

환경스트레스 모델을 통한 해양탐사·조사선의 격자형 운항방식과 운항요인 상관관계에 관한 연구

박현구* · 박영수** · 김대원****

* 한국해사컨설팅(주) 연구원, ** 한국해양대학교 해사수송과학부 교수, *** 한국해양대학교 해사글로벌학부 교수

Correlation of Marine Exploration-Survey Vessel Operation Factors and Grid-Type Operation Method through ES Model Analysis

Hyungoo Park* · Young-soo Park** · Dae-won Kim****

* Researcher, Korea Maritime Consulting co., Ltd.

** Professor, Division of Maritime Transportation Science, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

*** Professor, Division of Global Maritime Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 해양공간 이용 수요와 중요도의 지속적인 증가에 따라 국내에서의 해양탐사 및 해양조사활동이 활발히 수행중이다. 이러한 활동을 위해 운항되는 해양탐사조사선은 목적 및 탐사선박에 따라 특수한 운항패턴을 가지므로 해상교통위험도를 고려한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 해양탐사·조사선의 운항이 해상교통에 미치는 영향을 각 요인별 상관관계로 파악하고자 하였다. 우리나라에서 활동중인 해양탐사·조사선 현황을 파악하였고 일부 해양물리탐사선의 특수한 운항실태를 식별하였다. 운항자부담감의 결과를 비교하기 위해서 운항요인 중 각 2가지를 독립변수로하여 ES Model 기반의 해상교통류시뮬레이션을 수행하였다. 분석결과 교통량, 선박 길이, 속력 순으로 운항자 부담감이 두드러지게 변화하는 것을 확인하였다. 또한 인근 해상교통흐름과 선수방위(침로)가 거의 유사한 운항 침로를 설정할 경우 운항자 부담감이 다소 감소하는 것을 확인하였다. 이에 따라 해양탐사·조사선이 운항계획을 설정할 단계에서 인근 해상교통현황을 파악하여 운항방식에 반영한다면 운항자 부담감을 감소시키는데 기여할 것이다.

핵심용어 : 해양탐사·조사선, 해상교통위험도, ES Model, 해상교통류 시뮬레이션, 운항요인

Abstract : Because of the continuous increase in the demand for and importance of marine space, marine exploration and survey activities are being actively conducted in Korea actively. Because the marine survey vessels used for these activities have special operational patterns depending on the purpose and probe vessels, research on maritime traffic risk is required. In this study, an attempt was made to determine the correlation of each factor with the effect of marine exploration and survey vessel operation on maritime traffic. The status of ocean exploration and survey vessels in operation in Korea was identified, as well as the special operational conditions of some of the ocean physical probes. Generally, the number of exploration and survey vessels involved per hour, total vessel length(including exploration equipment), operation, interval distance of exploration as per plan, and marine traffic conditions(traffic volume and speed) can be classified as operating factors. To compare the results of the environmental stress, a maritime traffic flow simulation based on the "ES" Model was performed with each of the identified operating factors as independent variables. The results of the analysis confirmed that the environmental stress significantly changed in the order of traffic volume, ship length and speed. In addition, it was confirmed that the environmental stress is reduced when the operation course is set at an angle with the nearby maritime traffic flow. Accordingly, it can help reduce the operator's burden if the survey vessel operator understands nearby maritime traffic conditions and reflects them in the operation method when setting the operation plan.

Key Words : Marine exploration and survey vessel, Maritime traffic risk, ES model, Maritime traffic flow simulation, Operating factors

* First Author : kmcphg@naver.com, 051-441-7277

† Corresponding Author : dwkim@kmou.ac.kr, 051-410-4641

1. 서론

오늘날 해양공간의 자원적 가치는 매우 크다. 세계 각국에서 대륙붕과 해저의 천연가스 등 자원채취에 관심이 계속 높아지고 있고 해양공간 이용 수요도 증가하고 있다. 미국은 연방 차원에서 통합적으로 관리하기 위한 정책을 수립해 오고 있고 일본은 「해양기본법」 제정으로 해양정책 수립을 법제화했다. 중국과 유럽 각국 또한 국가차원의 종합적인 해양정책을 수립하는 등 해양공간의 효율적인 관리에 노력하고 있다(Park and Hwang, 2009). 우리나라의 경우 「해양공간계획 및 관리에 관한 법률」이 2019년 시행되어 해양을 수산활동과 선박통항의 공간에서부터 골재·광물자원개발, 연구·교육보전까지 이용범위를 확대하고 있다.

해저지질자원 조사 목적의 해양탐사·조사의 중요성은 증가하고 있다. 우리나라는 한국해양과학기술원과 한국지질자원연구원에서 해양물리탐사활동을 활발히 하는 등 해양정책 수요와 중요도에 맞는 연구조사를 수행하고 있다. 물리탐사란 지구 구성물질의 물리학적 성질을 이용하여 지구내부의 지질학적 구조를 규명하는 기술을 일컬으며(Kim, 1987), 해저지질을 탐사하기위해서 관측선에 해양관측기기를 이용할 경우를 해양물리탐사라고 한다. 이러한 탐사활동을 수행하는 해양탐사선의 항행구역은 항만에서 연근해까지 넓은 범위에서 수행된다. 또한 일반 선박과 다르게 단순한 목적지를 향해 항행하지 않고 해역내에서 연구조사의 목적이 있기 때문에 운항방식이 일반적인 선박과는 차이가 있다. 그러므로 해상교통이 빈번한 해역에서 탐사 및 조사 업무를 수행할 경우 해상교통안전에 영향을 줄 수 있다.

이러한 해양조사나 해양탐사 본연의 연구 성과로 포항 영일만 해상 CO2 주입 모니터링 탐사(Park et al., 2018) 및 연안 해역정밀조사(KHOA, 2018)를 수행하는 등 해양공간 탐사 및 조사를 수행하고 있으나 선박운항특성을 고려한 해상교통위험도의 평가와 관련된 국내 연구는 부족한 것으로 사료된다.

