

영상처리기법을 활용한 연도교와 선박간의 충돌사고 위험성 평가에 관한 연구

장다운**

* 목포해양대학교 해상운송시스템학과 박사과정

Study on the Risk Assessment of Collision Accidents Between Island Bridge and Ship Using an Image Processing Method

Da-Un Jang**

* PhD Candidate, Graduate School of Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 신안군 해역의 섬을 통한 관광사업이 활발해지면서 도서 간을 연결하는 해상교량은 현재까지 총 13개가 완공되었다. 그러나 통항로에 설치된 해상교량은 선박통항에 있어 위험성을 주며, 특히 섬과 섬을 연결하는 연도교의 경우 수로의 폭이 매우 좁아 그 위험도는 더욱 높다. 본 연구는 신안군 해역의 연도교에 대한 해상교통조사를 토대로 교각과 선박의 충돌위험도를 항만수로의 위험도 평가 모델인 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Program)을 활용하여 평가하였다. 그 결과 신안1교가 충돌확률이 가장 높은 것으로 분석되었으며, 통항선박의 대부분은 연안 여객선으로 나타났다. 또한, 신안1교는 대상해역의 교각 중 가장 충돌사고가 많이 발생한 곳으로 본 연구에서는 그 원인을 분석하고자 하였다. 신안1교 해역환경의 위성사진을 영상처리기법으로 분석한 결과 해도에는 볼 수 없는 장애물이 교각 근처에 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 장애물을 피해 교량의 통항유도방식인 양방향 통항과 달리 한 방향으로 통항이 집중되는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 영상처리기법을 활용한 위험원인 분석방법은 향후 연도교의 위험요인 분석을 하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 해상교량, 연도교, 교각 충돌 사고, 위험성 평가, 통항량, 영상처리기법

Abstract : Tourism projects through islands in the waters of Sinan-gun became active, and as a result, a total of 13 marine bridges connecting islands were completed. However, the marine bridge constructed in the fairway is dangerous for traffic. Particularly, in the case of the marine bridge connecting two islands, the width of the fairway is extremely narrow, therefore the risk is higher. In this study, we evaluated the risk of collision between marine bridge piers and ships using the IALA Waterway Risk Assessment Program (IWRAP), a risk assessment model for port waterways, based on a maritime traffic survey on the coastal bridge in Sinan-gun. The results, indicated that No.1 Sinan bridge had the highest probability of collision and most of the transit ships were coastal passenger ships. In addition, No.1 Sinan bridge was the place where the most collision accidents occurred among the marine bridge piers in the target sea, and the cause this study was analyzed. An analysis of the satellite images of the sea environment of No.1 Sinan bridge using an image processing method, confirmed that obstacles that could not be seen in the chart existed nearby the bridge. As a result, traffic was observed to be concentrated in one direction, unlike two-way traffic, which is a method of inducing traffic of bridges to avoid obstacles. The risk cause analysis method using the image processing technique of this study is expected to be used as a basic research method for analyzing the risk factors of island bridge in the future.

Key Words : Marine bridge, Island bridge, Bridge collision accident, Risk assessment, Traffic volume, Image processing method

1. 서 론

국내 서남단에 위치한 신안군의 해역은 전국의 26%의 섬이

존재하는 국내 최대의 다도해 해역으로 약 1025개의 섬으로 이루어져 있다. 신안군은 이러한 다도해의 특성을 이용하고자 2013년부터 종합발전계획을 수립하고 섬을 통한 서남해권 도서 중심의 관광사업을 추진하고 있다(MOLIT, 2013). 이중 도서 간을 연결하는 해상교량 설치 사업은 1989년 안좌

† dujang@mmu.ac.kr, 061-240-7452

면 마진리에서 팔금면 장촌리를 잇는 신안1교 완공을 시작으로 현재까지 13개의 해상교량이 완공되었다. 또한 현재 교량 사업이 추진중인 곳은 3곳이며, 향후 9개의 해상교량을 더 추진할 계획에 있다(Shinan Office, 2022). 선박의 통행로에 해상교량이 설치되면 선박통행의 위험성은 높아지게 된다(Park et al., 2004). 특히, 섬과 육지가 아닌 섬과 섬 사이를 연결하는 연교도의 경우에는 지형적인 영향 때문에 주 교각 폭이 넓지 않아 충분한 항로 폭을 확보할 수 없는 경우도 있다. 따라서, 국내에서는 해상교량 건설 시 해상교통 안전진단을 통하여 선박의 통행 안전성을 확보하도록 하고 있으며, 선박의 통행을 위한 항로 폭에 대해서는 항만 및 어항 설계기준(MOF, 2014)에 따라 검토되고 있다.

또한, 해상교량과 선박의 위험도 평가와 관련된 연구 중 Park et al.(2018)은 관련 연구에서 국내의 주요 해상교량 하부 직선항로 길이를 조사하고 적정한 직선길이의 기준을 제시하기 위하여 ES Model을 통해 교량하부의 직선길이 및 수로의 굴곡도 등 다양한 조건에서 시뮬레이션 하였으며, Lee et al.(2016)은 항만에서 제시하는 교량 통행 시 제한속력에 대한 안전 통행 소력을 검증하기 위해 선박이 교량구조물에 충돌하는 위험을 방지하기 위해 설치된 선박충돌방지공이 건널 수 있는 최대의 선박 충돌 에너지에 대한 비교 분석하였으며, 선박의 재화중량톤수 및 흘수에 따른 선박의 통행 안전 속력을 제시하였다. Lee et al.(2009)는 해상교량의 적정 건설 위치 및 규모에 대한 기준을 항로의 설계기준, 교량 설계 현황, 해양사고 조사, 그리고 해상이용자 설문조사 등의 분석을 통해 해상이용자 관점에서 제시하고자 하였다. Kim and Kwon(2017)은 해상교통안전진단에서 명시하는 장애물과의 충돌확률(1.0×10^{-4})기준에 대해 목포대교와 인천대교를 통행한 선박들의 AIS 항적을 기반으로 선박의 크기별 교각과의 충돌확률에 대해 제시하였다.

