

초대형 컨테이너선의 경하중량 추정을 위한 통계적 방법 연구

조용진*

*동의대학교 조선해양공학과

A Study on Statistical Methods for the Light Weight Estimation of Ultra Large Container Ships

Yong-Jin Cho*

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University, Busan, Korea

KEY WORDS: Light weight estimation 경하중량추정, Ultra large container ship 초대형컨테이너선, Regression analysis 회귀분석, Correlation analysis 상관분석

ABSTRACT: The present study developed a model to estimate the light weight of an ultra-large container ship. The weight estimation model utilized container ship data obtained from shipyards and the subdivided this weight data into appropriate weight groups. Parameters potentially affecting the group weight were selected and expanded based on experience for weight estimation, and a correlation analysis was performed by the SPSS program to determine the key parameters characterizing the group weight. A weight estimation model applying the multi-regression analysis was proposed to assess the weight of an ultra-large container ship at the preliminary design stage, and the results obtained by the suggested method showed good agreement with the shipyard data.

1. 서 론

21세기에 들어선 지금 세계경제는 지속적인 발전을 거듭하며 무역장벽의 완화로 경제활동의 산물인 제품의 이동이 매우 활발하게 나타나고 있다. 중국을 비롯한 동남아의 생산비용이 적게 드는 나라로 생산시설이 이전되고 있으며 생산된 제품은 세계 각국으로 운송되어 판매되는 것이 오늘날 세계경제의 흐름이다(이정현, 2001).

늘어나는 해상물동량의 증가는 '규모의 경제논리'에 의하여 선박의 전문화, 대형화 및 고속화를 유도하고 있으며, 이러한 시장논리의 대응으로 빠른 화물취급을 바탕으로 하는 운송의 전문화에 따른 컨테이너 화물의 증가와 이에 부합하는 초대형 컨테이너선의 출현과 지속적인 수요 증가를 들 수 있다(고창두 등, 2004). 특히 경제활동의 산물인 생산제품의 운송을 위한 컨테이너선의 대형화는 가시화되어 벌써 주요 대형조선소에서는 10,000TEU이상의 컨테이너선의 개발이 완료되었고, 고부가가치 선박으로 그 이상의 초대형 컨테이너선의 수주에 노력하고 있다.

본 연구에서는 최근 컨테이너 선박의 대형화 추세에 따라 초대형 컨테이너선의 개념설계 및 초기설계 과정에서 활용할 수 있는 경하중량 추정방법과 모델을 제시하고자 한다.

초대형 컨테이너선은 기존에 개발된 컨테이너 선박보다 규모

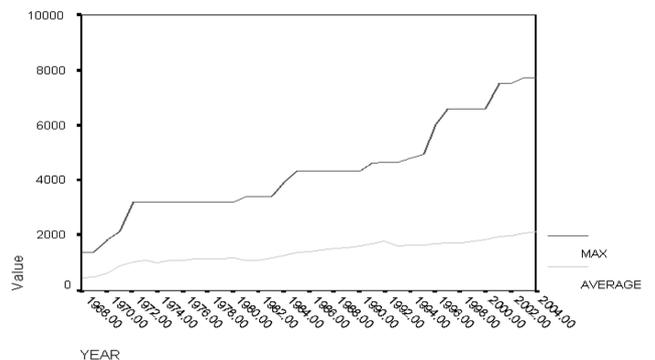


Fig. 1 Trend of Maximum and average size of containership

면에서 매우 크지만, 동일한 설계 및 건조 방법으로 개발된다는 가정에 의해 실적 컨테이너선의 자료를 활용하였다. 따라서 조선소에서 설계 건조한 컨테이너 실적선의 중량자료를 근거로 각 중량 그룹 항목 및 변수 항목을 지정하였다.

