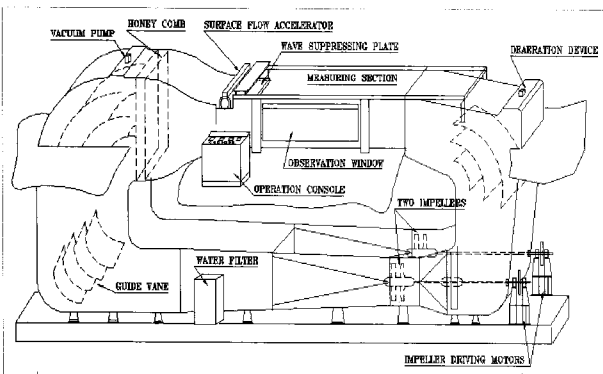


Fig. 4 Schematic diagram of C.W.C

회류수조 시험결과치의 정도향상에 있어 가장 중요한 것은 관측부에서의 균일한 유속을 얻는 것이다. 이에, 본 실험에서는 제과판으로부터 1.2m(보통 모형선의 FP가 되는 위치) 관측부 단면에서 JIS형 피토크관을 이용하여 계측한 1.0m/s의 유속분포를 계측하여 Fig. 5에 표시하였다. 벽면 부근을 제외하면 유속의 편차는 ±1.5% 정도 이내가 됨을 확인하여 시험결과치의 신뢰성을 우선적으로 검증하였다.

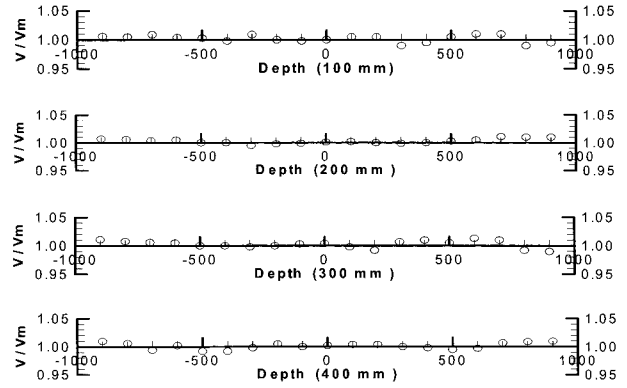


Fig. 5 Velocity distribution(V_m : mean velocity)

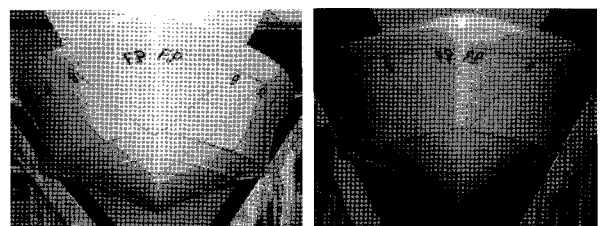
3.2 대상모형

모형시험에 사용된 시험대상 선형은 6m의 동일한 치수, 형상을 가진 활주형선으로서 선저 양현측에 각 2개의 스프레이 스트립 부착선형과 스프레이 스트립을 가지는 않은 선형의 모형선 2척을 제작하여 사용하였다. 실선 대응 모형선의 축척비(Scale ratio)는 선도(Lines)를 바탕으로 동일하게 1/9.38 비율로 하였으며, 모형선의 재질은 시험조건인 모형선 배수량, 홀수 및 트림변화를 고려하여 가벼운 FRP와 목재로서 제작하였다.

실선과 모형선의 주요제원은 Table. 2에 정리하였으며, 모형시험에 사용된 제작, 완성된 스프레이 스트립 부착 유무 모형선의 선수형상과 선미형상을 Fig. 6와 Fig. 7에 보였다.

