

실적 함정의 중량추정 분석 연구

김종철^{*,1)} · 고용석¹⁾ · 김태훈²⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제6기술연구본부

²⁾ 해군 전력분석시험평가단 함정기술처

A Study on the Analysis of the Weight Estimation of Built Naval Ships

Jongchul Kim^{*,1)} · Youngseok Ko¹⁾ · Taehoon Kim²⁾

¹⁾ The 6th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

²⁾ Naval Engineering Division, Naval Force Analysis, Testing & Evaluation Group, Navy, Korea

(Received 11 August 2015 / Revised 27 April 2016 / Accepted 22 July 2016)

ABSTRACT

In this study, the estimating weight data of eight leading ships of Korea navy were processed by comparing with the final weight data of their incline test results statistically, and are analyzed as follows;

The maximum criteria of the weight margins of Korea naval ship in the preliminary and detailed design phases seem to be appropriate values, but the minimum criteria would be advisable to update more reasonable values. And, the limitation that the acceptable deviation of lightship weight should be 10 % of the lightship weight on a naval ship's ROC(Required Operational Capabilities) is recommended to be prohibited, because it comes from the weight estimation which has considerable uncertainty and it may also drop off design flexibility. Finally, the SWBS(Ship Work Breakdown System) groups which have larger deviation values in the estimating weight of naval ships are necessary to improve their accuracies, and to upgrade their weight database continuously.

Key Words : Naval Ship Weight(함정중량), Weight Margin(중량여유), Naval Ship Design(함정설계), Weight Estimation(중량추정), Design Margin(설계 여유)

1. 서론

함정 설계 및 건조의 획득사업에 있어서 함정 중량

에 대한 통제 및 관리는 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 이는 함정 중량이 함정의 제원을 특징하는 가장 기본적인 항목이면서 함정 안정성, 추진성능, 내파성능 등에 영향을 미치는 주요한 요소이기 때문이다. 함정 중량은 일반적으로 요구조건을 기반하여 설계과정을 거치면서 점점 구체화되는 것으로, 획득 전 단계에

* Corresponding author, E-mail: jckim@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

걸쳐 설계 목표를 충족할 수 있도록 철저히 관리되어야 한다^{1,2)}.

함정 설계 및 건조 단계에서 수행되는 중량 산출에는 예측, 계산, 실측 등의 수단을 사용함에 따라 이에 대한 불확실성을 고려하여야 하는데, 일반적으로 함정 설계 불확실성, 설계진행에 따른 미소한 변경 등을 반영하기 위하여 속력, 전력부하, 공간, 안정성 등과 함께 중량 요소에 대해 설계여유를 적용하고 있다³⁾.

미국 해군은 실적 함정의 획득과정 중 추정된 중량을 통계 처리하여 중량여유 기준을 수립하고 있으며, 함정 개발난이도에 따른 위험도별 적절한 중량여유를 설정하도록 관련 지침을 제공하고 있다. 유럽 국가는 함정설계에 있어서 미국과 다소 다르게 중량여유를 적용하고 있는데, 이들 일부 국가의 중량여유 범위는 미국에 비하여 상대적으로 작은 범위이며 설계과정 중 과도한 중량변화와 함정 운용수명 기간 중 탑재중량 증가를 인정하지 않고 있다⁴⁾.

한국 해군은 미국과 유사한 중량관리 규정을 조합설계 기준으로 설정하여 적용하고 있으며, 함정 건조비용 증대를 방지하기 위하여 대부분 수상함정의 작전운용성능에 경하중량을 제한하고 있다. 그러나 이는 함정 시스템의 통합 설계 관점에서 과도한 제한사항으로 작용하여 함정 설계 최적화에 장애요소가 될 가능성이 많은 실정이다^{5,6)}.

국내에서도 함정을 비롯한 선박 중량과 관련한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 최근에는 실적함정의 중량 추정을 분석하여 국내 함정 건조 시 적용하고 있는 중량 정책에 대한 개선방안을 제안하였으며⁷⁾, 실적 함정의 건조사례를 조사하여 함정 작전운용성능 상에 중량을 제한하는 것이 건조과정을 더 어렵게 하고 있는 현실을 지적하였다⁸⁾. 또한, 함정 설계단계별 중량증감 원인과 계통별 특성을 분석하여 효율적인 중량통제 개선안을 제시하였다⁹⁾.

본 연구에서는 1980년대 초 이후 한국 해군이 취역시킨 8개 초도함정을 대상으로 설계단계의 중량추정자료를 경사시험결과인 최종 중량과 비교하여 통계 분석하였으며, 설계단계별 중량추정에 따른 불확실성을 분석하고 조합기준에서 제시하고 있는 중량여유에 대한 적정성을 검토하였다. 또한, 수상 함정 획득 시 작전운용성능에서 요구하는 경하중량의 제한에 대한 타당성과 함정 시스템을 구성하는 계통별 중량추정 불확실성의 경향에 대해 분석하였다.

