

유효충돌속도에 따른 어선 충돌사고 피해 상관성에 관한 연구

박현구* · † 박영수 · 박상원**

*한국해사컨설팅(주) 연구원, † 한국해양대학교 항해융합학부 교수, **한국해양수산개발원 연구원

A Study on the Correlation between Effective Impact Speed and the Severity of Collision Accidents with Fishing Vessels

Hyungoo Park* · † Young-Soo Park · Sang-Won Park**

*Researcher, Korea Maritime Consulting Co., Ltd. 48733, Korea

† Professor, Division of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan, 49112, Korea

**Researcher, Korea Maritime Institute, Busan, 49112, Korea

요 약 : 국내 해양사고에서 어선의 충돌사고는 타 선종보다 빈번하고 사고 심각도는 높은 편에 속한다. 과거 큰 피해를 불러온 국내 어선 충돌사고의 시사점은 어선이 충돌 직전까지 높은 항행 속력을 유지하고 있었다는 것과 어선이 규모 차이가 큰 선박과 충돌하였다는 점에 있다. 본 논문에서는 어선의 충돌사고 결과로 나타나는 선박피해 심각도를 선박의 속력과 분석하여 상관관계를 확인하는 연구를 하였다. 이를 위해 도로교통분야에서 활용되고 있는 유효충돌속도(Effective Impact Speed)라는 개념을 두 선박의 충돌상황에 적용하였고 2016년부터 2022년까지 해양사고 재결서 중 어선과 어선, 어선과 비어선 충돌사고 데이터를 수집하여 총 617척 선박의 유효충돌속도를 산출하였다. 분석된 데이터를 바탕으로 유효충돌속도를 독립변수, 선박피해 심각도를 종속변수로 하는 이항 및 다항 로지스틱 회귀분석을 수행하여 두 변수의 상관성을 살펴보았다. 분석결과 유효충돌속도와 선박피해 심각도가 서로 통계적으로 유의하다는 것과 선박피해심각도는 유효충돌속도와 함께 선박의 질량에도 큰 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 어선, 충돌사고, 유효충돌속도, 사고 심각도, 로지스틱 회귀분석, 해양사고 재결서

Abstract : In maritime accidents, collisions involving fishing vessels are more frequent and severe than those involving other types of vessels. Previous cases of collision accidents caused by fishing vessels causing serious damage implied that fishing vessels maintained high speeds until just before the collision and that they collided with much larger vessels. This study investigated the correlation between the severity of ship damage resulting from fishing vessel collisions and the vessel's speed. The effective impact speed commonly used in the road transport sector was utilized to analyze ship collision accidents. The study collected collision data between fishing vessels and between fishing vessels and non-fishing vessels from accident investigation reports from 2016 to 2022. The effective impact speed was calculated for a total of 617 vessels. After using binary and multinomial logistic regression methodology, the analysis was carried out with effective impact speed as the independent variable and severity of accident as the dependent variable. The analysis revealed a statistically significant correlation between the effective impact speed and the severity of ship damage, indicating that the severity of ship damage is influenced not only by the effective impact speed but also by the tonnage of the vessel.

Key words : fishing vessel, collision accident, effective impact speed, severity of accident, logistic regression analysis, marine accident investigation report.

1. 서 론

중앙해양안전심판원의 해양사고 통계에 따르면 2018년부터 2022년까지 일반어선과 낚시어선을 포함한 어선의 선박피해 사고는 총 7,711건으로 전체 선박피해사고의 64.2%에 해당한다. 충돌사고 역시 어선의 경우 1,684건으로 전체 충돌사고 2,587건과 비교하였을 때 타 선종에 비하여 상당한 비중을 차

지한다. 어선피해가 경미하다고 정의된 경손사고는 6,012건, 어선 피해 규모가 큰 중손사고는 435건, 어선이 침몰하거나 행방불명 되는 전손사고는 309건 발생하였다. 이 역시 전체 선박의 경손사고 9,159건, 중손사고 665건, 전손사고는 474건과 비교하더라도 어선으로 인해 발생한 중손과 전손사고가 타 선박에 비하여 빈번하게 발생하는 것으로 나타났다(KMST, 2023a).

† Corresponding author : 중신회원, youngsoo@kmou.ac.kr 051)410-5085

* 정회원, kmcphg@kokmc.com 051)441-7277

** 정회원, psw6745@kmi.re.kr 051)797-4919

(주) 이 논문은 “어선 충돌사고의 유효충돌속도 산출과 전체 손상에 관한 기초 연구”란 제목으로 “2023 공동학술대회 한국항해항만학회논문집(부산 백스코(BEXCO), 2023.5.3-4, pp.156-157)”에 발표되었음

이처럼 국내 해양사고 중 선박피해사고와 충돌사고의 절반 이상이 어선과 관련되어 있고 어선사고가 타 선박의 사고보다 피해심각도 측면에서 취약한 경우가 많은 것으로 검토된다. Cho et al.(2017)의 연구에서는 어선의 해양사고 발생 추세가 국내 전체 해양사고의 발생 경향을 좌우하므로 어선 해양사고를 줄이는 것이 전체 해양사고를 경감하는데 필요하다고 주장하였다. 이에 더하여 Park et al.(2016)은 어선의 해양사고 중에서 가장 비중이 많은 사고가 충돌이므로 어선의 해양사고를 경감하기 위해서는 충돌사고를 우선적으로 경감하는 방안 모색해야 한다고 하였다. Jung(2018a)은 이렇게 비중이 크고 대부분 인명사고로 이어질 수 있는 충돌사고를 예방하기 위한 장비의 개발이나 어선 설비의 개선이 시급히 필요하다고 하였다.

어선 충돌사고에 관한 국내 연구에는 원인규명과 사고 예방을 위한 개선 방안에 중점을 둔 경우가 많았다. Park et al.(2013), Lee et al.(2013), Jung(2018b), Kim and Park(2022)의 연구들은 공통적으로 어선 충돌사고에서 인적과실이 포함된 사고원인을 통계적으로 분석하였고 사고현황과 원인, 안전성 제고 방안을 제시하였다. Kim(2017)은 어선 충돌사고의 직접원인과 간접원인을 결합수 분석(FTA)을 통해 정량적이고 확률적으로 분석하기도 하였다. Lee and Kim(2019)은 충돌위험 평가모델(CoRI)을 이용하여 VTS 관제에 영향을 주는 소형선박의 충돌위험도 연구를 수행하였고 Lee et al.(2019)는 WAVE 통신기술을 활용한 소형선박의 충돌 예방 알고리즘을 제안하였다. Jang et al.(2006)은 어선 충돌사고의 정확한 분석을 위해서는 역학적인 해석이 추가되어야 한다고 주장하였고 소형 FRP 어선의 충돌상황을 유한요소법(Finite Element Method)의 기법으로 평가하여 충돌각도와 속도에 따른 어선 선체의 응력분포와 변형상태를 연구하였다.

