

선박 침수사고를 대비한 비상용 배수시스템 용량추정 프로세스에 관한 연구

박병수 · 김성수 · 이순섭 · 강동훈[†] · 조현국
(경상대학교 해양산업연구소)

Estimation Process for the Capacity of Emergency Drainage System on a Ship after Flooding Accident

Byung-Soo PARK · Sung-Soo KIM · Soon-Sup LEE · Dong-Hoon KANG[†] · Hyun-Kuk CHO
(Gyeongsang National University Institute of Marine Industry)

Abstract

This paper proposed a process for estimating the required capacity of emergency drainage system on a ship when the ship encounters a flooding accident. The process was established by selecting target vessel, making a scenario of flooding accident, considering static behavior of flooding water and the effect of ship motion due to ocean condition. In order to obtain the object of the research, MATLAB codes were developed for analyzing of static behavior of flooding water. Additionally, Ansys AQWA-NAUT was used to analyze the motion of the ship under an ocean condition and then the effect of ship motion was considered when the static behavior of flooding water was studied. The research exploited a trawler as a target vessel, and estimate the necessary capacity of the trawler's emergency drainage system by simulating a flooding water in the vessel.

Key words : Flooding accident, Drainage system, Simulation, Flooding water, Trawler

I. 서론

우리나라의 해상교통은 사람 및 물류의 수송에 있어 교통의 주요한 부분을 차지하고 있고 그 규모도 해마다 증가하고 있다(Kim, 2016). 생산기반의 여선 수를 더하면 해상교통량의 밀도가 증가하고, 이는 필연적으로 해양사고의 증가요인이 된다. 이에 더하여 선박의 노후화도 사고위험을 증가시키는 요인이 되고 있고 KMC(2015)에 따르면 근해여선 중 46%가 16년 이상, 25%가 21년 이상으로 선박의 노후화에 따른 안전대책이 절실한 시점이다.

국내 해양사고에 대한 연구의 사례는 통계학적 관점에서 해양사고의 현황과 원인 분석을 통한 사고발생 예방 및 사후 대책방안을 제시하는 연구가 진행되었고 연구방법으로는 일정기간 동안의 해양사고 데이터를 분석하고 이를 사고원인별, 선종별로 분석하여 원인별, 선종별 사고 예방을 위한 대책을 제시하고 있다. Kang et al.(2013)에 따르면 침몰사고의 원인으로 갑판 침수에 따른 기관실침수 등이 원인으로 제시되었고, Jung et al.(2012)은 여선 전복사고의 원인 중의 하나로 기상악화로 인한 선내로의 침수를 제시하였다.

[†] Corresponding author : 055-772-9192, kangdonghoon@gnu.ac.kr,

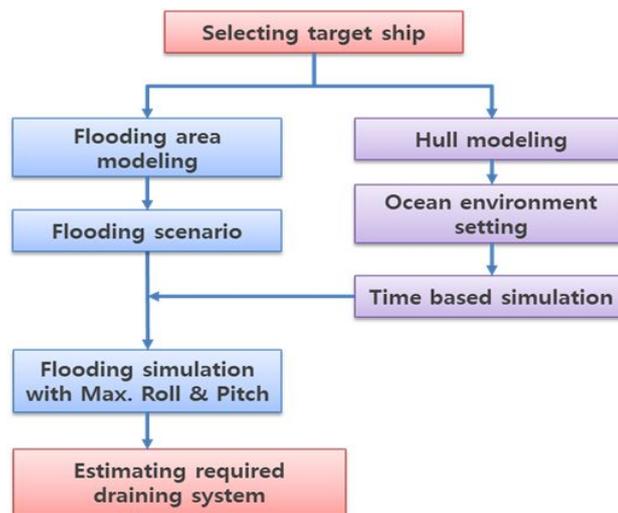
이렇듯 침수사고는 인명사고와 직결되는 침몰 및 전복의 원인이 되나, 국내의 침수사고에 대한 연구는 현존선의 사고발생 시 대처방법보다는 신조 선박의 설계에 있어 향후 발생될 사고 및 손상으로부터 선박 침몰방지를 위한 수밀격벽 설치 및 탈출이 용이한 선박 설계를 위한 기술 개발에 목적을 두거나(Lee et al., 2009; Ha et al., 2013), 기 사고선박을 대상으로 사고원인을 분석하는 연구의 형태로 진행되었다(Kim et al., 2015). 선박 내의 침수류의 거동을 포함하는 침수사고에 대한 연구도 진행되었으나, RO-RO선 등 승객의 안전을 대상으로 하는 선박에 대해 진행되었고(Cho et al., 2005), 선박의 노후화 및 악천후 중의 조업이 많아 타선종에 비하여 상대적으로 침수사고에 많이 노출되어 있는 어선의 경우 침수사고에 대한 연구는 미진한 실정이다. 선박에는 주 및 보조 빌지펌프 등의 배수시스템이 설치되어 침수사고에 대비하지만, 침수사고로 인한 배수 시스템의 전기적, 기계적 고장을 배제할 수는 없다. 이 같은 이유로 선박에는 이동식 잠수펌프 등의 비상용 배수시스템을 구비하고 있지만, 침수사고의

해결을 위한 비상용 배수시스템의 용량을 정하기는 쉽지 않다.

