

## 결함수 분석 (FTA) 기법을 이용한 어선 해양 사고 분석

김수형 · 김형석<sup>1\*</sup> · 강일권<sup>1</sup> · 김욱성<sup>2</sup>

부경대학교 글로벌 수산대학원, <sup>1</sup>부경대학교 해양생산시스템관리학부, <sup>2</sup>한국해양수산연수원 운항교육팀

### An analysis on marine casualties of fishing vessel by FTA method

Su-Hyung KIM, Hyung-Suk KIM<sup>1\*</sup>, Il-Kwon KANG<sup>1</sup> and Wook-Sung KIM<sup>2</sup>

*Dep. of Fisheries Production, The Graduate school of Global Fisheries, Pukyong National University,  
Busan 48513, Korea*

<sup>1</sup>*Div. of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*

<sup>2</sup>*Ship Operating Education Team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea*

The most frequent occurring and the serious marine casualties in fishing vessels are the collision in statistics from Korea Maritime Safety Tribunal (2008-2015). Collisions are given a great deal of weight in all marine casualties, and the main cause of collisions is the negligence of watching. From this point of view, this study deals with the collision and its immediate cause, the negligence of watching which are main factors on the indirect causes. Basic analyzing data was gathered from the questionnaire made by experts of sea service part, and analyzed by using the fault tree analysis (FTA). From the result of the study, the occurrent probability of the negligence of watching in the collision due to the indirect causes occupied 64.9%, and its probability caused by the man factors was less than the other factors; i.e. the media factors and the management factors. For the reduction of the negligence of watching in the collision from this study, it needs an effort to remove not only the man factors, but also the media factors and management factors.

Keywords : Collision, Indirect causes, Negligence of watching, FTA, Man factors

### 서론

최근 8년 동안 우리나라의 전체 해양 사고 중 어선 사고의 발생 비율은 전체의 70.8%를 차지하고 있다 (KMST, 2008~2015). 비록 어선의 등록 척수가 전체 등록 선박의 약 90%를 차지한다 하더라도 전체 해양 사고를 발생 건수로 보았을 때, 대부분의 해양 사고는 어선에서 발생하고 있음은 명백하다 (Park et al., 2016).

이제까지 어선 해양 사고에 관한 국내 연구로는 다변량 분석법을 이용하여 사고 요인의 상관성을 분석한 것 (Kim and Jung, 1994), 비어선과 어선의 해양 사고를 비교한 것 (Kang et al., 2007), 어선에서 발생 빈도가 가장 높은 충돌사고와 기관손상사고 대한 심층적 연구 (Kang et al., 2013), 해양 사고 평가에 대한 표준 매뉴얼을 모색하기 위한 연구 (Kim et al., 2013), 어선원의 재해 사고 당시의 상황 조건과 물적 위험 요소들에 대한

\*Corresponding author: pelamis@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-639-5894, Fax: +82-51-629-5885

평가 (Kim et al., 2013), 재해 보험급여를 이용한 트롤선 어선원의 안전 위협 요소 분석에 관한 연구 (Lee et al., 2016), 사고 다발 어선의 업종별 해양 사고에 관한 연구 (Park et al., 2014), SPSS 통계 프로그램을 이용하여 해양안전심판원의 재결을 마친 해양 사고에 대해 주성분을 분석한 것 (Kim, 2016) 등이 있다.

어선 해양 사고는 우리가 흔히 알고 있는 인적 또는 물적 원인, 그리고 예측할 수 없는 불가항력적 원인까지 다양한 요인들에 의해서 일어난다. 따라서 예방 및 대책을 위해서는 기본적으로 그 사고가 어떠한 원인에 의하여 발생하였는지에 대한 조사가 명확하고, 구체적으로 이루어져야 한다. 그러나 대체적으로 어선 해양 사고는 인적 원인에 의해서 발생한다는 인식 때문에 사고 예방을 자연스럽게 선원의 교육·훈련에 초점을 맞추고 있다. 하지만 인적 원인에는 인간 자체의 요인뿐만 아니라 기계적 요인과 물질·환경적 요인 및 관리적 요인이 모두 관련되어 복합적으로 작용하기 때문에 단순하지 않다. 그러므로 어선 해양 사고의 선택적 예방 및 대책을 위해서는 이러한 여러 요인들을 정량화하여 각 요인들 간에 어떤 요인이 더 큰 영향을 미쳤는지 식별할 필요성이 있다.

