

항해위험도 평가기술을 이용한 VDR 성능 개선에 관한 연구

공길영* · 김영두** · † 정창현

* 한국해양대학교 항해학부, ** 일본고베대학 대학원, † 한국해양대학교 한나라호

A Study on the Improvement of VDR Performance applying the Navigation Dangerousness Evaluation Technology

Gil-Young Kong* · Young-Du Kim** · † Chang-Hyun Jung

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

** Graduate School, Kobe University, Japan

† T/S HANNARA, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 국제해사기구(IMO)는 해양 사고의 예방 및 원인 분석을 목적으로 선박에 항해기록장치(VDR)의 설치를 의무화하였다. 그러나 해양 사고의 약 10%를 차지하고 있는 전복·침몰 사고의 경우 기존의 VDR 기록 데이터로는 사고 원인 분석에 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 VDR에 기록되어야 하는 IMO 권고 기록 데이터 이외에 내항성능 평가에 필요한 선체 상하가속도를 VDR의 추가 기록 데이터로 채택하여 선박의 항해위험도를 평가함으로써 전복·침몰 사고에 대한 정량적인 원인 분석에 적용하고자 한다.

핵심용어 : 해양사고, 항해기록장치, 내항성능 평가, 상하가속도, 항해위험도

Abstract : For the purpose of technological analysis in the marine accidents and their prevention, IMO have made it obligatory to load VDR which is similar to the black box in aircraft. However, in case of body sinkage, capsizing, stranding and plunging which are almost 10% of marine accidents, it is difficult to take out the necessary data from the VDR in order to analyze the cause of them. Therefore, this paper apply the navigation dangerousness evaluation technology to the VDR to improve its performance. And we suggest that the vertical acceleration which is one of the factors for evaluating seakeeping performance of a ship is to be added in the existing VDR record data recommended by IMO.

Key words : Marine accident, VDR, Seakeeping performance evaluation, Vertical acceleration, Navigation dangerousness

1. 서 론

국제해사기구(IMO:International Maritime Organization)는 해양 사고의 과학적 분석 및 유사한 사고 예방을 목적으로 SOLAS(International convention for the safety of life at sea) 협약을 통하여 선박에 항해기록장치(VDR:Voyage data recorder) 설치를 의무화하였다. 이 장치는 선박의 운항 중 발생하는 각종 항해 정보를 실시간 기록하고 유지 관리하여 해양 사고 발생 시 항공기의 블랙박스과 같은 개념으로 회수하여 사고 원인 분석을 위해 사용된다.

2010년 7월 1일 이후에는 국제항해에 종사하는 모든 여객선과 3,000톤 이상의 모든 화물선에서 VDR 및 S-VDR(Simplified voyage data recorder)의 탑재가 의무화되어 해양 사고 원인분석에 상당한 도움이 될 것으로 예상된다.

하지만, IMO의 Res.A.861(20)과 Res.MSC.163(78)에서 요구하는 VDR 성능기준에 해당되는 Table 1에 나타낸 기존의 기

록 데이터만으로는 전체 해양 사고의 10% 정도를 차지하고 있는 전복 및 침몰 사고에 대한 정량적인 원인 분석에는 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해서는 내항성능을 이용한 선박의 항해안전성 평가 기술이 필요하다.

선박의 항해위험도 평가 기술에 대한 연구는 선박 탑재형 내항성능 평가시스템 개발(공 등, 2004), 실습선 한바다호의 운항성능에 관한 연구-선체감시장치 계측 데이터를 이용한 내항성능 평가(정 등, 2007) 등이 이루어졌다. 이 결과를 통하여 각 내항성능 평가요소에 대한 상대위험도 데이터베이스 구축과 상하가속도 계측을 통한 내항성능을 평가할 수 있는 기술을 이미 확보하였으며, 실선 시험을 통하여 검증도 진행 중에 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 연구 결과를 바탕으로 내항성능 평가 중의 하나인 선체 상하가속도를 이용하여 전체 선박의 항해위험도를 평가한다. 그리고 평가된 결과에서 각 평가요소의 위험도를 분석함으로써 어떤 요소가 선박의 전복·침몰

* 대표저자: 종신회원, kong@hhu.ac.kr 051-410-4273

** 정회원, 044d981n@stu.kobe-u.ac.jp +81-80-6143-2169

† 교신저자: 종신회원, hyon@hhu.ac.kr 051-410-4476

사고에 직접적인 영향을 주었는가에 대한 정량적인 원인 분석을 한다. 이 결과를 바탕으로 선체 상하가속도가 VDR의 임의 기록 데이터가 아닌 강제 기록 데이터가 되어야 한다는 것을 입증하고자 한다.