2. 함정설계 중량 추정

2.1 함정 중량

함정의 크기는 용적톤수를 사용하는 일반선박과 달리 중량과 거의 동일한 의미인 배수톤수를 사용한다. 이 배수톤수는 함정 중량과 부력의 균형 상태에 수상에 떠 있을 때 함정 형상 체적에 의한 부력측면을 강조한 용어로 중량과 동일한 톤수를 가진다고 할 수 있다. 일반적으로 함정 건조 완료상태의 각종 변동중량물을 탑재하지 않은 함 전체 중량을 경하중량 또는 경하배수톤수라고 한다. 이러한 함정의 크기를 나타내는 중량은 설계단계를 거치면서 Fig. 1과 같은 설계요소의 결정에 따라 점점 구체화되며, 함정 건조 후 경사시험을 통하여 최종적으로 확인된다. 따라서 함정 중량은 초기설계 단계에서부터 경사시험 직전까지 여러 차례의 추정을 통하여 점점 정확성 높은 값으로 변화하게 된다¹⁰⁾.

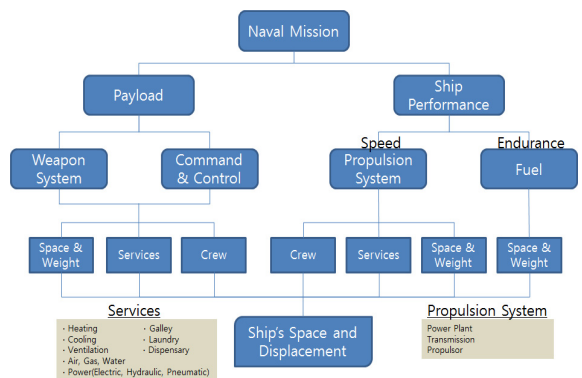


Fig. 1. Relationships between the naval mission and ship characteristics

2.2 설계단계별 중량추정

함정 중량은 함정의 크기를 결정하며, 복원성, 속력, 항해거리, 총수명주기 비용 등과 직접적인 연관성이 많아 함정의 목표 설계중량을 충족하도록 관리되어야 하기 때문에 함정 설계 초기부터 중량 통제지침을 수립하여 정기적으로 관리하여야 한다. 함정 구성품에 대한 중량추정 단위는 SWBS(Ship Work Breakdown Structure) 분류체계를 이용하여 추정하는데 설계 및 건조 시점에 따라 SWBS 1-Digit 또는 3-Digit 분류체계를 사용한다.

3. 함정 설계 중량 여유

3.1 중량 여유(Margin)

함정설계에 있어서 속력, 마력, 복원성 등 많은 요소에 대해 설계여유를 둔다. 중량추정에 있어서도 설계 및 건조 단계에 따라 추정에 따른 불확실성을 고려하기 위하여 중량 여유를 반영하여야 한다.

3.2 한국 해군 중량 여유

한국 해군은 조합 규정으로 함정 중량추정 및 중량여유 기준을 제시하고 있는데, 중량산출 시기, 중량추정기준, 중량여유 적용기준 등을 명시하고 있다. 특수한 선형을 제외한 일반 함정의 중량 여유는 Table 1과 같다⁵⁾. 또한, 이 규정에는 함 인도 후 운용여유를 필요 시 적용하는 것으로 명시하고 있으나, 실제적으로는 거의 적용하지 못하고 있는 실정이다.

Table 1. Weight margin criteria of Korea navy ship for design phases

Design phases		Weight margins (percentage of lightship weight)	
		Minimum	Maximum
Preliminary design		3.1	12.3
Detail design and building	Design	1.7	5.3
	Contract modification	0.3	1.4
	Government-Furnished Material	0.3	1.2
	Sub Sum	2.3	7.9

3.3 미국 해군 중량 여유

미국 해군은 1963년 실적 함정의 중량추정자료를 통계 분석한 이후로 함정 중량 및 중심에 대한 여유를 설정한 함정중량통제 지침서를 개발하여 적용하고 있다. 함정 획득 초기의 개념연구 단계에 적용하는 중량 여유는 Table 2와 같으며, 함정 기본설계, 상세설계 및 건조 단계 등에 대해 Table 3과 같은 중량여유를 제시하고 있다. 이와 같은 중량여유는 미해군 함정의 중량 데이터베이스 자료를 통계 처리하여 평균값과 (평균+표준편차)로 제시하고 있는데, (평균+표준편차) 값으로

설정된 중량여유는 정규분포에서 1시그마(표준편차)에 대한 신뢰수준이 68.3 %임을 이용하여 해당 단계의 중량추정 차이가 중량여유를 초과할 확률이 15.9 %임을 통계적으로 의미한다²⁾. 또한, 미해군 지침에는 함정 설계 단계의 중량여유를 기술적인 설계 사양에 따라 조정하여 설정하고, 위험도가 높은 중량여유를 선택하는 경우 세부적인 분석을 통하여 적절한 위험 완화 계획을 수립할 것을 권고하고 있다. 또한, 함정 운용 중 중량증가를 고려하여 미래 탑재중량 여유를 함중에 따라 5~10 % 수준으로 설정하도록 규정하고 있다²⁾.

Table 2. Weight margin criteria of US navy ship for a feasibility(concept exploration)

Design phase (Feasibility)	Weight margins (percentage of lightship weight)	
	Mean	mean + one standard deviation
Total Acquisition Weight Margin	6.0	17.5

Table 3. Weight margin criteria of US navy ship for design phases

Design phases	Weight margins (percentage of lightship weight)	
	Mean	Mean + one standard deviation
Preliminary and Contract Design	0.8	4.4
Detail Design and Building	4.5	9.8
Contract Modification	0.4	2.1
Government-Furnished Material	0.2	0.7

4. 실적함정 중량 통계분석 결과

4.1 대상 함정

실적함정에 대한 설계 및 건조 과정 중 중량추정을 분석하기 위하여 한국 해군이 취역시킨 전투함형인

KDX-I, KDX-II, PKX, FFX함, 지원함형인 AGS-I, AGS-II, LST-II, LPX함 등 8개 초도함정을 대상으로 기본설계 초기의 SWBS 1-Digit 중량 추정자료, 기본설계 전 기간에 수행된 3-Digit 중량 추정자료, 그리고 상세설계 단계의 중량 추정자료 등 모두 70개 데이터 세트를 확보하여 통계분석하였다.

