

침수된 조타불능선의 악천후에서의 거동연구

김성수* · 박병수† · 강동훈** · 이종현** · 조현국**

(*경상대학교 · **경상대학교 해양산업연구소)

A Study on Motion of a Flooding and Un-steerable Vessel in Stormy Weather Condition

Sung-Soo KIM* · Byung-Soo PARK† · Dong-Hoon KANG** · Jong-Hyun LEE** · Hyun-Kuk CHO**

(*Gyeongsang National University · **Gyeongsang National University Institute of Marine Industry)

Abstract

This paper conducted a simulation to research the motion of a vessel, which had the flooding accident in the Bering Sea in 2014, thereby being flooded and un-steerable. As the wind condition was very harsh, the vessel was modeled as 3D including large upper deck structures and the Fujiwara's method was used for an estimation of the effect of wind forces and moments acting on ship. In the case of wave influence, AQWA-Drift that enables considering the effects of drift force and AQWA-Naut that enables considering the effects of green water were mainly used. Basically, loading and flooding condition were equal to the accident condition but half-drained condition was also used to consider drain ability. Furthermore, both 6 DOF and 5 DOF option that Yaw motion is fixed, were utilized to compare the steerable and un-steerable condition. As a result, the author found out that what roll angle triggers green water, how often it happens, and how the vessel moves on the stormy weather condition.

Key words : Fishing vessel, Flooding, Un-steerable, AQWA, Fujiwara coefficient, Motion simulation

I. 서론

국내 선박의 해양사고 중 70% 이상이 어선의 사고이며, 그 원인 중 하나로써, 어선은 상선에 비해 작아 상대적으로 해상환경에 취약함에도 불구하고, 어로작업을 위해 매우 가혹한 해상이나 기상상태에 놓이는 경우가 많다. 악천후 속에서의 조업은 갑판수 유입을 초래하고 이로 인한 복원성 감소 등 선박의 안정성을 저해할 수 있다. 더욱이 악천후 시에는 이러한 갑판수 유입이 선내 침수로 이어져, 선박의 흘수, 트림, GM 등의 선박안정성과 함께 항해장비 및 조타설비에 영향

을 미쳐 심각한 해상사고의 원인이 될 수 있다. 기존의 연구는 기상과 해양사고와의 상호 연관성에 대하여 수행된 적이 있고(Kim et al., 2011), 선미 트롤선의 파고에 따른 운동특성에 대해 수행되었다(Kang et al., 2000).

본 논문에서는 2014년 12월 베링해에서 조업중이던 제501오룡호가 기상악화 및 침수에 의한 복원성 감소 및 조타불능 등의 원인으로 침몰한 해양사고사례를 참고하여 선내 일부가 침수된 조타불능 선박의 황천 시 선박의 운동에 대해 시뮬레이션 하였다(Park et al., 2016). 사고 당시 선박은 어획물 양망 시 발생한 침수로 인해 선내의 어획

† Corresponding author: 055-772-9185, bspark@gnu.ac.kr,

물 처리실과 타기실로 다량의 해수가 유입되었다. 이로 인해 선박은 평형상태를 잃고 횡경사 및 추가적인 선미트림이 발생하였고 타기실이 침수되어 조타불능 상태가 되었으며 이러한 선박상태의 변화는 조종성능이나 운동성능적인 측면에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다(Park et al., 2015). 침수 이후 선원들의 배수 작업과 선내 적재화물 이동을 통하여 일시적 평형을 되찾을 수 있었으나 험악한 기상으로 인하여 선박은 다시 평형을 잃고 과도한 횡경사가 발생하고 결국엔 침몰하였다. 본 연구에서는 선박이 일시적 평형을 찾은 시점을 시물레이션의 초기 상황으로 가정 후, 평형을 되찾은 선박의 사고 당시 거동을 시물레이션하였다.

기상이나 선박의 트림이 선박의 운동성능에 미치는 영향에 대해서는 기존 연구를 통해 고려되고 있지만, 험악한 기상조건에서 선내 침수와 조타불능의 상황에 놓인 선박의 거동에 대한 연구는 부족하다. 이러한 극한 상황은 어선이 조업 중 실제로 조우할 수 있는 상황이고, 그 때 선박은 어떻게 거동할 것인가를 분석하여 향후 해양사고의 감소에 기여하는데 목적이 있다.

II. 연구 수행 방법

1. 해상 조건

본 논문에서 참조하고 있는 해양사고 사례는 겨울철(12월) 베링해에서 일어났던 사고 사례임으로, 사고 당시의 기상조건을 모사하기 위해, 실제 트롤어선들의 베링해 조업지역의 겨울철 악천후조건을 해상조건으로 선정하였다. Kim et al.(2015)의 연구를 참고하여, 본 논문에서 해상조건으로 설정한 정보를 <Table 1>과 <Table 2>에 나타내었다.

