

어선전복경보시스템 알고리즘 검증을 위한 어선 횡동요 시험 및 시간영역 횡동요 시뮬레이션

양영준*† · 권수연**

* 부산대학교 조선해양플랜트글로벌핵심연구센터, ** 선박안전기술공단

Rolling Motion Simulation in the Time Domain and Ship Motion Experiment for Algorithm Verification for Fishing Vessel Capsizing Alarm Systems

Young-Jun Yang*† · Soo-Yeon Kwon**

* Global Core Research Center for Ships and offshore Plants, Pusan National University, Busan, Republic of Korea

** Korea Ship Safety Technology Authority, Sejong, Republic of Korea

요 약 : 본 연구는 어선전복경보시스템 개발을 위해 어선의 횡동요 특성을 파악하고 시간영역 횡동요 운동 시뮬레이션을 수행한다. 어선전복경보시스템의 검증을 위해서는 전복 상황을 가정하여 시험을 수행하고 실제 어선 계측을 수행해야 하지만, 상황의 위험성으로 인해 현실적으로 불가능하다. 또한 많은 전복사고의 경우 횡동요와 밀접한 연관이 있는 것으로 조사되었다. 이에 따라 어선전복경보시스템의 핵심인 어선의 횡동요특성을 정확히 파악하여 시간영역 기반 횡동요 시뮬레이션을 수행하고 해당 정보를 통해 시스템에 탑재된 경보시스템의 알고리즘을 검증한다. 주요내용으로 첫째, 횡동요 운동 특성을 운동 시험을 통해 계측하고 파악한다. 특히 어선과 같은 소형선박의 경우 CFD 및 포텐셜 코드를 포함한 해석적인 방법으로 점성과 관련된 횡동요 해석이 어렵다. 이에 따라 횡동요 운동 모드에 초점을 맞추어 운동 시험을 수행하고 횡동요 RAO를 도출한다. 둘째, 횡동요 RAO를 이용하여 Wave Spectrum과의 조합으로 시간영역 운동 시뮬레이션을 수행하고 전복 경보 알고리즘을 검증한다.

핵심용어 : 어선전복, 횡동요, 운동시험, 시간영역, 운동시뮬레이션

Abstract : This study contributes to deepening understand of the characteristics of fishing vessel rolling motions to improve the development of capsizing alarm systems. A time domain rolling motion simulation was performed. In order to verify capsizing alarm systems, it is necessary to carry out experiments assuming a capsizing situation and perform actual fishing vessel measurements, but these tasks are impossible due to the danger of such a situation. However, in many capsizing accidents, a close connection with rolling motion was found. Accordingly, the rolling motion of a fishing boat, which is the core of a fishing vessel capsizing alarm system, has been accurately measured and a time domain based on a rolling motion simulation has been performed. This information was used to verify the algorithm for a capsizing alarm system. Firstly, the characteristics of rolling motion were measured through a motion experiment. For small vessels such as fishing vessels, it was difficult to interpret viscosity due to analytical methods including CFD and potential codes. Therefore, an experiment was carried out focusing on rolling motion and a rolling mode RAO was derived.

Key Words : Fishing vessel capsizing, Rolling, Motion experiment, Time domain, Motion simulation

1. 서 론

최근 어선 및 소형 선박의 사고로 인하여 다수의 인명피해가 발생하였다. 전복사고를 직전에 인지 할 수 있는 기술 기 센서등의 오작동은 해당 시스템의 신뢰성을 낮추는 원인

으로, 상용화 직전에 폐기된 사례가 있다. 이에 따라 단순 대각도 횡동요에 의한 경보가 아닌 알고리즘이 내장된 경보시스템의 필요성이 대두된다. 과거 소형선박에 관한 관련 연구로는 Park et al.(1998), Chun et al.(1999) 등이 있으며, 해당 문헌에서는 소형선박의 성능해석에 관한 내용이 기술되어 있다.

† Corresponding Author : ybihong@pusan.ac.kr

어선전복경보시스템 알고리즘 검증을 위한 어선 횡동요 시험 및 시간영역 횡동요 시뮬레이션

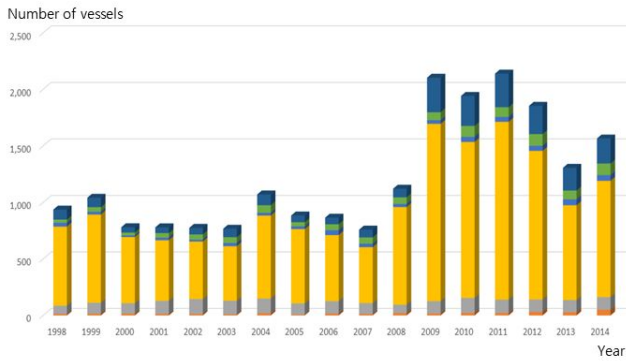


Fig. 1. Status of Marine Accidents by Ship Type (Source: Korean Maritime Safety Tribunal).

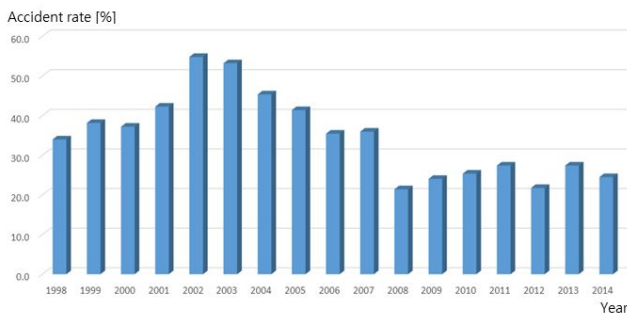


Fig. 2. Fishing vessel accident rate of collision/sinking (Source: Korean Maritime Safety Tribunal).

