

선박조우 형태를 고려한 해상교통환경평가 기초 모형 개발

김종성* · 박영수**† · 허태영*** · 정재용**** · 박진수*****

*, ** 한국해양대학교 운항훈련원, *** 충북대학교 정보통계학과,
**** 목포해양대학교 국제해사수송과학부, ***** 한국해양대학교 해사대학 항해학부

A Study on the Development of Basic Model for Marine Traffic Assessment Considering the Encounter Type Between Vessels

Jong-Sung Kim* · Young-Soo Park**† · Tae-Young Heo*** · Jeong-Jae Yong**** · Jin-Soo Park*****

*, ** Training Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

*** Department of Information and Statistics, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

**** Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

***** Division of Navigation Science, Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

요 약 : 우리나라 연안 해역은 빈번한 선박조우로 인한 해양사고 발생 잠재 위험이 높은 해역이며 현재 각 항만의 VTS 관제실에서 VHF통달거리를 넘어서 통항하는 선박에 대하여는 정보 파악 자체가 불가능하고, VTS 관제범위 바깥해역에서는 효율적인 교통관리가 어려워 관련사고 예방이 어려운 실정이다. 최근 우리나라는 항만의 확장 및 신항만 개발에 따른 해상교통안전성 평가는 있지만 실시간으로 변화하는 해상교통환경 변화에 따른 위험도 정보를 제공할 수 있는 시스템은 없는 실정이다. 따라서 대상해역에서의 해상교통환경과 관련된 일반적인 정보 및 위험도 정보를 제공하고, 해상교통환경 평가를 통한 해역 위험도 여부를 평가할 수 있는 평가지표 개발이 필요하다. 본 연구에서는 선박운항자의 위험의식을 바탕으로 선박의 전장별, 선박의 조우 형태 중 횡단(Crossing situation) 상황에 따른 마주치는 각도(045°, 090°, 135°), 추월(Overtaking) 및 정면으로 마주치는 경우(Head-on situation)와 좌현, 우현에서 선박을 조우하였을 경우와 항계 내 및 항계 밖에서의 경우, 타선과의 속력 중 비슷하거나 또는 느리거나 빠를 경우, 타선과의 속력차에 따른 경우, 타선과의 거리에 따른 선박운항자의 주관적 위험도를 조사·분석하여 해상교통안전성 평가모형 개발을 위한 기초 식을 제안하였다. 제안한 기초 식은 국내 해상교통환경 평가에 적합한 것임을 확인하였다.

핵심용어 : 해양사고, 교통관리, 해상교통환경, 평가지표, 분산분석

Abstract : Korea coastal area is highly potential dangerous zone of marine accident due to frequent ship's encounters. VTS center can't identify ship's information because of beyond VHF range. It is also difficult of us to efficiently manage vessel traffic beyond VTS control area, so that it can't prevent marine accident. Presently, korean government is conducting maritime traffic safety assessment according to enlargement of harbor & development of new port but do not have the system which provide danger of information depending on maritime traffic environment with real time. So it is necessary to develop evaluation index which can assess sea risk through the evaluation of maritime traffic environment. In this paper, on the basis of vessel navigator's risk consciousness, we carried out survey & statistical analysis vessel navigator's subjective risk depending on the LOA, crossing situation(045°, 090°, 135°), overtaking, head-on situation, encountering vessel's side, within or outside harbor, speed with other vessel(ex. same, fast or slow), speed difference with other vessel and distance with other vessel & propose basic expression to develop maritime traffic safety evaluation model. And by using this model, we can confirm that this proposing expression is suitable for domestic maritime traffic environment.

Key Words : Marine accident, Traffic management, Maritime traffic environment, Evaluation index, Analysis of variance

1. 서 론

우리나라 연안해역 및 항내에서는 해상교통 확보 및 지속적인 교통관리를 위하여 항로폭 변경, 항로표지 설치 등과 같은

교통안전대책을 실시하고 있다. 이러한 교통안전대책이 그 해역을 통항하는 선박의 선박운항자에게 어느 정도의 위험도를 감소시키는데 대해 정량적으로 예측할 수 있는 평가모형을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다(박 등, 2010a).

하지만 지금까지 우리나라에 적합한 해상교통환경 평가모형이 개발되지 못한 상황에서, 타 평가모형을 우리해역에 적용하

* 대표저자 : 종신회원, kjsung@hhu.ac.kr, 051-410-4471

† 교신저자 : 정희원, youngsoo@hhu.ac.kr, 051-410-4204

여 그 장단점을 파악하고 있는 실정이다(Kim and et al., 2011).