본 연구에서는 어선 해양 사고 종류 중 가장 발생률이 높은 충돌사고를 선택하고, 충돌사고 발생원인 중에 75.7%를 차지하는 가장 큰 원인인 경계소홀 (KMST, 2008~2015)과 그 사고에 내재된 간접적인 원인들을 정량적으로 파악하였다.

간접적인 원인들은 국제해사기구 (IMO)의 결의서 (IMO Res A.884) 내용을 바탕으로 전문가 집단의 설문 조사를 통하여 파악하였으며, 그 통계를 이용하여 고전적인 재해 이론과 미국교통안전위원회 (NTSB, National Transportation Safety Board)에서 사용하는 4M (Man, Machine, Media, Management) 재해 분석방법을 결합하고, 결함수 분석 (FTA, Fault Tree Analysis)을 통해 간접

적인 원인들에 의한 경계소홀의 발생 확률을 산출하였다.

이것을 근거로 그동안 승무원 교육·훈련에만 초점을 맞추어왔던 어선 해양 사고 예방 문제를 다른 시각으로 분석하고자 한다.

### 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 해양 사고 통계 자료는 중앙해양안전심판원의 2008년부터 2015년까지 어선 해양 사고에 대한 재결분 764건 (KMST, 2008~2015)으로서, 그 중에서 해양 사고 발생 빈도가 가장 높은 충돌사고를 선택하여, 그것의 가장 큰 직접적 원인인 경계소홀을 결함수 분석의 대상으로 선정하고, 간접적인 원인 (2차 요인)들의 데이터는 설문조사를 통해 수집한다.

### 경계소홀의 간접적인 원인 요목 선정과 설문 조사

경계소홀에 의한 어선 충돌사고 결함수는 재해 예방을 위해서는 직접적인 원인 근처의 기본 원인부터 제거하는 것이 급선무라고 주장한 버드 (Frank E. Bird Jr.)의 수정 도미노 이론과 NTSB의 4M을 병합시켜 Fig. 1과 같이 재구성하였고, IMO의 결의서 내용 중 해양 사고 조사 시 인적 원인에 영향을 미치는 요인(인간, 선내 조직, 노동 및 생활환경, 선박, 육상 관리, 외부 영향 및 환경)에서 경계소홀과 가장 관련 있는 요목들만 선택하여 Fig. 2와 같이 4M의 하위 요인으로 선정하였다.

또한 설문 조사의 문항은 경계소홀을 발생시키는 2차 요인에 한정하였으며, 설문 참여자의 이해를 돕기 위해 Table 1과 같이 경계소홀과 관련 있는 예시로 변형시켰고, 중복체크가 가능하도록 하였다.

설문 대상은 어선 승무 경험이 있는 자로서, 어업 지도선과 시험 조사선에 승선 중인 전문가 집단 221명과 상용 어선에 승선 중인 승무원 29명으로 총 250명이며, 승선경력 (10년 미만~30년 이상)에 따라 4개 그룹으로 나누었다.

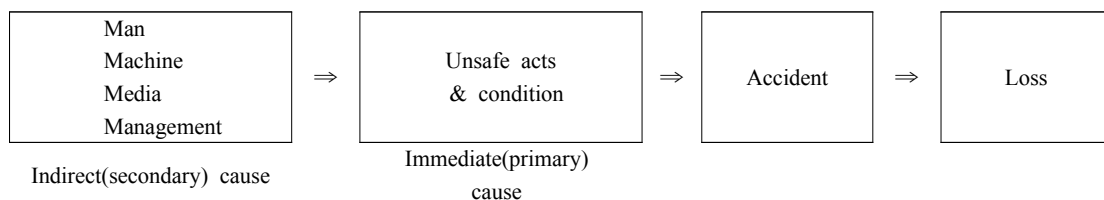


Fig. 1. The chain of accident reformed by the theory of Bird and 4M of NTSB.