Fig. 1(주황색:여객선, 회색:화물선, 노랑색:어선, 연한파랑색:유조선, 녹색:예선, 파랑색:기타)의 해양수산업 통계시스템(1998~2014년)에 따르면, 선박에 의한 해양사고 중 어선이 차지하는 비율이 평균 70.7%이고, 100톤 미만의 소형어선의 사고가 평균 77.0%를 차지하고 있다. 대표적인 예로, 최근 돌고래호 전복사고로 인하여 많은 인명피해가 발생하였다. 선박자체의 복원력이 부족하여 해양사고가 발생하는 경우는 전무하나, 과도한 어획물이나 무거운 어로 장비를 고정하지 않고 항해하는 경우, 주의보가 발표되었는데도 무리하게 운항하는 경우 파도나 바람 등 해양환경에 의해 복원력이 상실되어 전복되어지는 사고가 발생하고 있다.

특히 동역학적 관점에서의 원인 중 충돌, 전복, 침몰등이 유효하며, 해당원인은 전체 사고 비율 대비 30% 내외이다 (Fig. 2). 사고발생시 사망 및 실종 등으로 이어지는 경우가 다수인 바, 동역학적 성능과 직결되어 있는 운동성능을 파악하고 인지하는 것이 중요하다. 특히 횡동요의 경우 전복과 관련된 핵심적인 간주되며, 그 특성을 파악하는 것이 필요하다.

소형선박은 형상과 점성등의 다양한 요소로 인해 감쇄력에 대한 정량적인 평가가 어려운 특징이 있다. 이에 따라 운

동시험을 통해 해당 운동 모드의 RAO를 산정한다. 또한 상기 RAO와 Wave Spectrum을 기반으로 시간영역 운동 시뮬레이션을 수행하여 위험한 해양환경에 대한 횡동요 특징을 파악한다. 최종적으로 어선전복경보시스템의 알고리즘을 시뮬레이션 결과에 접목하여 경보 작동여부를 확인한다.

본 연구에서는 다음의 본문으로 이어지며 첫째, 어선 해양사고 분석을 통해 어선의 해양사고 실태 조사 및 현황을 파악한다. 둘째, 전복경보시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 설명과 알고리즘의 구체적인 내용을 설명한다. 다음은 횡동요 시험에 대한 내용이 있으며, 횡동요에 대한 실질적인 유체력계수 산정을 위한 과정이다. 특히 China Line이 존재하는 어선의 경우 소프트웨어를 통한 횡동요 해석의 한계가 있어 실험적 접근을 수행한다. 셋째, 앞서 산정된 유체력 계수를 토대로 RAO와 파랑스펙트럼(wave spectrum)의 조합을 통해 시간영역 시뮬레이션을 수행하고, 어선전복경보 시스템에 탑재된 알고리즘의 작동여부를 확인한다. 실제 어선 운동 계측 및 모형선 운동실험 등의 방법은 전복상황을 모사하기에는 위험성이 따르기 때문에 시간영역 어선 운동 시뮬레이션을 도입하여 알고리즘을 검증한다.

2. 어선 해양사고 분석

2.1 어선 해양사고 분석 - 톤급별

Fig. 1~6의 해양사고의 분석은 해양수산부-중앙해양안전심판원(Korean Maritime Safety Tribunal, 2017) 웹사이트에 공개되어 있는 재결서를 비롯한 자료에 기초하였다. Fig. 1과 같이 해양사고현황에서 어선이 차지하는 비율이 평균 70%를 상회하며 높은 비율을 차지하고 있다. 특히 어선의 경우 최대 1000톤임을 감안할 때, Fig. 3(적색:5톤 미만, 녹색:5톤-10톤 미만, 파랑색:기타)와 같이 5톤 이상 10톤 미만 어선의 사고가 상대적으로 높은 비율을 차지하는 것으로 확인할 수 있다.

2.2 어선 해양사고 분석 - 해역별

해역변화에 따른 연도별 어선사고를 조사하기 위해서 해역별 등록 어선 척수를 조사하였으며 Fig. 4(파랑색:서해, 적색:동해, 녹색:남해)와 같다. 어선의 등록 척수는 서해가 가장 많으며, 남해 및 동해 순서로 이어진다. Fig. 5(파랑색:서해, 적색:동해, 녹색:남해)과 같이 해역별로 해양사고의 건수는 동해가 가장 적고, 서해와 남해가 비슷한 비율을 나타낸다. 이는 통계적으로 너울성파고가 많으며, 파고가 높은 해역의 특성을 반영한다. 등록척수 대비 사고율을 살펴보면 동해의 사고율이 높으며, 남해, 서해 순서로 이어진다. 이는 등록 척수 대비 사고발생이 서해가 가장 낮은 것으로 나타났다.

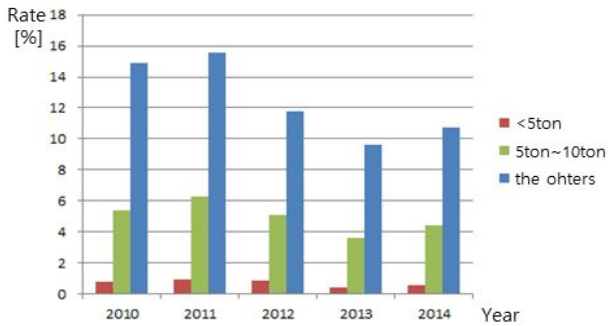


Fig. 3. Fishing vessel accident rate of ton class-year (Source: Korean Maritime Safety Tribunal).

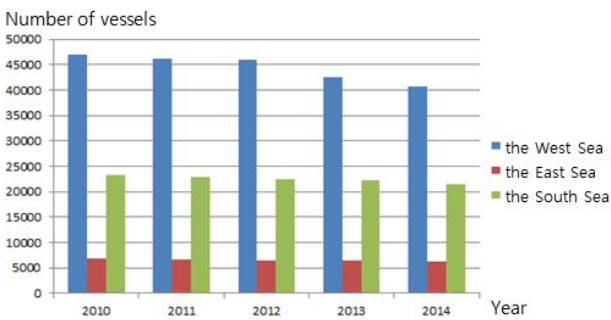


Fig. 4. Status of registration of fishing boat by sea area (Source: Korean Maritime Safety Tribunal).



Fig. 5. Fishing vessel accident rate of sea area-year (Source: Korean Maritime Safety Tribunal).

