

회귀분석을 이용한 주요 위험성 평가 입력요소 결정에 관한 연구

강병선* · 정창현***

* 목포해양대학교 대학원 박사과정, ** 목포해양대학교 교수

Determining Input Values for Dragging Anchor Assessments
Using Regression Analysis

Byung-Sun Kang* · Chang-Hyun Jung***

* Doctor's course, Graduate School of Mokpo National Maritime University

** Professor, Mokpo National Maritime University

요 약 : 선박의 주요 위험성을 평가할 수 있는 프로그램이 개발되어 있지만 선박의 제원에 해당되는 다양한 입력요소들을 직접 찾아서 입력해야 하므로 VTS 관제사가 정박지에 정박 중인 선박들로부터 이러한 입력요소들을 모두 확인하여 프로그램을 활용하는 것은 현실적으로 어려운 상황이다. 이에 본 연구에서는 VTS 관제사 입장에서 선박으로부터 쉽게 획득할 수 있는 총톤수(GT)를 독립변수로 설정하고 프로그램 입력요소들을 종속변수로 하여 선형 및 비선형 회귀분석을 실시하였다. 다항식 모델(선형)과 멱급수 모델(비선형)의 적합도를 비교한 결과, 컨테이너선과 벌크선의 경우에는 모든 입력요소에서 멱급수 모델이 적합한 것으로 평가되었다. 하지만 탱커선의 경우에는 수선간장, 선폭, 흘수는 멱급수 모델이 적합하고, 정면풍압면적, 앵커의 무게, 의장수, 묘쇄공으로부터 선저까지의 높이는 다항식 모델이 더 적합한 것으로 평가되었다. 또한 탱커선의 정면풍압면적 요소를 제외한 다른 나머지 종속변수들은 모두 결정계수가 0.7 이상으로 높은 적합도를 보였다. 따라서 주요 위험성 평가 프로그램의 입력요소 중 외력 요소, 해저 저질, 수심 및 앵커 체인의 신출량을 제외한 나머지 입력요소들은 선박의 총톤수만 입력하면 회귀분석 모델식에 의해 자동으로 입력됨으로써 주요 위험성 평가가 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 주요 위험성, 입력요소, VTS 관제사, 회귀분석, 결정계수

Abstract : Although programs have been developed to evaluate the risk of dragging anchors, it is practically difficult for VTS(vessel traffic service) operators to calculate and evaluate these risks by obtaining input factors from anchored ships. Therefore, in this study, the gross tonnage (GT) that could be easily obtained from the ship by the VTS operators was set as an independent variable, and linear and nonlinear regression analyses were performed using the input factors as the dependent variables. From comparing the fit of the polynomial model (linear) and power series model (nonlinear), the power series model was evaluated to be more suitable for all input factors in the case of container ships and bulk carriers. However, in the case of tanker ships, the power supply model was suitable for the LBP(length between perpendiculars), width, and draft, and the polynomial model was evaluated to be more suitable for the front wind pressure area, weight of the anchor, equipment number, and height of the hawse pipe from the bottom of the ship. In addition, all other dependent variables, except for the front wind pressure area factor of the tanker ship, showed high degrees of fit with a coefficient of determination (R-squared value) of 0.7 or more. Therefore, among the input factors of the dragging anchor risk assessment program, all factors except the external force, seabed quality, water depth, and amount of anchor chain let out are automatically applied by the regression analysis model formula when only the GT of the ship is provided.

Key Words : Risk of dragging anchor, Input factors, VTS operator, Regression analysis, R-squared

1. 서 론

우리나라는 지리적 위치와 편서풍의 영향을 받아 필리핀

이나 대만 근처에서 전향한 태풍이 매년 평균 2~3개 정도 통과한다. 2020년도에는 태풍 장미, 바비, 마이삭, 하이선 등 총 4개의 태풍이 우리나라를 관통하였고, 그 중 제9호 태풍 마이삭은 중심기압 957hPa, 최대풍속 45m/s의 세력으로 1904년 기상관측 이래로 중심기압으로는 3위 그리고 최대풍속으

* First Author : kbs109011@komsa.or.kr, 061-555-4028

† Corresponding Author : hyon@mmu.ac.kr, 061-240-7182

로는 4위에 달하는 역대급 태풍으로 국내에 큰 피해를 가져왔다(KMA, 2020).

진해만은 우리나라의 대표적 태풍 피항지로 알려져 있으며, 2020년 태풍 피항 선박은 제5호 태풍 장미 내습 시 169척, 제8호 태풍 바비 내습 시 184척, 제9호 태풍 마이삭 내습 시 166척, 제10호 태풍 하이선 내습 시 151척으로 많은 선박이 태풍 피항을 위해 진해만을 이용하였다. 이와 같이 진해만은 태풍 내습 시 피항하기 위한 선박들로 가득차게 되고, 항로 구간을 점유하여 투포함으로써 진해만 내부는 묘박 선박들로 포화상태가 되어 선박 간에 공간이 매우 협소하게 된다(Masan VTS, 2020).

태풍 또는 기상 이변으로 인한 돌풍 등으로 정박중인 선박이 끌려 좌초되거나 타 선박과 충돌하는 사고가 끊이지 않고 있다. 2003년 태풍 매미의 영향으로 마산항 등 진해만 주변에서 발생한 해양사고는 총 62척이며, 이 중 침몰 8척을 제외한 좌초 및 좌안 32척 그리고 충돌 및 접촉 22척은 모두 주모가 발생되어 유발된 사고라고 할 수 있다(Masan Regional Office of Oceans and Fisheries, 2003).