Lee et al.(2018)은 해저 동력케이블 대상선박 선정을 위해서 운항변수간 유의성을 위험도 수준(Risk level) 매트릭스로 제시한 바 있는데 본 연구에서는 격자운항패턴의 해양탐사·조사선의 운항특성 고려한 통항위험도를 조사·분석하였다. 해상교통안전진단의 위험도 평가방법인 환경스트레스(Environmental Stress, ES)모델을 사용하여 해양탐사·조사선의 격자형운항방식과 인근 해상교통의 운항요소를 변수로 하여 환경스트레스치의 변화량을 정량적으로 분석하였다. 운항에 영향을 미치는 주요 운항요인으로는 탐사선의 시간당 투입 척수, 탐사측선(Exploration line)¹⁾에 따른 운항간격,

속력, 선박의 길이 등이 있다. 이 연구를 통하여 해양탐사·조사선이 특정한 해역의 탐사활동 시 해상교통위험성을 감소시키기 위한 운항지침을 제공하고자 한다. 더 나아가 이러한 연구가 해상교통안전분야의 안전대책으로 간주되어 활용될 수 있도록 하는 기초 연구 자료로서 활용하고자 한다.

2. 해양탐사 및 해양조사 현황

2.1 우리나라 해양탐사 및 해양조사선의 현황

해양에서의 각종 연구, 조사·탐사, 관찰 등에 사용되는 선박은 해양과학연구선(Ocean research vessel, research vessel)과 해양조사선(Survey vessel)으로 구분된다. 해양과학연구선은 해양시료 샘플링, 해양조사·탐사 및 관측 모니터링 등의 해양학적 연구 수행을 위하여 건조된 선박을 말하며 해양조사선은 수로측량을 위해 국립해양조사원에서 운영하는 선박이 해당된다.

본 연구에서는 국내 해양탐사·조사선 중에서 조사를 위해 특수하게 운항하는 선박을 중점적으로 다루었다.

한국지질자원연구원소속의 탐해 2호는 탄성파를 이용해 석유탐사, 가스하이드레이트 부존 확인 및 대륙붕 지질조사 등을 수행하는 해양물리탐사선이다. 탄성파 탐사란 매우 큰 저주파의 음파를 발생시켜 해저에 반사시킨 후 수신장치로 음파를 기록 및 분석하는 기법(Kim, 1987)을 말한다. 탄성파 탐사가 가능한 해양조사선은 국내에 다수 있다. 하지만 3D 해양물리탐사가 가능한 것은 탐해2호가 우리나라에서 유일하다. 국립해양조사원에서는 수로측량의 대부분을 전문수로측량기관에 위탁하고 있다. 대부분이 10톤 미만의 소형선박으로 선박길이는 10m에서 30m 정도이다. 수심과 해저지형을 조사하기 때문에 연근해와 항만을 대상으로 매년 수로측량업무를 하고 있다.

Table 1은 해양탐사·조사선의 길이를 나타낸 것이다.

Table 1. Research and survey vessel in Korea

Agency	Research vessel	Length
Korea Hydrographic and Oceanographic Agency	MARINE NO.1	10 ~ 30 m
	JINJU NO.1	
	OCEAN SPACE NO.1	
Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST)	R/V ISABU	99.8 m
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)	TAMHAE NO.2	64 m (Equipment : 300 m ~ 6,000 m)

1) 탐사측선(Exploration line) : 탐사선 혹은 탐사장비가 측정을 행하는 측정계획선.

2.2 탐사선 운항 실적

1) 탐사장비

대부분의 해양탐사·조사선에는 탐사·조사 장비가 탑재되어 있지만 탐해 2호와 같이 선박 길이에 유의미한 변화를 가져올 만큼 긴 경우는 드물다. 한국지질자원연구원의 탐해 2호의 경우 탄성과 탐사를 위해 선미에 에어건 및 스트리머라는 탐사장비를 예인하도록 되어 있다. 이를 통해 탄성파를 송신하고 해저부터 정보를 수신한다. 탐사장비의 길이는 최소 300 m에서 최대 6 km까지 탐사활동에 따라 변화한다. 탐사장비(스트리머)의 길이에 따라 탐해2호의 운항을 보조하는 소형선박이 추가되는데 최소 1척에서 최대 3척까지로 배치한다.

Fig. 1은 해양물리탐사선 탐해2호 탐사장비를 나타낸 개요도이다.

Table 2는 탐해 2호가 2017년과 2018년 수행한 전체 탐사 운항일수 중에서 각 탐사장비 길이로 수행한 탐사일수를 나타낸 것이다.

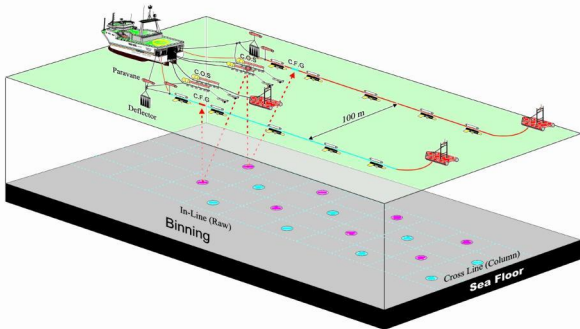


Fig. 1. TAMHAE NO.2 with exploration equipment.

Table 2. Length of exploration equipment in voyage (2017~2018)

Length of equip. (m)	No equip	100 ~300	300 ~600	600 ~900	900 ~1200	Over 1200	Total
Day	101	21	0	0	55	100	277
Rate (%)	36.5 %	7.6 %			19.9 %	36.1 %	100.0 %

2) 탐사해역 및 운항일수

해양탐사·조사선은 활동에 따라 항계내에서 연근해에 이르기까지 범위의 제한을 두지 않는 것이 일반적이다.

탐해 2호는 포항항의 전용부두에 계류하고 있으며 탐사 목적에 따라 한반도 인근 해역 전역과 무역항 항계 모두 탐사활동을 한다. 2017년에는 대륙붕의 석유 매장가능 해역 및 가스하이드레이트 부존을 찾기위해 동해탐사를 실시하

기도 하였다. Fig. 2는 해양탐사선 탐해 2호 항적을 나타낸 것이다.