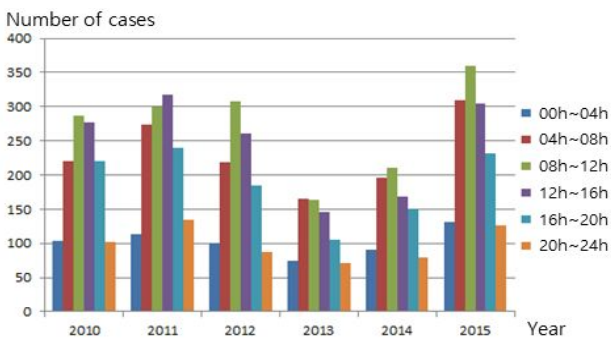


Fig. 6. Fishing vessel accident rate of sea time-year (Source: Korean Maritime Safety Tribunal).

2.3 어선 해양사고 분석 - 시간별

해양사고가 빈번하게 발생하는 시간을 파악하기 위하여 사고 시간별 건수를 분석하였고, Fig. 6(청색:0시-4시, 적색:4시-8시, 녹색:8시-12시, 보라색:12시-16시, 하늘색:16시-20시, 주황색:20시-24시)과 같다. 예상과는 달리 시야 확보가 어려운 새벽이나 깊은 밤보다는 낮 시간대에 높은 통계 결과를 확인할 수 있다. 이는 작업을 위해 운항하는 시간과 직접적으로 관련이 있는 것으로 판단된다.

3. 전복경보시스템

선박 프로토타입 전복경보시스템의 경우 IMU의 3축회전 운동정보를 주요하게 사용하고, 사고시 발생가능한 상황을 고려하여 하드웨어를 구성하였다. 경보는 위험상황 여부를 알고리즘에 기반하고 판단하여 시각적·청각적 장비를 통해 발생된다(Fig. 7, Fig. 8).

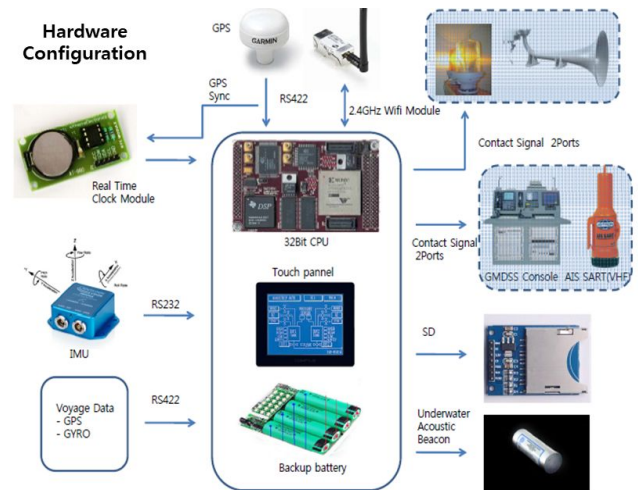


Fig. 7. Main composition of capsizing alarm system.



Fig. 8. Photo of Proto-type.

3.1 하드웨어

본 시스템의 경우 알고리즘의 작동여부가 가장 중요하기 때문에 DSP(Digital Signal Processing)등을 이용한 자체 연산처리가 가능한 하드웨어로 구성하였고, 6자유도 운동을 정밀하게 측정할 수 있는 IMU(Inertia Measurement Unit)가 탑재된

다. 또한 선박의 위치정보를 파악할 수 있는 GPS를 인터페이스할 수 있도록 포트를 마련하였다. 사고발생시 다양한 비상신호 자동송출을 위한 해당 칩셋을 마련하였으며, 사고 후 침몰시 자동으로 신호를 발생시켜 침몰지점 파악이 가능한 Underwater Acoustic Beacon을 장착하였다. 시스템은 터치 패널과 아이콘으로 구성되어 손쉽게 운용가능한 인터페이스로 구성되었으며, 탈부착이 가능한 SD메모리를 통해 정보저장이 가능하다. 모든 시스템은 실리콘 썰링을 통한 방수/방습이 가능하다.

3.2 데이터 획득

전복 경보시스템의 데이터는 탈부착이 가능한 SD메모리에 저장되며, 메모리 용량에 따라 가장 오래된 데이터는 삭제되고, 최신데이터로 갱신되는 일명 “밀어내기”방식이다. 또한 Fig. 9와 같이 데이터는 일련의 흐름에 따라 저장되며, 전복 경보알고리즘을 호출하는 연산부분에 의해서 진행된다. 최초 “START”는 전복 경보시스템 전원 ON 경우, 설정 완료 후 작동 시작을 의미하며, “Read Sensor Data”는 IMU, GPS 등의 센서로부터 정해진 샘플링 속도로 데이터를 획득한다. “Save #n Sensor Data in Buffer”는 획득된 데이터의 내부 메모리 및 SD카드 저장 기능이며, “4-Type Capsize Risk Assessment”는 획득된 데이터를 이용한 전복경보 알고리즘을 적용하는 부분이다. “Is there Risk?”는 리스크 발생 여부를 확인하고, “Alarm”은 리스크 발생시 알람 및 경보 기능을 수행한다. “Push the Stop”은 정지 버튼 작동 여부를 판단하고, “None” 정지 버튼 작동이 없을 경우 지속적인 알람 및 경보를 발생하도록 한다.

3.3 전복 경보 알고리즘

전복 경보 시스템은 Fig. 10의 GZ-curve에 기반하여, Fig. 11과 같이 4가지 모드의 알고리즘을 포함한다. D1의 경우 타공에 의한 사경(斜傾, 한쪽으로 비스듬히 기울어짐), 그물을 이용한 조업 상황, 그린워터와 같은 지속적인 경사 발생시 경보 모드가 작동한다. 소각도의 각도수집은 Fig. 9의 알고리즘을 사용하였으며, 할당된 버퍼용량에 시계열 각도를 저장하여 통계처리를 수행한다. 새로운 시계열 각도 정보가 입력 될 경우 오래된 순서대로 삭제되는 방식이며, 엔진냉각수 파이프 파열에 따른 해수유입, 타공 등과 같은 사고시 경보할 수 있는 방법이다.

