

# 해월(海越)송전선 하부의 선박 통항 안전성 평가에 관한 연구

김현종\* · 홍태호\*\*

\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부, \*\* 큐슈대학교대학원 시스템정보과학부

## A Study on Safety Assessment for Ship Sailing under Electric Power Cable

Hyun-Jong Kim\* · Tae-Ho Hong\*\*

\* Mokpo Maritime University, \*\* Graduate School of Kyushu University

**요 약:** 해월송전선의 해상고에 의하여 선박의 항로가 제한되는 해역에 있어서, 해월송전선에 관하여 현재 알 수 있는 정보는 아주 제한적인데, 주어진 정보를 토대로 송전선철타들 사이의 임의의 위치에서도 해월송전선의 해상고를 알아낼 수 있는 방법을 제시하였다. 그리고 해월송전선의 하부를 선박이 항해할 경우의 안전성을 평가할 수 있는 방법론적 모델을 제시하였다. 실제 표본선박이 항해한 궤적을 조사하여 통계치리를 한 결과, 선박이 안전통항구간을 벗어날 확률은 약 0.00001 정도로 밝혀졌다. 따라서 네덜란드 응용과학연구소의 보고서에 의한 안전기준(항만 내, 방파제 입구 부근에서는 0.0001 이하이면 안전하다고 판단.)보다 10배 정도 더 안전하다고 판단된다.

**핵심용어:** 해월송전선, 송전선철타, 통항안전, 최저해상고, 카티너리곡선, 정규분포, 침범확률

**ABSTRACT:** Many electric power cables span the sea in Korean archipelago. Lots of shipping routes were established between the islands in the same area and ships frequently sail under the cable which cross the seas. Sometimes electric power cables were accidently broken by sailing ships and catastrophic damage of island industry followed thereby. If navigators have detailed knowledge about the height of electric power cable, the ship's sailing condition will be greatly improved. But at the present time, navigators have limited data about the electric power cable. Those are the horizontal distance between pylons, the height of pylons and minimum height of electric power cable. This study introduced the calculating methodology to find out the height of cable at any position between pylons. The ship's tracks were recorded and traffic safety was assessed by statistical method in relation to cable height.

**KEY WORDS:** Electric power cable, Pylon, Sailing safety, Minium height above sea level, Catenary curve, Normal distribution, Probability of trespass

### 1. 서 론

우리나라의 남해와 서해 연안에는 수천 개의 섬들이 존재하고 있으며, 이들 섬과 섬, 섬과 육지 사이에는 수많은 교량과 해월송전선이 존재하고 있다.

또한 이들 섬 사이에는 선박의 항로가 다수 존재하여 교량이나 해월송전선의 아래로 많은 선박이 왕래하고 있다. 선박의 항해에 위험을 초래하는 장애물은 해수의 표면이나 해수면 아래에 존재하는 물체가 대부분이겠으나, 선박

이 교량의 하부나 해월송전선의 아래를 통과할 경우에는 공중에 존재하는 교량이나 해월송전선이 선박의 통항에 장애를 초래하여 가끔 사고를 발생시키기도 한다. 교량의 경우에는 교량상판의 해상고가 수평방향의 위치에 따라서 큰 차이를 보이지 않으며 교량의 해상고는 해도에서 쉽게 확인할 수가 있다. 또한 교량상판의 해상고가 가장 높은 위치에서 해수의 수심이 가장 깊은 경우가 많아 해도를 참조하여 주의하면 항해에 애로를 느끼는 경우는 별로 없다.

그러나 해월송전선에 관하여는 항해자가 입수할 수 있는 자료가 극히 제한되어 있어, 해월송전선의 하부를 항해할 때 불안을 호소하고 사고가 발생하는 경우도 있는데, 이 문제에 대하여는 관련 기관에서도 명확하고 실제

\* 대표저자: 정희원, hyunjong@mmu.ac.kr 061)240-7066

\*\* 정희원, ds1pnp@mmu.ac.kr

적인 해법을 제시하지 못하고 있는 것이 현실이다. 본 연구에서는 해월송전선에 관하여 현재 입수할 수 있는 정보를 토대로 하여 송전선철탑들 사이의 임의의 위치에서 해월송전선의 해상고를 알아낼 수 있는 방법을 제시함으로써, 해월송전선의 하부를 선박이 항해할 경우에 선박의 안전성을 평가할 수 있는 방법론적 모델을 제시하였다. 본 연구에서 표본으로 삼은 항로는 전남 고흥군 도양읍에 위치한 녹동항의 출입항로이고 표본 선박은 녹동항과 제주항 사이를 정기적으로 왕래하는 카페리선인 남해고속카페리7호이다.