Table 2 Principal particulars of ship and model

Particulars		Planing craft (Scale = 1/9.38)	
		Ship	Model
Loa (m)		6.250	0.666
Lwl (m)		4.862	0.518
B (m)		2.300	0.245
D (m)		0.950	0.101
d (m)	w/ Spray strip	df	0.350
		da	0.037
	w/o Spray strip	df	0.342
		da	0.036
S (m ²)	w/ Spray strip	18.228	0.2071
	w/o Spray strip	18.237	0.2072
∇ (m ³)	w/ Spray strip	2.517	0.00305
	w/o Spray strip	2.517	0.00305



(a) w/ spray strip (b) w/o spray strip

Fig. 6 Bow shape of planing craft

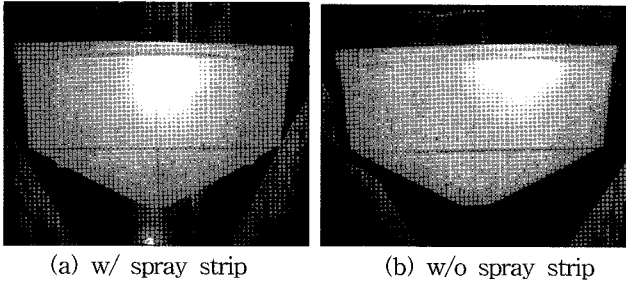


Fig. 7 Stern shape of planing craft

4. 실험방법 및 고찰

활주형선의 선저 스프레이 스트립(Spray strip)부착 여부에 따른 저항성능 비교, 평가를 위해 프루드 수(F_N) 약 0.2~0.9의 범위에서 10개의 시험선속에서 저항시험을 수행하였다.

4.1 저항시험방법 및 해석

저항시험은 스프레이 스트립 부착 유무 모형선을 선수회전(Yaw)과 좌우(Sway)가 제한된 상태에서 저항동력계 로드셀(Load cell)로 모형선을 무게중심(L.C.G) 위치에 고정하여 모형선 유속에 따른 저항치를 계측하였으며, 홀수상태는 적절히 추(Weight)를 이동하여 만재상태의 홀수로 맞추어 시험을 수행하였다.

한편, 저항시험은 Froude 상사법칙에 따른 선속으로 수행되었으며, 해석방법은 1978 ITTC 해석법을 근간으로 한 2차원법을 적용하였다. 저항시험 결과 해석방법을 요약하면 다음과 같다.

- Froude 해석법 ($C_{TS} = C_{FS} + C_R + C_A + C_{AA}$)
- 모형선-실선 상관수정계수 ; C_A (1978 ITTC 해석법)
- 실선 공기저항계수 ; C_{AA}
- 실선상태 : 15°C 해수 기준상태
파랑에 의한 부가저항은 고려치 않음

여기서, 잉여저항계수(C_R)는 모형선과 실선에서의 결과치가 같으며, 마찰저항계수 C_{FS} 은 1957-ITTC 상관곡선을 사용하였다. 또한, C_A 는 모형선-실선 상관수정계수이며, C_{AA} 은 공기저항계수이다.

4.2 저항시험

동일배수량에서의 6m급 고속 활주형선의 스프레이 스트립 부착 유무선형의 저항시험 결과, 잉여저항계수(C_R)는 실선속력과 대응하여 전체적으로는 유사한 경향을 보여주고 있다. 두 선형 모두 프루드 수(F_N) 0.596에서는 현저한 저항증가(Hump)현상을 보였으며, 프루드 수(F_N) 0.596를 기점으로 선속이 증가함에 저항이 감소되는 현상을 보이고 있다.

또한, 활주형선의 선저 양현에 스프레이 스트립을 가지는

선형이 가지지 않는 선형에 비해 프루드 수(F_N) 0.447까지는 잉여저항계수값(C_R)이 약 1.0~2.0%정도의 저항증가율을 보이다가, 프루드 수(F_N) 약 0.50 이상의 선속에서는 약 3.0~5.0% 정도로 저항이 감소하는 것으로 확인되었다. Fig. 8은 만재상태에서의 활주형선의 스프레이 스트립 부착 유무에 따른 프루드 수(F_N) 대응 잉여저항계수(C_R) 비교곡선이다.

