

디지털 목업 모델 기반 40ft 급 알루미늄 레저보트 설계

오대균*[†] · 이경우** · 이창우***

*, *** 목포해양대학교 해양시스템공학부, ** 목포해양대학교 대학원

Basic Design of 40ft Class Pleasure Boat based on Digital Mock-up

Dae-Kyun Oh*[†] · Kyung-Woo Lee** · Chang-Woo Lee***

*, *** Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

** Graduate School of Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 레저선박의 대형화와 고부가가치화로 인해 설계 요구조건은 점차 까다로워지고 있으며, 제작공정 또한 기존보다 복잡해지고 있다. 해외의 레저선박 제작업체들은 PLM 개념 기반 3차원 모델 설계시스템 구축을 통하여 이러한 환경을 극복하기 위해 노력하고 있다. 반면 국내의 경우 아직까지 2차원 도면 중심의 전통적인 레저선박 개발 프로세스에 머물고 있으며, 일부 3차원 모델 기반 설계시스템을 갖추기 위한 노력이 있었으나 이는 매우 초기단계에 속한다. 본 연구에서는 DMU 기술을 레저선박 설계 프로세스에 적용하기 위한 초기연구를 수행하였다. DMU 모델 중심으로 레저선박 설계를 수행함으로써 DMU 모델 기반 설계 프로세스를 정립하였고, 40ft급 알루미늄 레저보트 설계사례를 통해 그 효용성을 입증하였다.

핵심용어 : 레저보트 설계, 제품수명주기관리, 디지털 목업, 가상시제, 알루미늄 보트

Abstract : As leisure boats become large-scaled and high value-added, their design requirements gradually get more complicated and accordingly their manufacturing processes get more complicated than those of existing ones. Leisure boat builders overseas make efforts to overcome this circumstance by establishing a 3-D model-based design system which is based on the concept of PLM. On the other hand, Korean shipbuilders still remain in the development process of traditional leisure boats which are mainly based on 2-D drawings. There have been some efforts made to have the 3-D model-based design system; however, they belong to a very early stage. This study carried out initial research to apply DMU technology to the development process of leisure boats. It established the design process based on a DMU model and proved its usefulness through a case study on the design of 40-ft class aluminum leisure boats.

Key Words : Pleasure boat design, PLM(Product Lifecycle Management), Digital Mock-up, Digital Prototyping, Aluminum boat

1. 서 론

레저선박에 대한 수요가 증가함에 따라 개발 제품군이 다양해지고 있으며, 제작사 또한 이에 맞춰 대형화, 고부가 가치화된 제품을 내놓고 있다. 이에 따라 설계 요구사항은 점차 까다로워지고 있고, 제작공정 또한 기존보다 복잡해지고 있다.

이러한 환경을 극복하기 위하여 해외의 레저선박 제작업체들은 설계와 생산을 통합한 개발환경을 갖추기 위해 노력하고 있으며, 이를 통해 제조과정에서의 오류와 운용상의 오작을 최소화하고 궁극적으로 제품의 품질(성능) 저하를 설계단계에서 최소화 하고자 한다(Dassault Systems, 2008; 오대균, 2009).

국내 레저선박산업의 경우 제조공정 중심의 전통적인 개발 프로세스를 갖고 있으며, 설계과정 또한 승인요건을 갖추기 위한 최소한의 업무만 수행되고 있는 실정이다. 설계결과에 대한

검증 또한 모형시험이 거의 유일하며, 모형시험의 경우도 새로운 선형의 선박을 개발할 때에만 일부 수행되고 있다. 3차원 모델 기반 설계 시스템을 갖추기 위한 노력이 일부 있으나 이 또한 설계승인 규정 및 법규 요건을 맞추기 위한 2차원 도면출도 중심으로 적용되고 있다.

본 연구에서는 PLM(Product Lifecycle Management)의 요소기술 중의 하나인 디지털 목업(DMU : Digital Mock-Up) 기술을 레저선박 설계에 활용하고자 한다.

3차원 DMU 모델을 이용한 설계는 2차원 설계에 비하여 형상, 물성치 등의 제품특성을 손쉽게 적용할 수 있고, 이 데이터를 다양한 설계분야에 통합 적용할 수 있는 이점이 있다. 또한 제작과 생산공정의 시뮬레이션에 DMU 모델 데이터를 활용함으로써 설계검증의 효율과 정도를 높일 수 있다. 이러한 3차원 DMU 모델 기반 설계 프로세스는 자동차, 항공 및 일반 기계제조 분야에서 그 효용성이 이미 입증되었으며, 이들 중 선도기업들은 3차원 제품모델 중심으로 PLM 개념을 실현하기 위한 시

* 대표저자 : 종신회원, dkoh@mmu.ac.kr, 061-240-7318

스텝 구축 노력 중에 있다.