## 2. 본 론

### 2.1 항로 여건

선박이 녹동항에 출입하는 항로는 녹동(구)항으로부터 득량만으로 향하는 서쪽 항로와 거금수도로 불리는 동쪽 항로가 있으나, 이들은 여러 가지 여건 상 소형선 밖에 통항할 수가 없다. 본 연구에서 취급하는 항로는 남쪽항로로서 소록도의 동·남해안과 상화도·대고두도·거금도북단의 사이에 존재하는 항로로서, 금당수도에 연결되어 녹동항의 주 출입항로로 쓰인다. 이 항로는 최소 항로폭이 180m, 최소수심 20m이며, 소록화도와 거금도 북단에 최소해상고가 27m 정도인 해월송전선이 설치된 항로로서 해상항로표지(부표) 11기가 설치되어 있고, 거금연도교 가설공사(Ⅱ단계)가 진행되고 있다.

Fig.1에 녹동-제주간 항로의 개략도를 보였다.

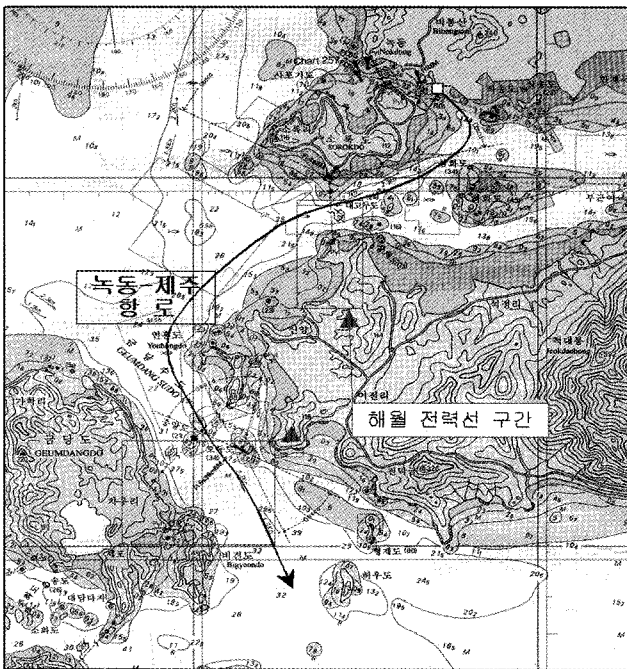


Fig. 1. 녹동-제주간의 항로도.

### 2.2 해월 송전선 현황

녹동항 부근 및 녹동항 출입항로 부근에 설치된 해월송전선은 총 5개소 존재하는데, 녹동(구)항 부근에 설치된 2개소의 해월송전선은 최소해상고가 각각 16m, 29m 정도로서 녹동(구)항의 동향선박에 위해요소가 되지 않는다.

그리고 거금도 남단의 진막금과 형제도, 허우도를 연결하는 해월송전선은 최소해상고가 각각 30m, 40m이며, 송전선이 항로에서 벗어나 있어서 왕래하는 선박의 안전에 문제가 되지 않는다. 그러나 소록화도와 거금도 북단(고흥군 금산면 신촌리) 사이에 설치된 해월송전선, 중앙도와 연흥도 사이에 설치된 해월송전선은 최소해상고가 각각 27m, 25m로서 중앙도↔연흥도 구간의 경우, 중앙도 쪽 송전선 철탑이 높아 항해상 별 문제가 없으나, 소록화도↔거금도 구간의 경우 해월송전선이 현재 운항 중인 남해고속카페리7호(3,719톤 여객정원 866명)의 최대높이에 근접하여 통항에 위협이 된다.

