

해저 동력케이블 보호를 위한 대상 선박 선정에 관한 연구

이윤석* · 김승연** · 유용웅*** · 윤귀호****†

*, **** 한국해양대학교 선박운항과, ** 한국해양대학교 마린시뮬레이션센터, *** 한국해양대학교 대학원

A Study on the Selection of Target Ship for the Protection of Submarine Power Cable

Yun-sok Lee* · Seungyeon Kim** · Yungung Yu*** · Gwi-ho Yun****†

*, **** Division of Ship Navigation, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

** Marine Simulation Center, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

*** Graduate school of Korea Maritime and Ocean University, Busan, Republic of Korea

요 약 : 최근 제주도를 비롯한 도서지역의 전력 사용량 증가 및 해상풍력 발전단지 개발 등으로 인해 해저 동력케이블의 신규 설치가 검토되고 있다. 해저에 설치되는 동력케이블의 보호를 위해서는 선박의 투묘, 주묘, 어로 작업 등에 대한 특성을 기반으로 매설 깊이를 산출해야 한다. 그러나 우리나라는 아직까지 해저 동력케이블 보호를 위한 대상 선박의 규모와 관련된 설계기준이 전무한 실정이다. 본 연구에서는 해저 동력케이블과 유사한 국내 해저배관의 보호를 위한 설계기준을 분석하고, 동력케이블의 설치 환경을 고려한 긴급 투묘의 형태별 분류를 토대로 위험도 매트릭스 모델을 개발하여 보호 대상 선박의 규모를 해당 해역을 통항하는 선박의 크기별 누적함수 규모에 따라 설계하였다. 해저 동력케이블 보호 기준에는 설치 해역의 수심과 조류 등의 환경 조건, 투묘와 주묘 등과 같은 해양사고 조건 등을 연계하였고, 선박의 운항 환경을 항계, 연안해역과 근해해역으로 구분하여 동력케이블의 구체적인 보호 대상 선박의 규모를 검토하였다. 대상 선박의 규모 결정에 대한 적정성 및 유용성 차원에서 완도에서 제주구간에 신설 예정인 제3호 해저 동력케이블에 적용하여 검증하였다. 이러한 해저 동력케이블과 해저배관 등의 보호를 위한 대상 선박의 선정 기준은 향후 매설깊이 설정에 따른 앵커 중량 선정은 물론 해저케이블 물리적 보호시스템 개발에도 활용될 것으로 기대된다.

핵심어 : 동력케이블, 보호, 투묘, 매설 깊이, 대상 선박

Abstract : Recently, the installation of submarine power cables is under consideration due to the increase of electric power usage and the development of the offshore wind farm in island areas, including Jeju. In order to protect power cables installed on the seabed, it is necessary to calculate the burial depth based on the characteristics of anchoring, dragging and fishing, etc. However, there is no design standard related to the size of target ships to protect the cables in Korea. In this study, we analyzed the design standards for the protection of domestic submarine pipelines similar to submarine cables, and developed the risk matrix based on the classification by emergency anchoring considering the installation environment, then designed the size of target ships according to the cumulative function scale by ship size sailing through the sea concerned. Also, we linked marine accident conditions, such as anchoring, dragging, etc. and the environmental conditions such as current, sea-area depth of installation etc. to the criteria of the protection of submarine cable, and examined the size of specific target ships by dividing the operating environment of ships into harbor, coastal and short sea. To confirm the adequacy and availability of the size of target ships, we verified this result by applying to No. 3 submarine power cables, which is to be installed in the section from Wando to Jeju Island. This result is expected to influence in the development of a protection system for submarine cables and pipelines as well as the selection of anchor weight according to the determination of burial depth.

Key Words : Power cable, Protection, Anchoring, Burial depth, Target ship

* First Author : lys@kmou.ac.kr, 051-410-5098

† Corresponding Author : captyun@kmou.ac.kr, 051-410-4201

1. 서론

2018년 8월 통계청에서 발표한 2017년 기준 우리나라 인구주택총조사 결과에 따르면 제주시의 인구 증가율은 전년도 대비 3.0% 증가하였으며, 2008~2017년까지 10년간 제주도 주민등록 인구증가율은 17.2%로 전국에서 가장 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 제주도의 여름철 최대 전력수요는 2011년 62만 kW에서 2017년 89만 kW로 6년간 약 143%가 상승한 것으로 발표되었다(National Statistical Office, 2018).

제주도의 전력공급량의 40%는 HVDC(High Voltage Direct Current) 해저 동력케이블로 이루어지고 있으며, 이는 제1호 해저 동력케이블(제주~해남), 제2호 해저 동력케이블(제주~진도)로 구성되어 있다. 그러나 제주도의 인구 및 관광객 증가, 각종 개발사업 등으로 전력소비량 증가에 따라 제주~완도구간에 제3호 해저 동력케이블 설치가 본격적으로 추진되고 있다.