따라서 현재 평가모델로 주로 사용되고 있는 모델은 일본 등의 모델로 우리나라 실정에 그대로 적용하기에는 위험도 인식 차이를 보일 수 있으며(박 등, 2010b), 우리나라에서 사용할 수 있는 평가항목 및 요소 파악을 통한 실제 해역에 적용 가능한 모델이 필요한 것이다. 이러한 모델을 개발하기 위해서는 선박 운항자의 해상경험에 기초하여 주어진 상황에 대하여 느끼는 선박충돌위험도인 정성적 표현을 정량화한 해상교통안전성 평가 모형 개발이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 선박운항자의 위험의식을 바탕으로 선박의 전장별, 선박의 조우 형태 중 횡단(Crossing situation) 상황에 따른 마주치는 각도(045°, 090°, 135°), 추월(Overtaking) 및 정면으로 마주치는 경우(Head-on situation)와 좌현, 우현에서 선박을 조우하였을 경우와 항계 내 및 항계 밖에서의 경우, 타선과의 속력 중 비슷하거나 또는 느리거나 빠를 경우, 타선과의 거리에 따른 선박운항자의 주관적 위험도를 조사 통계 분석하여 해상교통안전성 평가모델 개발을 위한 기초 식을 제안하고 이 식을 이용하여 선박의 상황별로 정량화된 위험도를 제시한다.

2. 선박운항자 위험도 분석법

2.1 선박운항자 위험도 의식 조사 방법

본 연구는 선박운항자가 운항 중 선박간의 여러 가지 조우 상황을 가정하여 느끼는 위험도 인식에 대한 모형 개발을 위하여 설문 문항을 작성한 후 H 및 M 해양대학 실습선의 사관들과 선교자원관리교육과정(BRTM:Bridge Resource Team Management Training Course) 교육생들을 대상으로 선행 설문조사를 실시하였다.

선행 설문조사 실시 후 문제점을 파악하여 이를 수정 후 해운 관계 회사 및 H 연수원 교육생들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 본 연구에서는 선박운항자의 위험도 의식 조사를 위하여 설문지 250부를 각 선사 및 H 연수원 교육생들에게 배부하여 총 183부를 수령하여 이를 분석하였다.

2.2 설문지 구성 내용

설문지는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 본선의 선박길이는 100m로 일정하고 선박 대표 길이별(10, 80, 150, 280 m)로 마주치는 각도(045°, 090°, 135°, 추월 및 정면으로 마주치는 경우)별로 항계 내와 항계 밖으로 구분하여 이를 본선과 타선의 속력이 비슷할 경우 주관적 위험도 체감을 7점 척도(+3 : 극도로 안전, -3 : 극도로 위험)로 표시하도록 하였다. 또한 본선과 타선의 속력 관계에서 본선의 속력이 느린 경우를 각각 노트(knot) 단위로 구분하고 이를 거리별로 별도로 체크하게 하였으며 마찬가지로 본선의 속력이 빠를 경우에도 똑같은 방식으로 표시하도록 하였다.

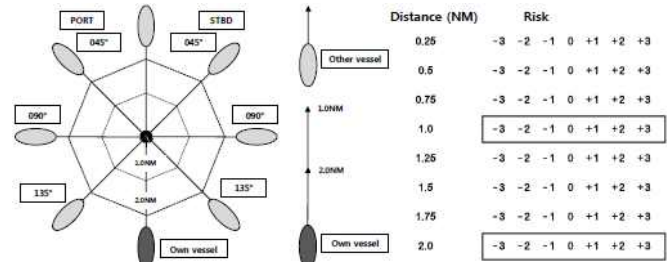


Fig. 1. Contents of questionnaire.

3. 위험도 모형 요소 분석

해상교통안전성 평가를 위해 설문지를 통해 항행 안전도에 대한 주관적 위험평가를 실시하였다. 이러한 설문분석을 통해 해상안전을 위한 주관적 위험에 대한 다양한 요인들에 대해 분석할 필요성이 있으며, 각 요인별로 위험도에 영향을 미치는 영향력을 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 각 요인별로 분산분석을 통해 각 요인별 주요 영향을 분석하고 적용 방안을 제시하고자 하였다. 분산분석은 세 집단 이상의 평균을 비교하는 분석법이며, 분산분석 수행이후 각 집단 간의 차이가 존재한다고 하면 과연 어떤 집단들 간에 차이가 존재하는지에 대한 방법으로 다중비교(Multiple comparison)를 실시하였다.