Fig.2에 녹동-제주간 항로 상에 설치된 해월 송전선으로서 거금도-소록화도, 연흥도-중앙도 사이에 설치된 해월송전선의 개념도를 보였다.

본 연구에서는 소록화도↔거금도 구간의 해월송전선만을 연구의 대상으로 하였다.

Table 1. 해월송전선 현황(소록화도, 중앙도)

구 간	구간 길이	최저 해상고	운항가능 항로폭
소록화도↔거금도	1 마일	<b>27m</b>	<b>약 200m</b>
중앙도↔연흥도	0.5마일	<b>25m</b>	<b>약 200m</b>

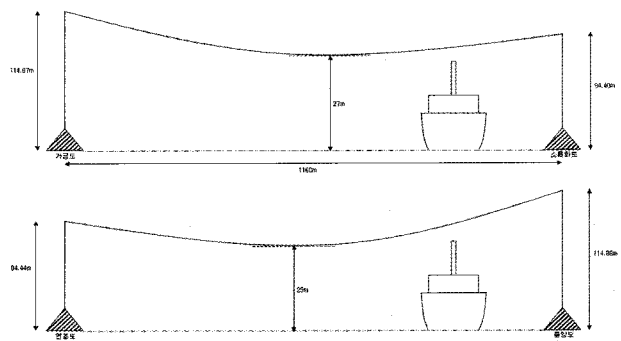


Fig. 2. 녹동-제주간 항로 상에 설치된 해월 송전선의 개념도.

### 2.3 선박의 제원

본 연구에서 연구대상으로 한 선박은 총톤수 3,700톤급 여객선으로서, 차량갑판이 설치되어 총톤수에 비하여

선체의 외형이 비교적 큰 선박이다.

이 선박은 전장 116m, 폭 23m, 최대흘수 5.2m, 최소흘수 4.3m이며, 최대탑재인원은 885명이다. 선박의 기선으로부터 선체 최상부까지의 높이는 29.8m인데, 이는 후부마스트의 높이이다. 그리고 레이더 마스트가 27.4m, 전부마스트가 24.0m의 높이를 가지고 있다. 표본선박의 주요 제원을 Fig.3에 보였다.

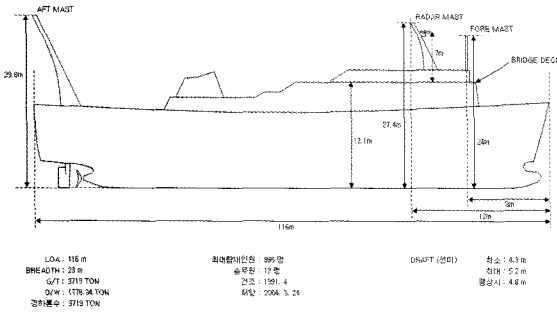


Fig. 3. 남해고속카페리7호의 주요 제원.

2.4 최하층 송전선의 철탑상 해상고 측정

한국전력(주)에서 제공한 도면과 해도에서 확인할 수 있는 송전선에 관한 정보는 송전선철탑 사이의 수평거리, 송전선철탑의 최고높이, 그리고 최하층송전선의 최저해상고 등으로 한정된다. 해월송전선은 대부분 상하방향으로 여러 층의 전선이 배치되어 있는데 항해자에게 영향을 주는 위험요소는 최하층에 배치된 전선의 해상고이다. 그런데 주어진 자료로서는 철탑사이의 임의의 위치에서, 최하층에 배치된 송전선의 해상고를 구할 수가 없다. 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위하여 우선 최하층 송전선이 철탑과 만나는 점의 해상고를 구하였다. 측정도구는 상선에서 구비하고 있는 항해장비만으로 충분하였으며, 송전선철탑의 측정결과를 Table 2에 보였다. 측정결과를 이용하여 송전탑상 최하층 송전선의 높이를 계산한 개념도는 Fig.4와 같으며, 계산식은 식(1)-식(6)과 같다.