D2의 경우 GZ-Curve기반 1단계 경보 모드이며, 해당 모드에 적용되는 운동이 1회 발생되었을 시 작동하지 않으며, 확률적인 빈도를 계산하여 일정 빈도 이상 발생시 경보 모드가 작동한다. 특히 기준 선종마다 상이한 기준 각도를 선정하며, 해당 각도는 복원성 정보를 기준으로 판단한다. 또한

수집되는 표본의 개수는 Fig. 9의 할당된 개수를 기준으로 하며 상기 기준각도를 초과하는 각도를 확인하여 통계적인 방법으로 접근한다.

D3의 경우 D2와 동일한 방법으로 2단계 경보 모드이며, 1단계보다 각도는 더 크고, 1단계보다 조금 작은 빈도에서 발생하는 경보 모드이다.

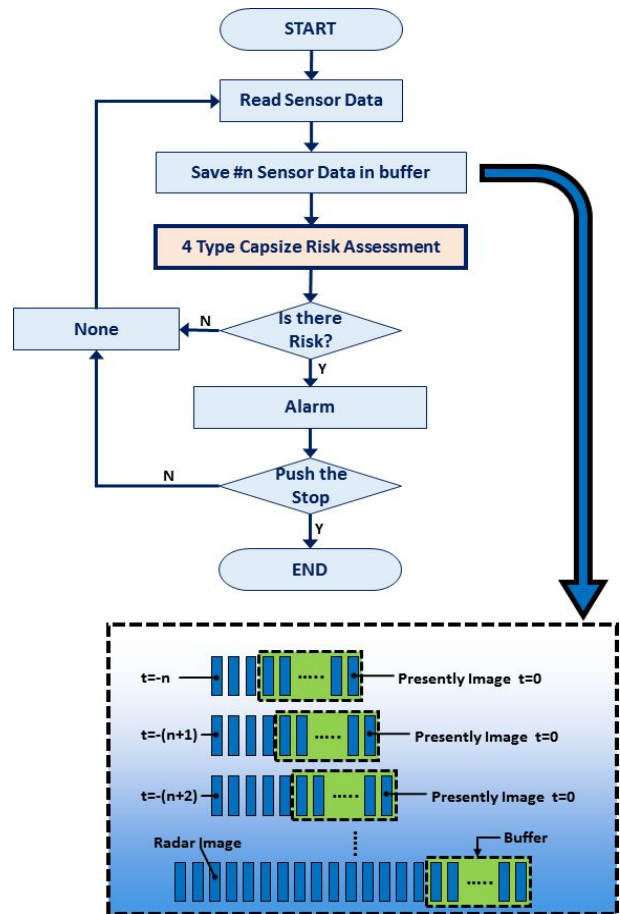


Fig. 9. Flow chart of capsizing alarm system.

D4의 경우 GZ-Curve기준, 복원력을 상실 가능한 최대 각도일 경우 발생하는 경보 모드이며, 단 1회의 상황에 대해서 즉각 경보가 발생한다. 또한 각 선종별 RAO의 최대 응답치와 연계하여 선정할 수 있다.

기준각도 D1~D4는 선박운동특성과 복원정(GZ)에 의해 결정되며, 선종과 선형에 따라 서로 다른 기준을 적용할 수 있도록 구성되어 있다. 복원정의 경우 횡요각도와 복원력의 관계에 의해 도출되는 복원성 평가의 대표적인 지표이며, 해당 횡요각도의 경우 복원성과 직결되어 있다. 정량적인 기준각도 선정을 위해서 모델링을 통한 운동해석과 IMU센서를 이용한 운동계측을 수행하였으며, 해당 기준의 적용가

능성에 대해서 상기 계측값을 이용하였다. 그러나 실제 선박의 경우 전복에 가까운 위험한 항해가 불가능하여 전복경보시스템을 테스트하는 것이 어렵다. D1~D4에 포함되는 주요 약어는 Fig. 12에 설명하였다.

Fig. 10은 D1~D4를 산정하는 예를 보여주며, D1의 경우 침수, 사경등에 해당하는 경보이며, 본 연구에서는 침수 기준 각도를 10도로 설정하였고, 10도 이상의 사경이 발생할 경우 알람이 발생한다. D4(3단계 경보)는 복원력 상실각도를 의미하며 해당 각도를 100%로 가정하여, 본 연구에서는 D3(2단계 경보)는 D4의 70%, D2(1단계 경보)는 D4의 40%로 설정하여 경보 알람 확인을 수행하였다. 즉, $X_2 = 70$ 이며, $X_1 = 40$ 이된다. 해당 값은 선종, 선형, 어선의 적재 상황에 따라 달라질 것이다. 예를 들면, 통발어선의 경우 조업 종료 이후 귀항시 무거운 통발을 선실 상부에 적재하는 경우가 빈번하다. 해당 경우에는 상기 X_1 및 X_2 의 값을 상대적으로 적게 설정하여 낮은 각도의 경보가 필요가 있을 것이다.

본 연구에서는 경보의 가능성을 확인하는 단계로 상기 값은 임의로 설정하였다.

4. 횡동요 운동 시험

상용소프트웨어를 이용하여 모형선의 운동성을 계산한 결과, 대형선 계산시 적용되는 부가물에 따른 감쇄계수 등을 어선과 같은 소형선박에 적용하기에 적합하지 않은 것으로 확인되었다. 이에 따라 2가지 선형의 모형선을 선정하여 운동시험을 수행한다.

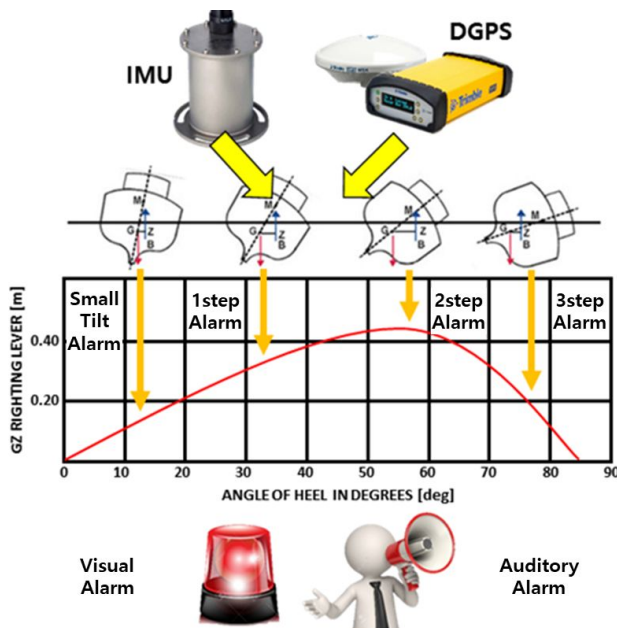


Fig. 10. Example of alarm level based on GZ-curve.

