

선박운항자 해상교통위험도 모형 개발에 대한 연구

허태영¹ · 박영수^{2*} · 김종성²

¹ 충북대학교 정보통계학과, ² 한국해양대학교 운항훈련원

A Study on the Development of Marine Traffic Risk Model for Mariners

HEO, Tae-Young¹ · PARK, Young-Soo^{2*} · KIM, Jong-Sung²

¹ Department of Information and Statistics, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

² Training Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

Abstract

Although Korea's coastal areas increasingly experience marine accident due to frequent ship encounters, increased vessel traffic and large vessel, there is a no specific model to evaluate the navigating vessel's risk for the given situation. The maritime transport environmental assessment is necessary due to the amended marine traffic law. However, marine safety diagnosis is now evaluated by foreign models. In this paper, therefore, we suggest a domestic model catering to and reflecting the characteristics of Korea's costal areas as well as those of vessel navigator's risk. We can evaluate subjective risks using this model, and can establish the model output as maritime risk exposure assessment system. We have performed analyses of variance and multiple comparison to identify the factor affecting subjective risks. As a result, measurable subjective risks of maritime traffic accident based on our suggested model can be expressed using the maritime risk exposure assessment system with geographic information system.

최근 우리나라 연안 해역에서는 선박 간의 빈번한 조우 상황, 선박 교통량 증대 및 대형화로 인해 해양사고의 잠재 위험이 증가하고 있지만 이러한 통항 선박의 위험도를 평가할 수 있는 모형은 개발되어 있지 않는 실정이다. 또한 개정된 해상교통안전법에서는 해상교통 환경평가를 실시하도록 요구하고 있지만 이 진단 또한 외국평가모델에 의해 평가를 하고 있어 실제 우리나라 연안 해역 특성 및 선박운항자의 위험도 인식이 반영된 모델이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 설문분석을 통해 선박운항자가 운항 중 처해 있는 상황에 대하여 선박운항자가 느끼는 주관적 위험도 인식에 대한 모형을 개발하고 해상위험도 표출시스템에 이식하기 위한 연구이다. 다양한 요인들에 대해 분산분석과 다중비교 분석을 통해 주관적 위험도에 대한 요인들의 영향력을 통계적으로 확인하였다. 본 연구에서는 이와 같은 분석결과를 토대로 해상교통위험도를 측정할 수 있는 모형을 개발하고, 이를 통해 지리정보시스템 기반의 해상 위험도 표출 시스템에 적용하여 운항중인 선박에 대한 위험정도를 화면상에 표출하여 선박운항자들로 하여금 미리 위험을 회피하고자 하는데 활용될 수 있다.

Key Words

Analysis of Variance, Marine Transportation, Regression Model, Risk, Subjective Risk
분산분석, 해상교통, 회귀모형, 위험도, 주관적 위험

* : Corresponding Author

youngsoo@hhu.ac.kr, Phone: +82-51-410-5085, Fax: +82-51-410-5085

Received 24 April 2012, Accepted 29 August 2012

1. 서론

최근 5년(2005-2009년)간 우리나라 연안 해역(영해 내)에서 발생한 해양사고는 전체 해양사고의 70.0%를 차지할 정도로 연안 해역에서의 해양사고 발생 잠재위험이 높은 것으로 판단된다. 또한 연안 해역 바깥에서 발생하는 해양사고도 적지 않아 5년간 총 710건이 발생(원양, 동남아, 일본수역 제외)하였으며, 매년 약 142건의 해양사고가 영해 바깥 해역에서 발생하고 있다(해양안전심판원, 2010). 또한 우리나라에서는 활발한 항만 확장 및 신항만 개발, 해상매립 등으로 인하여 선박 통항수역이 지속적으로 감소하고 있다. 그리고 항만물동량의 지속적인 증가로 인해 최근 10년간 항만으로의 입출항척수가 매년 약 1.5% 증가함에 따라 우리나라 연안 해역에서의 선박간의 교차 빈도가 더욱 많이 발생하고 선박 대형화에 따라 선박간의 잠재적인 통항 위험성이 증가할 것으로 예상된다(MLTMA, 2011). 하지만 이러한 우리나라 해상에서의 통항선박이 처해진 상황에 대한 위험도를 평가할 수 있는 모형이 개발되어 있지 않다(Kim, 2011).

그리고 최근 우리나라에서는 해상교통안전법 개정을 통하여 해상공사 등에 해상교통 환경평가를 법에 기초하여 실시하도록 요구하고 있지만 이 진단 시 현재 외국평가모델에 의한 평가를 요구하고 있어, 위험도 평가를 위한 우리나라 연안해역 실정 및 선박운항자 위험도 인식이 반영된 모형이 필요한 실정이다(KMST, 2010).

위험도 평가는 위험의 관리에서 가장 중요한 과정으로, 확인된 제반현황에 대해 정확한 분석과 정밀한 평가가 이루어져야 한다. 일반적으로 위험도 평가의 분석방법은 위험도 평가를 위한 자료기반의 객관적 분석 및 평가와 설문 자료를 통한 주관적 분석 및 평가로 구분할 수 있다.

