

제501오룡호 전복사고의 역학적 요인 분석

김용직 · 강일권^{1*} · 함상준² · 박치완²

부경대학교 조선해양시스템공학과, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부, ²부경대학교 대학원

Analysis the dynamic factors on the capsizing of O-Ryong 501

Yong-Jig KIM, Il-Kwon KANG^{1*}, Sang-Jun HAM² and Chi-Wan PARK²

Dep. of Naval Architecture & Marine System Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Div. of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Dep. of Fisheries Physics, Graduate school, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

A tragic disaster happened by capsizing O-Ryong 501 trawler at Western Bering Sea in 1st, Dec. 2014. The disaster was caused by the severe weather and the long deferred escape from the storm in fully developed high sea. Lots of sea water from poop deck rushed into the fish ponder with fishes all together after hauling net and then remove the fishes from codend. The vessel became to incline to the one side caused by the weight and the free surface effect of flood sea waters and fishes at initial stage. In spite of crews all effort to discharge the waters, but the work was not achieved successfully. For the worse thing, the order of abandon ship was issued too late. After all, the ship capsized and sank, then almost crews became to the victims of the casualty including captain. In this paper, author carried out restrictively the calculation of dynamic factors influenced on the disaster including the weather condition and effects of the flood sea waters, and found out that the most important causes of the disaster were the decrease of stabilities, *GM* was decreased from 0.9m to 0.08 m, and the high waves which led to the vessel disaster.

Keywords : Disaster, Stability, Surface effect, Victim, Weather condition

서론

2014년 12월 1일 서베링해역에서 발생한 제501오룡호의 전복 사고는 기상이 악화된 상황에서 무리한 조업으로 피항 시기를 놓쳐 발생한 전형적인 어선 해양사고의 하나이다 (Kang et al, 2007).

이 선박은 풍속 20~25m/sec., 파고 4~5m의 해상이 악화된 상황에서 다른 선박들이 오전 일찍 거의 피항한 것을 알고도 무리하게 조업을 강행하다, 12시가 되어서

야 양망을 하였다. 양망 후 피항을 위해 급히 어포부 (cod end)에 든 고기를 fish ponder에 넣는 과정에서 해수가 slip way를 넘어 상갑판으로 대량으로 넘쳐 들어 오면서 약 20 ton의 어류와 함께 열려진 hatch way를 통해 fish ponder와 처리실을 침수시키는 상황이 발생하였다. 처리실에 침입한 해수는 타기실에 유입되어 조타기의 고장을 일으켰고, 주기관을 더 이상 사용할 수 없는 비상 상황에 처해졌다. 또한 어획물이 처리실의

*Corresponding author: ikkang@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5895, Fax: 82-51-629-5885

배수구를 막아 배수가 불가능한 상태가 되어 표류하면서 선체는 우현으로 경사하였다. 선장은 12시 30분경 연료유와 어창의 냉동 어류를 좌현으로 이동 조치하고, 인근 선박으로부터 펌프를 지원 받아 2시간 동안 배수 작업을 실시하여 선박은 일시적으로 안정을 찾는 것으로 보였으나, 우현에서 큰 파도가 덮치면서 선체가 좌현으로 기울어졌다. 좌현으로 선체가 경사되자, 고장난 오물배출구로 역류하여 처리실로 침입한 해수와 좌현으로 이동시킨 연료유와 냉동 어류의 무게가 선체의 좌현 경사를 가중시켰다. 이러한 상황에서 러시아 어로 감독관이 침몰 1시간 전에 퇴선을 권고했으나 선장은 퇴선명령을 내리지 않았다. 선장은 16시에 구조 요청을 보냈고, 16시 30분경 최후로 모든 선원이 퇴선하였다. 구명뗏목을 개방하여 퇴선 조치했으나, 생존자는 소수였고, 수많은 희생자가 발생하였다. 선내에 특수방수복(emergency suit)이 비치되어 있었지만 착용하지도 못했다.

이와 같이 기상이 악화된 상황에서 무리한 조업으로 뒤늦게 피항하다가 선미로부터 큰 파도를 뒤집어쓰고 선체가 경사하여 침몰되는 어선의 해양사고는 연근해 어선에서도 흔히 볼 수 있다 (Park et al., 2014; Kang et al., 2013). 따라서 악천후가 예상되면 무리한 조업을 중단하고 적절한 시기에 피항을 해야 하는 것이 무엇보다 중요한 일이며, 이것은 노후 선박일수록 더욱 철저히 실행해야 하는 조치이다.