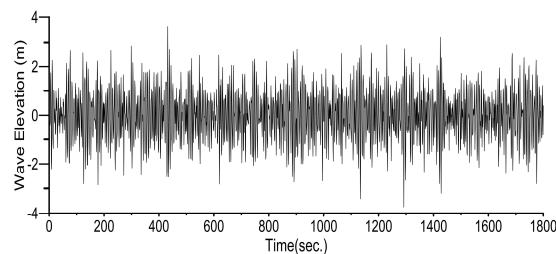
<Table 1> The Ocean State (Wave)

Peak Period (sec.)	Significant Wave Height (m)	Direction (deg.)
8.6	4.2	111.9

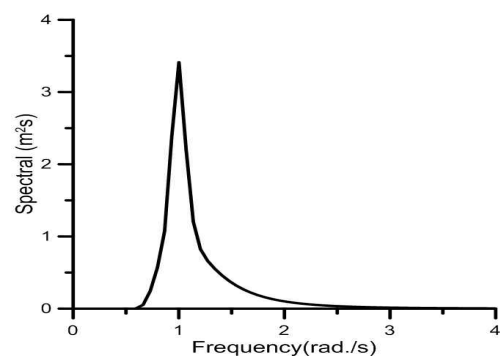
<Table 2> The Ocean State (Wind)

Wind Speed (m/s)	Direction (deg.)
15.6	74.5

<Table 1>의 데이터를 기반으로 베링해의 불규칙 파랑을 구현하기 위해 JONSWAP Spectrum을 이용하였으며, <Table 2>의 데이터를 기반으로 불규칙 바람을 구현하기 위해 NPD Wind Spectrum을 이용하였다. 재현성을 고려하여 시물레이션 시간은 30분으로 설정하였으며, 시물레이션 중 불규칙파의 프로파일을 [Fig. 1]에 스펙트럼은 [Fig. 2]에 나타내었다.



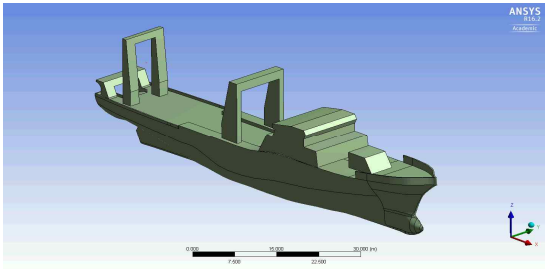
[Fig. 1] The Profile of Irregular Wave



[Fig. 2] The Spectrum of Irregular wave

2. 선박 모델링

시뮬레이션을 위한 제501오룡호 3D 모델링은 선형과 갑판 위 구조물들로 나뉘고, 선형 모델링은 Lines, Offset table로부터 선형데이터를 수집하여 수행하였으며, 상갑판의 주요 구조물들의 모델링은 General Arrangement(G/A)로부터 데이터를 수집하여 수행하였다. 완성된 모델링 모습을 [Fig. 3]에 나타내었고, 주요제원을 <Table 3>에 나타내었다.



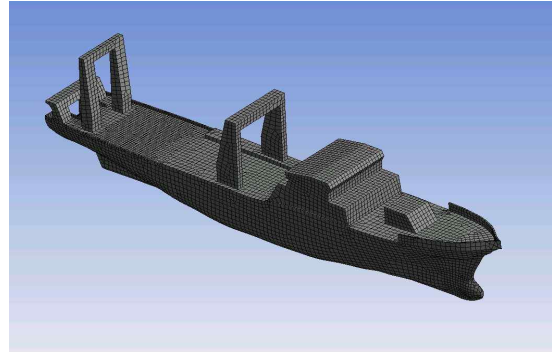
[Fig. 3] The Modeling of the Target ship

<Table 3> Principal Dimensions of the target ship

Option	Value	Unit
Type	Stern Trawl	-
LOA	76.17	m
Width	13.00	m
Depth	8.40	m
Gross Tonnage	1,753.00	ton
Full Draft	6.35	m

시뮬레이션에 사용된 해석용 Tool인 ANSYS-AQWA의 제한조건에 의해 Mesh 최대크기에 따라 계산에 사용될 수 있는 파도의 최대 주파수가 결정된다(ANSYS, 2012). 작은 Mesh의 크기는 넓은 폭의 주파수 범위를 포함하고 계산의 정확도를 상대적으로 높일 수 있지만 Mesh 개수 증대에 따른 계산시간의 지연을 초래한다. 따라서 본

시뮬레이션에서 사용된 Wave spectrum([Fig. 2] 참조)의 97.5% 범위에 해당하는 주파수까지 포함할 수 있는 최대 Mesh 크기(1.3m)를 선정하여 계산에 사용하였고, 그 결과를 [Fig. 4]에 나타내었다.