4.2 통계분석 방법

실적 함정의 경하중량이 각각 다르기 때문에 실제중량과 추정중량과의 차이를 무차원화 할 필요가 있다. 이에 따라 각 함정의 설계단계에서 추정된 값과 경사 시험결과로부터 추출된 최종 중량과 차이를 최종경하중량으로 나누어 무차원화하여 평균과 표준편차를 계산하였으며, SWBS 그룹별, 설계단계별 및 함형별로 통계분석하였다.

4.3 SWBS그룹별 중량 구성비

전투함형 및 지원함형의 경하중량 상태 SWBS 그룹별 중량 평균 구성비는 Fig. 2와 Fig. 3과 같다. 전투함형의 중량구성에 있어서 100그룹(선체계통)이 45.1%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 200그룹(추진계통), 500그룹(보기계통), 600그룹(의장계통) 순으로 구성되어 있다. 지원함형에 있어서는 100그룹(선체계통) 중량비율이 전투함형에 비하여 상대적으로 높은 58.6%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 다음으로 500그룹(보기계통), 600그룹(의장계통), 300그룹(전기계통) 순으로 구성되어 있다. 이는 전투함형인 경우 일반적으로 높은 속력으로 인해 200그룹(추진계통)의 중량비율이 높고, 함정 임무 수행을 위한 전투체계 구성에 따른 700그룹(무장계통), 400그룹(항해 및 통신 계통)이 상대적으로 높은 구성 비율을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

4.4 추정중량 통계분석 결과

4.4.1 기본설계 단계

기본설계 초기단계에서 수행되는 SWBS 1-Digit 중량 추정에 따른 전체 중량추정 차이의 평균은 Table 4와 같이 전투함형이 12.66%, 지원함형이 12.99%로 유사한 수준을 보이고 있고, 기본설계 시 수행된 SWBS 3-Digit 추정에서는 (평균+표준편차) 값이 전투함형 9.93%, 지원함형 9.86%로 거의 유사한 값을 가진 것을 볼 때 기본설계의 중량추정에 따른 불확실성은 함형에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

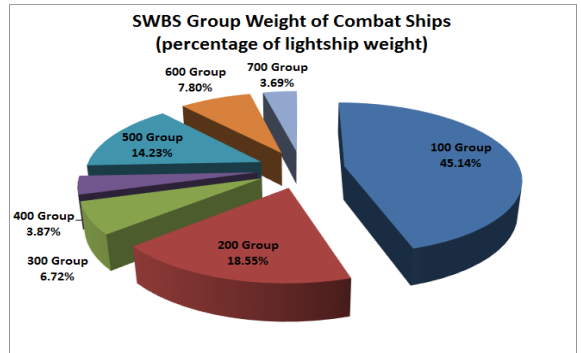


Fig. 2. SWBS group weight of combat ships

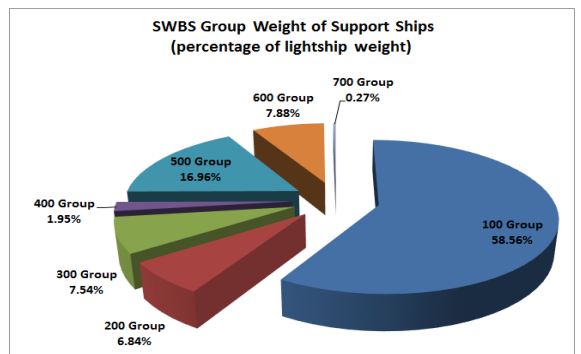


Fig. 3. SWBS group weight of support ships

Table 4. Deviation values of the weight estimation in the preliminary design phase

SWBS	SWBS 1-Digit(%)		SWBS 3-Digit(%)			
	Mean of combat ships	Mean of support ships	Combat ships		Support ships	
			Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
100	3.50	3.39	1.83	1.17	3.46	2.28
200	2.24	0.95	1.17	0.58	0.27	0.20
300	1.65	1.05	1.05	0.53	0.94	0.51
400	0.63	0.72	0.56	0.34	0.28	0.27
500	2.35	4.25	1.17	1.02	1.60	1.10
600	1.75	2.49	0.76	0.78	0.92	0.46
700	0.52	0.14	0.20	0.36	0.09	0.07
Total	12.66	12.99	6.75	3.18	7.56	2.30
			9.93		9.86	

4.4.2 상세설계 단계

상세설계 단계 SWBS 3 Digit 중량 추정과 경사시험 후의 최종 중량과의 SWBS 그룹별 차이의 평균 및 표준편차는 Table 5와 같다. (평균+표준편차) 값이 전투함형 2.94 %, 지원함형 3.97 %로 다소 차이가 있는데, 이는 지원함형 설계에 있어서 100그룹(선체계통)의 중량변동이 영향을 미친 것으로 판단된다.

