

소형 어선의 재화상태를 고려한 중량 정보 추정 기법

김동진* · † 여동진

*,† 선박해양플랜트연구소 친환경운송연구본부

Estimation of Weight Parameters for Small Fishing Vessels in Accordance with Loading Conditions

Dong Jin Kim* · † Dong Jin Yeo

*,† Advanced Ship Research Division, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Korea

요 약 : 본 연구에서는 국내 소형 어선의 재화상태에 따른 중량 및 무게중심 추정식을 제안하였다. 소형 어선에 탑재되는 중량물은 선원, 어구 등의 고정 중량과 연료, 청수, 식량, 미끼, 어획물 등의 가변 중량으로 분류할 수 있다. 다양한 소형 어선들의 중량 데이터를 통계 분석한 후, 각 탑재물의 중량 및 무게중심을 총톤수에 대하여 선형 함수화하였다. 그리고 재화상태를 고려하여 각 가변 중량물에 가중치를 추가하는 방식으로 총 중량 및 무게중심 추정식을 구성하였다. 소형 어선의 길이와 총톤수, 그리고 재화상태 정보만을 활용하여 총 중량 및 무게중심을 상당히 신뢰도 높게 추정할 수 있음을 검증하였다.

핵심용어 : 소형 어선, 재화상태, 총톤수, 중량, 무게중심

Abstract : This study proposed estimation methods for weight and center of gravity of small fishing vessels. Weights loaded on small fishing vessels were divided into fixed weights such as crew, fishing gear, and variable weights such as fuel, fresh water, provision, bait, and fish. Based on statistical analyses with weight data of several small fishing vessels, weight, longitudinal center of gravity (LCG), vertical center of gravity (KG) of each item were represented as linear functions of vessel gross tonnage. In addition, weighting factors of variable weights were added on estimation formulas in accordance with vessel loading conditions, e.g. full load departure condition. Estimation methods were verified using actual small fishing vessel data.

Key words : Small Fishing Vessel, Loading Condition, Gross Tonnage, Weight, Center of Gravity

1. 서 론

최근 선박 관련 해양사고의 통계에 의하면 사고의 약 70%가 어선이며, 사고 어선의 65%가 총톤수 10톤 미만의 소형이다(Park and Yeo, 2015). 이와 같이 해양 사고에서 소형 어선이 차지하는 비율은 매우 높다. 한편 해양사고의 물리적인 원인 규명을 위하여 수확모델에 기반한 시뮬레이션이 수행되는 경우가 있으며, 시뮬레이션 초기 입력값으로 대상 선박의 주요제원과 더불어 중량 및 무게중심 정보가 반드시 필요하다. 그러나 소형 어선은 운항 중의 탑재 중량물 정보를 기록하는 경우가 거의 없으므로, 부재한 중량 정보를 대략적인 추정에만 의존하게 된다.

소형 어선의 중량에 관한 선행 연구를 보면, Kim(1999)은 국내 소형 어선의 재화상태 별 중량 정보를 정리하고, 이를 기반으로 정적 및 동적 복원성을 검토한 후 복원성 기준의 개선

을 제안하였다. Kwon and Lee(2007)은 소형 어선의 복원성 연구에 앞서 길이와 총톤수의 관계를 통계적으로 분석하였다. Song et al.(2008)은 연안 소형 어선의 최소 경하 중량 설계에 관한 연구를 수행한 바 있다. 어선의 복원성, 전복 관련 연구는 비교적 다양하나, 중량 추정에 관한 연구는 많지 않다.

본 연구에서는 국내에서 해양 사고가 빈번한 소형 어선을 대상으로 재화 상태 별 중량 및 무게중심을 추정하는 기법을 제안하였다. 소형 어선의 주요 탑재물 항목들을 분류하고, 실제 어선의 탑재 중량 데이터에 기반한 통계 분석으로 각 탑재 중량을 총톤수에 대하여 1차 함수화하였다. 그리고 각 재화상태를 고려하여 가변 중량들에 가중치를 두어 추정식을 구성하였다. 제안된 중량 및 무게중심 추정식을 통계 분석에 활용된 어선, 그리고 그 이외의 어선들에 각각 적용해보고, 추정식의 신뢰도를 검증하였다.