친환경에너지 확보를 위한 해상풍력 발전단지의 본격적인 개발이 서해안과 동해안을 중심으로 활발히 진행되고 있고, 이에 따라 발전된 동력원을 해저케이블을 이용하여 육상으로 연계하는 동력케이블 연구도 활발해지고 있다. 국내외 해저 동력케이블 관련 연구로, Kim(2000)은 해저 구조물의 보호를 위해 선박의 톤수 및 앵커 종류에 따른 해저 구조물 매설깊이를 추정하였다. Ahn(2012)은 해저 케이블 설치해역의 특성에 따른 위해요소 분석 및 육상 투하시험을 수행하여 해저케이블 보호공법을 제시하였다. Gautheron and Suyama(2003)은 해저 동력케이블의 전송 용량의 분석을, Jie and Yao-Tian(2012)은 AIS와 Radar 장비 기반의 해저 동력케이블의 안전 모니터링 시스템을 검토하였다. 또한, Mulyadi et al.(2013)은 특정해역을 통항하는 선박의 AIS 정보를 이용하여 통항선박을 분석하고 선박의 주묘로 인한 해저 동력케이블과 유사한 해저 파이프라인의 손상 확률을 분석하였다.

해저 동력케이블의 보호는 설치 환경, 해상교통량, 해저 지형 등의 조사를 기반으로 적정한 매설 깊이를 산출해야 한다. 그러나 우리나라는 해저 동력케이블 관련한 설계기준이 부재하여 유사 구조물인 해저 파이프라인의 설계기준을 바탕으로 설계하고 있으며, 해저 파이프라인은 대부분 항계내에 설치되어 있어 주로 연근해에 설치되는 해저 동력케이블에 적용하기에는 한계가 있다.

또한, 우리나라 연안해역은 VTS 관제가 실행되고 있어 실질적으로 해도 상에 해저 동력케이블을 표시된 해역에 긴급 투묘한 사례는 거의 찾아볼 수 없었으나 투묘의 불확실성과 개연성은 존재하므로 합리적 수준의 보호 기준을 필요할 것으로 판단된다.

이에 따라 본 연구에서는 국내의 해저 동력케이블 설계기준을 분석하고, 설치 해역의 선박 통항량, 해양사고, 항행 환경 특성 등을 반영한 통항 선박의 누적통계함수 기반의 대

상 선박을 결정하는 보호 대상을 제안하였다. 또한, 제주~완도구간의 설치 예정인 제3호 해저 동력케이블에 본 연구 내용을 적용하여 각 구간별 동력케이블 보호를 위한 대상 선박의 규모를 선정하고 연구 결과의 타당성을 검증하였다.

2. 해저 동력케이블 보호 기준 분석

2.1 국내 설계기준 분석

해저 동력케이블 보호를 위한 대상 선박의 규모 선정과 관련한 기준이 없으나, 이와 유사한 해저 파이프라인의 국내 설계기준에 대해서는 ‘항만 및 어항 설계기준’에 명시되어 있다. 해저 파이프라인의 노선은 항만시설 등의 현황 및 장래계획, 해상교통량 및 해면이용의 상황 등을 반영하여야 하며, 매설 깊이는 선박의 앵커에 의한 손상을 피하기 위해 파이프라인을 부설 예정 해역에서 운항되는 최대 선박의 앵커 제원을 고려하여야 한다고 명시되어 있다.

이에 따라 통항 선박의 규모가 확정되면 의장수(Equipment number)에 따른 앵커의 중량이 분석되며, 항만 및 어항 설계기준에 제시된 앵커 중량에 따른 매설 깊이는 다음의 Fig. 1과 같고, 국제선급협회 기준에 따른 선박 재화중량톤수별 앵커의 중량은 다음의 Fig. 2와 같다.

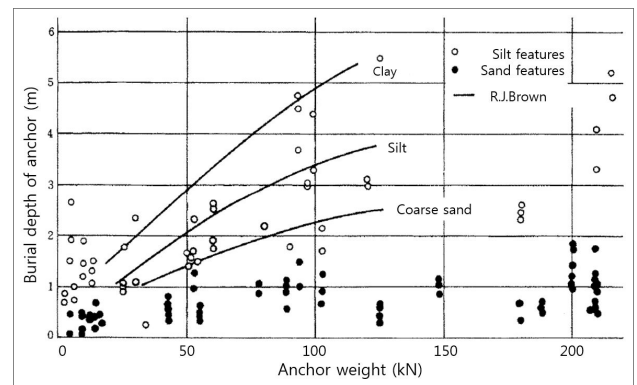


Fig. 1. Burial depth of anchor considering anchor weight.