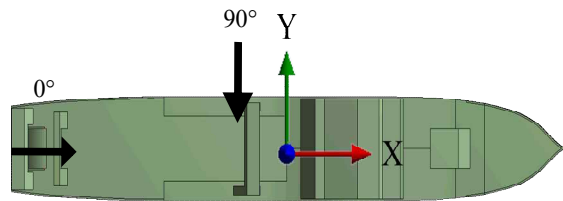


[Fig. 4] Mesh Distribution

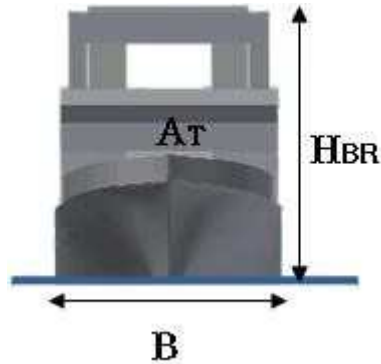
3. 바람의 영향력 추정

사고 당시 해역에는 풍랑주의보를 초과하는 강풍이 지속적으로 불고 있었다. 이러한 강하고 지속적인 바람은 선박의 운동에 큰 영향을 미침으로, 시뮬레이션에 반영하기 위해 G/A를 기반으로 한 수면 위의 투영 면적을 구하고, Fujiwara et al(2001)에 의해 제안된 방법으로 풍력의 영향도를 추정하였다. 계산에 사용된 좌표계([Fig. 5]), 선박의 정면도([Fig. 6]), 측면도([Fig. 7])의 모습을 다음과 같이 나타내었다.

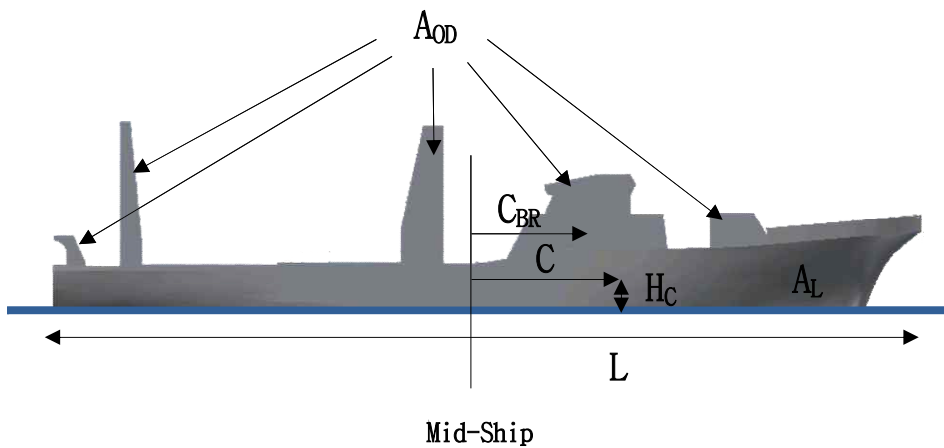
선박의 주요 상부 구조물을 포함한 정면도와 측면도의 투영면적은 각각 350.1 m², 201.2 m² 이었다.



