

IWRAP에 의한 해상교통안전성 평가 실효성 분석

† 김 광일 · 정 중식* · 박 계각**

† 목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과 석사과정, *,** 목포해양대학교 국제해사수송과학부

요 약 : 해상교통안전성평가는 크게 해양 안전 및 환경측면에서, 세부적으로는 해당해역의 특성을 파악하여 항로수립, 해상교통안전진단 및 해상교통영향평가 등을 수행 하는 측면에서 중요하다. IWRAP은 IALA Waterway Risk Assessment라는 평가도구로 항만 수로의 위험도(선박의 충돌 및 좌초확률)를 분석하는 정량적인 평가모델이다. 정량적인 해상안전 평가방법은 통항량, 선속, 길이, 선박의 통항분포로부터 해상에서 통항의 위험도를 평가하므로 인적, 지리적, 환경적 등 주관적인 요소들이 많은 정성적인 평가방법에 비해 적용이 간단하다. 본 연구에서는 IWRAP을 해상교통안전진단제도로의 활용을 위해 목포항 진입수로를 대상으로 IWRAP분석을 하여 그 실효성을 평가 하고자 한다.

핵심용어 : IWRAP, 정량적인 평가, 해상 충돌 확률, 해상교통안전, 해상교통안전진단제도

I 해상교통안전성 평가

해상교통안전성 평가

- 해상교통안전성평가는 크게 해양 안전 및 환경측면에서, 세부적으로는 해당해역의 특성을 파악하여 항로수립, 해상교통안전진단 및 해상교통영향평가 등을 수행 하는 측면에서 중요하다.

해상교통안전진단제도

- 선박이 다니는 해상통항로에 설치되는 각종 항만 시설물과 사회기반 시설물의 설치 및 공사 등이 선박의 항행안전에 미치는 정도를 사전에 평가하여 잠재적 위험요인을 미연에 제거 하기 위하여 수행되고 있다.

III 외국 해상교통 안전성 평가

IALA 평가 모델

- IWRAP (IALA Waterway Risk Assessment Program, 정량적인 평가)**
선박교통량 및 통항로 양적 분석 등의 교통조건 및 수심, 항로폭 등의 기초 자료를 입력하면 연간 충돌 및 좌초확률을 나타내는 정량적인 평가 모델이다.
- PAWSA (Ports And Waterway Safety Assessment)**
선박운항자를 비롯하여 도선사, 항만 관계자 등 해당 지역 이해관계자 및 전문가로 구성된 그룹에 의하여 해당 해역의 위험도를 평가하는 모델로 정성적인 모델이다.

각 국 안전성 평가 기준

- 미국은 PAWSA, 영국 항만해양안전코드, 홍콩 MARA 이며, 일본은 자체적인 진단 기술 개발 (선박중충시뮬레이션 평가, 해상교통환경평가, 계류안전성평가 등)
- 우리나라 해상 안전성 평가방식은 일본의 방식을 모델로 하고 있다.

II 해상교통안전진단제도 해상교통안전성 평가 관련 내용

I. 통항안전성 및 접이안 안전성

- 통항환경
 - 1) 통항형태: 해당 해역에서 선박 양방향 통항(교행)을 기본원칙으로 설정
 - 2) 통항규제: 해당 해역의 각종 통항 규제
 - 3) 예선운용: 해당 항만의 예선운용 세칙
 - 4) 표준조선법: 항시 교통조사 결과 또는 해상이용자의견
 - 5) 대상 선박의 조종성능: IMO의 조종성 기준을 최소기준으로 설정

II. 계류안전성 평가

III. 해상교통혼잡도 평가

- 해상교통혼잡도
 - 1) 교통량: 기본교통량, 가능교통량, 실용교통량으로 구분하여 교통량의 혼잡도 모델링 평가
 - 2) 환산교통량: 통항 선박의 제원을 활용한 환산교통량 평가
 - 3) 교통혼잡도 분석: 주요 항로별 항로폭의 혼잡도 지수 범위에 따른 교통혼잡도 분석