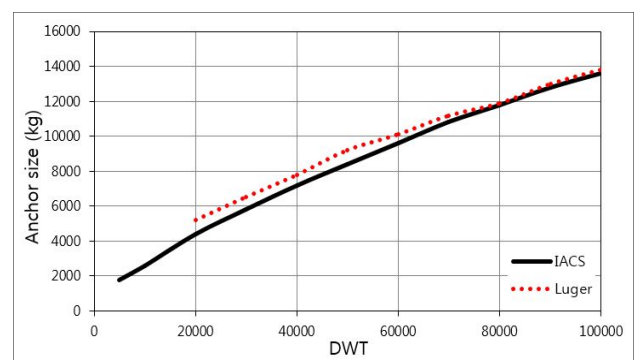


Fig. 2. Anchor weight with ship's DWT.

2.2 매설깊이 기준 연구

1) 앵커 형태별 매설깊이

Kim(2000)은 해당 해역의 조류에 의한 해저의 침식, 닛에 의한 해저충격력, 닛의 과주 깊이를 기초로 해저구조물의 안전성을 평가하였다. 이에 따라 앵커의 종류와 선박 재화중량톤수에 따른 매설깊이를 다음과 같이 ASS형과 AC-14형으로 구분하여 제안하였다.

$$ASS \text{ Type} : H_a = 0.554 \times (DWT)^{0.1048} \quad (1)$$

$$AC-14 \text{ Type} : H_a = 0.554 \times (DWT)^{0.0552} \quad (2)$$

여기서, H_a : 앵커 형태별 매설깊이(m)
 DWT : 재화중량톤수(ton)

2) 매설심도지수(BPI)

해저저질에 따른 매설심도를 대략적인 선박 규모에 의해 결정하는 방법으로 매설심도지수(Burial Protection Index, BPI)가 이용된다. BPI 1은 일반적인 어구로부터 보호되는 매설깊이, BPI 2는 선박용 앵커 2톤으로부터 보호되는 매설깊이, BPI 3는 대형 앵커로부터 보호되는 매설깊이로 다음의 Fig. 3과 같이 사용된다(P.G.Allan, 1998).

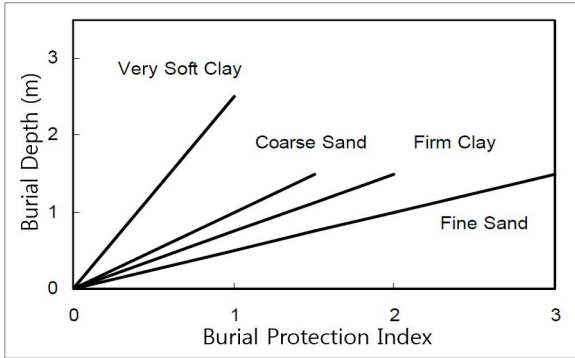


Fig. 3. Burial Protection Index.

3) 동력케이블 매설 위험도 평가(CBRA)

영국과 스코틀랜드 정부에서 기획한 OWA(Offshore Wind Accelerator)의 해저 동력케이블의 위험도 평가(Cable Burial Risk Assessment, CBRA) 방법으로 해저 케이블의 손상 확률을 다음 식(3)과 같이 산출하고 있다(Carbon Trust, 2015).

$$P_{Strike} = P_{traffic} P_{wd} \sum_{i=1}^n \frac{D_{ship}}{V_{ship} \times 8760} P_{accident} \quad (3)$$

여기서, P_{Strike} : 해저케이블 손상 확률
 $P_{traffic}$: 허용 가능한 위험 수준 기반의 확률계수

P_{wd} : 해저 깊이와 특성에 따른 확률계수
 $P_{accident}$: 선박 규모 및 선종별 해양사고 확률
 D_{ship} : 특정 해역에서의 선박 이동 거리(m)
 V_{ship} : 선박 통항 선속(m/hour)
 n : 특정 해역에 존재하는 선박 척수

4) 파이프라인 보호 절차(Pipeline Protection Assessment)

DNV-GL은 해저파이프라인 매설깊이 설정과 보호를 목적으로 위험도 수용 기준 설정, 시스템 설계, 위험도 평가, 수용 가능 여부를 Fig. 4와 같은 절차에 의거 평가하도록 제안하였다(Det Norske Veritas, 2010).

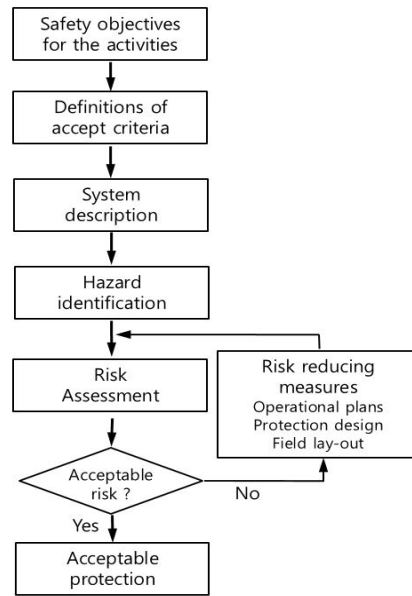


Fig. 4. Process of pipeline protection assessment.