또한 2013년 태풍 위파로 인한 포항항에서의 화물선 A호의 방파제 접촉/침몰사고, 2016년 강풍으로 인한 부산 남항에서의 자동차운반선 B호의 좌초사고, 2017년 강풍으로 인한 울산항 E-2 정박지에서의 케미컬 운반선 A호의 타 선박과의 충돌사고 등이 주모로 인해 발생한 사고이다(Korea Maritime Safety Tribunal, 2021).

따라서 Kim et al.(2018)는 선박의 항해사나 VTS 관제사가 정박 중인 선박의 주모로 인한 해양사고를 사전에 예방할 수 있도록 현장의 외력 환경을 고려하여 주요 위험성을 손쉽게 판단할 수 있는 주요 위험성 평가 프로그램을 개발하였으며, 실제로 주모가 발생한 3척의 사례를 통하여 프로그램의 신뢰성을 검증하였다.

하지만 Kim et al.(2018)이 개발한 주요 위험성 평가 프로그램은 선박의 제원에 해당되는 다양한 입력 요소들을 직접 찾아서 입력해야 하므로 선박에서는 쉽게 활용이 가능하나, VTS 관제사가 정박지에 정박 중인 선박들로부터 다양한 입력요소들을 모두 확인하여 프로그램을 활용하는 것은 현실적으로 어려운 상황이다.

정박지는 선박이 강풍으로 주모가 발생할 경우에는 선박 간 이격거리가 짧아 충돌사고가 발생할 수 있고, 좌초사고, 나아가 해양오염사고로 이어질 수 있으므로 VTS 관제사는 선박의 주요 위험성에 대한 불안감이 크다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 주요 위험성 평가 프로그램을 VTS 관제사가 쉽게 활용할 수 있도록 선박의 총톤수(GT)를 활용하여 선박의 제원에 해당되는 다른 입력요소들의 값을 예측하고자 회귀분석을 이용하여 가능성을 검토하였다.

2. 주요 위험성 평가 프로그램

2.1 외력요소

묘박 중인 선박에 작용하는 외력은 바람에 의한 수면 상부에 작용하는 풍압력(F_W), 수면하 선체 표면에 작용하는 유체의 마찰력(F_C) 그리고 파도의 충격에 의한 표류력(F_D)의 총합으로 계산한다(Kim et al., 2018).

1) 풍압력

바람에 의한 풍압력(F_W ; Force by wind)은 식(1)과 같고, 정면 풍압계수는 Fujiwara et al.(1998)가 제안한 추정식을 이용하였다. 강풍 시에는 일반적으로 선박이 바람이 불어오는 방향을 기준으로 선수가 좌우로 움직이는 스윙(Swing)현상이 발생하고, 선수가 좌우로 이동하기 때문에 풍압면적의 계산에는 상대풍향에 따른 정면 풍압면적과 측면 풍압면적을 함께 고려해 주어야 한다. 그러나 실시간 상대풍향을 정확히 예측하기 어려우므로 단묘박의 경우 적하상태에 따라 만선상태(Full Loaded Condition)에서는 정면 풍압면적의 2배, 공선상태(Ballast Condition)에서는 정면 풍압면적의 3배에 해당하는 값을 각각 사용하고 있다(Honda, 1986).

$$F_W = \frac{1}{2} \rho_a C_a A_T V_a^2 \times \frac{1}{1000} \quad (1)$$

여기서, F_W : 풍압력(ton·f) ρ_a : 공기밀도(kg·sec²/m⁴)
 C_a : 정면 풍압계수 A_T : 정면 풍압면적(m²)
 V_a : 풍속(m/s)

2) 조류력

선체 표면에서 발생하는 조류력은 식(2)를 이용하여 계산하였으며, 마찰저항계수는 Reynold number에 따른 Schoenherr 곡선 및 ITTC 1957 모형선-실선 상관곡선을 이용하였다(Ship resistance and propulsion, 2012).

$$F_C = \frac{1}{2} \rho_w C_f S V_w^2 \times \frac{1}{1000} \quad (2)$$

여기서, F_C : 조류력(ton·f) ρ_w : 해수밀도(kg·sec²/m⁴)
 C_f : 마찰저항계수 S : 침수표면적(m²)
 V_w : 유속(m/s)

그리고 침수표면적(S)은 식(3)과 같이 계산되어 식(2)에 적용된다.

$$S = (1.7d + C_b \cdot B)L \quad (3)$$

여기서, d : 흘수(m) C_b : 방형비척계수
 B : 선폭(m) L : 수선간장(m)

3) 표류력

파랑에 의해 발생하는 표류력은 규칙성분과 불규칙 성분으로 나눌 수 있으며, Hirano(1995)에 의하면 규칙성분인 정상 표류력은 상대파향과 파장/선장비(λ/L)로 결정되는 표류계수와 파 진폭을 변수로 나타낼 수 있다. 하지만, 실제 해상은 불규칙파에 해당되므로 Remery(1973)의 연구에 의하면, 불규칙파에 의한 평균 표류력은 식(4)와 같이 규칙파에 의한 표류력의 약 1/8 정도로 알려져 있다.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w C_w g L h_c^2 \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{8} \quad (4)$$

여기서, F_D : 표류력(ton·f) ρ_w : 해수밀도(kg·sec²/m⁴)
 C_w : 표류계수 g : 중력가속도(m/sec²)
 L : 선체길이(m) h_c : 파 진폭(m)

2.2 파주력

선박에 작용하는 외력에 대응하는 파주력은 앵커 및 앵커 체인의 파주력 합으로 계산된다. 프로그램에서는 단묘박과 이묘박을 선택할 수 있도록 구성한다.