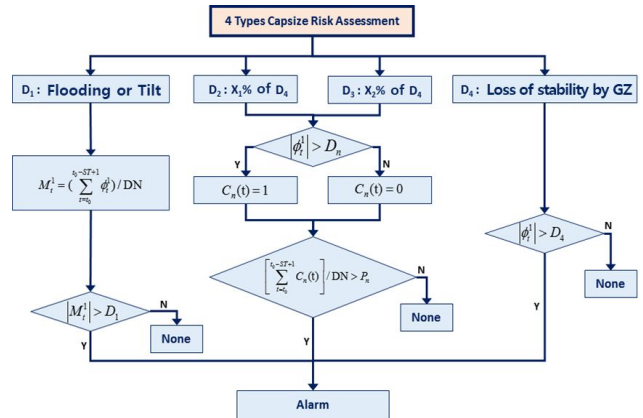


Fig. 11. 4-Main algorithm of system.

Abbreviation	Contents
D_n : Criterion Degree	$n = 1, 2, 3, 4$ $n = 1$: Flooding, small tilting $n = 2$: X_1 of D_4 $n = 3$: X_2 of D_4 $n = 4$: Loss of stability by GZ (depends on ship type)
SR(Hz)	Sampling rate of IMU sensor
ST(sec)	Sampling time
DN	# of Data (=SR×ST)
ϕ_i^t : Sample data	$i = 1$: roll $i = 2$: pitch $i = 3$: yaw $t = time$
P_n	Capsizing risk coefficient $0 \leq P_n \leq 1$
M_i^t	Frequency of judgment coefficient

Fig. 12. Abbreviations and variables of algorithm.

4.1 모형선 선정

운동시험을 수행할 대상선형은 선형특성이 다를 것으로 예상되는 2가지 선형을 선정하였으며, 해당 2가지 선형은 일반적인 어선선형과 해양사고가 발생했던 선형이다. 상세제원과 선도는 Table 1, Fig. 13, Fig. 14과 같다.

모형선의 재질은 FRP(fiber reinforced plastic)이며, 축척비는 5.35이다. 관성반경을 산정하기 위해 자유횡동요 감쇄시험을 진행하였으며, 어선 복원성 정보와 유사하게 조정하였다.

Table 1. Specification of ship model

Model	Length	Width	Draft	L/B	B/D
A	15.04	3.22	1.15	4.67	2.80
B	14.50	3.29	1.03	4.41	3.19

4.2 수조 및 계측 장비

본 시험은 국립수산물학원 예인수조에서 수행되었으며 수조는 길이 85 m, 폭 10 m, 수심 3.5 m이고, 후면과 측면에 소파기가 설치되어 있다(Fig. 15).

어선전복경보시스템 알고리즘 검증을 위한 어선 횡동요 시험 및 시간영역 횡동요 시뮬레이션

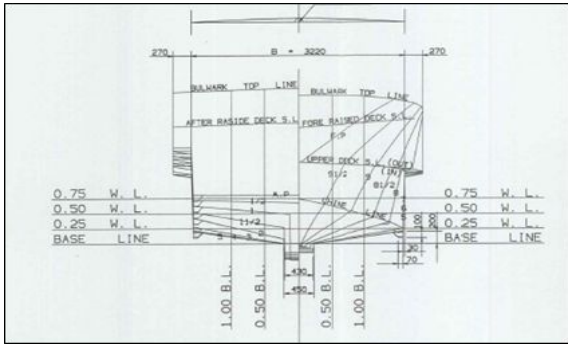


Fig. 13. Model Ship, A Type.

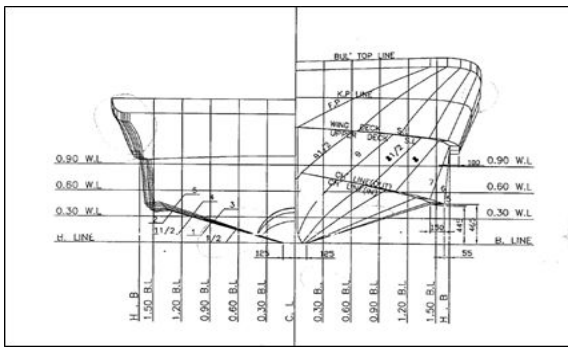


Fig. 14. Model Ship, B Type.

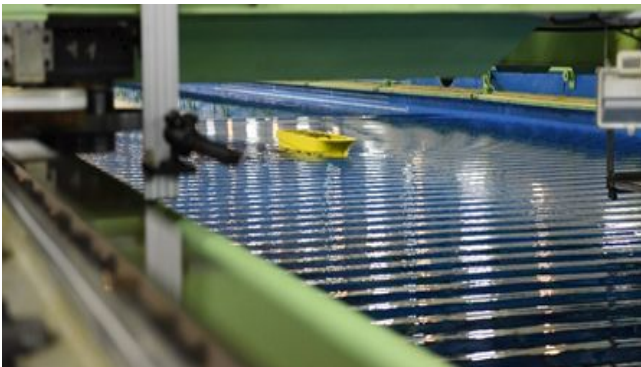


Fig. 15. Photo of motion experiment.

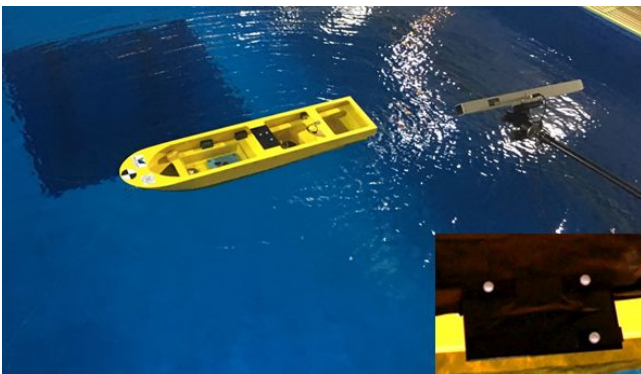


Fig. 16. Set up for instruments.