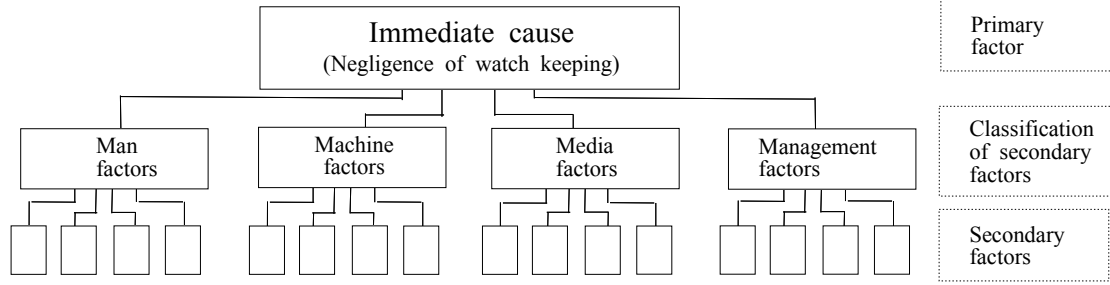


Fig. 2. The indirect factors of the immediate cause.

Table 1. Questionnaire on items for the secondary factors

Item
* Variety of crew's nationality (poor communication)
* Insufficient education and training from the organization
* Insufficient crew member than manning level
* State of maintenance (steering gear etc.)
* Management policy (fishery performance centered policy)
* A lot of workload and working hours / few rest hours
* Inaccurate division of tasks and responsibilities (own work [deck or engine] and with fishery)
* Physical condition (medical fitness·drugs·alcohol)
* Insufficient will of the office for ship safety
* Unreliable equipment (radar, watch alarm, communication system etc.)
* Activities prior to accident/occurrence (making a work book or a chat)
* Inferiority policy on recruitment for crew (unqualified crew on board)
* Insufficiency of crew's ability·skill·knowledge (outcome of training & experience)
* Anxious mental condition & emotional state (a debt, family's health)

**결함수 분석**

결함수 분석은 재해 원인 및 요인 상호간의 관계를 정확하게 도식화하고, 사고를 연역적으로 분석하여 요인 사이의 지배 관계를 잘 파악해 주는 시스템 안전공학의 대표적인 방법이다. 이 분석법은 Table 2에 열거된 기호를 이용하여 사고에 대한 사상 (Event)과 원인이 되는 결함이나 오류 등의 관계를 결함수 (Fault Tree)로 만들고, 연역적·정량적·확률적으로 분석하여, 사고 원인을 개량화된 확률로 표현한다.

결함수를 수식으로 표현하기 위하여 부울 대수 (Boolean Algebra)를 사용하는데, 이것은 논리계산의 한 방법으로서 어느 집합에 관해 그것을 구성하는 부분집합들의 AND 게이트와 OR 게이트를 사용하여 나타내고, 이들의 확률을 계산식으로 사용함으로써 결함수의 정상사상이나 중간사상, 즉 구하고자 하는 재해 발생 확률을 구하는 방법이며, 이때 기본사상은 서로 통계적

으로 독립된 것으로 가정한다.

먼저, AND 게이트의 경우 (1)과 같은 식으로 나타낼 수 있으며, n개의 기본사상 AND 결합 시에는 (2)의 식과 같이 된다.

$$F_A = F(B \text{ AND } C) = F(B \cap C)$$







B와 C가 서로 독립사상이면

$$\therefore F_A = F_B \cdot F_C \tag{1}$$

$$F_S = F_1 \cdot F_2 \cdots F_n = \prod_{i=1}^n F_i \tag{2}$$

또한 OR 게이트의 경우 (3)과 같은 식으로 나타낼 수 있으며, n개의 기본사상 OR 결합 시에는 (4)의 식과

Table 2. Logic symbols of FTA

Symbols	Name	Description
	Intermediate event	A fault event that occurs as a result of the logical combination of other events
	Basic event	A basic initiating fault requiring no further development
	External event	An event which is normally expected to occur
	Undeveloped event	An event that is not developed further because of insufficient consequence or information is unavailable
	AND Gate	The intersection operation of events
	OR Gate	The union operation of events