Table 5. Deviation values of the weight estimation in the detail design phase

SWBS	SWBS 3-Digit(%)			
	Combat ships		Support ships	
	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
100	0.53	0.60	1.54	1.06
200	0.23	0.17	0.06	0.07
300	0.38	0.36	0.21	0.25
400	0.22	0.22	0.05	0.07
500	0.22	0.21	0.19	0.22
600	0.10	0.10	0.26	0.31
700	0.08	0.07	0.05	0.05
Total	1.76	1.18	2.36	1.61
	2.94		3.97	

4.4.3 설계단계에 따른 경향

설계의 진행에 따라 세부적인 공학 자료의 확보로 인하여 중량추정은 실제값에 근접하는 것이 일반적인 경향이다. Fig. 4 및 Fig. 5에 도시된 바와 같이 전투함형 및 지원함형 모두가 설계 진행에 따라 전체적인 추정차이의 평균값이 전반적으로 크게 감소하는 경향을 보이고 있으며, SWBS 그룹별 추정값과 최종중량과의 차이의 평균값은 전투함형과 지원함형에 있어서 구성요소간 다소 다른 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

4.4.4 SWBS 그룹별 추정 불확실성

함정 설계 단계에 따라 중량추정값과 최종중량 차이의 평균값 또는 (평균값+표준편차) 값이 하나의 추정 불확실성을 나타낸다고 할 수 있다. SWBS 그룹별

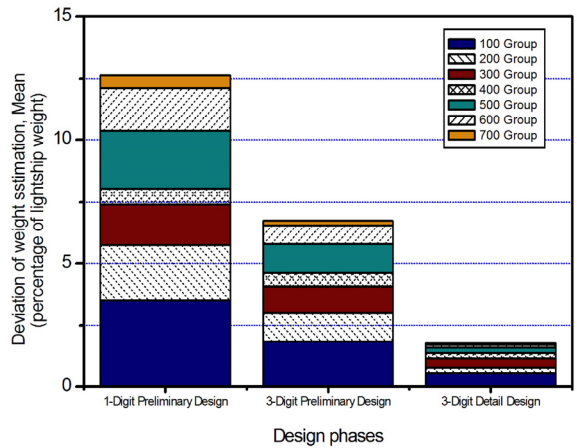


Fig. 4. Deviation values of the weight estimation of combat ships in each design phase

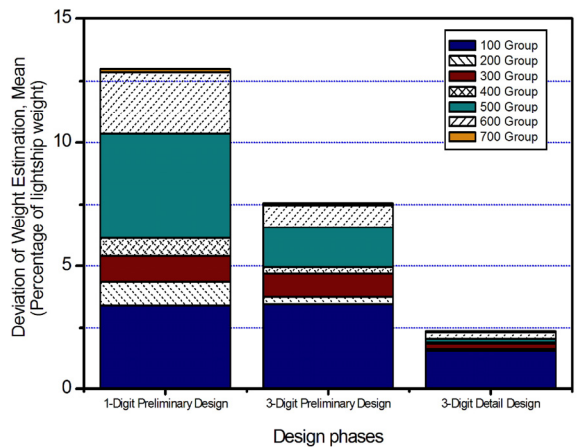


Fig. 5. Deviation values of the weight estimation of support ships in each design phase

중량추정 차이는 전투함형인 경우 Fig. 6과 같이 설계 초기단계에서는 100그룹(선체계통), 200그룹(추진계통), 500그룹(보기계통) 등이 상대적으로 높은 수준이고 400그룹(항해통신계통) 및 700그룹(무장계통) 등은 상대적으로 낮은 수준이다. 설계 진행에 따라 400그룹(항해통신계통) 및 700그룹(무장계통)을 제외한 다른 그룹의 중량추정 차이는 상당히 감소되는 경향을 보이고 있다. 한편, 전투함형에 있어서 Fig. 7과 같이 SWBS 그룹의 단위 중량당 추정 차이의 변화추이는 300그룹(전기계통) 및 400그룹(항해통신계통)이 다른 그룹에 비하여 상대적으로 높은 값을 보이고 있다. 이는 이들

그룹의 설계 초기 설정된 중량 추정에 많은 불확실성을 내포하고 있고, 설계 진행에 따라 제작사 자료 또는 실측 수단을 이용하여 중량 자료를 개정하는 것에 관심이 낮아 기인된 것으로 보인다.

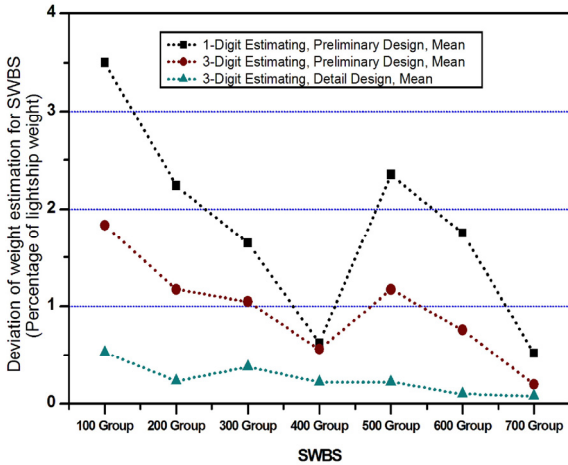


Fig. 6. Ratio of the deviation value of the weight estimation to lightship weight for SWBS of combat ships