횡동요를 비롯한 운동 계측은 2가지 종류의 센서를 통해 획득하였다. 첫 번째는 무선 IMU센서를 이용하여 실시간 회전과 관련된 운동량을 정확히 측정한다. 두 번째는 Trinocular 카메라 기반 운동계측장비인 Motion Technology社의 Optitrack을 사용하였다(Fig 16). 해당 방식은 운동계측 물체에 마커를 부착하여야하며, 마커 설치지점으로부터 모형선의 COG(centre of gravity)까지 변환을 통해 모형선의 운동량을 계산한다. 본 시험에서는 복수의 계측장비를 동원하여 시험의 핵심인 운동 계측을 정확히 하고 데이터 손실을 예방하였다.

4.3 Wave Conditions

본 시험에서 사용된 규칙파 파랑 조건은 Table 2와 같다. 규칙파는 1/50 Steepness 중, 실선 기준 1초~5초 주기의 범위에서 8개의 주기를 선정하였으며, 목표파고를 찾기 위해 캘리브레이션을 수행하였다. 규칙파는 목표대비 10% 이내로 오차범위로 확인되었으며, 이외의 파 조건에서는 조파기의 물리적인 한계로 인해 큰오차가 발생하여 제외하였다.

규칙파는 모두 용량식 파고계를 통해 정량적으로 계측하여 RAO를 도출하는데 사용된다.

Table 2. Regular Wave Condition

WAVE#	T [sec]	MODEL T[sec]	AMP (OUT)	AMP (TARGET)
1	1.16	0.5	4.22	3.9
2	2	0.86	1.18	1.17
3	2.5	1.08	1.85	1.83
4	2.75	1.19	2.31	2.21
5	3	1.3	2.75	2.63
6	3.5	1.51	3.48	3.58
7	4	1.73	4.53	4.67
8	5	2.16	7.59	7.27

4.4 시험 및 계측 결과

모형선은 다점계류식(spread mooring)으로 구성되었으며, 계류선은 선박 고유의 운동특성을 방해하지 않는 고유주기를 가진 스프링을 사용하였다. 특히 계류 전·후 자유횡동요 감쇄 시험을 통해 계류에 의한 영향을 확인하였다.

본 연구에서는 횡동요 계측을 목표로 간주하여 진행하였으며, 계측된 결과는 Fig. 17, Fig. 18과 같다. Fig. 17은 A선형에 대한 head sea(회색 사각형), quartering sea(주황색 삼각형), beam sea(파란색 원) 조건에서 횡동요 RAO이며, Fig. 18 역시 동일한 조건이다.

RAO는 단위입사파에 대한 운동 응답을 나타내는 지표이며 이를 위해 파고계로 계측된 파고정보를 사용하였다.

Table 3. Irregular Wave Condition

Parameter	ENV 1	ENV 2	ENV 3	ENV 4	ENV 5
H_s	3	5	3	5	6
T_p	2.5	2.5	3	3	3
γ	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3

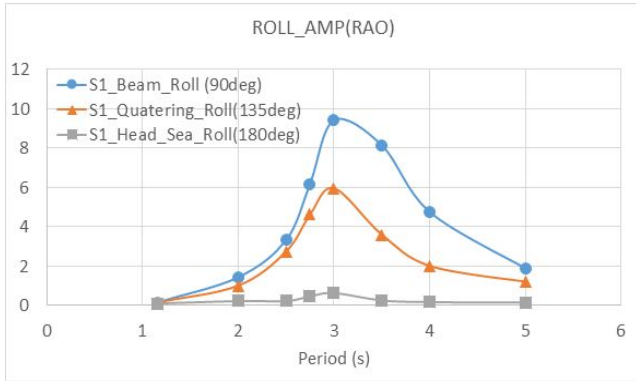


Fig. 17. Roll RAO for A type.

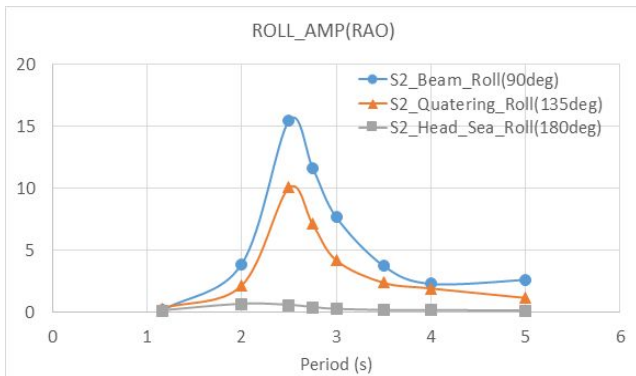


Fig. 18. Roll RAO for B type.

5. 시간영역 횡동요 시뮬레이션 및 어선전복경보 시스템 알고리즘 검증

5.1 시간영역 횡동요 시뮬레이션

시간영역 횡동요 시뮬레이션은 실험적으로 측정된 RAO와 파랑스펙트럼을 이용하여 선형중첩법(linear superposition)을 통해 수행된다.

선형중첩법을 위해 파랑스펙트럼과 RAO의 조합으로 운동스펙트럼을 도출하고, 랜덤 위상(random phase)를 사용하여 실제 해양환경의 불규칙성을 모사한다. JONSWAP Spectrum을 사용하였고, 모두 5가지 종류의 해양환경을 구성하였다. 특히 횡동요의 운동이 가장 큰 주기(resonance frequency)에 에

너지를 집중할 수 있도록 조건을 선정하였다(Table 3).

시간영역 횡동요 시뮬레이션은 자체 in-house 코드를 사용하였으며(Yang and Kwon, 2016; Yang and Kwon, 2017), beam sea 조건만을 가정하여 수행되었다.