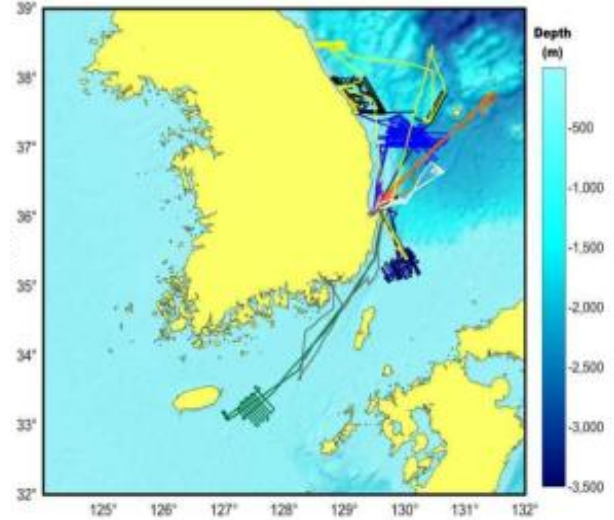


Fig. 2. Track of TAMHAE NO.2 in 2017 (KIGAM, 2019).

2011년에서 2018년까지 탐해 2호의 연간 운항일수는 138 ~ 194일 정도이다. 그중 해상교통이 빈번한 항만 내 탐사 활동은 2017년 45일, 2018년 37일로 전체운항일수에서 각각 32.4 %, 26.8%의 비율을 차지한다. 국립해양조사원의 수로측량조사선의 경우 2011년 184일에서 2018년 245일까지 운항하여 점차 항만 인근에서의 조사활동일수가 증가하는 것으로 나타났다.

Table 3는 2011년부터 2018년까지의 국립해양조사원의 측량선과 해양탐사선 탐해 2호의 연간 운항일수를 나타낸 것이다.

Table 3. Operation days of the exploration and survey vessel

Year	TAMHAE NO.2 (Day)		Survey vessel (KHO) (Max. Day)
	Total	In port (%)	In port survey
2018	139	37 (26.8)	245
2017	138	45 (32.4)	245
2016	-	-	239
2015	146	-	209
2014	169	-	214
2013	146	-	202
2012	194	-	179 (Coastal area only)
2011	147	-	184

(KIGAM, 2019 and KHO, 2018)

3) 운항방식

해양탐사·조사선의 활동은 해수채취, 해저지형조사, 해양생물조사 등 다양하다. 이 경우 탐사활동해역으로 항해를 하고 탐사완료 후 모항으로 귀환하는 운항방식을 가진다. 그러나 한국지질자원연구원의 해양물리탐사선 탐해2호와 국립해양조사원의 수로측량선의 운항패턴은 탐사해역을 대상으로 특수한 운항경로를 보인다.

Fig. 3은 ‘탐해2호’가 영일만 내 탐사활동을 수행한 통항항적을 나타낸 것이다.

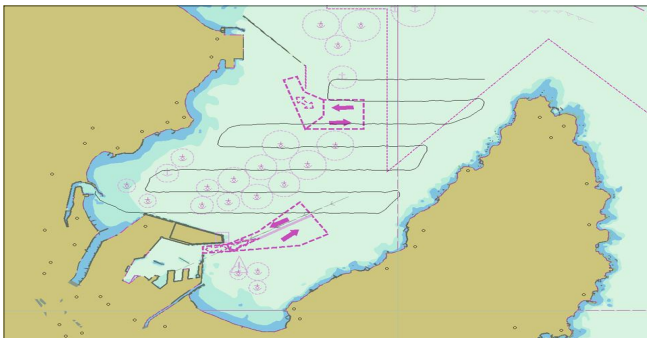


Fig. 3. AIS track of TAMHAE NO.2 in Yeongilman (KIGAM, 2019).

탐해 2호의 탐사활동은 영일만을 걸쳐있는 격자형왕복통항 패턴을 보이고 있다. 이는 포항 영일만 모든 해역을 조사하기 위해서 관측통항선을 격자형 섹터로 구성하기 때문이다. 이러한 계획탐사측선(Planned exploration line)은 운항개시 전에 계획되며 해양탐사·조사선은 계획된 탐사측선을 통항여건을 고려하여 남북방향 혹은 동서방향으로 통항하게 된다. 탐사측선의 크기 즉, 운항간격은 탐사활동특성에 따라 50m에서 수km까지 다양하다. 하지만 탐사해역을 모두 포함해야 하므로 격자형왕복통항구조를 가지는 것은 동일하다. 해양탐사·조사선의 속력은 대부분의 선박이 탐사해역까지의 항해를 목적으로 하기 때문에 별도로 정해지지 않는다. 탐해 2호의 경우 탄성과 탐사 중 선박의 평균속력은 4~6 kts로 일정하게 유지하여야 한다.

수로측량조사선 또한 탐해 2호 통항패턴과 유사하게 격자형왕복통항 패턴을 보이며 조사활동 특성상 간격이 매우 조밀하다.

3. 해상교통위험도 평가

2장에서 조사한 바에 따라 해양탐사·조사선의 탐해 2호와 국립해양조사원의 수로측량선의 운항방식이 일반 선박통항과 다른 점은 확인되었다. 이러한 격자형왕복통항 패턴이 인근 해상교통현황에 미치는 영향은 운항요인에 따라 달라

질 수 있다. 본 장에서는 해양탐사·조사선이 가지는 운항요인을 일반화하여 ES 모델을 기반으로 한 해상교통류 시뮬레이션 평가를 수행하였다.