1) 파주력

파주력의 계산은 식(5)와 같고, 앵커 및 앵커체인의 파주계수는 Table 1과 같다. 이묘박의 경우에는 스윙현상을 억제하기 위해 양쪽 묘쇄를 60°로 적용한다면 단묘박의 1.73배를 적용할 수 있다.

$$P_T = P_a + P_c = w_a \lambda_a + w_c \lambda_c l \quad (5)$$

여기서, P_T : 앵커와 체인의 총 파주력(ton·f)
 P_a : 앵커의 파주력(ton·f) P_c : 체인의 파주력(ton·f)
 λ_a : 앵커의 파주계수 λ_c : 체인의 파주계수
 w_a : 앵커의 중량(ton) w_c : 체인의 수중중량(ton)
 l : 해저에 깔린 체인의 길이(m)

Table 1. Holding power coefficient with seabed

	mud	sand	gravel	rock	dragging
λ_a (AC-14)	10	8	8	2.5	2
λ_a (JIS)	4	3.5	3	2	1.5
λ_c	1	1	0.8	0.8	0.5

2) 현수부 및 파주부 길이

현수부의 길이 계산은 식(6)과 같고, 파주부의 길이 계산은 식(7)과 같다. 외력에 의해 체인에 작용하는 장력(H)은 풍압력, 조류력 및 표류력의 합이 적용된다.

$$S = \sqrt{h \left(h + \frac{2H}{w_c} \right)} \quad (6)$$

여기서, h : 묘쇄공에서 해저까지의 높이(m)
 w_c : 1m에 해당되는 체인의 수중무게(ton)
 H : 외력에 의해 체인에 작용하는 장력(ton·f)
 $(H = F_W + F_C + F_D)$

$$l = F - S \quad (7)$$

여기서, F : 체인의 총 신출길이(m)
 S : 현수부의 길이(m)

2.3 주요 위험성 평가

주요 위험성을 평가하기 위한 계산 과정은 Fig. 1과 같다. 우선 외력의 총합을 계산한다(total external forces). 그리고 외력에 따른 파주부의 길이를 계산하고(holding part), 앵커의 파주력과 파주부 길이에 따른 체인의 파주력 합을 계산한다(total holding power). 마지막으로 외력과 파주력의 합을 상호 비교하여 주요 위험성을 판별한다.

주요 위험성이 있다고 평가되는 경우는 외력의 합이 파주력의 합보다 큰 경우 그리고(또는) 앵커 체인의 파주부 길이가 5미터 미만인 경우이다. 악천후로 인해 발생하는 선체의 상하운동은 현수부 체인에 진동을 주게 되고, 파주부의 길이가 5미터 미만인 경우에는 체인의 파주부 감소로 앵커의 샹크가 들리게 되어 앵커의 파주력이 급격히 감소될 수 있기 때문이다(Jung et al., 2009).

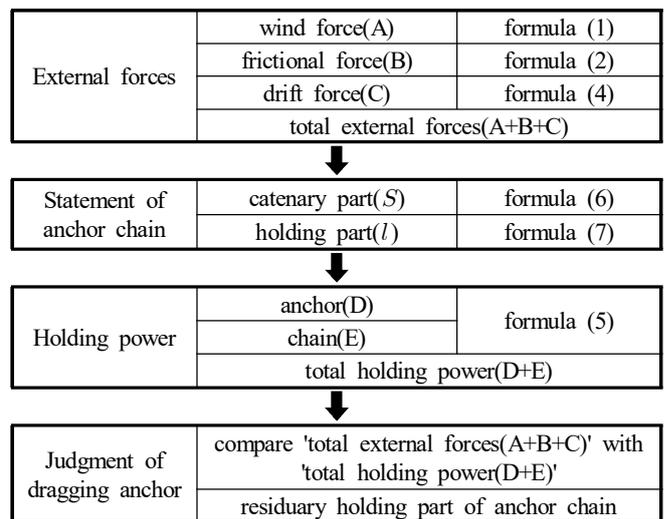


Fig. 1. Procedure of calculation.

2.4 프로그램 입력요소

주요 위험성 평가 프로그램 운용을 위한 주요 입력요소는 Table 2 및 Table 3과 같다.

Table 2는 수선간장, 선폭, 흘수, 앵커 등 주요 제원에 해당되는 내용으로 선박으로부터 직접 획득해야 하는 입력요소이다. 정면풍압면적은 수면상부 구조물의 폭과 높이로 계산할 수 있으며, 묘쇄공에서 해저까지의 높이는 흘수와 수심을 고려하여 구할 수 있다.