Table 2. 육분의(sextant)를 이용한 송전선철탑 측정 결과

측정항목 \ 측정물표	소록화도 송전탑	거금도 송전탑
측정각도	16°-12'.9	6°-17'.6
거리	287m	963.04m
측정시각	8월21일 0910	8월20일 1010

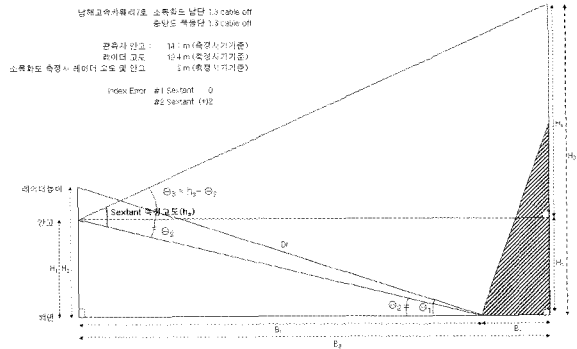


Fig. 4. 송전선철탑상 최하층전선의 높이 계산 개념도

$$B_1 = \sqrt{Dr^2 - H_2^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$B_3 = B_1 + B_2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{H_1}{B_1}\right) \dots\dots\dots(3)$$

$$\theta_3 = h_s - \theta_2 \dots\dots\dots(4)$$

$$H_4 = B_3 \tan \theta_3 \dots\dots\dots(5)$$

$$H_3 = H_1 + H_4 \dots\dots\dots(6)$$

- $D_r$ : 관측 선박 레이더스캐너와 해안선 사이의 거리(레이더로 측정)
- $B_1$ : 관측자와 해안선 사이의 수평거리
- $B_2$ : 해안선과 송전선철탑 사이의 수평거리(해도 또는 도면에서 구함)
- $H_1$ : 관측자의 해상고(관측 선박의 도면에서 구함)
- $H_2$ : 관측 선박 레이더스캐너의 해상고(관측 선박의 도면에서 구함)
- $H_3$ : 송전선철탑상 최하층전선의 해상고
- $h_s$ : 송전선철탑상 최하층전선의 해안선으로부터의 양각(육분의로 측정)

계산 결과 거금도 송전탑상 최하층 전선의 해상고는 114.26m, 소록화도 송전탑상 최하층 전선의 해상고는 94.59m이다. 측정시각의 조석을 고려하여 평균해면으로부터의 높이로 환산하면 거금도 송전탑상 최하층 전선의 해상고는 114.87m, 소록화도 송전탑상 최하층 전선의 해상고는 94.40m이다.

2.5 해월송전선 철탑 사이 임의의 위치에서의 송전선 해상고

두개의 철탑사이에 매달린 해월송전선의 형상은 아래와 같은 쌍곡선함수로 표현되는 catenary곡선을 이룬다.

$$y = \cosh \frac{x}{a} + y_0 - a \dots\dots\dots(7)$$

단,  $\cosh x = (e^x + e^{-x})$ ,  $a = \frac{H}{w}$

여기서,  $x$ ,  $y$ 는 각각 송전선의 수평방향, 수직방향의 좌표를 나타내는 변수이며,  $w$ 는 송전선의 단위길이 당 중량,  $H$ 는 첩탑에서 송전선에 미치는 인장력의 수평분력이다.

그리고  $y_0$ 는 최하층 송전선의 최소해상고이다. 여기서  $w$ 와  $H$ 의 값이 주어지고  $y_0$ 에 대한 수평좌표  $x_0$ 가 주어지면 문제는 간단히 해결되었으나, 실제로는  $y_0$  이외의 수치는 자료로서 주어지지 않는다. 실측된 거금도 송전탑의 높이( $y_1=114.87\text{m}$ )와 소록화도 송전탑의 높이( $y_2=94.40\text{m}$ ) 및 최저점의 높이 ( $y_0=27\text{m}$ )를 각각 식(7)에 대입하면 식(8)~(9)와 같이 되며, (8)~(9)하여 식(10)이 얻어진다.