2. VDR 기록 데이터

SOLAS 2004 Amend / Chapter V / Reg. 20에서는 VDR의 설치를 강제화 하고 있으며, IMO의 Res.A.861(20)에서는 VDR의 성능기준을, 그리고 Res.MSC.163(78)에서는 S-VDR의 성능기준을 제시하고 있다.

Table 1은 IMO에서 권고하고 있는 VDR과 S-VDR에 저장되어야 하는 데이터 항목을 나타낸 것이다. Table 1의 항목 14에서 상하가속도는 해당 장비가 설치된 경우에만 기록하도록 임의 항목으로 규정하고 있다. 그러나 상하가속도 데이터는 선박의 전복·침몰 사고의 정량적인 원인 분석을 위해서는 반드시 필요한 항목이므로 이 데이터를 강제화할 필요가 있다.

Table 1 Data items to be recorded in VDR and S-VDR

No.	Data to be recorded	VDR	S-VDR
1	Date and time	O	O
2	Ship's position	O	O
3	Speed	O	O
4	Heading	O	O
5	Bridge audio	O	O
6	Communications audio	O	O
7	Radar data, post-display selection	O	O
8	Echo sounder	O	when the data is available
9	Main alarms	O	
10	Rudder order and response	O	
11	Engine order and response	O	
12	Hull openings status	O	
13	Watertight and fire door status	O	
14	Accelerations and hull stresses	if	
15	Wind speed and direction	fitted	
16	AIS data (if radar data impossible)		

3. 선박 상하가속도 계측

3.1 대상선박의 제원

본 연구의 실선 계측 대상선박은 여객선형으로 Fig. 1은 선도를 나타내고, Table 2는 일반제원을 나타낸다.

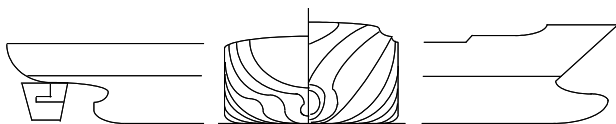


Fig. 1 Ship Lines

Table 2 General particulars

ITEMS	DIMENSION
Length (m)	93.0
Breadth (m)	14.5
Depth (m)	7.0
Mean Draft (m)	5.115
Displacement (m ³)	4,274.82
Block Coefficient (C _b)	0.6028
Length-Breadth Ratio(L/B)	6.414
Breadth-Draft Ratio(B/D)	2.835
Height of C. G.(VCG) (m)	5.033
Metacentric Height(GM) (m)	1.355
Rolling Period (sec)	13.142
Propeller Diameter (m)	3.55
Propeller Pitch Ratio	0.751

3.2 상하가속도 계측 시스템

선체 운동의 정확한 계측을 위하여 Fig. 2에서와 같이 선체 운동 가속도 측정 장치를 선교의 선체 중심선 상에 설치하였으며, 심한 선체 운동으로 인해 실험 장치가 흔들리지 않도록 바닥을 고정하였다. 그리고 상하가속도계의 사양은 Table 3과 같다.

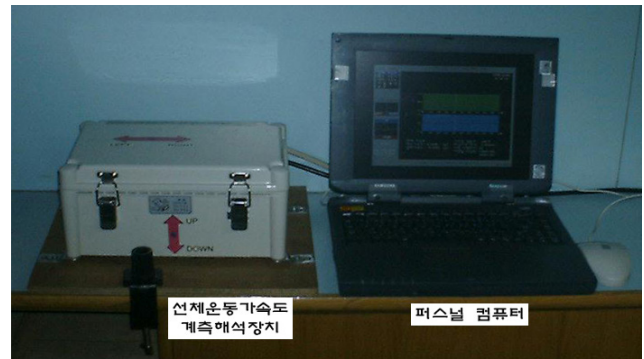


Fig. 2 Vertical acceleration measurement system

Table 3 Specification of accelerometer

ITEMS	DIMENSION
Measured acceleration range	±2 g
Scale Factor	5 V/g
Operating temperature	-50 °C, +70 °C
Power consumption	0.5 W
Shock resistance	30 g
Vibration strength within a range of up to 500 Hz	5 g
Supply voltage	±15 V
Dimension	38×38×25 (mm)
Mass	115 (g)