본 연구에서는 선박의 침수사고를 대비한 비상용 배수시스템의 용량추정의 프로세스를 제안하고자 한다. 그리고 제안된 프로세스에 따라 기존의 사고를 참고하여, 침수사고 시나리오 및 사고해역을 설정하고 침수사고의 대처를 위한 비상용 배수시스템의 용량추정을 진행하였다. 또한, 용량추정 프로세스의 신뢰도를 높이기 위해 침수사고로 인해 발생한 선내 침수류의 정적거동해석 및 파랑 중 선박의 운동의 영향이 고려되었다.

II. 연구의 수행방법

선박의 침수사고 시, 선박 내에서 발생하는 문제상황을 해결하기 위한 비상용 배수시스템의 용량추정 프로세스를 [Fig.1]과 같이 제안하였다. 제안된 프로세스는 침수류의 거동 및 선박운동에 따른 침수류의 거동에 의해 야기되는 추가적인 고려사항을 포함한다.



[Fig. 1] Proposed process of estimating emergency draining system capacity

제안된 프로세스에 따라 침수사고 시의 비상용 배수시스템 용량추정을 수행하기 위해 대상선박을 선정 후, 파랑 중 선박의 운동을 해석하기 위한 선체모델링 및 선박 내의 침수구역 시뮬레이션을 위한 침수구역의 모델링을 진행하였다. 침수시나리오를 설정하고 침수시나리오에 따른 선박 내의 상황을 분석하기 위해 선박 내의 침수류의 정적거동 시뮬레이션을 수행하였다. 파랑중 선박운동의 영향을 고려하기 위하여 파랑하중에서의 선박운동을 시뮬레이션하고 시간영역 시뮬레이션 내에서 발생하는 횡동요(Roll)와 종동요(Pitch)의 최대값을 사용하여 침수류의 거동을 파악하고 시나리오 상의 문제해결을 위해 필요한 비상용 배수시스템의 용량을 추정하였다.

Ⅲ. 모델링 및 침수시나리오

1. 대상선박의 선정

악천후에서의 작업이 많고 양방작업 및 어획물의 선내 투입작업 등의 작업 중 갑판 개구부로부터의 침수사고에 취약한 트롤어선을 대상선박으로 설정하였다. 본 연구에서 사용된 선박은 수선간장(LBP, Length Between Perpendiculars) 73m의 1,700톤급 트롤어선으로 2014년 12월 베링해에서 작업하다 침수사고를 당한 선박이 사용되었다.

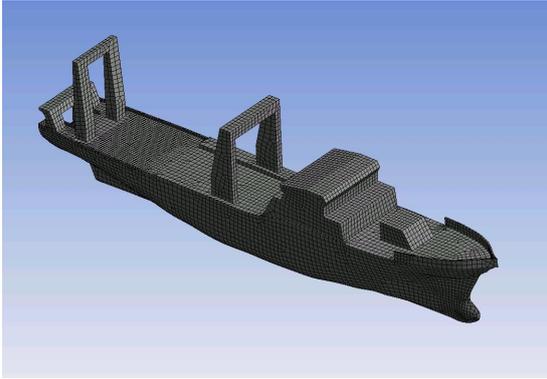
다만, 실제 사고 시의 정확한 조건의 추정이 어렵기 때문에 침수시나리오와 시뮬레이션에서는 가상의 조건을 주어 연구를 진행하였다. 시뮬레이션에 사용된 선박의 기본제원을 <Table 1>에서 나타내었다. 시나리오 상의 선박의 상태는 배수량을 3713.5ton으로 가정하고 갑판으로부터 선내로의 해수침수를 배수량의 약 2%인 75.5ton으로 설정하였다.

2. 선체 모델링

파랑 중 선박의 운동해석을 위하여 현업분야에서 널리 사용되고 있는 Ansys AQWA-NAUT를 사용하였다. 파랑하중이 선박에 작용하는 힘을 계산하여 선박의 운동을 해석하기 위해 메쉬형태의 격자생성이 필요하다. AQWA-NAUT에서는 파랑하중을 계산하기 위해 파장의 1/7이하의 격자크기로 구성되어야 한다. 최대 격자크기를 1.3m로 제한하였고 이에 따라 계산 가능한 최대 주파수는 2.6rad/s로 설정되었다. 이는 침수시나리오에서 설정한 불규칙파 파워스펙트럼의 약 97%를 고려할 수 있는 주파수이다. 총 10,414개의 격자가 선박의 모델링에 사용되었다. 격자로 구성된 대상선박의 모델링을 [Fig. 2]에서 나타내었다. 포텐셜 유동이론을 사용하는 프로그램은 파랑하중을 해석하기 위하여 수면하 선박하부의

<Table 1> Specification of the target ship after flooding

Item	Specification	Remark
Gross Tonnage	1,753 ton	
Displacement	3,789 ton	Including 75.5ton flooding from hatch cover
LBP	73.0 m	
Breadth(MLD)	13.0 m	
KG	5.61 m	
Draft	5.72 m	fore.
Draft	7.51 m	aft.