그러나 이러한 선박과 교량과 충돌에 관한 연구는 섬과 육지를 연결하는 주 교각폭이 넓은 수역에서 이루어졌으며, 지역적으로 존재하는 섬과 섬사이를 연결하는 연교도에 대한 위험도에 평가에 대한 연구는 없는 실정이다. 특히, 2010년부터 2020년까지 10년간 전국에서 발생한 22건의 교각 접촉사고 중에서 서남해지역에서 발생한 사고는 총 10건으로 전체의 45%를 차지하고 있다. 이 중 섬과 섬사이를 연결하는 연교도의 교량과 선박이 접촉하는 사고는 총 6건이 발생하였다(KMST, 2020).

따라서 본 연구에서는 연교도와 선박과의 접촉사고가 가장 많이 발생한 서남해 해역 중 신안 해역에 건설된 연교도에 대해 선박과 교각간의 충돌확률을 계산하고, 위험도가 가장 높게 나온 교량에 대해 그 원인을 분석하고 개선방안을 제안하는데 연구의 목적이 있다.

이를 위하여 신안군 다도해 해역에 건설된 교량을 대상으

로 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Programme, 이하 IWARP)(IALA, 2010)을 활용하여 교각과의 충돌확률을 계산하였다. 또한, 충돌 확률이 가장 높게 나온 연교도를 대상으로 교량 주변 해역 환경 분석을 통해 알아보기 위해 전자해도 및 위성사진을 영상처리기법을 활용하여 비교하고 위험 원인을 분석하였다. 또한, 분석된 결과를 토대로 연교도 통행안전을 위한 개선방안을 본 연구를 통해 제안하고자 한다.

2. 해상교량 충돌 위험도 평가

2.1 대상해역의 교각 현황

본 연구를 위한 대상해역은 Fig. 1과 같은 신안군 다도해 해역으로 앞서 설명한 바와 같이 현재까지 13개의 해상교량이 완공되었으며, 각 교량의 세부사항은 Table 1과 같다.

Table 1. Particular of marine bridge at Shinan archipelago

No.	Name of Bridge	Length	Max.Span length	Span
1	No.1 Shinan	540.0m	60.0m	11
2	Eunam	675.0m	105.0m	7
3	Seonammun	812.0m	128.0m	12
4	Jido	660.0m	125.0m	6
5	Jungang	500.0m	140.0m	5
6	Aphae	1,840m	165.0m	21
7	Jeungdo	900.0m	180.0m	4
8	Kim Dae-jung	640.0m	155.0m	13
9	Samdo	1389.0m	290.0m	3
10	Jara	2003.0m	255.0m	4
11	Angel	10,800m	510.0m	6
12	No.1 Imja	4,990m	410.0m	4
	No.2 Imja		310.0m	13
13	Chupo	1,820m	55.0m	16



Fig. 1. Cumulative track of Shinan archipelago waters.

2.2 대상해역의 교각 충돌사고 현황

본 연구의 대상해역인 신안군 도서간을 연결하는 해상교량에서 일어난 교각 충돌사고 현황 자료를 수집하기 위해 중앙해양안전심판원의 해양사고 통계 및 재결서를 이용하였다. 먼저, 국내 교각 충돌사고는 최근 10년간 총 22건이 발생하였다. 지역적으로는 부산 및 남해 지역에서는 8건, 인천 및 서해 지역에서는 14건이 발생한 것으로 나타났다.

Table 2는 본 연구의 대상해역인 서해 지역 중 신안군 해역에 건설된 교량과 선박간의 충돌사고를 조사한 결과이다. 충돌사고가 가장 많이 발생한 교량은 천사대교와 신안1교였으며, 충돌 선종으로는 여객선의 충돌이 가장 많은 것으로 조사되었다.

Table 2. Accidents status of marine bridge at Shinan archipelago

Name of Bridge	Ship type	Position
No.1 Shinan	Passenger ship	N34°46'06" E126°07'45"
Jungang Bridge	Tug/Barge	N34°47'55" E126°07'12"
No.1 Shinan	Passenger ship	N34°46'04" E126°07'48"
Angel Bridge	Tanker	N34°51'36" E126°10'28"
Jido Bridge	Passenger ship	N35°05'00" E126°09'00"
Angel Bridge	Product Ship	N34°51'03" E126°10'27"
Aphae Bridge	Fishing	N34°49'51" E126°22'39"

2.3 대상해역의 교통흐름 분석

신안군 해역의 연륙도교 충돌사고 위험성을 평가하기 위해 대상해역의 7일간의 교통흐름을 분석하였다.

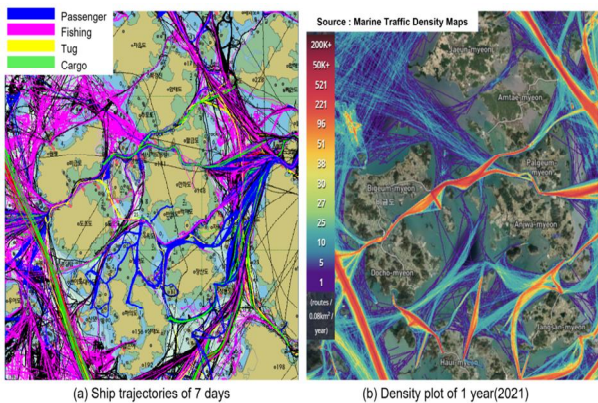


Fig. 2. Cumulative track of Shinan archipelago waters.

Fig. 2는 대상해역의 교통흐름 분석을 위한 선박 항적도를 나타내는 그림이다. 먼저 교량을 통과한 선박 통항량을 계산하기 위한 Gate line을 그림(a)에서와 같이 선박의 항적이 있는 교량에 설정한 후 7일간의 AIS 항적을 분석하였다.

대상해역의 교통조사 결과, 선박 통항량은 교량의 규모가 일반적인 연도교에 비해 큰 천사대교를 제외하고 통항량이 적은 교량은 하루 평균 1척, 많은 교량은 하루 평균 12척이 교량을 통항하는 것으로 조사되었다. 또한 연도교를 통과하는 선박의 대부분은 섬과 섬을 다니는 고속여객선, 차도선 및 어선으로 분석되었다.