본 연구는 제501오룡호의 전복 원인을 당시 해상 상황, 침수에 따른 흘수의 증가, 자유수에 의한 선박의 경사와 무게중심의 상승에 따른 복원성의 감소 등 동역학적인 요인을 규명함과 동시에 당시 이 선박의 상태가 국내 복원성 기준을 만족하는지의 여부를 파악하였다. 이 연구는 어선이 기상이 악화된 해역에서 무리하게 조업해서는 안되는 이유를 역학적인 면으로 규명하여 향후 이러한 해양사고가 재발하지 않도록 하는 데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

선박의 제원

Fig. 1은 제501오룡호 (이하에서는 오룡호라고 한다)의 일반배치도이다.

오룡호는 스페인에서 건조된 선미식 트롤선으로서, 이 그림에서 보는 바와 같이 상갑판의 중앙에는 윈치가 있고, fish ponder의 hatch way와 slip way가 선미쪽에 배치되어 있다. 양망시 어획물은 slip way를 통해 올려져, 바로 앞쪽에 있는 hatch way를 열어 fish ponder로 쏟아 넣게 되어 있다.

제2갑판에는 중앙에 처리실이 있고, 처리실의 중간에는 좌우로 급냉실과 전기실이 있으며, fish ponder와 타기실이 선미쪽으로 배치되어 있다.

탱크갑판에는 선수로부터 1번과 2번 어창, 기관실, 기관 감시실, 식료품 창고, F.O tanker가 좌우현에 각각 3개씩 배치되어 있다. 당시 총 315 ton의 냉동 어류가 1번과 2번 어창에 균등하게 적재되어 있었고, 연료유는 613 ton이 선적되어 있었다.

Table 1은 오룡호의 제원이다.

이 표에서 보는 바와 같이 오룡호는 일반적인 선미식 트롤선이 가진 치수비와 큰 차이가 없지만, G_0M 은 0.9 m로써 상선의 평균적인 GM 값 (선폭의 5% 정도) 보다는 크지만, 대형 트롤선의 평균적인 값인 선폭의 약 12 %보다는 매우 작은 값이다. 대형 트롤선의 평균적인 값으로 환산하면 오룡호의 G_0M 은 1.5 m 정도가 되어야 한다.

Table 1. Principal particulars of O-Ryong 501

Items	Specification
Length (B.P) (m)	73.0
Breadth (MLD) (m)	13.0
Depth (MLD) upper deck (m)	8.4
Draft dF (m)	3.5
dA (m)	6.5
Deq. (m)	5.25
Cb	0.57
M.T.C (ton.m)	39.4
T.P.C (ton)	7.3
V.C.G (m)	5.3
L.C.F (m)	-6.4
L.C.B (m)	-5.8
L.C.G (m)	-2.2
G_0M (m)	0.9
KG_0 (m)	5.3