IV. 교통류 시뮬레이션 평가

- 종합환경 스트레스값 분석을 통하여 산출된 대상해역 및 항로의 안전성 분석

IV IWRAP 적용 이론

1. 개요

사고확률은 기하학적 충돌확률 N_G 와 인과확률 P_C 의 곱으로 산출된다.

$$P = N_G \times P_C$$

N_G : 기하학적인 선박충돌확률(Geometrical probability)
 P_C : 인과확률(Causation probability)로서 충돌 또는 좌초에 이르는 침로에서 회피동작을 실패할 확률을 말한다.

- 사고확률은 Head-on, Crossing, Merging, Bending 및 좌초로 분류하여 연산된다.

† 교신저자 setis0420@korea.kr

*,** 중신회원 jsjeong@mmu.ac.kr gkpark@mmu.ac.kr

IV IWRAP 적용 이론

2. Head-on 상태에서의 충돌확률

$$N_G^{head-on} = Lw \sum_{i,j} P_{G,i,j}^{head-on} \frac{V_{ij}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} (Q_i^{(1)} Q_j^{(2)})$$

- Lw : 항로폭 i,j
- V_{ij} : 상대 속력 ($V_{ij} = V_i^{(1)} + V_j^{(2)}$)
- $V_i^{(1)}$: i 선종의 선박들이 항로 1에서 통항하는 선박의 평균속력
- $V_j^{(2)}$: j 선종의 선박들이 항로 2에서 통항하는 선박의 평균속력
- $Q_i^{(1)}$: 항로 1 구간에서 선종 i 선박 통항량
- $Q_j^{(2)}$: 항로 2 구간에서 선종 j 선박 통항량
- $P_{G,i,j}^{head-on}$ 는 각 항로의 해당 선종의 통항분포이다.

IV IWRAP 적용 이론

3. Crossing 상태에서의 충돌확률

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta}$$

- Q_i : i 항로에서 선박통항량
- V_{ij} : 상대속력
- D_{ij} : 선박의 기하학적인 충돌반경.

<Crossing상태로 조우되는 상황>

IV IWRAP 적용 이론

2. Head-on 상태에서의 충돌확률

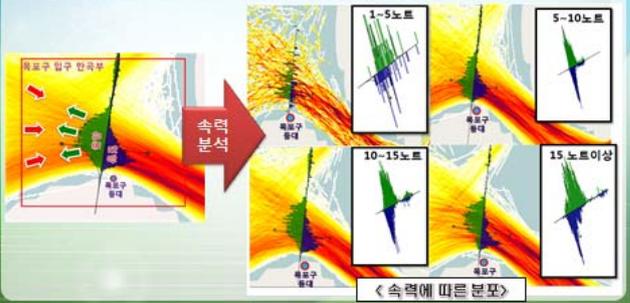
$$P_{G,i,j}^{head-on} = \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\delta_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\delta_{ij}}\right)$$

- $\Phi(x)$: 표준정규분포함수
- μ_i : 통항하는 분포의 평균치 ($\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$)
- σ_i : 표준 편차 ($\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_i + \sigma_j}$)
- B_i : 선박 폭의 평균값. ($B_{ij} = \frac{B_i + B_j}{2}$)

V IWRAP 실효성 분석

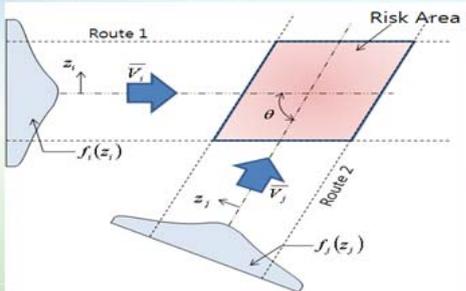
양적 분석 가능

- 선박의 전체 양적과 통항분포 분석이 가능. 이 기능을 사용하려면 AIS 데이터가 필요하다.
- 프로그램에서 속력 및 길이를 필터링하여 분류가 가능하다.