또한, 그림(b)는 Marine Traffic에서 제공하는 Density map으로 2021년 대상해역 내 선박의 전체 통항 밀도를 보여준다. 그림에서 보듯이 섬과 섬 사이를 선박이 통항한 항적이 뚜렷이 보이며, 대상해역의 연간 항적 밀도는 연안 여객선의 항로와 비슷하였음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 항적분석을 통해 얻은 결과를 토대로 대상해역 내 여객선이 주로 통과하는 교량을 위험도 평가 교량을 선정하였다.

대상해역의 교량을 통과하는 여객선의 항로의 세부사항은 다음과 같다. 목포항에서 흥도로 가는 여객선은 ‘중앙대교’와 ‘서남문대교’를 목포항에서 가산으로 향하는 여객선은 ‘중앙대교’ 또는 ‘신안1교’를 지나며, 목포항에서 우이도로 향하는 여객선은 ‘신안1교’와 ‘서남문대교’를 지난다. 또한, 도초에서 목포항으로 향하는 여객선은 ‘자라대교’를 지나며, 송공에서 흑산으로 향하는 여객선은 ‘중앙대교’와 ‘서남문대교’를 지난다. 따라서 본 연구의 위험도 평가를 위한 대상교량은 총 4곳으로 신안1교, 자라대교, 중앙대교, 서남문대교로 선정하였으며, Table 3은 본 연구의 대상 연도교에 대한 7일간의 여객선 통항량 분석 결과이다.

Table 3. Analysis of passenger ship traffic

Name of Bridge	Direction	Number of Ship	Ave.speed
Seonammun	E	6	12.2 kts
	W	7	12.5 kts
Jungang	NE	109	10.2 kts
	SW	110	11.3 kts
No.1 Shinan	NW	55	18.5 kts
	SE	63	17.2 kts
Jara	N	5	8.0 kts
	S	6	9.8 kts

3. IWRAP을 통한 위험도 평가

3.1 IWRAP 모델

IWRAP은 해상 위험도 평가를 위한 모델로 항만의 통항량, 통항 분포, 지형 장애물 등을 기반으로 수로의 위험도(선박의 충돌 및 좌초확률)를 분석하는 정량적인 평가모델이다(IALA, 2010). IWRAP의 Input data에는 선박교통량 및 통항로 항적 분포 등의 교통조건과 수심, 항로폭 등 항로조건이 있으며, Output data는 대상해역의 연간 충돌 발생 확률 및 좌초 발생 확률이 있다. 본 연구에서는 IWRAP을 통해 신안군 해역에 설치된 교각과 선박의 위험도를 계산하고자 하였다. 이를 위해 교각 주위의 우물통을 장애물로 간주하고, 통항선박이 장애물에 좌초될 확률을 계산하였다. Fig. 3은 IWRAP 모델의 좌초 확률 산출에 대한 개념을 표현하며, 식(1)은 장애물에 대한 좌초 확률 산출 계산식을 나타낸다(Omar, 2013).

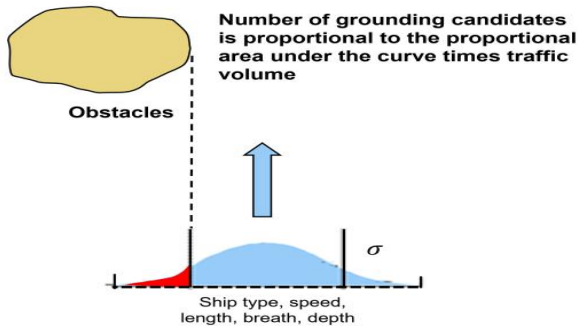


Fig. 3. Method of calculating the number of grounding candidates.

$$X_{Gnd} = N_{Gnd} \cdot P_c \quad (1)$$

여기에서, N_{Gnd} : Number of Grounding Candidates

P_c : Causation Probability

X_{Gnd} : Number of Annual Grounding

3.2 IWRAP 모델 평가 결과

교각의 우물통이 설치된 위치를 선박이 좌초될 수 있는 장애물로 간주하고, 교통조사자료를 기반으로 장애물과의 좌초사고 발생빈도를 추정함으로써 교각과의 연간 충돌사고 발생 빈도를 계산하였다. 교각과의 충돌사고 발생빈도계산을 위한 Input data를 입력하는 과정은 Fig. 4와 같다. 먼저, 교통조사를 통해 수집한 항적 데이터를 기반으로 각 교량 선박의 통항 방향에 따라 총 5개의 LEG를 지정하였다. 또한 선박 통항로의 각 방향에 대한 선박의 항적분포를 입력하였으며, 선박 항적분포는 교각사이를 정규분포의 형태로 통항하도록 설정하였다.

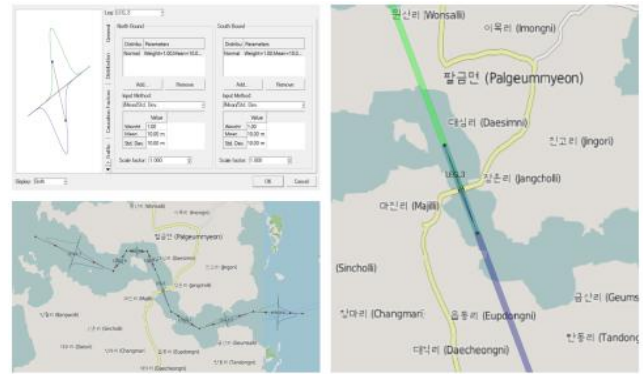


Fig. 4. Process of input data for risk assessment on IWRAP.