† Corresponding author : 정희원, lonepier@kriso.re.kr 042)866-3644

* 정희원, djkim@kriso.re.kr 042)866-3652

(주) 이 논문의 일부는 “소형 어선의 재화상태를 고려한 중량 추정식 개발”이라는 제목으로 “2017 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 한국해양학회논문집(부산 벡스코, 2017.4.19-20, pp.50-51)”에 발표되었음.

2. 소형 어선 중량 및 표준 재화상태

2.1 소형 어선 탑재 중량물 분류

Fyson(1985)은 어선의 경하 중량에 추가로 탑재되는 주요 재화 중량물을 선원, 어구, 청수, 식량, 연료 및 윤활유, 얼음, 어획물 등 총 7가지로 분류한 바 있다. 본 연구의 대상을 국내 소형 어선으로 한정한다면 어획물 보관 주기가 짧기 때문에 얼음은 대량 탑재할 가능성이 적다. 또한 기관이 대체로 소형이므로 윤활유는 전 중량의 1% 이내로 매우 적다. 한편 국내 소형 어선 중에는 낚시업에 관련된 복합어선(연승어선 포함) 비율이 높으며, 출항 시 탑재되는 미끼의 중량을 무시할 수 없다. 따라서 국내 소형 어선에서 고려하여야 하는 주요 탑재 중량물을 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1 Items on small fishing vessels

Type	Items
Fixed weight	Light weight, crew, fishing gear
Variable weight	Fuel, fresh water, provision, bait, fish

2.2 어선 표준 재화 상태

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013)의 제8조에서 어선의 표준 재화 상태를 만재출항, 어장발, 만재입항, 부분만재입항상태 네 가지로 분류하였다. 각 표준 재화 상태 별 적재 기준은 Table 2와 같다.

Table 2 Standard loading conditions of fishing vessels

No.	Loading condition	Payloads
1	Full load departure	- Consumables such as fuel, fresh water, provision are fully loaded.
2	Fishing ground departure	- 75% of consumables such as fuel, fresh water, provision are used. - Fishes are fully loaded.
3	Full load arrival	- 90% of consumables such as fuel, fresh water, provision are used. - Fishes are fully loaded.
4	Partial arrival	- 90% of consumables such as fuel, fresh water, provision are used. - 20%(or 40%, if unusual operation) of fishes are loaded.

3. 통계 분석 대상 소형 어선 정보

본 연구를 위하여 사전에 소형 어선들의 중량 정보가 포함된 복원성계산서를 다수 입수하였고, 이를 통계 분석에 활용하였다. 복원성계산서의 일부를 Fig. 1 에 한 예로 나타내었다. Fig. 1과 같이 복원성계산서에는 대상선의 표준 재화 상태 별 각 중량물의 중량, 무게중심 길이방향 및 높이방향 위치가 포함되어 있다.

CONDITION NO 2 FULL LOAD DEPARTURE

DEADWEIGHT ITEMS	WEIGHT	L.C.G	L-MOMT	V.C.G	V-MOMT	F.S.M
	ton	m	ton*m	m	ton*m	ton*m
F.O.T(C)	1.725	0.778	1.34	0.441	0.76	1.39
CREWS & EFFECT	0.080	0.880	0.07	2.070	0.17	0.00
STORE & SPARE(STORE)	0.196	2.480	0.49	0.460	0.09	0.00
F.W.CAN(ON UFF.DK.)	0.400	-5.000	-2.00	1.930	0.77	0.00
LUB.CAN(IN E/R)	0.184	-2.155	-0.40	0.300	0.06	0.00
SUB TOTAL	0.584	-4.104	-2.40	1.416	0.83	0.00
BAIT & FISH(ON UFF.DK.)	0.595	-6.360	-3.78	1.620	0.96	0.00
PASS.(17P.ON UFF.DK.)	1.360	0.000	0.00	1.890	2.57	0.00
SUB TOTAL	1.955	-1.936	-3.78	1.808	3.53	0.00
DEADWEIGHT	4.540	-0.943	-4.28	1.185	5.38	
LIGHT SHIP WEIGHT	16.782	-1.811	-30.39	1.174	19.70	
TOTAL WEIGHT	21.322	-1.626	-34.67	1.176	25.08	

