

실 해상모형시험을 이용한 선미 보조동체 장착 Stepped hull 선형의 횡동요 및 저항특성 비교 연구

† 조효제* · 손경호* · 박충환**

* 한국해양대학교 조선해양시스템공학과, **중소조선연구원

A Study on the Comparison of the Rolling and Resistance Performance for the Stepped-Hull with attached a Stern-body by using Sea Model-Test

† Hyo-Jae Jo* · Kyoung-Ho Sohn* · Chung-Hwan Park**

**Department of Naval Architecture & Ocean System Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

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

요약 : 선박의 선형시험설비로는 회류수조, 예인수조 등이 있으나, 소형 고속선박은 실선 대응 모형선의 축적비가 대형선에 비해 매우 작고 수조의 유속과 예인전차의 속도제한으로 고속선의 설계선속까지의 성능검증에는 한계로 작용하였다. 이에, 고속 활주형선의 선형시험·검증을 위해 실 해상모형시험기법을 정립하였다. 한편, 고속 Stepped Hull선형은 일체형 활주형 선저선형에 비하여 고속 주행시 공기공급에 따른 접수면 감소로 인하여 저항감소에 따른 속도향상과 연비절감 효과가 있으나, 선미 좌우측의 접수면 감소에 따른 횡동요 안정성이 감소되는 경향이 있다. 이에, 본 논문에서는 고속 선형시험이 가능한 해상모형시험을 이용하여 선미 보조동체 장착 유무에 따른 고속 Stepped Hull 선형의 횡동요 및 저항특성을 비교, 분석한 것이다.

핵심어 : 활주형선, 선미 보조동체, Stepped Hull 선형, 해상모형시험법, 횡동요, 저항특성,

Abstract : There are the C.W.C and Towing Tank to the model-test equipments of the boat. A model testing of the high speed boat have a difficult in the performance verification because of very a small the scale-ratio of the ship-model and restricted by flow-velocity of the C.W.C and X-carriage velocity of the T.T. In general, the stepped hull boat is a high of fuel-efficiency because of the resistance reduction by a small wetted surface-area in correspond without stepped-hull boat. But It have a tendency to be bad the rolling performance by reduced stern wetted-area. In this paper, the high speed stepped planning-boats with & without attached a stern body were performed to compare the effect of resistance and rolling performance by using sea model-test method.

Key words : Planning craft, Stern sub-body, Stepped hull, Sea model-test, Rolling, Resistance performance

1. 서 론

고속 Stepped Hull 활주형 선형은 선저 step으로 공기가 유입되어 선저접수면 감소로 인한 마찰저항이 감소되어 속도증가와 연비절감 효과가 있지만, 고속 주행시에는 선미로 갈수록 좌우 선저부의 접수면이 소실되어 횡동요 운동응답이 저하되는 특성을 가지고 있다(박과 장, 2007; Hori, 1990). 한편, 소형 고속선박은 실선 대응 모형선의 축적비가 대형선에 비해 매우 작아 국내 회류수조 유속과 예인수조 전차속도의 제한에 따른 고속선의 선형시험·검증은 한계로 작용하였다(Savitsky, 1981). 이에 본 논문에서는 고속선의 선형시험·검증이 가능할 수 있는 실 해상모형시험 기법을 정립하여 고속 Stepped Hull선형의 단점으로 지적된 고속 운항시의 횡동요 감소를 가

지는 고속 Stepped Hull 활주형 선형의 선미 보조동체(stern body) 장착 유무에 따른 정성적인 횡동요 및 저항특성 비교, 분석을 위해 동일배수량에서의 해상모형시험을 수행하였다.

