

선박 연료유 잔존량 추정모델을 이용한 침몰선박 위해도 평가

장우진* · 이승현** · 염홍준*** · 이인철****†

*, *** 해양환경관리공단, ** 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소, **** 부경대학교 해양공학과

A Study on the Development of Risk Assessment for Sunken Vessels Using Remaining-Fuel Estimations Model

Woo-Jin Chang* · Seung-Hyun Lee** · Hong-Jun Yeom*** · In-Cheol Lee****†

*, *** Korea Marine Environment Management Corporation, Seoul 05718, Korea

** Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon 34103, Korea

**** Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약 : 침몰선박은 침몰 당시뿐만 아니라 오랜 시간이 경과된 후에도 선체 내에 잔존하고 있는 연료유 등 유해물질의 지속적 혹은 일시적 유출로 2차 해양오염사고를 발생시킬 수 있다. 정부에서는 1999년부터 침몰선박에 대한 관리업무를 수행하고, 침몰선박의 잠재적 위해도를 정량적으로 평가할 수 있는 위해도 평가표를 개발하여 운영함으로써 침몰선박에 대한 국가적 관리체계를 구축하고 있다. 그러나 현재의 침몰선박의 위해도 평가는 침몰선박에 잔존하고 있는 연료유 등의 양에 의해 평가점수가 관이하게 달라짐에도 불구하고, 침몰선박 현황보고자료 중 상당수가 연료유 잔존량 항목이 누락되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 선박 연료유 잔존량에 대한 추정모델을 개발하여, 현행 침몰선박 위해도 평가에 적용함으로써 보다 정확한 평가를 수행할 수 있는 방안을 마련하였다.

핵심용어 : 침몰선박, 연료유 최대 적재량 추정, 연료유 잔존량 추정, 침몰선박 위해도 평가, 침몰선박 관리시스템

Abstract : *Sunken vessels accidents have harmful impacts on the marine environment because of oils and chemicals in the vessels. The government has managed them and developed risk assessment which can evaluate potential risk quantitatively since 1999. But the grades of present risk assessment has changed greatly depending on quantity of remaining fuel oils, and the list of remaining fuel oils omitted in status report of sunken vessels. Therefore, the aim of the study is to estimate and develop model for quantity of remaining fuel oils and verify the remaining fuel estimation comparison with active vessels. To accomplish the purpose of the study, apply this verified estimation model to current risk assessment and recommend guideline for an accurate sunken vessels risk assessment.*

Key Words : *Sunken vessel, Fuel oil capacity, Estimation remaining fuel oil, Sunken vessels risk assessment, Sunken vessel management system*

1. 서 론

우리나라 항만의 입·출항 화물 물동량은 1970년 기준 3,000만 톤에 불과 하였으나, 2012년에는 약 13억 톤(입항: 8

억3,942만 톤, 출항: 4억9,917만 톤)으로 기하급수적으로 증가 하였다. 특히, 2012년 기준 우리나라 항만을 입항한 선박척 수는 약 20만척으로 수출과 수입의 대부분을 바다에 의존하고 실정이다(Korea Maritime Institute, 2013). 그리고 이렇게 높은 바다의존도는 해상교통을 복잡하게 하고 선박의 침몰·좌초·전복·충돌 등 해양사고가 빈발하는 결과를 초래하게 되었다.

우리나라 영해에서 발생하는 해양사고는 선박에 적재되어 있던 연료유 등의 유출로 인해 해양오염이 발생하는 등

* First Author : wjchang@koem.or.kr, 02-3498-8597

† Corresponding Author : ilee@pknu.ac.kr, 051-629-6586

※본 연구는 2015년 개최된 춘계 해양환경안전학회(부경대학교, 4월 23일-24일)에서 발표된 '선박 연료유 잔존량 추정모델을 이용한 침몰선박 위해도 평가개선 연구'를 근거로 하고 있음을 밝힙니다.

해양환경에 지대한 영향을 미치며 사고침몰 선박은 육안으로 식별이 불가능하기 때문에 항행중인 선박의 안전에도 큰 위협요소가 되고 있다. 실제로 2006년~2013년까지 발생한 10,572건의 해양사고 중 426건(4%)이 침몰상태로 보고되고 있다(Korea Coast Guard, Ministry of Public Safety and Security, 2014). 또한 최근 5년간 해양사고 발생건수는 총 3,770건의 사고 중 1차 원인이 침몰인 경우는 110건(2.9%)으로 나타났다(Korean Maritime Safety Tribunal, 2013).

침몰선박의 발생원인은 다양하지만 일단 침몰사고가 발생하면 선박의 선체 내에 실려 있는 기름이나 화학 물질로 인해 해양환경에 막대한 피해를 줄 가능성이 매우 크며, 사고 당시뿐만 아니라 오랜 시간이 경과된 후에도 선체 내에 잔존하고 있는 연료유 등 유해물질의 지속적 혹은 일시적 유출로 인한 2차 해양오염사고가 우려되는 실정이다.

