

CPA-TCPA 산출 알고리즘에 의한 연안해역의 해상교통안전지수 평가에 관한 연구

김 광일* · † 정 중식 · 박 계각**

*목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과 박사과정, †,** 목포해양대학교 국제해사수송과학부

요 약 : 해상 교통량 증가에 따른 연안해역 해상교통밀집도가 증가되고 있다. 그러므로 해상교통안전관리를 위해 실 해역의 해상교통패턴을 파악하여 해상교통지수를 평가하는 것이 중요하다. 분석대상해역의 실제 선박위치, 속력, 침로를 고려한 CPA-TCPA분석은 통계적인 선박데이터에 의한 분석보다 해당해역의 실제적인 VTS영향 등 교통환경을 반영한다. 본 연구에서는 횡간수도와 완도 진입수로의 항로가동률을 분석하고, 해당 해역에서 교차되는 선박들의 CPA, TCPA 등을 분석하여 해상교통안전지수를 평가하고자 한다. 또한 산출된 해상교통안전지수를 해당 해역의 통계적인 해상교통안전지수와 비교 및 분석하고자 한다.

핵심용어 : CPA, TCPA, 해상교통안전, 해상교통위험도, 해상교통안전지수, 완도, 항로가동률

1. 연구 개요

- 연구 배경**
 - 해상교통안전성평가는 크게 해양안전 및 환경측면에서, 세부적으로는 해당해역의 위험도를 평가하여 통행로를 관리하기 위한 측면에서 중요하다. 이러한 해상교통안전성을 평가 및 비교연구하기 위하여 **객관적인 해상교통안전지수 산출이 필요하다.** <기준연구로서 IWRAP을 활용한 통계적인 등항데이터로서 분석함>
- 연구 방법**
 - 본 연구에서는 완도항 진입수로와 횡간수도간 교차지점을 대상으로 하였으며, 대상해역 항로가동률 산출 및 실제적인 위치, 속력, 코스 데이터에 기반을 한 실제적인 해상교통위험도 지수를 산출하고자 한다.
 - 분석방법은 실제적인 등항데이터에 의한 평균 CPA, TCPA를 기반으로 Crossing 상태에서의 위험도 지수를 산출하고자 한다.
 - 산출된 결과값을 통계적인 분석 데이터값과 비교
 - ※ 이러한 CPA-TCPA분석 데이터는 통계적인 위험성평가보다 VTS가 적용되는 해역에 적용이 적절하다.

2. 분석대상해역 소개

- 분석대상 해역은 완도항진입수로와 횡간수도가 교차 되는 지점을 선정하였다.
- 대상 해역에는 주로 중소형크기의 화물선과 여객선, 예부선, 어선이 통항함.
- 대상해역 연간 통항량

선종	통항량(척)	속력(노트)	선박길이(m)	비고
여객선	27740	10~12	50~75	VTS 통계 자료
화물선	17503	10~12	75~100	
예부선	16000	5~7	150~200	
잡종선	35000	9~12	0~25	

3. 분석대상해역 항로가동률 분석

- 4/6~4/8 3월 수집한 항적데이터로 분석
- 항로 기본정보

항로	평균속력	항로폭 (km)	기본교통용량 (척)	실용교통용량 (척)
남북항로	10.8	3.7	146.4	36.6
동서항로	8.3	3.7	112.5	28.1

- 평균속력 : 각 항로 등항선박들의 속력 평균
- 항로폭 : 해당항로 지정된 항로폭 구간
- 기본교통용량 : 기본교통용량 산식 적용 (장비경(s)-0.1, 단반경(s): 3.2L)
- 실용교통용량 : 기본교통용량의 1/4 (교통관리기없는 경우)

- 통항선박 제원

선종	선박길이(L)	표준선박 L혼산	표준선박 L ² 혼산
여객선	65	0.93	0.66
예부선	135	1.93	3.72
화물선	65	1.21	1.47
잡종선	22	0.31	0.10

3. 분석대상해역 항로가동률 분석

- 시간대별 대상해역 통항량 및 L²혼산 통항량 그래프

대상해역 시간대별 통항분포

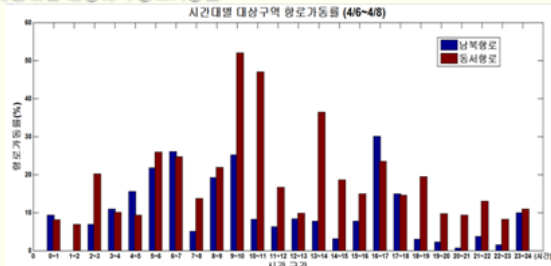
- ▶ 남북항로는 주간대에 통항량이 많으며 야간대에는 통항량이 적으며, 특정시간에 밀집됨.
- ▶ 동서항로 통항량은 통항량 편차가 남북항로보다 적다.