2. 시험설비 및 대상모형

2.1 시험설비

본 시험에 사용된 해상모형시험은 예인선에서 모형선을 예인할 수 있도록 모형선 장착 치구(Guide)를 제작하였으며, 치구(Guide)는 각 모형선의 시험할수에 적격하도록 상하위치 조정이 가능할 수 있도록 하였고, 또한, 예인선으로부터 발생하는 조류가 모형선의 선수부분과 측면부분에 전혀 영향을 받지 않거나, 최소화하기 위하여 수평 이송으로 위치를 임의로 조

† 교신저자 : 조효제(정회원), hjo@hhu.ac.kr 051)410-4302

** 정회원, chpark@rims.re.kr 016)549-9781

* 종신회원, sohnkh@hhu.ac.kr 051)410-4303

정할 수 있도록 설계 제작하였다. 해상모형시험시스템의 구성 설비는 Table 1에 정리하였고, 해상모형시험시스템의 평면도, 정면도 측면도는 Fig. 1~Fig. 3에 나타내었다.

Table 1 Equipments of sea model-test system

구 분	용도 및 기능
모형 설치용 치구	모형선 장착
Resistance Load Cell (50N)	저항시험계측
Gyro Sensor with S/W (rolling, pitching, yawing)	동요시험계측
DC Strain Amplifier for Load Cell	자료획득시스템
DAS(Data Aquisition System)Program	
DAQ Card	
Inverter (DC12V -> AC220V)	
Battery 등	

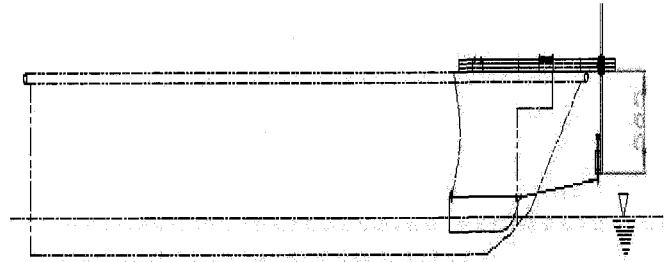


Fig. 3 Elevation of sea model-test system

2.2 대상모형

고속 운항시의 횡동요 감소형 고속 Stepped hull선형의 선형시험·검증을 위하여 해상 모형시험에 사용된 대상선형은 선미 보조동체(Stern body)적용 유무에 따른 고속 Stepped Hull 레저보트 활주형 선형으로서 실선 대응 모형선의 축척비 (Scale Ratio)는 선도(Lines)를 바탕으로 실선과 모형선의 전장길이(Loa)를 고려하여 1/8.82 비율로 하였으며, 모형선 재질은 해상시험조건인 모형선 배수량, 흡수 등의 변화를 고려하여 FRP와 목재로서 가볍게 제작하였다. 또한, 보조 Stern Planning 동체 적용 유무에 따른 고속 레저보트 모형선의 시험선속 범위는 연구원 보유 회류수조의 시험유속 한계를 벗어날 수 있는 고속영역인 프루드수(Fn(▽)) 3.0~7.2의 범위에서 수행되었다.

시험대상 고속 Stepped Hull 선형은 FRP재질의 고속 활주형 선형으로서 설계선속은 50knot이며, 항해시 충분한 복원성, 내파성, 적절한 트림을 유지하고 기민한 조종성을 갖도록 설계되었고, 주요 선형특징으로는 고속상태에서의 파랑중 충격하중 감소를 위하여 직선 단면형상(Straight body)을 채택하였다(丸尾, 1957). 또한, 선저로부터 박리를 이용하여 충격하중을 감소시키며 횡동요의 운동성능을 개선시키기 위하여 스프레이 스트립(Spray Strip) 부가물을 선저 좌·우현에 각각 2개씩 부착하였다(이 와 반, 2003; 박, 2004).

해상 모형시험에 사용된 횡동요 감소형 선미 보조동체 장착 활주형(W/ Stern Body)선형과 선미 보조동체가 없는(W/O Stern Body)활주형 선형의 실선 대응 모형선의 주요제원을 Table 2에 정리하였고, 시험대상 선형의 선도(Lines)를 Fig. 4~Fig. 5에 나타내었으며, 선미 보조동체 유무 모형선의 선수·선미형상의 모습을 Fig. 6에 보였다.