$$114.87 = a \cosh \frac{x_1}{a} + 27 - a \dots\dots\dots(8)$$

$$94.40 = a \cosh \frac{x_2}{a} + 27 - a \dots\dots\dots(9)$$

$$20.47 = a(\cosh \frac{x_1}{a} - \cosh \frac{x_2}{a}) \dots\dots\dots(10)$$

여기서  $x_1 + x_2 = 1160\text{m}$ 로서 해도나 한국전력 측의 자료에 표시되며,  $x_1$ 은 거금도 송전선첩탑으로부터 송전선의 최저점까지의 수평거리,  $x_2$ 는 소록화도 송전선첩탑으로부터의 송전선의 최저점까지의 수평거리거리를 나타낸다. 거금도 송전선첩탑의 높이와 소록화도 송전선첩탑의 높이는 각각 114.87m, 94.40m 이므로  $x_1 > x_2$ 가 된다.

송전선의 최저점으로부터 첩탑까지의 catenary곡선은 단조증가함수이며, 두 첩탑의 높이는 이미 구해졌으므로,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $a$  중 하나만 구해지면 catenary 곡선은 유일하게 결정된다. 여기서는  $x_1 - x_2$ 를 변수로 하여 수치계산을 반복하면서 curve fitting하는 방법으로 미지수를 결정하였다. 실제계산은  $x_1 - x_2 = 100\text{m}$ ,  $x_1 - x_2 = 80\text{m}$ ,  $x_1 - x_2 = 60\text{m}$ 의 세 가지 경우를 식(8), (9), (10)에 대입하여 계산하였다.

$x_1 - x_2 = 100\text{m}$ 일 경우,  $y_1 - y_2 = 20.47\text{m}$ 에서  $a = 2853$ 이다. 이를 식(8)~(9)에 대입하면  $y_1 = 96.84\text{m}$ ,  $y_2 = 76.37\text{m}$ 가 구해진다.

$x_1 - x_2 = 80\text{m}$ 일 경우,  $y_1 - y_2 = 20.47\text{m}$ 에서  $a = 2291$ 이다. 이를 식(8)~(9)에 대입하면  $y_1 = 111.41\text{m}$ ,  $y_2 = 90.94\text{m}$ 가 구해진다.

$x_1 - x_2 = 60\text{m}$ 일 경우,  $y_1 - y_2 = 20.47\text{m}$ 에서  $a = 1732$ 이다.

이를 식(8)~(9)에 대입하면  $y_1 = 135.53\text{m}$ ,  $y_2 = 115.06\text{m}$ 가 구해진다.

위 결과를 종합하면 Table 3과 같으며,  $x_1 - x_2$ 의 여러 가지 수치에 대하여 실제 측정된 거금도 송전탑높이와의 차이( $114.87 - y_1$ ) 및 소록화도 송전탑높이와의 차이( $94.40 - y_2$ )를 계산하여 그래프로 나타낸 것이 Fig. 5, Fig.6 이다.

Table 3.  $x_1 - x_2$ 를 변수로한 계산결과

$x_1 - x_2$	소록화도첩탑으로부터 송전선의 위치(m)	거금도 송전탑과의 차이 114.87 - $y_1$ (m)	소록화도 송전탑과의 차이 94.40 - $y_2$ (m)
100	530	18.05	18.03
90	535	11.58	11.56
80	540	3.48	3.46
70	545	-6.88	-6.90
60	550	-20.64	-20.66

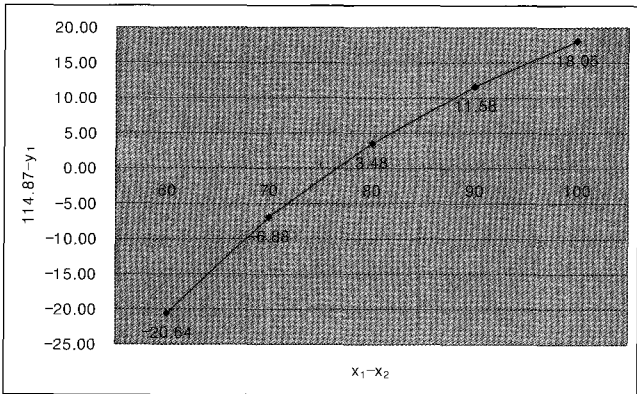


Fig. 5. 거금도 송전탑높이와의 차이 114.87 -  $y_1$ (m).