† 교신저자 jsjeong@mmu.ac.kr

* 정희원 setis0420@korea.kr ** 중신희원 gkpark@mmu.ac.kr

3. 분석대상해역 항로가동을 분석

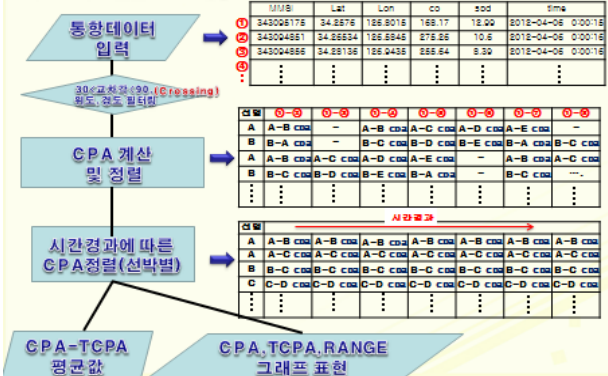
● 시간대별 대상해역 항로가동률



시간	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
남북항로	0.3%	0.0%	6.8%	10.0%	15.6%	21.3%	25.0%	5.0%	10.2%	25.1%	9.3%	5.2%
동서항로	5.1%	5.0%	20.2%	10.1%	0.4%	25.0%	24.7%	13.7%	21.3%	22.0%	47.0%	16.7%
시간	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
남북항로	5.4%	7.5%	3.1%	7.8%	30.0%	15.0%	3.0%	6.3%	3.7%	1.6%	0.0%	
동서항로	0.5%	36.4%	18.6%	15.0%	23.5%	14.6%	10.4%	0.7%	0.4%	12.0%	8.2%	10.0%
평균												
남북항로												10.3%
동서항로												18.5%

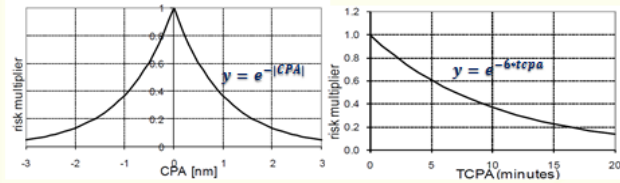
4. CPA-TCPA 결과값에 의한 해상교통안전지수

● CPA-TCPA 산출 프로그램 FLOW DIAGRAM



4. CPA-TCPA 결과값에 의한 해상교통안전지수

● 개요



- CPA 및 TCPA는 상요거리 및 시간의 감소에 따라 지수함수적으로 충돌위험이 높아진다.
- CPA-TCPA 값에 의한 Collision encounter는 다음의 산식에 의해 산출.

$$\text{Collision encounter} = e^{-|CPA|} e^{-6*tcpa}$$
- CPA가 1이고 TCPA가 1이 될때를 가장 위험도가 가장 높으며, CPA 및 TCPA가 낮을수록 위험도는 증가된다.
- CPA가 3n mile 이내 및 TCPA가 1/3 hour 이내 구간에서 데이터 적용. (그 이상의 CPA 및 TCPA는 Collision encounter가 마비)

4. CPA-TCPA 결과값에 의한 해상교통안전지수

● CPA-TCPA 산출 결과

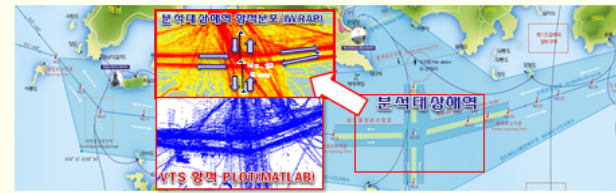
- 계산 결과 분석기간중 대상구역의 CROSSING관계로 196회 조우 됨.
- 각 조우시 산출된 COLLISION ENCOUNTER의 전체 합은 25.1 산출.
- 산출된 COLLISION ENCOUNTER에 인과확률(CAUSATION FACTOR)을 적용하여 예상되는 충돌빈도 산출

선종1	선종2	cpa	tcpa	$e^{- CPA } e^{-6*tcpa}$
선종1 A	선종1 A	1.87539	17.59897	0.022219413
선종1 B	선종1 A	1.281123	4.500908	0.177089384
선종1 C	선종1 B	1.782229	14.99903	0.037548139
선종1 D	선종1 F	1.414984	15.88521	0.080597254
선종1 E	선종1 A	1.445889	10.7895	0.080070393
선종1 B	선종1 C	2.552231	9.304484	0.030598158
선종1 C	선종1 G	0.932411	7.95044	0.112834329
선종1 D	선종1 E	1.8891	7.094882	0.07430147
선종1 E	선종1 E	0.804923	5.494109	0.259119208
선종1 H	선종1 I	1.287525	4.548172	0.175108035
선종1 A	선종1 D	0.177835	1.887015	0.707133231
선종1 C	선종1 B	1.007919	7.087199	0.180238875
...