우리나라는 1999년부터 침몰선박에 대한 현황 파악 및 관리 등의 업무를 수행해오고 있는데, 침몰선박의 현황 보고 체계는 침몰선박 관리규정 제4조에 따라 각 지방해양수산청이 지방해양경비안전서와 지방해양안전심판원에서 취합된 침몰선박 현황 및 침몰선박 조사보고서를 매분기 익월 5일까지 해양수산부장관에게 제출하도록 되어 있다. 특히 관리규정 제5조에 따라 침몰선박 중 인양·제거 또는 잔존기름·유해액체물질·포장유해물질의 회수작업 등이 완료된 사실을 인지하였거나 보고받은 경우 5일 이내에 조치완료보고서를 해양수산부장관에게 제출하도록 하고 있다.

한편, 정부에서는 침몰선박 정보의 관리뿐만 아니라 침몰선박의 잠재적 위해도를 정량적으로 평가할 수 있는 위해도 평가표를 개발·운영함으로써 침몰선박을 관리하고 있다. 현재의 침몰선박의 위해도 평가표는 선박종류(5점), 선박규모(5점), 잔존기름(35점), 여유수심(25점), 해역환경민감도(10점), 유출가능성(10점), 해상교통환경(10점) 등 7가지 항목에 대해 분류하여 점수화 하는 평가시스템으로서, 이 중 침몰선박에 잔존하고 있는 연료유의 양 및 여유수심에만 60점이 할당되어 있어 연료유의 양 등에 따라 그 평가점수가 판이하게 달라지는 상황이지만, 각 지방해양수산청, 지역해양경비안전서, 해양안전심판원에서 해양수산부로 보고되는 침몰선박의 분기별 현황보고자료 중 상당수가 관련 정보 수집의 어려움 등으로 인해 해당선박의 잔존연료유 항목이 누락되어 보고되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 보다 정확한 위해도 평가를 통해 잠재적 해양오염사고에 대비할 수 있도록 침몰선박 위해도 평가에 즉시 적용 가능한 선체 내 잔존 연료유를 추정할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2. 우리나라의 침몰선박 현황과 위해도 평가

2.1 침몰선박 현황 분석

해양환경관리법 및 침몰선박 관리규정에 따라 1983년부터 2015년 09월까지 각 지방 해양수산청, 해양안전심판원 및 해양경비안전본부에서 취합되어 관리되고 있는 침몰선박은 총 2,870척이며, 인양되었거나 공해 혹은 타국에 침몰해 있는 선박을 제외한 우리나라 영해내에서 관리되고 있는 침몰선박은 총 2,153척이다(Table 1).

톤수별 침몰선박 현황을 살펴보면 87.1%의 선박이 100톤 미만으로, 이는 우리나라 전체선종의 약 88%가 어선이며, 2013년도 기준으로 우리나라 등록어선 중 100톤 미만 선박이 98.9%를 차지하고 있기 때문에 판단된다(Table 2).

Table 1. Sunken Vessels Statistics

Items	Total	Sunken Vessels	Removal, Overseas, Etc			
			Sub Total	Removal	Overseas	Etc
No. of Vessels	2,870	2,153	717	533	184	0

Table 2. Sunken Vessels Statistics by Tonnage(2014.09.)

By Tonnage	10tons <	10-100 Tons	> 100 Tons	Total
No. of Vessels	1,027	848	278	2,153
Ratio(%)	47.7	39.4	12.9	100

2.2 침몰선박 데이터베이스 구조와 위해도 평가항목

침몰선박 데이터베이스 시스템은 Table 3에 나타난 것과 같이 크게 9개 분야의 입력요소로 구성되어 있으며, 침몰선박에 대한 최소 입력요구 정보는 “기본정보”, “사고개요”, “침몰선박 정보”, “중결상황” 등으로 구분된다.

침몰선박 위해도 평가는 침몰선박이 보유하고 있는 모든 위험요소(Hazard/Cause)를 체계적으로 규명하고 위험요소로 인한 손실 정도를 정량적으로 산출함으로써 효과적이고 일관된 침몰선박 관리와 과학적이고 경제적인 침몰선박 처리 의사결정을 지원할 수 있는 시스템이다. 우리나라에서는 해양환경관리법 83조의2(침몰선박 관리) 및 시행규칙 제47조의2(위해도 평가)에 따라 선박종류, 선박규모, 잔존기름, 여유수심, 해역환경 민감도, 유출가능성, 해상교통 환경 등 총 7개 항목을 통해 각 침몰선박의 위해도를 평가한 후, 그 평가 점수에 따라 집중관리, 일반관리 및 관리대상 제외선박 등으로 구분하고, 집중관리 및 일반관리 대상선박은 침몰선박 관리규정 제7조(관리대상 침몰선박에 대한 조치 등)에 따라 Table 4와 같이 관리대책을 마련하여 시행하도록 되어 있다.