Fig. 1 An example of weight data of small fishing vessel

통계 분석을 수행한 소형 어선은 총 29척이고, 연안복합어선, 연안연승어선, 연안자망어선, 연안통발어선 등 네 종류로 구성되어 있다. 종류 별로 분류하여 총톤수 및 길이 범위를 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3 Small fishing vessels used in statistical analyses

Type	Number	Gross tonnage, GT [ton]	Length, Lpp [m]
Coastal multi-purpose fishing vessel	14	6~10	11~17
Coastal long liner	7	20~29	17~22
Coastal gill netter	5	3~24	9~22
Coastal pot fishing vessel	3	3~10	9~17

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2014)에 따르면 '소형 어선'은 엄밀하게 총톤수 10톤 미만의 어선을 일컫는다. 최근 수산업법 개정에 근거하여 총톤수 10톤 이하의 소형 연승어선은 연안복합어선에 포함시켰다.

Table 3에서 별도로 정리된 연안연승어선은 총톤수 20톤 이상으로 비교적 규모가 큰 어선이다. 그러나 본 연구는 국내 연안에서 조업 주기가 비교적 짧고, 적재 정보 기록이 빈약한 소형 어선의 중량 정보 추정이 주 목적이므로 총톤수 30톤 이하의 연안연승, 연안자망어선도 통계 분석 대상에 포함하였다.

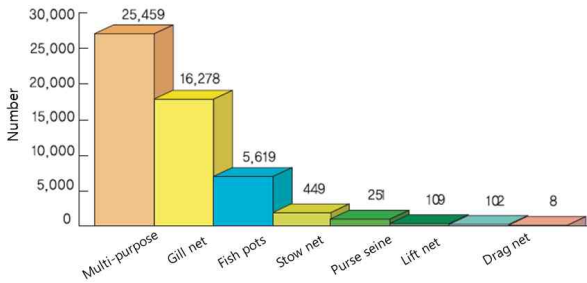


Fig. 2 Number of fishing vessels according to vessel type

한편 National Fisheries Research & Development Institute(2010)에 따르면 최근 국내 연안어업의 어선척수 분포는 Fig. 2와 같다. 연안복합, 연안자망, 연안통발어선 순으로 그 비중이 높고, 이 세 가지가 연안 어선의 대부분을 차지한다. 따라서 Table 3에서와 같이 본 통계 분석에 활용된 어선의 종류는 국내 연안 소형어선을 잘 대표하는 것으로 판단된다.

4. 소형 어선 중량 추정식

4.1 중량 및 무게중심 표현식

2.1절에서 분류한 소형 어선의 고정 및 가변 중량물을 기반으로 Table 4와 같이 중량물을 총 여섯 가지로 재분류하고 각 중량, 길이방향 무게중심, 높이방향 무게중심을 기호화하였다. 특별한 경우가 아니면 대상 어선의 선원, 어구 중량 및 무게중심 위치는 거의 고정되므로 경하중량에 선원, 어구를 합쳐 하나의 고정중량으로 다루고 아래첨자 0으로 표기하였다. 그리고 어선의 운항 경로에 따라 변화하는 가변 중량은 연료, 청수, 식량, 미끼, 어획물 다섯 가지로 분류하고 아래첨자 1~5로 각각 나타내었다.

Table 4 Notations of weight and center of gravity

Item	Weight	LCG	KG
Fixed weight (light +crew+fishing gear)	W_0	LCG_0	KG_0
Fuel	W_1	LCG_1	KG_1
Fresh water	W_2	LCG_2	KG_2
Provision	W_3	LCG_3	KG_3
Bait	W_4	LCG_4	KG_4
Fish	W_5	LCG_5	KG_5

그리고 가변중량물의 재화상태 별 중량 변화를 고려하기 위하여 Table 2의 표준재화상태에 따라 각 가변중량의 가중치를 α, β, γ 로 각각 수치화하였다. 이는 Table 5와 같다.