IWRAP을 통한 위험도 평가 결과는 Table 4 및 Fig. 5와 같다. 대부분의 교량에서 통항량 많지 않아 충돌확률이 높지 않았으나, 그 중 위험도가 가장 높은 교량은 신안 1교로 나왔으며, 그 다음으로 높은 교량은 중앙대교로 분석되었다. 신안 1교는 IWRAP을 통한 교각과 선박의 충돌확률이 가장 높았으며, 또한 위험도 평가 대상 교량 중 선박과의 교각사고 발생건수가 가장 많았다. 따라서 본 연구에서 신안1교의 위험도가 높은 원인을 주변 해역환경을 통해 분석하고자 하였다.

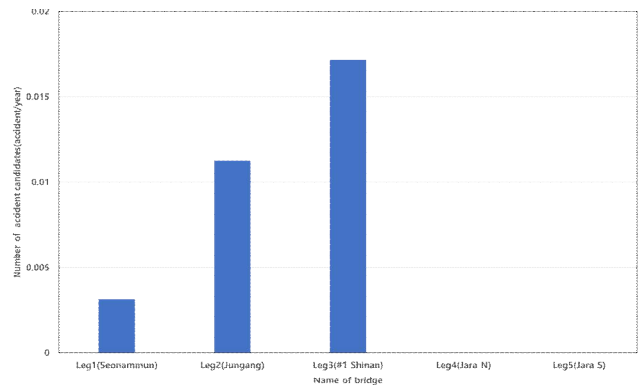


Fig. 5. Result of calculating the number of collision.

Table 4. Details of IWRAP calculation result

Leg	Name of Bridge	Accident candidates
1	Seonammun	0.003
2	Jungang	0.011
3	No.1 Shinan	0.018
4	Jara Bridge(North)	5.58×10^{-6}
	Jara Bridge(South)	6.93×10^{-9}

4. 영상처리기법을 통한 위험원인분석

4.1 교량의 선박통행 형태분석

신안 1교의 각 교각 사이의 거리는 제4번과 제5번 교각이 60m인 것을 제외하고는 모든 교각간의 거리는 45미터이다. 또한, 교각 하부의 우물통의 직경은 제4번과 제5번 교각의 우물통의 직경은 7m로 실제 가항폭은 약 53m이며, 그 외 나머지 교각의 우물통의 직경은 6m로 실제 가항폭은 약 39m인 것으로 조사되었다. 또한, 교통조사 결과 통행하는 선박들은 대부분 여객선으로 25 kt 이상의 속력으로 통행하는 고속페리를 제외하면 통행 시 선박의 평균속력은 약 12.5 kt인 것으로 분석되었으며, 교량 통행 선박 중 가장 큰 선박의 전장은 61m이고, 폭은 14m인 차도선이었다.

[항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준]에 따르면 선박이 통행하는 구역에 설치된 교량에는 교량 아래를 통행하는 선박의 안전 확보와 교량 시설물 보호를 위하여 교량의 상판 및 교각 등의 교량 시설물에 교량표지를 설치하여야 한다고 명시하고 있다. 신안1교는 이 기준에 따라 선박의 안전 통행을 목적으로 흑산도에서 목포 방향(남동방향)의 제 6번과 제 7번 교각 다리 상층부 그리고 목포에서 흑산도 방향(북서방향)의 제 4번과 제5번 교각 다리 상층부에는 각각 교량등이 설치되어 있다. 즉, Fig. 6과 같이 교량을 통과하는 선박들의 일방통행을 위하여 교량등을 양 방향으로 설치하는 대신 한 쪽 방향에만 설치하여 통행량이 분산되게 유도하였다.

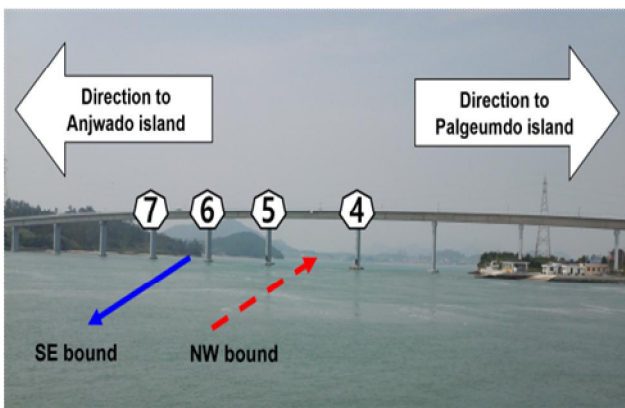


Fig. 6. View of No.1 Shinan island bridge

그러나, Fig. 7에서 보여지듯이 신안 1교를 통행한 연안 여객선들의 항적분포에서는 교량 등의 설치목적과 달리 대부분의 선박이 교각통행방향과 상관없이 가항폭이 가장 넓은 제 4번 교각과 5번 교각 사이로 통행하는 형태로 분석되었다.

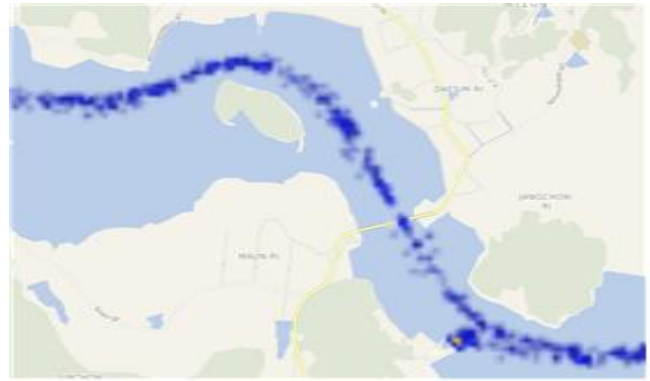


Fig. 7. Traffic density in waters nearby No.1 Shinan island bridge.