Table 3. Detailed information of Sunken Vessels Management System

No.	Input	Optional	Details
1	Basics	Compulsory	Management Number, Registered Date, Input Date, Management Organization, Accident Date, Accident Name, Ship Name, Ship Type, Ship Number
2	General Information	"	Ship Number, Accident Date, Ship Name, Cause, Accident Type, Position, Sea, Depth, Type of Seabed, Accident Summary
3	Sunken Vessels Information	"	Port of Shipping, Flag, Construction Date, Length, Width, Depth, Draft, Height of Ship, Displacement, Previous Anchorage, Middle Anchorage, Arrival, Speed, Inspection Organization
4	Damage Information	Optional	Ship Damage, Freight Damage, Casualty, Oil Spill, Insurance Data
5	Freight Information	"	Type of Freight, Loadage, Specific Gravity of Freight, Type of Fuel Oil, Loadage List
6	State of affairs	Compulsory	First Assessment, Pre-Survey, Survey, Termination Status, Cause of Wreck Removal
7	Registration	Optional	Registration Request Date, Source, Date
8	Relational Persons	"	Relational Persons Information(Name, Address, Phone)
9	Registered Data	"	General Layout Drawing, Offset, Cross-sectional Diagram, Detailed Survey Information

Table 4. Sunken Vessels Risk Assessment and Management Plan

Classification	Grade	Management Measure
Intensive Managed	Over 60	Search position, Survey of ship status, Survey of remaining oil and freight, Review possibility of Incident preparation, Making detail survey plan
General Managed	60 < α <= 40	Collecting and management relation information for preparation incidents from sunken vessels considering surrounding waters
NOT Managed	Under 40	-

Table 5에서 보는 바와 같이 침몰선박의 위해도 평가표에서 높은 배점 순으로 살펴보면, 잔존기름, 유해액체물질, 폭발성 가스의 양에 따라 최대 35점(1,000 kℓ 이상), 여유수심 25점(15m 미만일 경우), 해역정보를 참조하는 해역환경민감도, 선체의 부식상태 등을 고려한 유출가능성, 해상 교통정보 및 지방청 관할 해역정보 등을 고려한 해상교통 환경에 각 10점이 배점되어 있으며, 선박종류와 선박규모에 각 5점씩 배점되어 총 100점으로 각 침몰선박의 위해도를 점수로 환산하여 평가할 수 있도록 법으로 규정되어 있다.

Table 6은 침몰선박 데이터베이스 구조와 침몰선박 위해도 평가표와의 관계를 나타낸 것으로서, 위해도의 평가에

적용하기 위한 수집정보는 총 7가지이며, 이 정보는 침몰선박 데이터베이스내에 등록되어 있는 정보를 사용하게 된다. 그리고 침몰선박 위해도 평가표와 관리시스템 데이터베이스내의 관계를 보면 위해도 평가항목의 선박종류는 침몰선박 관리시스템 데이터베이스의 기본정보, 선박규모는 침몰선박정보, 잔존기름은 화물정보, 여유수심과 해역환경민감도는 사고개요, 유출가능성은 피해상황정보, 해상교통환경은 사고개요와 관계되어 있으며 각 위해도 평가항목에 따라 평가를 수행한다.

Table 5. Sunken Vessels Risk Assessment

Items	Detail Items	Assessment Index		
		Ratio	Point	
Ship Type	Dangerous Goods Carrier	5%	5	
	Bulk Carrier		4	
	Tug, Working Boat, Fishing		3	
	Barge, Etc		2	
	Unknown		1	
Ship Size	Over 10,000	5%	5	
	5,000 <= Size < 10,000		4.5	
	3,000 <= Size < 5,000		4	
	1,000 <= Size < 3,000		3	
	500 <= Size < 1,000		2	
	Under 500		1	
Remaining Oil (Incl. Fuel), HNS, Explosiveness Gas	Over 1,000kℓ	35%	35	
	Over 100kℓ		28	
	Over 50kℓ		21	
	Over 10kℓ		10.5	
	Under 10kℓ		3.5	
	0kℓ		0	
Clearance	Radioactive Substance	25%	35	
	Under 15m		25	
	Under 20m		20	
	Under 25m		12.5	
	Under 30m		5.0	
Sea Environmental Sensitive	Over 30m	10%	0	
	Major Fishery, Farm		10	
	Natl. Park, Uncontaminated		8	
	Tourist Region(Beach)		6	
	Environment Protection Area		4	
	National Infrastructure		2	
Spill Possibility	Etc.	10%	1	
	Age Before Accident		Over 20 years	4
			Over 10 years	3
			Over 5 years	2
			Under 5 years	1
	Time After Accident		Over 25 years	6
			Over 20 years	5
			Over 15 years	4
			Over 10 years	3
			Over 5 years	2
Under 5 years		1		
Marine Traffic Environment	In and Out Course of Port	10%	10	
	In Port Limit or Close to		8	
	Anchoring Area		6	
	General Seaway		4	
	Etc		2	