Table 2. Input data(1)

Input data	Value	Unit
LBP		m
Breadth		m
Draft		m
Transverse projected area		m ²
Anchor weight		ton
Anchor chain weight(1m)		ton
Anchor type	AC-14 or JIS(ASS)	
Height from hawse pipe to seabed		m

Table 3은 풍속, 유속 등 외력의 크기와 환경 요소, 앵커체인 신축 길이, 입력요소를 입력함으로써 자동 계산되는 값, 선종별 풍압계수 그리고 계산에 필요한 고정값 등이다. 풍속 및 유속은 'knot'로 입력하면 'm/s' 단위로 변환되어 계산식에 적용되며, 파진폭 및 앵커체인의 수중무게 등도 계산식에 맞도록 변환 적용된다.

Table 3. Input data(2)

Input data	Value	Unit
Wind speed		knot
Current speed		knot
Wave height		m
Wind pressure coefficient	Container Ship: 0.8 Bulk Carrier: 1.0 Oil Tanker: 1.0	
C _b	Container Ship: 0.65 Bulk Carrier: 0.85 Oil Tanker: 0.80	
Seabed material	Sand or Mud	
Chain led out from hawse pipe		m
Wetted surface area		m ²
Anchor coefficient	AC-14 and Mud: 10 AC-14 and Sand: 8 JIS and Mud: 4 JIS and Sand: 3.5	
Chain coefficient	Mud: 1 Sand: 1	
Chain catenary part		m
Chain holding part		m
Air density	0.125	kg·sec ² /m ⁴
Water density	104.6	kg·sec ² /m ⁴
Frictional resistance coefficient	0.002	-
Wave drifting coefficient	0.1	-
Gravitational acceleration	9.8	m/s ²

3. 회귀분석

3.1 회귀분석 설계

회귀분석은 변수들 중 1개 이상의 독립변수와 1개의 종속변수 사이의 모형을 구하고 그 적합도를 측정하는 분석 방법이다. 특정 변수에 중요한 영향을 미치는 변수를 찾고, 그 변수에 어떻게 영향을 미치는지 파악하고 예측하는데 회귀분석이 사용된다. 본 연구에서는 독립변수 1개(총톤수)와 종속변수 사이의 모형을 구하는 단순회귀분석을 실시하였다.

독립변수는 다른 변수에 영향을 주는 원인에 해당하는 변수를 의미한다. VTS 관제사 입장에서 가장 쉽게 얻을 수 있는 정보이면서 종속변수에 가장 큰 영향을 줄 것으로 예상되는 총톤수(GT)를 독립변수로 설정하였다.

종속변수는 독립변수의 영향을 받게 될 변수로서 Table 2에서와 같이 주요 위험성 평가 프로그램 입력요소를 종속변수로 설정하였다. 흘수, 정면 풍압면적, 묘쇄공 높이는 만재 상태를 기준으로 적용하였으며(흘수에 따라 수동 입력 가능), 앵커 및 체인 1m당 무게는 선급 강선규칙에 따라 의장수(N_E)에 의해 정해지므로 의장수를 종속변수로 하였다. 묘쇄공에서 해저까지의 높이(h)는 묘쇄공으로부터 선저(bottom)까지의 높이에 흘수를 감하고 수심을 더하여 구할 수 있으므로 묘쇄공으로부터 선저까지의 높이(h_b)로 대체하였다($h = h_b - draft + depth$). 그리고 선박에 설치되는 앵커의 최근 추세를 반영하여 고파주력 앵커(AC-14)가 탑재된 것으로 가정하였다(단, ASS 형태의 앵커가 설치된 선박의 경우 수동으로 입력 가능).

Table 4. Target vessels

Gross Tonnage	Number of ships		
	Container	Tanker	Bulk
under 1,000	0	1	1
1,000 ~ 5,000	0	3	3
5,000 ~ 10,000	2	4	3
10,000 ~ 20,000	2	3	4
20,000 ~ 50,000	6	5	17
50,000 ~ 100,000	12	3	15
100,000 ~ 150,000	5	3	3
150,000 ~ 200,000	1	8	2
more than 200,000	4	0	0
Total	32	30	48

Table 4와 같이 선박회사로부터 확인한 69척의 실선데이터(컨테이너선: 22척, 탱커선: 16척, 벌크선: 31척)와 항만 및

어항설계기준 설계코드(Harbour and Fishery Design Criteria, 2020)에서 제공되는 선종별 대상선박(컨테이너선: 10척, 탱커선: 14척, 벌크선: 17척)의 주요치수를 바탕으로 Table 5와 같이 설정된 독립변수와 종속변수에 대한 선형 및 비선형 회귀분석을 상용프로그램인 Matlab을 이용하여 분석하였다. 선종별 다항식 모델과 멱급수 모델을 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 제시하였고, 모델의 타당성 평가를 위해 R-squared(결정계수)를 사용하였다.

결정계수는 0과 1사이의 값을 갖는데, 적합성 기준은 일반적으로 Bio 분야는 0.95, 공학 분야는 0.7, 사회과학 분야는 0.3 정도를 기준으로 한다(Park, 2007).