Table 5 Weighting factors of variable weights according to loading conditions

Loading condition	Fuel, fresh water, provision	Bait	Fish
[Weighting factor]	$[\alpha]$	$[\beta]$	$[\gamma]$
Full load departure	1.00	1.00	0.00
Fishing ground departure	0.25	0.00	1.00
Full load arrival	0.10	0.00	1.00
Partial arrival	0.10	0.00	0.20

Table 4와 Table 5의 기호들을 활용하여 소형 어선의 전체 중량(W) 및 길이방향 무게중심(LCG), 높이방향 무게중심(KG)을 수식화하면 식 (1)~(3)과 같다.

$$W = W_0 + \alpha(W_1 + W_2 + W_3) + \beta W_4 + \gamma W_5 \quad (1)$$

$$LCG = [W_0 \cdot LCG_0 + \alpha(W_1 \cdot LCG_1 + W_2 \cdot LCG_2 + W_3 \cdot LCG_3) + \beta W_4 \cdot LCG_4 + \gamma W_5 \cdot LCG_5] / W \quad (2)$$

$$KG = [W_0 \cdot KG_0 + \alpha(W_1 \cdot KG_1 + W_2 \cdot KG_2 + W_3 \cdot KG_3) + \beta W_4 \cdot KG_4 + \gamma W_5 \cdot KG_5] / W \quad (3)$$

4.2 통계분석에 의한 중량 및 무게중심 추정식 구성

소형 어선은 운항 중 탑재 중량 정보 기록이 빈약하며, 해양 사고 등 특정 시점이 지난 이후에 취득할 수 있는 정보는 주요 제원 정도로 매우 한정되어 있다. 따라서 가능한 적은 정보만으로 중량 및 무게중심을 정도 높게 추정할 수 있어야 한다.