교통안전평가모형에 대해 육상교통 중 도로 및 철도의 위험도 평가 모형은 많은 연구가 진행되었으며 현재도 진행되고 있다(Kang, 1997; Kang et al. 2002; Kang et al., 2002; Park et al., 2009; Lee et al., 2009; Lee et al., 2000; Caliendo et al., 2007; Jovanis, 1986; Miaou, 1994; Oppe, 1989; Rail Safety and Standard Board, 2004).

대표적으로 육상도로 안전성 평가를 위해 KOTI(2003)에서는 교통사고예측 모형을 통해 육상도로의 안전성 평가방법에 대한 연구를 수행하여 교통사고의 원인과 심각성을 과학적으로 분석하여 사고다발지점의 파악

과 안전성을 평가하였다. 또한 철도의 위험도 평가를 위해 Park et al. (2009)은 철도 사상사고 위험도 평가 모형의 개발을 통해 철도 사상사고 위험요인을 분석하고 평가하는 연구를 수행하였다.

해상안전성 평가에 대한 국외 대표 연구로는 USCG(2009)에서 전문가 그룹에 의한 위험항목을 정성적으로 도출하여 그 위험에 대한 기준을 설정한 모형으로 항만의 위험성을 평가하였다. 또한 Peter (2008)는 특정항로를 대상으로 교통조건과 수심, 항로폭 등을 이용하여 선박의 충돌 발생 및 좌초 발생 위험 확률을 산출하여 항로의 위험성을 평가하는 연구를 수행하였다. 또한 Inoue et al. (2000)은 선박의 조종성능 중 최단정지거리를 이용하여 선박의 충돌확률을 계산하여 선박의 위험도를 평가하는 연구를 수행하였다. 국내 연구로 Lee et al. (2009)은 선박 통항 관계구역내의 해양사고 통계분석을 통하여 통항선박의 일교통량과 교통사고와의 유효성 관계를 검증하였으며 해상교통사고 발생 건수를 예측하는 연구를 수행한 바 있다. Kim et al. (2011)은 선박의 조우형태를 고려하여 해상교통 위험도 평가모형을 개발하였다. 하지만 이와 같이 해상교통안전에 대한 연구는 앞서 설명한 육상교통안전연구에 비하면 매우 미진한 수준이다. 그러므로 보다 실질적인 해상교통안전연구 수행을 위해 본 연구는 자료기반의 육상교통 안전모형과는 달리 선박운항자의 설문조사를 이용한 주관적 위험도 평가 모형을 개발하였다. 이는 육상교통부문에 비해 안전연구수행을 위한 기반자료부족과 해상교통사고의 다양성 및 특수성을 반영하기 위함이다.

따라서 본 연구에서는 선박운항자가 운항 중 처해 있는 상황에 대하여 선박운항자가 느끼는 주관적 위험도 인식에 대한 모형개발을 위한 것으로 해상위험도에 영향을 주는 요인들에 대한 설문분석을 통해 개발하고자 한다.

Figure 1에서 보여주듯이 각 상황들에 대해 다양한

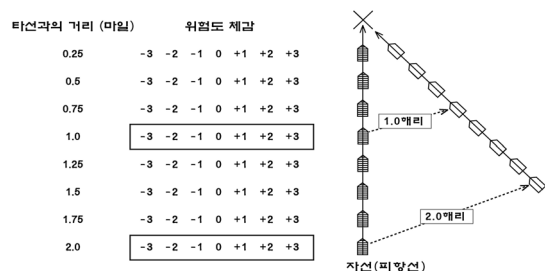


Figure 1. Example of survey form

Table 1. Contents of survey

Main contents	Details of contents
Recently on board ship	① Kind of vessel ② Gross Tonnage ③ Length(LOA) ④ Width
Personal information	① Age ② On board carrier ③ Licence ④ Position
Risk while at sea	① Write in ranking of risk while entering/leaving in port ② Write in the factor of risk while at sea
Vessel navigator's risk	7 points scale depending on ship's circumstances [7: extremely danger, 6: considerably danger, 5: a little danger, 4: neither danger nor safe, 3: a little safe, 2: considerably safe, 1: extremely safe]

수준별로 위험도를 직책에 대해서 운항 중에 타 선박과 어떠한 각도(Overtake, Head-on, Crossing(좌/우현 045°, 090°, 135°))로 조우하며 그리고 설문지에서 주어졌던 각 거리에서 선박운항자들이 타선과의 거리에서 느끼는 본선의 해상 위험도를 7점 척도로 주관적 평가를 통해 얻어진 자료를 통해 분산분석과 다중비교 분석을 통해 요인들의 차이를 평가하고 주관적 위험도 지표를 계산할 수 있는 모형을 구축하고자 한다.

II. 설문지 및 자료 설명

1. 설문조사 및 설문지 구성

본 연구는 선박운항자가 운항 중 선박의 제반 사항으로부터 느끼는 위험도 인식에 대한 모형 개발을 위한 것으로 설문문항 구성은 선박 종류, 총톤수, 길이, 선폭, 연령, 승선 경력, 소지면허, 직책에 대해서 운항 중에 선박운항자들이 느끼는 위험도를 7점 척도(7: 극도로 위험-1: 극도로 안전)로 위험도 체감을 표시하였으며, 설문지 구성에 대한 자세한 내용은 Table 1과 같다.