시제품을 만들 수 없는 조선산업의 특성상 DMU는 대형상선 개발을 중심으로 활용되어 오고 있다(이 등, 2004; Kim et al, 2007). 특히 수상함 및 잠수함 등 특수선의 경우 특수성능 요구 조건과 생존성을 동시에 만족해야 하는 복잡한 설계요건을 갖 추고 있어 건조공정 이전에 DMU 모델을 활용한 다양한 시뮬 레이션을 적용하고 있다(김 등, 2006; Oh et al, 2008).

본 연구에서는 DMU 기술을 레이저선박의 설계 프로세스에 적용하기 위한 초기연구를 수행하고자 한다. DMU 모델 중심으로 레이저선박 설계를 수행함으로써 DMU 모델 기반 설계프로세스를 정립하고 40ft급 알루미늄 레이저보트 설계사례를 통해 그 효용성을 입증하고자 한다. 이를 위해 설계선의 DMU 모델을 개발하고 이를 기반으로 주요제원 추정 및 성능검토를 수행하였다.

2. DMU 기반 설계 프로세스

2.1. 설계선의 정의

본 연구에서는 40ft급(12m급, 알루미늄선체) 레이저보트를 설계선으로 정의하였다. 일반적으로 40ft급 이상의 레이저보트의 경우 두 개 이상의 데크로 구성되어 있으며, 별도의 엔진룸이 존재하는 경우가 많다. 즉, 기존 선외기 타입의 소형 레이저보트 보다 설계고려 사항이 많고 제작과정 또한 상대적으로 복잡하여 DMU를 활용한 설계 대상으로 적합하다. Fig. 1은 40ft급 알루미늄 레이저보트 사례를 보이고 있으며, Table 1은 설계선의 초기 요구조건을 보이고 있다.



Fig. 1. 40 ft class pleasure boat.

Table 1. Initial requirements of design ship

	Item	Value
Dimension	L.O.A.	12.00 m
	Breadth	3.50 m
	Depth	2.20 m
	Draft	0.70 m
	Displacement	8~10 ton
Speed	Max. Speed	40 knot
	Service Speed	10~30 knot

2.2. DMU 모델 기반 설계 프로세스

설계 초기 요구조건을 바탕으로 선형설계 및 구조설계를 수행하였으며, 이 데이터를 바탕으로 선체(Hull structure) 모델을 구축하였다(Fig. 2). 2개의 데크(Deck)와 5개의 격벽(BHD)로 구성되어 있고 엔진룸을 포함하여 3개의 캐빈(cabin)으로 구성되어 있다. 추진계의 경우 Stern-drive 타입으로 계획하였으며, 최대속도를 감안하여 볼보사의 D4-260/DP(축마력 260 HP) 2기를 주엔진으로 선택하였다. 추진계 모델의 경우 볼보사의 엔진 카탈로그를 참조하여 모델링을 수행하였다. 전장계통 및 보기구 설계는 생략하였고, 경하중량의 많은 부분을 차지하는 캐노피(Canopy)의 경우 40ft급 레이저보트에 기 채택된 설계 데이터를 바탕으로 추정 모델링하였다.

선체 외판, 갑판, 격벽 그리고 기타 구조부재를 포함하는 선체는 알루미늄으로 정의하였고, 캐노피도의 재료도 알루미늄으로 가정하였다. 추진계의 대부분의 중량을 차지하는 엔진의 경우는 엔진 카탈로그에서 제시하는 물치치와 질점정보를 사용하였다.

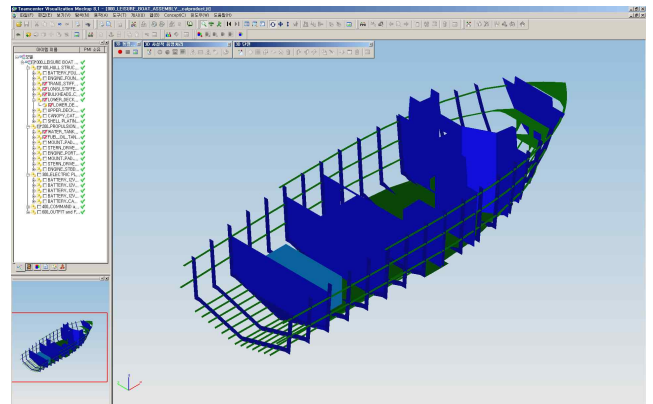


Fig. 2. Hull structure model of design ship.