Table 6. Relationship between Database and Risk Assessment

Sunken Vessels Management Database	Risk Assessment
Basics	Ship Type
General Information	Ship Size
Sunken Vessel Information	Remaining Oil
Damage Information	Clearance
Freight Information	Sea Environmental Sensitive
State of affairs	Spill Possibility
Registration	Marine Traffic Environment
Relational Persons	
Registered Data	

2.3 현행 침몰선박 위해도 평가의 한계

침몰선박의 위해도는 침몰선박 데이터베이스를 기반으로 관련 정보들을 활용하여 평가하고 있으나, 관리체계가 구축되기 시작한 시점(2001년) 이전 자료들은 관련 정보들이 대부분 미등록되어 있으며, 2001년 이후 보고된 선박들 중에도 관련 항목들이 누락된 것을 다수 확인할 수 있는데 이는 위해도 평가를 수행하는데 있어 한계점이 될 수 있다. 실제로 최근 4년간 지방해양수산청별 침몰선박 현황보고 자료를 분석한 결과 전체 150건 중 85건(57%)에서 연료유 잔존량의 정보가 보고되지 않았으며, 선령의 경우는 위해도 평가의 유출가능성 항목에 반드시 적용되어야 하는 정보임에도 불구하고 Fig. 1과 같이 해양환경관리법 시행규칙에 따르는 침몰선박 보고현황에 입력할 수 있는 공간조차 없어 침몰선박에 대한 현황 보고 시 누락될 수밖에 없는 상황에 있다고 볼 수 있다.

■ Marine Environment Management Act. [End 45-2]

Sunken Vessel Report

1. General Information			
Ship Number	Name	Type	
Materials of Ship Body	G/T	DWT	
Length	Width	Depth	
Owner(Captain's Information)	(TEL/FAX:)		
2. Accident Information			
Date	Cause	Depth	
Position (Longitude, Latitude)			
Detail Information			
Damage Information	Ship Damage		
	Oil Spill Casualty		
3. Freight and Fuel			
Freight	Amount		
Fuel	Amount		
4. Etc.			

Fig. 1. Reporting Form of Sunken Vessel Status.

3. 침몰선박의 연료유 잔존량 추정과 적용

3.1 선박(일반화물선)의 연료유 적재량 추정

일반화물선의 연료유 적재량의 추정은 세계 최대의 선박엔진 제조사인 MAN Diesel Turbo(2014)에서 제공하는 데이터 중 선박 크기별 운항속력(평균속력)과 엔진의 최대출력 및 회전수 및 연료소모량의 관계를 분석하여 추정하였으며, 그 결과 벌크캐리어의 최대 연료적재량은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{연료 적재량} = \frac{\text{최대 SFOC(g/kWh)} \times 24(\text{H}) \times \text{엔진출력} \times \text{최대항해일수}}{1000} \quad (1)$$

연료적재량의 추정분석에서 일반화물선의 최대항해일수는 60~65일로 추정하며, 연료유의 최대적재량은 90% 정도를 적재하고 사용된 연료유는 HFO(Heavy Fuel Oil)를 기준으로 발전기 및 보일러에도 HFO를 사용하는 것을 전제로 하였다. 다만, 선박의 크기와 항차 등으로 최대 항해일수는 달라질 수 있다. 이를 바탕으로 벌크캐리어의 크기에 따른 연료적재량의 계산결과는 Table 7과 같다. 선박용 엔진의 출력과 SFOC로부터 최대항해일수를 고려하여 연료적재량(Fuel oil capacity)을 산출하였으며, 벌크캐리어의 크기는 Small: 286~530 M/T(metric ton, m³), Handysize: 566~1,367M/T, Handymax: 1,291~1,775 M/T, Panamax: 1,719~1,934 M/T, Capesize: 1,916~3,123 M/T, Large Capesize: 3,266~4,064 M/T로 추정되었다. 그리고 추정된 연료적재량을 재화중량톤수(dwt)와 비교하면 선종에 따라 비율이 달라 Small의 경우 5.7~6.6%, Large Capesize의 경우 약 1.6%이었다.