같이 된다.

$$F_A = F(B \text{ OR } C) = F(B \cup C)$$

B와 C가 독립사상이면

$$\therefore F_A = F_B + F_C - F_B \cdot F_C$$

( $F_B = 1 - R_B, F_C = 1 - R_C$ 로 대치하면)

$$\therefore F_A = 1 - (1 - F_B)(1 - F_C) \quad (3)$$

$$F_S = 1 - (1 - F_1)(1 - F_2) \cdots (1 - F_n) \\ = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i) \quad (4)$$

여기서, F는 사상의 발생 확률, R은 사상의 신뢰도이며, n은 사상의 개수를 나타낸다.

### 결과 및 고찰

#### 설문 조사 분석

어선 충돌사고의 간접적인 요인 설문 조사 결과는 Table 3과 같고, 각 그룹별로 경계소홀을 발생시키는 간접적인 요인의 우선순위에 약간의 차이는 보였으나, 전체적으로 물질·환경적 요인이 경계소홀 발생의 가장 큰 간접적인 요인으로 나타났으며, 관리적 요인 역시 인간

적 요인보다 높은 비중을 차지하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 경계소홀이 승무원 자체의 요인보다 근무 여건과 같은 물질·환경적 요인 혹은 선사의 승무원 및 선박 안전에 대한 의지 등 관리적 요인에서 발생할 확률이 더 큰 것으로 해석된다.

#### 경계소홀의 결함수 분석

Table 3의 설문 조사 요목 14개는 경계소홀을 발생시키는 2차 요인이지만, 각 M이 경계소홀에 관여하는 것을 파악하기 위해 4M을 2차 요인으로 하고, 설문 조사의 각 요목을 3차 요인으로 구분하여 나타내면 Fig. 3과 같다. Table 3의 설문 조사 결과를 이용하여, Fig. 3의 3차 요인에 대한 확률 값을 나타내면 다음과 같다.

$$C_{11} = 0.069, C_{12} = 0.100, C_{13} = 0.060, C_{14} = 0.023$$

$$C_{21} = 0.051, C_{22} = 0.030$$

$$C_{31} = 0.072, C_{32} = 0.092, C_{33} = 0.157, C_{34} = 0.058$$

$$C_{41} = 0.049, C_{42} = 0.074, C_{43} = 0.083, C_{44} = 0.082$$

3차 요인은 각각 2차 요인의 원인이 될 수 있으므로, 3차 요인의 확률 값에 논리합 OR 게이트를 적용하여 2차 요인 (4M)의 확률을 다음과 같이 구하였다.

$$1) \text{ 인간적 요인 } (B_1) = 1 - \{(1 - C_{11}) \times (1 - C_{12}) \times (1 - C_{13}) \times (1 - C_{14})\} = 0.23048 \text{ (23.0\%)}$$

**Table 3. The result of questionnaire on secondary factors of the negligence of watch keeping occurring according to 4 career groups (unit : ea, %)**

4M	Question items	A	B	C	D	E
Man factors	Physical condition (medical fitness·drugs·alcohol)	34	13	20	12	6.9
	Insufficient of crew's ability·skill·knowledge (outcome of training & experience)	36	26	27	25	10.0
	Activities prior to accident/occurrence (making a work book or a chat)	31	9	13	15	6.0
	Anxious mental condition & emotional state (a debt, family's health)	10	2	6	8	2.3
	Machine factors	State of maintenance(steering gear etc.)	22	10	12	14
Media factors	Unreliable equipment (radar, watch alarm, communication system etc.)	10	8	7	10	3.0
	Variety of crew's nationality (poor communication)	18	19	19	26	7.2
	Inaccurate division of tasks and responsibilities (own work [deck or engine] and with fishery)	43	20	14	28	9.2
	A lot of workload and working hours / few rest hours	72	38	37	33	15.7
	Insufficient crew member than manning level	17	15	18	16	5.8
Management factors	Inferiority policy on recruitment for crew (unqualified crew on board)	13	15	11	17	4.9
	Insufficient will of the office for ship safety	21	18	23	22	7.4
	Management policy (fishery performance centered policy)	39	14	20	22	8.3
	Insufficient education and training from the organization	23	29	17	24	8.2
Total		389	236	244	272	100.0