분류된 경하중량 그룹별로 중량에 영향을 미치는 변수를 선정하기 위하여 그룹중량과 변수들 간의 상관분석을 수행하였다. 이 과정에서 상관관계가 높은 변수만을 선택하였고, 변수와 중량 간의 다중회귀분석을 이용하여 중량추정 모델을 제시하였다. 추정된 모델의 신뢰성을 확보하기 위하여 첫째, 기존의 실적선 중량과 추정중량을 비교하였으며 둘째, 조선소에서 개념 설계

교신저자 조용진: 부산광역시 부산진구 엄광로995 가야동 산24, 051-890-2593, cyjdeu@deu.ac.kr

본 연구는 2008년 울산에서 개최된 한국해양공학회 추계학술대회에 발표된 논문을 근간으로 하고 있음을 밝힙니다.

를 실시한 12,000TEU급 컨테이너선의 중량추정 결과와 본 연구에서 제시한 모델의 중량추정결과를 비교하여 추정방법의 유효성을 검증하였다.

2. 경하중량 추정모델

2.1 선박중량 추정과 중량통제

선박 초기설계에서 중량 추정은 선박 건조 비용, 생산 일정 계획, 선체 구조 강도, 복원성, 항행 성능 등 다양한 측면에 영향을 끼친다. 그러나 초기설계 단계에서는 완벽한 3차원 모델 등이 정의되어 있지 않기 때문에 실제 중량을 정확하게 추정하기는 어렵다. 따라서 많은 경우에 상세설계 및 건조 과정을 거치면서 초기설계 단계에서 추정된 중량 보다 증가한다. 이러한 중량증가는 초기 선박중량 추정단계에서 고려하게 된다.

초기설계단계의 적절한 중량여유는 설계 및 건조과정을 거치며 나타나는 설계변경 및 설비와 장비의 변경 등에 적절한 대응을 할 수 있게 된다. 그러나 과도한 중량여유는 과도설계(Over-design)를 유발하여 선박 건조비용과 운용비용의 증가를 초래하게 된다.

따라서 초기설계 단계에서의 신뢰성 있는 경하중량 추정방법에 의한 중량의 관리와 통제는 조선공학적 측면에서 매우 중요하다(Dominick et al., 2007).

2.2 실적선 자료 수집

컨테이너선의 최적화 모델개발을 위한 여러 가지 개발모델에서 중량 추정 모델의 개발은 매우 까다롭고 세심한 주의를 요할 필요가 있다. 중량모델의 경우 선가에 다음의 두 가지 방향에서 직접적인 영향을 미치고 있기 때문이다.

- 선가에 중요한 재료비와 노무비의 직접 산출
- 저항추정에 의한 주기 마력추적과 주기관의 선정에 영향

따라서 가능한 많은 최근 실적선 자료수집이 요구된다. 그러나 중량자료의 경우 각 기업의 영업비밀로 접근이 매우 어렵고 비록 자료를 구한다 해도 수집 자료의 중량분류의 방법이 각 조선소마다 상이하기 때문에 동일항목이나 그룹을 만드는 매우 까다로운 작업이 병행되어야 가치 있는 자료가 될 수 있다.

본 연구에서 사용한 실적선의 중량정보와 자료는 국내의 A 조선소와 B 조선소에서 제공한 자료를 사용하였다. 사용된 실적선 자료의 척수와 규모는 Table 1에 요약하였다.

Table 1 Weight data of container ships from shipyards

Shipbuilding yard	Container capacity	Ship numbers
Company A	1,700~6,700 TEU	12
Company B	1,600~6,500 TEU	6
Conceptual design	12,000~18,000 TEU	3