3.1 평가 모델 적용

ES 모델은 해상교통안전진단에서 채택하고 있는 해상교통류 시뮬레이션의 평가기법이다. 자선을 둘러싸고 있는 주변 환경이 조선 곤란성의 면에서는 조선자에게 과해지는 조선부담의 크기를 정량적으로 표현한 모델로 다음의 조선환경스트레스(Land of ES value, ESL)와 교통환경스트레스(Ship of ES value, ESS)로 구분된다(Park et al., 2013).

$$S JL = \alpha \times (R / V) + \beta \quad (1)$$

$$S JS = \alpha \times (R / V \cdot V / Lm) + \beta$$

$$ESS = \sum_{\psi} \{w_{\psi} (R / V)_{ship(j)} \rightarrow \max [S JS_j]\}$$

$$ESL = \sum_{\psi} \{w_{\psi} (R / V) \rightarrow S JL\}$$

$$ESA = \sum_{\psi} \max \{S JL, S JS\}$$

여기서, $S JL$: 위험이 현재화할 때까지의 시간여유에 대해서 조선자가 안고 있는 위험의 정도

$S JS$: 충돌관계에 있는 타선과의 상태거리에 대한 위험감

R : 자선과 타선간 거리

($S JL$ 의 경우 장애물까지 거리)

V : 자선의 속력

Lm : 자선과 타선의 길이의 평균

α, β : 자연조건에 의해 결정되는 계수

± 90 도의 침로범위의 각 침로각 $\Delta\psi$ 별로, 자선의 선수를 그 방향에 향한 때에 잠재하는 호안과 방파제등의 장애물과의 충돌에 대한 위험감과 그 방위에 향한 때의 잠재하는 타선과의 충돌에 대한 위험감과를 서로 비교하여 선박 통항범위에서 운항곤란감을 총계한다. 이 결과를 그 순간에 통합한 것을 항행환경 스트레스치라 한다.

환경스트레스는 총 4단계로 분류할 수 있으며 500 이하를 안전하다고 느끼는 상태, 500~750을 안전함에서 조금 위험을 느끼는 상태, 750~900을 조금 위험에서 위험을 느끼는 상태, 900~1000을 위험을 느낌에서 매우 위험을 느끼는 상태라 할 수 있다. 해상교통안전진단에서는 750 이상의 스트레스치가 전체의 10% 이상일 경우 안전대책이 필요한 수준이라고 판단한다.

3.2 평가 시나리오 설정

1) 운항요인 독립변수

ES 모델 평가를 위해서 조사선 투입 척수, 선박길이, 인근 해상교통의 교통량과 통행속력을 독립변수로 고려하여 각 변수간의 상관관계를 분석하였다. 해양탐사·조사선의 통행경로는 동서방향으로 반복통행하는 형태로 설정하였고 인근 해상교통흐름은 남북으로 통행하는 흐름과 북서남동방향으로 통행하는 흐름으로 각각 설정하였다.

Fig. 4는 남북방향흐름을, Fig. 5는 북서남동방향흐름을 평가하기 위한 경로대 설정 개요를 나타낸 것이다. 실제 해양탐사·조사선의 현황과 같이 왕복 흐름 사이 운항간격을 100 m, 500 m, 1,000 m로 구분하여 설정하였다.

해양탐사·조사선박의 시간당 투입 척수는 1척, 2척, 3척까지 변화를 주었다. 그리고 인근 교통흐름의 통행량은 1척, 5척, 10척으로 변화를 주었다. 조사선박의 길이는 10 m, 64 m, 99.8 m로 변화를 주었는데 이는 소형 수로측량선에서부터 국내 해양탐사선의 최대 선박길이까지 검토한 것이다. 또한 인근 교통흐름의 속력은 5 kts, 10 kts, 15 kts로 변화를 주었는데 이는 조선이 가능한 일반적인 최소 속력부터 국내 무역항 및 지정항로에 규정하고 있는 제한속력 이내로 설정한 것이다.

인근 교통흐름의 선박규모 및 출현빈도는 2015년에서 2019년까지 여수·광양항, 목포항, 부산항, 울산항, 인천항의 주요 통항로의 교통조사 결과를 반영하였다. Table 4는 상기 무역항의 선박규모분석을 종합하여 나타낸 것이다(Ministry of ocean and fisheries 2015a, 2015b, 2015c, 2019; IPA, 2015).

앞서 언급한 운항요인을 최소값에서 최대값까지 변화를 주어 모든 경우의 수에 해당하는 Case 평가를 수행하였다. 평가의 지표는 환경스트레스치가 750 이상으로 발생하는 구간이 전체에서 차지하는 비율(Rate of ES over 750(%))로 나타내었다. 이 결과를 각 Case별로 수치화하여 Case에 따라 어떻게 변화하는지 추세를 파악하고자 하였다.

Table 5는 상기 기술한 해상교통류 평가의 시나리오를 정리한 것이다.

Fig. 6과 Fig. 7은 ES 모델을 이용하여 위험도 평가를 수행하고 있는 모습이다.

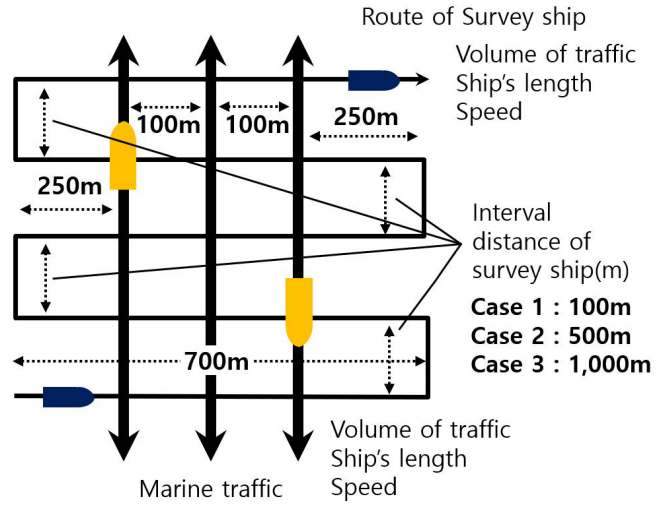


Fig. 4. Scenario of risk assessment by ES model (N-S traffic).