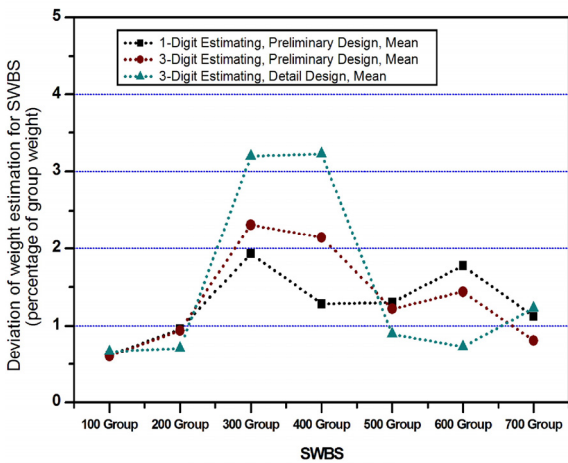


Fig. 7. Ratio of the deviation value of the weight estimation to group weight for SWBS of combat ships

지원함형에 있어서 SWBS 그룹별 중량추정 차이는 Fig. 8과 같이 설계 초기에는 500그룹(보기계통), 100그룹(선체계통)이 상대적으로 높은 수준이나 설계 진행

에 따라 크게 감소하는 경향을 보이고 있으며, SWBS 그룹의 단위 중량당 추정 차이는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 400그룹(항해통신계통), 600그룹(의장계통) 및 700그룹(무장계통)이 상대적으로 높은 수준으로 그룹 중량에 비하여 많은 불확실성을 포함하고 있음을 알 수 있다. 특히, 700그룹(무장계통)에서는 중량추정에 따른 불확실성이 설계 후반 단계까지 지속되고 있는 점이 특이하다.

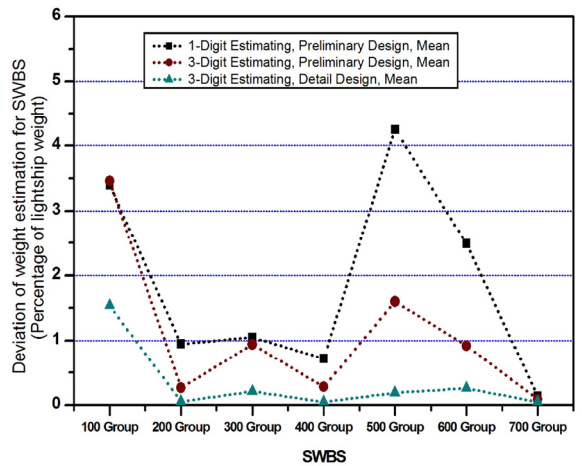


Fig. 8. Ratio of the deviation value of the weight estimation to lightship weight for SWBS of support ships

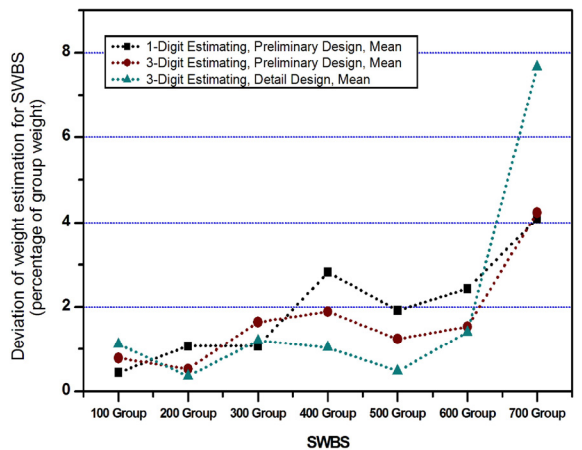


Fig. 9. Ratio of the deviation value of the weight estimation to group weight for SWBS of support ships

5. 중량추정 결과 분석

5.1 해군 조함기준의 중량여유와 비교

5.1.1 기본설계 단계

한국 해군의 중량여유에 대한 조함기준은 Table 1과 같이 기본설계 시 최소 3.1 % 최대 12.3 %를 제시하고 있다. 경하중량 추정자료의 통계처리 결과는 Table 6 및 Fig. 10에서 보는 바와 같이 실적함 전체에 대한 기본설계 초기단계 추정 경하중량과 경사시험 실측값 차이의 평균값이 7.84 %, (평균+표준편차) 값이 11.73 %이고, 기본설계 최종단계의 추정 차이 평균값이 4.71 %, (평균+표준편차) 값이 7.16 %이며, 기본설계 전 기간의 추정 차이 평균값이 6.03 %, (평균+표준편차) 값이 9.59 %이다. 즉, 기본설계 초기단계의 (평균+표준편차) 값이 해군 중량여유 기준 최대값 내에 거의 근접한 범위 이내에 있으나, 기본설계 최종단계에서는 (평균+표준편차) 값이 7.16 %로 조함기준의 최소값인 3.1 %를 상당히 초과하고 있다. 또한, Fig. 10에 도시된 바와 같이 조함기준에서 제시한 최소값과 최대값을 연결한 경계 영역을 초과한 경우가 약 33.3%이고, Fig. 11에서 보는 바와 같이 (평균+표준편차) 값을 연결한 영역을 초과한 비율이 약 18.2 % 수준이다.

따라서, 미국 해군과 같이 (평균+표준편차) 값을 중량여유의 기준으로 설정하는 개념으로 접근하면, 기본설계 단계의 중량여유 기준 중에서 최대값은 적절한 것으로 판단되나, 최소값은 다소 상향 조정할 필요가 있는 것으로 판단된다.