IV IWRAP 적용 이론

3. Crossing 상태에서의 충돌확률

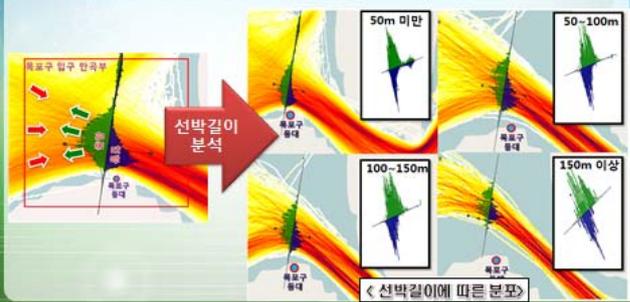


<Crossing상태로 조우되는 상황>

V IWRAP 실효성 분석

양적 분석 가능

- 선박의 전체 양적과 통항분포 분석이 가능. 이 기능을 사용하려면 AIS 데이터가 필요하다.
- 프로그램에서 속력 및 선박길이를 필터링하여 분류가 가능하다.



V IWRAP 실효성 분석

충돌 확률 산출

- 분석하고자 하는 구역의 항로를 설정하고 각 항로별 통행 데이터를 입력하여 통행분포, P_c 값 등을 설정하면 충돌 확률 산출.
- OVERTAKING시 충돌확률산식은 HEAD-ON과 동일

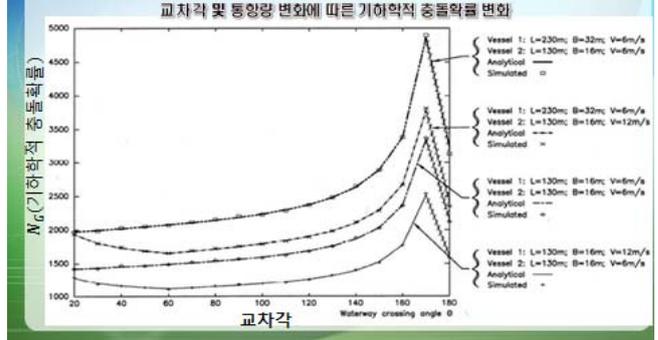


| | HEAD ON | CROSSING | OVERTAKING | 합계 |
|-------|---------|----------|------------|------|
| 항로 1 | 0.19 | - | 0.08 | 0.27 |
| 항로 2 | 0.06 | - | 0.05 | 0.11 |
| 항로 3 | 0.21 | - | 0.59 | 0.80 |
| 항로 4 | 0.10 | - | 0.04 | 0.14 |
| 항로 5 | 0.06 | - | 0.04 | 0.10 |
| 항로 6 | 0.01 | - | 0.01 | 0.02 |
| 교차점 1 | - | 0.29 | - | 0.29 |
| 교차점 2 | - | 0.52 | - | 0.52 |
| 합계 | 0.64 | 0.81 | 0.8 | 2.25 |

V IWRAP 실효성 분석

교차각 변경으로 인한 영향 분석

교차각 및 통행량 변화에 따른 기하학적 충돌확률 변화



Y-axis: N_c (기하학적 충돌확률) (0 to 5000)
X-axis: 교차각 (Waterway crossing angle θ) (20 to 180)

Legend:

- Vessel 1: L=230m; B=32m; V=6m/s
- Vessel 2: L=130m; B=16m; V=6m/s
- Vessel 1: L=230m; B=32m; V=6m/s; Vessel 2: L=130m; B=16m; V=12m/s
- Vessel 1: L=130m; B=16m; V=6m/s; Vessel 2: L=130m; B=16m; V=6m/s
- Vessel 1: L=130m; B=16m; V=12m/s; Vessel 2: L=130m; B=16m; V=6m/s

V IWRAP 실효성 분석

속력 영향 분석

- 각 항로에서의 선속 변경으로 선속 영향 분석
- 기준 속력은 예부선 6노드, 화물선 12노드, 입출선 11노드, 여객선 12노드, 쾌속선 28노드, 내항여객선 18노드로 통행선의 평균적인 속력이다.
- 분석결과 통행선박들간 속력차이가 크면 충돌 확률이 커진다.