연료탱크와 청수탱크 2개의 딥탱크(Deep tank)가 설치되어 있으며 재질과 용량은 각각 스틸 1000L와 알루미늄 500 L로 설계하였다. Fig. 3은 두 탱크의 위치와 사양을 보이고 있다.

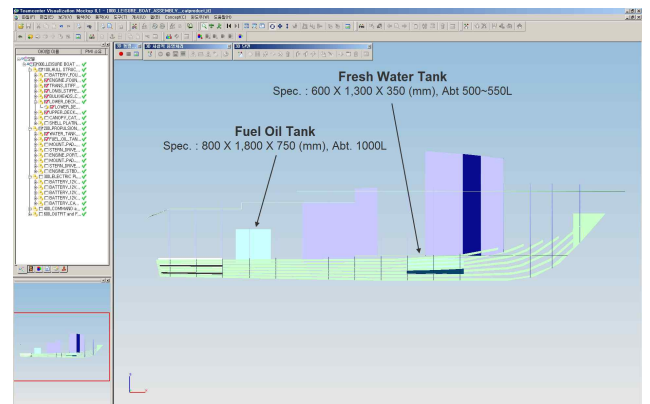


Fig. 3. Position and specification of deep tanks.

앞서 기술한 방법론에 기초하여 설계선의 DMU 모델을 구축하였으며(Fig. 4), 구축된 DMU 모델 데이터를 중심으로 주요제원 상세추정 및 저항·추진성능 추정을 수행하였다. Fig. 5는 사례로 구축된 레저보트 DMU 모델 기반 설계 프로세스를 보이고 있다.

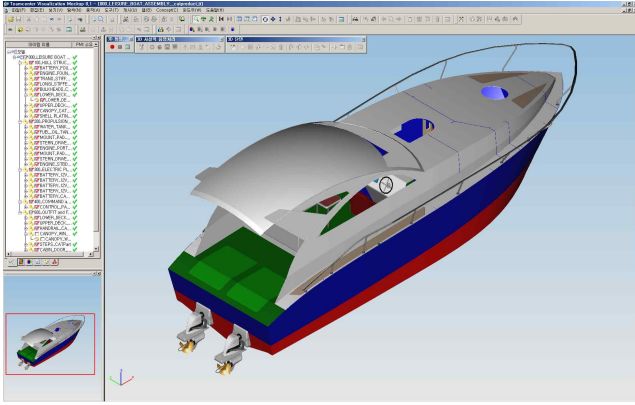


Fig. 4. Digital mock-up model of design ship.

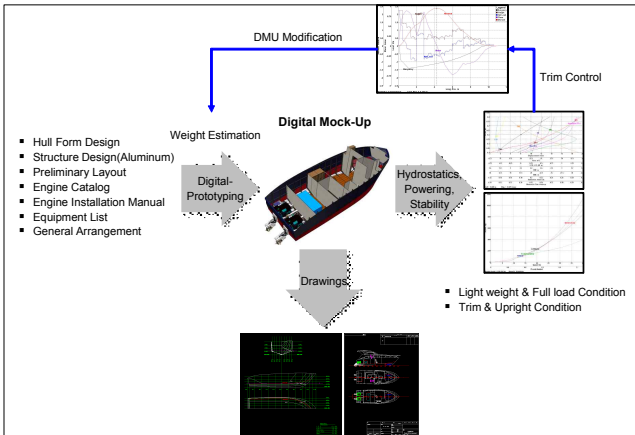


Fig. 5. Design process of leisure boat based on DMU model.

DMU 모델 구축에는 Dassault Systems사의 CATIA를, DMU 모델 관리도구로는 SIEMENS사의 Teamcenter Vis Mockup을, 선박계산 및 저항·추진성능 추정은 Formsys사의 Maxsurf Hydromax와 HullSpeed를 이용하였다. 사례구축에 적용된 소프트웨어 패키지 간의 데이터 교환은 CAD 중립 데이터 포맷인 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)를 이용하였다.

2.3. 주요제원 결정 및 성능검토 방안

구축된 DMU 모델 데이터를 활용하여 선박계산 및 성능검토를 수행하였으며, 그 결과를 다시 DMU 모델에 반영하여 재검토함으로써 설계선의 최종제원을 결정하였다.

1) 주요제원 추정

주요제원 추정은 크게 3가지 조건에 대하여 수행하였으며 주

요 설계조건은 다음과 같다.