3.3 계측된 상하가속도의 시계열 데이터

실선시험은 Table 4와 같은 조건에서 실시되었으며, 상하가속도의 계측방법은 매 4시간 당직 중 교대시간을 기준으로 약 30분~1시간 계측을 행하였다. 또한, 기상 악화 시 또는 기타 필요시 1시간 이상 계측도 실시되었다.

Fig.3은 대상선박이 해상상태(Sea state) 5에서 해양파와의 만남각이 150도, 선속 13kts로 항해시의 상하가속도의 계측 데이터 일례를 시계열로 표시한 것이다.

Table 4 Schedule of voyage

Port	Distance (Mile)	Speed (Kts)	Voyage day
BUSAN	1830	12.71	5d-23h
HAIPONG	1400	13.86	4d-05h
CEBU	1541	13.76	4d-17h
BUSAN			
Total	4771	13.36	14d-21h

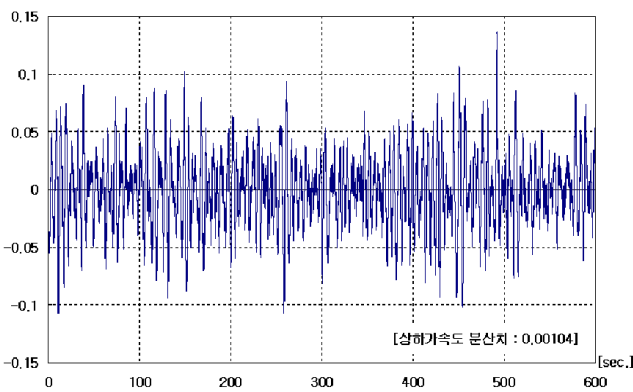


Fig. 3 Time history of vertical acceleration(Sea state 5, encounter angle 150°, speed 13kts)

계측된 상하가속도의 결과를 통하여 해양파와의 만남각과 해상상태에 대한 상하가속도 분산치를 구할 수 있으며, 각 해상상태에 있어서 상하가속도의 주기는 해양파와의 만남각에 따라 작은 것은 2~3초, 긴 것은 5~6초로 나타났다. 이와 같은 주기에서 계측 간격을 100ms(0.1초)로 정하면 한 주기 당 데이터의 샘플 수가 20~60개로 되어, 계측 데이터를 A/D 변환하여도 원 파형의 데이터를 충분히 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

4. 항해위험도 평가에 의한 해양사고 원인 분석

4.1 항해위험도 평가

선박의 항해위험도 평가는 일반적으로 불규칙한 해상을 항해하는 선박에서 발생하는 위험 현상, 즉 프로펠러 레이싱, 슬래밍, 선체 가속도로 인한 화물 및 선체 파손 현상 등의 내항

성능 평가요소가 주어진 한계치를 초과하는 발생 확률로부터 정의되는 평가치, 위험도를 이용한다.

4.1.1 평가치

임의 내항성능 평가요소의 극치 분포는 Rayleigh 분포로서, 그 발생확률을 $Q(X_i)$ 라고 하면, 임의 내항성능 평가요소의 평가치 E_{X_i} 는 다음과 같이 정의된다(공 등 2004; 공 등 2008).

$$E_{X_i} = \frac{1}{\sqrt{-2 \ln\{Q(X_i)\}}} = \left[\frac{\sigma_{X_i}}{X_i} \right]$$

여기서 σ_{X_i} 는 임의 평가요소 X_i 의 표준편차이다.

평가치 E_{X_i} 가 0이 되면 임의 요소(X_i)의 신뢰도는 1이 되고, E_{X_i} 가 무한대가 되면 X_i 요소의 신뢰도는 0이 된다.