[Fig. 5] The Coordinate System



[Fig. 6] The Plane of Front Projection



[Fig. 7] The Plane of Lateral Projection

여기서,

L : 전장

B : 선폭

A_T : 정면 투영 면적

A_L : 측면 투영 면적

A_{OD} : 갑판 위 구조물들의 측면 투영 면적

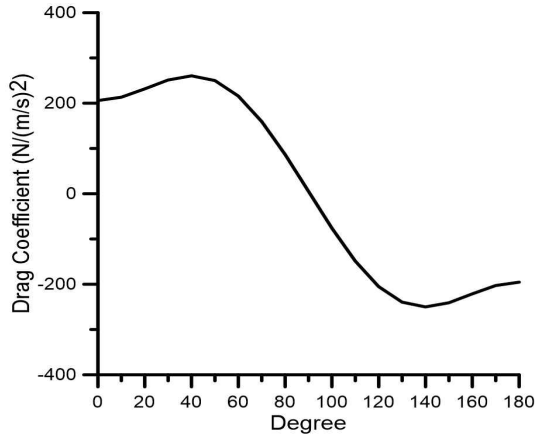
C : Mid-Ship에서 측면 투영 면적 중심까지의 거리

C_{BR} : Mid-Ship에서 큰 구조물들의 측면 투영 면적 중심까지의 거리

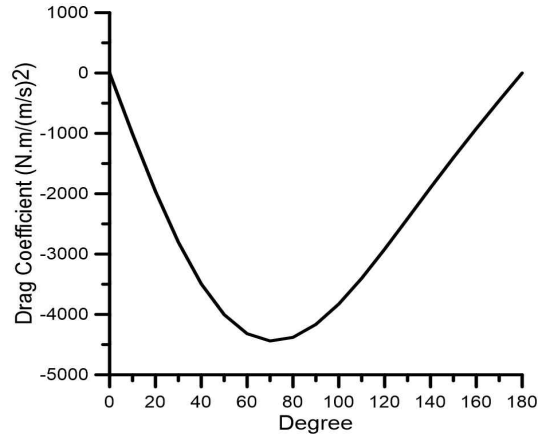
H_{BR} : 큰 구조물들의 높이

H_c : 측면 투영 면적 중심의 높이

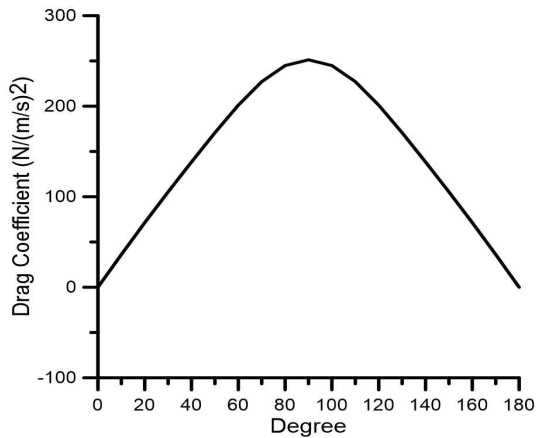
Fujiwara의 방법에 의해 Surge방향 풍하중계수(CX), Sway방향 풍하중계수(CY), Roll방향 풍하중계수(CK), Yaw방향 풍하중계수(CN)를 계산하고 선미에서 불어오는 방향(0°)에서 선수에서 불어오는 방향(180°)까지 10° 간격으로 계산한 결과를 [Fig. 8]에서 [Fig. 11]에 나타내었다. 그림 내의 각 운동방향의 풍하중계수에 선속의 자승을 곱하면 각 운동방향으로의 풍하중이 계산되므로, 시뮬레이션 내에서는 바람이 불어오는 방향과 선수 각을 고려하여 선박으로의 풍하중 입사각을 계산하고 10° 간격으로 계산된 풍하중을 보간하여 선박의 작용하는 각 운동방향의 풍하중이 적용되었다.



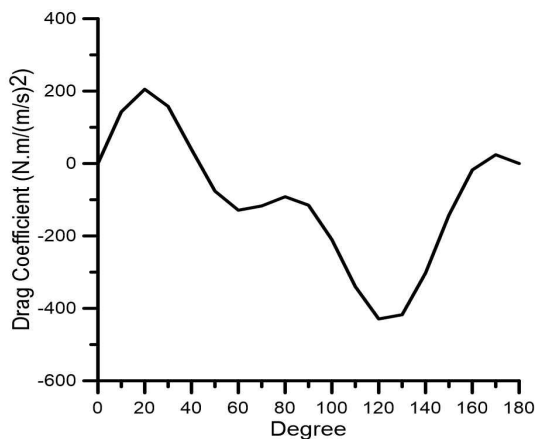
[Fig. 8] Longitudinal Force Coefficient(C_x)



[Fig. 11] Yaw Moment Coefficient(C_n)



[Fig. 9] Lateral Force Coefficient(C_y)



[Fig. 10] Roll Moment Coefficient(C_r)

4. 선박의 적재상황

선박의 적재상황은 만재출항상태와 비슷한 적재상황임을 가정하되, 어로활동을 통해 선용품들이 소비되고, 선내 보관 중이던 것으로 추정되는 냉동어획물과 사고 당일 양망했던 것으로 추정되는 어획물을 포함하며 세부항목은 <Table 4>에 나타내었다. 또한 당시의 선박의 복원성 관련 계수는 <Table 5>와 같다.

<Table 4> Loading Condition & Displacement

Option	Value	Unit
Dead Weight	2,487.0	ton
Fuel Oil	533.3	ton
Lub. Oil	5.4	ton
Fresh Water	41.6	ton
Fish	335	ton
Fishing Gear	311.5	ton
Displacement	3,713.8	ton

<Table 5> Stability Value & Draft (Non Flooding)

Option	Value	Unit
KG	5.1	m
After Draft	7.3	m
Fore Draft	5.8	m
Mean Draft	6.55	m
M.T.C	40.8	m· ton
T.P.C	8.2	ton/cm

5. 침수가 선박에 미치는 영향

본 논문에서는 <Table 4>의 적재상황을 침수 전 상황으로 고려하여 시뮬레이션을 수행하고, 추가적으로 해수 151 ton이 유입된 상황인 침수 직후 상황과 배수작업을 통해 그 중 절반을 배수하여 75.5 ton의 해수가 선내에 남았다고 가정된 상황을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다.

선내로 유입된 해수가 선박의 복원성에 미치는 영향을 고려하기 위해, 선내 어획물 처리실로 유입된 해수의 중심을 G/A를 참고하여 설정하였다. 어획물 처리실로 유입된 해수의 중심은 부면심으로부터 수평거리 14m, Keel에서부터 수직거리 5.53m로 추정하고, 타기실로 유입된 해수의 중심은 부면심으로부터 수평거리 39m, Keel에서부터 수직거리 5.7m로 추정하여 그 영향도를 추정하였다. 또한, T.P.C와 M.P.C는 이 때의 적재상태가 만재출항상태와 큰 차이가 없으므로 만재출항상태의 것을 사용하였다. 주요 복원성항목에 대한 침수의 영향은 아래의 계산식을 이용하였고 151 ton 침수 시 결과를 <Table 6>, 75.5 ton 침수 시 결과를 <Table 7>에 나타내었다.