Table 5. Variables for regression analysis

Independent variable	Dependent variable
Gross tonnage(GT)	LBP
	Breadth
	Draft
	Transverse projected area(A_T)
	Anchor weight(w_a)
	Equipment number(N_E)
	Height from hawse pipe to bottom(h_b)

3.2 선형 회귀분석

1) 컨테이너선

컨테이너선 실선데이터를 대상으로 선형 회귀분석을 실시하여 얻은 다항식 모델과 결정계수는 Table 6과 같다. 독립변수와 종속변수는 모두 양의 관계에 있고, 다항식에 대한 결정계수가 종속변수 수선간장(LBP), 선폭(Breadth), 흘수(Draft), 정면풍압면적(A_T), 앵커의 무게(w_a), 의장수(N_E), 묘쇄공으로부터 선저까지의 높이(h_b)에서 모두 0.7 이상으로 적합도가 높게 나타났다.

Table 6. Linear regression results (Container)

Dependent variable	Polynomial model	R-squared
LBP	$1.03E-03 \times (GT) + 194.8$	0.8096
Breadth	$1.72E-04 \times (GT) + 25.76$	0.9447
Draft	$3.12E-05 \times (GT) + 10.94$	0.7347
A_T	$1.09E-02 \times (GT) + 509.1$	0.9291
w_a	$8.82E-05 \times (GT) + 5.6172$	0.9866
N_E	$4.12E-02 \times (GT) + 2432$	0.9643
h_b	$7.19E-05 \times (GT) + 15.3292$	0.8519

2) 탱커선

탱커선 실선데이터를 대상으로 선형 회귀분석을 실시하여 얻은 다항식 모델과 결정계수는 Table 7과 같다. 독립변수와 종속변수는 모두 양의 관계에 있고, 다항식에 대한 결정계수는 컨테이너선과 유사하게 종속변수 LBP, Breadth, Draft, w_a , N_E , h_b 에서 높게 나타났다. 하지만, A_T 가 0.7 미만으로 다소 낮게 나타났다.

Table 7. Linear regression results(Tanker)

Dependent variable	Polynomial model	R-squared
LBP	$1.06E-03 \times (GT) + 128.1$	0.8184
Breadth	$2.08E-04 \times (GT) + 21.74$	0.8597
Draft	$7.33E-05 \times (GT) + 8.146$	0.8452
A_T	$3.21E-03 \times (GT) + 363.6$	0.6745
w_a	$6.60E-05 \times (GT) + 3.474$	0.8868
N_E	$2.92E-02 \times (GT) + 1631$	0.8858
h_b	$6.63E-05 \times (GT) + 13.24$	0.7146

3) 벌크선

벌크선 실선데이터를 대상으로 선형 회귀분석을 실시하여 얻은 다항식 모델과 결정계수는 Table 8과 같다. 독립변수와 종속변수는 모두 양의 관계에 있고, 다항식에 대한 결정계수는 탱커선과 유사하게 종속변수 LBP, Breadth, Draft, w_a , N_E , h_b 에서는 높게 나타났다. 하지만, A_T 가 0.7 미만으로 다소 낮게 나타났다.

Table 8. Linear regression results (Bulk)

Dependent variable	Polynomial model	R-squared
LBP	$1.47E-03 \times (GT) + 139.3$	0.8393
Breadth	$2.61E-04 \times (GT) + 21.82$	0.9001
Draft	$9.58E-05 \times (GT) + 8.692$	0.8364
A_T	$3.60E-03 \times (GT) + 383.8$	0.6903
w_a	$8.93E-05 \times (GT) + 4.403$	0.8836
N_E	$3.90E-02 \times (GT) + 1818$	0.9090
h_b	$9.58E-05 \times (GT) + 14.41$	0.7449

3.3 비선형 회귀분석

1) 컨테이너선

컨테이너선 실선데이터를 대상으로 비선형 회귀분석을 실시하여 얻은 멱급수 모델과 결정계수는 Table 9와 같다.