2. 자료 설명

본 연구에서 사용된 변수 또는 요인들은 해상 위험도에 영향을 미치는 중요한 요인들로 알려진 선박의 종류, 톤수별 선박 길이별, 선박의 폭별, 승선 경력별, 소지 면허별, 직책별로 해상위험도에 미치는 영향을 파악하였다. 본 연구에서는 Table 2에서와 같이 선박의 종류는

Table 2. Categories of survey coding

coding category	id	contents
type	1	fishing vessel
	2	container ship
	3	pure car carrier
	4	tanker
	5	LNG/LPG carrier
	6	passenger ship
	7	towing vessel
	8	other cargo ship
ton	1	less than 500 ton
	2	500-1,000 ton
	3	1,000-3,000 ton
	4	3,000-5,000 ton
	5	5,000-7,000 ton
	6	7,000-10,000 ton
	7	10,000-15,000 ton
	8	15,000-20,000 ton
	9	20,000-25,000 ton
	10	25,000-30,000 ton
	11	30,000-50,000 ton
	12	50,000-60,000 ton
	13	60,000-75,000 ton
	14	75,000-100,000 ton
	15	over 100,000 ton
length	1	50-70m
	2	70-90m
	3	90-108m
	4	108-123m
	5	123-140m
	6	140-160m
	7	160-185m
	8	185-205m
	9	205-223m
	10	223-243m
	11	243-259m
	12	259-277m
	13	277-293m
	14	over 293m
width	1	less than 10m
	2	10-15m
	3	15-20m
	4	20-25m

8가지, 톤수는 15가지, 선박 길이는 14가지, 선박의 폭은 10가지, 승선 경력은 5가지, 소지 면허는 4가지, 직책은 5가지로 구분하고 있다. Table 2는 통계분석의 해석에서 활용되기에 제시하였으며 본 통계분석은 SAS 9.2의 GLM 프로시저 및 다양한 옵션 등을 이용하였다(SAS, 2004).

Table 2. Categories of survey coding(continued)

coding category	id	contents
width	5	25-30m
	6	30-35m
	7	35-40m
	8	40-45m
	9	45-50m
	10	over 50m
career	1	less than 1 year
	2	1-3 years
	3	3-5 years
	4	5-10 years
	5	over 10 years
license	1	merchant 1 class
	2	merchant 2 class
	3	merchant 3 class
	4	merchant 4 class
position	1	captain
	2	chief officer
	3	2nd officer
	4	3rd officer
	5	others

III. 통계분석

1. 선박특성에 따른 위험도 분석

해상교통안전성 평가 모형의 개발을 위해 총 183편의 설문지를 통해 선박 통항 시 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 하며, 본 연구에서는 각 요인별로 분산분석을 통해 각 요인별 주요 영향을 분석하고 적용 방안을 제시하고자 하였다. 분산분석은 세 집단 이상의 평균을 비교하는 분석법이며, 분산분석을 통해 각 집단 간의 차이를 확인할 수 있었다. 집단 간의 차이에 대한 세부분석, 특히 과연 어떤 집단들 간에 차이가 존재하는지에 대한 방법으로 다중비교를 실시하였으며 그 결과는 Table 3에 제시하였으며 해석결과는 다음과 같다.

선박의 형태별 주관적 위험도의 평균 차이 존재 여부에 대한 분산분석 결과 $F\text{-값}=236.01(p\text{-값}<0.0001)$ 로 각 선종별로 주관적 위험도가 차이가 있는 것으로 나타났다. 분산분석을 통해 각 형태별로 주관적 위험도가 차이가 있음이 통계적으로 유의하기 때문에 다중비교(multiple comparison, MC) 방법중 던컨(Duncan)

Table 3. Results of ANOVA and MC for variables

factor	risk		F-value (p-value)	
	mean	category		
type	type5	5.346	A	236.01 (<0.0001)
	type4	5.093	B	
	type3	5.069	B	
	type7	5.020	BC	
	type8	5.015	BC	
	type2	4.967	C	
	type1	4.763	D	
	type6	3.835	E	
ton	ton14	5.517	A	390.29 (<0.0001)
	ton15	5.326	B	
	ton7	5.303	B	
	ton3	5.219	C	
	ton8	5.114	D	
	ton13	5.026	E	
	ton1	4.980	EG	
	ton5	4.943	GF	
	ton12	4.938	GF	
	ton11	4.901	G	
	ton4	4.884	G	
	ton10	4.736	H	
	ton9	4.592	I	
	ton6	4.51	J	
ton2	4.098	K		
length	length6	5.8529	A	185.53 (<0.0001)
	length10	5.5377	B	
	length12	5.5050	BC	
	length11	5.4862	C	
	length2	5.2202	D	
	length13	5.2149	D	
	length14	5.0693	E	
	length3	4.9740	F	
	length4	4.9474	F	
	length7	4.8379	G	
	length5	4.6356	H	
	length1	4.4564	I	
	length8	4.2511	J	
width	width10	5.3841	A	193.12 (<0.0001)
	width1	5.2160	B	
	width8	5.1893	B	
	width9	5.0817	C	
	width3	4.9999	D	
	width6	4.9732	D	
	width4	4.9571	D	
	width5	4.8716	E	
	width7	4.8309	FE	
	width2	4.7930	F	