1) 선체 하강량

$$\text{침수량} \div T.P.C = A$$

2) 트림의 변화량

$$\text{처리실 침수량} \times \text{수평거리} = B$$

$$\text{타기실 침수량} \times \text{수평거리} = C$$

$$(B+C) \div M.T.C = D$$

$$\text{선수흘수 변화량} : A - (\text{중심에서 선수까지의 거리}/Lpp) \times D$$

$$\text{선미흘수 변화량} : A + (\text{중심에서 선미까지의 거리}/Lpp) \times D$$

3) 무게중심의 상승

$$\text{무게중심 변화량} = \frac{\text{처리실 침수량} \times \text{수직거리}}{\text{배수량}}$$

$$+ \frac{\text{타기실 침수량} \times \text{수직거리}}{\text{배수량}}$$

4) 자유수효과에 의한 무게중심의 상승

어획물 처리실로 유입된 해수의 2차 모멘트

(i_1)

타기실로 유입된 해수의 2차 모멘트(i_2)

$$\text{무게중심 변화량} = \frac{i_1 + i_2}{\text{배수량} \div 1.025}$$

<Table 6> The effect of Flooding (151 ton)

Option	Value	Unit
Draft Variation	0.18	m
Trim Variation	(Fore.) -0.162 (Aft.) 0.522	m
Moment	51	ton· m
C.O.G Variation (Flooding)	0.22	m
C.O.G Variation (Free Surface)	0.4	m
KG	5.72	m
After Draft	7.708	m
Fore Draft	5.638	m
Mean Draft	6.673	m

<Table 7> The effect of Flooding (75.5 ton)

Option	Value	Unit
Draft Variation	0.09	m
Trim Variation	(Fore.) -0.084 (Aft.) 0.206	m
Moment	26	ton · m
C.O.G Variation (Flooding)	0.11	m
C.O.G Variation (Free Surface)	0.4	m
KG	5.61	m
After Draft	7.506	m
Fore Draft	5.716	m
Mean Draft	6.610	m

6. 갑판침수각도 변화

사고 당시 강한 풍랑이 계속해서 발생하고 있었고, 이에 의해 선박이 Rolling함에 따라 갑판침수가 발생할 우려가 있었다. 이것은 선박의 상황을 악화시키는 요인이 될 뿐 아니라 이러한 현단

<Table 9> The Detail of the Cases

Case No.	Flooding (ton)	Free Surface	Drift Force	Green Water	6 DOF	5 DOF Yaw Fix	Wave Direction	Wind Direction	
A	A - I	0	×	○	×	○	×	112 °	75 °
	A - II	0	×	×	○	○	×	112 °	75 °
B	B - I	151	○	○	×	○	×	112 °	75 °
	B - II	151	○	×	○	○	×	112 °	75 °
C	C - I	75.5	○	○	×	○	×	112 °	75 °
	C - II	75.5	○	×	○	○	×	112 °	75 °
D	D - I	75.5	○	○	×	×	○	90 °	50 °
	D - II	75.5	○	○	×	×	○	270 °	230 °
	D - III	75.5	○	×	○	×	○	90 °	50 °
	D - IV	75.5	○	×	○	×	○	270 °	230 °
E	E - I	75.5	○	○	×	×	○	175 °	135 °
	E - II	75.5	○	○	×	×	○	185 °	145 °
	E - III	75.5	○	×	○	×	○	175 °	135 °
	E - IV	75.5	○	×	○	×	○	185 °	145 °

I : Drift Force Considering / II : Green Water Considering / ○ : Considering / × : Not Considering

몰수각은 실질적 복원성의 한계로 볼 수 있으므로 선박의 평균흘수에 따라 Midship에서 갑판으로 침수가 시작되는 Roll각도를 계산하여 표 <Table 8>에 나타내었다.

계산방식은 정수 중의 상태에서 Roll각도가 증가함에 따라 Midship 갑판 상단과 해수면이 만나는 Roll각도를 침수가 시작되는 각도로 선정한다.

<Table 8> The Roll Degree causing Green Water

Draft	Degree
6.5 m	-19.3 °
6.6 m	-18.5 °
6.7 m	-17.7 °

7. 시뮬레이션 Case Study

본 논문에서 수행한 시뮬레이션 Case들의 조건을 <Table 9>에 나타내었다. <Table 9>에 포함되지 않은 파도, 바람, 선박의 트림, 흘수 등의 조건은 앞 II장의 1. 해상조건, 4. 선박의 적재상황, 5. 침수가 선박에 미치는 영향의 내용을 따른다.