Case 1

- DMU 모델의 선형 설계선의 초기 요구조건을 적용하여 추정

Case 2

- DMU 모델의 형상, 중량 및 LCG(Longitudinal Center of Gravity) 정보를 적용하여 선박계산 수행

- Light weight 상태와 Full load 상태로 구분하여 추정

- 중량분포에 따른 배수량 상태(Trim condition) 고려

Case 3

- DMU 모델의 탱크위치 조정을 통한 평형상태(Almost upright condition)에 대하여 선박계산 수행

- Light weight 상태와 Full load 상태로 구분하여 추정

Light weight의 경우 DMU 모델의 재질 및 중량분포 정보를 이용하여 추정하였으며, 연료와 청수의 용량은 Full-condition 대비 10%만 고려하였다. Full load 상태의 경우 연료와 청수를 100% 고려하였고 탑승인원을 최대 10명(700 kgf)으로 가정하였다. 탑승인원의 배치는 최대인 경우 조종석 1명, Upper-deck 응접실 3명, Main-cabin 6명으로 가정하였고 최소의 경우 조종인원 1명과 보조인원 1명으로 가정하였다.

Case 3 주요제원 추정 결과 중 Full load 상태를 기준으로 hull 수를 재추정하여 설계선의 최종제원을 정의하였다.

2) 성능추정

성능추정의 경우도 주요제원 추정 설계조건과 마찬가지로 Case 1, Case 2, Case 3에 대하여 수행하였으며, 복원성능 평가는 최종제원에 대해서만 수행하였다.

3. 선박계산 및 주요제원 정의

3.1. 주요제원 추정

1) Case 1. 초기 설계조건 주요제원 추정

DMU 모델로부터 추출한 선형 모델에 초기 설계요구조건을 적용하여 유체정역학(Hydrostatics) 계산을 수행하였으며, 흘수 최대값인 0.7 m 상태에서 배수량 10.782 톤, C_p 0.826, C_B 0.471, LCB 4.344 m, VCB 0.472 m, LCF 4.471 m로 추정되었다. 이때 선체 길이방향의 원점은 트랜섬(Transom)과 기저선(Baseline)의 교차점으로 정의하였다.

2) Case 2. 배수량 상태에서의 주요제원 추정

DMU 모델의 선체 중량분포 정보를 바탕으로 배수량 상태(Trim condition)에서의 주요제원을 추정하였다. 이때 탑승인원의 분포, 배치와 뱃탱크의 상태에 따라 중량분포(Loading condition)를 달리하여 Light weight와 Full load 상태에서의 주요제원을 추정하였다. DMU 모델의 중량분포는 Light weight 상태에서 LCG 3534.9 mm, VCG 1210.6 mm, Full load 상태에서 LCG 3780.1 mm, VCG 1161.2 mm로 추정되었으며 각각의 상태에서

의 주요제원 추정치는 Table 2와 같았다.

3) Case 3. 트림 조정 후 주요제원 추정

Case 2의 주요제원 추정결과 약 2.2도의 트림각(Trim angle by stern)을 갖는 것으로 추정되었다. 딥탱크의 위치 조정을 통하여 트림을 조정하였으며 Case 2와 마찬가지로 Light weight와 Full load 상태에서의 주요제원을 추정하였다.

선체내부 배치에 따른 제한사항 내에서 탱크의 위치 조정을 하였으며(Fig. 6), 연료탱크(Fuel oil tank)를 엔진룸 격벽 부근까지 이동시키고 그 이후에는 청수탱크(Fresh water tank)의 이동을 통하여 트림을 조정하였다. 연료탱크의 경우 연료의 비중이 청수보다 약간 작으나 탱크의 용량면에서 청수탱크의 2배에 달하기 때문에 연료탱크를 최대한 선수부로 이동시켰다. 청수탱크의 경우 선수부 이동으로 인한 형상변화로 탱크 용량변화가 발생할 수 있으나, 선수부 형상에 맞춰 탱크 형상을 수정함으로써 용량변화를 최소화하였다.

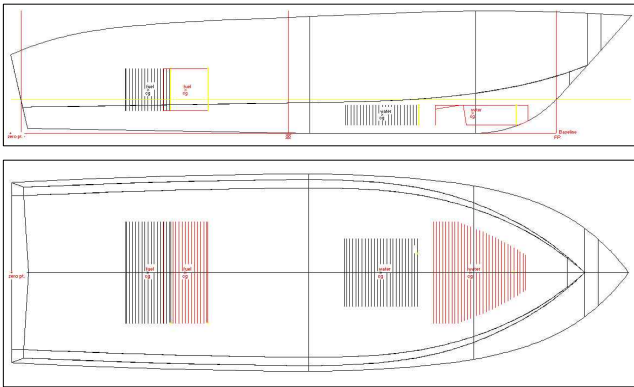


Fig. 6. Deep tanks repositioned.