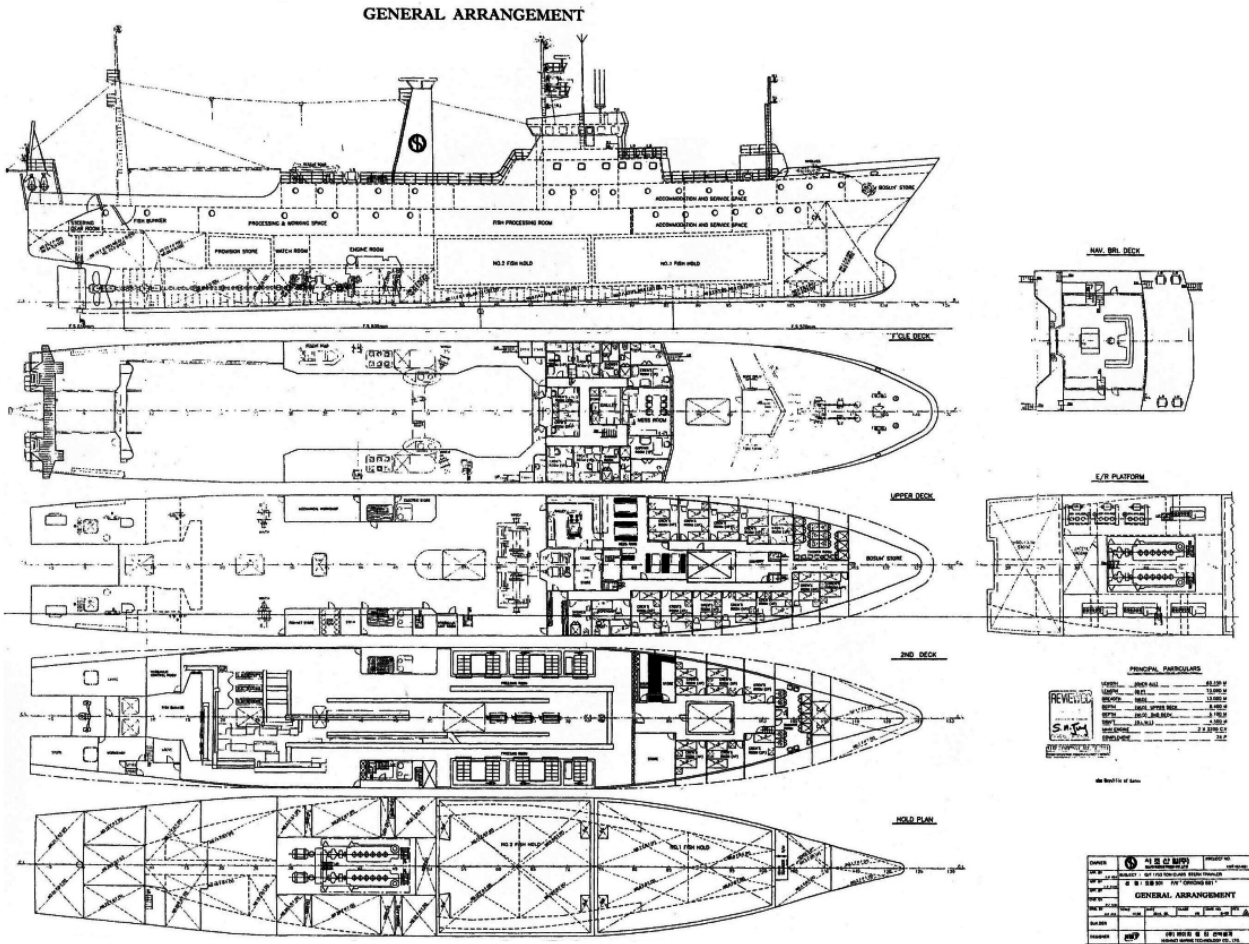


Fig. 1. General Arrangement of O-Ryong 501.

이론

대각도 경사시의 복원성

경사 각도가 15° 이내의 경우에는 초기복원력의 계산식을 이용하고, 경사 각도가 15° 이상일 때는 식 (1)의 근사법으로 GZ 를 구해 복원력을 판단한다 (Sohn, 2003).

$$GZ(\phi) = F_1(\phi) \cdot a + F_2(\phi) \cdot b + F_3(\phi) \cdot BM + GM \cdot \sin \phi \quad (1)$$

여기서, $F(\phi)$ 의 함수, $F_1(\phi) \sim F_3(\phi)$ 는 Table 2에 나타낸 값이다.

단, 식 (1)의 a 와 b 의 근사값은 다음의 식 (2), (3)에 의해 구할 수 있다.

Table 2. Values of $F_1(\phi) \sim F_3(\phi)$ with varying the heel angles

	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$F_1(\phi)$	0	0	0.5458	1.2221	1.2835	0.7174	0
$F_2(\phi)$	0	0	-0.2190	-0.4012	-0.1967	0.3642	1.0000
$F_3(\phi)$	0	0.0093	-0.3148	-0.8248	-1.0980	-1.0877	-1.0000

$$a = B \left\{ \left(\frac{f}{d} \right)^{2/3} \times \left(\frac{C_B}{C_W} \right)^{-3/4} \times (C_B)^{1/2} \right\} \quad (2)$$

$$b = d \left\{ \left(\frac{f}{d} \right)^{2/3} \times \left(\frac{C_B}{C_W} \right)^{-1/2} \right\} \quad (3)$$

여기서, f 는 상갑판의 캠버 (camber)를 포함시킨 유효건현으로서, 식 (4)에 의해 계산할 수 있다.

$$f = (D-d) + \frac{1}{7}(S_F + S_A) + 0.63H \quad (4)$$

여기서, S_F 와 S_A 는 선체 전·후부에서의 현호(sheer)의 높이, H 는 상갑판에서의 캠버의 크기이다.