회귀분석을 이용한 주요 위험성 평가 입력요소 결정에 관한 연구

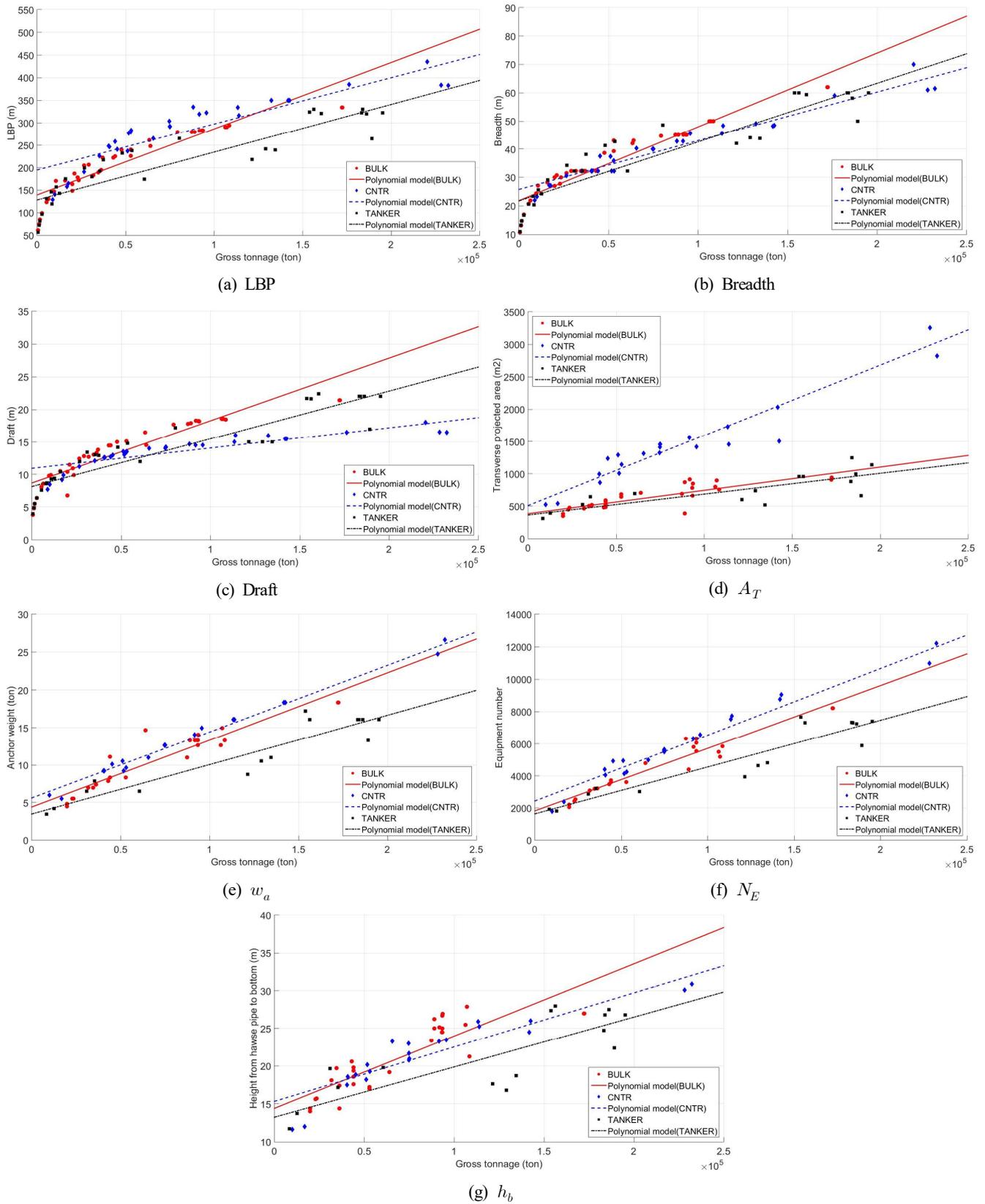


Fig. 2. Linear regression results.