4.1.2 위험도

임의 X_i 요소의 주어진 한계발생확률에 대한 한계 평가치를 $E_{X_{ic}}$ 로 하고, 한계 평가치 $E_{X_{ic}}$ 에 대한 평가치 E_{X_i} 의 비를 X_i 요소의 위험도 μ_{X_i} 라 정의한다(공 등 2004; 공 등 2008).

$$\mu_{X_i} = \frac{E_{X_i}}{E_{X_{ic}}} = \frac{\left[\frac{X_i}{\sigma_{X_{ic}}} \right]}{\left[\frac{X_i}{\sigma_{X_i}} \right]} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sigma_{X_{ic}}}$$

여기서 $\sigma_{X_{ic}}$ 는 X_i 가 위험하게 되는 한계표준편차이다.

위험도 μ_{X_i} 는 파에 대한 만남각(χ), 선속(V) 및 해면 상태(S)에 따라 변화한다. 여기에서 $\mu_{X_i} \geq 1.0$ 인 경우 X_i 요소가 위험하고, $\mu_{X_i} < 1.0$ 인 경우는 안전하다는 것을 나타낸다.

4.1.3 선박의 항해위험도 평가

본 연구에서는 선박의 내항성능 평가요소 중 계측이나 정량화가 비교적 쉬운 상하가속도를 선체 가속도 계측·해석 시스템을 통해 계측하였다. 그리고 계측된 가속도 변화량을 재생시켜, 계측 당시 해상상태에서의 선박의 항해위험도를 평가하였다. 다시 말해, VDR 추가 기록 데이터인 상하 가속도의 발생 확률을 이용하여 각 내항성능 평가요소의 위험도를 구할 수 있다. 그리고 계측된 상하가속도 요소를 내항성능 평가요소들 중 한계발생확률이 가장 큰 프로펠러 레이싱의 한계발생 확률 값으로 변환하여 변환 평가치를 구하고 이를 이용하여

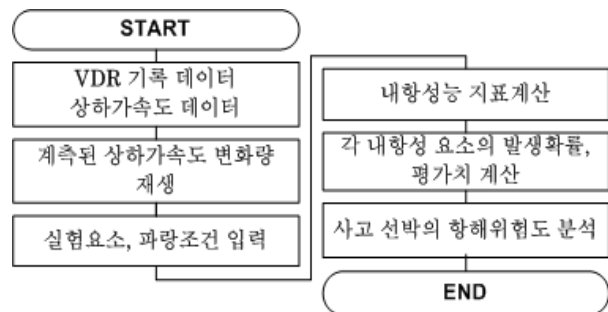


Fig. 4 Flow chart of navigation dangerousness evaluation

선박 전체의 항해위험도를 평가하였다. 상하가속도 계측에 의한 항해위험도 평가 시스템의 구성을 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다.

4.2 항해위험도 평가에 의한 해양사고 분석

Fig. 5~10은 대상선박에서 계측한 상하가속도 데이터를 이용하여 각 해상상태에 대한 선박과 해양과의 만남각에 대한 위험도를 나타낸 것이다.

선박과 해양과의 만남각에서 180°는 선수정향파(Head sea), 90°는 횡파(Beam sea) 그리고 0°는 선미추파(Following sea)를 의미한다.

Fig. 5는 해상상태 5에서 항해위험도를 평가한 결과인데, 대상선박에서 계측한 상하가속도 Fig.3을 입력하여 평가하였다. Fig. 6~10은 항해기간 중 해당 해상상태(해상상태 7이상)를 관측할 수 없었기 때문에 수치해석 시뮬레이션을 실시하여 평가하였다. 여기에서 위험도(Dangerousness)가 1.0을 초과하면 선박이 위험할 수 있음을 의미한다.