3. 보호 대상 선박 선정 기준 구성

해저 동력케이블 보호를 위한 대상선박 선정에 위해서는 통항 선박에 대한 조사 및 분석, 해양사고 발생에 따른 실질적인 투묘 여부 조사, 설치 예정 해역의 환경 요소 등을 종합적으로 고려할 필요가 있다.

3.1 통항 선박 요소

1) 해상교통조사 분석

대상 선박의 규모 선정에 위해서는 매설 예정 해역을 중심으로 인근 3마일 범위 내에 최근 1년 동안의 교통량 또는 각 계절별 최소 3일 이상의 통항 선박을 심층적으로 조사 분석해야 한다. 구체적인 해상교통량 조사 및 분석 방법은 현재 시행되고 있는 해상교통안전진단의 해상교통관측조사(Ministry of Oceans and Fisheries, 2017b) 방법을 이용한다.

2) 통항 선박 기반의 누적확률함수

해저 동력케이블 보호적인 측면에서는 최대 선박으로 결정하는 것이 바람직하나 경제성과 기술적인 측면에 한계가 존재하기 때문에 일률적 적용은 현실적으로 어렵다. 따라서 실질적인 앵커 투묘 가능성과 불확실성에 적용 가능한 확률 모델을 구축하는 정량적 평가 기법을 검토한다.

대상 해역의 구간별로 교통조사 결과를 분석하여 대형선으로부터 누적확률함수(Traffic Cumulative Possibility, TCP)을 이용한다. 이는 앵커 투묘 가능성 또는 위험성에 따른 합리적인 보호 수준이 확인되면, TCP 레벨에 따라 대상 선박의 규모를 확정하는 결정론적 방식으로 Table 1과 같이 구분된다.

Table 1. Definition of TCP (Traffic Cumulative Probability)

Classify	Traffic volume range	Remarks
TCP100	largest ship of traffic volume	maximum protection
TCP ME	TCP100, but exclude occasionally passing ship	occasionally passing ship
TCP90	90% of traffic volume	positive protection
TCP50	over the half of traffic volume	Average protection
TCP mode	most frequent size of traffic volume	Frequent protection

TCP100은 최대 통항 선박으로 최대 보호가 필요한 해역이며, 이 중에서 시운전, 임시운행, 수리 등의 목적으로 연간 3회 미만 일시적으로 운항하는 선박을 배제한 최대 선박을 TCP ME로 정의하고 필요한 보호 해역에 적용한다.

TCP90은 적극적 보호가 필요한 해역에 적용되며 최대 선박 규모의 90% 수준인 비교적 대형 선박의 그룹에 해당된다. 이는 투묘 불확실성을 선박 규모 측면에서 10% 여유를 두는 것으로 동일한 재화중량톤수의 선박이라도 주요 계원의 차이가 존재하고, 국내 해사안전법 해상교통안전진단에서도 수역시설과 계류시설의 선박 계원의 변경 규모를 10% 수준에서 적용하기 때문이다.

TCP mode와 TCP50은 실질적인 앵커 투묘 사례가 없으나 투묘 개연성이 존재하는 경우에 해양사고 개연성이 큰 통항량이 빈번한 선박(mode) 또는 통항량 규모가 평균 이상(50%)을 적용하는 것이 합리적인 보호 해역에서 사용된다.

3) 2017년 톤수별 교통량 분석

국내 2017년 전국 입항 선박을 기준으로 입항 선박별 척수와 이를 기반으로 누적확률함수를 도출하면 Fig. 5와 같다. 2017년 톤수별 통항 척수를 기반으로 확인한 결과(Ministry of Oceans and Fisheries, 2017a), 총톤수 100,000톤급 이상의 누적확률함수는 1%로 나타났고, TCP90은 총톤수 기준 25,000~30,000톤급 선박이며, TCP50은 1,000~3,000톤급으로 분석되었다.

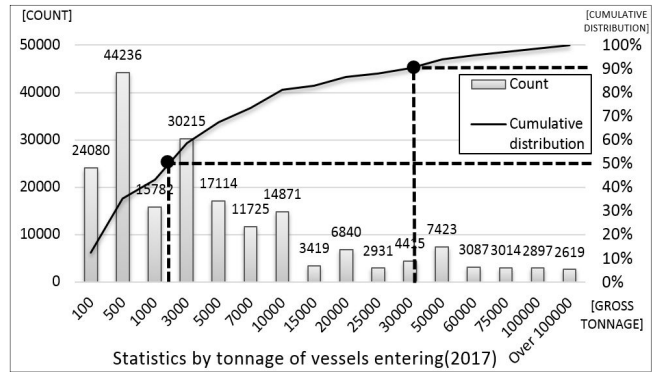


Fig. 5. Statistic by tonnage of vessels entering (2017).