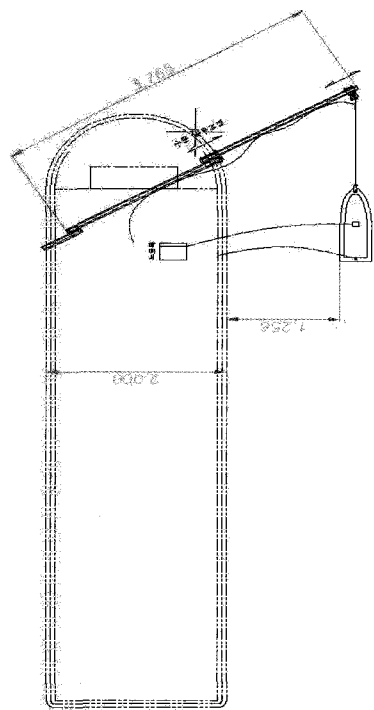


Fig. 1 Plan of sea model-test system

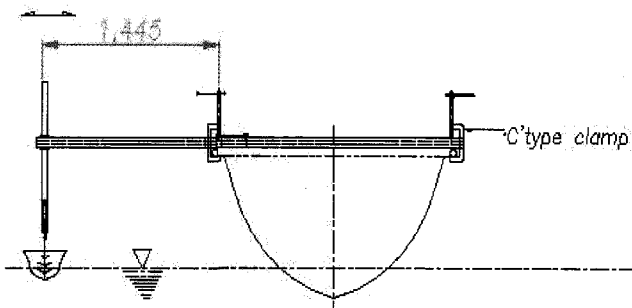


Fig. 2 Front elevation of sea model-test system

Table 2 Principal particulars

선 형	(W/O Stern sub-body)		(W/Stern sub-body)	
	실 선	모형선	실 선	모형선
기 호				
Loa (m)	8.820	1.000	8.820	1.000
Lwl (m)	6.885	0.781	6.885	0.781
B (m)	3.260	0.370	3.260	0.370
D (m)	1.100	0.124	1.100	0.124
d(m)	0.529	0.060	0.534	0.0605
S (m ²)	16.570	0.213	16.70	0.2147
▽ (m ³)	2.7925	0.00407	2.7925	0.00407