A : < 10 years  
D : > 30 years

B : 10 - 20 years  
E : Ratio(%)

C : 20 - 30 years

2) 기계적 요인 ( $B_2$ ) =  $1 - \{(1 - C_{21}) \times (1 - C_{22})\} = 0.07947$  (7.9%)

3) 물질·환경적 요인 ( $B_3$ ) =  $1 - \{(1 - C_{31}) \times (1 - C_{32}) \times (1 - C_{33}) \times (1 - C_{34})\} = 0.33086$  (33.1%)

4) 관리적 요인 ( $B_4$ ) =  $1 - \{(1 - C_{41}) \times (1 - C_{42}) \times (1 - C_{43}) \times (1 - C_{44})\} = 0.25868$  (25.9%)

2차 요인의 발생 확률을 내림차순으로 나열하면, 물질·환경적 요인 > 관리적 요인 > 인간적 요인 > 기계적

요인이다. 이는 경계소홀을 발생시키는 간접적인 원인은 인간적 요인에서보다 물질·환경적 요인이나 관리적 요인에서 더 높게 나타남을 알 수 있다.

그리고 2차 요인인 4M 역시 각각 1차 요인의 원인이 될 수 있으므로, 2차 요인의 확률 값에 논리합 OR 게이트를 적용하여 1차 요인, 즉 간접적인 원인들에 의한 경계소홀의 발생 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 5) \text{ 간접적인 원인들에 의한 경계소홀의 발생 확률 } (A_1) &= 1 - \{(1 - B_1) \times (1 - B_2) \times (1 - B_3) \times (1 - B_4)\} \\
 &= 1 - \{(1 - 0.23048) \times (1 - 0.07947) \times (1 - 0.33086) \times
 \end{aligned}$$