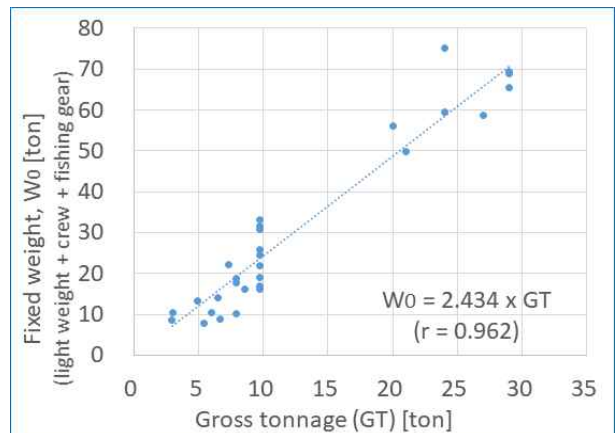


Fig. 3 Fixed weight with gross tonnage

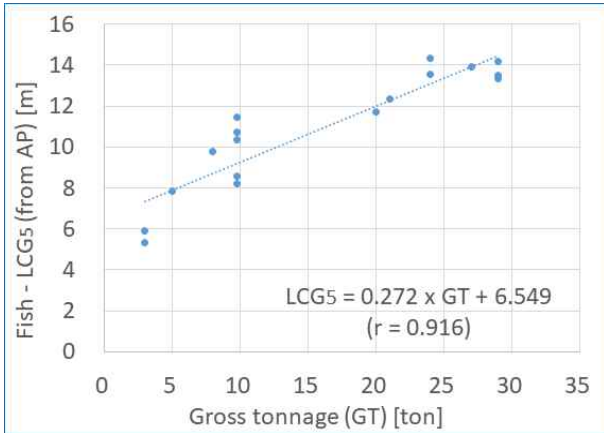


Fig. 4 Longitudinal center of gravity of fish with gross tonnage

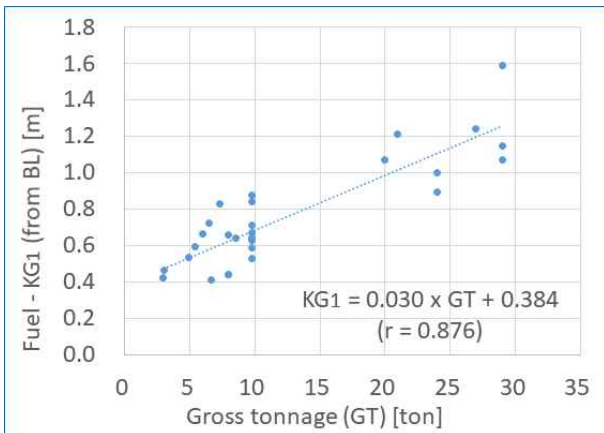


Fig. 5 Vertical center of gravity of fuel with gross tonnage

소형 어선 총톤수와 각 탑재물 중량 및 무게중심 간의 관계에 대한 회귀 분석을 수행하였다. 예를 들어 고정중량 W_0 , 어획물의 길이방향 무게중심 LCG_5 , 연료의 높이방향 무게중심 KG_1 을 어선 총톤수에 대한 그래프로 나타내면 Fig. 3, 4, 5와 같다.

Fig. 3, 4, 5와 같은 과정으로 Table 4의 총 18가지 물리량을 총톤수에 대한 1차 함수 형태로 함수화하였다. 수식화하면 식 (4)와 같으며, i 는 Table 4에서 나타낸 아래첨자 0~5이다.

$$W_i, \text{ or } LCG_i, \text{ or } KG_i = A_i \cdot GT + B_i \quad (4)$$

식 (4)에서 총톤수에 대한 일차함수의 기울기 A_i 와 y절편 B_i 를 정리하면 Table 6, 7, 8과 같다. 총톤수와 해당 물리량의 상관계수(correlation coefficient) r_i 도 함께 표기하였다. 상관계수는 -1.0부터 +1.0 사이의 값을 가지며, +1.0에 가까울수록 강한 양의 상관관계, -1.0에 가까울수록 강한 음의 상관관계를 의미한다.

Table 6 Slopes and intercepts of weight functions

Notation	A (slope)	B (intercept)	r (correlation coefficient)
W_0	2.434	0.000	0.962
W_1	0.355	0.000	0.832
W_2	0.209	0.000	0.749
W_3	0.024	0.000	0.391
W_4	0.167	0.000	0.768
W_5	1.320	0.000	0.902

Table 7 Slopes and intercepts of LCG functions

Notation	A (slope)	B (intercept)	r (correlation coefficient)
LCG_0 (from AP)	0.160	3.556	0.794
LCG_1 (from AP)	0.168	2.421	0.591
LCG_2^* (from MS)	-0.223	-4.221	-0.626
LCG_3^* (from MS)	-0.258	-3.522	-0.874
LCG_4 (from AP)	0.420	4.427	0.753
LCG_5 (from AP)	0.272	6.549	0.916

Table 8 Slopes and intercepts of KG functions

Notation	A (slope)	B (intercept)	r (correlation coefficient)
KG_0	0.029	0.840	0.771
KG_1	0.030	0.384	0.876
KG_2	0.027	1.273	0.445
KG_3	0.055	1.378	0.856
KG_4	0.004	1.082	0.113
KG_5	0.029	0.269	0.916

중량의 1차 회귀식의 y절편은 실제로 0에 근사하므로, 작은 총톤수 범위에서 중량이 음으로 추정되는 것을 방지하기 위하여 y절편을 모두 0으로 고정하였다.

Table 8에서 KG_4 의 총톤수에 대한 상관계수가 비교적 낮다. 미끼는 접근이 쉬운 선수부 어창에 임의로 나누어 배치하는 경우가 많기 때문이며, 전체 중량에서 차지하는 비중이 5% 이하로 낮아 식 (3)의 계산 결과에는 큰 영향을 미치지 않는다.