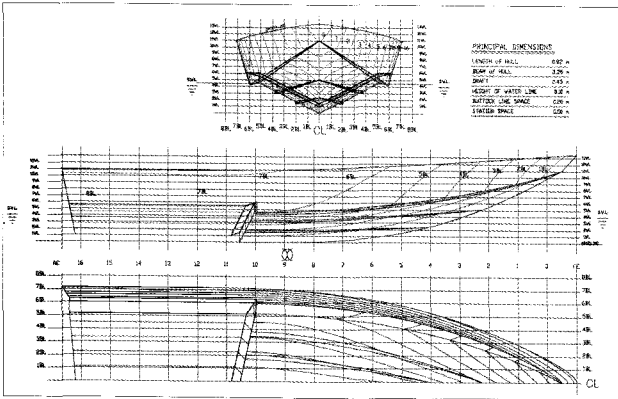


Fig. 4 Lines of the stepped hull without stern-body

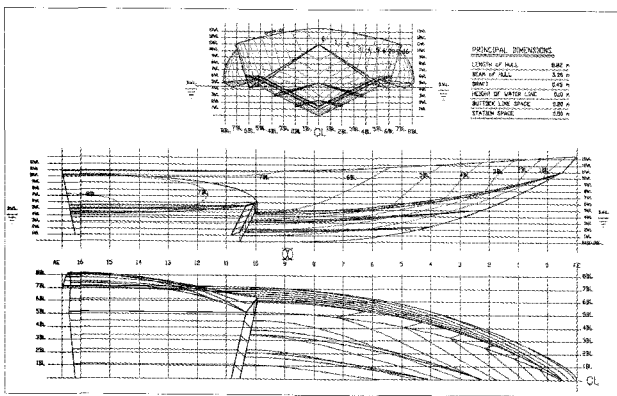


Fig. 5 Lines of the stepped hull with stern-body

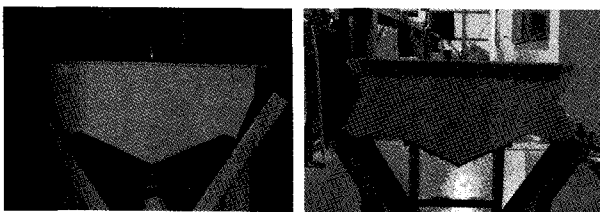


Fig. 6 Model of the stepped hull with & without stern-body

3. 해상모형시험

3.1 시험방법 및 해석

시험대상 8m급 횡동요 감소형 고속 Stepped Hull 레이저보트의 저항시험과 횡동요 시험은 해상모형시험법을 이용하였다. 해상모형시험을 통한 대상선의 저항시험은 예인선에 취부된 가이드(Guide)와 모형선의 선수 맨 앞쪽에 예인줄로 연결하여 예인줄 사이에 저항센서(Resistance load cell)를 부착시켰고, 모형선의 선수회전(Yaw)과 좌우(Sway)가 자유로운 상태에서 예인선의 선속에 따른 모형선의 저항치를 측정하였으며, 횡동

요 시험은 자이로센서(Gyro Sensor)를 모형선의 길이방향 중심(LCG)위치와 세로방향 중심(VCG)위치에 고정시켜 예인선의 선속에 따른 횡동요각(rolling degree)을 측정(Katayama, 1996)하였다.

시험결과치의 정도향상을 위해 예인선에 취부된 가이드(Guide) 상하위치 조정하여 모형선의 선수 맨 앞쪽에 예인줄과 수평이 되도록 하였으며, 예인선의 선수선저에서 일으키는 조파가 모형선의 선수부분과 선측부분에 미치는 영향을 제거하기 위하여 가이드(Guide)의 수평이송을 통하여 모형선의 이동위치를 조정하였다. 또한, 실제 해상에서의 모형선의 수선상부의 공기저항을 영향을 최소화하기 위하여 비닐 랩을 이용하여 각 모형선의 상부를 완전히 기밀하였으며, 모형선의 홀수 조질은 추(Weight)를 사용하여 모형시험중에도 트림변화가 없도록 테이프로 고정시켜 8m급 고속 Stepped Hull선형의 선미동체(Stern body)장착 유무에 따른 레이저보트 모형선 2척의 저항시험과 횡동요시험을 각각 수행하였다.

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

- Froude 해석법 ($C_{TS} = C_{RS} + C + C_A + C_{AA}$)
- 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)

3.2 시험 결과 및 고찰

저항시험 결과로서 측정된 동일배수량에서의 선미 보조동체가 없는(W/O Stern body) 고속 Stepped Hull 선형과 선미 보조동체 있는(W/ Stern body) 고속 Stepped Hull선형의 전저항계수(C_t)곡선은 선미 보조동체 장착(W/ Stern body)선형이 없는(W/O Stern body)선형에 비하여 프루드 수($F_n \nabla$) 6까지는 약간의 저항증가율을 보이다가 프루드 수($F_n \nabla$) 6에서는 거의 동일한 저항값을 가지다가 고속($F_n \nabla$: 6이상)으로 갈수록 저항 감소가 되는 경향을 보이고 있다.

Fig. 7은 프루드수($F_n \nabla$) 대응하는 보조동체 장착 유무에 따른 시험대상선의 전저항계수를 비교한 곡선이며, Fig. 8은 시험선속(V)에 따른 전저항계수를 비교한 곡선이다.