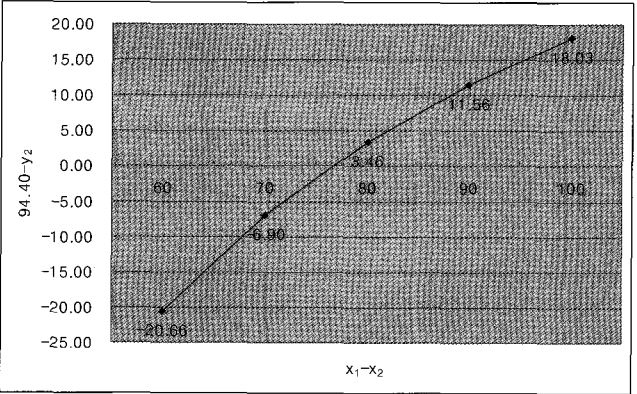


Fig. 6. 소록화도 송전탑높이와의 차이 94.40 -  $y_2$ (m).

따라서 최저점의 위치는  $x_1 - x_2 = 76.36\text{m}$ (소록화도송전탑에서 541.82m, 거금도송전탑에서 618.18m)에 있는 것을 알 수 있으며, 이것을 식(10)에 대입하여  $a = 2189$ 를 구하였다. 이를 식(8)-(9)에 대입하면  $y_1 = 114.87\text{m}$ ,  $y_2 = 94.40\text{m}$ 가 구해지며 측정된 송전선 철탑의 실제 높이와 일치한다. 이와 같이 하여 구해진  $a$ ,  $x_1$ ,  $x_2$  값을 사용하여 두 철탑사이의 수평거리에 대한 송전선의 평균해면으로부터의 해상고를 구하여 도시하면 Fig. 7과 같이 된다.

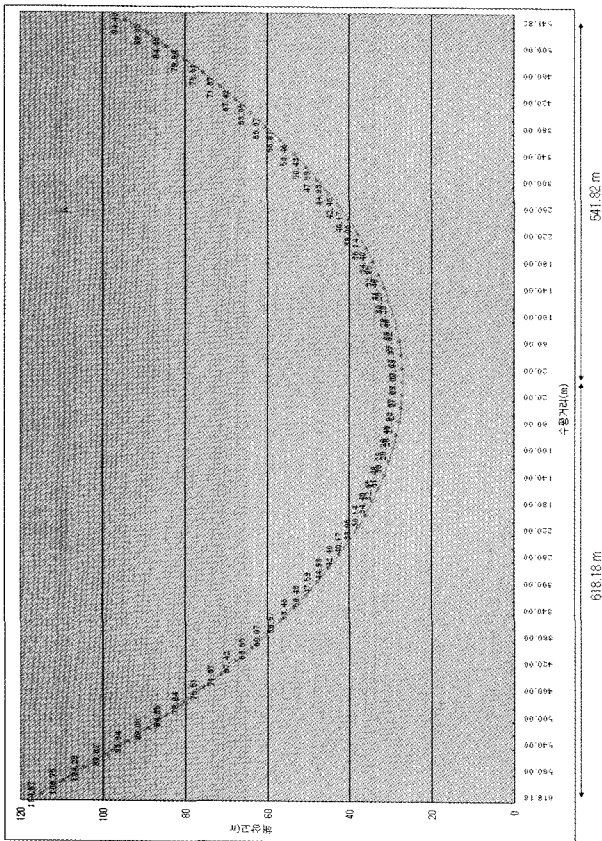


Fig. 7. 두 철탑 사이의 수평좌표에 따른 송전선의 해상고.