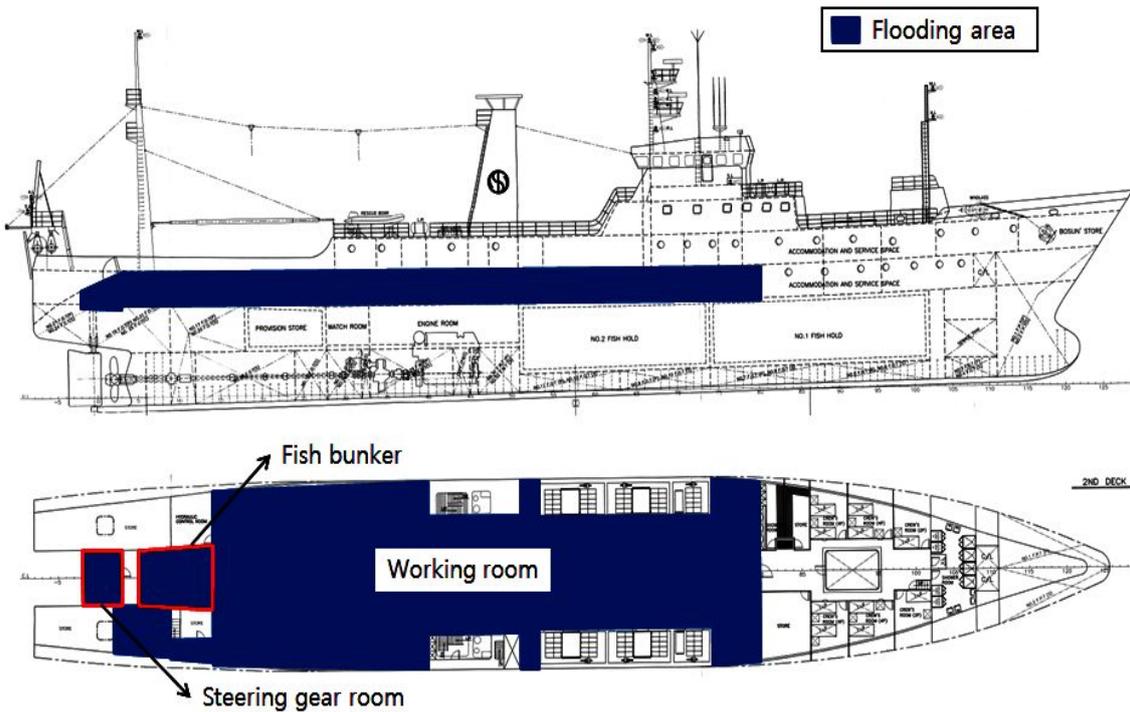
[Fig. 2] Modeling of the target ship

격자만을 필요로 하지만, AQWA-NAUT의 경우 시간에 따라 변화하는 해수에 닿는 모든 선체 표면에 대하여 비선형 Froude-Krylov 힘 및 정수압에 의한 힘을 계산하기 때문에 수면 상부의 선체에도 격자를 이용하여 모델링을 하였다(Ansys, 2012). 바람의 힘을 적용하기 위하여 Fujiwara 모

델을 이용하여 수면상부의 측면과 정면의 투영면적을 모델링하고 10도 간격으로 전후동요(Surge) 방향, 좌우동요(Sway)방향, 횡동요(Roll)방향, 선수동요(Yaw)방향의 풍력계수를 구하여 적용하였다 (Fujiwara et al., 2001).

3. 침수구역 모델링

대상선박에 침수사고가 발생되었을 때, 침수가능구역은 트롤어선의 갑판의 해치커버로부터 침수가 시작되었다고 가정하고 해치커버 아래부분의 피시병커, 처리실 및 타기실로 설정하였다. 그리고 침수구역에서 선내 하부로의 침수류 전파는 차수문 등에 의해 진행되지 않음을 가정하였다. 해치커버로부터 침수가 발생하였을 때 선내의 침수가능구역을 [Fig. 3]의 일반배치도에 표시하였다.

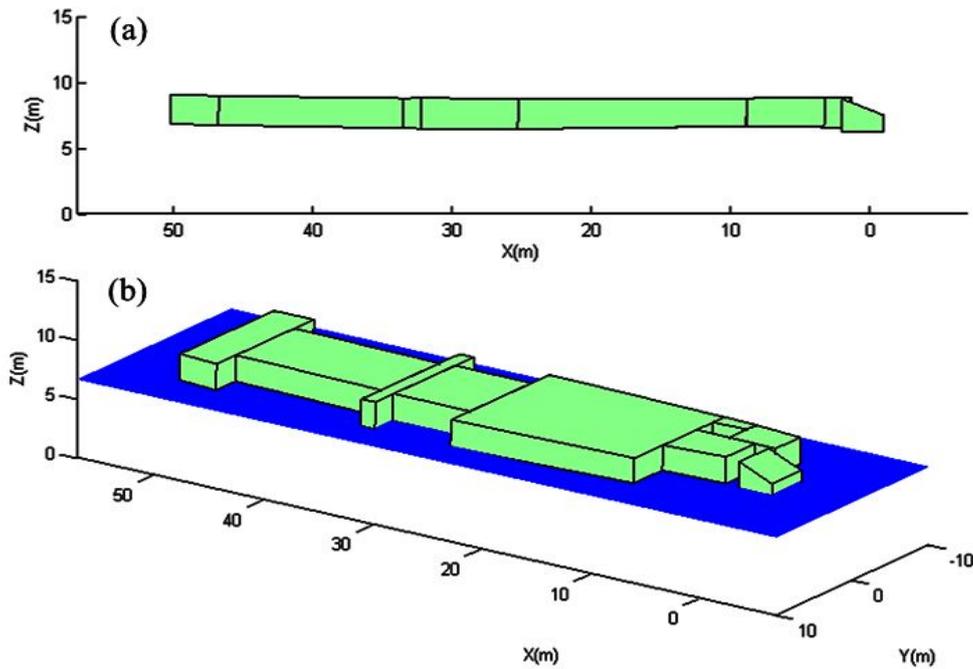


[Fig. 3] Flooding area in the target ship

[Fig. 3]에서 2차원으로 표현된 침수가능 구역을 <Table 1>에서 설정한 해수침수량 75.5ton을 고려하여 침수구역을 3차원으로 재구성한 침수구역의 모델링은 [Fig. 4]와 같다. 일반배치도로부터 설정된 침수구역의 좌표를 구하고 Matlab의 3차원 모델링 함수를 이용하여 모델링을 수행하였다. [Fig. 4]의 a는 침수구역의 측면을 보여주고 있고 [Fig. 4]의 b는 자유수면과 함께 침수구역을 3차원으로 나타내었다.