이에, 시험대상선의 유효마력(EHP)도 실선속력 20knot($F_n \nabla = 3.0$)~40knot ($F_n \nabla = 5.5$)사이에서는 선미 보조동체 장착(W/ Stern Body) 고속 Stepped Hull 선형이 장착하지 않은(W/O Stern Body)고속 Stepped Hull 선형에 비해 약 1.7~5.0% 정도의 소요마력 증가율을 보이다가, 선속 45knot ($F_n \nabla = 6.2$)부근에서는 두 선형이 거의 동일한 소요마력을 보이며, 선속 45knot(약 $F_n \nabla = 6.2$)를 기점에서 고속으로 갈수록 소요

마력 감소율이 계속되어 설계선속이 되는 52knot(약 $F_n \nabla = 7.2$)부근에서는 약 11% 정도의 소요마력 감소율을 나타내고 있다.

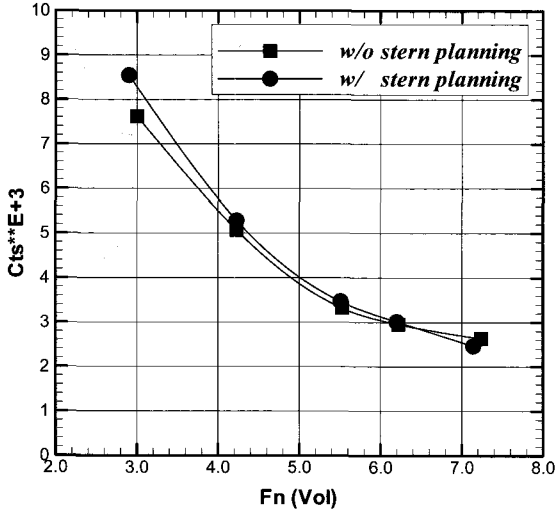


Fig. 7 Comparison of Cts for the stepped hull ($F_n(\nabla)$)

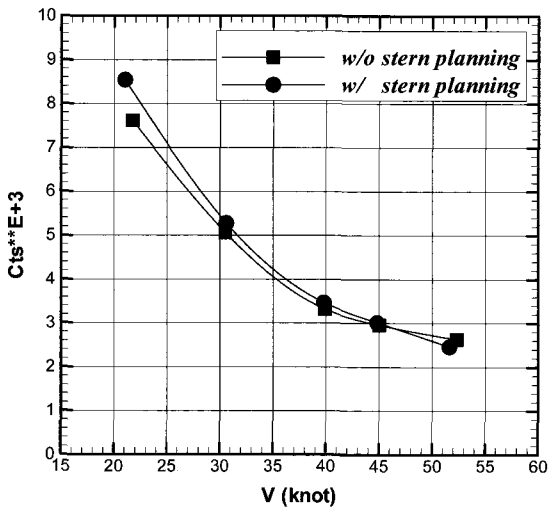


Fig. 8 Comparison of Cts for the stepped hull (V)

이는, 일반적으로 고속 활주형 선형의 선수선저에 Step을 설치하게 되면 고속 활주(Planning) 주행상태에서 공기유입에 따른 선저부분의 공동현상으로 선저접수면(침수표면적)이 작아져 마찰저항이 감소에 따라 동일마력에서의 속도증가와 연비절감 효과 발생시키게 된다(장, 2002; 신, 2005). 한편, 실선속력 20knot~40knot에서는 고속 Stepped Hull 선형이 선미 보조동체 장착에 따른 침수 표면적 증가로 보조동체가 장착되지 않는(W/O Stern Body)선형에 비해 전저항과 소요마력 증가 보이지만, 선속 45knot 이상의 고속 Planning 주행상태에서는 횡동요 감소를 위해 장착한 선미 Planning 보조동체가 오히려 최적의 선수 Angle of attack 및 주행 트림각을 유지시켜 줌으로써 접수면(침수표면적) 감소에 따른 마찰저항과

조파저항 감소에 따른 소요마력을 감소시킨 것으로 사료된다.