여기서 각 항목들이 나타내는 내용은 아래와 같다. Flooding : 선내로 유입된 해수의 양, Free Surface : 유입된 해수의 자유수면 효과에 의한 무게중심상승 효과 반영 유무, Drift Force : 표류력의 반영 유무, Green Water : 갑판침수의 영향 반영 유무(갑판침수 외 계속 변화하는 파랑에 접촉하는 모든 선체표면을 계산에 포함한다), 6 DOF : 6 자유도 운동 여부, 5 DOF(Yaw Fix) :

선박의 Yaw 운동 고정 및 5 자유도 운동 여부, Wave Direction : 파도 입사각, Wind Direction : 바람 입사각.

침수상황을 침수없음(A), 151 ton 침수(B), 75.5 ton 침수(C, D, E)로 분류하였다. 이 중 Case A, B, C의 경우는 6 자유도 운동으로써 실제 해상에서 선박의 조건과 유사하다. 시뮬레이션에서는 ANSYS AQWA Drift와 ANSYS AQWA Naut가 사용되었으며, 이 중 Drift의 경우 표류력이 계산에 포함되지만, 시뮬레이션 수행동안 계속해서 변화하는 해수의 움직임이 오직 수면 아래의 선체 표면에 미치는 영향만 계산에 포함된다. 반면, Naut의 경우 표류력은 계산에 포함되지 않지만, 시뮬레이션 수행동안 선체 표면 전체에 닿는 해수의 영향이 계산에 포함된다. 시뮬레이션 상에서 표류력을 고려한 경우를 I, 표류력은 고려하지 않고 시간에 따라 변하는 해수에 닿는 모든 선체표면에 대해 계산을 수행함으로써 갑판침수의 영향을 고려한 경우를 II로 나타내었다. 본 연구에서 사용된 계산 Tool의 제한으로 두 조건을 동시에 고려하지는 않았다.

Case D 와 E의 경우는 선박의 Yaw 운동을 고정시키고 5 자유도 운동을 강제함으로써 시뮬레이션 초기에 주어진 파도와 바람의 입사각을 시뮬레이션 수행 30분동안 계속 해서 유지하도록 하였다. 여기서 Case D의 경우, 선박에 가장 위험한 영향을 미치는 파도 입사각 90°, 270°를 가정한 경우이다. D-I, III가 90°, D-II, IV가 270°의 경우이다. D-I, II와 D-III, IV의 차이는 앞서 언급한 바와 같이 표류력과 Green Water

효과의 반영 유무 차이이다. 사고 당시 선박의 조타 능력이 상실된 상황이었으므로 파도와 바람에 의해 표류하며 이러한 상황에 놓일 수 있고 따라서 이러한 경우 선박에 미칠 위험성을 알아보기 위해 시뮬레이션 Case에 포함하였다.

Case E의 경우 실제 사고 상황과 다르게 가정하여 조타 능력이 정상임을 가정한 조건이다. 조타 능력 외 해상조건, 적재조건 및 침수상황(75.5 ton)은 동일하게 유지하였다. 조타 능력에 이상이 없어, 황천의 상황에서도 입사각 180°의 ±5°인 175° (Case E-I, III)과 185° (Case E-II, IV)를 유지할 수 있다고 가정한 경우이다. Case D와 마찬가지로 Case E-I, III와 Case E-II, IV사이에는 표류력과 Green Water 효과 고려 유무의 차이가 난다.

III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

총 10 case에 대한 시뮬레이션의 결과를 최대 Roll 각도, 갑판 침수 발생 횟수, 갑판 침수 발생 시간으로 정리하여 아래의 표 <Table 10>에 나타내었다.

여기서 갑판침수 횟수는 <Table 8>에 나타난 Midship 갑판침수 시작 각도를 기준으로 선박의 Roll이 기준 각도를 넘어서는 경우를 갑판의 침수로 간주하였다. 추가적으로 갑판침수 시간의 경우, 기준 각도(갑판침수 시작 각도) 이상의 Roll 각도가 유지되는 시간을 의미한다.

1. 조타능력 정상

매우 험악한 기상상황에서 해수유입을 통한 침수상황까지 겹쳤지만 조타능력에 문제가 없어 파랑의 입사각을 선수에서 ±5° 방향으로 지속적으로 유지할 수 있다고 가정한 Case E에서 최대 Roll 각도 9.2°, 평균 Roll 각도 1°의 결과를 얻었다. 이것은 조타능력이 정상이라면 좌·우현 갑판을 통한 추가적 해수유입이나 과도한 경사발생

으로 인한 배수작업 불가 및 화물이동 등의 상황 악화가 발생하지 않았을 가능성이 높다고 판단할 수 있다.