3.1 선박의 전장별 분석

본 연구에서는 선박의 전장(10m:1 80m:2 150m:3 280m:4)에 따른 주관적 위험도를 파악하기 위해 일원배치 분산분석을 이용하여 각 선박의 전장 별 주관적 위험도에 대한 평균의 차이 존재 여부에 대해 분석하였다. Table 1에서와 같이 분산분석 결과 유의확률(P-값)이 0.05보다 매우 작아 통계적으로 유의수준 5%에서 선박의 전장 별로 주관적 위험도가 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 1. Result of analysis of variance depending on ship's length

Factor	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Length	3	5889.78	1963.26	935.82 (<0.0001)
Residual	130432	273633.13	2.0979	
Total	130435	279522.9		

DF : Degrees of freedom

SSE : Sum of Squared Errors

MSE : Mean Squared Errors

분산분석 결과 선박의 전장에 따라 주관적 위험도가 통계적으로 유의하게 차이를 보임을 알 수 있어 선박의 전장에 따른 주관적 위험도를 차이를 확인하기 위해 다중비교 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 다중비교를 위해 Duncan 방법을 이용하였으며 다중비교 분석결과에서 알파벳이 같은 범주는 집단의 차이가 존재하지 않음을 나타낸다.

Table 2의 다중비교 분석 결과 전장이 클수록 주관적 위험도를 더 크게 느끼는 것으로 나타났다. 선박의 전장 길이가 길수록 선박크기가 커지므로 선박운항자의 위험도가 증가하고, 선박의 조종성능 또한 떨어져서 긴급 시 선박을 선회하거나 정지하는 등의 조선이 매우 힘이 들기 때문에 선박운항자들의 주관적 위험도는 전장이 클수록 증가한다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Result of multiple comparison depending on ship's length

Factor		Risk	
		Average (SD)	Grouping
Length	280 m	5.3539 (1.4146)	A
	150 m	5.1376 (1.4128)	B
	80 m	4.9844 (1.4456)	C
	10 m	4.7749 (1.5158)	D

3.2 선박의 조우 형태별 분석

본선을 기준으로 조우각 045°, 090°, 135°, 정면 마주침, 추월과 같은 선박의 조우 형태에 따른 주관적 위험도를 파악하기 위해 일원배치 분산분석을 이용하여 각 선박의 조우 형태별 주관적 위험도에 대한 평균의 차이 존재 여부에 대해 분석하여 Table 3과 같이 정리하였다.

Table 3에서와 같이 분산분석 결과 P-값이 0.05보다 매우 작아 통계적으로 유의수준 5%에서 선박의 조우 형태(마주치는 각도) 별로 주관적 위험도가 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 3. Result of analysis of variance depending on ship's encounter angle

Factor	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Encounter angle	4	4804.40	1201.10	570.26 (<0.0001)
Residual	130431	274718.51	2.1062	
Total	130435	279522.9		

Table 4의 다중비교 분석결과 횡단 상태 135°에서 선박운항자는 가장 큰 주관적 위험도를 느끼는 것으로 나타났으며, 추월하는 경우가 가장 작은 위험도를 느끼는 것으로 나타났다.

이는 선박운항자가 횡단 상태 135°일 경우에는 045°나 090°일 때와 비교하여 같은 거리로 선박이 떨어져 있음에도 불구하고 선수 정면을 기준으로 ±90°보다 뒤쪽에 있어 당직자의 통상적인 위치로는 시각으로 확인이 어렵고, 상대적으로 거리감이 가깝다고 느끼고 있어 주관적 위험도를 더 크게 느끼는 것으로 조사되었다. 그리고 정면으로 마주치는 경우 상대선과 본선의 속력을 더한 속력으로 가까워지기 때문에 컨테이너선과 같은 고속선의 경우에는 선박조종자에게 매우 큰 부담을 느끼게 할 수 있다. 그러나 횡단 상태 135°와 비교하여 한 선박만의 피항 동작으로도 충분히 충돌을 피할 수 있기 때문에 횡단 상태 135°

보다 선박운항자가 느끼는 주관적 위험도가 적은 것으로 사료된다. 추월하는 경우에는 추월선이 피추월선을 추월 시 피추월선이 침로와 속력을 유지한다면 가까운 거리라 하더라도 추월하는 것에 큰 부담을 느끼지 않기 때문에 선박운항자의 주관적 위험도가 가장 낮은 것으로 분석된다.