국내에서 발생한 어선 충돌사고 중 큰 피해가 발생한 사고들을 살펴보면 충돌당시의 속력과 충돌한 상대 선박의 규모와 관련이 있다. 2017년 12월 인천시 영흥도 인근 해역에서 발생한 낚시어선 충돌사고는 총톤수 336톤의 석유제품운반선과 9.77톤의 낚시어선이 충돌한 사고였다. 이 사고로 석유제품운반선의 피해는 선수부가 굽히는 정도에 불과하였으나 낚시어선은 충돌 후 선저에 파공이 생기고 전복되어 15명이 사망하는 피해가 발생하였다(KMST, 2018). 2020년 10월에는 9.77톤 낚시어선이 15kts의 속력으로 보령소재의 원산안면대교 교각과 충돌하여 4명이 사망하기도 하였다(KMST, 2021). 이처럼 사고피해가 큰 어선의 충돌사고를 살펴보면 어선과 충돌한 상대선박의 규모가 어선보다 거대한 경우이거나 사고 선박이 충돌직전까지 항행속력을 높게 유지하였다는 사실을 알 수 있다.

이러한 국내 어선 문제를 바탕으로 선박의 속력과 관련하여 수행되어왔던 선행 연구로는 Park et al.(2006)이 수행한 직선항로에서의 선박의 최대속력에 관한 연구와 Yang(2006)이 수행한 조우각도 및 속력 기반의 선박충돌회피모델 연구가 있다. 이후 Kim et al.(2014)은 강조류 해역을 통항하는 선박의 안전 항행속력을 제시하는 연구를 하였고 Kim et al.(2015)

은 항만과 수로의 제한속력 설정시 고려해야할 요소를 연구를 하였으며, Lee et al.(2016)는 인천대교 해역을 통항하는 선박의 충돌에너지 산정기준을 통해 안전속력을 제시하는 연구를 하였다. Chong(2022)은 선박이 충돌을 피하기 위해선 국내법상 제한속력규칙을 준수해야 한다는 주장과 함께 제한속력의 기준을 대지속력으로 일원화해야 한다고 제안하기도 하였다. 하지만 이들 선행연구는 상선 중심의 연구라는 점에서 어선 충돌사고의 피해심각도와 관련한 연구는 현재까지 다소 부족한 것으로 검토된다.

도로교통공학에서는 두 차량의 충돌로 인해 차체나 인체에 작용하는 충격정도를 충격가속도(Impact Acceleration)로 나타내고 있고 이를 다시 유효충돌속도(Effective Impact Speed)라는 개념을 통해서 설명하고 있다(Kang and Ahn, 2008). 유효충돌속도는 두 차량의 속도와 질량에 따라 정해지며 다수의 관련 연구가 유효충돌속도와 차량의 피해 및 운전자의 상해 심각도 관계를 규명하기 위해 수행되었다(Kang and Kim, 2008; Kim et al., 2016a; Baek et al., 2022). 이에 따라 유효충돌속도를 어선 충돌사고에 적용한다면 앞서 국내 사고사례에서 식별한 문제와 같이 선박의 속도 및 톤수와 선박 피해심각도의 상관성을 확인할 수 있고 더 나아가 어선 충돌사고시 선박피해심각도를 예측하는데 유효충돌속도를 활용할 수 있을 것으로 검토된다.

본 논문의 목적은 어선 충돌사고 결과로 나타난 선체 손상 심각도와 유효충돌속도의 상관관계를 확인하는 것이다. 이를 위해서 앞서 설명한 도로교통분야의 유효충돌속도를 어선 충돌사고에 적용하고자 하였다. 그리고 해양사고 제결서 중 어선의 충돌사고 사례를 분석하여 사고 선박별 유효충돌속도를 산출하는 분석작업을 수행하였다. 사고선박에 산출된 유효충돌속도가 사고피해 심각도에 어떠한 영향을 미치는지와 상호관계성이 존재하는지를 통계적으로 확인하기 위해 기술 통계 분석과 선형 회귀분석을 수행하였고 이항 및 다항 로지스틱 회귀분석을 통하여 선체 손상 심각도와 유효충돌속도의 상관성을 규명하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 유효충돌속도의 정의

두 차량이 충돌할 경우 각각의 차량은 충돌직전의 속도에서 두 차체가 접촉한 후 동일한 속도가 될 때까지 서로 운동량을 교환하게 되고 그 과정에서 소성변환(찌그러짐) 현상이 동반된다(Kim et al., 2016b). 이때 충돌 전 속도를 충돌개시속도라 하고 충돌 후 변화하는 동일한 속도를 공통속도라고 한다. 유효충돌속도(Effective Impact Speed)는 각 차량의 충돌개시속도에서 공통속도까지의 변화량을 의미한다(Hayashi, 1992a).

유효충돌속도는 충돌상황에서 나타나는 상대속도에 양쪽

차량 질량을 역비로 배분한 것으로써 두 차량의 주행속도 및 질량에 따라 변화한다(Satou, 1987; Osaki and Ohmae, 1999; Hayashi, 1992b). 이에 따라 유효충돌속도가 클수록 차체 손상과 신체 상해 정도도 비례하여 증가한다고 알려져 있다(Kim et al., 2016c).

질량이 m_x , 충돌개시속도가 V_x 인 차량 X가 질량이 m_y , 충돌개시속도가 V_y 인 차량 Y와 충돌할 경우 운동량의 교환이 이루어지고 공통속도(V_C)를 목적으로 속도가 변화하는 관계식은 (1)과 같으며 이를 이용하여 각 차량 X, Y의 유효충돌속도(V_{xe}, V_{ye})를 표현한 것은 관계식 (2), (3)과 같다(Kim et al., 2016d).

$$V_C = \frac{m_x V_x + m_y V_y}{m_x + m_y} \quad (1)$$

$$V_{xe} = V_x - V_C = \frac{m_y}{m_x + m_y} (V_x - V_y) \quad (2)$$

$$V_{ye} = V_C - V_y = \frac{m_x}{m_x + m_y} (V_x - V_y) \quad (3)$$

- 여기서, V_{xe} : 차량 X의 유효충돌속도(km/h)
- V_{ye} : 차량 Y의 유효충돌속도(km/h)
- V_x : 차량 X의 충돌개시속도(km/h)
- V_y : 차량 Y의 충돌개시속도(km/h)
- V_C : 공통속도(km/h)
- $V_x - V_y$: 상대속도(km/h)
- m_x : 차량 X의 질량(kg)
- m_y : 차량 Y의 질량(kg)

2.2 선박 충돌시 유효충돌속도의 적용

앞 절에서 기술한 두 차량의 충돌상황을 두 선박의 충돌상황에 적용할 수 있다. 이때 추가로 고려해야 할 요소는 두 선박의 충돌교각(Collision Angle)이다. 기존 유효충돌속도는 차량의 정면충돌이나 후미 충돌과 같은 일직선상의 1차원 충돌만을 고려하였음에 따라 충돌각도에 대한 반영이 불필요하였으나 선박의 충돌사고의 경우 조우상황 및 충돌상황에 따라 충돌교각을 추가 변수로 고려할 필요가 있다.