침수구역 내 내부설비에 따라 침수가 되었을

때 침수구역의 침수량 및 침수류 높이의 추정은 달라질 수 있다. 특히, 타기실 및 처리실에는 타기(Steering gear), 컨베이어 등의 내부 설비가 설치되어 있어 침수량 추정에 있어 기존의 내부설비가 차지하는 부분을 제외하여야 한다. 이에 내부설비 및 장비가 침수구역 내에 차지하는 비율을 <Table 2>와 같이 설정하였다. 침수량 및 침수류의 높이 추정에 있어 <Table 2>에 제시된 비율을 타기실 및 처리실의 전체면적에 대비하여 제외하였다.



[Fig. 4] 3D modeling of the flooding area

<Table 2> Ratio of equipment in the flooding area

Area	Ratio of equipment	Remark
Steering gear room	30%	Ratio of equipment due to Steering gear, etc. is high, because room volume is small.
Working room	10%	Ratio of equipment due to conveyor, etc. is low, because room volume is large.

4. 침수시나리오

불규칙파(유의파고: 4.2m, 피크주기:8.6sec, 입사각:175도), 지속풍(풍속: 15.5m/s, 입사각: 135도)내에서 선박이 해양환경하중을 받는 것으로 설정하였다. 이 같은 조건은 트롤어선의 조업지인 베링해의 악천우조건으로 실제로 트롤어선이 조업 중에 직면할 수 있는 해양환경이다(Kim et al., 2015). 다만, 선박이 횡파 중에 놓이게 되면 파랑 하중에 의하여 전복 등의 상황을 접할 수 있기 때문에 침수시나리오 상에서는 선수각이 어느 정도의 시간동안 유지됨을 고려하였다.

갑판해치로부터 침수사고가 발생하여 선체 내부로 75.5ton의 해수가 침수된 상태이며 추가적인 침수가 없는 상황을 설정하였다. 유입된 해수로 인하여 타기실, 피쉬폰드 및 처리실이 침수되고 이로 인하여 타기실의 타기의 고장으로 인해 수동조타가 필요한 상황을 가정하였다. 제한사항으로 주 및 보조 빌지펌프의 고장으로 비상용 배수 시스템만으로 배수하며 타기실로 유입된 해수의 배수는 처리실에서 타기실로 들어가는 입구로만 배출이 가능하다고 설정하였다. 추가적인 제한사항으로 처리실에서 타기실로 들어가는 문턱입구는 대상선박의 내부구조를 참조하여 처리실 바닥

으로부터 60cm로 설정하였다. 타의 조종불능으로 프로펠러의 사용은 선수각의 유지를 위해 일시적으로 사용함을 가정하고 계산과정에서는 제외하였다. 시나리오 상의 해결목표는 30분 내에 타기실의 배수를 완료한다로 설정하였다. 본 연구에서 설정된 30분은 시나리오 상의 임의로 설정된 값으로, 실제 사고 상황에서는 해상상태 및 선박의 상태에 따라 문제 해결 시간은 고려되어야 한다. 본 연구에서 고려된 침수시나리오를 <Table 3>에 요약하여 나타내었다.

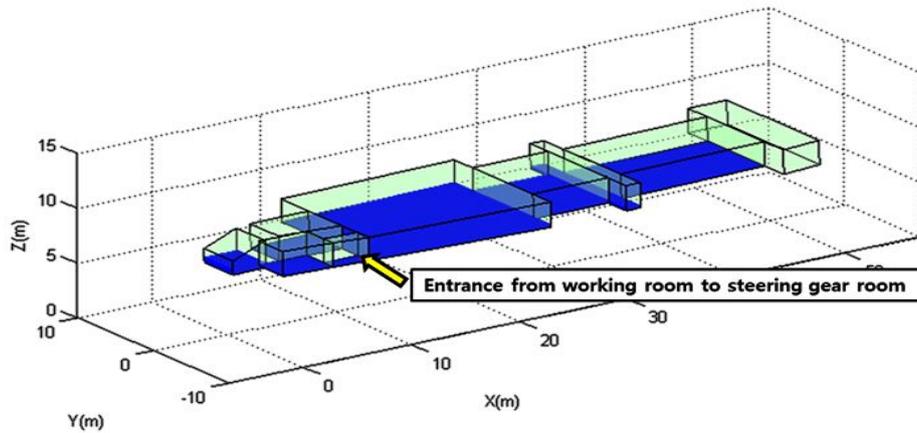
IV. 결과 및 고찰

1. 선박내 침수류의 거동

선박 내 침수류의 정적거동해석을 위해 3차원 좌표변환 및 Matlab의 외곽선 찾기 함수를 조합하여 침수구역 내의 정적거동 및 침수량해석 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램으로 횡동요와 전후동요를 고려하지 않은 상태에서 해수침수가 75.5ton이 발생한 선박상태(선미흘수 7.506m, 선수흘수 5.716m)에서의 침수구역을 3차원 모델링을 한 모습을 [Fig. 5]에 나타내었다.