Table 4. Result of multiple comparison depending on ship's encounter angle

Factor		Risk	
		Average(SD)	Grouping
Encounter angle	Crossing 135°	5.2297(1.3846)	A
	Head-on situation	5.2232(1.5046)	A
	Crossing 090°	5.0661(1.4361)	B
	Crossing 045°	5.0283(1.4424)	C
	Overtaking	4.5936(1.5756)	D

3.3 선박의 좌/우현별 분석

타 선박이 어느 쪽 현에 있는지에 따른 주관적 위험도를 파악하기 위해 일원배치 분산분석을 이용하여 각 선박의 현측 별 주관적 위험도에 대한 평균의 차이 존재 여부에 대해 분석하였다.

Table 5에서와 같이 분산분석 결과 P-값이 0.05보다 매우 작아 통계적으로 유의수준 5%에서 선박의 우현 좌현에 선박이 존재함에 따라 주관적 위험도가 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 5. Result of analysis of variance depending on ship's side

Factor	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Port/Stbd	1	83.0418	83.0418	40.96 (<0.0001)
Residual	98514	199710.66	2.0272	
Total	98515	199793.70		

Table 6의 다중비교 분석 결과 본선의 좌현에 선박이 있는 경우가 우현에 선박이 있는 경우 주관적 위험도를 더 크게 느끼는 것으로 나타났다. 즉 유지선의 선박운항자가 피항선의 선박운항자보다 주관적 위험도를 더 크게 느낀다는 것이다. 이는 피항선의 선박운항자는 상대선인 유지선의 진로를 확실하게 피할 수 있도록 가능한 한 조기에 충분한 동작을 취하여야 하기 때문에 자선의 행위로 인한 피항이 가능하므로 주관적 위험도를 적게 느끼는 것으로 사료된다. 유지선인 우현에 있는 선박은 상대선인 피항선이 속도와 침로를 변경하여 유지선의 진로를 피항할 의무가 있음에도 불구하고 피항선이 이를 지키지 않고 계속 가까이 접근하였기 때문에, 피항선의 동작만으로 충돌을 피할 수 없다고 판단할 때에는 충돌을 피하기 위한 최선의 협력동작을 취하여야 하므로 유지선의 선박운항자가 느끼는 주관적 위험도가 높은 것으로 보인다.

Table 6. Result of multiple comparison depending on ship's side

Factor		Risk	
		Average (SD)	Grouping
Side	Port	5.1366 (1.4179)	A
	Starboard	5.0785 (1.4296)	B

3.4 항계내외에 대한 분석

선박이 항계내외에 따른 주관적 위험도를 파악하였다.

Table 7에서 알 수 있듯이 P-값이 0.05보다 매우 작아 통계적으로 유의수준 5%에서 항계 범위에 따라 주관적 위험도가 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 7. Result of analysis of variance depending on harbor limit

Factor	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Harbor limit	1	155.03	155.03	72.38 (<0.0001)
Residual	130434	279367.88	2.1418	
Total	130435	279522.91		

Table 8의 다중비교 분석결과 항계 내가 항계 밖보다 더 큰 주관적 위험도를 느끼는 것으로 나타났다. 항계 내의 경우 항로가 협소하고 운항하는 선박도 많으며 부두나 방파제와 같은 구조물도 있어 선박조선에 많은 제약이 따르는 것이 이러한 제약조건이 상대적으로 덜한 항계 밖보다 주관적 위험도를 많이 느끼는 것으로 사료된다.

Table 8. Result of multiple comparison depending on harbor limit

Factor		Risk	
		Average (SD)	Grouping
Harbor limit	within harbor	5.0949 (1.4476)	A
	outside harbor	5.0259 (1.4791)	B

3.5 타 선박과의 속력 분석

타 선박과의 속력에 따른 주관적 위험도의 차이를 파악하기 위해 본선이 타선과의 속력차가 없는 경우 그리고 빠르거나 느린 경우에 따른 가정하여 주관적 위험도를 파악하였다.