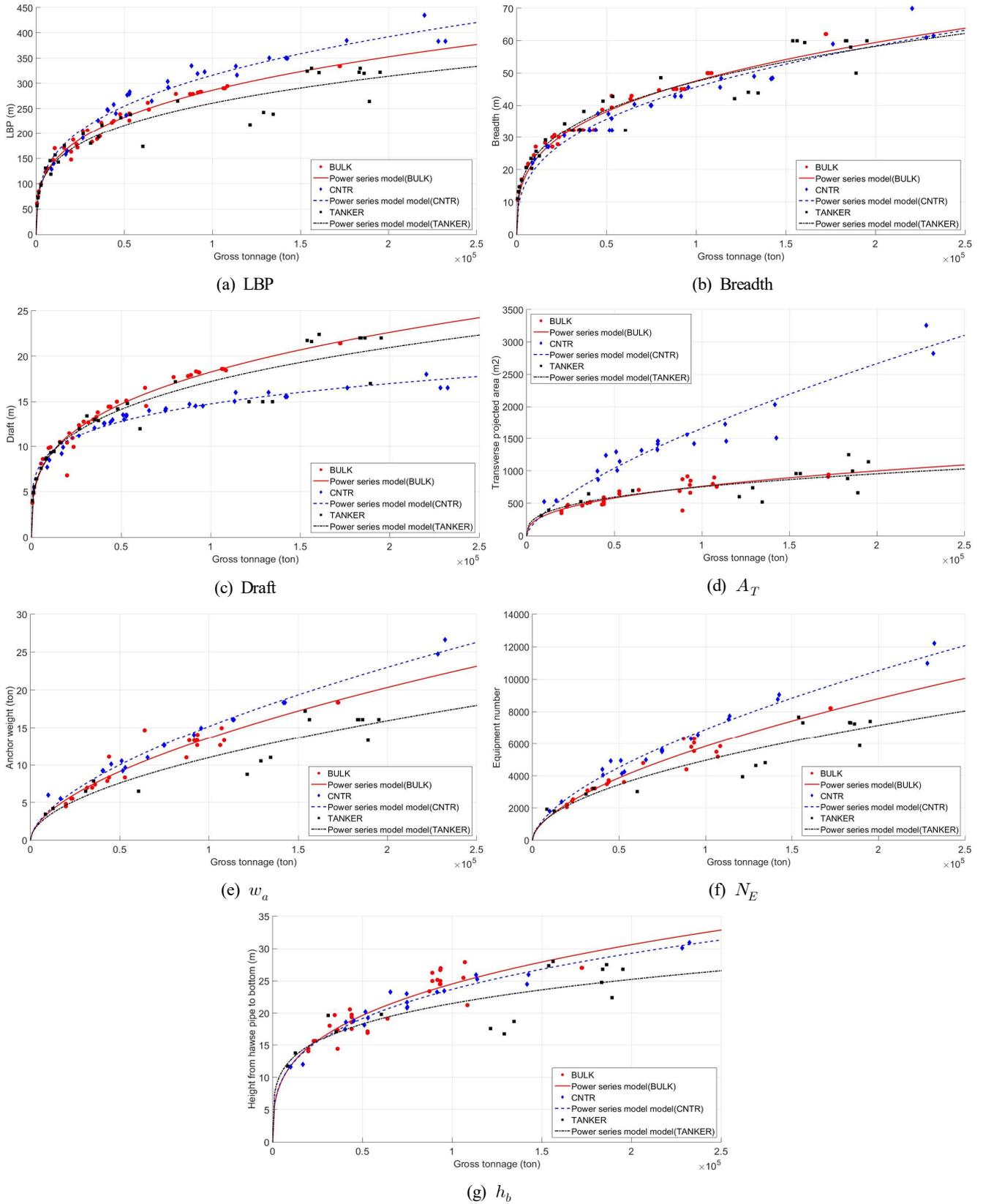


Fig. 3. Non-linear regression results.

독립변수와 종속변수는 모두 양의 관계에 있고, 먹급수에 대한 결정계수가 종속변수 LBP, Breadth, Draft, A_T , w_a , N_E , h_b 에서 0.7 이상으로 모두 적합도가 높게 나타났다.

Table 9. Non-linear regression results (Container)

Dependent variable	Power series model	R-squared
LBP	$8.711 \times (GT)^{0.3119}$	0.9508
Breadth	$0.7638 \times (GT)^{0.3553}$	0.9472
Draft	$1.413 \times (GT)^{0.2037}$	0.9460
A_T	$0.662 \times (GT)^{0.68}$	0.9113
w_a	$1.54E-02 \times (GT)^{0.5989}$	0.9847
N_E	$6.134 \times (GT)^{0.6102}$	0.9822
h_b	$0.7072 \times (GT)^{0.305}$	0.9615

2) 탱커선

탱커선 실선데이터를 대상으로 비선형 회귀분석을 실시하여 얻은 먹급수 모델과 결정계수는 Table 10과 같다.

독립변수와 종속변수는 모두 양의 관계에 있고, 먹급수에 대한 결정계수가 종속변수 LBP, Breadth, Draft, w_a , N_E , h_b 에서 높게 나타났다. 하지만, 다항식 모델에서와 같이 A_T 가 0.7 미만으로 다소 낮게 나타났다.

Table 10. Non-linear regression results (Tanker)

Dependent variable	Power series model	R-squared
LBP	$11.69 \times (GT)^{0.2696}$	0.9123
Breadth	$1.542 \times (GT)^{0.2975}$	0.9332
Draft	$0.6541 \times (GT)^{0.284}$	0.9110
A_T	$14.72 \times (GT)^{0.3417}$	0.6694
w_a	$2.32E-02 \times (GT)^{0.5352}$	0.8824
N_E	$11.53 \times (GT)^{0.5268}$	0.8576
h_b	$1.516 \times (GT)^{0.2304}$	0.7125

3) 벌크선

벌크선 실선데이터를 대상으로 비선형 회귀분석을 실시하여 얻은 먹급수 모델과 결정계수는 Table 11과 같다. 독립변수와 종속변수는 모두 양의 관계에 있고, 먹급수에 대한 결정계수는 컨테이너선과 유사하게 종속변수 LBP, Breadth,

Draft, A_T , w_a , N_E , h_b 에서 0.7 이상으로 모두 높게 나타났다.

Table 11. Non-linear regression results (Bulk)

Dependent variable	Power series model	R-squared
LBP	$8.986 \times (GT)^{0.3006}$	0.9792
Breadth	$1.171 \times (GT)^{0.3217}$	0.9496
Draft	$0.5154 \times (GT)^{0.3098}$	0.9600
A_T	$8.277 \times (GT)^{0.3926}$	0.7262
w_a	$1.77E-02 \times (GT)^{0.5772}$	0.9155
N_E	$6.275 \times (GT)^{0.5937}$	0.9217
h_b	$0.6217 \times (GT)^{0.3192}$	0.8189

3.4 다항식 모델과 먹급수 모델 비교

1) 컨테이너선

컨테이너선의 결정계수를 통한 다항식 모델과 먹급수 모델의 적합도를 비교하면 Table 12와 같다. 종속변수 LBP, Breadth, Draft, A_T , w_a , N_E , h_b 모든 항목에서 먹급수 모델이 다항식 모델보다 적합도가 높게 나타났다.

Table 12. Comparisons of polynomial model with power series model (Container)

Dependent variable	R-squared	
	Polynomial model	Power series model
LBP	0.8096	0.9508
Breadth	0.9447	0.9472
Draft	0.7347	0.9460
A_T	0.9291	0.9113
w_a	0.9866	0.9847
N_E	0.9643	0.9822
h_b	0.8519	0.9615

2) 탱커선

탱커선의 결정계수를 통한 다항식 모델과 먹급수 모델의 적합도를 비교하면 Table 13과 같다. 종속변수 LBP, Breadth, Draft는 먹급수 모델이 다항식 모델보다 적합도가 높게 나타났다지만, A_T , w_a , N_E , h_b 항목에서는 다항식 모델이 먹급수 모델보다 적합도가 높게 나타났다.