Table 2. Hydrostatics calculation results of Case 2 on light weight and full load condition

	Light weight	Full load
Displacement (ton)	6.542	8.359
Draft at FP (m)	0.330	0.449
Draft at AP (m)	0.696	0.738
LWL (m)	9.200	9.352
Immersed Depth (m)	0.604	0.647
WL Beam (m)	3.283	3.308
Wetted area (m ²)	25.415	28.459
Waterplane area (m ²)	23.083	25.326
C _P	0.575	0.653
C _B	0.350	0.408
LCB from A _M (m)	-1.421	-1.164
VCB from DWL (m)	-0.179	-0.202
GZ (m)	-0.017	-0.005
LCF from A _M (m)	-0.975	-0.749
Trim angle (deg)	2.2	1.7

DMU 모델의 중량분포는 Light weight 상태에서 LCG 3606.8 mm, VCG 1210.4 mm, Full load 상태에서 LCG 3988.8 mm, VCG 1162.7 mm로 추정되었으며 각각의 상태에서의 주요제원 추정치는 Table 3과 같았다.

Table 3. Hydrostatics calculation results of Case 3 on light weight and full load condition

	Light weight	Full load
Displacement (ton)	6.542	8.359
Draft at FP (m)	0.349	0.514
Draft at AP (m)	0.682	0.689
LWL (m)	9.224	9.409
Immersed Depth (m)	0.590	0.599
WL Beam (m)	3.285	3.309
Wetted area (m ²)	25.618	28.995
Waterplane area (m ²)	23.306	25.911
C _P	0.596	0.653
C _B	0.357	0.408
LCB from A _M (m)	-1.379	-1.164
VCB from DWL (m)	-0.177	-0.202
GZ (m)	-0.017	-0.005
LCF from A _M (m)	-0.977	-0.749
Trim angle (deg)	2.0	1.0

3.2. 설계선의 주요제원

하중과 트림조건의 변화에 따른 선박계산을 수행하였으며, 이를 바탕으로 설계선의 주요제원을 Table 4와 같이 결정하였다. DMU 모델을 활용함으로써 초기 요구조건(Table 1)에 근거한 계산결과(Case 1) 대비 정확하고 구체적인 제원을 도출할 수 있었다.

Table 4. Principal particulars of design ship(Full load condition)

	Item	Value
Dimension	Displacement	8.359 ton
	L.O.A.	12.000 m
	L.W.L.	9.409 m
	Breadth	3.500 m
	Beam W.L.	3.309 m
	Depth	2.200 m
	Draft	0.613 m
	Waterplane area	25.911 m ²
	C _P	0.728
	C _B	0.437
	LCG	3.989 m
	VCG	1.163 m

3.3. Lines 및 G/A

정의된 주요제원을 바탕으로 DMU 모델로부터 선체선도(lines)와 일반배치도(GA : General Arrangement)를 출도 하였으며 그 결과는 아래그림 Fig. 7, Fig. 8과 같다. Fig. 9는 선체중량 분포를 고려한 설계선의 흘수상태 가시화 결과를 보이고 있다.

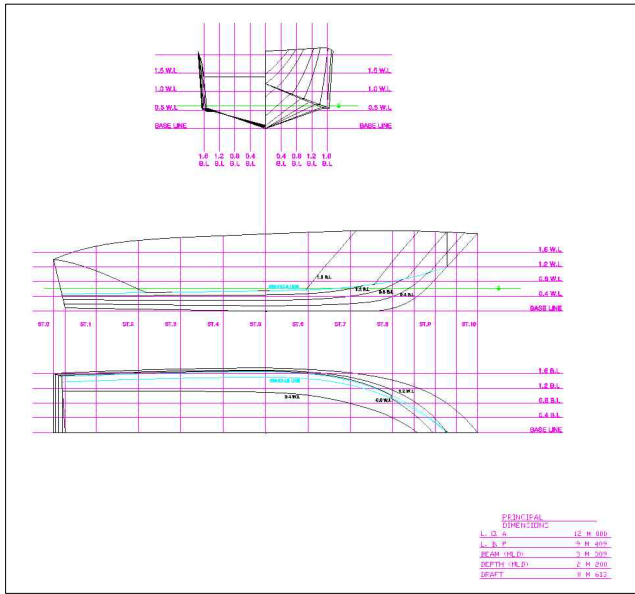


Fig. 7. Lines of design ship.