분산분석 결과 Table 9에서 알 수 있듯이 P-값이 0.05보다 매우 작아 통계적으로 유의수준 5%에서 타선과의 속력에 따라 주관적 위험도가 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 9. Result of analysis of variance depending on speed with other ship

Factor	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Speed with other ship	2	538.84	269.42	125.42 (<0.0001)
Residual	130433	278984.07	2.1389	
Total	130435	279522.91		

Table 10의 다중비교 분석결과 타선과의 속도가 비슷할 경우가 가장 큰 주관적 위험도를 느끼며, 타선보다 속도가 느린 경우에 작은 주관적 위험도를 느끼는 것으로 나타났다.

해상에서 속도가 일정하고 컴퍼스방위에 변함이 없으면 충돌한다고 가정한다. 따라서 선박운항자는 속도가 비슷하면서 컴퍼스방위에 변함이 없을 경우 주관적 위험도를 더 크게 느끼게 된다. 반면 자선의 속도가 타선보다 빠르거나 느릴 경우에는 상대선의 후미로 침로를 변경하거나 선박을 한 바퀴 선회하는 등의 조치를 취해 주관적 위험도가 낮다고 느낄 수가 있다. 타선과의 속도에서 속도가 빠를 경우에 주관적 위험도가 느릴 경우보다 약간 높게 나타난 것은 선박의 속도가 빠르면 빠를수록 당시의 상황이 빨리 전개가 되기 때문에 위험도를 더 높게 느끼는 것으로 사료된다.

Table 10. Result of multiple comparison depending on speed with other ship

Factor		Risk	
		Average (SD)	Grouping
Speed	Same as other ship	5.2730 (1.4631)	A
	Faster than other ship	5.0705 (1.4706)	B
	Slower than other ship	5.0177 (1.4543)	C

3.6 항계내외에서 타 선박과의 속력차 분석

선박을 운항하는 선박운항자들은 항계 내와 항계 밖에서의 여러 가지 사정으로 인해 주관적 위험도를 다르게 느낄 수 있다. 따라서 이 설문에서는 항계 내 또는 항계 밖에서 조우 형태 별로 그리고 항계 내에서는 상대 속력차이를 0, 2, 4 knots로 가정하였고 항계 밖에서는 이보다 큰 3, 6, 9 knots로 가정하여 선박운항자의 주관적 위험도를 파악하였다.

설문 결과 Table 11에서 알 수 있듯이 P-값이 0.05보다 매우 작아 통계적으로 유의수준 5%에서 타선과의 속력차에 따라 주관적 위험도가 차이가 있는 것으로 알 수 있으며 Table 12의 다중비교 분석결과 타선과의 속력차가 0 knot의 경우가 가장 높은 주관적 위험도를 나타낸 반면 타선과의 속력 차가(3, 6, 9 knots)일 경우 낮은 위험도를 나타냈다.

Table 11. Result of analysis of variance depending on speed difference with other ship

Factor	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Speed difference with other ship	5	565.93	113.18	52.92 (<0.0001)
Residual	130430	278956.98	2.1387	
Total	130435	279522.91		

Table 12에서 보는 바와 같이 항계 밖의 속력차(3, 6, 9 knots)는 항계 내의 속력차(0, 2, 4 knots)에 비해 같은 그룹으로 조사되어 항계 밖에서는 타선과의 속력차가 선박운항자들의 위험도에 별 영향을 미치지 못하는 것으로 조사되었다.

Table 12. Result of multiple comparison depending on speed difference with other ship

Factor			Risk	
			Average (SD)	Grouping
Speed difference	Within harbor	Speed difference (0 knot)	5.2730 (1.4631)	A
		(2 knots)	5.0941 (1.4137)	B
		(4 knots)	5.0733 (1.3993)	B
	Outside harbor	(3 knots)	5.0319 (1.4786)	C
		(6 knots)	5.0298 (1.4361)	C
		(9 knots)	5.0031 (1.5619)	C

3.7 타 선박과의 거리 분석

Table 13에서 알 수 있듯이 P-값이 0.05보다 매우 작아 통계적으로 유의수준 5%에서 타선과의 거리에 따라 주관적 위험도가 1 NM과 2 NM 일때 차이가 있는 것을 알 수 있으며 Table 14의 다중비교 분석결과 타선과의 거리가 가까우면 주관적 위험도가 매우 높아짐을 알 수 있다. 타선과의 거리가 가까우면 가까울수록 선박의 충돌 위험도는 커지기 때문에 주관적 위험도가 높다는 것을 알 수 있다.