3.2 해양사고 요소

해저 동력케이블 설치 예정 해역에 대한 최근 10년간의 해양사고 유형별, 선박 규모별, 사고 원인별 조사·분석을 실시해야 한다. 해양사고 분석을 기초로 실질적인 투묘 사례를 집중 분석하여, 실질적인 투묘가 수행된 선박을 우선적인 보호 대상 선박으로 결정해야 한다. 또한, 해양사고 발생 해역이 빈번한 해역, 충돌, 접촉 등 긴급한 투묘로 연결될 수 있는 대상 선박을 2차적인 잠재적 보호 대상으로 검토해야 한다.

최근 5년간 전국에서 발생한 해양사고 10,548척(Korean Maritime Safety Tribuna, 2018b)을 대상으로 2017년도 입항 선박의 TCP와 연계하여 분석한 결과는 Fig. 6과 같으며, TCP90에 해당되는 총톤수 3만톤 미만의 선박이 전체 해양사고의 98~99%를 차지했다. 또한, TCP50에 해당하는 총톤수 3,000톤 미만의 선박이 95~96%를 차지하는 것으로 확인되었다. 이는 TCP90, TCP50 수준에서 대상 선박을 선정하여도 전체 해양사고 선박의 98% 및 95%를 보호할 수 있음을 시사하고 있다.

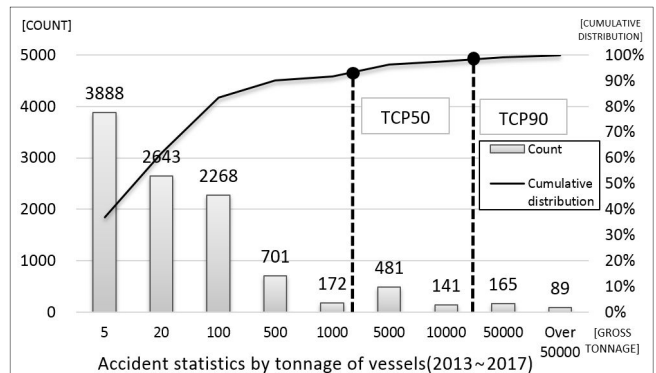


Fig. 6. Accident statistic by tonnage of vessels (2013~2017).

3.3 환경 요소

해역별 보호 대상 선박의 선정을 위해 선박의 앵커 투묘에 영향을 미칠 수 있는 환경적인 요소를 고려하였다.

1) 해역

해저 동력케이블 설치 해역을 선박의 통항량과 연계하여 3개 Level로 구분하였다. Level 1은 국내 연안항의 항계까지의 수역으로 선박의 투묘 가능성이 매우 높은 해역이다. Level 2는 영해 및 접속수역법 제2조에 규정된 기선(基線)에서 영해(12해리)까지의 연안해역으로 선박의 통항량이 존재하지만 앵커 투묘의 가능성에 대해서는 불확실성이 존재한다. Level 3은 영해에서 기선으로부터 외측 200해리의 배타적 경제수역까지의 수역으로 선박 투묘가 불가능한 해역이다.

2) 수심 및 저질

선박의 투묘 방법에 따라 Table 2와 같이 수심을 A, B, C 3개 해역으로 구분하였다. A구역은 중력식 투묘(Drop anchor) 방식이 이루어지는 수심 30m 이하 해역, B구역은 양묘기로 일정 수심만큼 Walk out하여 Drop Anchor가 이루어지는 수심 30-50m 해역, C구역은 양묘기로 Walk back하여 해저에 앵커를 내리는 수심 50m 이상 해역이다. 또한, 수심과 함께 해저의 저질과 지형 등도 선박의 투묘 여부를 결정하는 요소로 활용된다.

Table 2. General anchoring method according to depth of water

Depth of water(DW) (m)		Anchoring method
A	0 ≤ DW < 30	Cock bill & Let go anchor
B	30 ≤ DW < 50	Walk out & Let go anchor
C	50 ≤ DW	Walk back

3) 외력(바람, 조류, 파랑 등의 해상상태)

대상 해역의 외력(바람, 조류, 파랑) 속도에 따라 선박의 앵커 및 표류 방향이 결정되며, 외력이 강할수록 선박의 비상 상황에서 앵커 투묘의 확률이 증가한다.

4) VTS 관제 및 육상지원체계 등

VTS 관제 영역에 따라 해양사고 발생 이후 신속한 대응과 처리가 달라지며, 해양사고 발생 위치에 따라 육상에서의 지원체계(해양경찰 구조, 예인선 지원 등)가 결정된다. 따라서 VTS 관제 및 육상의 지원체계 등도 직·간접적으로 선박의 긴급 투묘를 결정하는 요소이다.

4. 해저 동력케이블 보호 기준

4.1 위험도 수준(Risk level) 평가

해저 동력케이블 보호를 위한 대상 선박 설정을 위해서는 우선적으로 투묘의 개연성을 검토해야 하며, 일반적인 정박

지에서 이행되는 묘박이 아니라면 해양사고 발생에 따른 긴급 투묘를 고려해야 한다. 선박에서는 긴급한 상황이 발생하면 본선의 위치와 해양사고 내용을 기초로 2차적인 위험성을 평가하여 투묘 여부를 결정한다.