<Table 3> Flooding accident scenario

Category	Item	Value
Ocean condition	Significant wave height	4.2m
	Peak period	8.6sec.
	Incident wave angle	175 deg.
	Wind speed	15.5m/s
Ship condition	Incident wind angle	135 deg.
	Steering gear	malfunction
Restriction	Amount of flooding sea water	75.5 ton
	Main & auxiliary bilge pump	malfunction
	Doorsill height from working room to steering gear room	60cm
Target work	Draining sea water in steering gear room through door to working room	
	Draining sea water from steering gear room in 30 minutes	

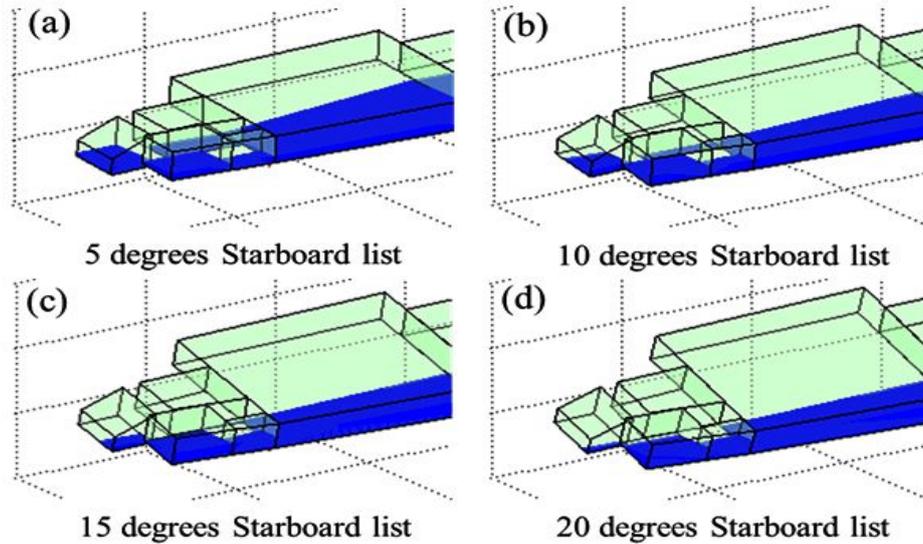


[Fig. 5] Flooding area with 75.5 ton of sea water (Draft : AP 7.506m, FP 5.716m)

이같은 상태에서 처리실에서 타기실로 들어가는 입구의 침수높이는 0.098m로 계산되었다. 선박의 동요가 없다면 침수된 타기의 수리 또는 수동조타를 위한 타기실로의 접근이 가능하고 타기실로부터의 배수가 가능한 상태이다. 바닥에 유입된 물이 고여 있지만, 비상용 배수시스템의 도움없이 비상조타도 가능하다고 판단할 수 있다. 하지만, 해양에서는 파도로 인하여 선박의 횡동요 또는 경사가 발생할 수 있고, 특히 우현으로 경사시에는 침수된 해수가 우현으로 모이게 되어 타기실로의 접근이 힘들어 지게 되고 처리실 우측의 해수높이는 문턱높이 60cm보다 높아져 타기실에서 배수를 하더라도 다시 처리실의 해수가 타기실로 들어올 수 있는 상황에 놓일 수 있다. 기 유입된 침수류는 선박의 운동에 따라 거동하게 되고, 침수류의 거동에 따라 비상용 배수시스템의 필요여부가 결정될 수 있기 때문에 먼저 횡동요에 따라 선박 내의 침수류의 거동을 분석하고 타기실의 배수가능 여부를 확인하였다. 타기실로 들어가는 입구가 선박의 우현에 위치하기 때문에 선박의 우현경사 5도에서 20도까지 5도 간격으로 4가지의 경우에 대한 침수류에 대한 정적거동을 [Fig. 6]에서 나타내었다. [Fig. 6]에서 a부터 d까지, 즉 경사가 커질수록 타기실로 들어가는 입구 부근의 침수류의 높이가 높아짐을 확

인하였다. 앞서 언급한 바와 같이 입구 부근의 침수류의 높이가 입구의 문턱높이보다 높아진다면 타기실에서 배수를 하더라도 처리실의 침수류가 다시 타기실로 들어와서 배수의 효과가 없거나 줄어들 것이다. [Fig. 6]에서 경사가 심해질수록 타기실의 침수류는 입구를 통하여 배수되는 것을 확인할 수 있으나, 입구주위의 침수류의 높이를 고려하면 비상조타를 위해 타기실로 선원이 들어가는 것은 안전상의 위험에 노출될 수 있다.

[Fig. 6]의 각 경사각도에서의 처리실에서 타기실로 들어가는 입구부근의 침수류의 높이를 계산한 결과를 <Table 4>에 정리하였다. 우현경사 5도의 경우 입구부근의 침수류의 높이는 46.7cm로 타기실로부터 배수가 가능한 높이로 계산되었지만, 우현경사 10도 이상의 경우는 입구의 문턱높이보다 침수류의 높이가 높아 원활한 배수가 불가능한 상태로 계산되었다. 불가능한 상태로 고려한 이유는 우현경사 10도 이상인 경우 침수류의 높이는 성인남성의 허벅지 이상으로 타기실 내부로의 진입도 어려울 것이며, 타기실의 침수류를 처리실로 배수하더라도 처리실의 침수류가 타기실로 들어가는 입구의 문턱높이보다 높아서 처리실의 침수류가 다시 타기실로 들어가는 상태가 되기 때문이다.