제한된 공간상 두 물체의 충돌현상을 설명하는 이론으로는 Gas Molecular Collision 이론이 있다. 이 이론에 따르면 특정 공간에서 두 집단의 가스분자가 충돌하는 상황을 생각할 수 있는데 예상 빈도를 추정함에 있어 두 분자간의 상대속도($V_{r_{ij}}$)는 관계식 (4)와 같이 정의된다(Gug et al., 2014).

$$V_{r_{ij}} = (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \beta)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

- 여기서, $V_{r_{ij}}$: 분자 i 와 j 간의 상대속도
- V_i : 분자 i 의 속도
- V_j : 분자 j 의 속도
- β : 분자 i, j 의 충돌각(radian)

Fig. 1은 두 선박간의 충돌상황에 따른 충돌교각과 상대속력의 개념을 나타낸 것이다. Gas Molecular Collision의 관계식 (4)에서 분자를 선박으로 고려하여 정리하면 충돌하는 두 선박의 상대속도(V_r)는 각 선박의 충돌당시속도(V_a, V_b)와 질량(m_a, m_b), 그리고 선박간 조우 Case에 따른 충돌교각(θ)으로 정의할 수 있게 된다. 상대속도(V_r)는 방향과 크기가 포함된 벡터이다. 충돌교각(θ)의 범위가 0° 부터 180° 까지인 이유는 방향에 관계 없이 두 선박 선수의 연장선을 사이각으로 정의하기 때문이다. 이러한 충돌교각은 정선수미 방향의 추월상태에서는 최소값 0° 을, 정선수 방향의 마주침 상태(Head on)에서는 최대값 180° 를 갖게 된다.

이렇게 Gas Molecular Collision 이론의 관계식 (4)를 유효충돌속도 관계식 (2), (3)의 상대속도($V_a - V_b$)에 대입하여 정리하면 선박의 유효충돌속도는 식(5), (6)과 같이 표현할 수 있다.

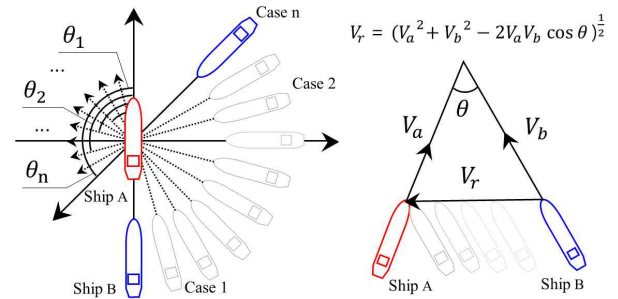


Fig. 1 Concept of collision angle and relative speed in ship's collision

$$V_{ae} = \frac{m_b}{m_a + m_b} (\sqrt{V_a^2 + V_b^2 - 2V_a V_b \cos \theta}) \quad (5)$$

$$V_{be} = \frac{m_a}{m_a + m_b} (\sqrt{V_a^2 + V_b^2 - 2V_a V_b \cos \theta}) \quad (6)$$

- 여기서, V_{ae} : 선박 A의 유효충돌속도(kts)
- V_{be} : 선박 B의 유효충돌속도(kts)
- V_a : 선박 A의 충돌당시속도(kts)
- V_b : 선박 B의 충돌당시속도(kts)
- V_r : 상대속도(kts)
- m_a : 선박 A의 질량(Gross ton)
- m_b : 선박 B의 질량(Gross ton)
- θ : 선박 A, B의 충돌교각(radian)
- ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)

2.3 해양사고 피해 심각도별 정의

중앙해양안전심판원에서는 선박 피해 종류를 심각 정도에 따라 경손사고(Accident of Minor Damage), 중손(Accident of Major Damage), 전손사고(Accident of Total Loss)로 분류하고 있다. 경손사고는 사고피해 손상의 정도가 가벼운 경우를 말하고 중손사고는 사고피해 손상의 정도가 심하여 자력 운항이 불가하거나 수리 후 운항이 가능한 경우를 의미한다. 전손사고는 선박이 사고 결과 때문에 침몰 또는 행방불명되거나 피해가 심각하여 수리하여도 선박으로 사용할 수 없는 경우를 말한다(KMST, 2023). 무손사고(Accident of No Damage)는 충돌사고에 따른 피해가 없는 경우를 의미하는데 이는 중앙해양안전심판원에 사전적으로 정의되어있지는 않으나 해양사고 전체 재결 건수에서 경손, 중손, 전손을 제외한 나머지 선박들의 피해가 무손사고로 집계되어 있다.

3. 연구 방법

3.1 데이터 수집

어선 충돌사고와 관계된 선박의 유효충돌속도를 분석하기 위해서 중앙해양안전심판원의 해양사고 재결서를 데이터로 활용하였다. 데이터 분석 기간은 2016년부터 2022년까지 총 7년간으로 하였고 전체 재결서 중에서 어선과 어선 충돌, 어선과 비어선 충돌과 같이 어선이 반드시 1척 이상 포함된 충돌사고만을 수집하였다.

데이터 수집 결과 총 319건의 어선 충돌사고 재결서와 사고와 관계된 선박 총 638척이 집계되었다. 이 중에서 사고선박의 충돌당시 속도, 총톤수 및 충돌교각 정보가 나타나 있지 않아 유효충돌속도를 분석할 수 없는 경우와 사고 결과가 나타나 있지 않아 심각도를 집계할 수 없는 21개 데이터는 분석에서 제외하였다. Table 1은 본 논문에서 분석하고자 하는 해양사고 재결서 데이터를 지방 관할 심판원에 따라 나타낸 것이다.

Table 1 Summary of data collected for analysis

Area	Total	Unknown (Excluded)	Analysis
Incheon	150	2	148
Busan	222	10	212
Mokpo	180	9	171
Donghea	86	-	86
Total	638	21	617

3.2 데이터 처리 방법

Fig. 2는 수집된 데이터를 유효충돌속도 산정과 사고 심각도 관계를 분석하는 절차를 순서도로 나타낸 것이다. 먼저 어

선 충돌사고의 범위로 수집된 해양사고 재결서로 Data Set을 작성한다. 작성된 Data Set에서 단위 사고별 선박의 총톤수, 충돌직전 선박의 속도, 충돌교각, 선박 피해 결과를 추출한다. 총톤수, 선박의 속도, 충돌교각은 앞서 기술한 관계식 (5), (6)에 따라 선박별 유효충돌속도로 계산하고 선박 피해 결과는 무손, 경손, 중손, 전손으로 분류한다. 이렇게 분석된 자료를 바탕으로 유효충돌속도를 독립변수, 선박 피해 결과를 종속변수로 하는 로지스틱 회귀분석을 수행한다.