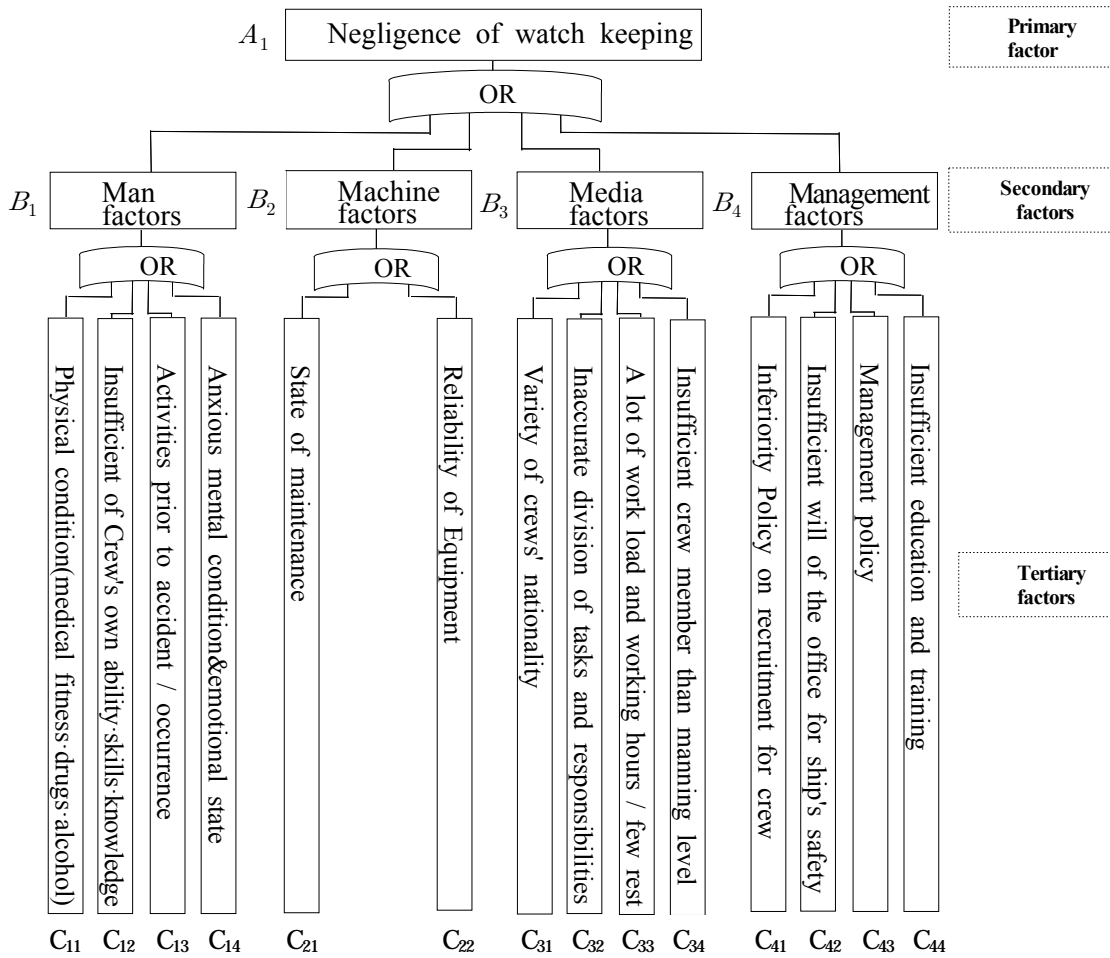


Fig. 3. FT diagram of questionnaire on negligence of watch keeping.

$$(1-0.25868)\} = 0.64861 (64.9\%)$$

간접적인 원인들에 의한 경계소홀의 발생 확률은 64.9%로 경계소홀이 원인이 되어 발생한 어선 충돌사고의 확률 75.7%와 견주었을 때, 어선 충돌사고 발생에서 간접적인 원인에 따른 연쇄성은 결코 무시될 수 없다. 또한 경계소홀의 간접적인 원인이 되는 하위 요인들은 모두 논리함으로 구성되기 때문에 하위 요인들이 많을수록, 그리고 발생 확률이 높을수록 경계소홀을 발생시키는 간접적인 원인들의 전체 발생 확률은 높아진다.

결국 결함수 분석 기법을 이용하여 분석한 결과, 간접적인 원인들의 발생 확률을 줄여야만 직접적인 원인의 발생 확률이 줄어들며, 그 연쇄성에 따라 어선 충돌 사고 발생률이 줄어들 것으로 판단된다.

### 결론

수정 도미노 이론과 4M을 병합하고, IMO 결의서의 내용을 토대로 어선에 승무중인 전문가 집단의 설문 조사를 실시한 후, FTA기법을 이용하여 어선 충돌사고의 직접적인 원인인 경계소홀의 간접적인 원인들을 확률로써 분석한 결과는 다음과 같다.

먼저 경계소홀의 간접적인 요인의 발생 확률은 인간적 요인 23.0%, 기계적 요인 7.9%, 물질·환경적 요인 33.1%, 관리적 요인 25.9%로 나타났다. 이것으로 흔히 인적 과실이라 불리는 경계소홀에 내재된 원인은 인간적 요인 (승무원 자체 과실)보다 물질·환경적 요인과 관리적 요인에 의해 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

그리고 이러한 간접적인 원인들에 의하여 경계소홀이

발생할 확률은 64.9%로서 경계소홀이 원인이 되어 발생한 어선 충돌사고의 확률 75.7%와 견주었을 때, 충돌사고 발생 예방을 위한 간접적인 원인들의 우선적 제거는 결코 무시될 수 없는 부분이다.