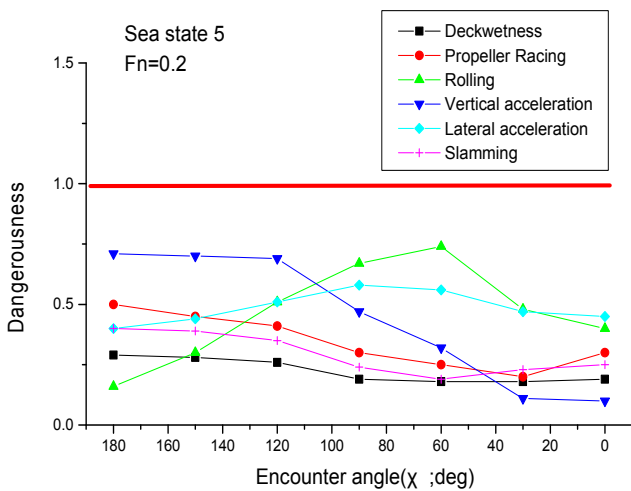


Fig. 5 Navigation dangerousness(Sea state 5, Fn = 0.2)

Fig. 5의 해상상태 5, Fn = 0.2 (11.7 kts)에서는 선수파($\chi = 180^\circ \sim 120^\circ$)에서 상하가속도가 다른 요소에 비하여 위험도가 다소 크게 나타났으며, 횡파($\chi = 90^\circ \sim 60^\circ$) 부근에서 횡동요의 위험도가 비교적 크게 나타났으나, 모두 위험도가 1.0 미만으로 선박은 안전한 것으로 평가되었다.

Fig. 6의 해상상태 7, Fn = 0.2 (11.7 kts)에서는 선수파($\chi = 180^\circ \sim 120^\circ$)에서 상하가속도가 위험도 1.0을 초과해서 나타났고, 프로펠러 레이싱도 다소 크게 나타났음을 알 수 있다. 횡파 및 사추파($\chi = 90^\circ \sim 30^\circ$) 부근에서는 좌우가속도와 횡동요가 위험도 1.0에 근접하여 위험할 수 있음을 나타낸다.

Fig. 7~9는 해상상태 8, Fn = 0.2(11.7 kts)~Fn = 0.275(16.1 kts)까지의 선속별 항해위험도를 나타내었다. 선속이 증가함에 따라 내항성능 평가 요소의 위험도가 증가하는 추세를 보이고 있다. 선수파 및 사향파($\chi = 180^\circ \sim 120^\circ$)에서는 상하가속도, 프로펠러 레이싱 및 슬래밍이 위험도 1.0을 초과하였고, 횡파($\chi = 120^\circ \sim 60^\circ$) 부근에서는 좌우가속도와 횡동요가 위험도 1.0을 초과하여 선미추파 부근을 제외한 대부분의 만남각에서 선박은 위험한 것으로 평가되었다.

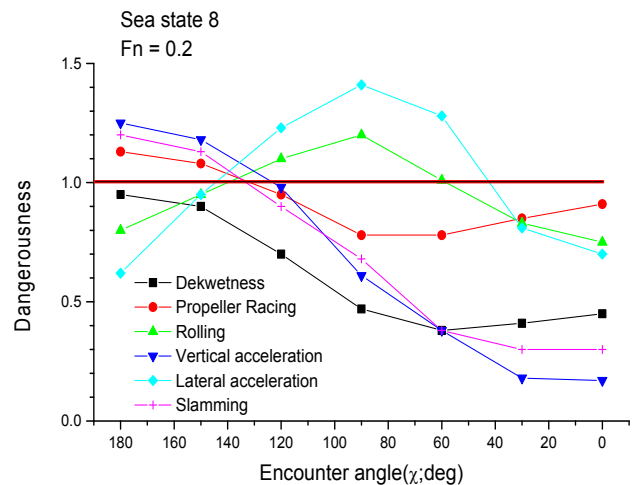


Fig. 7 Navigation dangerousness(Sea state 8, Fn = 0.2)

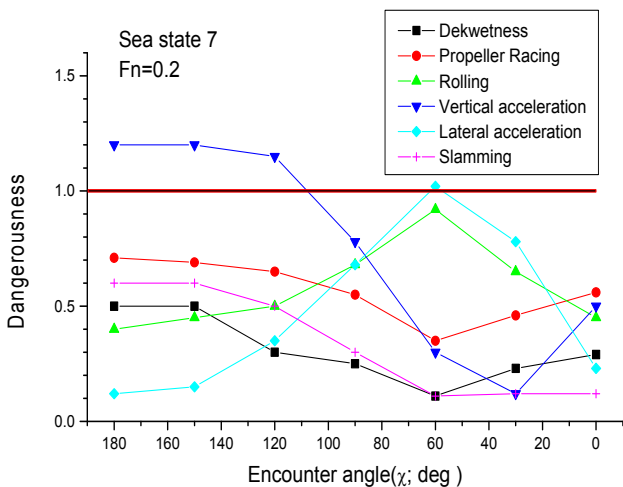


Fig. 6 Navigation dangerousness(Sea state 7, Fn = 0.2)