방법을 통해 각 형태별로 주관적 위험도의 차이가 어떻게 존재하는지 분석하였다. 다중비교 분석결과에서 알파벳이 같은 범주는 집단의 차이가 존재하지 않음을 이야기 한다. 따라서 Table 3에서와 같이 선박의 형태인 선

Table 4. Results of MC by type of ship

factor		risk		F-value (p-value)
		mean	category	
career	career5	5.1599	A	193.12 (<0.0001)
	career3	5.1459	AB	
	career1	5.1246	B	
	career4	4.9484	C	
	career2	4.8846	D	
license	license1	5.1849	A	316.28 (<0.0001)
	license3	5.0669	B	
	license4	5.0465	B	
	license2	4.5860	C	
position	position3	5.2395	A	232.75 (<0.0001)
	position2	5.0759	B	
	position1	5.0664	BC	
	position5	5.0388	C	
	position4	4.8862	D	

종에 따라서는 선종5의 경우가 가장 높은 주관적 위험도를 나타내며, 선종4,3,7,8은 하나의 같은 범주로, 선종7,8,2가 하나의 범주로 나타난다. 결과적으로 선종5가 가장 높은 주관적 위험도를 제공하는 반면에 선종6이 가장 낮은 주관적 위험도를 제공하는 것으로 나타났다. 여객선의 경우 다른 선박들보다 월등히 빠른 속도로 운항을 하면서 선회, 급정지 등과 같은 조종성능이 다른 선박들보다 가장 뛰어나 낮은 위험도를 제공하는 것으로 해석할 수 있다.

선종5인 LNG/LPG선은 폭발위험이 매우 큰 위험화물을 운송하고 있어 다른 선박 운항자들이 근접 운항을 회피하고 있으며, 유조선과 자동차전용선과 같이 조종성능이 불량한 선박의 경우가 조종성능이 뛰어난 여객선보다 상대적으로 주관적 위험도가 큰 것으로 나타났다. 또한 예부선(선종7) 및 기타 화물선(선종8)의 경우에는 속도가 늦고 다른 선박 운항 종사자들이 추월이나 방향 선회와 같은 방법으로 먼저 회피 동작을 취하기 때문에 상대적으로 주관적 위험도가 낮은 것으로 풀이된다.

선박의 총 톤수에 대한 분산분석 결과 유의수준 5%에서 통계적으로 선박의 총 톤수에 따라 선박 운항자들이 느끼는 주관적 위험도가 다르다는 것을 알 수 있으며, 다중비교 분석 결과 75,000-100,000톤 이상(총톤수14)의 선박이 가장 높은 주관적 위험도를 제공하는 반면에 500톤 이상-1000톤 미만(총톤수2)의 선박 운항자들이 가장 낮은 주관적 위험도를 제공하는 것으로 나타났다. 이는 대형 선박일수록 선박 운항자는 주관적 위험도를 높게 느끼고 있다는 것을 알 수 있으며 총톤수 500-1,000톤 인 여객선 등과 같은 선박의 경우 비교적

Table 5. Final model for evaluating the subjective risk

parameter	estimate	standard error	t-value	p-value
Intercept	4.98911	0.03769	132.38	<.0001
type2	-0.32482	0.01673	-19.42	<.0001
type4	-0.07585	0.01358	-5.58	<.0001
type5	0.31146	0.01898	16.41	<.0001
type6	-1.59086	0.06405	-24.84	<.0001
ton1	0.82159	0.05156	15.93	<.0001
ton3	1.85391	0.31641	5.86	<.0001
ton4	-0.10418	0.03157	-3.3	0.001
ton5	-0.31368	0.02995	-10.47	<.0001
ton6	-0.69187	0.03273	-21.14	<.0001
ton7	-0.06833	0.03204	-2.13	0.033
ton8	-0.1518	0.03339	-4.55	<.0001
ton9	0.16766	0.03847	4.36	<.0001
ton10	-0.15523	0.02847	-5.45	<.0001
ton11	-0.69628	0.02355	-29.56	<.0001
ton13	-0.4171	0.01863	-22.39	<.0001
ton14	0.29215	0.0162	18.04	<.0001
length1	-1.21471	0.04227	-28.74	<.0001
length2	-2.06879	0.31779	-6.51	<.0001
length3	-0.37712	0.02417	-15.6	<.0001
length6	0.8755	0.03395	25.79	<.0001
length7	-0.29152	0.02956	-9.86	<.0001
length8	-0.71834	0.02708	-26.53	<.0001
length9	0.77695	0.03296	23.58	<.0001
length10	0.28005	0.02627	10.66	<.0001
length11	0.94693	0.02437	38.86	<.0001
length13	0.22585	0.02017	11.2	<.0001
width1	0.53251	0.04061	13.11	<.0001
width3	0.19183	0.02278	8.42	<.0001
width4	-0.30455	0.03007	-10.13	<.0001
width5	0.33592	0.02604	12.9	<.0001
width6	0.05759	0.01576	3.65	0.0003
width7	0.23387	0.04382	5.34	<.0001
width9	-0.34088	0.01609	-21.19	<.0001
width10	-0.06163	0.02099	-2.94	0.0033
career1	-0.07162	0.02359	-3.04	0.0024
career2	-0.30256	0.02092	-14.46	<.0001
career3	-0.0482	0.01713	-2.81	0.0049
career4	-0.12272	0.01573	-7.8	<.0001
license1	0.19998	0.02678	7.47	<.0001
license2	0.11667	0.02291	5.09	<.0001
license3	0.24662	0.02243	11	<.0001
position1	0.20388	0.02242	9.1	<.0001
position2	0.20043	0.01807	11.09	<.0001
position3	0.30561	0.01948	15.69	<.0001
position4	-0.06197	0.02352	-2.63	0.0084

선박조종이 뛰어난 소형선일수록 주관적 위험도를 낮게 느낀다는 것을 알 수 있다.