Fig. 9는 프루드수($F_n \nabla$)에 대응하는 보조동체 장착 유무에 따른 시험대상선의 유효마력(EHP)을 비교한 곡선이며, Fig. 10은 시험선속(V)에 따른 유효마력(EHP)을 비교한 곡선이다.

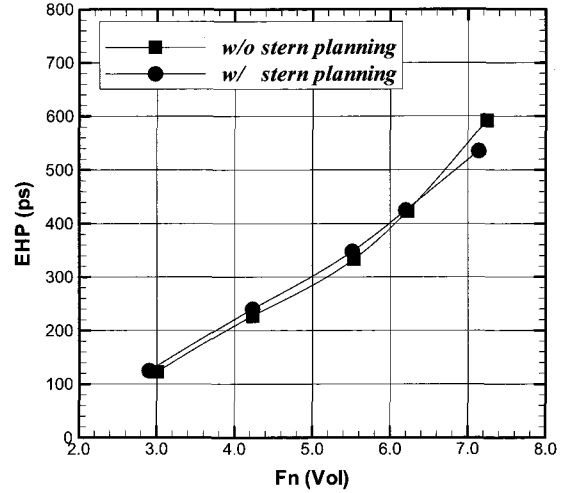


Fig. 9 Comparison of EHP for the stepped hull ($F_n(\nabla)$)

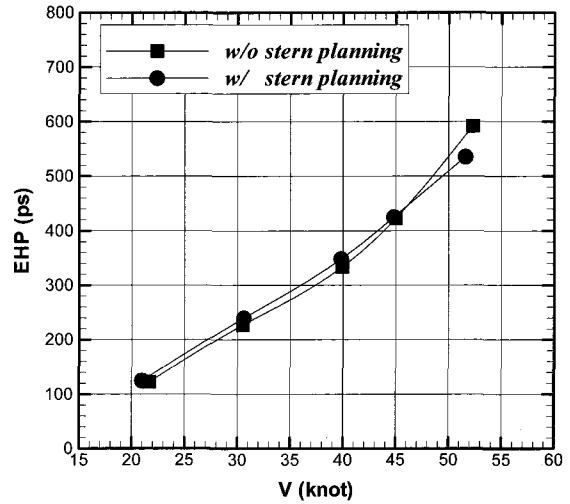


Fig. 10 Comparison of EHP for the stepped hull (V)

다음으로 고속 Stepped Hull 선형의 보조동체 장착 유무에 따른 횡동요 성능비교를 위하여 3자유도 운동이 가능한 자이로센서(Gyro sensor)를 사용하여 해상모형시험을 수행하였다. 시험대상선의 선속별로 계속한 시간(Time history)별 횡동요 각(Rolling degree)곡선은 선미 보조동체 장착(W/Stern body) 선형이 없는(W/O Stern body)선형에 비해 선속 40knot, 설계선속 근처인 52knot에서 횡동요 각(Rolling degree)이 현저하게 감소하는 경향을 보이고 있다. Fig. 11~Fig. 14는 시간에 따른 보조동체 장착 유무 시험대상선의 선속 40kt, 52kt에서의 횡동요각곡선이며, Fig. 15~Fig. 16는 보조동체 장착 유무 시험대상선의 해상모형시험 모습을 각각 나타낸 것이다.

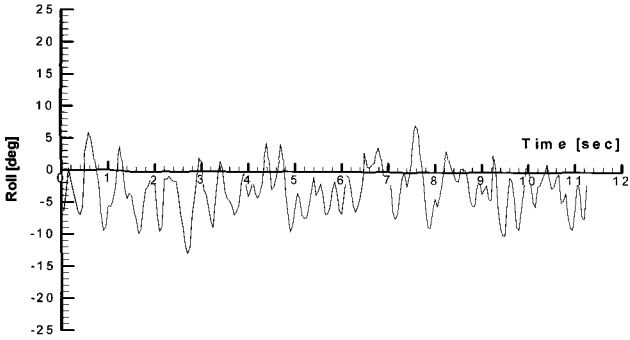


Fig. 11 Curve of rolling degree for the stepped hull without Stern body ($V \approx 40$ knot)