2.3 상관변수 개발

일반적으로 초기설계 단계의 중량추정 방법은 대표적으로 '유사선 이용법', '중량횡단면에 의한 추정법', '기본제원에 의

한 추정법', 그리고 '통계자료 이용법' 등으로 구분할 수 있다 (Schneekluth and Bertram, 1998). 그러나 초대형 컨테이너선의 초기 경하중량의 추정에 조선소에서 제공한 자료에 의한 '유사선 이용법' 적용은 규모면에서의 차이, 실적선의 그룹별 중량구분이 모호한 부분이 있고, 추정식 개발자가 제안하는 상수의 범위를 정확히 규정할 수 없고, 기존 오래된 추정방법이 최근 컨테이너선의 특성을 반영하는데 미흡함 등으로 인해 기존에 발표된 방법 또는 추정모델로 선체중량 및 경하중량을 추정하여 실적선과 비교결과 많은 차이를 보여 새로운 변수개발이 필요한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 제공된 실적선을 활용하여 통계적 방법을 활용하여 새로운 경하중량 추정방법을 개발하였다.

현재까지 중량추정 기법연구 중에 많은 진전을 보인 연구결과는 미 해군(US Navy)에서 표준으로 활용하고 있는 선박(함정)의 분야별 분류방법(SWBS)에 의한 선박 주요제원에 의한 추정방법이다(Straubinger et al., 1983). 다음의 Table 2는 미 해군 중량추정방법을 적용하기 위하여 실적선인 한국형 호위함 중량 자료를 토대로 새로 개발하려는 삼동형 함정의 중량추정에 필요한 변수들과 그 비율을 보여주는 예제이다. 여기서 대문자는 주요제원, 축마력(SHP), 침수표면적(WSA), 전력(KW)을 나타내고,

Table 2 Specific Comparison parameters of Frigate

Weight estimation of a 2500 ton class trimaran frigate (2000 ton KFX base)				
	Element	New ship (n)	Parent ship (p)	Ratio (n/p)
1	<i>L</i>	120.00	96.00	1.2500
2	<i>B</i>	30.00	11.50	2.6087
3	<i>D</i>	12.00	6.60	1.8182
4	<i>Disp.DWL</i>	2,500.00	1,975.20	1.2657
5	<i>LBD/100</i>	432.00	72.86	5.9289
6	<i>LD</i>	1,440.00	633.60	2.2727
7	<i>LD(2D + B)²</i>	4,199,040.00	386,553.02	10.8628
8	<i>LBD² C_p</i>	286,416.00	28,911.85	9.9065
9	<i>LD²</i>	17,280.00	4,181.76	4.1322
10	<i>SHP</i>	60,000.00	53,640.00	1.1186
11	<i>T</i>	4.200	3.418	1.2288
12	<i>C_p</i>	0.5525	0.6012	0.9190
13	<i>C_{wp}</i>	0.2717	0.7519	0.3614
14	<i>L(B + D)</i>	5,040.00	1,737.60	2.9006
15	<i>WSA</i>	1,824.00	1,314.06	1.3881
16	<i>2(D - T)L</i>	1,872.00	610.94	3.0641
17	<i>LB C_{wp}</i>	978.12	830.10	1.1783
18	<i>KW</i>	1,000.00	845.40	1.1829
Accommodations				
19	<i>Accom_O officers</i>	15.00	16.00	0.9375
20	<i>Accom_N NCO's</i>	20.00	23.00	0.8696
21	<i>Accom_E enlisted</i>	100.00	114.00	0.8772
22	<i>Accom_t total</i>	135.00	153.00	0.8824

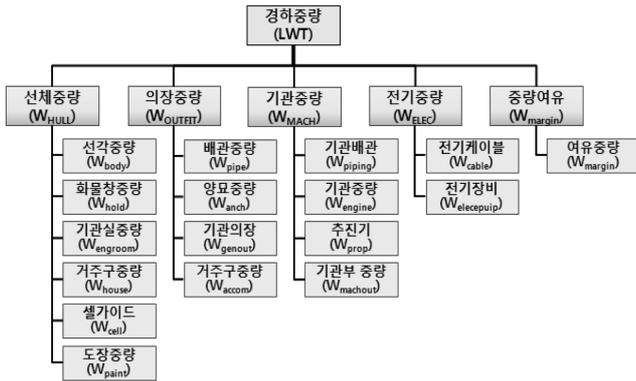


Fig. 2 Structure of weight groups

2.4 중량변수들의 상관분석

각 조선소는 고유한 설계 과정 및 생산 공법을 적용하고 있기 때문에 경하중량 추정을 위한 제품분류기준인 WBS(Work Breakdown Systems)가 다르며 포함항목 또한 다르다. 따라서 서로 다른 조선소에서 설계 및 건조한 실적선의 설계정보를 바탕으로 통일된 중량그룹을 적용하여 분류하는 복잡한 작업이 필요하다.