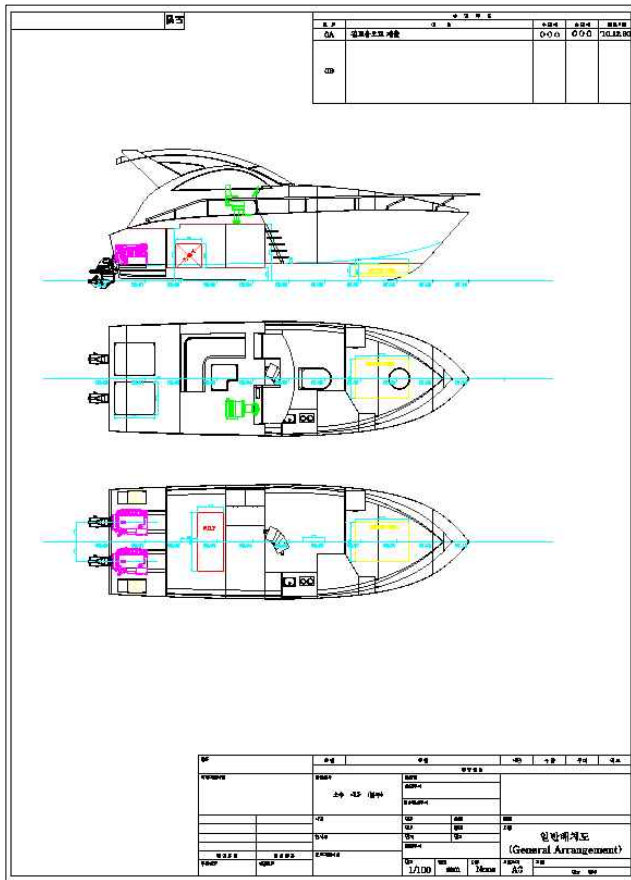


Fig. 8. General arrangement of design ship.



Fig. 9. Visualization of design ship considering trim condition.

4. 설계선의 성능검토

4.1. 성능검토 개요

앞서 정의한 주요제원을 바탕으로 DMU 모델을 활용하여 설계선의 성능을 검토하였다. 주요제원 정의결과를 바탕으로 복원성능을 평가하였으며, 앞서 제시한 성능검토 방안에 따라 저항 및 유효마력을 추정하였다. 저항추정 알고리즘은 2개의 활주선형 알고리즘(Savitsky-planing, Lahtiharju-hard chine)과 2개의 배수량형(Slender body, Holtrop) 알고리즘을 적용하였다.

1) 복원성능 평가

설계선의 흘수변화에 따른 배수량등곡선도를 작성하였고, 중량분포에 따른 복원성능을 평가하였다. Fig. 9는 작성된 배수량 등곡선도를 보이고 있다.

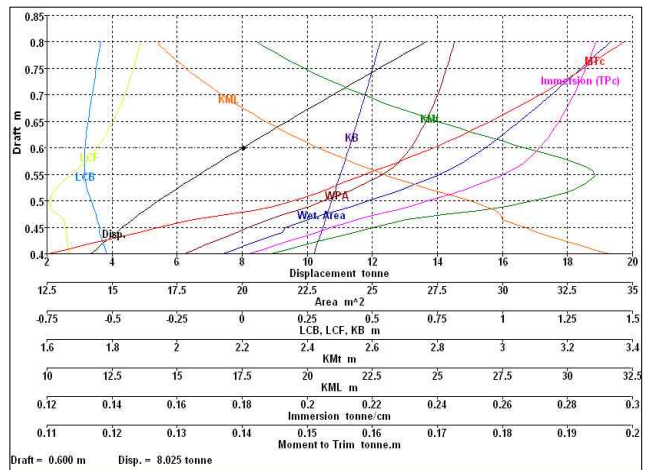


Fig. 9. Hydrostatic curve of design ship.

복원성능 평가는 레저선박에 대한 복원성능 규정이 없기 때문에 국토해양부의 여객선 및 어선 외의 선박 복원성 기준에 의거하여 복원성능을 검토하였다. Fig. 10은 설계선의 복원력 곡선을 보이고 있으며, 복원성능 검토결과 횡경사각 0°-30°까지 1.440(m·rad), 30°-40°까지 0.077(m·rad), 0°-40°까지 0.221(m·rad)로 각 구간별 복원력곡선 면적은 복원성능 판정기준에 모두 적합하였다.