유효충돌속도에 적용할 선박의 질량은 어선의 총톤수 (Gross Tonnage)로 하였다. 총톤수는 배수톤수(Dead-weight Tonnage)와 더불어 모든 선종의 규모를 표현하는 대표적인 톤수이다. 다만 총톤수는 배수톤수와 다르게 용적톤이고 이는 차량의 무게(kg)를 유효충돌속도에 적용하는 기존의 경우와 상이하지만 총톤수(GT)와 배수톤수(DWT)는 서로 선형적 관계를 갖는 것으로 알려져 있고(MOF, 2020) 어선의 경우 총톤수만이 공식적인 선박의 톤수로 나타나 있으며 관계식에 따르면 유효충돌속도는 상대속도를 두 차량 질량의 비율로 배분한 것이기 때문에 선박의 질량을 총톤수로 적용하여도 무방하다고 판단된다.

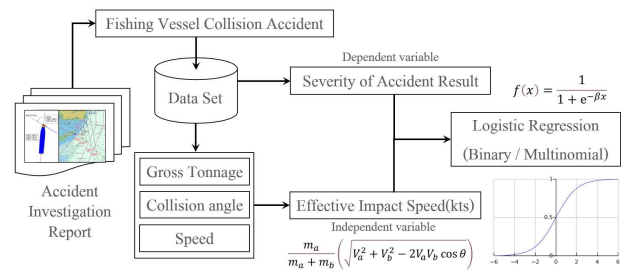


Fig. 2 Procedure of data process from accident report

3.3 로지스틱 회귀분석

로지스틱 회귀분석은 독립변수와 종속변수의 관계가 비선형일 경우에 두 변수의 관계성을 분석하는 대표적인 회귀분석 방법이다. 일반 회귀분석과 다르게 종속변수가 특정 사건의 발생 여부를 나타내는 범주형 변수일 경우에 사용된다. 이러한 로지스틱 함수는 다음 관계식 (7)과 같이 나타낼 수 있다

$$E(x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x)} \quad (7)$$

해당 함수의 종속변수 $E(x)$ 는 확률이므로 0~1까지의 범위를 갖는 반면 독립변수는 $\pm \infty$ 의 범위를 갖게 된다. 이러한 로지스틱 함수를 아래와 같이 로짓변환(Logistic Transformation)할 경우 관계식 (8)과 같이 선형 회귀모형의 형태를 보이는 특징이 있다(Hosmer et al., 1989).

$$g(x) = \ln\left(\frac{E(x)}{1-E(x)}\right) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (8)$$

이때 종속변수 $E(x)$ 는 독립변수 x 에 따라 종속변수가 발생할 확률을 의미하게 되고 본 논문에 적용할 경우 유효충돌 속도에 따라 사고피해 결과가 발생할 확률을 나타낼 수 있다. 이에 따라 본 논문에서는 ‘선박 피해 결과’를 종속변수로 하고 선박의 ‘유효충돌속도’를 독립변수로 하는 로지스틱 회귀분석을 설계하였다.

로지스틱 회귀분석은 종속변수에 특성에 따라 분석 유형이 존재한다. 종속변수가 단일사건의 여부로 분류되는 경우에는 이항 로지스틱 회귀분석(Binary Logistic Regression)을 적용할 수 있고 종속변수가 3개 이상일 때에는 다항 로지스틱 회귀분석(Multinomial Logistic Regression) 적용할 수 있다.

본 논문에서는 이항과 다항 로지스틱 회귀분석을 모두 수행하였다. 종속변수인 선박 피해 결과를 독립변수인 유효충돌 속도와 개별적으로 대응시켜 총 3번의 이항 로지스틱 회귀분석을 수행하였고 다항 로지스틱 회귀분석의 경우는 종속변수인 선박 피해 결과를 동시에 취급하여 독립변수인 유효충돌 속도에 따른 발생확률의 관계성을 비교하였다.

4. 분석 결과

4.1 기술 통계량 분석 결과

Table 2는 선박 피해 결과에 따른 요소별 기술 통계량을 나타낸 것이다. 총 617척의 사고선박 중 선박피해가 없었던 무손사고의 건수는 15.9%에 해당하는 98건이었고 경손사고의 건수는 67.4%에 해당하는 416건으로 나타났다. 중손사고 건수는 11.2%에 해당하는 69건, 전손사고의 건수는 5.5%에 해당하는 34건으로 나타났다. 해당 결과에 의하면 무손사고의 경우가 상대적으로 빈도가 적은 것으로 나타나 있다. 중앙해양안전심판원은 전체 해양사고 중 사고원인 규명이 필요한 일부 사고에 한하여 재결서를 작성하고 있으므로(KMST, 2023b) 실제 무손사고건수는 재결서의 집계 건수보다 훨씬 많을 것으로 검토된다.

각 선박 피해 결과의 평균 유효충돌속도는 중손사고가 9.6kts로 가장 크고 전손사고가 그다음인 8.5kts로 나타났다. 경손사고의 평균 유효충돌속도는 6.3kts로 617건 전체 사고선박의 평균 유효충돌속도 6.6kts와 크게 차이가 나지 않았다. 무손사고의 평균 유효충돌속도는 2.0kts로 가장 낮았으며 평

균 유효충돌속도는 중손사고, 전손사고, 경손사고, 무손사고의 순으로 크게 분석되었다.

각 선박 피해 결과의 최대 유효충돌속도는 경손사고 33.4kts, 중손사고 30.1kts, 전손사고 27.8kts로 나타났고 무손사고는 이 중에서 가장 낮은 11.9kts로 나타났다. 이는 유효충돌속도가 약 12kts 이상일 경우에는 모두 중손사고 이상의 피해심각도가 발생하였다고 해석할 수 있다.

최소 유효충돌속도는 모든 선박 피해 결과에서 2kts를 넘지 않는 것으로 나타났다. 하지만 전손사고의 경우 1.3kts로 나타났고 이는 중손과 경손, 무손 사고에 비하여 높은 수준으로 보여진다. 그 차이가 미미하지만 무손사고에서 경손 및 중손사고로 갈수록 최소 유효충돌속도는 증가하는 것으로 나타났다.

선박 피해 결과별 평균 총톤수는 무손사고의 경우 약 7,025톤, 경손사고의 약 2,573톤, 중손사고의 경우 약 101톤, 전손사고의 경우 약 28톤으로 나타났다. 전체적으로 무손사고에서 전손사고로 사고피해 심각도가 증가할수록 사고선박의 평균 총톤수는 감소하는 것으로 나타났다.

4.2 유효충돌속도별 사고 발생 분포

Fig. 3은 유효충돌속도별 사고 빈도를 선박 피해 결과에 따라 구분하여 분포 그래프로 나타낸 것이다.

무손사고의 분포 그래프에 따르면 유효충돌속도가 1kts 미만일 경우의 사고빈도가 50건으로 가장 많았고 유효충돌속도가 2kts 이상으로 증가하자 사고빈도는 10건 미만으로 급격하게 감소하였으며 12kts 이상에서는 사고발생이 전혀 없는 것으로 나타났다.