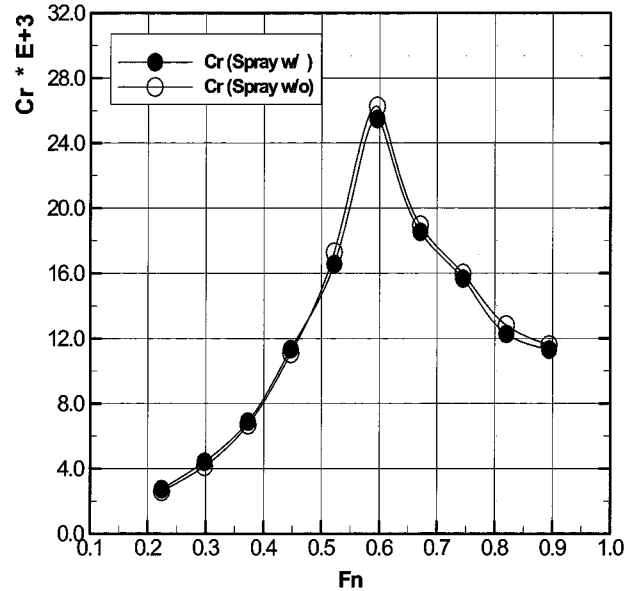


Fig. 8 Comparison of C_R for planing craft (F_N)

또한, 6m급 고속 활주형선의 선저 양현의 스프레이 스트립 부착 유무에 따른 유효마력(EHP)곡선도 시험계측 한 프루드 수(F_N) 0.224~0.894 범위에서 잉여저항계수(C_R)곡선과 같이 유사한 곡선의 기울기를 보여주고 있다. 스프레이 스트립 부착 유무 선형 모두 프루드 수(F_N) 0.596에서 유효마력 증가(Hump)현상을 보이다가 프루드 수(F_N) 0.596를 기점으로 감소(Hollow)하는 현상을 보이고 있다. 또한, 프루드 수(F_N) 0.50이상부터 선속이 증가 할수록 스프레이 스트립(Spray strip) 부착선형이 가지지 않는 활주형선에 비해 전반적으로 2.0~3.0% 정도의 소요마력 감소율을 보였다.

이의 원인으로서는 고속으로 갈수록 스프레이 스트립이 활주형선이 활주하는 동안 수선면 주위의 유체흐름을 선저로부터 선속으로의 분리현상으로 유도하여 선수부의 스프레이저항과 조파저항이 감소되었으며, 또한, 선저의 양력발생에 따른 선체의 부상으로 물과 접하는 침수표면적(침수면)이 작아지는 활주형선의 항주자세에 따라 마찰저항 감소효과도 발생한 것으로 사료된다. 이에 스프레이 스트립(Spray strip) 부착 고속 활주형 선형이 가지지 않는 선형보다 고속 항주시 저항감소에 따른 속도증가와 연비절감 등의 경제성이 우수한 선형을 확인하였다. Fig. 9는 모형시험 결과를 통하여 확인된 만재상태에서의 스프레이 스트립 부착 유무에 따른 고속 활주형선의 프루드 수(F_N) 대응 유효마력(EHP) 비교 곡선이다.

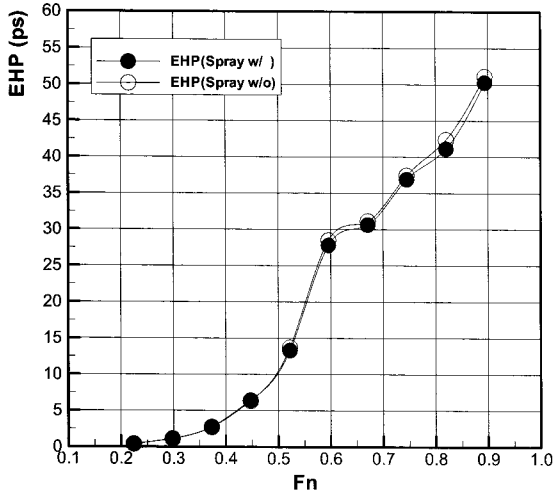


Fig. 9 Comparison of EHP for planing craft (F_N)