특히 실험을 통해 도출된 RAO는 파랑 스펙트럼과의 조합을 통해 운동 스펙트럼으로 변환되며, 해당 운동스펙트럼은 불규칙위상(random phase)이 포함된 선형중첩법에 의해서 시간영역 횡동요 시뮬레이션이 수행된다. Seed의 경우 모두 30개가 사용되었다. 또한 Table 3의 좌측 파라미터는 유의파고, 최고파주기, 최고점 상승값(peak enhancement)이며, 최고점 상승값의 경우 에너지의 집중도를 뜻한다. 즉 값이 클수록 해당 주기에 집중되는 파랑을 생성할 수 있다.

5.2 전복경보시스템 알고리즘 검증(사경 등 침수상황 가정)

침수, 타공에 의한 사경조건인 경우 장시간에 걸쳐 서서히 횡경사가 발생하는 문제가 있다. 선박운동의 경우 외력에 의한 횡동요가 발생하며, 윈도우 사이즈에 의해 시간영역에서 해당 횡동요 값을 평균을 취한다면 통계적인 특성에 의해 0°에 가까운 값(정상적인 배의 경우)으로 계산될 것이다. 다수의 해양사고 조사결과를 분석한 결과 타공 및 침수 등에 의한 지속적인 횡경사 문제의 경우 사람이 인식하지 못하는 경우가 대부분이다.

이에 착안하여 특정 윈도우 사이즈(본 연구에서는 40초로 임의 설정)동안 그 평균값이 D1, 즉, 10°를 초과할 경우 침수경보가 발생하는 원리이다.

Fig. 19 및 Fig. 20과 같이 침수조건을 가정하여 실험을 수행하였으며, 경보는 약 35분 40초 경에 발생되었으며, 36분 00초경에 경보 발생이 중단되었다. 윈도우 사이즈에 의거하여 경보가 발생하기 때문에, 36분 40초까지 침수라고 인식되었던 조건이 36초 00초경에는 정상 선박상태로 인식되어 경보가 중단되었다.

어선의 경우 그물작업과 같은 조업시 침수와 유사한 조건으로 경보시스템에서는 인식할 수 있으며, 시스템이 오작동을 할수 있다. 이를 예방하기 위해 정상상태로 복귀할 경우 알람이 자동으로 중단될 수 있도록 개발하였다.

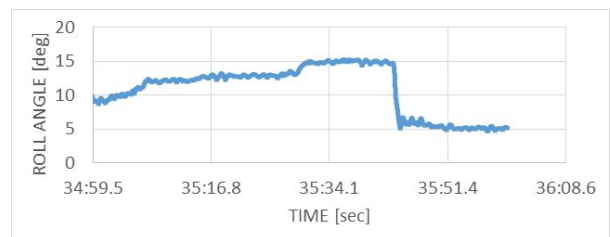


Fig. 19. Experiment result of roll angle assumed ship flooding condition.

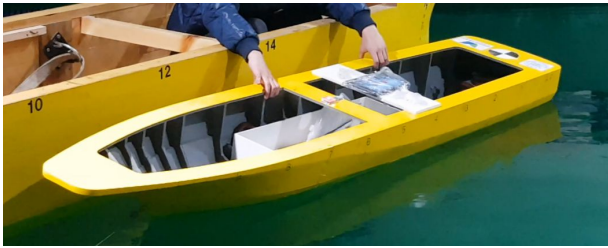


Fig. 20. Photo of experiment assumed ship flooding condition.

5.3 전복경보시스템 알고리즘 검증(시뮬레이션)

3장에서 밝힌 알고리즘의 경우 IMU센서에서 입력되는 운동 계측 결과로 작동되며, 본 연구의 경우 센서에서 전달하는 운동센서의 신호를 횡동요 시뮬레이션을 통해 입력하는 특징이 있다. Table 5는 두가지 종류의 선형 A, B에 대해 Table 3의 해양조건을 기반으로 경보시스템을 시뮬레이션하여 경보 알람이 발생된 횟수를 나타내고 있다.

경보 알람 횟수의 경우 Table 3에서 사용된 해양환경 조건과 실험을 통해 계측된 횡동요 RAO를 이용하여 실선기준 2시간동안 시간영역 시뮬레이션을 수행하였다. 선형A 및 선형B의 복원성계산서에 GZ-curve 기준 복원력 상실 각도는 약 30도와 40도 이다. 해당각도는 GZ-curve에서 최고 횡요각을 의미하며, 해당 각도가 D4에 해당된다. D3의 경우 D4의 70%, D2의 경우 40%로 산정하였으며, D1의 경우 10도이다. 해당 각도 및 비율은 연구를 위해 임의로 선정되었다. 상세한 계산 결과는 Table 4에 산정하였다.

전복에 가까운 과고 조건에서의 운동실험은 침몰등과 같은 위험한 상황이 존재하기 때문에 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 선형적으로 경보 발생여부를 확인이 주요 연구 목표이다. Fig. 21은 시간영역 횡동요 운동 시뮬레이션의 일부를 나타내며, Fig. 11의 알고리즘에 의해 Table 5와 같은 결과를 도출하였다.

예를 들면, Table 4에서 선형A의 D2는 12°이다. 해당 조건을 이용하여 Fig. 21에서 12도를 초과할 경우 카운트를 시작하며, 특정 시간동안 해당 카운트의 숫자가 그 기준을 초과할 경우 1단계 경보가 발생하는 원리이다. 타 경보의 단계도 동일한 방법으로 작동된다.

Table 4. Calculation of D1~D3

Alarm	D1	D2 (40% of D4)	D3 (70% of D4)	D4
A	10°	12°	21°	30°
B		16°	28°	40°

Table 5. Number of alarm

Alarm	ENV1		ENV2		ENV3		ENV4		ENV5	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1Step (D2)	46	47	73	97	51	57	86	78	95	91
2Step (D3)	14	16	20	31	25	23	37	32	48	38
3Step (D4)	0	1	2	3	1	1	3	2	6	6

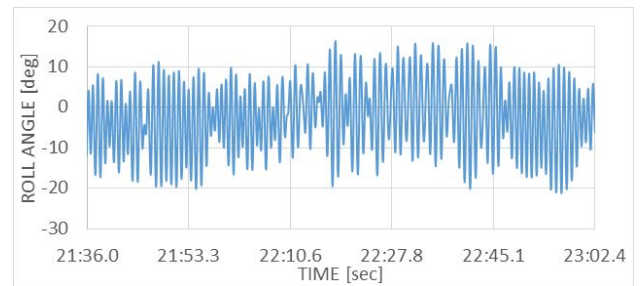


Fig. 21. Example of roll angle in time domain.