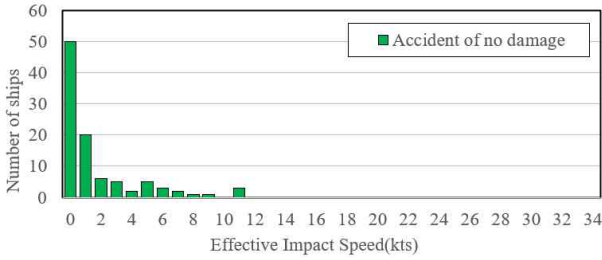
경손사고의 분포 그래프에 따르면 유효충돌속도가 1kts 미만일 경우가 84건으로 가장 많았고 1kts 이상부터 절반 이하의 수준으로 빈도가 감소하였다. 그 후 유효충돌속도가 증가할수록 완만한 감소세를 보이다가 14kts 이상으로는 사고빈도가 극히 적어지는 것으로 나타났다.

중손사고의 분포 그래프에 따르면 유효충돌속도가 8kts일 때의 사고빈도가 10건으로 가장 많았고 이를 중심으로 빈도가 감소하는 경향이 나타났다.

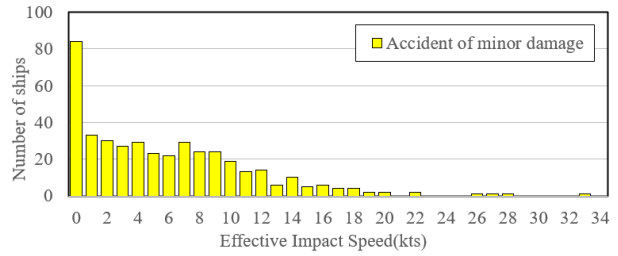
전손사고의 분포 그래프에 따르면 유효충돌속도가 7kts일 때 사고빈도가 6건으로 가장 많았고 이를 중심으로 빈도가 감소하는 경향이 나타났다. 다만, 해당 분포에서는 유효충돌속도가 1kts라는 상대적으로 낮은 속도 구간대에서 3건의 전손사

Table 2 Descriptive statistics of severity of accident

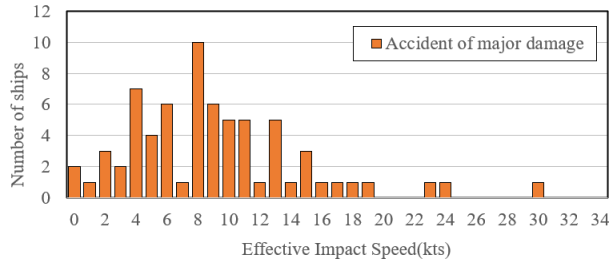
Description		Accident of No Damage	Accident of Minor Damage	Accident of Major Damage	Accident of Total Loss	Total /Average
Volume	The Number of Ship	98	416	69	34	617
	Rate(%)	15.9	67.4	11.2	5.5	100
Effective Impact Speed	Average(kts)	2.0	6.3	9.7	8.5	6.63
	Max.(kts)	11.9	33.4	30.1	27.8	25.80
	Min.(kts)	2×10^{-4}	6×10^{-4}	0.04	1.3	2.34
Gross Tonnage	Average	7,025.28	2,573.68	101.925	28.00	2,432
	Max.	160,08	156,336	6,154	289	44,696



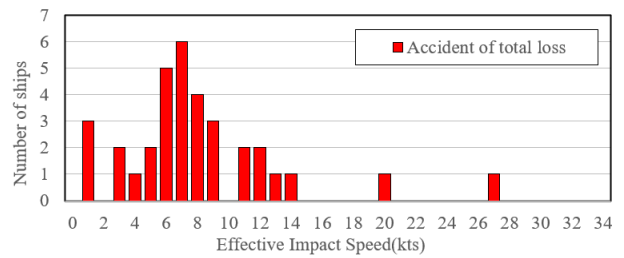
(a) Accident of no damage



(b) Accident of minor damage



(c) Accident of major damage



(d) Accident of total loss

Fig. 3 Distribution of Between Effective Impact Speed and The Number of Ship

고가 발생한 것으로 분석되었다. 검토 결과 3건 중 1건은 충돌로 인한 선체 손상은 경미하였으나 충돌발생 이후 추돌한 선박의 계속적인 전진추력에 의해 어선이 전복되면서 기관설비 고장으로 전손된 경우이고 나머지 2건은 충돌로 인해 발생한 파공으로 기관실이 침수되면서 침몰한 경우로 확인되었다.

전체적으로 무손사고와 경손사고의 분포 그래프에서는 유효충돌속도가 증가할수록 사고빈도는 감소하는 경향이 나타났고 중손사고와 전손사고의 분포 그래프에서는 7~8kts 구간에서 집중을 기록하였다가 이를 기점으로 사고빈도가 감소하는 경향이 나타났다.

4.3 유효충돌속도와 상대속도 및 총톤수와의 상관성

유효충돌속도와 상대속도간의 영향 정도를 확인하기 위해 선형 회귀분석을 수행하였다. Fig. 4는 두 선박간 상대속도와 유효충돌속도의 산포도를 선박피해결과별로 나타낸 것이고 Table 3은 선박피해결과별로 추정된 선형 회귀분석 모형, 해당 모형의 적합도를 판단하기 위한 결정계수(R^2)와 T 검정 통계량 및 유의확률을 나타낸 것이다. T 검정 통계량에 따르면 회귀계수의 가설검정에서 대립가설이 채택되므로 회귀계수는 0이 아닌 기울기를 나타내게 된다. 이에 따라 경손, 중손,

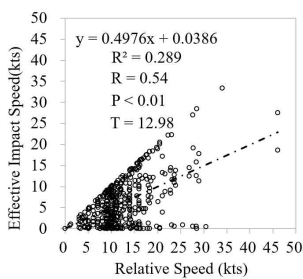
전손사고의 유효충돌속도와 상대속도는 서로 영향이 있다고 해석된다. 결정계수를 살펴보면 경손사고는 0.289로 다소 낮으나 중손사고의 결정계수는 0.577, 전손사고의 결정계수는 0.845로 나타나 설명력이 유의한 것으로 나타났다.

무손사고의 분석에서는 유의확률과 T 검정 통계량이 유의하지 않은 것으로 나타나 결과에서 제외하였다.