[Fig. 6] Starboard list with 75.5 ton of sea waver

<Table 4> Sea water height at Doorsill with Starboard list

Starboard list angle	Sea water height
5°	0.467m
10°	0.691m
15°	0.849m
20°	0.964m

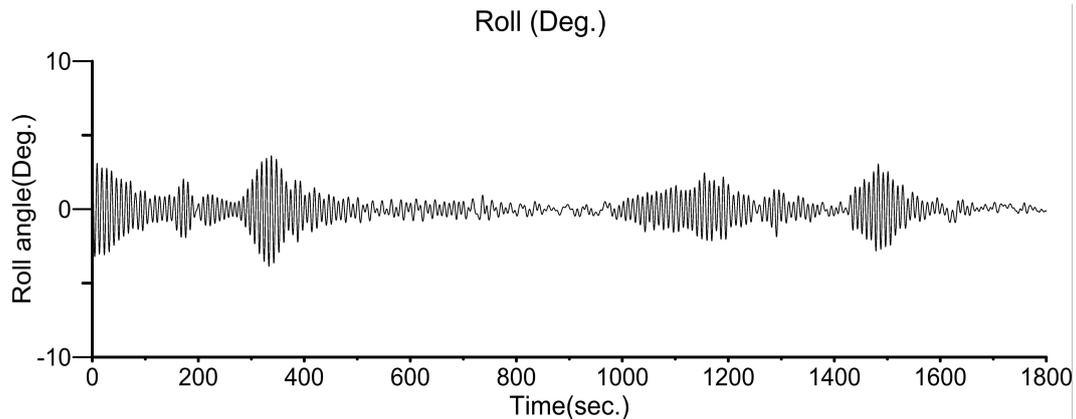
2. 파랑중 선박의 운동

<Table 3>에 정의된 바와 같이 침수사고 시나리오의 목표는 타기실에 침수된 침수류의 원활한 배수이기 때문에 선박이 놓여진 해양환경하중에서 선박운동을 추정하고 이를 반영한 배수상황의 고려가 필요하다. <Table 3>의 침수사고 시나리오에 따라 불규칙파랑을 구현하기 위해 JONSWAP Spectrum을 이용하였으며 유의파고 4.2m, 피크주기, 8.6초, 입사각 175도의 불규칙파와 풍속 15.5m/s, 입사각 135도의 지속풍 내에서

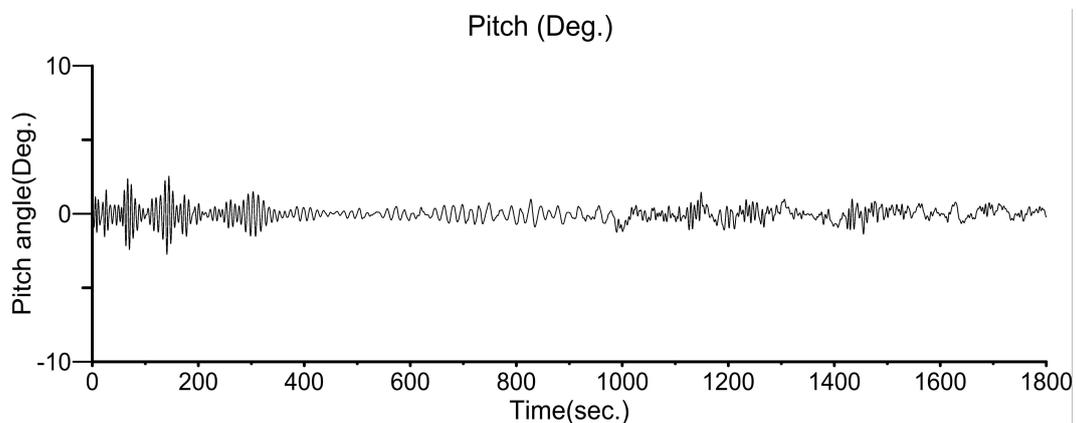
선박의 운동 시뮬레이션을 수행하였다.

Ansys(2012)는 AQWA-NAUT에서의 실선 시뮬레이션의 시간 간격을 0.4초이하로 권장하고 있으나 짧은 시간동안 진행되는 갑판 위의 침수영향을 고려하기 위하여 시간 간격을 0.1초로 설정하였다. 그리고 시뮬레이션의 시간은 불규칙파의 재현성(Lee, 2015)과 배수시간을 고려하여 30분으로 설정하였다.

시뮬레이션 중에 선박의 횡동요를 [Fig. 7], 종동요를 [Fig. 8]에 각각 나타내었다. 그래프에 나타난 바와 같이 시뮬레이션 중 횡동요와 종동요는 선박의 안전을 위협할 정도의 크기는 아니며, 30분동안의 시뮬레이션 중 횡동요의 최대진폭은 3.9도, 종동요의 최대진폭은 2.5도로 계산되었다. 입사파의 각도가 선수쪽에서 들어오는 시나리오에 따른 시뮬레이션으로 횡동요의 최대값은 파랑중 발생할 수 있는 선박의 일반적인 횡동요값으로 선원의 배수작업을 불가하게 만드는 상태는 아닌 것으로 판단하였다.