4.2 영상처리기법

1) 영상처리기법의 개요

영상 처리(Image processing) 또는 화상 처리는 넓게는 입출력이 영상인 모든 형태의 정보 처리를 가리키며, 사진이나 동영상을 처리하는 것이 대표적인 예이다. 대부분의 영상 처리 기법은 사물의 형상을 2차원 신호로 보고 여기에 표준적인 신호 처리 기법을 적용하는 방법을 쓴다. 이미지는 Fig. 8과 같이 2차원 함수인 $f(x,y)$ 로 정의된다. 디지털 이미지는 화소(Pixel)라는 단위로 세밀하게 2차원 형태로 표현된다. 여기서 화소는 2차원적 표현으로 x 와 y 의 값으로 위치를 나타내는 공간 좌표(Spatial Coordinates)를 나타낸다. 각 픽셀은 단색의 직사각형으로 전체 이미지의 크기를 나타낼 때는 [세로픽셀 x 가로픽셀]의 형태로 표현한다. 또한, 해당좌표 (x,y) 의 크기인 $f(x,y)$ 는 해당 화소의 밝기(Intensity)를 의미한다.

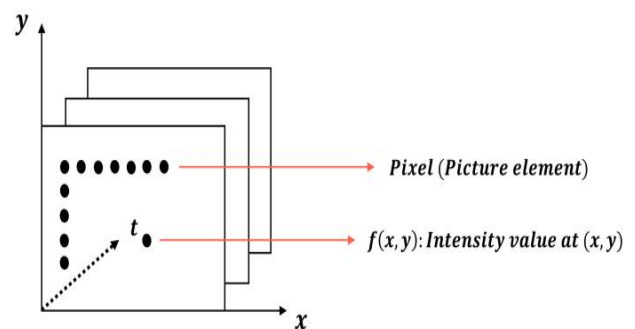


Fig. 8. View of No.1 Shinan island bridge

본 연구에서는 영상처리기법 중 이미지 임계처리(Thresholding)를 통한 이미지 이진화 기법(Image binary method)과 형태학적 변환 기법(Morphology method) 활용하였다.

2) 이미지 이진화

이미지의 임계치리(Thresholding)는 이미지 행렬에서 하나의 픽셀값을 사용자가 지정한 기준값을 사용하여 이진화(Binarization)하는 가장 단순한 필터다. 이진화는 Fig. 9와 같이 어떤 주어진 임계값(Threshold)보다 밝은 픽셀들은 모두 흰색으로, 그렇지 않은 픽셀들은 모두 검은색으로 바꾸는 것을 의미한다. 이미지의 이진화를 위해 어떤 임계값을 적용해야 하는지 알 수 있는 방법 중 가장 대표적인 알고리즘은 Otsu 알고리즘(Otsu, 1979)이 있다. Otsu의 이진화 방법은 임계값 T 를 기준으로 영상 픽셀들을 두 클래스로 분류했을 때 두 클래스간의 Intra-class variance를 최소화하거나 또는 Inter-class variance를 최대화하는 T 를 찾는 이진화 방법이다. 입력 영상에서 임계값 T 보다 어두운 픽셀들의 비율을 α , 밝기 평균을 μ_1 , 분산을 σ_1^2 , T 보다 밝은 픽셀들의 비율을 β , 밝기 평균을 μ_2 , 분산을 σ_2^2 라 했을 때 ($\alpha + \beta = 1$)이고, Intra-class 분산과 Inter-class 분산은 각각 식(2) 및 식(3)과 같이 계산된다.

$$\text{Intra-class variance} = \alpha\sigma_1^2 + \beta\sigma_2^2 \quad (2)$$

$$\text{Inter-class variance} = \alpha\beta(\mu_1 - \mu_2)^2 \quad (3)$$

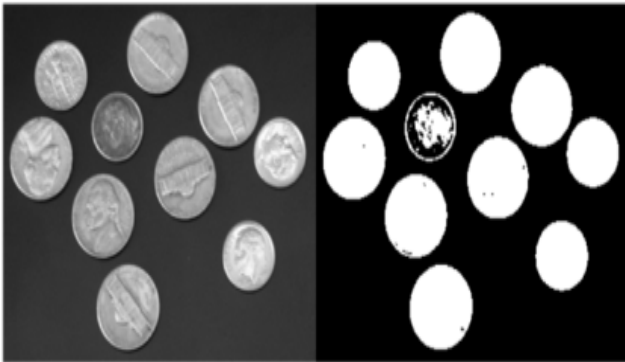


Fig. 9. Image binary method.

3) 형태학적 변환(Morphology)

이미지의 형태학적 변환(morphological transformation)은 이미지 필터링을 사용하여 영역을 변화시키는 방법이다. Morphology algorithm(Srinivasan, 1998)은 영상분야에서 사용하는 기법으로 검은색과 흰색으로 구성된 binary image에서 주어진 형태에 따라 노이즈 제거, 구멍 채우기, 끊어진 선 이어 붙이기 등에 활용하는 기법이다. Morphology algorithms 중 가장 대표적인 기법은 침식연산(Erosion), 팽창연산(Dilation), 열기연산(Opening), 닫기연산(Closing)이 있다. 먼저, 이진침식

(Erosion)은 이미지를 깎아 내는 연산을 말한다. 즉, 형태가 이미지에 맞는지, 맞지 않는지를 결론 내기 위해 주어진 이미지를 탐색하거나 작용하는데 사용되는 요소인 Structuring element kernel 집합 B 에 의한 픽셀 집합 A 의 이진침식을 위한 방법은 식(4)와 같은 집합 연산으로 정의된다.

$$A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (4)$$

이진팽창(Dilation)은 이진침식과 반대로 물체의 주변을 확장시키는 연산이다. Structuring element kernel 집합 B 에 의한 픽셀 집합 A 의 이진팽창을 위한 방법은 식(5)와 같은 집합 연산으로 정의된다.

$$A \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (5)$$

열기연산(Opening)은 밝은 영역에 나타난 미세한 조각을 제거할 수 있도록 하는 연산이다. 먼저 침식 연산을 수행하여 밝은 영역을 전체적으로 축소한 다음 팽창 연산을 뒤이어 수행하여 전체적인 넓이를 원래대로 복구한다. 또한, 닫기연산(Closing)은 밝은 영역에 생긴 미세한 틈을 메우는 역할을 한다. 먼저 팽창 연산을 수행하여 밝은 영역을 넓히고 다시 침식 연산을 수행한다. 틈새에 해당하는 영역은 팽창 연산을 통해 메워진다. 열림과 닫힘 연산을 구현하는 방법은 위에서 정의한 침식과 팽창연산을 순차적으로 수행하면 된다. Fig. 10은 Fig. 9의 Binary image에 대하여 순서대로 (a) 침식, (b)팽창, (c)열기, (d)닫기 연산을 수행한 결과이다.