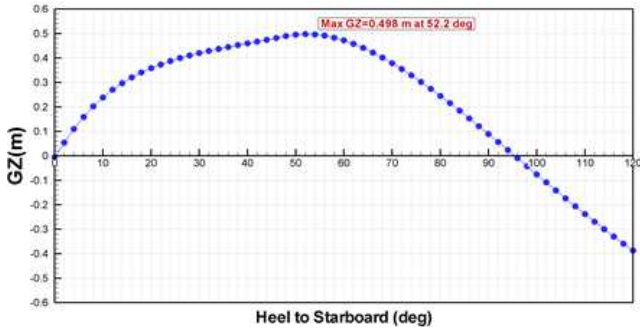


Fig. 10. GZ curve of design ship(Righting moment arm).

2) 저항 · 추진성능 추정

저항추정은 성능검토 방안에 따라 Case 1, Case 2, Case 3 및 최종제원에 대하여 수행하였다. 지면조건 상 각 상태에 따른 저항과 유효마력 추정결과는 생략하였으며, 설계선의 서비스 속도에 해당되는 추정결과를 Table 5, Table 6, Table 7과 같이 정리하였다.

저항추정치는 알고리즘 유효 추정범위에 맞춰 정리하였으며, Slender Body 알고리즘의 경우 길이 Fn가 1 이하(설계선 선속 20노트 이하), Slenderness ratio 4-5 이상의 경우에 추정이 유효하며, Savitsky(Planing) 알고리즘의 경우 폭 Fn가 1.0 이상(설계선 선속 12노트 이상)의 고속 활주상태에 적합하고, Lahtiharju(Hard chine) 알고리즘의 경우 부피 Fn이 1.5 이상(설계선 선속 20노트 이상)에서 추정이 유효하다.

Table 5. Slender Body algorithm, Resistance estimation on Case 2, 3

	Light weight		Full load	
	Case 2	Case 3	Case 2	Case 3
10 Knot	8.58 KN	8.33 KN	10.57 KN	10.08 KN
20 Knot	13.02 KN	12.90 KN	16.52 KN	16.60 KN
30 Knot	-	-	-	-

Table 6. Savitsky(Planing) algorithm, Resistance estimation on Case 2, 3

	Light weight		Full load	
	Case 2	Case 3	Case 2	Case 3
10 Knot	-	-	-	-
20 Knot	9.42 KN	9.29 KN	12.38 KN	11.86 KN
30 Knot	9.66 KN	9.69 KN	12.04 KN	12.11 KN

Table 7. Lahtiharju(Hard chine) algorithm, Resistance estimation at on Case 2, 3

	Light weight		Full load	
	Case 2	Case 3	Case 2	Case 3
10 Knot	-	-	-	-
20 Knot	12.27 KN	12.18 KN	16.48 KN	16.39 KN
30 Knot	18.23 KN	18.01 KN	24.09 KN	23.54 KN

Fig. 11과 Fig. 12는 설계선의 최종제원(Full load condition)에 대한 저항과 유효마력의 추정 결과를 보이고 있다.

4.2. 성능검토 결과

복원성능 평가 결과 관정기준에 모두 적합하였으며, 저항·추진성능 추정결과 방법론별로 차이는 보였으나 서비스 속도 내에서 계획한 엔진의 유효범위를 충족하였다.

서비스 속도 내에서 트림조정 후 소량의 저항감소 추세를 보였으나 이는 트림조정을 통한 효과로 단정 짓기는 힘들며, 최대 속도에서의 저항·유효마력 추정 결과 또한 활주상태에 따라 결과에 많은 차이를 보이므로 향후 모형실험을 통한 정확한 성능검토가 필요할 것이다.

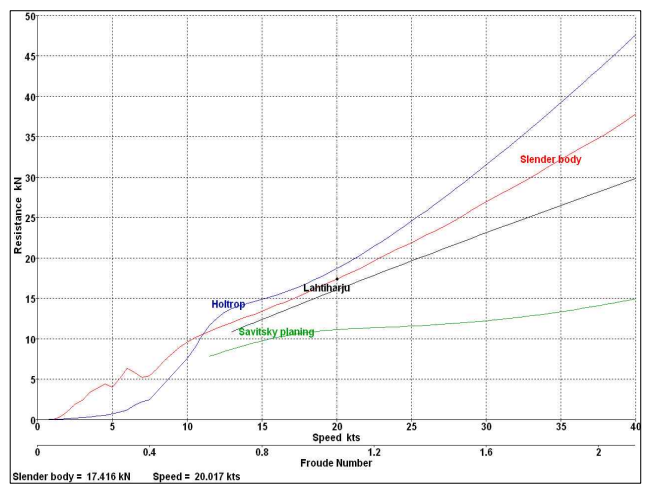


Fig. 11. Resistance prediction of design ship.