| | 원형 속력 | 전체 속력1증가 (1) | 전체 속력1감소 (2) | 쾌속선 5감소 (3) | 쾌속선 5감소 대항여객선 3감소 (4) | 여부선 제외 전체속력 1증가 (5) | (1) ~ (4) 경우 (6) |
|------------|-------|--------------|--------------|-------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| GROUNDING | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.018 | 0.18 |
| OVERTAKING | 0.008 | 0.007 | 0.010 | 0.007 | 0.008 | 0.009 | 0.006 |
| HEADON | 0.020 | 0.018 | 0.022 | 0.020 | 0.021 | 0.019 | 0.019 |
| CROSSING | 0.067 | 0.061 | 0.075 | 0.065 | 0.069 | 0.063 | 0.064 |
| BEND | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.005 |

VII 결론

본 연구는 해상에서 IALA에서 권고하는 정량적인 충돌 위험도 평가인 IWRAP 방법을 적용하여 목포항 전입수로의 연간 충돌위험도를 평가하였다.

IWRAP은 통행 선박 데이터와 통행 데이터로 항로별, 선종별, 선박의 조우 상황별로 정량적인 충돌 확률을 구할 수 있어 인적, 지리적, 환경적 등 주관적인 요소들이 많은 정성적인 평가 방법에 비해 적용이 신속하며 용이하다.

해역의 정량적인 충돌확률을 파악하여 다음의 분야에서 활용이 가능하다.

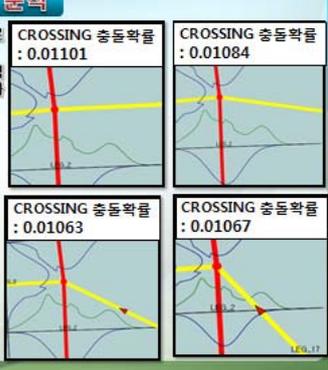
- 항로의 설계 및 변경
- VTS의 운영관점에서 항로별 집체적인 충돌위험도 평가
- VTS에서 해역별로 관제를 위한 색터 분할
- 사고가 빈번한 해역에서는 사고를 경감하는 차원에서 분석

그러나 항로항행선박의 위험도 인식의 측면에서 토선사와 항해사들에 의한 정성적인 평가결과와 비교 검토는 추후 연구과제로 남는다.

V IWRAP 실효성 분석

교차각 변경으로 인한 영향 분석

- 특정 교차점에서 교차 각도의 변경으로 충돌 확률의 변화를 알 수 있다.
- 오른쪽 그림은 목포항 불무기도 부근해역에서 오른쪽 동서 항로만 교차 각도를 변화시켜 충돌 확률 변화를 파악하였다.



CROSSING 충돌확률 : 0.01101

CROSSING 충돌확률 : 0.01084

CROSSING 충돌확률 : 0.01063

CROSSING 충돌확률 : 0.01067

VII 참고 문헌

- [1] Kwang Il Kim, Gyei-Kark Park, Jung-Sik Jeong. "Analysis marine accident probability in Mokpo waterways," International Journal of Navigation and Port Research Vo.35, No.9, pp.729-733, Dec. 2011.
- [2] IALA-AISM. IALA Risk Management Tool for Port Restricted Waterways Ed.2. IALA Recommendation O-134, May 2009.
- [3] Peter Friis-Hansen. Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies. IWRAP Mk II Rev4. Work Document, 2008.
- [4] Fujii Y, Yamanouchi H, Mizuki N. "Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic," Journal of Navigation, pp.239-247, 1974.
- [5] Macduff T. "The probability of vessel collisions," Ocean Industry, pp.144-148, 1974.
- [6] 이형기. "ES모형을 이용한 효율적인 VTS관제 해상교통지원시스템 개발", 부경대학교, 2011