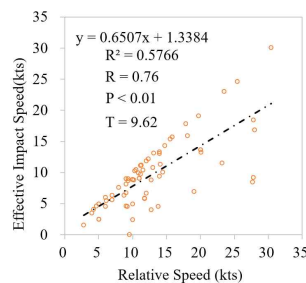
Table 3 Correlation between relative & effective impact speed

Title	Model of Regression ($y = \beta x + a$)	R^2	T	P-value
Accident of Minor Damage	$y = 0.4976x + 0.0386$	0.289	12.98	1.57×10^{-32}
Accident of Major Damage	$y = 0.6507x + 1.3384$	0.577	9.62	3.97×10^{-14}
Accident of Total Loss	$y = 0.9091x - 1.2488$	0.845	13.41	1.68×10^{-14}

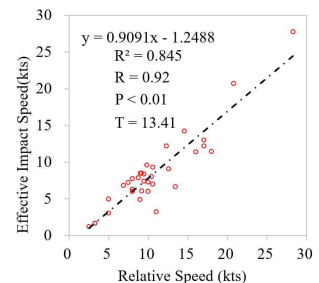
회귀모형식에 따른 회귀계수(β)를 살펴보면 경손사고는 0.4976, 중손사고는 0.6507, 전손사고는 0.9091로 나타난다. 이는 Fig. 4의 산포도에서도 알 수 있듯이 경손사고에서 전손사



(a) Accident of Minor Damage



(b) Accident of Major Damage



(c) Accident of Total Loss

Fig. 4 Correlation of relative speed and effective impact speed

고로 갈수록 회귀계수는 1에 가까워지는 것을 알 수 있다. 즉 두 선박이 충돌시 산출되는 유효충돌속도가 상대속도와 근사할수록 선박피해 심각도는 증가하는 경향으로 나타났다.

여기서 유효충돌속도는 관계식 (5), (6)과 같이 상대속도에서 선박질량의 비율을 의미하므로 이를 각 선형 회귀모형식의 y 에 대입하면 다음의 관계식 (9), (10)과 같이 나타낼 수 있고,

$$V_{ac} = \beta \cdot V_r \quad (9)$$

$$\frac{m_b}{m_a + m_b} V_r = \beta \cdot V_r \quad (10)$$

위 식을 m_a 와 m_b 에 관하여 정리하면 회귀계수(β)와 두 선박의 총톤수 관계를 나타내는 근사식 (11)을 유도할 수 있다.

$$\frac{1 - \beta}{\beta} m_b \approx m_a \quad (11)$$

이때 상수(a)는 근사식 추정에서 제외하였다. 그 이유는 상대속도와 유효충돌속도간의 관계를 파악하고 설명하는데 가장 중요한 변수는 회귀계수(β)이고 상수(a)는 중요도가 크지 않기 때문이다. 또한 상수이자 절편(a)은 독립변수(x , 상대속도)가 0일 경우의 종속변수(y , 유효충돌속도)를 의미한다. 이를 해석적인 측면으로 보면 상대속도가 0kts일 경우는 두 선박의 충돌사고가 발생하지 않는다는 뜻이므로 유효충돌속도 a 는 0으로 나타낼 수 있다. 두 변수간의 관계성 경향만을 확인하기 위한 근사식 (11)을 유도하는데 상수(a)는 무시할 수 있는 값으로 가정하였고 이에 따라 경손과 중손, 전손사고 회귀모형의 회귀계수를 이용한 충돌사고 선박간의 질량비 관계 해석이 근사적으로 가능해진다.

경손사고의 경우 선박간 질량비 경향은 1:1로 근사하는 것으로 나타났다. 그러나 경손사고의 상대속도별 유효충돌속도 산포도 그래프에서 유의확률과 T검정 통계량이 통계적으로 유의하다고 나타났지만 결정계수 R^2 는 0.289로 나타나 결정력이 낮다고 할 수 있으므로 반드시 두 선박의 총톤수가 동급이라는 해석은 보다 신중하게 고려될 필요가 있다.

중손사고의 경우 선박간 질량비 경향은 1 : 0.54로 근사하였다. 이는 어느 한 선박의 총톤수가 다른 선박의 2배가 되는

경우로 해석할 수 있다. 전손사고의 경우 두 선박의 질량비 경향이 1 : 0.1로 근사하였는데 이는 두 선박의 총톤수가 10배 이상 차이가 날 경우로 해석된다.

4.4 유효충돌속도와 선박피해 심각도의 상관성

Table 4는 독립변수인 유효충돌속도와 종속변수인 선박 피해 결과를 이항과 다항 로지스틱 회귀분석으로 수행한 결과를 동시에 나타낸 것이다.

이항 로지스틱 회귀분석을 살펴보면, 경손사고와 유효충돌속도와의 분석에서 유의확률이 0.05를 초과하는 0.236으로 나타나 경손사고와 유효충돌속도와의 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났다. 무손사고와 유효충돌속도 분석에서는 회귀계수(B Coef.)가 -0.311, 승산비(exp(B))가 1 미만인 0.773으로 나타났다. 이는 독립변수인 유효충돌속도가 1kts 증가할 경우 무손사고가 발생할 확률이 22.7% 감소한다는 것을 의미한다. 중손사고와 유효충돌속도, 전손사고와 유효충돌속도의 분석에서는 회귀계수(B Coef.)가 각각 0.105, 0.067로 나타났고 이에 따른 승산비(exp(B))는 1.11, 1.07로 나타나 유효충돌속도가 1kts 증가할수록 중손사고의 발생확률은 11% 증가하고 전손사고의 발생확률은 7% 증가한다고 해석할 수 있다.

유효충돌속도가 증가할수록 무손사고가 감소한다고 해석되는 것은 앞서 설명한 바와 같이 재결서에 집계되지 않은 무손사고가 더 많기 때문으로 검토된다. 재결서로 작성이 필요한 사고의 경우 대부분이 선박 피해 결과가 경손 이상일 경우가 대부분일 것은 명확하기 때문이다. 이에 더하여 유효충돌속도가 높은 구간의 사고는 대부분 중손과 전손사고인 경우가 많으므로 무손사고가 감소된다는 해석 보다 유효충돌속도가 증가할수록 무손사고 대비 중손 및 전손사고의 발생확률이 증가한다고 해석함이 타당할 것으로 판단된다. 즉, 유효충돌속도가 증가할수록 선박의 파손 가능성과 심각도는 증가한다고 볼 수 있다.

선박 피해 결과를 다항 종속변수로 하고 유효충돌속도를 독립변수로 하는 다항 로지스틱 회귀분석 결과 역시 Table 6에 나타나 있다. 각각의 회귀계수와 승산비의 크기에 따라 유효충돌속도에 따른 발생확률의 대소 관계를 파악할 수 있다.