4.3 파형관측

동일배수량을 가지는 6m급 스프레이 스트립 부착 유무에 따른 활주형 모형선의 파형변화를 비교, 관찰하였다. Fig. 10~Fig. 13에서 보는 바와 같이 스프레이 스트립 부착 활주형선이 스프레이 스트립을 가지지 않는 선형에 비해 선수부의 8번 스테이션에서 선저에서 선측으로의 물보라 흐름과 접수면의 파형높이가 감소했음을 알 수 있다.

또한, 고속 활주형선의 선미부 파형현상인 선저에서의 물과 선체 좌우측면에서의 흐르는 물이 트랜섬 후부에서 동시에 만나 발생하는 사각추 형상의 파형도 현저하지는 않지만 스프레이 스트립 부착 활주형선이 조금 더 부드럽고 낮게 형성되어 지는 것을 확인하였다.

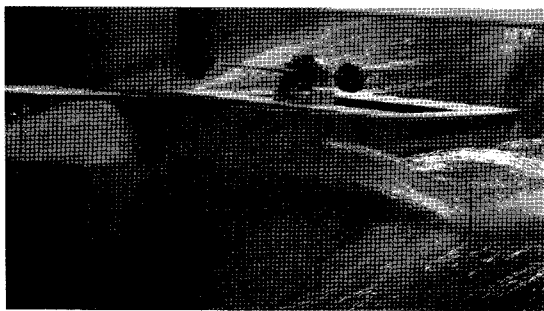


Fig. 10 Wave profile of bow(w/o spray strip, F_N : 0.894)



Fig. 11 Wave profile of bow(w/ spray strip, F_N : 0.894)

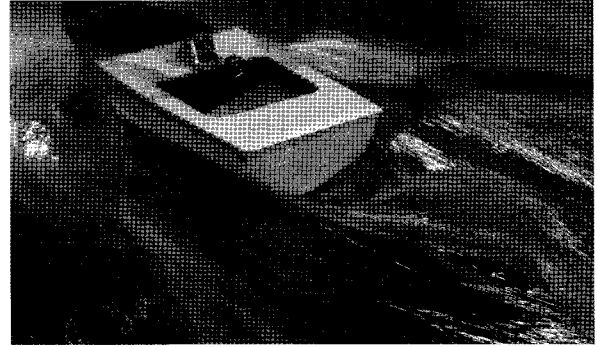


Fig. 12 Wave profile of stern(w/o spray strip, F_N : 0.894)

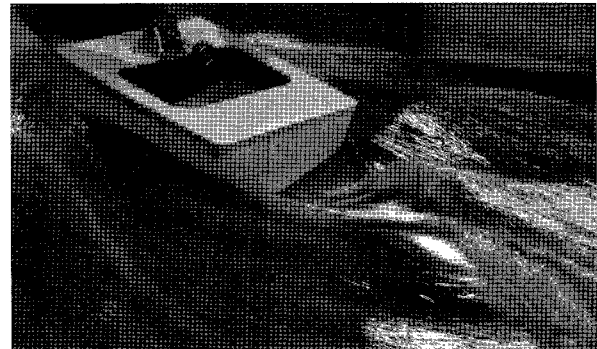


Fig. 13 Wave profile of stern(w/ spray strip, F_N : 0.894)

5. 결 론

본 논문은 소형 활주형선 모터보트를 대상으로 모형시험을 통해 선저 좌우측의 스프레이 스트립 부착 유무에 따른 저항 특성을 연구한 것이다. 스프레이 스트립 부착 유무에 따른 동일한 치수, 크기를 가진 2개의 활주선형 모형선을 제작하여 저항감소 효과를 비교, 검토한 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

(1) 모형시험 결과, 스프레이 스트립 부착 유무선형의 잉여 저항계수(C_R)곡선은 시험범위(F_N :0.224~0.894)에서 유사한 경향을 보였으며, 활주형선의 선형특성인 선체와 수면사이의 동적압력(양력)으로 선체의 부상되는 프루드 수(F_N) 0.596을 기점으로 선속증가에 따른 저항감소 효과를 확인하였다.