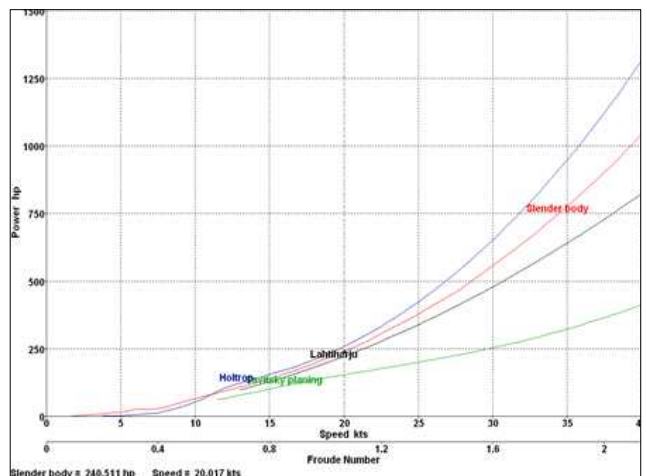


Fig. 12. EHP prediction of design ship

5. 결론

본 연구에서는 DMU 모델을 중심으로 40 ft 급 알루미늄 레저보트 설계를 수행하였다. 설계선의 DMU 모델을 중심으로 주요제원 정의와 성능추정을 수행함으로써, 기존의 2차원 도면 중

심의 설계 프로세스를 개선하고자 하였다.

반복설계가 많은 선박설계 프로세스 특성 상 설계 결과가 재 반영된 DMU 모델을 활용하여 설계를 진행함으로써 기존보다 효과적이고 체계적인 설계 프로세스를 진행할 수 있었다. DMU 모델을 활용하여 시뮬레이션을 수행한 결과 또한 기존 설계 프로세스에서 얻을 수 있는 결과보다 구체적이었으며, 기본설계 결과로써 3차원 DMU 모델을 구축함으로써 개발제품을 제작 전에 검토할 수 있는 디지털 폼핑의 기회도 확보할 수 있었다.

향후 선박안전법과 레저선박 구조기준 및 검사지침 등 레저 선박의 설계와 제작에 관련된 법규 및 지침에 대한 추가분석이 필요하며 이에 기반한 레저선박 DMU 구축 방법론에 대한 연구를 진행할 예정이다. 또한 DMU 모델의 활용범위를 설계 전 프로세스에 확대 적용하기 위해서는 레저선박 제품모델 개발에 대한 연구와 그에 기반한 설계·생산시스템 연구도 추가적으로 검토되어야 하겠다.

원고접수일 : 2011년 04월 28일

원고수정일 : 2011년 08월 08일 (1차)

: 2011년 09월 08일 (2차)

게재확정일 : 2011년 09월 22일

사 사

본 연구는 한국산업단지공단에서 시행한 지식산업 집적 활성화사업 연구과제인 “레저선박 제작을 위한 가상 설계 검증기술 개발 및 시제품 제작”의 지원으로 이루어진 연구결과의 일부를 밝히며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김태환, 전상후, 신동목(2006), 잠수함 개념 설계를 위한 디지털 목업 개발, 한국해양공학회지, 제23권, 제1호, pp. 152-157
- [2] 오대균(2009), 목포해양대학교 해양레저장비개발인력양성사업단, 레저선박 설계·생산 효율 향상을 위한 PLM과 디지털 가상생산 요소 기술. pp. 73-76.
- [3] 이대훈, 유재문, 김병문, 김명훈, 양영훈, 이선영(2004), 소형 안강망 어선의 선형 개량 및 3차원 DMU 구현, 대한조선학회 학술대회논문집, pp. 1-5.
- [4] Dassault Systems(2008), CATIA for Yacht E-seminar, pp. 7-12.
- [5] Kim, W. D. J. H. Nam and J. Y. Park(2007), A Digital Mock-up System for Construction of Product Information Model in Shipbuilding Process. Journal of Ship Production, Vol. 23, No. 1, pp. 7-16.
- [6] Oh, D. K., Y. H. Jeong, Y. G. Kim, J. G. Shin, Y. H. Yeo and C. H. Ryu(2008), Development of Product Model Management System for Naval Shipbuilding. Journal of Ship Production, Vol. 24, No. 2. pp. 82-91.