Table 6. Summary of deviation values of the weight estimation of built ships

Design phases		Deviation of weight estimation(%)	
		Mean	Mean+Standard deviation
Preliminary design	Early	7.84	11.73
	Total	6.03	9.59
	Final	4.71	7.16
Detail design	Early	2.78	5.29
	Total	1.61	3.34
	Final	0.44	0.87

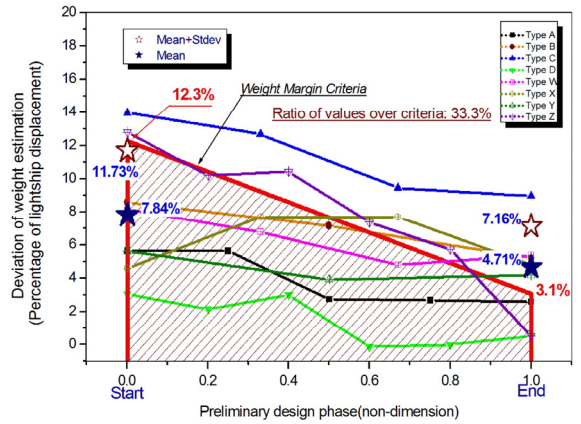


Fig. 10. Weight margin criteria and deviation values of the weight estimation of built ships in the preliminary design phase

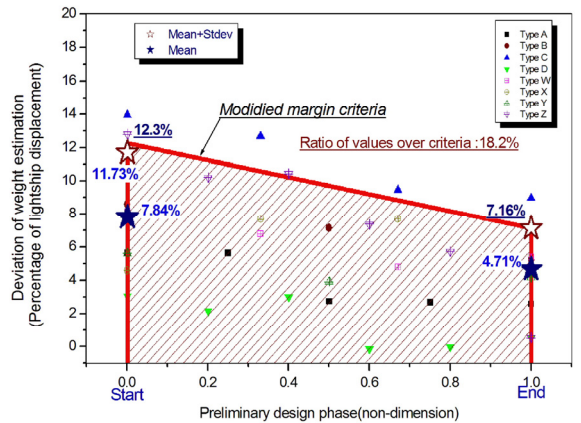


Fig. 11. Modified margin criteria and deviation values of the weight estimation of built ships in the preliminary design phase

5.1.2 상세설계 단계

상세설계 단계의 중량여유에 대한 조함기준은 Table 1과 같이 최소 1.7 % 최대 5.3 %를 제시하고 있는데, Table 6과 같이 실적함 전체에 대한 상세설계 초기단계 추정 경하중량과 경사시험 실측값과 차이의 평균값이 2.78 %, (평균+표준편차) 값이 5.29 %이며, 상세설계 최종단계의 평균값이 0.44 %, (평균+표준편차) 값이 0.87 %이고, 상세설계 전 기간의 평균값이 1.61 %, (평균+표준편차) 값이 3.34 %이다. 즉, 상세설계 초기단계의 (평균+표준편차) 값이 조함기준의 최대값과 거의

유사하고, 상세설계 최종단계에서는 (평균+표준편차) 값이 조합기준 최소값의 거의 1/2 수준임을 확인할 수 있다. 또한, Fig. 12에 보는 바와 같이 실적함 중량추정 차이값이 조합기준에서 제시한 최소값과 최대값을 연결한 기준 이내에 대부분 포함되는 것을 알 수 있다.

따라서, 상세설계 단계의 조합기준의 중량여유 최대값은 적절하나, 최소값은 다소 하향조정의 여지는 있는 것으로 판단된다.

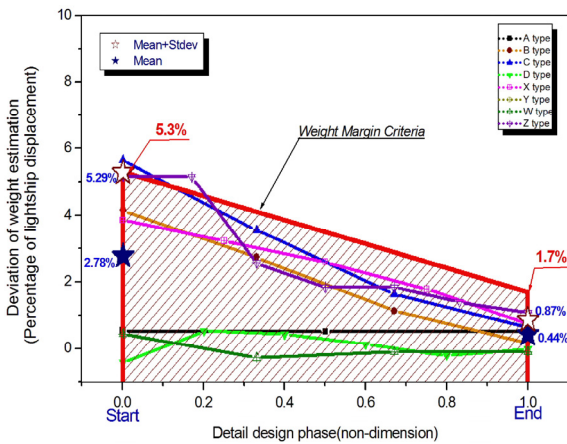


Fig. 12. Weight margin criteria and deviation values of the weight estimation of built ships in the detail design phase

5.2 함 작전운용성능 상의 경하중량 제한 타당성

최근까지 한국 해군은 함정 운용적인 측면을 고려하고 함정이 필요 이상으로 대형화되어 비용이 증가되는 것을 방지하기 위하여 대부분 수상함정 작전운용성능(ROC)에 함정 톤수(경하중량 ±10 %)를 제한하고 있고 있다. 그러나 이러한 제한조건으로 인하여 함정 획득 과정에 많은 부작용을 야기한다는 지적이 있음에 따라, 중량추정자료의 통계처리 결과를 이용하여 이에 대한 타당성을 분석한다.

5.2.1 함정 획득 초기단계의 중량 추정 불확실성 측면

획득 함정의 최초 ROC(안)은 해군에서 작성하여 함참에서 결정하며, 후속으로 수행되는 함정 개념설계를 통하여 최종 ROC로 확정된다. 이 단계는 공학적인 자료의 미비로 기준 유사 실적함정 자료를 기반한 SWBS 1-Digit 방식으로 함정 경하중량을 추정하기 때문에 많

은 불확실성을 포함하고 있을 가능성이 많은데, ROC(안) 설정 시 추정한 중량의 불확실성은 그 후속 단계인 기본설계단계의 SWBS 1-Digit 중량추정에 대한 통계분석 결과를 이용하여 판단할 수 있다.