(2) 활주형선 선저에 스프레이 스트립을 가지는 선형이 가지지 않는 선형에 비해 프루드 수(F_N) 약 0.50이상의 선속에서는 약 3.0~5.0%의 저항감소율과 전반적으로 2.0~3.0% 정도의 소요마력 감소율을 보였다. 이는 활주형선에 부착된 스프레이 스트립이 고속 항주시 선저로부터 선측으로 유체흐름의 분리현상(Flow separation)을 유도하여 스프레이저항과 조파저항을 감소시켰고, 또한, 선수로 유입되는 물을 선측 바깥쪽 아래로 향하게 하여 에너지를 수평으로 분산시켜 양력의 발생에 따른 선저의 침수표면적이 작아지는 항주자세로 되어 마찰저항 감소효과도 발생한 것으로 판단된다. 이로 미루어 보아 스프레이 스트립(Spray strip) 부착 선형이 가지지

않는 선형보다 고속항주시 저항감소에 따른 속도증가와 연비 절감 등의 경제성이 우수한 선형임을 확인하였다.

(3) 파형관측 결과, 스프레이 스트립 부착 활주형선의 선 수부 8번 스테이션 부근에서의 물보라 파형의 감소와 선미부 파형현상인 트랜섬 후부 사각추 형상의 파형도 현저하지는 않지만 스프레이 스트립 부착 활주형선이 조금 더 부드럽고 낮게 형성되어 저항감소 결과로 나타난 것으로 판단된다.

(4) 소형 활주형선의 고속 운항시 선저 좌우측 선체길이방향으로 부착되는 스프레이 스트립의 저항감소 효과를 모형시험을 통해 확인함으로써, 향후, 활주형선의 고속성능 향상을 위한 초기 설계단계에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 경남발전연구원(2007), “남해안시대 해양레저스포츠 활성화 기본구상”, 경남발전연구원 연구보고서, pp.122-135.
- [2] 박충환(2008), “실해역 모형시험기법을 이용한 소형 고속 활주형선의 선형개발에 관한 연구”, 한국해양대학교 박사 학위논문.
- [3] 박충환(2004), “활주형선의 Spray Strip 부착에 따른 저항 특성연구”, 대한조선학회 춘계학술대회논문집, pp.60-65.
- [4] 서관희, 이정관, 서영남, 선지홍, 허재경(2005), “60M급 반 활주 고속정의 선형설계와 부가물 부착에 따른 저항성능 고찰”, 대한조선학회 추계학술논문집, pp.869-875.
- [5] 이춘주, 반석호(2003), “반활주형 선형의 저항특성 연구”, 대한조선학회 추계학술대회논문집, pp.211-215.
- [6] 丸尾 孟(1957), “滑走艇の流體力學的研究(第2報)”, 造船協會 論文集, p.92.
- [7] Hori, T.(1990), “Model Tests of Stepless and Stepped Planning Boats with Deep-V Hull”, PACON.
- [8] Larsson, R. and Eliasddon, E.(2007). “principal of yacht design(third edidion)”, Mc Graw Hill, pp.203-207
- [9] Katayama, T. and 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 Architectects, Japan, No.225, pp.141-148.
- [10] Savitsky, D.(1981), “Status of Hydrodynamic Technology as Related to Model Tests of High-Speed Marine Vehicles”, DTNSRDC-81/026, 2p.

원고접수일 : 2008년 7월 28일
 심사완료일 : 2008년 11월 17일
 원고채택일 : 2008년 12월 2일