<Table 10> The results of the Simulation

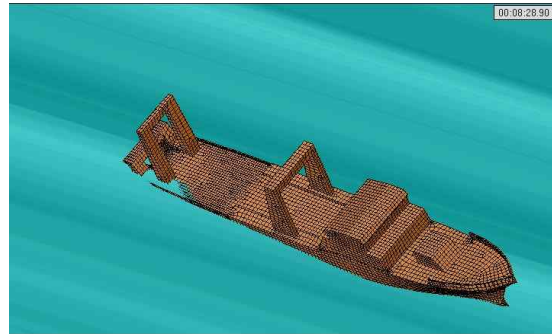
Case No.	Max. Roll (Degree)	Mean Roll (Degree)	Number of Green Water	Duration of Green Water (Sec.)
A - I	54.6	6.1	69	118.5
A - II	37.0	2.7	20	27.5
B - I	33.7	4.8	41	82.5
B - II	19.7	2.2	2	2.6
C - I	32.1	4.1	12	21.1
C - II	25.0	2.7	15	17.4
D - I	53.6	9.1	103	203.9
D - II	37.9	8.7	95	178.3
D - III	72.9	13.0	211	450.8
D - IV	56.9	10.0	140	276.4
E - I	9.2	1.9	0	0
E - II	7.7	1.7	0	0
E - III	3.9	0.6	0	0
E - IV	3.6	0.6	0	0

2. 조타능력 상실

위에서 언급한 Case E를 제외한 Case들은 모두 조타능력 상실로 가정된 상황들이다. 그 중 Case A에서는 선내 해수 유입이 발생하지 않은 상황을 가정한 상태이다. 그럼에도 불구하고, 시뮬레이션 결과 선박의 Rolling 현상에 의해 해수가 Mid-Ship 상갑판위로 넘쳐 들어올 수 있는 경사(19.3°)가 빈번히 발생하였다. 선내 침수를 포함한 Case B와 Case C의 경우에도 마찬가지로 시

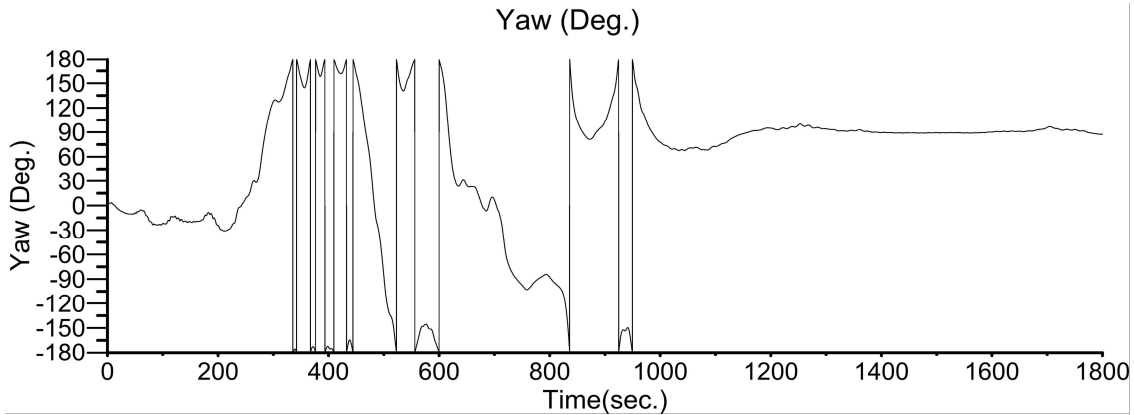
뮬레이션 결과에서 갑판침수가 시작되는 과도한 경사(Case B : 17.7°, Case C : 18.5°)가 발생함을 확인하였다. 갑판침수가 시작되는 경사는 <Table 8>을 참조하였다. 흡수는 침수상황별로 침수전 : <Table 5> 참조, 151 ton 침수 : <Table 6> 참조, 75.5 ton 침수 : <Table 7>을 참조 하였다.

과도한 경사가 발생할 경우 선박의 상황을 가시적으로 나타내기 위해 Case C-I의 시뮬레이션 중 일부분을 캡처하여 [Fig. 12]에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 선박이 상당히 기울어진 상태며 선미트림으로 인해 상대적으로 해수면과 더 가까운 선미쪽에서는 해수의 유입이 나타나고 있는 모습이다.



[Fig. 12] The Roll Motion Capture of the Case C - I Simulation

상갑판침수가 발생하는 각도(Case A : 19.3°, Case B : 17.7°, Case C : 18.5°)는 선원들이 배수작업, 화물이동 등의 선박 안정화 작업을 수행할 수 없을 정도의 큰 경사이며, 침수가 시작되는 각도가 유지되는 시간이 길지는 않지만, 단 한번의 발생으로도 선내로 유입된 해수의 이동과 화물들의 쓸림 현상으로 인하여 복원성을 상실하여 직립상태로 돌아오지 못하고 지속적으로 기울어진 상태를 유지하는 상황이 발생할 수 있다. 더욱이 시뮬레이션 결과로써 <Table 10>을 참고하면, 이러한 과도한 경사가 반복해서 여러 번 발생하는 것을 확인하였다.