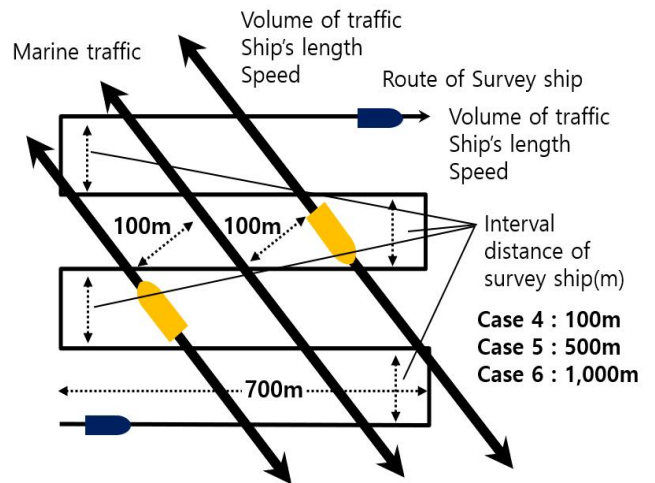


Fig. 5. Scenario of risk assessment by ES model (NW-SE traffic).

Table 4. Occurrence rate of vessel's length

Ship Length (m)	-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-
Rate (%)	45.4	25.3	14.9	10.2	2.2	1.4	0.5	0.1

2) 탐해2호의 탐사장비(스트리머)는 운항자 부담감에 가지적인 영향을 주지 못한다고 판단되어 선박길이 요인에서 고려하지 않았으며 선박길이 99.8m는 국내 해양탐사선 이사부호를 고려한 것이다.

Table 5. Scenario for risk assessment

Pattern of Survey vessel	Marine traffic			
	N-S direction		NW-SE direction	
E-W reciprocating grid	Case 1	100 m	Case 4	100 m
	Case 2	500 m	Case 5	500 m
	Case 3	1,000 m	Case 6	1,000 m
Scenario	Survey vessel		Ship's traffic	
	Number of ship	Length (m)	Number of ship	Speed (kts)
Case x-1	1-3	10-99.8	-	-
Case x-2	1-3	-	1-10	-
Case x-3	1-3	-	-	-
Case x-4	1-3	-	-	5-15
Case x-5	-	10-99.8	1-10	-
Case x-6	-	10-99.8	-	-
Case x-7	-	10-99.8	-	5-15
Case x-8	-	-	1-10	-
Case x-9	-	-	1-10	5-15
Case x-10	-	-	-	5-15

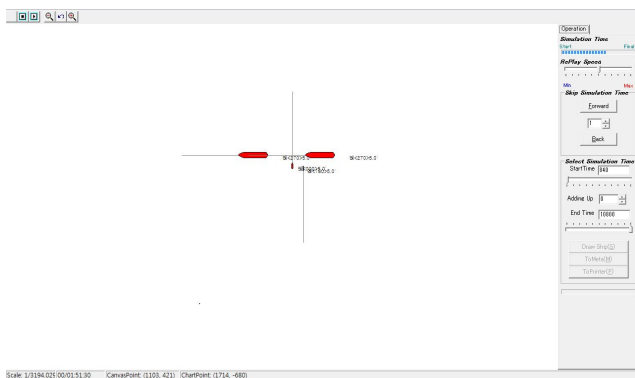


Fig. 6. Marine traffic flow simulation (N-S direction).

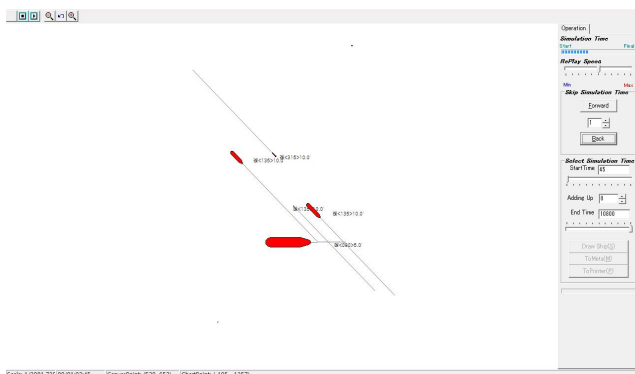


Fig. 7. Marine traffic flow simulation (NW-SE direction).

4. 결과 및 고찰

4.1 시뮬레이션 평가 결과

해양탐사·조사선의 시간당 투입 척수, 선박길이, 인근 해상교통흐름의 통항량, 인근 해상교통흐름의 속력, 그리고 인근 해상교통흐름을 남북간, 북서-남동간 흐름으로 구분하여 평가한 결과는 다음과 같다.

1) 선박 투입 척수와 인근 해상교통량

Table 6은 조사선박의 투입 척수와 인근 해상교통량 변화별 평가 결과이고 Fig. 8은 남북방향 평가를 그래프화한 결과, Fig. 9는 북서-남동방향 평가를 그래프화한 결과이다.

남북방향 평가에서, 인근 해상교통량이 시간당 1척일 경우에는 조사선박이 3척까지 투입되어도 750 이상의 ES가 전체 10%를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 인근 해상교통환경이 시간당 5척일 경우에는 조사선박이 2척 이상 투입될 시 750 이상의 ES가 10%를 초과하는 것으로 나타났다. 인근 해상교통환경이 시간당 10척일 경우 모든 경우에서 750 이상의 ES가 10%를 초과하여 위험도가 높게 나타났다.

북서-남동방향평가에서, 인근 해상교통량이 5척인 경우까지 조사선이 시간당 최대 3척까지 투입되어도 750 이상의 ES가 전체 10%를 초과하지 않는 것으로 나타났지만 인근 해상교통량이 10척인 경우 모든 경우에서 10%를 초과하는 것으로 나타났다.