Table 13. Result of analysis of variance depending on distance with other ship

Factor	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Distance with other ship	1	6118.84	6118.84	2919.14 (<0.0001)
Residual	130434	273404.07	2.0961	
Total	130435	279522.91		

Table 14. Result of multiple comparison depending on distance with other ship

Factor		Risk	
		Average (SD)	Grouping
Distance with other ship	distance(1 NM)	5.2761 (1.4481)	A
	distance(2 NM)	4.8429 (1.4475)	B

3.8 위험도 평가 모형

본 연구에서는 주관적 위험도 평가모형을 위해 가변수 회귀 모형(Regression model with dummy variables)을 이용하였다. 본 연구는 실험계획에 의해 다양한 실험조건에서의 선박운항자가 느끼는 주관적 위험도를 평가하는 최종 모형을 개발하였으며 설명변수로서 대부분 범주형 자료를 이용하였기에 기존의 연속형 설명변수에 대한 선형회귀모형에서 사용되는 다중공선성 등과 같은 모형의 타당성 검토는 논의가 필요하지 않으며, 모형의 적합성 검토를 위해 가변수로 사용된 설명변수들이 종속변수를 설명하는데 적합한 모형인지를 판단하기 위해 Table 15와 같이 모형의 적합성 여부를 F-값과 P-값으로 판단하였으며, P-값이 유의수준 5%에서 매우 작아 설명변수들이 종속변수를 잘 설명하고 있다고 판단할 수 있다.

Table 15. Model adequacy

Source	DF	SSE	MSE	F-value (P-value)
Model	11	17601.18	1600.108	796.77 (<.0001)
Error	130424	261921.7	2.0082	
C. Total***	130435	279522.9		

*** C. Total : Corrected Total

Table 16. Evaluation model for subjective risk

Parameter	Estimate	SE	t-value	P-value
Intercept	4.9450	0.021505	229.94	<.0001
Length	0.0025	4.79E-05	54.03	<.0001
Crossing 045°	0.4687	0.014484	32.36	<.0001
Crossing 090°	0.5044	0.014497	34.8	<.0001
Crossing 135°	0.6653	0.014517	45.83	<.0001
Head-on situation	0.6303	0.015868	39.73	<.0001
Starboard	-0.0577	0.00903	-6.4	<.0001
Within harbor	0.0610	0.008634	7.07	<.0001
Speed with other vessel(same)	0.1812	0.018506	9.79	<.0001
Speed with other vessel(slow)	-0.0585	0.008145	-7.19	<.0001
Speed difference with other vessel	-0.0049	0.001939	-2.54	0.011
Distance with other vessel	-0.4330	0.007848	-55.18	<.0001

SE : Standard Error

Table 16은 선박운항자의 주관적 위험도 평가 모형을 정리한 것이다. Table 16에서 보는 바와 같이 선박의 전장, 타선과의 속력차, 타선과의 거리를 연속형 변수로 정의하였다. 본선의 길이와는 무관하게 마주치는 각, 우현/좌현 여부, 항계 내/밖 여부, 타선과의 속력차이 여부를 범주형 변수로 설정하였다. Table 16의 추정값을 이용하여 본 연구에서 해상 위험도 산정을 위한 모형은 식(1)과 같다.

$$R_i = 4.9450 + 0.0025 \times LT_i + 0.4687 \times CR_{45,i} + 0.5044 \times CR_{90,i} + 0.6653 \times CR_{135,i} + 0.6303 \times HO_i - 0.0577 \times SB_i + 0.0610 \times WH_i + 0.1812 \times S_{same,i} - 0.0585 \times S_{slow,i} - 0.0049 \times SD_i - 0.4330 \times D_i \quad (1)$$

여기서, LT 는 선박의 전장, CR_{45} , CR_{90} , CR_{135} , HO 는 각각 선박 조우별 형태를 나타내면 각 형태에 따라 0과 1의 값을 가지는 이분형 자료이다. SB 는 우현일때 1을 가지면 좌현 일때는 0을 가지며, WH 는 항계 안 일때 1, 항계 밖 일때 0을 가지는 이분형 자료이다, S_{same} , S_{slow} 는 타선과의 속력에 대한 이분형 자료이다. SD 는 타선과의 속력차, D 는 타선과의 거리인 연속형 자료이다.