동적복원성

동적복원력은 정적복원력을 적분하여 얻을 수 있으므로, 식 (5)에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{동적복원력} &= \int_0^\phi W \cdot GZ \, d\phi \quad (5) \\ &= W \cdot \int_0^\phi GZ \, d\phi \end{aligned}$$

자유수 (free surface)의 영향

자유수에 의한 GM 의 감소량과 중심의 상승량은 식 (6), (7)과 같이 구한다 (Barrass and Derrett, 2006).

$$GM \text{의 감소량} = \frac{i}{W} \times \rho \times \frac{1}{n^2} (m) \quad (6)$$

$$G_0 \text{의 상승량} = \frac{i}{W} (m) \quad (7)$$

단, i 는 종중심선에 대한 자유수의 2차 모멘트, n 은 종구획의 개수이다.

자료의 처리

당시 사고의 해역에서 전문으로 보고한 선장들의 증언과 생존자들의 탐문 결과를 참고하여 오룡호의 적재 상태는 선수흘수를 3.5 m, 선미흘수를 6.5 m로 추정하고, 오룡호의 정역학 계산서에서 이에 해당하는 배수량과 역학적인 수치를 사용한다. 또한 사고 해역의 파랑 상태와 추파가 선미를 넘어 처리실로 침입하는 상황, 역시 사고 보고서를 토대로 추정하여 침수량을 계산한다.

오룡호의 침수 개소는 처리실 (fish ponder의 칸막이가 파괴되었으므로 처리실과 fish ponder는 같은 공간으로 취급함)과 타기실로 한정하도록 하며, 상갑판에 일부 침수된 것은 명확하지 않으므로 여기에 산정하지 않는다.

결과 및 고찰

사고 해역의 해상 상황

Table 3은 서베링해 사고 해역의 파랑 정보를 정리하여 나타낸 것이다. 겨울철 베링해는 특유의 험악한 해역이므로 파경사는 $h/\lambda = 1/15$ 로 계산하되, 최대파고에 대해서는 $h/\lambda = 1/20$ 을 적용하였다. 여기서 $\sqrt{m_0}$ 의 값은 특정 해면에서 관측된 파랑의 wave spectrum을 그려서 그 내부의 면적을 구한 값으로서, 그 해면의 단위 면적이 갖는 에너지를 나타내는 것이다. 이 경우에는 1/1000 최대파가 $7.44 \sqrt{m_0} = 7.5 \text{ m}$ 으로 표현되므로, 여기서는 $\sqrt{m_0} \approx 1$ 로 추정한다(Yoon, 2013).

사고 해역은 당시 20~25 m/sec.의 바람이 불었고, 이것은 B.S 8~9에 해당되며, B.S 8의 파고는 5.5 m~7.5 m이므로, 여기서는 최대파고(1/1000 최대파)에 맞추어 B.S 8을 적용하였다. 이 표에서 보는 바와 같이 이 때의 유의파와 최대파는 각각 파고 4.0 m, 7.4 m, 파장은 60 m, 148 m, 파주기는 6.2 sec., 9.7 sec.이었다.

Table 3. Wave information of Western Bering sea at that time

Waves	Height(m)	Length(m)	Period(sec.)
average waves	$2.50 \sqrt{m_0}$	38	4.9
average of one-third highest waves	$4.00 \sqrt{m_0}$	60	6.2
average of one-tenth highest waves	$5.09 \sqrt{m_0}$	77	7.0
average of one-hundredth highest waves	$6.67 \sqrt{m_0}$	101	8.0
average of one-thousandth highest waves	$7.44 \sqrt{m_0}$	148	9.7

Table 4는 사고 당일 12시 30분에서 16시 사이 (3.5 시간)에 오룡호를 지나간 파랑의 개수와 각각의 파랑이 스쳐 지나간 소요 시간을 나타낸 것이다.