3장의 각종 요소를 바탕으로 투묘 가능성과 위험도 수준을 높음(High), 중간(Medium), 낮음(Low)으로 구분하면 Table 3과 같다.

Table 3. Risk classification with operational situation

Category	Risk level		
	High	Medium	Low
Location	harbor, Fairway, TSS, Passages	coast, confined area, narrow channel	ocean, open seas
Depth of water	less then 30m	30-50m	more then 50m
Current	strong, more then 2kts	normal, 1-2kts	weak, less then 1kts
Emergency measures	immediatly anchoring	if necessary, anchoring	drifting
VTS	covered (Port VTS)	covered (Coastal VTS)	not available
Support system	within 30-60minutes	1-3 hours	more then 6 hours
Traffic volume	more then 12 ships/hour	6-8 ships/hour	less then 4 ship/hour

4.2 보호 수준 평가 매트릭스

해저 동력케이블의 설치 위치 또는 선박의 항행 위치(해역)를 기반으로 앵커 투묘에 대한 빈도(가능성)과 해양사고 발생에 따른 2차적인 위험도 수준을 상호 비교·평가하여 보호 수준을 결정하는 Risk matrix는 구조는 Fig. 7과 같다.

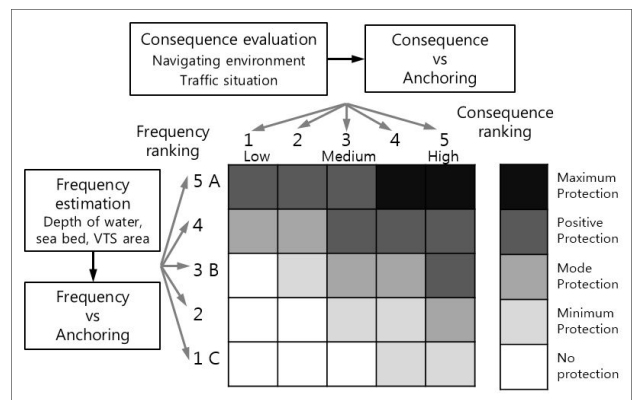


Fig. 7. Risk matrix of protection level.

해저 동력케이블의 보호 수준이 결정되고, 통항 선박의 교통조사를 기반으로 분석된 TCP 기준을 적용하여 보호 대상 선박의 규모가 Table 4와 같이 결정된다.

해저 동력케이블 보호를 위한 대상 선박 선정에 관한 연구

Table 4. Type of protection and target ship

Classification	Emergency anchoring	Target ship
Maximum Protection	Available at any time	TCP100 (TCP ME) the largest ship
	All ships should be considered	
Positive Protection	Possible depending on case	TCP90 a group of large ship
	A group of large ship should be considered	
Mode Protection	Almost rare but the possibility of anchor cannot be excluded	TCP mode or TCP50 average or mode group
	At least frequent traffic vessels or average group of size should be considered	
Minimum Protection	Very unlikely or seldom	TCP10 fishing boats or technically possible size
	Fishing(stew net) or technically feasible ship range should be protected.	
None Protection	Not likely	None Protection
	There is no need to consider the target ship	

4.3 대상 선박 선정 기준

해저 동력케이블의 설치 해역에 따른 선박의 긴급 투묘 가능성을 연계하여 보호 수준, TCP, Risk matrix 등을 종합하

여 대상 선박의 선정 기준을 제시하면 Table 5와 같다.

- L_1 -A : 항계 수심 30 m 이하 해역으로 투묘 가능성이 높아 통항 최대 선박(TCP100 or TCP ME)으로 보호.
- L_1 -B : 항계 내 수심 30~50 m 이하 해역으로 필요시 투묘가 가능성이 있어 TCP90 이상의 적극적 보호.
- L_1 -C : 수심 50 m 이상으로 항계와 인접한 해역으로 투묘 개연성이 희박하나 어선의 조업 등이 가능하여 선박 통항량 기준 TCP mode 또는 어선 보호.
- L_2 -A : 연안해역 수심 30 m 이하의 선박 통항 해역으로 필요시 투묘 개연성이 있어 TCP90 이상의 적극적 보호.
- L_2 -B : 연안해역 내 수심 30~50 m 이하의 해역으로 투묘 가능성은 희박하나, 불확실성에 대한 효율적 보호 방안으로 TCP mode 또는 TCP50 이상의 보호.
- L_2 -C : 연안해역의 수심 50 m 이상 해역으로 투묘의 가능성이 거의 없으나 어선의 조업이 예상되면 어선 또는 기술적으로 가능한 최소 매설 심도로 보호.
- L_3 -A, B : 영해 밖 수심 50 m 이하의 해역으로 투묘 가능성 거의 없으나 어선의 조업이 예상되면 어선 또는 기술적으로 가능한 최소 매설 심도로 보호.
- L_3 -C : 영해 밖 수심 50 m 이상으로 어선 조업이 있으면 어선 없으면 보호 불필요.