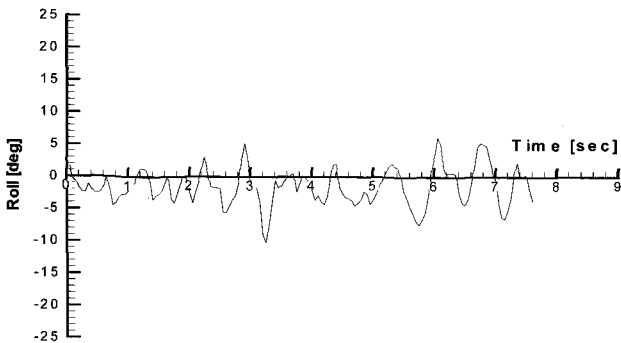


Fig. 12 Curve of rolling degree for the stepped hull with Stern body ($V \approx 40$ knot)

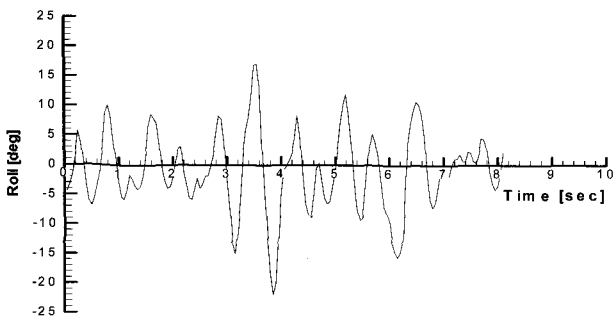


Fig. 13 Curve of rolling degree for the stepped hull without Stern body ($V \approx 52$ knot)

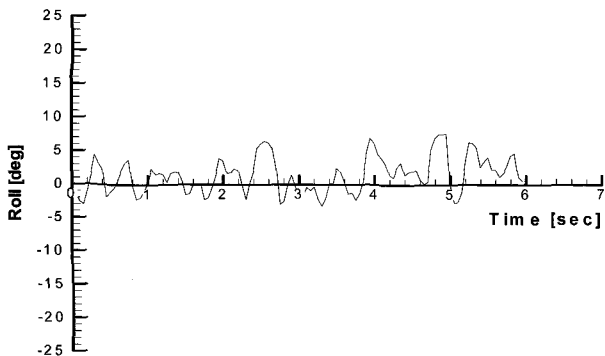


Fig. 14 Curve of rolling degree for the stepped hull with Stern body ($V \approx 52$ knot)

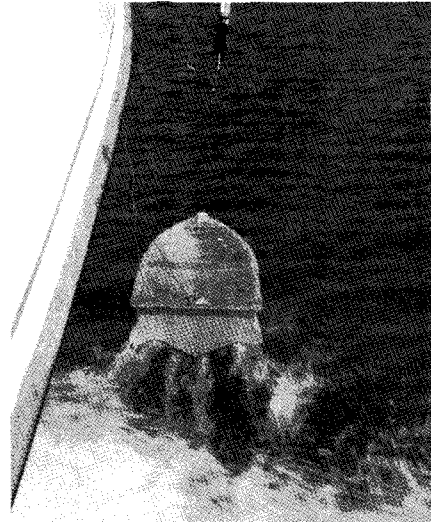


Fig. 15 Model test of stepped hull with Stern body ($F_n(\nabla): 7.14$)



Fig. 16 Model test of stepped hull without Stern body ($F_n(\nabla): 7.24$)

4. 결 론

본 논문에서는 7m급 고속 Stepped Hull 레저보트 활주형 선형의 선미 보조동체 장착 유무에 따른 저항특성 및 횡동요 감소 영향을 비교, 검토하기 위하여 동일 배수량에서 선미 보조동체 장착 유무에 따른 2척의 모형선을 대상으로 해상모형시험을 수행하였으며, 이로부터 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 소형 고속선박은 실선 대응 모형선의 축적비가 대형선에 비해 매우 작아 국내 회류수조 유속과 예인수조 전차속도의 제한에 따른 고속선의 선형시험은 한계로 작용하였다. 이에 프루드 수(F_n) 3.0 이상에서도 소형 고속선의 선형시험·검증이 가능할 수 있는 실 해상모형시험기법을 정립하였다.