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 경하 중량을 5개의 중량 대그룹으로 분류하였다. 그리고 각 대그룹 별로 다시 세분화된 중량 그룹으로 분류하였으며, 세분화된 중량그룹은 각 조선소에서 사용하는 것과는 상이하다. 각 중량그룹 항목 중 경하 중량에 가장 큰 영향을 미치는 것은 상관분석을 통해 정확하게 분류해 낼 수 있을 것으로 기대하였다.

- 선체중량 6개 그룹
- 의장중량 4개 그룹
- 기관중량 4개 그룹
- 전기중량 2개 그룹
- 중량여유 그룹

상관관계의 분석은 도출된 각종 변수와 중량을 모두 활용하여 전체 변수들의 세분화 중량과 상관분석을 수행하였으며, 그 결과의 일부를 Table 3에 나타내었다.

상관분석은 Pearson방법으로 상관관계를 검토하였으며 상관도가 0.5 이상이면 변수사이에 상관이 있다고 판단하였다. 그러나 분석결과로부터 상관도가 5개 이상의 변수를 가질 경우, 많은 독립변수와 함께 포함되는 오차항을 고려하여 상위 5개 이내로 변수범위를 선정하여 회귀분석을 수행하였다.

2.5 모델개발을 위한 다중회귀분석

중량추정 모델을 개발하기 위하여 상관분석 결과를 활용하여 상관도와 변수들 간의 중복성을 고려하여 5개의 변수범위에서 가장 중량추정을 잘 표현하고 있는 변수(독립변수)를 도출하여 각 세부 중량그룹의 회귀분석을 수행하였다.

모델의 개발을 위해서 범용의 회계분석 프로그램인 SPSS를 활용하여 종속변수별 다중선형회귀분석을 수행하였다.

분석결과 도출된 회귀식을 이용하여 그룹별 경하중량 추정식으로 활용하였고 이를 토대로 그룹별로 중량추정 모델을 작성하였다. 아래의 Table 4는 선체중량 그룹의 Body 부분에 대한 회귀분석 결과의 예를 보여준다.

2.6 중량추정 모델

상관분석을 통해 선정된 5개의 변수를 독립변수로 결정하고, 종속변수를 세부중량으로 치환하여 다중회귀분석을 수행한 결과를 이용하여 각 세부그룹별 중량추정식을 개발하였다. 그리고 각각의 세부그룹별 중량추정식은 3.3절에서 분류한 4분야의 중량그룹별로 합하여 중량추정 모델을 개발하였다. 다중회귀분석의 결과를 모형화하여 일반화하면 다음과 같다.

우선 y 를 k 개의 독립변수로 x_1, x_2, \dots, x_k 의 함수로 모형화하는 것을 가정하면 자료집합은 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} y_1, x_{11}, x_{21}, \dots, x_{k1} \\ \vdots \\ y_n, x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn} \end{pmatrix} \tag{1}$$

여기서, i 번째 종속변수의 자료값은 y_i 는 k 개의 독립변수로 x_1, x_2, \dots, x_k 의 자료값 $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ 와 함께 자료가 된다.

따라서 다중회귀식에서 종속변수 y_i 값은 다음의 식과 같이 모형화하여 표현이 된다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i \tag{2}$$

여기에서 계수 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 는 미지의 모수이며, 오차항 ϵ 는 $N(0, \sigma^2)$ 분포에서 추출한 독립변수로 가정한다(Anthony, 2008).