본 연구에서 실적함정에 대한 기본설계 초기 단계의 SWBS 1-Digit 중량추정과 경사시험 후의 최종결과와의 차이값은 Table 4와 같이 전투함형 12.66 %, 지원함형 12.99 %으로 두 함형 모두 평균적으로 경하중량 ±10 % 기준을 초과하고 있음을 알 수 있다.

그러므로 함정 설계 초기단계인 ROC 설정 시 이루어지는 SWBS 1 Digit 추정중량은 경하중량 ±10 % 기준을 초과할 수 있는 가능성이 많으며, 이러한 불확실성이 많은 추정중량을 이용하여 함정 경하중량을 제한하는 것이 상당히 불합리한 것으로 판단된다.

5.2.2 함정 통합 설계 측면

일반적으로 함정 설계 요구조건은 함정 획득 초기단계에서 ROC와 같은 기준문서를 통해 제시되는데, 이러한 기준이 적절하게 설정되지 못한 경우에는 개발비용과 기간의 과대 소요, 작전운용개념 또는 목표성능 충족 곤란, 총수명주기 비용 증가 등이 발생할 수 있다.

함정 ROC는 무기체계의 운용개념을 충족시킬 수 있는 성능수준과 무기체계능력을 제시한 것으로서 작전운용성능과 기술적·부수적 성능으로 구분된다. 이것은 함정 획득에 있어서 최상위 요구조건으로서 연구개발 또는 국외도입 무기체계의 획득을 위한 시험평가 기준이 되는데, Fig. 13과 같은 과정을 거치면서 최종적으로 함정 시스템으로 도출된다^[11]. 즉, 함정 획득 초기 단계부터 ROC를 기반으로 수행한 함정 설계 결과물이 함정 시스템의 기본 제원 중의 하나인 경하중량으로 표현된다.

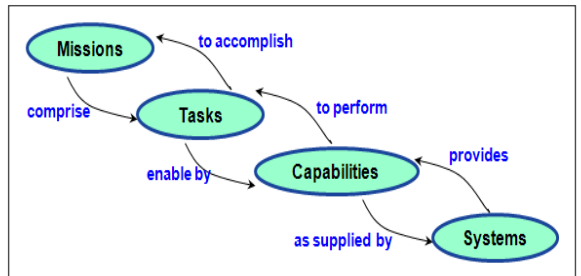


Fig. 13. Relationships between missions and systems in a naval ship design

그러나, 함정 획득 절차에 있어서 최상위 요구조건인 ROC에 함정 설계 결과인 시스템 수준의 경하중량 제한조건이 포함되는 것은 요구조건 수준이 균형화되지 못하여 함정 설계 유연성이 저하되고, 최적적인 함정 통합설계를 수행하는데 있어서 상당한 제한 요소로 작용될 가능성이 많은 것이 사실이다.

한편, 함정 경하중량이 증가함에 따라 함정 건조비용을 증가시킬 수 있으나, 경하중량 제한조건으로 인하여 함정 초기설계 시 주요 제원이나 성능에 영향을 미칠 수 있으며, 그에 따른 부작용으로 함정 총수명비용을 증가시킬 가능성도 있다.

Table 7. The impact index of each design practice

Design Practice	Percent Impact on :				
	Full-load Weight	Light Ship Weight	Enclosed Volume	Full Oil Load	Total Ship Cost
Sustainability	19~30	20~30	30~41	9~16	12
Design margins	17	15	8	15	9
Habitability	10	11	16	5	5
Survivability	11	12	2	4	5
In-service margins	7	7	5	3	3
Hull form	4	4	3	2	2
Design displacement	2	2	1	3	1
Cumulative impact	151	156	97	150	74

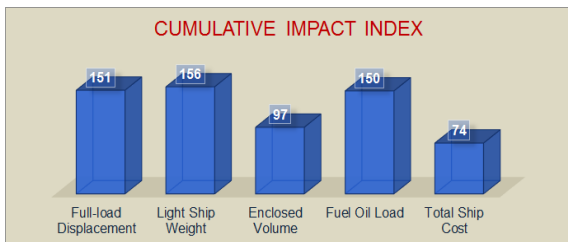


Fig. 14. Comparison of the cumulative impact index on the ship characteristics

미해군 함정의 설계요소 변화에 따른 함정 주요 특성을 분석한 연구에 의하면, 함정 설계여유, 생존성, 거주성 등 주요 설계요소 변화에 따라 함정 주요특성인 만재배수량, 경하중량, 함정총수명비용 등에 미치는 영향지수는 Table 7 및 Fig. 14와 같다⁴⁾. 이 영향지수는 설계요소 변화에 따른 함정 주요특성의 상대적인 변화량을 지수화한 것으로 본 연구의 분석에는 상대적인 비교의 관점에서 이용한다. 함정 설계요소 변화에 따른 경하중량에 대한 영향지수는 156이고, 총수명주기비용에 대한 영향지수는 74로 나타내고 있으며, 경하중량, 만재톤수, 적재연료량, 내부체적, 총수명비용 순으로 영향지수가 높은 것으로 분석되었다. 이는 함정 주요 설계요소 변화에 따라 경하중량이 변화되는 민감성이 상대적으로 가장 높으며, 총수명비용은 비교 대상에서 민감성이 가장 낮게 나타나고 있는데, 설계 민감성이 가장 높은 경하중량을 설계 초기단계부터 제한하는 것은 설계의 유연성을 상당히 저하시킬 가능성이 많은 것으로 판단된다.