이 표에서 보는 바와 같이 파랑이 지나간 총 시간은 427.9분 (7시간 8분)이고, 통과한 파의 개수는 4,599.6이다. 그러나 실제로 경과한 시간은 210분 (3.5 시간)이다. 이것은 많은 파랑이 중첩되어 지나간 것을 의미한다. 여기서 오룡호의 횡경사에 큰 영향을 주었을 것으로 예상되는 6.7 m의 1/100 최대파는 3.5시간 동안 46개가 지나가므로, 4.6분에 하나씩 통과하고, 7.44 m의 1/1000 최대파는 4.6개가 지나가므로, 46.7분에 하나씩 통과한다고 볼 수 있다. 이와 같이 약 5분마다 6.7 m의

큰 파도가 하나씩 통과하고, 더욱이 약 47분 간격으로 7.44 m의 최대파가 통과하게 되므로 표류 중 이러한 대파를 횡으로 받게되면 해수의 대량 침수로 인해 극도로 복원력이 악화된 상황에서 오룡호가 장시간 안전을 지키기는 어려웠을 것으로 판단한다.

Table 4. Numbers and the times required of each waves passed by the vessel for 3.5 hours

Waves	Number of waves	Times required to pass (min)
average waves	2,571	210
average of one-third highest waves	1,518	157
average of one-tenth highest waves	460	54
average of one-hundredth highest waves	46	6.1
average of one-thousandth highest waves	4.6	0.8
total	4,599.6	427.9

해수 침수에 따른 흘수와 트림의 변화

Table 5는 처리실과 타기실의 침수에 따른 선체 침하량과 트림의 변화량을 나타낸 것이다.

처리실과 타기실의 중심은 부면심 (F)으로부터 선미 쪽으로 각각 14 m, 39 m에 위치하고 있고, 높이는 각각 5.5 m, 5.7 m이다. 처리실의 침수 수위는 선체가 3 m의 선미트림이 주어졌 있었기 때문에 선수쪽 0.1 m, 선미쪽 0.8 m, 평균 0.45 m로 추정하고, 처리실의 양측 벽면의 내장재, 급냉실과 전기실, 컨베어 등의 구조물이 차지하는 공간을 공제하면, 처리실의 침수량 (w_1), listing moment 그리고 자유수의 횡2차 모멘트 (i_1)는 각각 142 ton, 785 ton.m, 1,493 m^4 이었다.

한편, 타기실의 침수 수위를 평균 0.8 m로 가정하면, 침수량 (w_2), listing moment 및 자유수의 횡2차 모멘트 (i_2)는 각각 9 ton, 51 ton.m, 11 m^4 이었다.

오룡호의 T.P.C는 7.3 ton으로, 침수량 151 ton에 따른 선체의 침하량은 0.21 m이고, 또한 M.T.C는 39.4 ton.m으로써, 침수로 인한 트림의 변화는 0.59 m이다.

선체의 침하량과 트림의 변화를 고려하여 흘수를 수정하면, 선미흘수는 6.5 m에서 6.9 m로 0.4 m 증가하고, 선수흘수는 3.5 m에서 3.4 m로 0.1 m 감소한다. 이에 따라 선수건현은 5.0 m, 선미건현은 1.5 m가 되었다.

Table 5. Dynamic factors due to the flooding sea waters

Items	Processing space	Steering gear room
Flooding sea waters (ton)	142	9
Listing moment (ton.m)	785	51
2nd moment of free surface of sea waters (m^4)	1,493	11
Body Sinking (m)		0.21
Change of trim (m)		0.59
fore draft (m)		3.4
after draft (m)		6.9
Fore free board (m)		5.0
After free board (m)		1.5

해수 침수에 따른 무게중심의 상승

Table 6은 침수에 따른 무게 중심, G_0 의 상승량과 자유수의 효과에 따른 중심의 추가 상승량을 나타낸 것이다.