Table 6. Result of assessment (number of traffic vs survey ship)

Survey vessel (Ship/h)	Interval distance(m)	Number of ship (Ship/h)			N-S traffic			NW-SE traffic		
		1	5	10	1	5	10			
1	100	0.0	8.5	11.7	2	4.3	15.8			
	500	2.4	9.1	11.2	0	4.3	18.8			
	1000	1.9	9.0	11.3	0	3.7	18.3			
2	100	2.3	11.0	16.5	0.3	6.7	15.5			
	500	4.1	11.6	17.3	0	3.6	13.3			
	1000	2.9	12.1	17.9	0	6.9	20.6			
3	100	5.5	11.6	25.7	1.5	9.9	14.6			
	500	4.1	9.6	26.1	0	5.2	14.5			
	1000	3.2	10.2	26.6	0	7	22.5			

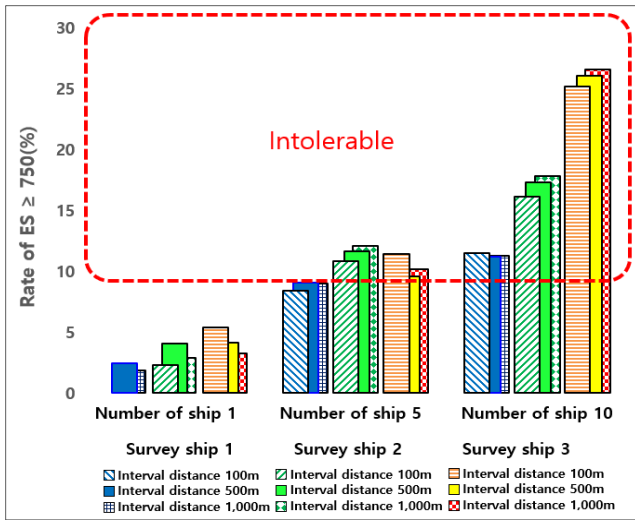


Fig. 8. Result of N-S Case (number of traffic vs survey ship).

Table 7. Result of assessment (survey ship length vs survey number)

Survey vessel (Ship/h)	Interval distance(m)	N-S traffic			NW-SE traffic		
		10	64.5	99.8	10	64.5	99.8
1	100	2.0	7.5	12.9	2	6.9	10.4
	500	1.1	5.3	9.6	0	0.0	0.0
	1000	0.8	0.9	1.3	0	0.0	0.0
2	100	1.7	2.7	3.9	0.3	0.0	0.0
	500	1.6	6.7	11.8	0	8.2	14.1
	1000	1.3	0.8	5.2	0	6.4	11.7
3	100	1.5	6.9	14.7	1.5	8.4	14.7
	500	1.7	2.7	4.0	0	8.4	14.2
	1000	1.2	7.5	14.1	0	6.4	11.8

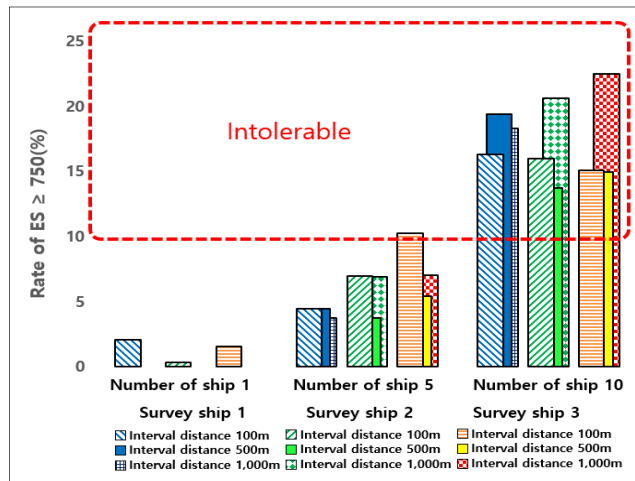


Fig. 9. Result of NW-SE Case (number of traffic vs survey ship).

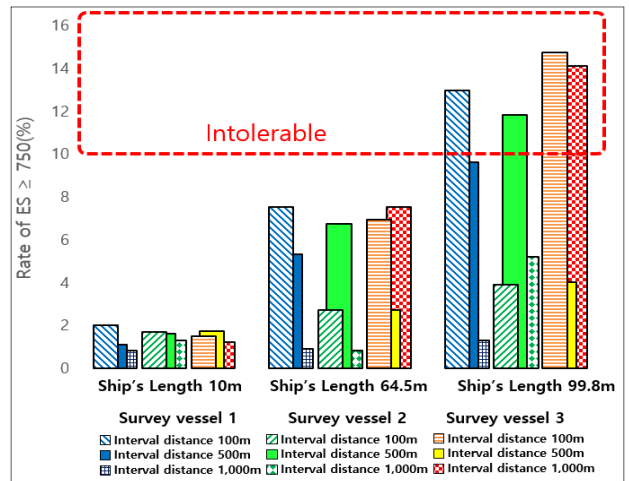


Fig. 10. Result of N-S Case (survey ship length vs survey number).

2) 선박 투입 척수와 선박 길이

Table 7은 선박의 투입 척수와 선박길이별 평가 결과이고 Fig. 10은 남북방향 평가를 그래프화한 결과, Fig. 11은 북서-남동방향 평가를 그래프화한 결과이다.

남북방향 및 북서-남동방향평가 모두 조사선의 길이가 99.8m인 경우에 750 이상의 ES가 전체 10%를 초과하기 시작하는 것으로 나타났다. 전체적으로 조사선의 길이가 증가할수록 750 이상의 ES가 증가하는 것을 확인하였다. 북서-남동방향 평가의 경우 운항간격이 증가할수록 750 이상의 ES 비율이 감소하는 것을 알 수 있다. 북서-남동방향 500m 간격일 때 위험도가 100m의 위험도 보다 약 0.5% 감소하였고 1,000m 간격일 때 위험도가 500m일 때 위험도보다 최대 약 2.4% 감소하였다.

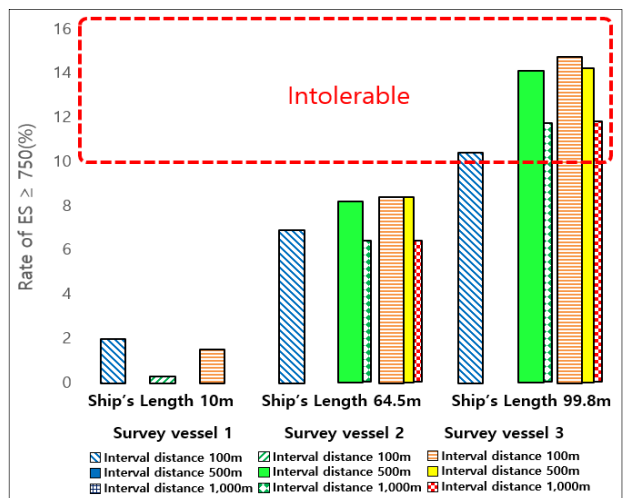


Fig. 11. Result of NW-SE Case (survey ship length vs survey number).