Table 7. Oil Capacity of Bulk Carrier

Class		Small	Handysize	Handymax	Panamax	Capesize	Large Capesize
Ship size	dwt	5k~8k	10k~30k	35k~55k	63k~82k	85k~175k	Over 205k
Avr. Ship speed	kts	12~13	13.5~14.5	14.5	14.5	14.5	14.7
SMCR power & rpm	kW (rpm)	1,410~2,540 (199~168)	2,840~6,660 (152~121)	6,550~8,750 (117~105)	8,990~9,700 (98~88)	10,080~15,750 (94~79)	17,180~20,500 (76~73)
SFOC	g/kWh	174~179	171~176	169~174	164~171	163~170	163~170
Fuel oil capacity	M/T	286~530	566~1,367	1,291~1,775	1,719~1,934	1,916~3,123	3,266~4,064
Ratio with dwt	%	5.7~6.6	5.66~4.56	3.69~3.23	2.73~2.36	2.25~1.78	1.59~

Table 8은 KR Register Book에서의 일반화물선을 대상으로 상기의 방법으로 재화중량톤수 대비 연료유 최대적재량을 추정한 결과를 나타낸 것으로서, 출력당 연료소모량을 172

g/kWh, 최대항해일수 60일로 가정(해운시황 및 해양환경에 따라 다를 수 있음)하였을 경우의 재화중량톤수별 선박의 연료유 적재량을 추산한 것이다.

Table 8. Estimation Oil Capacity Bulk Carrier

Ship Name	LOA	DWT	G/T	Output(kw)	Fuel Capacity(M/T)
STAR REX	80	2,846	1,596	1,080	267.49
GOLDEN BIRO	121	12,342	7,170	3,015	746.76
ENY	176	27,881	17,061	5,150	1275.55
HANJIN PITTSBURG	186	38,393	25,022	7,855	1945.53
GLOVIS MARIA	187	55,705	32,545	8,820	2184.54
CAPETAN COSTAS	229	81,542	44,625	11,360	2813.64
HANJIN ODESSA	255	114,536	63,993	13,560	3358.54
SILVER EXPRESS	280	149,674	81,273	17,098	4234.83
HANJIN NEWCASTLE	292	179,905	93,597	18,660	4621.71

Fig. 2는 Table 7의 재화중량톤수 대비 선박의 연료유 적재량 추정치를 선형회귀분석한 결과로서, 상관식은 식(2)와 같으며, 상관계수는 0.99로 산출되었다.

$$y = -0.0751x^2 + 3.7152x + 3.1475 \quad (2)$$

여기서, y 는 연료유적재량 추정치이고, x 는 재화중량톤수를 의미하며, 선형회귀분석을 통해 기존 데이터를 바탕으로 다양한 재화중량톤수에 대한 연료 적재량을 추정할 수 있다. 실선은 다항식 근사를 통한 재화중량톤수별 연료적재량을 나타내며, EFC(estimated fuel capacity)는 추정연료적재량, PAEFC(polynomial approximation estimated fuel capacity)는 다항식 근사 추정연료적재량을 의미한다.

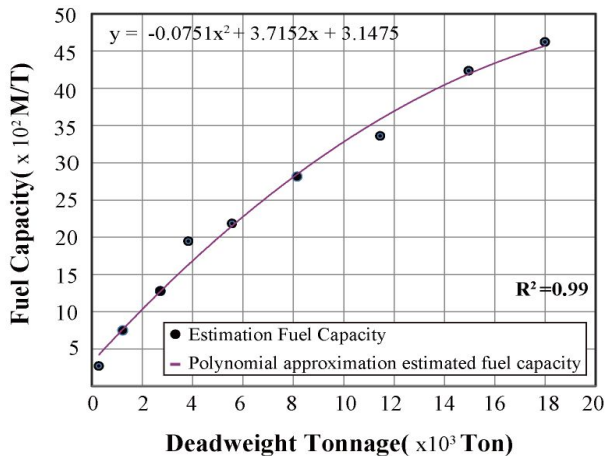


Fig. 2. Bulk Carrier Fuel Oil Capacity by Dead Weight Tonnage(DWT).

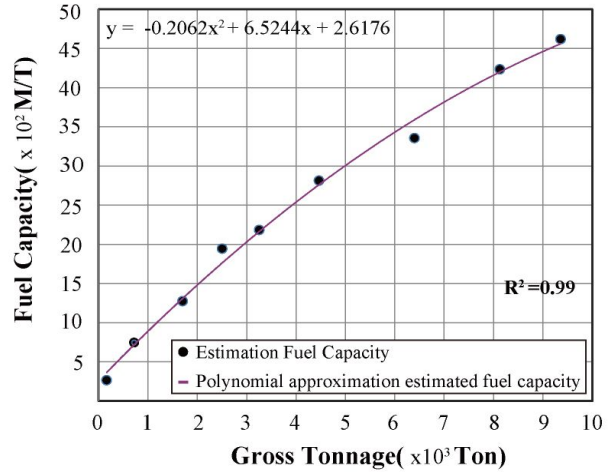


Fig. 3. Bulk Carrier Fuel Oil Capacity by Gross Tonnager (G/T).