이와 같은 방법으로 Table 4의 회귀분석 결과인 선체(Body) 부분의 세부중량은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$W_{BODY} = \beta_0 + (CONT_{IN})\beta_1 + (LBD_{100})\beta_2 + (LB)\beta_3 + (LB_D)\beta_4 + \epsilon \tag{3}$$

Table 4 Regression analysis of body weight (SPSS)

Model	Non-standard coeff.		Standard coeff.	t	Significance probability	95% Confidence interval	
	B	Standard deviation	beta			Upper limit	Lower limit
1 (const)	433.287	1256.922		.345	.734	-2197.480	3064.055
CONT_IN	-8.65E-02	1.121	-.094	-.077	.939	-2.433	2.260
LBD_100	1.064	1.066	1.136	.998	.331	-1.168	3.296
LB	4.117E-02	.405	.137	.102	.920	-.807	.890
LB_D	-5.10E-02	.247	-.253	-.206	.839	-.568	.466

a. Dependent variable: BODY

이와 같은 방법으로 세부중량 그룹의 모델을 개발하였으며 각각의 세부중량 추정모델을 합하여 다음과 같이 중분류 추정 모델로 추정된다.

$$\begin{aligned}
 W_{HULL} &= W_{body} + W_{hold} + W_{engroom} + W_{house} + W_{cell} + W_{paint} \\
 W_{OUTFIT} &= W_{pipe} + W_{anch} + W_{genout} + W_{accom} \\
 W_{MACH} &= W_{piping} + W_{engine} + W_{prop} + W_{machout} \\
 W_{ELEC} &= W_{cable} + W_{elecquip}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

이상의 그룹별 중량추정 결과를 토대로 경하중량 추정모델을 다음의 식 (5)과 같이 완성하였으며, 추정모델에는 마진을 동일한 다중회귀분석 결과를 토대로 부가적으로 합하여 줌으로써 모델의 추정결과의 신뢰성을 높일 수 있도록 하였다.