선박의 길이에 따른 분산분석 결과 역시 선박의 길이에 따라 선박 운항자들이 느끼는 주관적 위험도가 다르

다는 것을 알 수 있으며 다중비교 분석 결과는 선박 길이 6의 경우가 가장 높은 주관적 위험도를 나타내며, 길이 10, 12, 11이 하나의 범주로, 길이 2, 13이 하나의 같은 범주로, 길이 14, 3, 4가 하나의 범주로 나타난다. 결과적으로 길이 6이 가장 높은 주관적 위험도를 제공하는 반면에 길이 8이 가장 낮은 주관적 위험도를 제공하는 것으로 나타났다.

선박의 선폭에 따른 분산분석 결과 선폭에 따라 선박 운항자들이 느끼는 주관적 위험도가 다르다는 것을 알 수 있으며 다중비교 분석 결과 선폭 10의 경우가 가장 높은 주관적 위험도를 나타내며, 선폭 1, 8이 하나의 범주로, 선폭 3, 6, 4가 하나의 같은 범주로, 선폭 5, 7이 하나의 범주로 나타난다. 결과적으로 선폭 10이 가장 높은 주관적 위험도를 제공하는 반면에 선폭 2가 가장 낮은 주관적 위험도를 제공하는 것으로 나타났다.

선폭의 경우 대형선일수록 선폭이 증가하므로 총톤수에서 느끼는 주관적 위험도와 비슷하게 나왔으며 선폭 1과 8이 같은 주관적 위험도가 나온 것은 선폭 1에 해당하는 소형선으로 주로 소형 어선으로 사료되며 어선의 특성상 선폭에 상관없이 다른 선박의 진로를 어로 작업 중에는 피하지 않아 다른 선박들에게 위험을 주고, 주로 다른 선박들이 회피하기 때문으로 분석된다.

2. 선박운항자의 특성에 따른 위험도 분석

선박특성에 따른 위험도 분석과 함께 선박을 운항하는 운항자의 특성에 따른 위험도 분석을 위해 분산분석과 다중비교를 실시하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4에서와 같이 선박 운항자의 경력 따른 분산분석 결과 선박운항자의 경력에 따라 선박 운항자들이 느끼는 주관적 위험도가 다르다는 것을 알 수 있으며, 다중비교 분석 결과 경력 5의 경우가 가장 높은 주관적 위험도를 나타내며, 경력 3, 1, 4, 2의 순으로 주관적 위험도가 감소하는 것을 알 수 있다. 경력 5에 해당하는 10년 이상의 경력을 가지고 있는 선박 운항자의 경우에는 대부분 선박 운항의 전반적인 책임을 지는 선장에 해당하는 것으로 장기간의 해상생활로 인해 여러 가지 상황에 대한 경험과 그 이후의 결과에 대해 예측을 할 수 있기 때문에 해상 경력이 많을수록 주관적 위험도를 많이 느끼고 있는 것으로 사료되며 경력2에 해당하는 1-3년의 해상생활을 한 경우 여러 가지 상황에 대한 경험과 경력이 부족하고 또한 그 결과로 인한 사후 예측을 할 수

없이 주관적 위험도가 낮다고 풀이된다. 한편 경력 4의 경우에는 선박의 안전운항직무에 대한 자신감을 가질 수 있고 관리급이 될 수 있는 기간이므로 주관적 위험도가 낮다고 사료된다.

선박 운항자의 소지 면허에 따른 분산분석 결과 선박 운항자의 소지 면허에 따라 선박 운항자들이 느끼는 주관적 위험도가 다르다는 것을 알 수 있으며, 소지한 면허 종류에 대한 다중비교 결과 면허 1의 경우가 가장 높은 주관적 위험도를 나타내며, 면허 3, 4는 하나의 범주에, 면허 2가 가장 낮은 주관적 위험도를 가지고 있는 것으로 조사되었다. 승선경력이 다소 풍부한 면허 1에 해당하는 경우, 경력에 대한 주관적 위험도 조사와 마찬가지로의 이유로 주관적 위험도가 높다는 것을 알 수 있으며 최소 승선경력이 2-4년 이상이 필요한 면허 2에 해당하는 경우에 주관적 위험도가 낮게 조사되었다.