Fig. 3는 Table 8의 각 선박의 총톤수(G/T)를 기준으로 연료유에 대한 적재량을 선형회귀분석으로 추정된 결과를 나타낸 것이다. 분석된 선형회귀식은 식(3)과 같으며, 상관계수는 0.99로 유의한 상관관계를 나타내었다.

$$y = -0.0751x^2 + 3.7152x + 3.1475 \quad (3)$$

3.2 선박(일반화물선)의 연료유 잔존량 추정

선박이 침몰했을때 연료유 및 적재화물을 기준으로 하는 위해도 평가에 있어서 침몰선박의 연료유 적재량과 침몰당시의 연료유 잔존량이 가장 큰 요소이지만, 이외에 적재 화물의 양과 유출의 가능성에 대해서도 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 적재화물의 양과 침몰당시 유출의 양을 고려하지 않은 상태에서 선박의 연료유에 대한 잔존량을 추정하기 위해서, ①단계 : 연료유에 대한 최대적재량의 산정, ②단계 : 선박의 운항일수에 따른 선종에 따른 연료의 소모량의 제거 등의 방법을 채택하였다. 즉, 연료적재량에서 항해일수에 비례해서 연료유가 소모된다는 가정하에, 각 선종별 연료소모량(1일 기준)을 분석하여 연료유 잔존량을 산출할 수 있다. 이는 선체내의 잔존기름으로부터 보다 정도 높은 위해도 평가기법으로 제안될 것으로 판단하였다. 이와 관련한 1일 연료 소모량과 선박의 연료유 잔존량은 각각 식(4)와 식(5)와 같다.

$$\text{1일 연료 소모량(kg/Day)} = \frac{[\text{SFOC(g/kWh)} \times 24\text{시간}] \times \text{엔진출력}}{1000} \quad (4)$$

$$\text{선박연료유 잔존량} = \text{최대연료적재량} - (\text{항해일수} \times \text{1일 연료 소모량}) \quad (5)$$

3.3 선박의 연료유 최대적재량과 연료소모량 추정모델의 검증

상기의 선박의 연료유 최대적재량과 연료유 소모량 추정 모델을 검증하기 위해서 현재 운용중인 3척의 일반화물선에 대하여 선명, 선종, 선박길이, 재화중량톤수, 총톤수, 엔진출력, FO Tank용량 등의 자료를 수집하였다(Table 9).

조사된 선박의 주요 이동경로는 우리나라와 싱가포르, 브루나이, 중국 등이며 선박운영 회사의 요청에 따라 모든 선박명은 일부만 보이도록 하였다. 각 선박의 상세정보는 KR Register Book(2014)에 등록되어있는 정보를 사용하였다.

Table 9의 총톤수(G/T)를 기준으로 연료유 최대 적재량을 추정하고 한국선급(KR Register Book, 2014)에 등록된 선박별 FO Tank용량과 비교결과를 살펴보면, 비율이 81%~106%로 나타났다. 이는 연료유 최대적재량 추정모델이 어느 정도 신뢰성이 있는 결과라고 판단되며, 현행 위해도 평가 중 잔존기름 항목은 그 점수구간의 범위가 넓기 때문에 추정모델을 이용한 추정값의 적용이 가능할 것으로 생각된다. 그리고 본 연구 추정모델 검증을 위해 보다 폭 넓은 선박 크기별 데이터를 제시하지 못한 점은 아쉬운 부분이 있다. 이는 해운회사들이 선박의 성능 데이터를 대외비로 다루기 때문이다.

Table 10은 조사선박의 Performance Report를 통해 이동경로 및 속도, 엔진 RPM, 실제 1일 최대 연료 소모량 나타낸 것이다. 1일 최대 연료소모량은 각 선박의 경로에 따라 이동하면서 24시간 내내 운항한 날 중 연료소모량 최대치를 기록한 날을 표시하였으며, 이는 3척의 조사선박이 본 연구의 최대적재량 및 잔존량 추정에 사용한 선박의 평균속도보다 느리게 운항하였기 때문이다. 선박별 Performance Report를 살펴보면, A선박은 보령에서 브루나이까지 22일간의 항해 중 하루 동안 최대연료소모량과 운항속도는 각각 30.04톤과 11.75 Knot이었으며, B선박은 인천에서 중산까지 7일간 항해 중 40.40톤 소모에 속도 12 Knot, C선박은 싱가포르에서 인천까지 52.6톤 소모에 11.25 Knot이었다. 이들 선박의 속도와 엔진의 RPM 등은 한국선급(KR Register Book, 2014)의 선박최대속도와 엔진의 최대 RPM수치 내에 있었다.