일반적으로 청수, 식량은 선원이 거주하는 선교 주변에 탑재된다. 국내 소형 어선은 대부분 선교가 선미쪽에 위치하는 선미선교형 선박이다. 청수, 식량의 위치가 선미쪽에 몰려 있으므로 LCG를 선미(AP)를 기준으로 하여 분석할 경우 추정식의 정확도가 낮아진다. 따라서 두 항목에 대해서는 LCG를 중앙부(MS, midship)를 기준으로 추출하여 1차 회귀식을 작성하였다. Table 7에서 위 첨자 *는 중앙부에서부터의 거리임을 의미한다. 최종적으로 식 (2)에 대입하기 전에 아래 식 (5)를 거쳐서 AP 기준으로 한 값으로 변환하여야 한다.

$$\begin{aligned}
 LCG_2 &= Lpp/2 + LCG_2^* \\
 LCG_3 &= Lpp/2 + LCG_3^*
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

만약 대상 소형 어선의 총톤수 정보만 있고 수선간길이 (Lpp) 정보를 얻기 어려울 경우, 본 연구의 대상 선박인 소형 어선 29척의 총톤수와 수선간길이 간 1차 함수식을 사용하기를 권장한다. 해당 식 및 그 근사 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

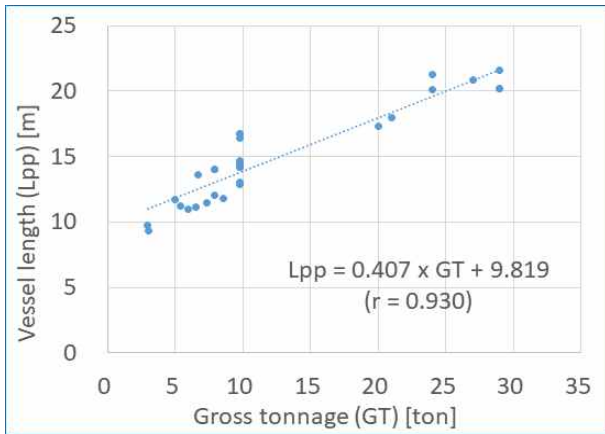


Fig. 6 Vessel length(Lpp) with gross tonnage

5. 제안된 중량 추정식의 검증

5.1 통계 분석 대상 어선에의 재적용

4장에서 제안한 추정식을 검증하기 위하여, 우선 통계 분석에 사용된 29척의 소형 어선에 제안된 추정식을 적용하였다. 즉, 29척 소형 어선은 실제로 각 탑재 중량별 정보를 알고 있지만 총톤수(GT) 및 수선간길이(Lpp)만 알고 있다고 가정하고, 4장의 추정법에 의하여 재화상태 별 전체 중량 및 무게중심 위치를 추출한 후 복원성 계산서에 기록된 실제 값과 비교하였다. 예로 29척 소형어선의 만재입항 시 전중량, 그리고 만재출항 시 LCG , KG 정보를 추정하여 실제 값과 비교하면 Fig. 7, 8, 9와 같다.

Fig. 7, 8, 9에서 가로축은 해당 물리량의 실제값, 세로축은 추정값이며, 점선에 모여 있을수록 추정 정확도가 높은 것이다. 실제값과 추정값의 상관계수 r 을 함께 표기하였고, 1.0에 가까울수록 둘 간의 상관관계가 높아서 잘 추정된 것이다. 대상 소형 어선의 총톤수와 수선간길이 두 가지 기본 정보만으로 재화상태 별 중량, LCG , KG 를 상당히 정도 높게 추정하고 있다.

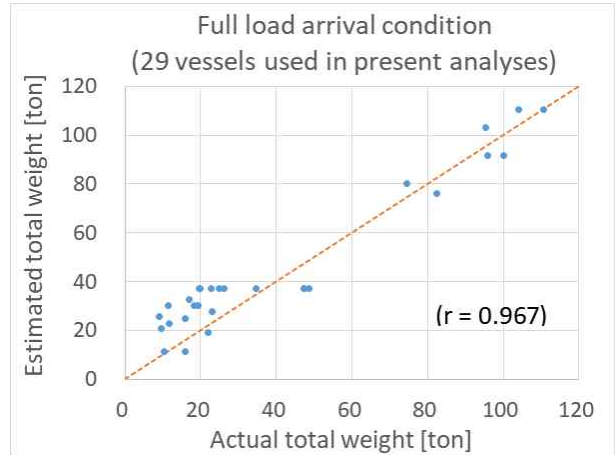


Fig. 7 Comparison between estimated and actual weight of 29 vessels used in present analyses