4. CPA-TCPA 결과값에 의한 해상교통안전지수

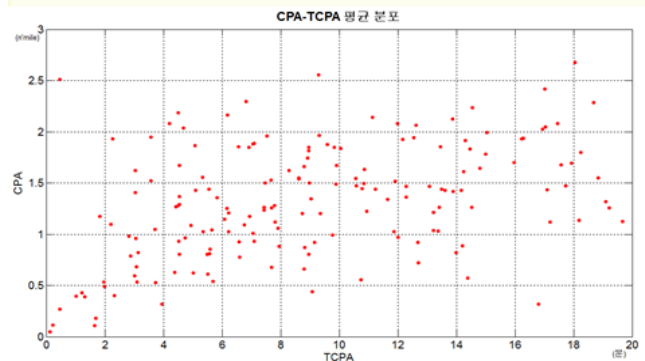
● 분석방법

- 원도항 진입수로 및 동향분리해역 교차 구역 3일치 VTS네이티브(RADAR+AIS)를 바탕으로 분석 수행
- CPA-TCPA 산출 알고리즘 MATLAB 프로그래밍
- 분석한 결과값은 CPA 3마일 이내, TCPA 1/3시간 이내 값의 평균을 산출함.



4. CPA-TCPA 결과값에 의한 해상교통안전지수

● CPA-TCPA 평균 분포



5. 통계적인 데이터에 의한 해상교통안전지수

● 통계적인(기하학적인) Collision Encounter 산출

- 통계적인 Collision Encounter는 다음 산식에 의해 산출됨.

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

Q_i : i항로에서 선박통행량
 V_{ij} : 상대속력
 D_{ij} : 선박의 기하학적인 충돌반경.

- 동일 관측시간에 적용되는 통계적 항적데이터는 다음표와 같다.

		통행량	속력	길이	폭
동서 항로	잡종선	131	8.03	22	6
	화물선	55	10.06	85	13
	여부선	65	8.96	135	20
	여객선	16	14.33	65	12
남북 항로	잡종선	129	10.66	22	6
	화물선	12	10.51	85	13
	여부선	18	10.74	135	20
	여객선	37	16.32	65	12

→ 통계적 항적데이터를 계산산식에 적용하면, 20.1건의 기하학적(통계적인) Collision Encounter가 산출되었다.

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

6. 결 론 및 추후연구과제

● Crossing 교차구역에서의 Collision Encounter는 CPA-TCPA계산에 의한 Collision Encounter가 통계적인 데이터 계산보다 5.0건 크다.

CPA-TCPA계산에 의한 Collision Encounter	25.1 건	(관측일 3일간)
통계적인 데이터 계산에 의한 Collision Encounter	20.1 건	

- ▶ 통계적인 데이터계산에 의한 Collision Encounter는 VTS영향에 고려되지 않았으며, CPA-TCPA계산에 의한 Collision Encounter는 VTS영향 등 기타 주변환경이 고려되어 산출된 값이다.
- ▶ 2장의 시간대별 항로가동률과 비교하면, 통항류가 특정시간대에 밀집되면 CPA-TCPA계산에 의한 Collision Encounter가 증가함을 알 수 있다.

- 통계적인 Collision Encounter와 CPA-TCPA계산에 의한 Collision Encounter값 차이는 항후 VTS구역 설정시 및 해역안전성평가등에 유용할 것이며,
- 또한 추후 인과확률(Causation Factor) 산출시 반영이 가능할 것이다.
- 하지만, 본 연구에서는 Crossing관계에서 3일동안만 수행한 결과이므로, 다른 선박조우형태고려와 관측시간을 증가함은 추후 연구과제로 남는다.

※ 참고 문헌

- 1) 공인영, 양찬수, "항로의 교통용량 추정 및 항로가동률에 대한 고찰", 항해항만학회 제29권 제1호 춘계학술대회 논문집 pp. 231-235, 2005.4
- 2) 김광일, 정중식, 최은성, "IWRAP에 의한 완도해역 충돌확률 분석", 2012년도 항해항만학회 춘계학술대회
- 3) Y.Koldenhof, C van der Tak and C.C. Glansdorp, "Risk Awareness; a model to calculate the risk of a ship dynamically" XIII International Scientific and Technical Conference on Maritime Traffic Engineering, 2009
- 4) 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.
- 5) IALA-AISM, IALA Risk Management Tool for Port Restricted Waterways Ed.2, IALA Recommendation O-134, May 2009.
- 6) Peter Friis-Hansen, Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies, IWRAP Mk II Rev.4, Work Document, 2008.