선박 운항자의 직책에 따른 분산분석 결과 역시 선박 운항자의 직책에 따라 선박 운항자들이 느끼는 주관적 위험도가 다르다는 것을 알 수 있으며, 다중비교 결과 직책 3의 평균값이 5.1849로 나타나 다른 직책들보다 주관적 위험도가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 초급항해사에 해당하지만 2등항해사는 3등항해사와는 달리 대부분 선장의 도움 없이 직접 그 위험 상황을 극복해 나가야 하기 때문으로 사료된다. 또한 직책 2와 1, 직책 1과 직책 5의 경우는 평균값이 거의 비슷한 위험도를 느끼고 있는 것으로 나타났다. 직책에 따른 주관적 위험도 평가 결과 2등 항해사, 1등 항해사, 선장의 순으로 위험도를 크게 느끼는 것으로 나타났다.

3. 주관적 위험도 평가 모형 개발

1) 주관적 위험도 평가를 위한 통계모형 개발

본 절에서는 이미 수행된 분산분석을 바탕으로 주관적 위험도에 영향을 미치는 다양한 요인들을 통해 회귀모형을 구축함으로써 배가 운항하는 다양한 조건에 따라 해상 위험도를 정량화하여 시스템에 이식하여 선박운항자로 하여금 현재 시점의 상태에서 위험도를 제공함에 있다. 해상위험도 평가모형에서는 배와 운항자의 성격 및 배의 운항형태 변수의 다양한 수준별로 위험도를 7점 단위로 주관적 평가를 통해 얻어진 자료를 통해 모형을 구축하였다. Table 5는 회귀모형을 이용하여 범주형 자료에 대해 더미변수(dummy variable)로 처리하여 해상교통안전도 평가에서 운항을 직접 담당하고 있는 운항

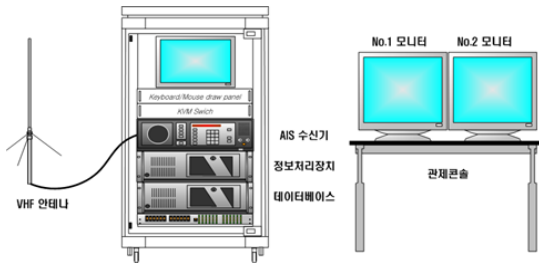


Figure 2. Real-time data acquisition system using automatic identification system

자를 대상으로 한 운항 위험여부에 영향을 주는 요인들에 대한 설문분석을 통해 개발된 모형이다. 개발된 모형 설명은 다음과 같다. 설문문항에서 해상위험에 영향을 미치는 요인들로 선택된 선종별, 톤별, 길이별, 폭별, 속력도, 자격별, 위치별로 해상위험에 미치는 영향을 파악하였다.

Table 5에서 변수들이 범주형 변수이기에 참조 범주의 모수의 추정값은 0으로 고정되어 있어 표에서 제거하였으며 참조범위 이외의 범주의 추정값은 참조변수에

비해 상대적으로 참조 범주 이외의 값이 종속변수에 얼마나 영향을 미치는 지 알 수 있다. Table 5에서 제시

한 모형의 적합도는 유의수준 5%에서 유의하며, 결정계수는 0.1188으로 나타났다.

결론적으로 Table 5의 추정값을 이용하여 본 연구에서 해상 위험도 산정을 위한 모형은 다음과 같다.

$$Risk = 4.98911 - 0.32482 \times type2 - \dots - 0.06197 \times position4 \quad (1)$$

식(1)에서 각 변수에 대한 추정값을 통해 위험도를 산정할 수 있으며, 각 추정값이 양수(+)이면 위험도를 증가시키는 반면에 음수(-)이면 위험도를 감소시킨다. 또한 어떤 변수의 추정값의 크기가 크면 다른 변수들 보다 위험도에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단하면 된다. 최종모형에 대해 자세히 살펴보면, 기타화물선의 형태보다 LNG/LPG선의 위험도가 높은 것으로 나타났다. 총 톤수에 대한 위험도는 총톤수가 10만톤 이상인 선박보다 작은 톤수의 선박이 상대적으로 주관적 위험도가 높은 것으로 나타났으며, 선박의 길이가 길수록 주관적 위험도가 높은 것으로 나타났으나, 선박의 길이가 123-140미터 미만, 223-243미터 미만, 277-293미터 미만의 선박의 경우 주관적 위험도가 높은 것으로 나타났다. 선폭의 경우 예도 대체적으로 선폭이 클수록 주관적 위



Figure 3. Computer monitor snapshot for maritime risk visualization system using final risk evaluation model