3) 인근 해상교통량과 선박길이

Table 8은 인근 해상교통량과 선박길이별 평가 결과이고 Fig. 12는 북서-남동방향 평가를 그래프화한 결과이다.

조사선박이 10 m에서 99.8 m까지 인근 해상교통량이 시간당 10척인 경우 750 이상의 ES가 전체 10%를 초과하는 것으로 나타났다. 이에 더하여 조사선박길이가 99.8 m인 경우 운항간격이 100 m, 500 m에서는 인근 교통량이 10척 이하여도 10%를 초과하는 것으로 나타났다.

Table 8. Result of assessment (survey ship length vs number of traffic)

Number of ship (Ship/h)	Length of survey ship (m)		N-S traffic			NW-SE traffic		
	Interval distance(m)		10	64.5	99.8	10	64.5	99.8
1	100		2.0	12.2	14.4	2	6.9	10.4
	500		1.1	9.8	11.8	0	0.0	0.0
	1000		0.8	0.9	1.2	0	0.0	0.0
5	100		7.1	8.9	10.2	4.3	9.7	12.8
	500		7.8	10.4	11.8	4.3	8.4	11.1
	1000		8.3	10.2	11.2	3.7	6.7	8.6
10	100		9.3	16.2	17.9	15.8	23.1	27.2
	500		10.0	14.8	15.9	18.8	20.6	21.8
	1000		10.4	16.7	19.8	18.3	20.2	21.1

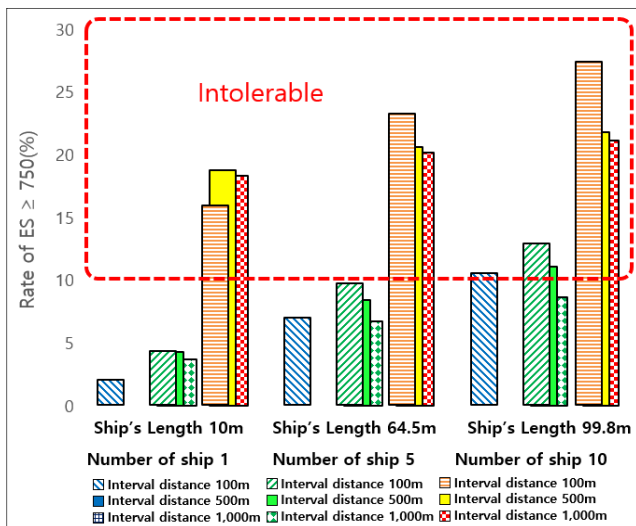


Fig. 12. Result of NW-SE Case (survey ship length vs number of traffic).

4) 인근 해상교통속력과 선박길이

Table 9는 인근 해상교통흐름의 속력과 선박길이별 평가 결과이고 Fig. 13은 북서-남동방향 평가를 그래프화한 결과이다.

조사선박길이가 99.8 m, 인근 해상교통속력 5 kts, 운항간격 100 m인 시나리오에서 750 이상의 ES가 10%를 초과하는 것으로 나타났다. 다른 Case에서는 모두 10%를 초과하지 않았다. 또한 운항간격이 증가할수록 750 이상의 ES 점유 비율은 감소하는 경향을 보이는 것을 확인하였다.

Table 9. Result of assessment (survey ship length vs speed of traffic)

Speed of traffic (kts)	Length of survey ship (m)		N-S traffic			NW-SE traffic		
	Interval distance(m)		10	64.5	99.8	10	64.5	99.8
5kts	100		2.0	7.5	12.9	2	6.9	10.4
	500		1.1	5.3	9.6	0	0.0	0.0
	1000		0.8	0.0	0.0	0	0.0	0.0
10kts	100		0.0	0.0	0.0	0	6.0	9.8
	500		0.6	0.0	0.0	0	0.0	0.0
	1000		0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
15kts	100		0.0	0.0	0.0	0	6.2	10.1
	500		0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0
	1000		0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0

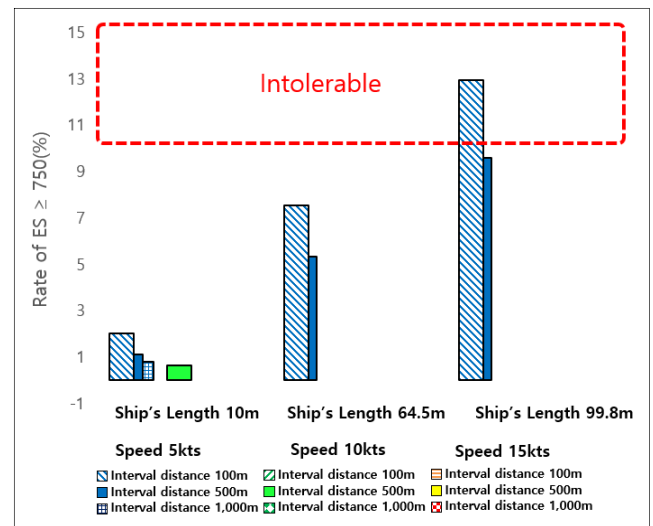


Fig. 13. Result of NW-SE Case (survey ship length vs speed of traffic).

4.2 운항변수별 상관관계 고찰

1) 인근 해상교통흐름과 침로 방향

조사선 투입 척수와 인근 해상교통흐름 통항량간의 변수에서 남북방향 평가 결과가 북서-남동방향 평가에 비하여 운항자 부담감이 높게 나타났다. 이는 조사선의 침로가 인근 해상교통흐름과 평행하게 설정된 것이 원인으로 보인다. 이 경우 조사선과 타 선박의 충돌회피가 요구되거나 근접거리를 유지한 채 통항하는 상황이 연출되어 조우관계 발생부터 해제까지의 시간이 증가하기 때문이다. 같은 이유로 북서-남동방향 평가의 경우 조사선과 타 선박간의 침로는 대각선이기 때문에 횡단관계가 많이 발생하고 조우발생에서 해제까지의 시간이 상대적으로 짧으므로 운항자 부담감이 상대적으로 적게 나타난 것으로 검토된다.