이제까지의 많은 노력에도 어선의 충돌사고 발생률이 줄어들지 않고 있는 이유는 경계소홀을 발생시키는 내재된 수많은 간접적인 원인들이 정확하게 제거되지 않았기 때문이라고 볼 수 있다. 또한 인간적 요인은 경계소홀을 발생시킨 무수히 많은 간접적인 요인들 중 하나이며, 물질·환경적 요인과 관리적 요인이 더 많은 비중을 차지하고 있기 때문에 실제로 이들을 제거하는 노력이 무엇보다 중요하다는 것을 알 수 있다.

따라서 어선의 충돌사고 발생에는 여러 가지 원인들이 복합적이고 연쇄적으로 작용하므로, 충돌사고 발생에 잠재되어 있는 간접적인 원인들을 정량적으로 수치화시키고, 그 우선순위에 따라 선택적으로 예방할 수 있다면 직접적인 원인 발생 확률을 낮출 수 있고, 또한 결과적으로 충돌사고를 예방할 수 있을 것이다.

## References

IMO. 4 Feb.2000. Res A.884(21) Appendix 2 (Guidelines for the Investigation of human Factors in Marine Casualties and Incidents).

Kang IK, Kim HS, Shin HI, Lee YW, Kim JC and Kim HJ. 2007. Safety countermeasures for the marine casualties of fishing vessels in Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 43(2), 149-159.

Kang IK, Kim HS, Kim JC, Park BS, Ham SJ and Oh IH. 2013. Study on the marine casualties in Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 49(1), 29-39. (DOI:10.3796/KSFT.2013.49.1.029)

Kim SG and Yang SK. 1998. A Study on the Analysis of Construction Accident Causes with F.T.A. Method. *J AIK* 14(1), 417-423.

Kim WS, Lee JH, Kim SJ, Kim HS and Lee YW. 2013. A basic study on control factor for the marine casualties of fishing vessel in Korea. *J Kor Soc Fish Technol* 49(1),

40-50. (DOI:10.3796/KSFT.2013.49.1.040)

Kim YS and Kim JC. 1994. Multivariate data analysis on marine casualties. *J Fish Mar Sci Edu* 6(2), 190-197.

Kim YS. 2016. Principal component analysis on marine casualties occurred at Korean littoral sea in recent 5 years. *J Fish Mar Sci Edu* 28(2), 456-472. (DOI:10.13000/JFMSE.2016.28.2.465)

Korean Maritime Safety Tribunal (KMST). 2008-2015. Investigation report of Maritime Safety Judgement.

Lee HK and Chang SR. 2004. Cause analysis and prevention of fishing vessels accidents. *Journal of the Korean of safety* 20(1), 153-157.

Lee YW, Cho YB, Kim WS, Kim SJ, Park TG, Park TS, Kim HS and Ryu KJ. 2016. Hazard analysis for the fishermen's safety in offshore trawler using insurance proceeds payment of NFFC. *J Korean Soc Fish Technol* 52(3), 241-247. (DOI:10.3796/KSFT.2016.52.3.241)

NTSB Marine Accident Report: Grounding of the U.S. Tanker ship EXXON VALDEZ on Reef, Prince William Sound Near Valdez, ALASKA March 24. 1989. Trans. Hisashi Miyukyu. Japan:Sankaido. 1992.

Park BS, Kang IK, Ham SJ and Park CW. 2014. The main factor and counterplan for marine casualties of fishing vessel according to the type of fishing job in Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 50(3), 252-261. (DOI:10.3796/KSFT.2014.50.3.252)

Park BS, Kang IK, Ham SJ, Park CW, Kim SH and Cho HK. 2016. The main factor and counterplan for marine casualties of fishing vessel according to the type of fishing gear in Korea. *J Korean Soc Fish Technol* 52(3), 232-240. (DOI:10.3796/KSFT.2016.52.3.232)

Seo MS and Bae SJ. 2002. The study on the analysis of marine accidents and preventive measures. *J Fish Mar Sci Edu* 14(2), 149-160.

2017. 10. 19 Received

2017. 11. 22 Revised

2017. 11. 22 Accepted