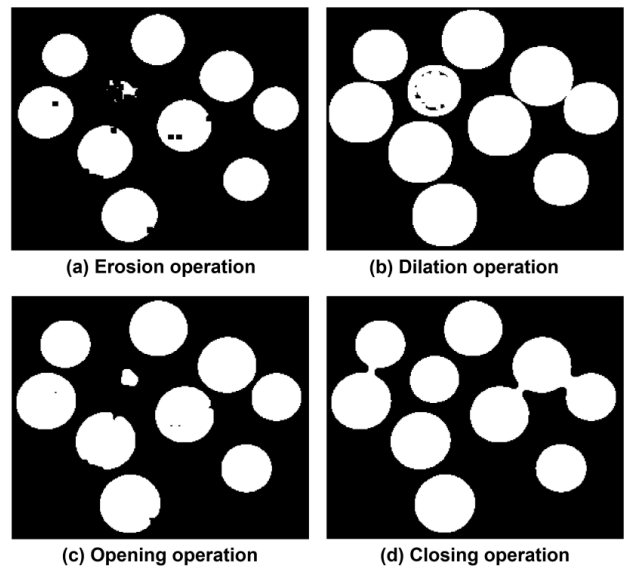


Fig. 10. Image binary method.

4.3 영상처리기법을 통한 교량 주변 해역 분석

본 연구에서는 영상처리기법 중 이미지 임계처리(Threshold)를 통한 이미지 이진화 기법(Image binary method)과 형태학적 변환 기법(Morphology method) 활용하여 교량 주변 해역의 전자해도 이미지와 실시간 위성사진을 비교하여 해역 내 해도와 다른 특이점을 비교 해보았다. 본 연구의 해역정보를 비교하는데 있어 이진 이미지를 사용하는 이유는 이진 이미지는 육지, 섬, 해안과 같이 통항이 불가능한 영역은 검은색 픽셀(0), 통항이 가능한 수로 영역은 흰색 픽셀(1)로 구분시켜 이미지만으로도 대상들의 차이를 쉽게 비교해 볼 수 있기 때문이다.

1) 이미지의 이진 처리

신안1교의 주변 해역의 통항에 위험 요소를 확인하기 위하여 먼저 전자해도 이미지를 Fig. 11(a)와 같이 추출하고, 동일한 범위의 공간에 대한 위성사진을 Fig. 11(b)와 같이 추출하였다.

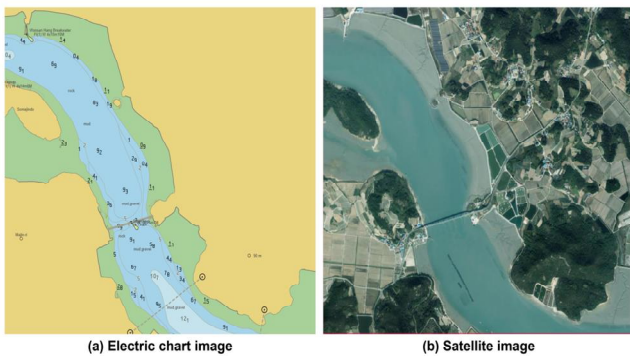


Fig. 11. Target waters information from ENC and satellite image.

다음으로 추출한 이미지를 영상처리기법의 이진 처리된 이미지로 변환시켰다. 먼저, Fig. 12는 전자해도 이미지를 이진 처리하는 과정을 보여준다.

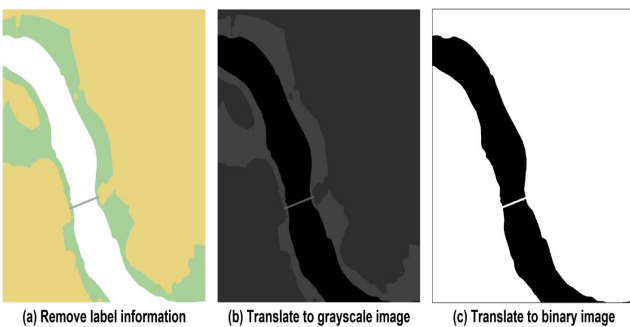


Fig. 12. Process of ENC image to binary image.

Fig. 12(a)는 전자해도 이미지를 이진 처리하기 위하여 불필요한 라벨링 정보를 제거한 상태이다. 또한, 위성사진으로 수심의 크기를 확인할 수 없으므로 등수심에 대한 정보를 제거하였다. 다음으로 Fig. 12(b)는 전자해도 이미지를 이진 처리하기 위해 픽셀정보를 기반으로 grayscale 이미지 형태로 처리한 과정이다. 마지막으로 Fig. 12(c)는 grayscale 이미지를 이진 처리한 과정을 보여준다.

다음으로 Fig. 13는 위성사진을 이진 처리하는 과정을 보여준다. Fig. 13(a)는 위성사진을 grayscale 이미지 형태로 처리한 과정이며, Fig. 13(b)는 위성사진을 이진 처리한 과정을 보여준다. 마지막으로 Fig. 13(c)는 이전 처리된 위성사진에 대하여 형태학적 닫기 연산을 적용한 과정을 보여준다. 이진 처리된 위성사진에 대하여 닫기 연산을 수행함으로써 이미지상의 밝은 영역(흰색)에 생긴 미세한 틈을 메우는 역할을 해줌으로써 좀 더 통항수로 영역을 명확히 구분할 수 있게 된다.