2.6 선박의 통항 안전성 평가

1) 선박의 통항 안전상 필요한 송전선의 최소해상고 및 통항안전구간

선박의 통항 안전을 위하여 요구되는 해월송전선의 평균해면상 최소해상고를 구하기 위해서는 다음의 세 가지 요소를 고려하여야 한다. 즉,

- ① 표본선박(남해고속카훼리7호)의 최소선미흘수 : 4.3m → Air Draught : 25.5m
- ② 조석표상의 최대조고 : 4.5m → 평균해면상 최대조고 : 2.41m

③ 고압송전선의 안전상 요구되는 최소이격거리(한국전력 요구사항) : 3m

따라서 표본 선박이 안전하게 해당 해월송전선 아래를 통과하려면 평균해면으로부터 해월송전선의 해상고가 30.91m(① + ② + ③ = 30.91m)이상 되는 구간이어야만 된다.

이는 소록화도 송전선철탑으로부터 수평거리가 약 410m 이내인 구간을 통과해야만 함을 의미한다. 그리고 실제 연구 대상으로 삼은 소록화도 해안 가까이에선 어망 등 항해 위험요소가 존재하여 해안으로부터 일정거리 이상을 떨어져서 항해를 하여야 되므로 실제 안전통항구간은 소록화도 송전선철탑으로부터 수평거리가 약 180~410m인 구간이다.

2) 확률계산을 이용한 실제 통항선박의 안전성 평가

선박이 항해하는 도중에 항로의 경계, 항만시설, 장애물, 항행보조시설, 타 선박 등에 어느 정도 접근하는가를 분석하는 선박의 근접도평가는 다음에 기술하는 바와 같이 실시한다. 먼저 근접시 위험이 예상되는 위험기준점 또는 위험기준선을 설정한다. 그리고 여러 번의 시뮬레이션 조종을 실시하여 선체와 이 위험기준 또는 위험기준선과의 최근접거리를 측정한다. 접이안 안전성 평가의 경우, 선회장 외곽선이나 접안하고자 하는 부두에 인접하는 구조물이 위험기준이 될 수 있으며, 항로의 출입안전성을 평가할 때에는 항로외곽선 또는 특정 부표, 방파제 등이 위험기준선 또는 위험기준점이 된다. 구조물에의 근접도평가는 구조물의 존재에 의해 선박의 거동이 간섭을 받는 물리적인 이격거리와 구조물의 존재에 의하여 선박조종자가 심리적으로 위험을 느끼기 시작하는 심리적인 이격거리를 고려하여 이루어진다. 그 다음에, 이들 최근접거리에 대한 항적의 확률분포를 구하여 평가 대상 지점을 벗어날 확률을 구한다. 여기서 최근접거리는 선박이 어떤 위험기준점 또는 위험기준선을 지날 때 선체와 그 기준점 또는 기준선과 가장 가까운 거리를 말한다. 한편 선박 조종에 따른 최근접거리의 확률분포를 표준정규분포라고 간주하고, 다음 식을 이용하여 표준정규분포함수의 확률변수에서 기준에 해당하는 값  $\xi$  를 식 (11)로 구한다. 여기에서,  $\mu$  는 선체와 위험기준과의 최근접거리의 평균,  $\sigma$  는 선체와 위험기준과의 최근접거리의 표준편차를 말한다.

$$\xi = \frac{\mu}{\sigma} \dots\dots\dots(11)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \dots\dots\dots(12)$$

$\xi$  값을 구하면 위험기준을 침범할 확률은 다음 식(13)으로 구할 수 있다.

$$1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

.....(13)

LNG선박에 대한 네덜란드 응용과학연구소의 보고서에 따르면, 이 침범확률이 항로경계에서는 0.001, 항만 내 또는 방파제 입구에서는 0.0001보다 작을 때 안전하다고 평가한다. 본 연구에서는 선박조종시물레이션을 실시하는 대신에, 실제 현지에서 운항중인 선박으로 하여금 송전선하부를 통과할 때의 항적을 기록하게 하고 그 값을 통계적으로 처리하였다. 표본선박(남해고속카훼리7호)이 매일 녹동항을 출항하여 해당 구간을 통과할 때에 1회, 녹동항에 입항하기 전 해당 구간을 통과할 때에 1회씩으로 하여 하루에 2회씩 측정하였으며, 도합 43회를 측정하였다. 그 결과 소록화도로부터의 최소이안거리는 0.110마일, 최대이안거리는 0.165마일, 평균이안거리는 0.135마일(250m)이었다.