Table 4 Result of binary & multinomial logistic regression(severity of accident & effective impact speed)

Binary Logistic Regression	Independent Variable	Dependent Variable	B Coef.	Exp(B)	Wald	P-value
	Effective Impact Speed(kts)	Accident of No Damage	-0.311	0.773	53.707	2.33×10^{-13}
Accident of Minor Damage		0.019	1.019	1.407	0.236	
Accident of Major Damage		0.105	1.110	26.666	2.42×10^{-7}	
Accident of Total Loss		0.067	1.070	6.480	0.011	
Multinomial Logistic Regression	Independent Variable	Dependent Variable	B Coef.	Exp(B)	Wald	P-value
	Effective Impact Speed(kts)	Accident of Minor Damage	0.297	1.346	48.490	3.32×10^{-12}
		Accident of Major Damage	0.390	1.477	69.448	7.84×10^{-17}
		Accident of Total Loss	0.365	1.441	51.809	6.12×10^{-13}
Reference Group	Accident of No Damage					

참조변수는 무손사고로 설정하여 분석하였다. 분석결과, 경손 사고에 대한 회귀계수(B Coef.)는 0.297, 승산비(exp(B))는 1.346으로 나타났고 중손사고에 대한 회귀계수(B Coef.)는 0.390으로 승산비(exp(B))는 1.477로 나타났다. 전손사고의 회귀계수(B Coef.) 추정값은 0.365이며 이는 승산비(exp(B))로 환산 시 1.441로 나타난다. 유의확률은 모두 0.05 이하로 나타나 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이를 종합적으로 해석할 경우 유효충돌속도가 증가할 때 경손사고는 무손사고에 비하여 발생할 확률이 34.6% 더 크고 중손사고는 무손사고 대비 47.7%, 전손사고는 44.1% 더 발생가능성이 증가하는 것으로 해석된다. 중손사고의 발생확률이 전손사고의 발생확률보다 크게 분석된 결과는 기술 통계량에서 보인 바와 같이 중손 사고가 전손사고보다 약 2배 더 많은 것과 연관 있어 보인다. 이는 중대한 사고 1건이 일어나기까지 상대적으로 경미한 사고가 더 많이 발생한다는 하인리히의 법칙으로 설명할 수 있다(Heinrich, 1931).

결과적으로 선박피해 심각도는 두 선박간 상대속도와 규모에 밀접한 연관이 있다. 우선 충돌직전 각 선박의 통항 상태에 따라 상대속도가 결정된다. 두 선박이 충돌한 후 상대적으로 질량이 큰 선박은 낮은 유효충돌속도를 가지지만 질량이 상대적으로 작은 선박은 상대속도에 근접한 유효충돌속도를 갖게 됨으로써 공통속도의 차이만큼 선박피해손상을 얻게 된다. 즉, 두 선박이 얼마나 빠른 속력으로 충돌하였는지와 선박의 질량이 상대선박의 질량과 얼마나 차이 나는지 여부가 선박 피해 심각도를 결정하는 요인이라고 보여진다.

5. 결 론

국내 해양사고 중 절반 이상이 어선 해양사고이고 충돌사고는 그러한 어선사고 중에서 가장 빈번하게 발생하고 있다. 어선의 충돌사고 심각도는 타 선종에 비하여 높은 편인데 이는 충돌당시 어선의 높은 속도 및 충돌하는 타 선박의 규모와 관련이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 1차 연구로 도로교통에서 활용하고 있는 유효충돌속도를 선박 충돌사고에 적용하였고 충돌사고 심각도와와의 상관성을 로지스틱 회귀분석의 방법으로 확인하고자 하였다. 이를 위해서 중앙해양안전심판원에서 관리하는 7년간의 해양사고 재결서를 수집하여 충돌 관련 사고 선박 617척의 유효충돌속도를 산출하였다. 분석 결과는 다음과 같다.

기술 통계적으로 선박피해 심각도가 증가할수록 유효충돌속도는 평균적으로 증가하였고 사고선박의 총톤수는 평균적으로 감소하는 것을 보였다.

유효충돌속도별 사고빈도 분포를 나타낸 결과 전체적으로 무손사고와 경손사고는 유효충돌속도가 증가할 경우 감소하는 것으로 나타났다. 중손사고와 전손사고의 분포 그래프의 경우 유효충돌속도 7kts 및 8kts 구간을 정점으로 0~7kts가

지는 뚜렷한 증가세를 보였고 그보다 높은 속도 구간에서는 감소하는 모습을 보였다. 전손사고 분포 그래프에서는 1kts 이하에서 발생한 사고가 3건이 존재하는데 이는 충돌로 인해 발생한 2차 사고 및 피해가 원인으로 나타났다. 이것이 시사하는 것은 충돌 후 전손사고 중에 유효충돌속도의 영향을 크게 받지 않는 경우도 존재한다는 것이다. 이에 따라 충돌 후 발생하는 2차 사고 및 피해에 대한 분석도 필요할 것으로 검토된다.

선박피해결과별 상대속도와 유효충돌속도의 관계를 선형 회귀분석 모형으로 나타낸 결과 두 선박이 충돌시 산출되는 상대속도와 유효충돌속도의 차이가 작을수록 선박피해 심각도는 증가하는 것으로 나타났다. 추가로 선형 회귀분석 모형을 유도하여 두 선박간 질량비 경향을 근사식으로 살펴볼 경우 경손사고는 두 선박간 질량비가 1 : 1, 중손사고는 1 : 0.54, 전손사고의 경우는 1 : 0.1로 근사하였다. 이에 대한 해석은 다음과 같다. 경손사고를 일으킨 선박들은 비록 결정계수가 높지 않으나 서로 규모가 동급인 경우라고 할 수 있고, 중손사고를 일으킨 한쪽 선박이 다른 선박 규모의 2배가량 큰 경우가 많다고 할 수 있다. 전손사고가 발생한 충돌사고의 경우 두 선박간 규모에서 10배가량 차이가 발생하는 것으로 해석된다.

마지막으로 유효충돌속도를 독립변수로, 선박 피해 결과를 종속변수로 하는 이항 및 다항 로지스틱 회귀분석 결과를 수행하였다. 이항 로지스틱 회귀분석 결과 경손사고는 통계적으로 유의하지 않았고 무손사고는 유효충돌속도와 역의 관계, 중손과 전손사고는 유효충돌속도가 증가할수록 사고발생 확률이 각각 11%, 7% 증가하는 등의 관계로 분석되었다. 다항 로지스틱 회귀분석 결과 유효충돌속도에 증감에 따라 영향을 민감하게 받는 선박피해결과는 중손사고, 전손사고, 경손사고, 무손사고 순이었다. 중손사고가 전손사고에 비하여 빈도가 높아 유효충돌속도의 영향을 더 많이 받는 것으로 분석되었지만 앞서 기술한 충돌선박간 질량비 경향분석에 따르면 충돌 선박의 규모 차이가 크게 날수록 전손사고의 발생 개연성은 높아 지므로 충돌사고 발생시 각 선박의 속도와 톤수 차이가 클수록 선박피해 심각도는 증가하는 것으로 검토된다.

결론적으로 본 연구를 통해 유효충돌속도와 선박피해 심각도가 서로 통계적으로 유의하다는 것과 선박피해심각도는 유효충돌속도와 함께 선박의 질량에도 큰 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 한계점은 해양사고 재결서에 기술된 정보를 전적으로 분석을 수행하였다는 것이다. 이는 재결서의 특성상 일부 정성적인 특성을 가지게 되므로 작성 당시의 조사관의 특성에 따라 일부 정보가 상이하게 기술될 가능성이 있으며 조사 당시에 포함된 오기나 정보 누락 등을 배제할 수 없는 한계점이 존재한다.