예를 들면, 선박의 길이가 65미터, 마주치는 각이 045°, 좌현이며, 항계 내, 타선과의 속력이 느리며, 타선과의 속력차가 2

knots, 타선과의 거리가 1.2 NM 일 때의 주관적 위험도는 다음과 같이 계산된다.

$$R = 4.9450 + 0.0025 \times 65 + 0.4687 \times 1 + 0.0610 \times 1 - 0.0585 \times 1 - 0.0049 \times 2 - 0.4330 \times 1.2 = 4.6414$$

Table 15에서 범주형 변수의 경우 참조 범주의 모수의 추정값은 0으로 고정되며, 참조 범주에 비해 상대적으로 참조 범주 이외의 값이 종속변수에 얼마나 영향을 미치는 지 알 수 있다. 예를 들어 선박의 조우형태에 따른 변수에서 참조 범주로 추월(Overtaking)을 선택하였으며 그 외 범주인 마주치는 각 045°-135°와 정면으로 마주치는 경우에 대한 상대적 위험도의 크기를 확인할 수 있다. 따라서 Table 15에서 추월 범주는 통계적으로 추정되지 않으며 마주치는 각 045°는 추월에 비해 0.4687만큼 주관적 위험도가 높아짐을 알 수 있다.

모형 구축 결과 연속형 변수의 경우 선박의 전장이 길수록 주관적 위험도를 높게 느끼며, 타선과의 속력차이가 클수록 위험도는 낮아지고, 타선과의 거리가 멀수록 역시 위험도는 낮게 평가 되었다.

4. 결론

우리나라 연안 해역은 영해 내에서만 매년 738건 이상의 해양사고가 발생하고 있다. 이러한 해양 사고 예방 및 절감을 위하여 위험도 식별 등을 정성적으로 식별하고 대책 안을 마련하고 있지만 이러한 대책 안이 우리나라 선박운항자의 위험도를 어느 정도로 감소시키는지에 대한 정량적으로 예측할 수 있는 해상교통위험도 모형 개발이 시급하다.

이 연구는 해상교통위험도 모형을 제안하기 위하여 선박운항자 의식조사를 실시하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

(1) 타선의 선박 길이가 클수록, 본선의 우현보다는 좌현에 존재할수록, 타선과의 상대거리가 가까울수록, 항계내에 있을수록, 타선박과의 속력차가 없을수록 위험도가 증가하는 것을 알 수 있었고 통계적으로 검증하였다.

(2) 타선과의 조우상황별 위험도가 상이하어 조우각이 135°, 90°, 045°, 추월의 순으로 선박운항자의 위험도가 높은 것을 알 수 있었다.

(3) 타선과의 선박길이별, 조우상황별, 속력차이별, 거리별, 항계내외별 등의 파라미터를 이용하여 해상교통위험도를 정량적으로 산정할 수 있는 모형식을 제안하였다. 이 모형식을 통해 우리나라 선박운항자들이 느끼는 주관적 위험도를 정량적으로 예측할 수 있는 해상교통위험도 기초 모형을 도출할 수 있었다.

추후에는 선박조종시뮬레이션 실험을 통한 선박운항자 위험도 의식조사를 실시하여 상호 비교하여 보고, 해상교통위험도 표시 시스템 등에 이식하여 모형의 신뢰성을 더욱 향상시켜야 할 것이다.

후 기

본 논문은 국토해양부 국토해양기술연구개발사업 중 “해상교통안전성평가모델 기술개발” 사업에서 지원한 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

- [1] 박영수, 정재용, 김종성(2010), 선박운항자 안전 의식에 기초한 선박통항 최소 이격거리에 관한 연구, 해양환경안전학회지, 제16권, 제4호, pp. 401-402.
- [2] 박진수, 박영수, 이형기(2010), 해상교통공학, 다솜출판사, p. 138.
- [3] Kim, D. W., J. S. Park, Y. S. Park(2011), Comparison Analysis between the IWRAP and the ES Model in Ulsan Waterway, The Journal of Navigation and Port Research, vol. 35, No. 4, pp. 281-282.

원고접수일 : 2011년 08월 01일

원고수정일 : 2011년 09월 05일 (1차)

: 2011년 09월 19일 (2차)

게재확정일 : 2011년 09월 22일