$$LWT = W_{HULL} + W_{OUTFIT} + W_{MACH} + W_{ELEC} + W_{margin}
 \tag{5}$$

3. 중량추정 모델의 검증

개발된 중량추정 모델을 평가하기 위하여 실적자료와 모델에

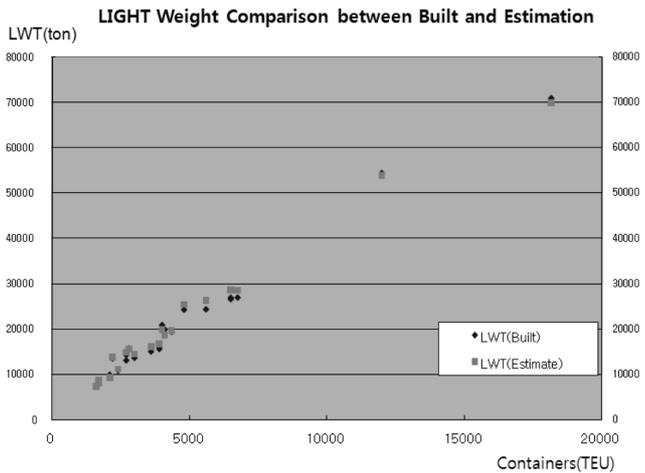


Fig. 3 Difference distribution of total light weight

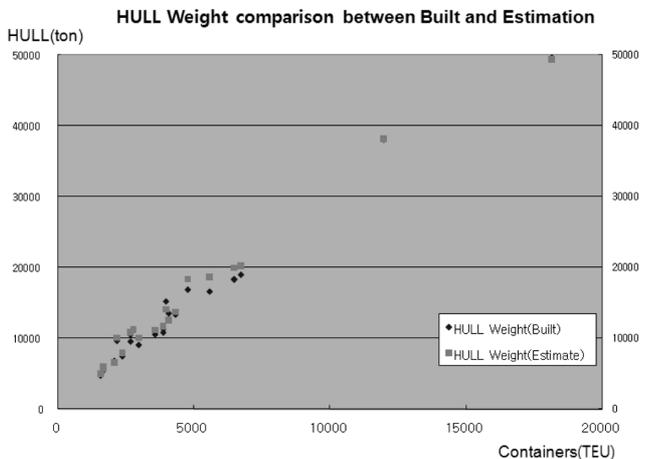


Fig. 4 Difference distribution of hull weight

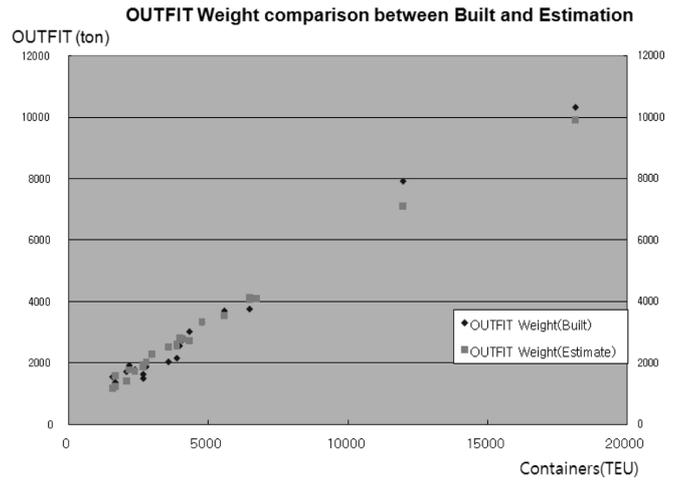


Fig. 5 Difference distribution of hull outfit weight

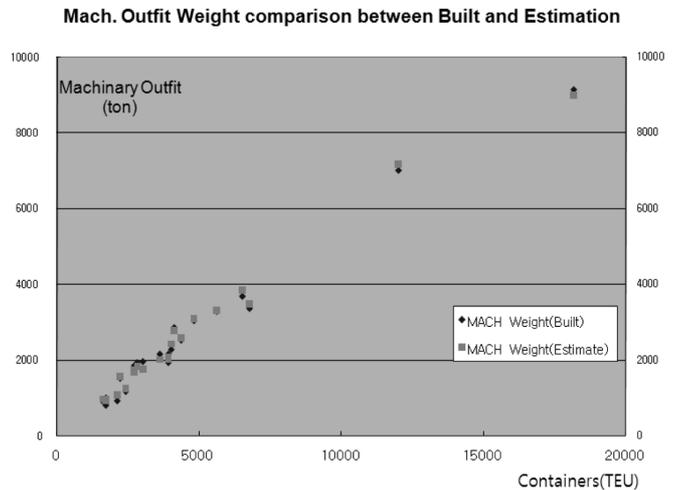


Fig. 6 Difference distribution of machinery outfit weight

의해 재구성된 중량 자료를 동일 그래프에 표시하여 모델의 정도를 평가 하였으며, 그룹별 추정중량과 실적 중량의 비교검증을 위 그림들에 나타내었다. Fig. 3는 전체 경하중량에 대하여 실적선 중량과 개발모델에 의한 추정중량의 차이를 보여주고 있다. 그리고 Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6은 각각 선체중량, 의장 중량 및 기관중량의 실적 중량과 모델에 의한 추정중량과의 차이를 보여준다.

초대형 컨테이너선의 실적선 자료를 구할 수가 없는 상황에서 1,600TEU급 컨테이너선에서 6500TEU급 컨테이너선의 실적자료를 이용하여 추정모델을 개발하고, 15,000TEU급 초대형 컨테이너선의 중량추정에 사용하며 나타나는 문제를 검증하기 위하여 실제의 국내조선소의 능력을 활용한 개념 설계 결과와 비교하였다. 조선소에서 수행한 설계결과와 추정모델에 의한 경하중량을 비교한 결과 아래의 Table 5와 같이 유사한 결과를 보여주어 추정모델의 유효성을 검증할 수 있었다.