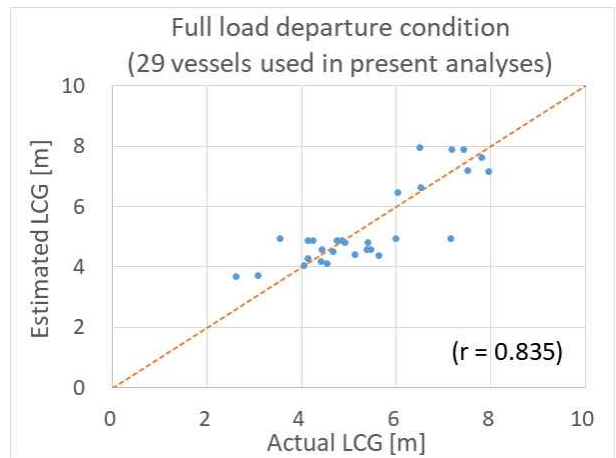


Fig. 8 Comparison between estimated and actual LCG of 29 vessels used in present analyses

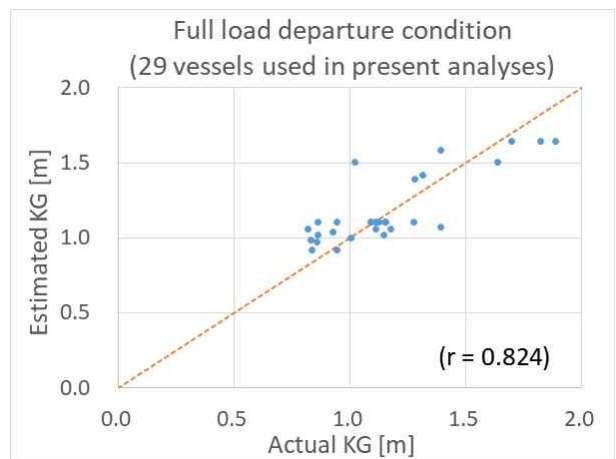


Fig. 9 Comparison between estimated and actual KG of 29 vessels used in present analyses

5.2 통계 분석에 포함되지 않은 타 어선에의 적용

Kim(1999)의 연구에서 국내 소형 어선들의 주요 제원 및 만재출항, 어장발 재화상태 각각의 총 중량, KG 정보가 공개된 바 있다. 이 중에 총톤수 10톤 이하 소형 어선 8척의 만재출항, 어장발 재화상태의 정보들을 옮겨 정리하면 Table 9와 같다.

Table 9의 어선들은 오로지 총톤수 및 주요 제원 정보만 확보되고 각 탑재물의 중량 정보는 없는 경우이다. 이 정보를 4장에서 제안된 추정식에 대입하여 각 탑재 중량을 추정한 후, 만재출항 및 어장발 상태의 총 중량, KG의 추정값을 산출하고 Table 9의 실제값과 비교하였다. 예로 만재출항 상태의 중량, 어장발 상태의 KG에 대한 실제값(가로축)과 추정값(세로축)을 비교한 결과는 Fig. 10, 11과 같다. 대상 소형 어선의 총톤수와 길이 두 가지의 정보만으로 통계 분석 선박 이외 소형 어선의 총 중량 및 KG도 상당히 잘 추정하고 있다.

Table 9 Gross tonnage, length and total weight, KG information for 8 small fishing vessel by Kim(1999)

No.	1	2	3	4
GT[ton]	1.71	1.99	2.99	2.99
L [m]	7.80	8.70	8.70	8.80
Full load departure				
W [ton]	4.668	5.195	8.857	8.787
KG [m]	0.604	0.619	0.730	0.853
Fishing ground departure				
W [ton]	4.807	5.455	8.187	8.956
KG [m]	0.585	0.592	0.752	0.833
No.	5	6	7	8
GT[ton]	4.99	4.99	7.93	7.93
L [m]	10.90	10.80	13.00	12.80
Full load departure				
W [ton]	11.262	14.040	17.318	21.801
KG [m]	0.873	0.886	1.014	0.950
Fishing ground departure				
W [ton]	11.000	13.116	18.413	19.491
KG [m]	0.865	0.913	1.017	0.959