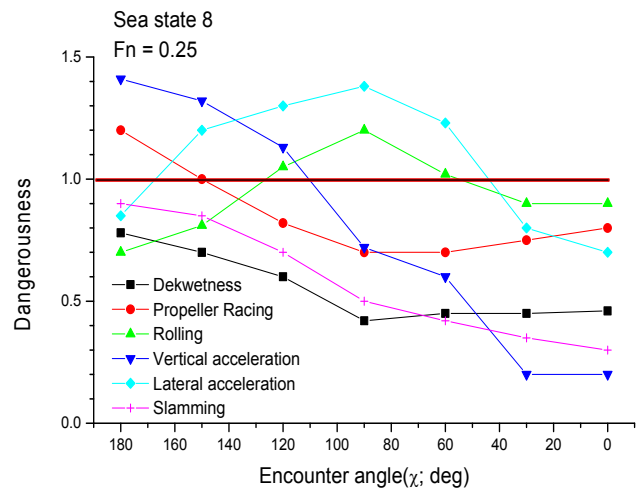


Fig. 8 Navigation dangerousness(Sea state 8, Fn = 0.25)

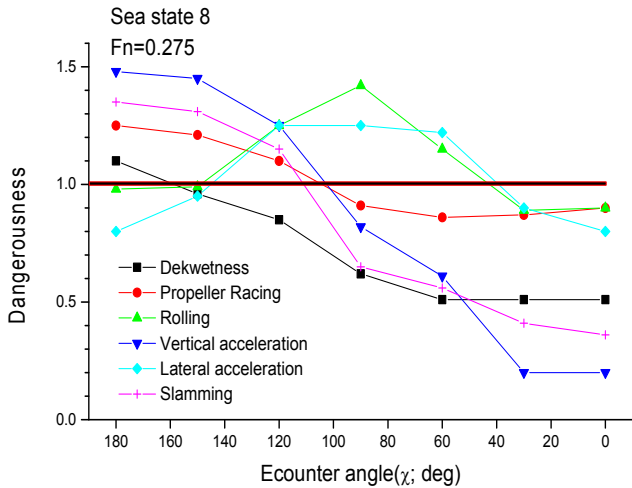


Fig. 9 Navigation dangerousness(Sea state 8, Fn = 0.275)

Fig. 10의 해상상태 9, Fn = 0.2 (11.7 kts)에서는 선미추파를 제외한 모든 만남각에서 내항성능 평가요소 대부분이 위험도 1.0을 초과하여 위험한 것으로 평가되었다. 물론 선박이 선미추파를 받으며 항해할 경우 선박이 파도의 마루에 놓여 가속되는 Surf-riding 현상으로 인해 선수방향이 갑작스럽게 변하면서 선박이 횡으로 놓여 크게 경사되는 Broaching-to 현상 등이 발생되면서 전복될 위험성도 높은 것으로 나타났다.

따라서, 이와 같은 조건에서 해당 선박이 전복 또는 침몰하는 사고가 발생할 경우, 당시에 계측된 상하가속도 값을 이용하여 항해위험도를 분석할 수 있다면, 어떤 요소가 사고에 직접적인 원인으로 작용하였는지 분석이 가능할 것이다.

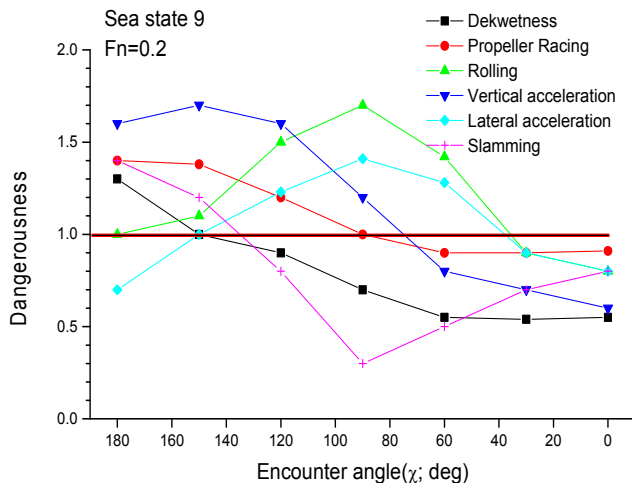


Fig. 10 Navigation dangerousness(Sea state 9, Fn = 0.2)