Table 5 Weight comparison between estimation model and conceptual design results

Principal Dim.	Estimation	Concept design
Loa		420.0 m
Lbp	400.0 m	400.0 m
Bmld	57.5 m	57.5 m
Dmld		27.2 m
Draft	Td	14.7 m
	Ts	14.0 m
		14.7 m
Light weight	57,500 ton	58,000 ton
Disp.	Td	213,700 ton
	Ts	216,000 ton
		230,000 ton
Container capacity	Deck	7,360 TEU
	Hold	7,220 TEU
	Total	15,000 TEU
		14,580 TEU

4. 결 언

본 연구에서는 초대형 컨테이너선의 경하중량을 적절히 추정할 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 조선소에서 이미 건조된 실적선의 중량자료를 확보하여 적절한 중량의 그룹별로 분류하였다. 분류된 그룹별 경하중량에 영향을 미치는 변수들을 개발하고, 상관분석을 수행하여 중요 변수인자를 선정하였다. 선정된 변수들과 그룹중량과의 다중회귀분석을 통하여 중량추정 모델을 개발하였으며 실적선과의 비교검증을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 조선소간의 중량 분류(Breakdown)방법이 다름으로 수집된 중량자료는 다시 재분류가 필요하며 이때 각 조선소의 중량관리자의 협조가 필요함.

(2) 적절한 추정모델의 개발을 위하여 그룹중량의 적절한 종속변수의 개발이 필요하며 반드시 주요제원과 그들의 조합 및 선박의 특성을 반영한 변수선정이 요구됨.

(3) 상관분석과 회귀분석 결과를 활용한 추정모델의 개발에는 반드시 변수의 상관성을 적절한 선정하여 외삽에 따른 발산을 방지할 수 있음.

(4) 개발된 추정식은 검증결과 매우 신뢰성 있는 것으로 판단되며 향후 각 조선소 사정에 맞도록 수정하여 사용하면 유용할 것으로 판단됨.

현재 조선소가 사용하고 있는 중량 추정식을 결정하는 과정에서 중량변수 또는 중량그룹을 정하는 과정은 설계자의 경험에 의존하는 경우가 많다. 따라서 기존의 중량 추정식들을 수정하며 사용하고 있다. 그러나 기존에 설계한 선박과 주요 치수 등 특징이 많이 다른 선박의 중량추정에는 신뢰성 있는 결과를 얻기가 쉽지 않음으로 지속적으로 실적선 중량정보를 축적함과 동시에 추정식의 개발과 수정 보완이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

고창두, 조용진, 김상현, 신명수, 이진태 서형균, 권성철 외 (2004). 고부가가치 선박설계 핵심기술 개발(차세대 선박 개념설계) MI-0117-01-0001, 과학기술부 특정 연구개발 사업 보고서, 한국해양연구원, pp 45-77.

이정현 (2001). "컨테이너선의 대형화와 항만의 변화", 한국컨테이너부두공단 Container Information, 제14권(통권), pp 42-62.

Anthony J. Hayter, 배주석 역 (2008). 이공학도를 위한 확률과 통계, Cengage Learning Korea Ltd., pp 567-575.

Dominick, C., David, T., William, B., Brian, H., Mark, R., Alan, T., et al. (2007). "Marine Vehicle Weight Engineering", Society of Allied Weight Engineers, Inc., pp 1-9.

Schneekloth, H. and Bertram, V. (1998). Ship Design for Efficiency and Economy, Butterworth-Heinemann, pp 149-179.

Straubinger, E.K., Curran, W.C. and Figuera, V.L. (1983) "Fundamentals of Naval Surface Ship Weight Estimating", Naval Engineers Journal, Vol 95, No 3, pp 127-143.

2009년 4월 22일 원고 투고
 2009년 5월 18일 심사 완료
 2009년 6월 22일 게재 확정