소록화도철탑이 해안으로부터 육지 쪽으로 50m 정도 떨어진 위치에 설치되어 있으므로, 소록화도철탑으로부터 항적까지의 평균 수평거리는 300m이다.

위에서 기술한 바와 같이 표본선박의 통항안전구간이 소록화도 철탑으로부터 180m~410m 떨어진 위치이므로, 표본선박의 평균항적은 통항안전구간의 중앙에서 거금도 방향으로 5m 정도 치우친 위치에 있다. 따라서 표본선박이 거금도 쪽 경계선에 침범할 확률을 구하기 위하여 거금도 쪽 경계선으로부터 평균항적까지의 거리를 구한 결과 110m로 나타났다. 그리고 표준편차는 0.0136마일(25m)로 구해지므로  $\xi$  는 식(11)에 의하여 4.4로 구해진다. 이것을 식(13)에 대입하면 선박이 거금도 쪽의 안전통항구간을 벗어날 확률이 구해지는데, 표준정규분포함수에 대한 실제의 적분은 사다리꼴분할법에 의한 근사적분으로 구한다. 계산 결과 경계선에의 침범확률은 약 0.00001 정도로 밝혀졌다. 따라서 네덜란드 응용과학연구소의 보고서에 의한 안전기준(항만 내, 방파제 입구 부근에서는 0.0001 이하이면 안전하다고 판단.)보다 10배 정도 더 안전하다고 판단된다.

### 3. 결 론

우리나라의 남해와 서해 연안에는 많은 섬들이 존재하며, 이들 섬에 전력을 공급하기 위하여 수많은 해월송전선이 존재한다. 또한 이들 섬 사이에는 선박의 항로가 다수 존재하여 해월송전선의 아래로 많은 선박이 왕래하고 있으며, 통과 선박의 높이가 송전선의 해상고보다 높아서 가끔 송전선 절단 사고가 발생하여, 도서지방의 생활에 큰 불편을 초래하고 양식업 등에 막대한 피해를 초래하기도 한다. 그런데 항해자들이 입수할 수 있는 송전선에 관

한 정보는 송전선철탑 사이의 수평거리, 송전선철탑의 최고 높이, 그리고 해월송전선의 최저해상고 등으로 한정되며, 이 자료로는 철탑사이의 임의의 위치에 대한 최하층 송전선의 해상고를 구할 수가 없다. 본 연구에서는 통상 상선에서 구비하고 있는 항해장비만을 사용하여 철탑사이의 임의의 위치에 대한 송전선의 해상고를 구할 수 있는 방법론적 모델을 제시하여, 항해자가 손쉽게 해월송전선의 높이를 알 수 있게 하였다. 그리고 실제 운항중인 표본선박의 항적을 조사하여 통계적 처리를 함으로서 표본선박의 운항안전성을 평가하였다. 계산 결과 표본선박이 경계선에 침범할 확률은 약 0.00001 정도로 밝혀졌다. 따라서 네덜란드 응용과학연구소의 보고서에 의한 안전기준 보다 약 10배 정도 더 안전하다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 류근관(2003), 통계학, 법문사, pp.75-95
- [2] 양찬수·공인영·이창민(2004), 목포 연육교 건설에 따른 선박 통항 안전성 평가, 한국항해항만학회지, 제28권, 제8호, pp.735-743.
- [3] 윤명오·김현중·김중수·성유창(2003), 선박의 교량하 통항 안전성에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제9권, 제2호, pp.31-37.
- [4] George B. Thomas and Ross L. Finney(1985), 미분적분학과 해석기하학, 청문각, pp. 482, 483, 495.
- [5] Robert V. Hogg and Allen T. Craig(2000), 수리통계학개론, 경문사, pp.158-165.
- [6] Th. Elzinga and M.P. Bogaerts(1984), "A Simulator Study for LNG Transport by Gas Carriers to Eemshaven, the Netherlands", MARSIM 84, p. 254.

원고접수일 : 2006 년 11월 15일

원고채택일 : 2007 년 3월 26일