Table 11은 연료유의 최대적재량과 잔존량 추정을 위한 모델 검증의 마지막 단계로서, 실제 연료소모량과 연료유 잔존량 추정모델에 의한 연료소모량과의 차이를 확인하기 위해 연료유 잔존량 추정모델에 의한 1일 연료소모량을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 조사선박에 대한 실제연료소모량과 추정연료소모량의 비율은 A선박이 79.14%, B선박이 99.19% 및 C선박이 70.78%로서 C선박에서 최대 30%의 차이를 보였는데, 이는 연료소모량 추정모델에서의 선박의 변수조건보다 실제 선박이 더욱 경제적인 조건에서 운용되었기 때문인 것으로 판단된다.

Table 9. Data gathering for verifying oil capacity estimation model

Ship Name	Ship Type	DWT	GT	Output(kw)/rpm	FO Tank (M/T)	Estimation Model (M/T)	FO/ Estimation (%)
*** Boryeong	Bulk Carrier	80,984	48,844	8,826/77	2,667.4	2,956.38	90.23
*** ** Bank	Bulk Carrier	135,069	73,706	10,222/87	3,212.0	3,950.51	81.31
*** Pioneer	Bulk Carrier	179,134	93,166	18,660/91	4,833.0	4,550.86	106.20

Table 10. Voyage Performance Report of Surveying Vessels

Ship	Route		Voyage Days	Speed (Knot)	RPM	Max. Fuel Consumption per Day(M/T)
	Dep.(Date)	Arr.(Date)				
A *** Boryeong	Boryeong (9.14.)	Brunei (10.06.)	22	11.75	68.4	30.04
B *** ** Bank	Incheon (9.14.)	Zhongshan (9.20.)	7	12.00	73.5	40.40
C *** Pioneer	Singapore (10.19.)	Incheon (10.28.)	10	11.25	71.2	52.60

Table 11. Comparison between estimations and actual fuel consumption

Ship	Fuel Capacity (M/T)	Oil Consumption(kg/Day)				Actual Consumption (M/T)(B)	Estimation/ Actual (%)
		Tons	SFOC	Engine Output	(A)		
A *** Boryeong	2,956.38	48,844	167	8,826	36.214	28.66	79.14
B *** ** Bank	3,950.51	73,706	166	10,223	40.728	40.40	99.19
C *** Pioneer	4,550.86	93,166	166	18,660	74.314	52.60	70.78

이는 일반적으로 선박의 운항에 소요되는 직접경비는 선박의 크기, 종류, 항행구역, 속력 등에 따라 다소 차이는 있지만, 연료비가 차지하는 비율이 50~60%에 달하는 것으로 알려져 있다. 그리고 선박의 경제적 운항 척도가 과거에는 최적의 항로를 따라 최단시간에 목적지에 입항하는 것이었다면, 최근에는 연료소모량을 고려한 경제 운항 속도 선택이 중요한 요소로 인식되고 있다(Kim et al., 2012). 즉, 선박 운항회사들은 연료비 절감을 위해 경제적 연료소모량을 위한 선박별 최적 운항 속력과 RPM을 산출해 이를 지키기 위해 노력하고 있으며, 또한 화물의 무게 및 종류가 실제 운항 선박의 연료유 소모량과 추정모델에서 추정된 소모량과는 다소 차이가 발생할 수밖에 없을 것으로 생각된다.

실제 해상에서는 경년노화, 외판의 오손, 파랑, 바람, 해류 등의 외부변수들의 합으로 인해 선박의 속력이 감소되고, 이는 선박의 연료소모량과 직결된다(Tsujimoto and Naito, 1998). 특히 선박용 디젤기관의 경우 과급기 성능열화, 가스누설, 연소성능 등의 주요 열화인자들로 인해 연료소모량의 변화가

일어나는데, 인자들의 변화가 동시에 일어났다고 가정했을 경우, 연료소비율이 약 163.3 g/kWh에서 168.3 g/kWh로 5.3 g/kWh 증가하였고, 운전시간이 12,000시간이 경과할 경우 10%의 급기압력이 감소한다는 보고(Jung et al., 2013)를 고려하면 엔진의 노후화에 따른 연료소모율도 중요한 인자로 생각된다. 그러나 현행 침몰선박의 위해도 평가 중 잔존기름 항목의 구간범위가 상당히 넓고, 기존 침몰선박의 엔진타입을 특정할 수 없기 때문에 엔진의 노후화에 따른 성능의 차이는 본 연구에서는 고려할 수 없었다.

3.4 연료유 잔존량 추정에 따른 침몰선박의 위해도 재평가

상기의 연료유 잔존량 추정모델을 이용하여 우리나라의 침몰선박 중 일반관리 대상선박인 8척에 대한 연료유 잔존량을 재산정하여 침몰선박의 위해도를 Table 12와 같이 재평가 하였다.