Table 5. Results of ship size based on the anchoring

L_i	Separation	Area Characteristics	Emergency response measures	Ship size for protection	Remark
L_1	L_1 -A	Near port facility, high secondary risk	Immediate emergency anchoring	TCP100 (TCP ME)	Max protection, but exclude vessels that accidentally navigate
	L_1 -B	In harbor, medium secondary risk	If necessary anchoring, in some cases	TCP>90	Positive protection
	L_1 -C	Near harbor limit, low secondary risk	Rare anchoring or drifting	Fishing boats or TCP mode	Fishing protection or mode protection
L_2	L_2 -A	Near shore, high secondary risk	If necessary anchoring, in some cases	TCP>90	Positive protection
	L_2 -B	Coastal area, medium secondary risk	Rare anchoring	TCP mode or TCP>50	Mode protection
	L_2 -C	Outside coast, low secondary risk	Very unlikely or seldom	Fishing boats or burial technical standard	Fishing protection or minimum protection
L_3	L_3 -A, B	Inner ocean, less than 50m, medium secondary risk	Very unlikely or seldom	Fishing boats or burial technical standard	Minimum protection
	L_3 -C	Outside ocean, more than 50m, low secondary risk	Not likely, Drifting	None	None protection

Remark. However, if the size of the accident vessel due to an anchor in the last 10 years is larger than the target vessel size, it should be selected as the size of the accident vessel.

5. 완도-제주간 제3호 해저 동력케이블 적용

5.1 대상 해역 구간 분석

제3호 해저 동력케이블의 설치 해역은 완도VTS 관제구역에서 횡간수도, 대모도 연안통항로를 거쳐 제주VTS 연안까지 연결되며, 주요 항로, 수심 및 통항량 등을 조사하여 대상 해역을 Table 6과 같이 구분하였다.

Table 6. Zone separation of #3 HVDC cable

Zone	DW(m)	Traffic density	
1	Wando Coast	0~30	Low
2	Hoenggan Sudo	30~33	High
3	Daemodo	33~40	Medium
4	Internal water (Wando)	40~50	High
5			High
6			Medium
7	Jeju Strait	50~130	Medium
8			High
9			High
10	Internal water (Jeju)	25~50	Medium
11	Jeju Coast	0~25	Low

5.2 대상 해역 해양사고 분석

HVDC #3 해역의 과거 2012~2016년까지 사고 사례 분석 결과 총 349건의 사고가 발생하였으며, 그 중 총톤수 3,000톤 이상(길이 100 m 이상) 선박 사고가 총 6건 발생(충돌 3건, 화재 1건, 기관손상 2건)하였으나 비상 투묘사례는 존재하지 않았다(Korean Maritime Safety Tribunal, 2018a).

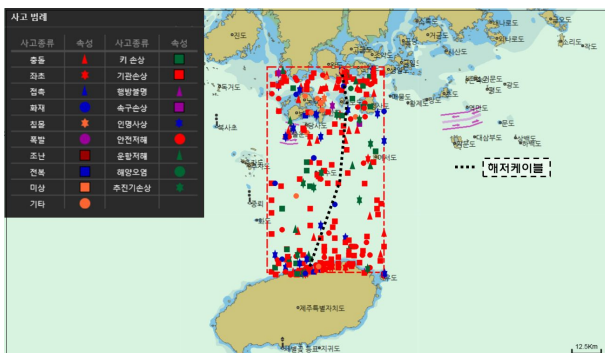


Fig. 8. Accident location from Wando area to Jeju.

5.3 구간별 대상 선박 선정

대상 해역에 투묘 사례가 없었으므로 해역별 위험도 분석과 보호 기준을 확정하여 대상 선박을 선정 방법을 제시하

면 Table 7과 같다. 실제 기준에 해당되는 대상 선박은 1년 이상 또는 계절별 교통량을 3일 이상을 분석하여 통항 선박에 대한 TCP를 산출해서 대상 선박을 선정해야 한다. 또한, 일반적인 통항 선박 이외에도 어선의 조업 등이 이루어지는 조사·분석하여 반영할 필요가 있다.

Table 7. Decision of TCP with protection level of #3 HVDC

Zone	DW	TCP	
1	L_1 -C	0~30	Possible depth of burial (if have fishing vessels, need protection)
2	L_2 -A	30~33	TCP>90
3	L_2 -B	33~40	TCP>50 or TCP mode
4	L_2 -B	40~50	TCP>50 or TCP mode
5			
6			
7	L_3 -C	50~130	Non protection (if have fishing vessels, need protection)
8			
9	L_2 -B	25~50	TCP>50 or TCP mode
10			
11	L_1 -C	0~25	possible depth of burial (if have fishing vessels, need protection)

6. 결론

최근 제주도의 인구와 관광객의 증가로 인한 개발로 인해 전력수요가 급증하고 친환경에너지인 해상풍력 발전단지 개발 사업 등으로 인해 해저 동력케이블의 설치가 본격적으로 논의되고 있다. 해저 동력케이블의 보호 및 설계기준과 관련하여 국내에서 설계기준은 전무한 상태이며, 과거 경험적 방법과 해외 사례를 중심으로 설치되고 있다. 본 연구에서는 해저 동력케이블 설치 해역의 구간별 특성, 선박 통항량 기반의 TCP, 해양사고, 환경 요소 등을 종합적으로 고려한 평가 매트릭스 기반의 보호 수준을 선택하여 대상 선박을 선정하는 방안을 제안하였다.