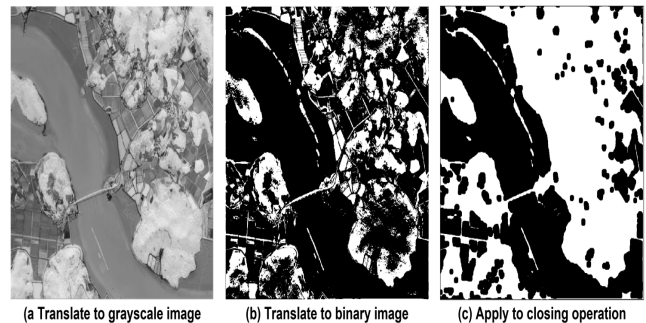


Fig. 13. Process of satellite image to binary image.

2) 이미지 병합

이진 처리된 전자해도 이미지와 위성사진의 차이를 비교하기 위해 2개의 이미지를 병합하였으며, 그 결과는 Fig. 14와 같다. Fig. 14(c)는 전자해도와 위성사진을 병합시켜 시각화 시킨 결과이다.

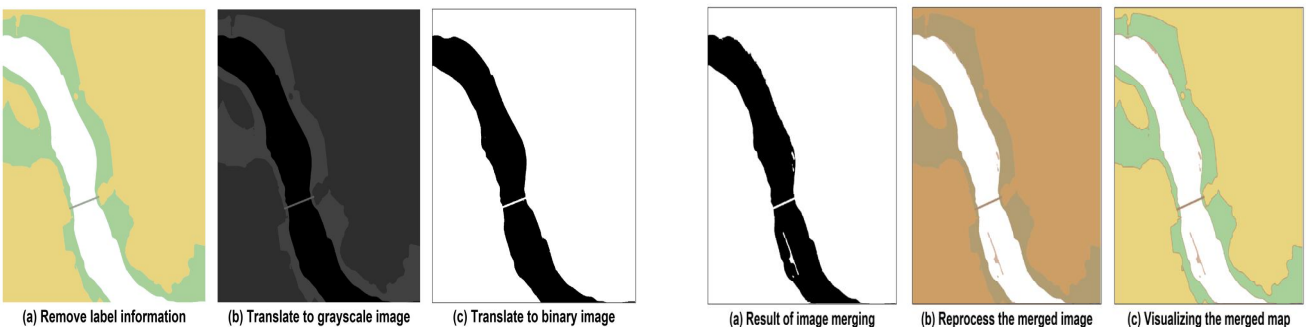


Fig. 14. Result of image merging and reprocessing.

4.4 교량 주변 해역 분석 결과

신안 1교 주변 해역의 현 상태를 분석하고자 실시간 위성 사진을 통해 전자해도와 비교 분석한 결과는 Fig. 15와 같으며, 안좌도 북측, 즉, 신안 1교의 제 6번 교각과 10번 교각 사이로 통하는 수로에 해도에는 표시되지 않는 부유물(양식장)로 보이는 장애물이 존재하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 위성사진으로 검출된 장애물의 위치는 제6번 교각 남동쪽으로 약 300 m 떨어져있음을 알 수 있었다.

따라서, 전자해도 상 확인되지 않는 장애물의 위치는 제 6번 교각과 제 10번 교각 범위에 있어, 실제로 흑산도에서 목포로 운항하는 신안1교 남동방향으로 통행해야 하는 여객선은 Fig. 15(b)와 같이 존재하는 해당 장애물을 피하기 위해 사전에 제4번 교각과 5번 교각 사이 또는 제5번 교각과 제6번 교각 사이로 통행했을 것으로 사료 되며, 그로인해 Fig. 15(d)와 같이 통행량이 제4번과 제5번 교각으로 집중될 것으로 보인다.

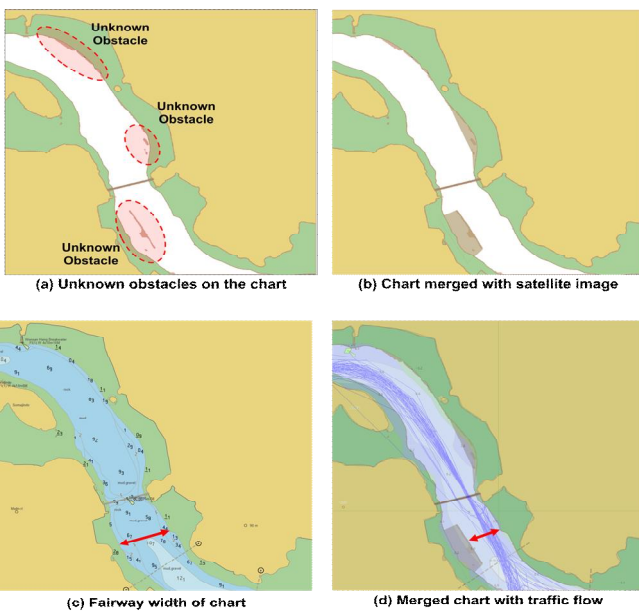


Fig. 15. Target waters information from ENC and satellite image.

5. 개선방안

신안군 다도해 해역 내 연도교 중 충돌사고건수 및 선박과 교각간의 충돌확률이 가장 높게 평가된 신안1교를 대상으로 수행한 원인분석 결과를 바탕으로 제언할 수 있는 개선방안은 다음과 같다.

먼저, 기술적 조치로서 교량주변에 선박의 통행을 방해하는 장애물을 제거함으로써 충분한 통행수역 폭 확보를 해야 할 것이다. 전자해도 상 신안 1교의 부근의 항로폭은 약 560 m

이지만 위성사진과 비교한 결과 장애물이 생겼을 경우의 항로폭은 290 m로 약 절반으로 줄어들게 되며 항로폭의 감소는 선박운항의 여유수역 확보에 어려움이 생기게 된다.

또한, [항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준] 제 38조에 따라 교량 아래의 항행 가능수로나 통행제한 구역을 보다 분명히 나타내기 위하여 국제항로표지협회의 해상부표식에 따른 부표나 등표등을 교량 전후방에 설치하여 Fig. 16과 같이 선박운항자가 제한된 시계에서 레이더만으로도 사전에 교각과의 안전여유거리를 확보할 수 있도록 유도할 필요가 있을 것이다.