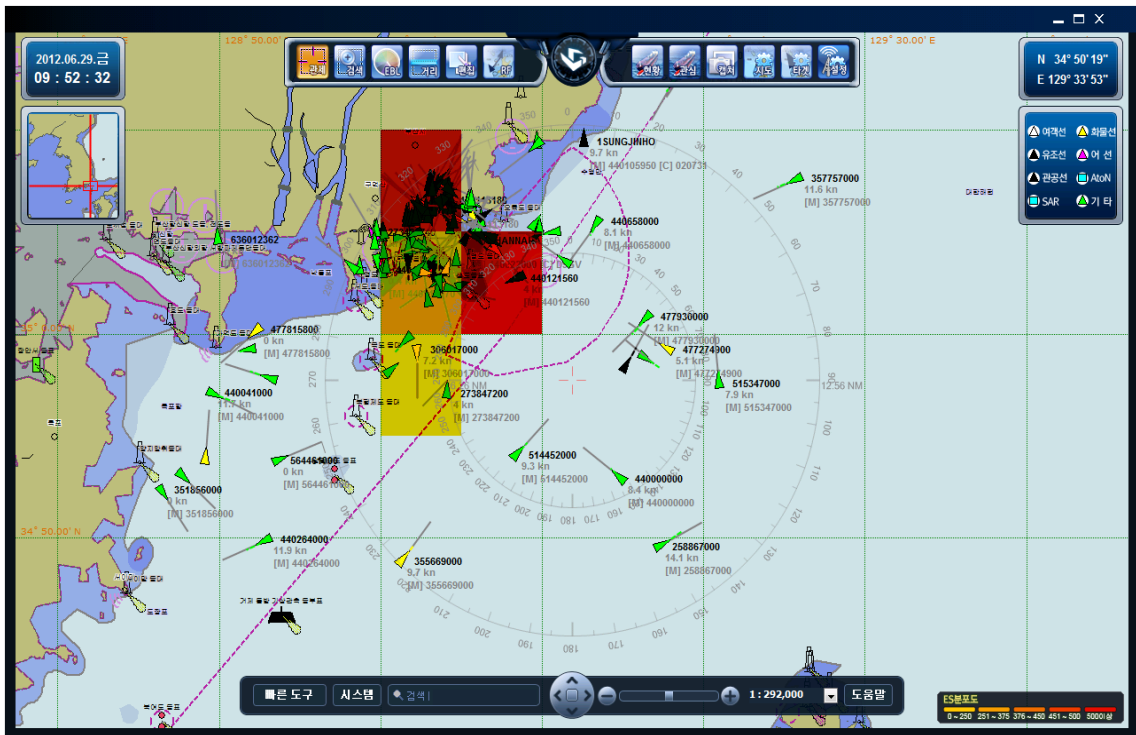


Figure 4. Computer monitor snapshot for maritime risk visualization system using final risk evaluation model

험도가 높은 것으로 나타났다. 선박을 운항하는 선박운항자의 경우 경력이 적을수록 주관적 위험도를 덜 느끼는 것으로 나타나 경력이 짧으면 대체적으로 경험과 사고 이후의 결과에 대한 경험과 지식이 부족하여 나타나는 현상으로 판단된다. 소지면허와 직책의 경우의 경우 면허 등급과 직책이 높을수록 주관적 위험도를 높게 느끼는 것으로 나타나 높은 직급일수록 높은 책임감을 가져 주관적 위험도를 높게 평가하는 것을 알 수 있다.

2) 해상교통 안전성 평가 시스템 개발

선박특성에 따른 위험도 분석과 선박운항자의 특성에 따른 위험도 분석결과를 토대로 개발된 해상교통안전성에 대한 주관적 위험도 평가모형은 연안해역 해상교통안전 환경 구축을 위해 개발된 「해상교통 안전성 평가 시스템」에서 기본 알고리즘으로 사용되었다.

「해상교통 안전성 평가 시스템」에서는 AIS(Automatic Identification System)를 통한 통항선박의 크기, 속력, 선박종류 등의 시계열 데이터를 VHF 안테나로 수집하도록 구축되었으며 Figure 2과 같은 시스템을 통해 수집된 통항선박의 자료는 식(1)을 이용한 해상위험도

산정을 위해 사용되고, Figure 3과 Figure 4와 같은 해상위험도 표출시스템 화면을 통해 표출된다. 또한 운항하는 선박의 형태별, 톤별, 길이별, 폭별 등의 배의 특성과 함께 경력, 자격증, 직책 등과 같은 운항자 특성을 측정하여 해당 상황에 따른 위험도를 계산하여 음영 또는 색의 밝기 등으로 표출할 수 있게 되어 운영자가 선박별 해상교통안전성 평가결과를 쉽게 인지할 수 있도록 구현되었다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

우리나라의 해상은 항만의 입출항척수가 지속적으로 증가하고 있으며 해상매립 등으로 인하여 선박통항의 여유구역이 협소하여 지고 있다. 또한 우리나라 해상에서 발생하는 해양사고의 70%는 연안 해역에서 발생할 정도로 연안해역의 잠재적인 선박 통항위험성이 큰 해역이다. 이러한 해역에 통항하는 선박의 통항위험도를 우리나라 선박운항자의 위험의식이 반영된 모형이 개발되어 있지 않아 현재 외국인의 안전의식이 반영된 외국 모형을 그대로 사용하고 있다.

본 논문은 우리나라 선박운항자의 위험도를 설문조사를 통하여 수집된 데이터를 분산분석과 다중비교 분석을 통하여 요인들을 평가하였다. 또한 선박의 형태, 톤수, 길이, 폭, 승선경력, 소지 면허, 직책별로 구분한 것을 기초로 하여 회귀분석방법을 이용하여 해상교통위험도를 측정할 수 있는 모형을 구축하였다.

최종모형 분석 결과 선박의 형태에서는 LNG/LPG선이 가장 높은 주관적 위험도를 가지는 것으로 나타났으며, 총톤수로 보면 1천톤이상-3천톤 미만의 선박이 가장 높은 주관적 위험도를 가지는 것으로 나타났다. 선박의 길이와 선폭은 259-277미터의 선박, 선폭이 10미터 미만의 선박이 가장 높은 주관적 위험도를 보이는 것으로 나타났다. 또한 승선경력이 많을수록, 소지면허와 직책이 높을수록 주관적 위험도를 크게 느끼는 것으로 나타났다.