[Fig. 7] Roll angle target ship in simulation



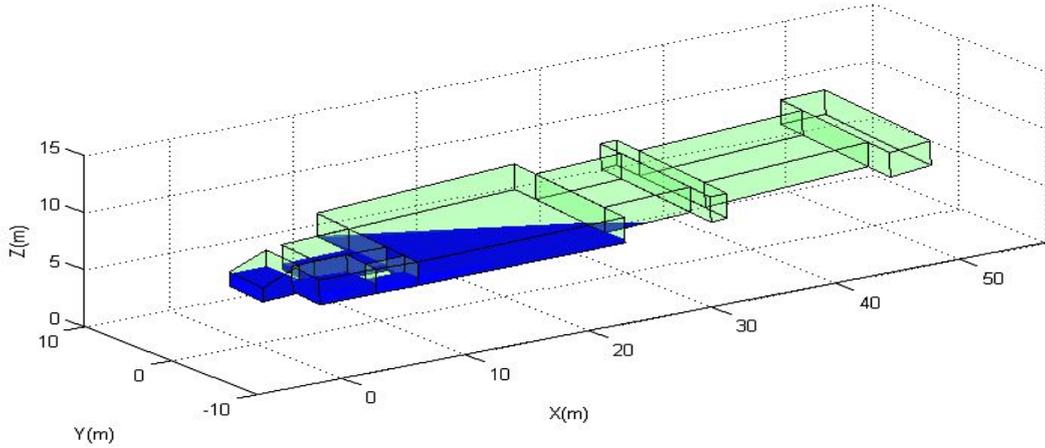
[Fig. 8] Pitch angle of the target ship in simulation

3. 선박의 운동을 고려한 침수류의 거동 및 비상용 배수시스템 용량 추정

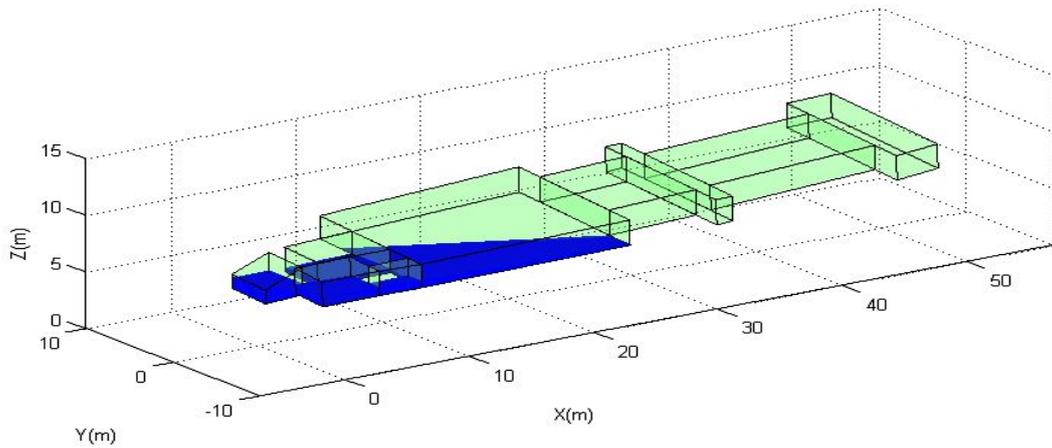
선박의 운동시 선박 내 자유수의 거동을 분석하기 위해서는 자유수에 대한 동적거동의 분석이 필요하지만, 본 연구에서는 계산의 시간단축과 간략화를 위해 자유수의 정적거동만을 고려하였다. 침수시나리오 상의 목표인 타기실 배수의 가부를 고려하고, 배수시스템의 용량 추정과 관련하여 정적거동해석도 의미있는 값을 줄 것으로 판단하였다. 선박의 시뮬레이션 중에서 계산된 횡동요와 종동요의 최대값을 사용하여 침수류의 정적거동해석을 수행하였다.

주어진 해상상태에서 처리실에서 타기실로 가는 입구 주위의 해수 높이가 가장 높아질 것으로 예상되는 횡동요각 3.9도, 종동요각 -2.5도인 경우의 침수구역 내의 침수류의 분포를 [Fig. 9]에서 나타내었다.

[Fig. 9]의 경우 처리실에서 타기실로 들어가는 입구 주위의 침수류 높이는 76.5cm로 확인되었다. 시나리오에서 정의된 타기실로 들어가는 문턱입구의 높이(60cm)를 고려하면 타기실에서 펌프를 사용하여 배수를 하더라도 처리실에서 타기실로 해수가 지속적으로 들어 올 것으로 예상된다.



[Fig. 9] Flooding area with 75.5 ton of sea water at Roll 3.9 deg. and Pitch -2.5 deg.



[Fig. 10] Flooding area with 49.8 ton of sea water at Roll 3.9 deg. and Pitch -2.5 deg.

타기실로 들어가는 입구 주위의 침수류의 높이는 60cm이하가 되어야 타기실의 배수를 원활히 진행할 수 있기 때문에 종동요각 -2.5도, 횡동요각 3.9도인 상태에서 타기실로 들어가는 입구 주위의 해수가 60cm가 되는 경우의 계산을 수행하여 [Fig. 10]에 나타내었다. 이 때 침수구역 내의 침수된 해수의 양을 계산한 결과는 49.8ton으로 이 값은 타기실 내 침수류 8.4ton을 포함한 값이다. 계산된 49.8ton과 기존의 선박 내의 75.5ton의 침수류와의 차를 계산하면 25.7ton으로 25.7ton이상의 해수를 배수한다면 입구주위의 해수높이는

60cm이하로 낮아지고, 추가적으로 타기실로 들어오는 해수없이 원활하게 타기실의 해수를 배수하는 것이 가능할 것이다.