또한, 충돌사고에서 선박피해 심각도에 영향을 주는 요인으로는 선박의 속도를 비롯하여 충돌의 위치, 충돌선과 피충돌선의 여부, 충돌에 따른 2차 사고 및 피해, 선질 등의 여러 변수

가 고려될 수 있다. 이는 추후 연구를 통하여 분석할 계획이다.
본 연구로 확인된 결과는 향후 어선의 충돌사고 피해심각도를 예측하는 알고리즘이나 어선의 제한속력 설정 모델 개발 연구에 활용될 것을 목적으로 한다.

References

- [1] Baek, S. R., Yoon, J. K. and Lim, J. H.(2022), “A Study on the Development of Delta-V Prediction Model for Rear-end Collision Accidents Using Machine Learning”, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 30, No. 3, pp. 241-247.
- [2] Cho, H. K., Park, B. S., Kang, D. H. and Kim, S. S.(2017), “The Main factor and Counterplan for Marine accidents in Korea”, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 29, No. 3, pp. 746-756.
- [3] Chong, D. Y.(2022), “A Study on Speed Limit Rules Under Sailing Regulations”, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 28, No. 2, pp. 254-261.
- [4] Gug, S. G., Fukada, G., Cho, A. R. and Park, H. R.(2014), “Collision Risk Analysis in Busan Harbour”, J. Navig. Port Res, Vol. 38, No. 1, pp. 53-57.
- [5] Hayashi, H.(1992), Automobile Accident Appraisal Engineering, Engineering Books Company, pp. 15-25.
- [6] Heinrich, H. W.(1931), Industrial Accident Prevention, McGraw-Hill Compaies, pp. 1-468.
- [7] Hosmer, D. W., Lemeshow, S.(1989), Applied logistic regression. John Wjley & Sons, pp. 5-7.
- [8] Jang, I. S., Kim, Y. S. and Kim, I. D.(2006), “Collision Analysis Between FRP Fishing Boats According to Various Configurations”, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol. 9, No. 4, pp. 253-262.
- [9] Jung, C. H.(2018), “A Study on the Improvement of Safety by Accidents Analysis of Fishing Vessels”, The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 30, No. 1, pp. 176-186.
- [10] Kang, S. M. and Kim, J. H.(2008), “Statistical Model of Effective Impact Speed based on Vehicle Damages in Case of Rear-End Collisions”, Journal of Korean Data & Information Science Society, Vol. 19, No. 2, pp. 463-473.
- [11] Kang, S. M. and Ahn, B. J.(2008), “A Study on the Effect of Delta-V Based on Vehicle Damages and Injuries Subjected by Rear-End Collisions”, The Korean Society of Safety, Vol. 23, No. 2, pp. 72-80.
- [12] Kim, D. B., Jeong, J. Y. and Park, Y. S.(2014), “A Study on the Ship’s Speed Control and Ship Handling at Myeongnayang Waterway”, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 20, No. 2, pp. 193-201.
- [13] Kim, D. B., Jeong, J. Y., Park, J. S. and Park, Y. S.(2015), “Development of the Speed Limit Model for Harbour and Waterway(I) - Considerations Discrimination for Speed Limit Decision”, Journal of the Korean Society of Marine Environment and safety, Vol. 21, No. 2, pp. 171-178.
- [14] Kim, D. B., Yun, D. K., Park, J. H., Ha, S. Y. and Park, J. C.(2016), “A Case Study on Speed Analysis of the Rear-end Collision Accident”, Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 24, No. 6, pp. 724-729.
- [15] Kim, J. K. and Park, S. H.(2022), “A Basic Study on the Reduction of Collision Accidents of Fishing Vessels through Questionnaire”, The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 34, No. 5, pp. 775-781.
- [16] Kim, S. H.(2017), “An Analysis on Marine Casualties of Fishing Vessel by FTA Method”, Pukyong National University, Graduate school of Global Fisheries, Master Dissertation.
- [17] Korea Maritime Safety Tribunal(2018), Tanker 15 Myeong-jin, Fishery boat Sunchang No. 1 Collision Safety Investigation Report.
- [18] Korea Maritime Safety Tribunal(2021), Fishery boat Pureun Bada Collision to Bridge Safety Investigation Report.
- [19] Korea Maritime Safety Tribunal(2023), 2022 Maritime Accident Statistics, pp. 42-159.
- [20] Korea Maritime Safety Tribunal(2023), Types of ship damage, <https://www.kmst.go.kr/web/page.do?menuIdx=125>.
- [21] Lee, C. H., Lee, H. H., Kim, D. B., Kim, C. S. and Park, S. H.(2016), “A Study on Safe Vessel Traffic Speeds Based on a Ship Collision Energy Analysis at Incheon Bridge”, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 22, No. 6, pp. 593-599.
- [22] Lee, J. S. and Kim, J. S.(2019), “Risk Analysis of VTS Operators for Small Vessels Using Collision Risk Assessment Model”, J. Navig. Port Res, Vol. 43, No. 4, pp. 250-255.
- [23] Lee, M. K., Park, Y. S. and Kang, W. S.(2019), “A Study on Construction of Collision Prevention Algorithm for Small Vessel Using WAVE Communication System”, Journal of the Korean

Society of Marine Environment and Safety, Vol. 25, No. 1, pp. 1-8.

- [24] Lee, Y. W., Kim, S. J. and Park, M. K.(2013), "A Study on the Collision Between Fishing Vessel and Non Fishing Vessel Using the Analysis of Written Verdict", Journal of the Korean Society Fisheries and Ocean Technology, Vol. 49, No. 2, pp. 136-143.
- [25] Ministry of Ocean and Fisheries(2020), Korea Design Standard, KDS 64 10 10, <https://kpcs.portcals.go.kr/kc/selectKcListVw.do?docGubun=KDS>.
- [26] Osaki, K. and Ohmae, H.(1999), "Reconstruction of Crash Speeds for Rear-End Collision", JARI Research Journal, Vol. 21, No. 2, p. 32.
- [27] Park, B. S., Kang, I. K., Han, S. J., Park, C. W., Kim, S. H. and Cho, H. K.(2016), "The main factor and counterplan for marine casualties of fishing vessel according to the type of fishing gear in Korea", Journal of the Korean Society Fisheries and Ocean Technology, Vol. 52, No. 3, pp. 232-240.
- [28] Park, M. K., Jeon, Y. W. and Lee, Y. W.(2013), "A Study on the Collision between Fishing Vessel and non Fishing Vessel using Questionnaire Analysis", Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 25, No. 3, pp. 716-723.
- [29] Park, Y. S.(2006), "A Study on the Validity of Proper Maximum Navigation Speed in a Straight Waterway", Journal of the Korean Society of Marine Environment and safety, Vol. 12, No. 2, pp. 139-144.
- [30] Satou, T.(1987), Automobile Accident & Investigation, Engineering Books Company, p. 95.
- [31] Yang, H. S.(2006), "A Study on the Ship Collision Avoidance Model Considered Speed", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 30, No. 10, pp. 779-785.

Received 19 May 2023

Revised 07 June 2023

Accepted 07 June 2023