이렇게 최종적으로 제안된 주관적 위험도 평가 점수를 회귀모형식을 통하여 해상위험도 표출 시스템에 적용하여 운항중인 선박에 대하여 위험정도를 화면상에 표출할 수 있도록 하였다. 향후에는 선박간의 거리 및 방향에 따른 조우상황별 위험도를 추가하여 모형식을 구성함으로써 더욱 정밀한 모형식을 구축하고자 한다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by a grant from Development of Marine Traffic Safety Assessment Model funded by Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs(MLTM) of Korean government.

REFERENCES

- Caliendo C., Guida M., Parisi A. (2007), A crash - prediction model for multi-lane roads, *Accid. Anal. and Prev.*, Vol.39, pp.657-670.
- Inoue K., Seta H., Kawase M., Park Y. S., Yasuda M., Hara D. et al. (2004), Assessment Model of Ship Handling Safety by Noting Unsafe Situation as an Index, *J. Kansai Soc. of Nav. Archit.*, No.241, pp.205-210.
- Jovanis P., Chang H. (1986), Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled, *Transp. Res. Rec.*, 1068, pp.42-51.
- Kang J. G., Lee S. K. (2002), Traffic Accident Prediction Model by Freeway Geometric Types, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.20, No.4, Korean Society of Transportation, pp.163-175.
- Kang K. W. (1997), Traffic Accidents Analysis on Expressway using Spatial Autoregressive Model, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.15, No.1, Korean Society of Transportation, pp.5-15.
- Kang M. W., Doh T. W., Son B. S. (2002), Fitting Distribution of Accident Frequency of Freeway Horizontal Curve Sections & Development of Negative Binomial Regression Models, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.20, No.7, Korean Society of Transportation, pp.197-204.
- Kim D. W. (2011), A Primary Study on the Development of Evaluation Model for Marine Traffic Safety Assessment, Master thesis, Korea Maritime University.
- Kim J. S., Park Y. S., Heo T. Y., Yong J. J., Park J. S. (2011), A Study on the Development of Basic Model for Marine Traffic Assessment Considering the Encounter Type Between Vessels, *J. Korean Soc. of Mar. Environ. & Saf.*, Vol.17, Issue 3, pp.227-233.
- Korea Maritime Safety Tribunal (2010), Annual Report of Maritime Safety Judgement Instance 해양안전심판사례집.
- Lee D. M., Kim D. H., Sung N. M. (2009), Development of a Accident Frequency Prediction Model at Rural Multi-Lane Highways, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.27, No.4, Korean Society of Transportation, pp.207-215.
- Lee H. K., Chang S. R., Park Y. S. (2009), A Fundamental Study on Advanced VTS System through Statistic Analyzing Traffic Accidents in VTS area, *J. Korean Navig. and Port Res.*, Vol.33, Issue 8, pp.519-524.
- Lee J. H., Lee D. M., Choi J. S. (2000), The Effects of Horizontal Curves on Vehicle Speeds and Accidents, *J. Korean Soc. Transp.*, Vol.18, No.1, Korean Society of Transportation, pp.35-43.
- Miaou S. P. (1994), The Relationship Between Truck

- Accidents and Geometric Design of Road Sections: Poisson Versus Negative Binominal Regressions, *Accid. Anal. and Prev.*, Vol.26, No.4, pp.471-482.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010), *Maritime Safety Audit Guidebook* 알기 쉬운 해상교통 안전진단 제도소개.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011), *Shipping & Port - Internet Data Center*.
- Oppe S. (1989), A Comparison of Some Statistical Techniques for Road Accident Analysis, *Accid. Anal. and Prev.*, Vol.24, pp.397-423.
- Park C. W., Wang J. B., Kim M. S., Choi D. B., Kwak S. L. (2009), Development of Risk Assessment Models for Railway Casualty Accidents, *J. Korean Soc. for Railw.*, Vol.12, Issue 2, pp.190-198.
- Peter F. H. (2008), *IWRAP Mk II Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies*, Technical University of Denmark.
- Rail Safety and Standard Board (2004), *A Statistical Review of the RSSB Safety Risk Model(WP1)*.
- SAS Institute Inc. (2004), *SAS/STAT 9.1*, SAS Institute Inc., Cary, NC.
- The Korea Transport Institute (2003), *A Study of Evaluating the Road Safety Using Accident Prediction Model*, Technical report.
- United States Coast Guard (2009), *Port and Waterways Safety Assessment Workshop*, Technical report.

알림 : 본 논문은 해상교통안전성 평가모델 기술개발 최종보고서(2011.11.30) 수록된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

- ✿ 주 작성자 : 허태영
- ✿ 교신저자 : 박영수
- ✿ 논문투고일 : 2012. 4. 24
- ✿ 논문심사일 : 2012. 6. 17 (1차)
2012. 8. 29 (2차)
- ✿ 심사판정일 : 2012. 8. 29
- ✿ 반론접수기한 : 2013. 2. 28
- ✿ 3인 익명 심사필
- ✿ 1인 abstract 교정필