주어진 해상상태에서 침수사고 시나리오 상의 목표인 타기실의 배수는 상기에 계산된 25.7ton의 침수류를 우선적으로 배출하여야 가능하고 이후 추가적으로 8.4ton의 타기실 내의 침수류를 배수한다면 완료할 수 있다. 배수해야할 양과 시간을 이용하여 필요한 배수시스템의 용량을 추정할 수 있다. 시나리오에 따라 우선 배수되어야 할 25.7ton과 타기실의 침수류 8.4ton의 합인 34.1ton

을 30분 내에 배수해야 한다면 시간당 68.2ton(배수톤수의 약 2%)의 배수용량을 가진 시스템이 선박 내에 구비되어야 함을 알 수 있다.

제안된 프로세스에 따라 비상용 배수시스템의 용량 추정이 가능함을 확인하였다. 다만, 침수시나리오의 작성에는 선박에 따라 차수문 및 침수격벽의 유무, 침수의 경로, 침수에 따른 피해사항 등이 각각 고려되어야 할 것이다. 제안된 프로세스에 따른 비상용 펌프 용량 추정이 침수 시나리오에 따라 다소 과대하게 계산되는 경우가 발생되어 현 시점에서 선박에 구비가능한 비상용 배수 시스템의 용량을 초과할 수도 있다. 하지만, 비상용 배수 시스템은 사고발생 후의 대처를 위한 시스템이므로 선단 내에 확보할 비상용 펌프 용량(어선의 경우), 사고 발생시 주위선박으로부터 지원받을 이동용 펌프 용량 등의 자료로 활용될 수 있을 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 선박의 침수사고에 대비하여, 해상상태를 고려한 선박 내 비상용 배수시스템 용량 추정 프로세스를 제안하였다. 제안된 프로세스의 유효성을 확인하기 위해 제안된 프로세스에 따라 비상용 배수시스템 용량 추정을 수행하였다. 비상용 배수시스템이 필요한 대상은 75.5ton의 해수가 침수된 길이(LBP) 73m의 트롤어선으로 침수로 인한 타기의 고장으로 수동조타를 위한 30분 내의 타기실의 배수완료를 침수 시나리오로 설정하였다. 주요한 제한사항으로 입구로만 배수가 가능하고 입구문턱의 높이는 0.6m이다.

본 연구를 수행하면서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 선박의 운동을 고려하지 않았을 때의 입구 문턱주위의 해수높이는 0.098m로, 추가적인 배수없이 타기실로의 접근이 가능했으

나, 횡동요각 10도 이상에서는 타기실의 배수착수를 위해 비상용 배수시스템을 통한 선내 침수구역의 배수가 필요함을 확인하였다.

- 2) 해상상태로 인한 횡동요각 3.9도, 종동요각 -2.5도의 경우, 입구주위의 침수류의 높이는 0.765m로 계산되었고, 시나리오의 설정을 만족시키기 위한 비상용 배수시스템의 용량은 시간당 68.2ton(배수톤수의 약 2%)로 계산되었다.
- 3) 비상용 배수시스템 용량 추정을 위해서는 해상상태에 따른 선박운동 및 침수류의 거동의 영향은 주요한 고려사항이고, 이를 포함한 추정 프로세스를 통해 비상용 배수 시스템 용량 추정이 가능함을 확인하였다.

References

- Ansyst(2012). AQWA Reference manual 14.5, USA
- Cho, Seok-Kye · Hong, Sa-Young · Lee, Kyung-Jung · Kyoung, Jo-Hyun & Kim, Young-Sik(2005). 24th ITTC benchmark study on numerical prediction of damage ship stability, Journal of the society of naval architects of Korea, 24(5), 435~447
- Fujiwara, Toshifumi · Ueno, Michio & Nimura, Tadashi(2001). An estimation method of wind forces and moments acting of ships, Mini symposium on prediction of ship manoeuvring performance, 83~92
- Ha, Sol · Cho, Yoon-Ok · Ku, Nam-Kug · Lee, Kyu-Yeul & Roh, myung-Il(2013). Passenger ship evacuation simulation considering external forces due to the inclination of damaged ship, Journal of the society of naval architects of Korea, 50(3), 175~181
- Jung, Chang-Hyun · Park, Young-Soo · Kim, Ong-Sung & Kim, Se-Won(2012). A study on the cause analysis for the capsizing accident in fishing vessels, Journal of fisheries and marine sciences education, 24(1), 1~8
- Kang, Il-Kwon · Kim, Hyung-Seok · Kim, Jeong-Chang · Park, Byung-Soo · Ham, Sang-Jun & Oh, Il-Han(2013). Study on the marine casualties in

- Korea, Journal of the Korean society of fisheries technology, 49(1), 29~39
- Kim, Yeong-Sik(2016). Principal component analysis on marine casualties occurred at Korean littoral sea in recent 5 years, Journal of fisheries and marine sciences education, 25(2), 465~472
- Kim, Yong-Jig · Kang, Il-Kwon · Ham, Sang-Jun & Park, Chi-Wan(2015). Analysis the dynamic factors on the capsizing of O-Ryong 501, Journal of the Korean society of fisheries technology, 51(4), 520~526
- KMC(2015). Maritime Safety News, 28
- Lee, Jae-Hoon & Kim, Young-Hwan(2015). A semi-analytic approach for analysis of parametric roll, Journal of the society of naval architects of Korea, 52(3), 187~197
- Lee, Soon-Sup · Lee, Dong-Kon & Kim, Ki-Sup (2009). Development of Design Technology for Safety Enhancement of Damaged Ship, Journal of the society of naval architects of Korea, 46(1), 69~77
-
- Received : 08 September, 2016
 - Revised : 27 October, 2016
 - Accepted : 01 December, 2016