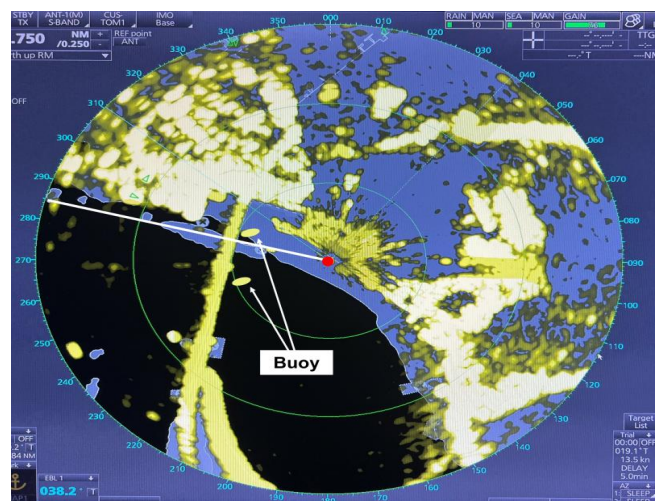


Fig. 16. Buoy for bridge on radar.

또한, 정책적 조치로서 안개, 비, 눈 등으로 인한 제한 시계일 경우 여객선 및 어선 등 연안 내 중소형선박들에 대한 출항을 제한하고, 교각통행에 관련한 선원들의 안전교육을 주기적으로 실시해야 할 것이다.

최근 해양수산부는 2021년 01월 15일부터 신설되는 해상 교량에 의무적으로 조명을 설치하도록 법을 개정하였다. 이처럼 해상 교각 접촉사고 방지를 위한 기술적, 정책적 노력이 지속적으로 이루어진다면 교각 사이 항로에서의 위험도는 줄어들 안전 항해가 가능할 것이다.

6. 결론

본 연구는 해양에서 인명 재난 사고가 발생할 가능성이 가장 높은 여객선을 대상으로 신안군 다도해 해역에 설치된 연도교와 충돌 확률과 교각 충돌 사고건수가 가장 높았던 신안1교를 대상으로 그 원인을 영상처리기법을 통해 분석하고자 수행되었다.

신안 1교가 설치되어 있는 대상해역은 교량의 진입 전 양

쪽으로 굴곡이 심한 항로가 존재하여 여객선 선장의 주의깊은 운항이 필요하였다. 또한, 교량등 설치 시 양방향으로 교통을 분리하여 통항을 유도하였으나, 실제 항적 분석결과 대부분의 선박이 폭이 넓은 제4번 교각과 제5번 교각사이로 통항하였음을 알 수 있었다. 원인 분석을 위해 신안1교의 진출입 전 주변해역환경을 확인하고자 위성사진과 전자해도를 영상처리기법을 통해 비교 분석해 보았으며, 그 결과 해도 상에 확인되지 않는 장애물이 존재함을 알 수 있었고, 장애물의 위치로 인해 진출입 선박이 한쪽 교각으로 통항하였음을 예상할 수 있었다.

신안 1교와 같이 좁은 수로에 설치된 교량을 통항하는 여객선에 있어 교량 주변의 파악되지 않는 장애물은 선박운항자에 있어 큰 조선부담감을 줄 것이다. 또한, 한쪽 교각으로 통항이 몰릴 경우 시정이 제한된 상황에서는 통항선박간 충돌이 발생할 위험이 존재한다. 본 연구에서는 위와 같은 원인분석결과를 토대로 해상 교각 접촉사고 방지를 위한 기술적, 정책적 개선방안을 제시하였으며, 또한, 제안한 영상처리기법을 통한 실제 해역환경 분석방법은 현재 완공된 다수의 서남해 해역의 연도교 주변의 통항 위험도를 분석하는데 기초연구 방법이 될 수 있을 것으로 기대된다.

Reference

- [1] IALA(2010), IALA Waterway Risk Assessment Programme (IWRAP) Theory, pp. 18-21.
- [2] Iksan Regional Office of Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT)(2013), Establishment of Public Relations System for Maritime Bridge Construction, pp. 10-14
- [3] Kim, S. C. and Y. M. Kwon(2017), A Review of Proximity Assessment Measurements According to Fairway Patterns and Ship Size, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 7, pp. 783-790.
- [4] KMST(2020), Statics of Marine Accidents, Retrieved from <https://www.kmst.go.kr/>.
- [5] Lee, C. H., H. H. Lee, D. B. Kim, C. S. Kim, and S. H. Park(2016), A Basic Study on Safe Vessel Traffic Speeds base on a Ship Collision Energy Analysis at Incheon Bridge, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 22, No. 6, pp. 593-599.
- [6] Lee, Y. S., Y. S. Park, U. Lee, C. H. Jung, and J. S. Park(2009), A Study on the Proper Location and Scale of Bridge Crossing navigable Waterways Considering the Safety of Marine Traffic, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 33, No. 5, pp. 295-301.
- [7] MOF(2014), Ministry of Oceans and Fisheries, Port and Harbor Design Standards, p. 1213.
- [8] Otsu, N.(1979), A threshold selection method from gray-level histograms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, pp. 62-66
- [9] Omar, F. E.(2013), IWRAP Mk2 Introduction, In Proceedings of regional awareness seminar on safety of navigation including risk management principles, Bangkok, Thailand.
- [10] Park, Y. S., J. S. Park, J. Y. Ko, J. Y. Jong, and E. Lee(2004), A Study on Consideration Factors of Traffic Safety Assessment on the Bridge Design-I, Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research Conference, pp. 189-195.
- [11] Park, Y. S., K. Y. Choi, and S. W. Park(2018), A Basic Study on Proper Strait Route Distance under Marine Bridge using ES Model, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 24, No. 2, pp. 133-139.
- [12] Shinan-gun Office(2022), Island Bridge Status, <https://www.shinan.go.kr/home/www/openinfo>.
- [13] Srinivasan, V.(1998), Discrete morphological filters for metrology, Proceedings 6th ISMQC Symposium on Metrology for Quality Control in Production.

Received : 2022. 11. 26.

Revised : 2022. 12. 14.

Accepted : 2022. 12. 28.