Table 12. General Managed Sunken Vessels Risk Re-Assessment with Estimated Remaining Fuel

Type	Date	Ship	Size (Ton)	Remain Oil (kl)	Depth	Environmental Sensitive	Age	Result	Existing Data	
									Oil (kl)	Result
Intensive	'96.06.15	Anna Spiratow	14,901	1,121.4	87	Uncontaminated Area	20	66	277	59
General	'00.07.05	Safe Express	1,250	328.7	45	Fishery	10	59	30	41.5
General	'96.04.20	HOPE	1,283	340.0	48	Major Fishery	17	57.5	41.8	40.5
General	'95.06.30	Alexandria	8,328	736.6	83	Major Fishery	13	57.5	803	57.5
General	'96.12.02	Taeyoung Jasmine	3,838	496.4	45	Close to Maritime Natl. Park	13	55	131	55
General	'97.10.21	Marine Star M	1,596	337.7	46	Major Fishery	24	55	70	48
General	'98.05.19	HAKATA	7,586	709.9	65	General Fishery	21	49.5	410	49.5
General	'04.02.06	DURY	5,552	567.4	51	General Fishery	10	46.5	229	46.5

재평가한 결과를 살펴보면, 안나스피라토우호가 일반관리 대상선박에서 집중관리 대상선박으로 분류가 변경되었고, 세이프 익스프레스호, 호프호, 마린스타엠호 3척의 점수가 상승하여 집중관리 대상선박 분류기준 직전으로 평가되었으며, 나머지 4척은 점수 변동이 없었다. 위해도 평가점수 변동의 가장 큰 원인은 연료유 잔존량의 변동에 따라 현행 위해도 평가시스템에서 해당선박의 잔존기름량의 평가가 달라진 것에 따른 결과로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 침몰선박의 연료유 잔존량 추정모델을 이용한 위해도 평가에 관한 연구를 수행하였다. 주요연구결과로 침몰선박의 현황과 그 관리체계를 분석하였고, 침몰선박의 위해도 평가 시 잔존기름의 양을 보다 정확히 추정할 수 있는 모델을 제안하였다.

연료유 잔존량 추정모델은 해당 선종이 고려된 선박의 최대연료적재량에 항해일수에 따른 연료소모량을 제거하는 방식으로 산출되었는데 이를 현재 일반관리 대상선박에 적용한 결과, 8척의 일반관리 대상선박 중 1척은 집중관리 대상선박으로 그 분류가 변경되었으며, 나머지 7척 중 3척은 위해도 평가 점수가 상승하는 결과를 보였으며, 현재의 침몰선박 위해도 평가시스템에서 잔존기름에 대한 평가는 그 비중이 35%로서 대단히 높다고 할 수 있다. 또한, 우리나라 연안에 침몰해 있는 침몰선박의 잔존기름의 양을 평가하는데 있어 대부분의 침몰선박에 대한 정확한 데이터를 갖고 있는 상황이 아니므로 연료유 잔존량 추정모델을 통해 위해도를 재평가해서 관리한다면 보다 정확한 침몰선박 관리데이터로서 활용 할 수 있을 것으로 보인다.

한편, 앞으로 보다 정밀한 연료유 잔존량 추정 모델 개발을 위해서는 폭넓고 다양한 선박의 자료 확보 및 비교절차를 통해 검증의 신뢰성을 확보할 필요성이 있고, 선종별 평가모델의 개발을 통해 연료유 잔존량이 존재하지 않는 데이터에 확대 적용해 볼 필요성이 있다. 이와 더불어 선박의 노후화 정도, 기상조건, 사고당시 유류의 유출정도, 출항당시의 유류의 적재량, 선박의 이동경로 및 속도가 포함된 선박별 상세정보 등이 추가적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Jung, C. H., B. S. Rho, J. W. Lee and J. S. Choi(2013), Predictions of the deteriorating performance for the marine diesel engines, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol 37, No 1, pp. 47-52.
- [2] Kim, S. K., Y. S. Lee, G. Y. Kong, J. P. Kim and C. H. Jung(2012), A Study on the Ship's Speed for Reducing the Fuel Oil Consumption in Actual Ships, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 1, pp. 44-47.
- [3] Korea Coast Guard, Ministry of Public Safety and Security (2014), Marine Accident Statistics 2014, www.mpss.go.kr.
- [4] Korea Maritime Institute(2013), Shipping Statistical Handbook 2013, www.kmi.re.kr.

- [5] Korean Maritime Safety Tribunal(2013), Marine Accident Statistics 2013, www.kmst.go.kr.
- [6] KR Register Book(2014), Korean Register, www.krs.co.kr.
- [7] MAN Diesel Turbo(2014), Propulsion trends in bulk carriers, dieselturbo.man.eu.
- [8] Tsujimoto, M. and S. Naito(1998), Evaluation on Ship Performance in Actual Seas - Ship Speed, Fuel Oil Consumption and Main Engine Power, Journal of Kansai Society of Naval Architects, Japan, No. 229, pp. 69-78.

Received : 2016. 01. 05.

Revised : 2016. 02. 23.

Accepted : 2016. 02. 25.