따라서, 함정 경하중량은 주요 설계요소에 따라 영향을 받는 민감성이 다른 인자에 비하여 상당히 크고, 요구조건과 설계결과에 따라 함정 경하중량이 종합적으로 결정되어야 하는데, 함정 초기 획득단계에서 추정 불확실성이 상당히 높은 SWBS 1-Digit 중량 추정으로 설정된 경하중량을 기준으로 ROC 제기 단계에서 ±10 % 이내로 제한하는 것은 후속 기본설계 및 상세설계 단계의 설계 유연성을 저하시키고 통합적인 성능 최적화에 부정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 분석된다.

5.3 SWBS 그룹별 중량추정 분석

함정의 중량추정은 SWBS 그룹별 중량을 대략적 또는 세분화하여 산출하기 때문에 SWBS 그룹별 중량추정이 무엇보다 중요하다. 설계단계 대부분의 중량추정에 있어서 전체중량에서 차지하는 비중이 큰 SWBS 100그룹(선체계통), 200그룹(추진계통) 및 500그룹(보기계통)은 중량비중이 크에 따라 높은 추정 불확실성을 가지고 있으나 단위 중량당 추정불확실성은 상대적으로 낮은 경향이고, 중량비중이 작은 SWBS 300그룹(전기계통), 400그룹(항해통신계통), 600그룹(의장계통) 및 700그룹(무장계통)은 단위 중량에 비하여 많은 추정 불확실성을 가지고 있음을 실적함정의 중량추정 분석을 통하여 확인할 수 있다.

6. 결론

함정 중량은 일반적으로 설계과정을 거치면서 점점 구체화되는 것으로, 함정 획득 전 단계에 걸쳐 설계 목표를 충족할 수 있도록 철저히 관리되어야 하며, 추정에 따른 불확실성을 고려하여 중량여유를 적용하여야 한다.

본 연구는 한국 해군의 초도 실적함정을 대상으로 경사시험을 통한 최종중량과 설계단계별 중량추정자료를 비교하여 통계 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 해군 조함기준에 제시한 기본설계 및 상세설계 단계의 중량여유 최대값은 적절하며, 최소값은 좀 더 합리적인 값으로 조정할 필요가 있는 것으로 판단된다.

둘째, 함정 ROC에 포함하는 경하중량 10 % 제한 조건은 함정 획득 초기의 추정된 경하중량을 이용하여 설정하기 때문에 상당한 불확실성을 포함하고 있으며, 후속단계 설계 유연성 저하시키고 통합적인 성능 최적화를 곤란하게 할 수 있다.

셋째, 함정 중량추정 차이가 큰 SWBS 그룹에 대해 중량 추정 정확도를 향상시킬 필요가 있으며, 제작사 중량자료 조기 확보, 실적함정 중량 데이터베이스 구축 및 최신화 등 개선노력이 요구된다.

마지막으로, 함정 건조와 관련된 각 기관이 참여하는 중량 관련 기술협의체를 구성하여 실적함정의 중량 데이터베이스를 관리·분석하여 이와 관련된 기준을 지속적으로 개선시킬 것을 제안한다.

References

[1] Society Allied Weight Engineers, "Marine Vehicle Weight Engineering Rev C," 2009.

[2] NAVSEAINST 9096.6B, "Policy for Weight and Vertical Center of Gravity above Bottom of Keel (KG) Margins for Surface Ships," Naval Sea System Command, 2001.

[3] Peter A. Gale, "Margins in Naval Surface Ship Design," Naval Engineers Journal, April 1975.

[4] James W. Kehoe, Kenneth S. Brower and Herbert A. Meier, "The Impact of Design Practices on Ship Size and Cost," Naval Engineer Journal, pp. 68-86, April 1982.

[5] Republic of Korea Navy, "Criteria for Weight Estimation and Margin," SB(Su)-Ki-0-018(1), 2014.

[6] Hyunin Shin, Seong Geong, et al, "Study on Standardization for ROC/TLR/TLS of Naval Ships," KIDA Research Report, November 2007.

[7] Jongchul Kim, Youngseok Ko, Taehoon Kim, "A Study on Weight Policy during a Ship Acquisition Phase through Analysis of Weight Estimation of Naval Ships," Proceedings of the 10th Naval Weapon Systems Seminar, September 2014.

[8] Inha Hwang, "A Direction of the Future Development for the Hull Form of Naval Ships of ROKN," Proceedings of the 17th Naval Ship Technology Seminar, pp. 15-26, 2014.

[9] Sang-Ho Kang, Woo-Mann Jeong, Gil-Hong Lee, et al, "A Study on Design Process for Effective Weight Control," Proceedings of the 17th Naval Ship Technology Seminar, pp. 112-116, 2014.

[10] A. W. Schmidt, G. D. Kerr, A. F. Johnson, "Concept Formulation and Ship Design - The New Way," BUSHIPS.

[11] Corey Kerns, "Naval Ship Design and Synthesis Model Architecture Using a Model-Based Systems Engineering Approach," April 2011.