2) 조사간격과 위험도 관계

조사선의 운항간격이 변화함에 따라 유의미한 결과변화를 보이는 구간은 조사선박의 길이가 99.8m일 때이다. 일부 Case를 제외하고 조사선의 운항간격이 증가할수록 운항자 부담감은 전반적인 감소 경향을 가지는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향을 조사선박의 길이가 클수록 두드러지는 차이는 보인다. 이는 조우관계가 발생할 때 운항자 위험도가 큰폭으로 영향을 주는 것이 선박길이이기 때문으로 검토된다.

3) 조사선박길이의 해상교통영향

조사선박의 길이가 증가할수록 환경스트레스 평가결과도 증가하는 경향을 확인하였다. 또한 선박길이 99.8m의 경우 대부분의 Case에서 환경스트레스가 높게 평가되었으므로 이는 인근 해상교통량 및 속도, 조사선박의 시간당 투입 척수에 관계없이 조사선박의 길이가 거대할 경우 통항에 주의가 필요할 것으로 사료된다.

4) 해상교통류 평가에 따른 운항방식 지침

앞서 평가된 결과를 바탕으로 해양조사 운항방식을 결정하는 기본적인 지침을 다음과 같이 제시할 수 있다.

- 탐사측선 운항간격의 거리를 증가시킨다.
- 인근 해상교통흐름과 비스듬한 형태로 침로를 설정한다.
- 인근 해상교통량이 시간당 10척 이상 일 경우 조사활동을 재검토한다.

해양물리탐성과 탐사를 수행하는 탐해 2호의 경우 탐사측선의 결정은 상황마다 달라지고 운항형태를 변경하여도 탐사정확도에 미치는 영향은 없기 때문에 이와 같은 운항지침이 해상교통안전성향상에 적용될 수 있을 것으로 보인다.

5. 결 론

본 연구는 우리나라 해양물리탐사선 및 해양조사선의 운항형식에 따른 운항요인간의 상관관계를 연구하고자 하였다. 이를 위해 선박운항자의 환경스트레스치를 기반으로한 ES 모델을 통하여 시뮬레이션 평가를 수행하였고 분석 결과는 다음과 같다.

조사선 투입 척수와 인근 해상교통흐름의 통항량, 조사선의 길이 증가할수록 운항자 부담감은 현저하게 증가하는 것을 알 수 있었다. 평가결과 위험도에 가장 크게 영향을 미치는 요인은 교통량, 선박길이, 속도 순으로 확인되었다. 조우관계의 발생과 해제시간의 감소측면에서 조사선의 운항 침로가 인근 해상교통 흐름과 평행하게 통항하기보다 비스듬이 운항할 경우 상대적으로 운항자 부담감이 감소한다는 사실을 확인하였다. 다만, 조사선박의 길이가 99.8m를 초과할 경우 대부분의 경우에서 운항자 부담감이 높게 나타났으므로 탐사해역의 교통혼잡시간을 피하고 교통량이 적은 시간대를 선정해야 할 것으로 판단된다.

ES 모델을 기반으로한 평가에서는 교통량과 선박길이의 통제가 위험도를 관리하는데 효과적인 것으로 나타났다. 이에 따라 조사선이 운항계획을 설정할 단계에서 인근 해상교통현황을 파악하여 조사운항 방식에 반영한다면 운항자 부담감을 의도에 따라 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점으로는 2가지만의 운항요인을 평가하였다는 점이다. 실제로 선박이 통항하는데 해상교통안전에 영향을 주는 상황은 복합적이기 때문에 추후 2가지 이상의 운항 요인의 상관관계를 규명해야 할 것으로 보인다. 이를 위한 추가 연구가 필요하다. 더 나아가 해양탐사선 및 조사선 외의 특수한 운항 패턴을 보이는 선박이 운항계획 수립 시 활용할 수 있도록 기준마련도 필요할 것으로 보인다.

References

- [1] IPA(2015), Marine traffic safety audit for making No.4 fairway and extending of No.3 fairway in Incheon port, pp. 4.31-4.34.
- [2] KHOA(2018), Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, 2018 TECHNICAL REPORT OF KHOA, pp. 51-115.
- [3] KIGAM(2019), Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Research on technical development for R/V Tamhae II, GP2017-030-2019, pp. 1-99.
- [4] Kim, J. H.(1987), Marine Geophysical Techniques for Offshore Exploitation, Journal of Ocean Engineering and Technology 1(2), pp. 13-19.

- [5] Lee, Y. S., S. Y. Kim, Y. U. Yu, and G. H. Yun(2018), A Study on the Selection of Target Ship for the Protection of Submarine Power Cable, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 24, No. 6, pp. 662-669.
- [6] Ministry of ocean and fisheries(2015a), 2015 Vessel trafficlane safety audit (Ulsanhang), pp. 1-52.
- [7] Ministry of ocean and fisheries(2015b), 2015 Vessel trafficlane safety audit (Yeosu · Gwangyanghang), pp. 1-110.
- [8] Ministry of ocean and fisheries(2015c), Marine traffic safety audit for buiding International Cruse ship berth in Busan port, pp. 4-10.
- [9] Ministry of ocean and fisheries(2019), 2019 Vessel trafficlane safety audit (Mokpohang), pp. 3-385.
- [10] Park, J. S., Y. S. Park, and K. H. Lee(2013), Marine Traffic Engineering, pp. 163-167.
- [11] Park, K. S. and K. H. Hwang(2009), Trends in wolrd marin policies and the emerging Blue Economy, Vol. 24, No. 2, pp. 28-61.
- [12] Park, M. H., C. S. Lee, B. Y. Kim, J. H. Kim, K. J. Kim, and Y. J. Shinn(2018), Preliminary Results of the Pre-injection Monitoring Survey at and Offshore CO_2 Injection Site in the Yeongil Bay, Vol. 28, No. 2, pp. 247-258.

Received : 2020. 09. 01.

Revised : 2020. 09. 28.

Accepted : 2020. 10. 28.