- (1) 국내·외 해저 동력케이블 관련 연구와 기준 등을 분석한 결과, 해저 동력케이블의 매설깊이는 앵커 종류, 매설심도지수, 매설 위험도평가 등의 방법이 이용되고 있으나 대상 해역의 환경요소, 보호 수준 및 선박 통항량 기반의 대상 선박 기준은 없었다.
- (2) 통항 선박에 대한 조사 분석에 따른 누적확률함수(Traffic Cumulative Possibility, TCP)을 바탕으로 대상 선박의 선정 규모를 TCP100, TCP ME, TCP90, TCP50, TCP mode 로 구분하여 제시하였다. 또한, 2017년 우리나라 입항 선박에 대한 투묘별 TCP를 산출하여 최근 5년 해양사고 발생

해저 동력케이블 보호를 위한 대상 선박 선정에 관한 연구

톤수별 빈도함수와 연계하여 TCP90과 TCP50의 타당성을 확인하였다.

- (3) 해저 동력케이블의 설치 해역의 특성, 선박 통항량에 따른 투묘 가능성과 개연성을 기반으로 위험도 평가 매트릭스를 개발하여 5단계의 보호 수준을 결정하였다. 동력케이블의 설치 해역, 해양사고 분석 및 선박 통항에 대한 TCP 산출이 확정되면 보호 수준에 따른 대상 선박의 규모가 선정되도록 기준을 제안하였다.

후속 연구로 해상풍력 발전단지의 해저 동력케이블 보호를 위한 대상 선박의 선정 등에 활용 가능 여부를 점진적으로 검증할 계획이다. 또한, 절대적인 보호가 요구되는 해저 동력케이블과 해저 파이프라인 등의 설계기준으로 확장될 수 있도록 앵커 투묘와 관련한 불확실성에 대한 이론적 모델을 개발하고자 한다.

다만, 연구 결과의 신뢰성 확보를 위해서는 대상 선박의 선정에 인용되는 AIS 기반의 교통량, 해양사고 및 해상교통 환경 등을 종합적으로 분석함에 있어 해양수산부에서 지정한 해상교통안전진단 대행기관 수준의 전문성을 갖춘 공신력 있는 기관에서 제시된 자료를 사용할 필요가 있을 것으로 사료된다.

by vessel tonnage, Table 44.

- [9] Ministry of Oceans and Fisheries(2017a), Statistical Yearbook of Marine Fisheries, Arrival of vessels by tonnage, p. 378.
- [10] Ministry of Oceans and Fisheries(2017b), Guidelines for the implementation of marine traffic safety diagnosis.
- [11] Mulyadi, Kobayashi, Wakabayashi, Pitana, Wahyudi and Prasetyo(2013), Estimation Methods for Draggged Anchor Accident Frequency on Subsea Pipelines in Busy Port Areas, Journal of Marine Science and Technology No. 20, pp. 173-183.
- [12] National Statistical Office(2018), 2017 National Population and Housing Census, pp. 1-12.
- [13] P.G.Allan(1998), Selecting Appropriate Cable Burial Depths, Presented at IBC Conference on Submarine Communications, pp. 8-11.

Received : 2018. 10. 02.

Revised : 2018. 10. 23.

Accepted : 2018. 10. 26.

References

- [1] Ahn, S. H.(2012), A Study on the Submarine Cable Protection Methods Considering Sea Condition and Utilization Characteristics, Doctor's thesis, Pukyong National University, pp. 1-4.
- [2] Carbon Trust(2015), Cable Burial Risk Assessment Methodology, pp. 21-29.
- [3] Det Norske Veritas(2010), Risk Assessment of Pipeline Protection, DNV-RP-F107, pp. 5-10.
- [4] Gautheron and Suyama(2003), Submarine cable network, C. R. Physique 4, pp. 115-126.
- [5] Jie, W. and F. Yao-Tian(2012), Study on Safety Monitoring System for Submarine Power Cable on the Basis of AIS and Radar Technology, Physics Procedia 24, pp. 961-965.
- [6] Kim, D. S.(2000), A Study on the Safety of Sea Bed Structures in Coastal Area, Master's thesis, Korea Maritime and Ocean University, pp. 1-7.
- [7] Korean Maritime Safety Tribunal(2018a), Marine accident location information.
- [8] Korean Maritime Safety Tribunal(2018b), Marine accident statistics annual report, Occurrence status of marine accidents