(2) 다음으로 Stepped Hull선형의 단점으로 지적되어 온 고속 운항시의 횡동요 감소를 위해 시험대상 선미 보조동체 장착(W/ stern body)선형과 선미 보조동체 없는(W/O stern body)선형의 횡동요 및 저항특성의 정성적인 비교, 검토를 위하여 동일 배수량에서의 2척의 모형선을 대상으로 해상모형시험을 수행하였다.

(3) 시험결과, 유효마력(EHP)은 실선속력 40kt($F_n \nabla = 5.5$)까지는 선미 보조동체 장착 Stepped Hull선형이 없는 선형에 비해 약 1.7~5.0% 정도의 소요마력 증가율을 보이지만, 선속 45kt(약 $F_n \nabla = 6.2$)부터 소요마력이 감소되어 설계선속 52kt(약 $F_n \nabla = 7.2$)부근에서는 약 11% 정도의 소요마력 감소율을 나타내고 있다. 이는, 횡동요 감소를 위해 장착한 선미 보조동체가 오히려 최적의 선수 Angle of attack 및 주행 트림각을 유지시켰고, 선저 Step으로의 적정 공기유입으로 점수면을 작게 하여 마찰저항 감소에 따른 소요마력을 감소시킨 것으로 사료된다.

(4) 횡동요는 선미 보조동체 장착 선형이 없는 선형에 비해 시험선속에서 횡동요 각(Rolling degree)이 현저하게 감소되는 경향을 보여 횡동요 저감 운동특성이 매우 우수한 선형임을 확인하였다. 이는 선미 보조동체 장착 Stepped Hull선형이 선미측에서 M-Hull 기본형상을 하여 선속으로 파생되는 조파들을 선미에서 효과적으로 감쇠시켜 후미의 파고를 현저하게 낮추어 줌으로써 우수한 성능의 횡방향(Rolling) 운동응답 특성을 나타내는 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 해상 시험시험에서의 시험선의 항주자세 및 선수미 트림계측 등에 대한 시험방법 개선과 모형선 시험결과와의 실선확장시 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 저항 특성연구", 대한추계조선학회, pp.60-65.
- [2] 신정일(2005), "고속예인 시스템을 이용한 단을 가진 활주형선의 저항특성 고찰", 서울대학교 박사학위논문.
- [3] 이춘주, 반석호(2003), "반활주형 선형의 저항특성 연구", 대한추계조선학회, pp.211-215.
- [4] 장동원, 박충환 (2007), "7m급 고속 구난정의 Step개수에 따른 저항특성 연구", 한국항해항만학회 제31권 제1호, 춘계학술대회논문집, pp.41-43.
- [5] 장진호(2002), "공기공급법을 이용한 선박의 저항감소", 서울대학교 박사학위논문, pp.1-14.
- [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. et al.(1990), "Model Tests of Stepless and Stepped Planning Boats with Deep-V Hull", PACON.
- [8] 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.
- [9] Proceedings of the 18th ITTC(1990), "Report of the High-Speed Marine Vehicle Committee", pp.289-375.
- [10] Savitsky, D. (1981), "Status of Hydrodynamic Technology as Related to Model Tests of High-Speed Marine Vehicles", DTNSRDC-81/026, 2p.
- [11] 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 : 2007년 10월 9일

원고채택일 : 2007년 12월 14일