Table 13. Comparisons of polynomial model with power series model (Tanker)

Dependent variable	R-squared	
	Polynomial model	Power series model
LBP	0.8184	0.9123
Breadth	0.8597	0.9332
Draft	0.8452	0.9110
A_T	0.6745	0.6694
w_a	0.8868	0.8824
N_E	0.8858	0.8576
h_b	0.7146	0.7125

3) 벌크선

벌크선의 결정계수를 통한 다항식 모델과 멱급수 모델의 적합도를 비교하면 Table 14와 같다. 컨테이너선과 같이 종속변수 LBP, Breadth, Draft, A_T , w_a , N_E , h_b 모든 항목에서 멱급수 모델이 다항식 모델보다 적합도가 높게 나타났다.

Table 14. Comparisons of polynomial model with power series model (Bulk)

Dependent variable	R-squared	
	Polynomial model	Power series model
LBP	0.8393	0.9792
Breadth	0.9001	0.9496
Draft	0.8364	0.9600
A_T	0.6903	0.7262
w_a	0.8836	0.9155
N_E	0.9090	0.9217
h_b	0.7449	0.8189

4. 결론

선박의 주요 위험성을 평가할 수 있는 프로그램이 개발되어 있지만, VTS 관제사 입장에서는 이러한 프로그램을 운용하기 위한 입력요소를 묘박 중인 선박으로부터 직접 얻는 것은 현실적으로 어렵다. 이에 본 연구에서는 총 110척의 선박을 대상으로 회귀분석을 통해 주요 위험성 평가 프로그램의 입력요소 값을 예측할 수 있는 모델을 개발하였다.

1) 주요 위험성 평가 프로그램 운용을 위해 필수적으로 입력해야 하는 수선간장(LBP), 선평(Breadth), 흘수(Draft), 정면풍압면적(A_T), 앵커의 무게(w_a), 의장수(N_E), 묘쇄공으로

부터 선저까지 높이(h_b)를 종속변수로 설정하고, VTS 관제사 입장에서 선박으로부터 쉽게 획득할 수 있는 총톤수(GT)를 독립변수로 설정하여 선종별 선형 및 비선형 회귀분석을 실시하였다.

2) 다항식 모델(선형)과 멱급수 모델(비선형)의 적합도를 비교한 결과, 컨테이너선과 벌크선의 경우에는 모든 입력요소에서 멱급수 모델이 적합한 것으로 평가되었다. 하지만 탱커선의 경우에는 LBP, Breadth, Draft는 멱급수 모델이 적합하고, A_T , w_a , N_E , h_b 는 다항식 모델이 더 적합한 것으로 평가되었다.

3) 탱커선의 종속변수 A_T 항목에서는 결정계수가 0.7 미만으로 적합도가 다소 낮게 나타났지만, 다른 나머지 종속변수들은 모두 높은 적합도를 보였다.

4) 따라서 주요 위험성 평가 프로그램의 입력요소 중 외력 요소, 해저 저질, 수심 및 앵커 체인의 신출량을 제외한 나머지 입력요소들은 선박의 총톤수만 입력하면 회귀분석 모델식에 의해 자동으로 입력됨으로써 묘박 중인 선박으로부터 주요 위험성 평가 입력요소들을 하나하나 확인하지 않더라도 주요 위험성 평가가 가능할 것으로 판단된다.

추후 더 많은 실선데이터를 바탕으로 선박의 규모(GT)에 따른 비교 연구를 통한 신뢰성 향상과 주요 위험성 평가 프로그램의 실제 적용을 통한 회귀함수의 사용 범위 또는 제한 등에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

References

[1] Fujiwara, T., M. Ueno and T. Nimura(1998), The Estimation of Wind Force and Moments Acting on Ships, The Society of Naval Architecture of Japan, No. 183, pp. 77-90.
 [2] Harbour and Fishery Design Criteria(2020), Korea Design Standard, p. 10.
 [3] Hirano, M.(1995), The Application of Maneuvering Study to Ship's Design, The Society of Naval Architecture of Japan, pp. 48-50.
 [4] Honda(1986), "Ship Maneuvering, Chapter 4: The Maneuvering for Entering Port and Anchoring", Seong San Dang, pp. 120-121.
 [5] Jung, C. H., G. Y. Kong, B. D. Bae and Y. S. Lee(2009),

Analysis on the Pattern of Dragging Anchor in Actual Ship,
Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 33,
No.8, pp. 505-511.

- [6] Kim, J. S., J. M. Park and C. H. Jung(2018), The Development of the Anchor Dragging Risk Assessment Program, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 24, No. 6, pp. 646-653.
- [7] KMA(2020), Korea Meteorological Administration, Typhoon impact analysis report on the Korean peninsula 2020, pp. 8-9.
- [8] KMST(2021), Korea Maritime Safety Tribunal, Investigation Report of Maritime Safety Judgement.
- [9] Masan Regional Office of Oceans and Fisheries(2003), Statistics of marine accidents, pp. 30-34.
- [10] Masan VTS(2020), Analysis of the emergency control operation in response to typhoons, pp. 3-24.
- [11] Park, S. H.(2007), "Regression Analysis." The third Edition, Minyoungsa (in Korean).
- [12] Remery(1973), The Mean Wave and Current Forces of Offshore Structures and their Role in the Design of Mooring Systems, The 5th Offshore Technology Conference, Houston, USA.
- [13] Ship resistance and propulsion(2012), p. 72.

Received : 2021. 09. 17.

Revised : 2021. 10. 12.

Accepted : 2021. 10. 28.