6. 결론

본 연구는 어선전복경보시스템의 알고리즘 검증을 위해 어선의 운동실험을 수행하여 횡동요에 대한 정량적인 결과를 도출하였다. 어선의 경우 다른 선박과 달리 형상의 특징으로 인해 점성의 영향력이 크며, 해석적인 방법으로 횡동요 대한 결과를 도출하기가 현실적으로 어렵다. 이에 따라 실험을 통해 보다 정확한 횡동요에 대한 결과를 도출하였다. 해당정보는 2가지 선형에 대한 Roll RAO이며, 선형중첩법을 이용한 시간영역 횡동요 시뮬레이션에 사용되었다. 어선전복경보시스템의 경우 센서에서 출력되는 운동신호, 특히 Roll 값을 주요 인자로 사용하고 있는바, 시간영역 Roll 시뮬레이션을 통해 실제 센서에서 출력되는 값을 대체한다.

최종적으로 시뮬레이션으로 대체된 신호값은 전복경보알고리즘에 적용되어, 해당 알고리즘의 동작여부를 판단하는데 사용되었다. 본 연구는 알고리즘의 동작여부를 확인하기 위한 가장 기본적인 단계의 연구이며, 추후 전복경보시스템 완성에 필수적으로 사용되고 다음의 결과로 귀결된다.

1. 해양사고분석결과 어선의 비율이 대단히 높고, 전복, 침몰과 같은 사상자 발생 가능성이 높은 사고가 빈번하게 발생사실을 파악하였다. 따라서 사전예방과 사후대처가 필수적이며, 기 개발된 프로토타입의 전복경보시스템이 그 역할을 할 수 있을것으로 판단된다.

2. 실제어선의 거동특성은 합법적인 부가물 및 확장, 어망/어구탑재, 어창 자유수등 다양한 요소에 의해 실제 모델링

을 통한 계산 결과와 상이하다. 특히 횡요운동의 경우 비선형성이 큰 특징으로 인해 부가물에 관한 댐핑 계수가 반드시 고려되어야 할 것으로 판단된다. 이는 수조실험 및 CFD 해석을 통해 후속연구가 필요한 것으로 사료된다. 본 연구에 앞서 일부 상용 소프트웨어를 통해 운동 계산을 수행한 결과, Roll 모드의 경우 RAO의 크기가 실험과 비교하였을 때 맞지 않는 것을 확인하였다. 그 이유로는 소형선박의 경우 선박의 크기에 비해 대각도 형상과 부가물이 많아 점성의 영향이 지배적이며, 이에 따라 기존 포텐셜코드의 해석은 한계가 있는 것으로 판단된다.

3. RAO의 경우 단위파고(unit amplitude wave)가 입사했을 때 부유체의 거동을 파악할 수 있는 중요한 지표이다. 해당 RAO와 JONSWAP 스펙트럼을 이용하여 불규칙 파랑중 Roll 시뮬레이션을 수행하였으며, 다른 운동모드와의 연성은 본 연구에서는 제외되었다.

4. 해당연구결과는 전복경보시스템의 HIL(hardware In Loop) 테스트를 수행하기 위해 필수적인 것으로, 운동특성과 해석 특성을 반영하여 시간영역 운동정보를 획득할 수 있다. 따라서 상기 모델링을 통한 RAO계산을 일회성에 그치지 않고 후속연구 수행에 밑거름이 될 것으로 판단된다.

5. D1~D4에 해당하는 각도와 X_1, X_2 비율을 산정하기 위해서는 다수의 소형선박의 복원성 파악과 선형해석이 필수적이다. 현재 소형선박의 정보는 경험으로 도출된 결과가 다수이며, 대부분 자료가 전무한 상황이다. 따라서 데이터베이스에 근간한 운동해석이 필요할 것으로 사료된다.

6. 어선전복의 기준은 GZ-curve를 기준으로 설정하며, 알고리즘의 정확도 향상을 위해 실험을 통해 계측된 RAO를 반영한 것이 특징으로 간주된다.

후 기

본 연구는 선박안전기술공단 자체연구사업의 지원으로 수행되었으며, 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임을 밝힙니다(NRF-2016R1A6A3A11936040). 또한 선박안전기술공단의 재원으로 “선박운동 계측시스템 구축을 통한 어선 전복경보시스템 개발” 연구사업의 수행한 성과물이며 지원에 감사드립니다.

References

[1] Chun, S. H., H. H. Chun, C. H. Kim and S. Y. Kim(1999), Development of a Stability System to Prevent a Capsize of a Small Fishing Vessel, Journal of Ocean Engineering and

Technology, Vol. 13, No. 1, pp. 130-137.
 [2] Korean Maritime Safety Tribunal(2017), <http://www.kmst.go.kr>.
 [3] Park, J. W., H. J. Lee and J. N. Kim(1998), Development on Evaluation Technique of Stability for Safety Elevation in Fishing (Stow-Neting) Vessel, Journal of The Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 4, No. 2, pp. 53-62.
 [4] Yang, Y. J. and S. H. Kwon(2016), Prediction for Irregular Ocean Wave and Floating Body Motion by Regularization: Part 1. Irregular Wave Prediction, Transactions of FAMENA, Vol. 40, No. 4, pp. 41-54.
 [5] Yang, Y. J. and S. H. Kwon(2017), Prediction for Irregular Ocean Wave and Floating Body Motion by Regularization: Part 2. Motion Prediction, Transactions of FAMENA, Vol. 41, No. 1, pp. 37-53.

Received : 2017. 12. 04.

Revised : 2017. 12. 18. (1st)

: 2017. 12. 22. (2nd)

Accepted : 2017. 12. 28.