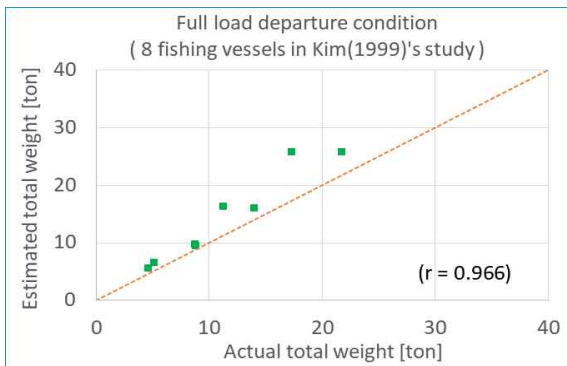


Fig. 10 Comparison between estimated and actual weight of 8 vessels in Kim(1999)'s study

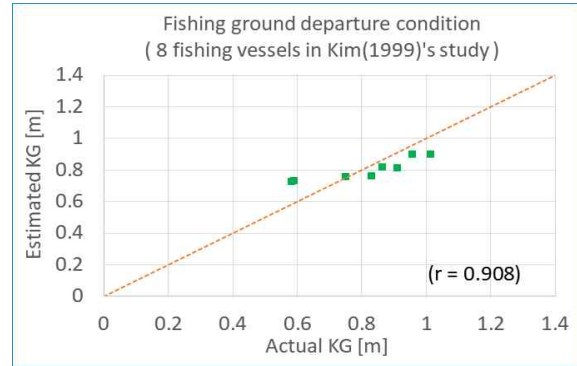


Fig. 11 Comparison between estimated and actual KG of 8 vessels in Kim(1999)'s study

6. 결 론

본 연구에서는 해양사고 원인 분석 시뮬레이션에 필요한 정보인 선박의 중량 정보를 효율적으로 추정하기 위한 목적으로 해양사고가 빈번한 국내 소형 어선의 중량 및 무게중심을 추정하는 기법을 제안하였다. 이를 종합하면 다음과 같다.

- 소형 어선의 탑재 중량을 경하중량에 선원, 어구를 포함한 고정중량과 연료, 청수, 식량, 미끼, 어획물 등의 가변 중량으로 분류하였다.
- 총 29척 소형 어선 데이터의 통계 분석을 통하여 각 탑재 중량물을 총톤수에 대하여 1차함수화 하였다.
- 재화상태에 따른 가변 중량들의 가중치를 추가로 고려하여 총 중량 및 무게중심 추정식을 구성하였다.
- 실제 소형 어선 자료를 활용하여 제안된 추정식의 신뢰도를 검증하였으며, 제안된 추정식이 선박의 중량 정보를 정도 높게 추정함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 선박해양플랜트연구소의 주요사업 “해양사고 재현 및 분석 시뮬레이션 핵심기술 개발 - 2단계(3/3)” (PES3100)의 연구 결과 중 일부입니다.

References

[1] Fyson, J.(1985), Design of Small Fishing Vessels, Fishing New Books Ltd.
 [2] Kim, J. N.(1999), “A Study on Stability Criteria of Small Fishing Vessel”, Chosun University, Master’s Thesis.
 [3] Kwon, S. Y. and Lee, H. J.(2007), “Study on the Stability Criteria for Small Fishing Vessels and Cargo Ships”, Journal of Korean Society of Ship Inspection & Technology, Vol. 22, No. 5, pp. 19-33.
 [4] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013),

Standard of Stability and Full Load Draft Line of Fishing Vessels, 2013-164.

- [5] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2014), Standard of Structure and Facility of Small Fishing Vessel under G/T 10 tons, 2013-279.
- [6] National Fisheries Research & Development Institute(2010), Korean Coastal and Offshore Fishery Census.
- [7] Park, B. and Yeo, D. J.(2015), "A Basic Study on the Estimation of Absent Information in Maritime Accidents", Proceedings of Annual Autumn Meetings of the Korean Society of Marine Environment and Safety.
- [8] Song, H. C., Kim, Y. S. and Shim, C. S.(2008), "A Study for the Minimum Weight Design of a Coastal Fishing Boat", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 32, No. 3, pp. 223-228.

Received 7 November 2018

Revised 22 January 2019

Accepted 23 January 2019