4.3 항해위험도 평가 기술을 이용한 VDR 성능 개선 방안

해양 사고는 발생 장소가 해양이기 때문에 육상과 달리 사고현장의 보존, 사고의 재현, 목격자 확보 등이 어려워 사고 후 증거가 대부분 인멸되어 원인규명이 어려울 뿐만 아니라 사고원인이 근본적으로 복잡하고 다양한 특성을 가지고 있다 (한국해양수산개발원, 2002).

이 문제를 해결하기 위하여 IMO에서 권고하고 있는 VDR 기록 데이터에 내항성능을 이용한 항해위험도 평가 시 필요한 상하가속도를 강제 기록 데이터로 하는 것이 필요하다. 그럼으로써 상하가속도를 이용하여 당시 선박의 선체운동 및 위험현상 등을 분석하여 사고에 영향을 준 요소를 규명할 수 있다. 특히 선박의 전복·침몰 사고 시에는 선체 상하가속도 신호를 실시간으로 획득하여, 이를 이용한 해상상태별, 침몰별 각 내항성능 평가요소의 위험도를 분석함으로써 사고 원인을 정량적이고 객관적으로 밝힐 수 있다.

5. 결론

IMO 성능 기준에 해당되는 기존의 VDR 기록 데이터만을 이용하여 선박 사고 원인을 분석하는 경우, 전복 및 침몰에 대한 사고 원인 분석에 한계가 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위하여 내항성능 평가요소 중 하나인 선체 상하가속도를 계측하여 선박의 항해위험도를 평가하고 이를 이용하여 정량적인 해양사고 원인 분석에 활용하기 위한 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 선체 상하가속도를 이용하여 선박의 전복·침몰 사고에 대한 새로운 원인 분석 기법을 제시하였다. 항해하고 있는 선박의 선체 상하가속도 신호를 실시간으로 계측하고, 이를 이용하여 해상상태별, 침몰별로 내항성능을 이용하여 항해위험도를 평가하였다. 평가된 각 내항성능 평가요소의 항해위험도를 이용할 경우, 사고 당시 선박에 가해진 위험 요소를 추론해 낼 수 있으므로 사고 원인 규명이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 상하가속도를 VDR 강제 기록 데이터로 제안하고 이를 법제화함으로써 VDR의 성능 개선이 이루어 질 것으로 판단된다.

(3) 향후, 선체 상하가속도 센서를 기존의 VDR에 인터페이스 하는 기술적인 문제와 반복적인 실선시험을 통해 제안된 기술에 대한 실용성과 유효성에 대한 검증이 계속되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] 공길영, 이상민, 김철승(2004), “선박 탑재형 내항성능 평가시스템 개발(1)”, 한국항해항만학회지, 제28권, 제1호, pp.1-8.
 [2] 정창현, 공길영(2008), “선박의 출항통제기준 마련을 위한 내항성능 평가”, 한국항해항만학회지, 제32권, 제10호, pp.785-791.
 [3] 정창현, 이형기, 이윤석(2007), “실습선 한바다호의 운항성능에 관한 연구(Ⅰ)”, 한국항해항만학회지, 제31권, 제10호, pp.905-910.
 [4] 한국해양수산개발원(2002), “우리나라 해양안전심판제도의 발전방향”, 해항사, pp.102-119.
 [5] IMO Res. A.861(20), “Performance standards for

shipborne voyage data recorders(VDRs)”

[6] IMO Res. MSC163(78), “Performance standards for shipborne simplified voyage data recorders(S-VDRs)”

[7] SOLAS 2004 Amend, Chapter V, Reg.20, “Voyage Data Recorders”

원고접수일 : 2010년 3월 18일

심사완료일 : 2010년 6월 17일

원고채택일 : 2010년 6월 18일