[Fig. 13] Yaw Motion Time Domain Graph (Case A- II)

위 [Fig. 13]은 Case A-II의 Yaw 운동 시계열 그래프를 나타내고 있다. 강한 바람과 파도에 의해 선박의 Yawing이 시뮬레이션 중반부까지 지속적으로 일어나는 것을 볼 수 있다. 이 과정에서 선박은 360°회전하는 등의 불안정한 모습을 보이고 있다. 이러한 Yawing 중 선박은 파도를 선박의 측면에서 받게 되는 (입사각 90° or 270°) 상황에 놓일 수 있고 이러한 상황을 가정한 시뮬레이션이 Case D이다. 그 결과, Roll 각도 최대 72.9°, 평균 10° 이상으로 발생함을 확인하였고, 이것은 선박이 불규칙한 Yawing 중, 한번이라도 좌·우현 수직입사각을 만날 경우, 과도한 경사에 의해 위험한 상황이 발생할 수 있음을 나타낸다.

IV. 결론

본 논문은 2014년 12월 베링해에서 조업 중이던 선박이 기상악화로 인해 침수 피해를 입고 조타불능의 상황에 빠진 실제 사고사례를 기반으로 하여, 침수와 조타불능 선박의 황천 중 거동에 대해 시뮬레이션 하였다.

침수 전 상황인 Case A의 결과로부터 침수와 상관없이 황천 중 타기 불능의 상황은 매우 큰 Rolling을 야기함으로써 선박이 위험한 상황에 빠

질 수 있음을 확인하였다. 선내로 유입된 해수 151 ton, 75.5 ton을 각각 포함하고 있는 Case B, Case C의 결과에서 선박의 Rolling이 침수 전 상황인 Case A보다 작게 발생하는 경향을 보인다. 홀수의 증가는 건현이 줄어들고 해수면과 상갑판이 더 가까워져 침수의 위험이 커진다. 또한 침수량과 상관없이 Case A, B, C 모두 시뮬레이션 수행동안 과도한 경사각도가 빈번히 발생하였고, 이러한 각도는 Midship 상갑판에서 침수가 시작되는 Roll 각도보다도 크다. 따라서 이러한 선박의 과도한 횡 경사는 화물들의 이동과 선원들의 부상 등 추가적인 침수 피해를 야기 할 수 있다. 반면에 조타능력이 정상임을 가정하는 Case E의 상황에서는 침수량 75.5 ton을 포함하고도 적절한 안정성을 확보할 수 있음을 확인하였다.

어선의 경우 조업 중 갑작스런 기상 악화에 의해 쉽게 위험에 노출되기 때문에 침수를 당하여 타기 능력을 상실하는 상황에 놓일 수 있다. 선박이 침수되더라도 타기능력이 정상이면 대경사에 의한 위험은 피할 수 있다. 그러므로 침수 시 타기실로의 해수 유입을 적극 방지하는 것이 무엇보다 중요하며, 평소 타기의 정상가동을 위해 유지보수에 최선을 다하는 것이 필요하다.

본 논문의 시뮬레이션 결과로부터 이러한 경우 선박이 과도한 Rolling 및 Yawing을 지속적으

로 하게 될 것으로 예상되므로 화물의 갑작스런 이동에 의한 선체 경사를 방지하고, 침수를 막는다면 추가적인 위험은 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 선내로 해수가 유입된 상황은 매우 위험한 상황이지만 침수 후가 침수전보다 Rolling이 작게 나타난 결과로 볼 때, 험악한 해상 조건에서는 무리한 배수작업이 도리어 추가적인 해수 유입 등의 또 다른 위험을 낳을 수 있으므로, 타기실 진입을 위한 최소한의 배수작업만을 하고 타기능력의 회복에 집중하는 것이 안정성 확보에는 유리하다고 판단된다.

References

- Anslys(2012). AQWA Reference manual 14.5, USA.
- 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.
- Kang, Il-Kwon & Park, Byung-Soo(2000). The Characteristics of Motion Response of Stern Trawlers according to the Wave Height and the Ship's Speed in the Sea, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 12(2), 77~90.
- Kim, Sam-Kon & Kang, Jong-Pil(2011). A Study on the Relationships between the Casualties of Fishing Boats and Meteorological Factors, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 23(3), 351~360.
- Kim, Yong-Jig·Kang, Il-Kwon ·Ham, Sang-Jun & Park, Chi-Wan(2015). Analysis the dynamic factors on the capsized of O-Ryong 501, Journal of the Korean society of fisheries technology, 51(4), 520~526.
- Park, Byung-Soo ·Kim, Sungo-Soo ·Lee, Soon-sup & Kang, Dong-Hoon(2016). Estimation process for the capacity of emergency drainage system on a ship after flooding accident, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 28(6), 1739~1750.
- Park, Byung-Soo · Kang, Dong-Hoon · Kang, Il-Kwon & Kim, Hyun-Mu(2015). The Analysis of the Ship's Maneuverability According to the Ship's Trim and Draft, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 27(6), 1865~1871.

-
- Received : 04 January, 2016
 - Revised : 09 February, 2016
 - Accepted : 14 February, 2016