오룡호의 배수량은 침수 전에는 2,772 ton이었으나, 처리실과 타기실의 침수에 따라 2,923 ton이 되었다. 해수 침수 151 ton에 의해 무게 중심은 0.29 m 상승하였고, 자유수의 영향에 따라 무게중심은 추가로 0.53 m 상승하였다. 따라서 최종 메타센터의 높이, G_2M 은 0.08 m가 되었다. 원래 오룡호의 G_0M 은 0.9 m로써 일반적인 선미 트롤선 보다 좋지 않은데, 침수와 자유수의 효과에 따라 그 값이 더욱 나빠졌으며, 그 정도가 심각한 상황으로 변화였다.

Table 6. Change of G_0 and G_0M due to the weight of flooding and effects of free surface

Item	Specification
G_0G_1 due to the flooding sea waters (m)	-0.29
G_1G_2 due to the effect of free surface (m)	-0.53
Final G_2M (m)	0.08

침수 전·후의 정적복원력의 변화

Fig. 2는 침수 전·후의 오룡호의 GZ 곡선도이며, GZ 곡선 중 실선은 침수 전의 것이고, 점선은 침수 후의 것이다.

이 그림에서 보는 바와 같이 침수 전의 복원성 범위, 최대 GZ 값과 그 값이 나타나는 경사각도, 메타센터

높이는 각각 70°, 0.43 m, 31°, 0.9 m이나, 침수 후에는 각각 27.0°, 0.03 m, 18°, 0.08 m가 되었다.

복원성 범위는 2.6배 감소하였고, 최대 GZ 값은 무려 14배 이상 감소하였으며, GZ 값이 나타나는 경사각도는 13°가 줄었고, 메타센터 높이는 거의 0에 가까워 졌다. 이와 같이 침수 후의 정적복원력의 수치들은 너무나 적어, 오룡호는 이 때 이미 복원성을 거의 상실했다고 판단된다.

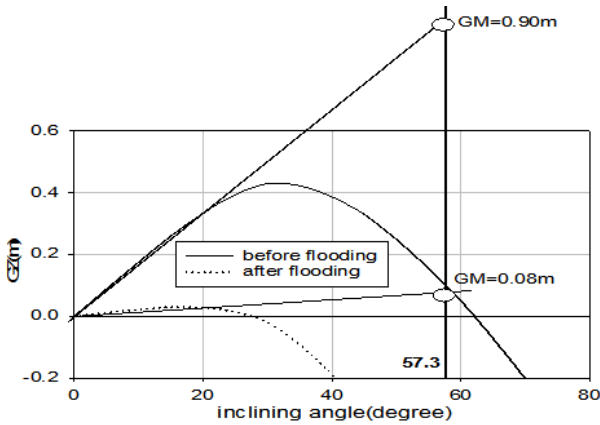


Fig. 2. GZ curves for O-Ryong 501 comparing with initial and after flooding stage.

침수 전 · 후의 동적복원력의 변화

Table 7은 침수 전·후의 오룡호의 동적복원력을 국내 어선의 복원성 규정과 비교한 것이다. 오룡호에 적용된 국내 어선의 복원성 규정은 IMO 기준과 G_0M 의 값에 미소한 차이만 있을 뿐, 그 외는 전적으로 동일하다. 여기서 G_0M 은 해양수산부고시 제5장의 어선복원성 제 18조의 기준을 적용하여 계산한 것이다.

Table 7. Comparison of the dynamic stability of O-Ryong 501 before and after flooding with the criteria of domestic stability rule

Criteria Items	Domestic stability rule	Before flooding		After flooding	
		Values	Result	Values	Result
G_0M (m)	≥ 0.37	0.90	satisfy	0.08	unsatisfy
A_{0-30} (m-rad)	≥ 0.055	0.13	satisfy	0.01	unsatisfy
A_{30-40} (m-rad)	≥ 0.030	0.07	satisfy	-0.02	unsatisfy
A_{0-40} (m-rad)	≥ 0.090	0.20	satisfy	-0.01	unsatisfy
$\Phi_{GZ_{max}}$ (°)	≥ 25	31	satisfy	17	unsatisfy
GZ_{30} (m)	≥ 0.20	0.43	satisfy	-0.02	unsatisfy

오룡호는 여하한 항행 상태에서도 적용받고 있는 국내 어선의 복원성 규정을 만족해야 한다. 그러나 이 표에서 보는 바와 같이 침수 전에는 모든 조건을 만족하고 있지만, 침수 후에는 모든 조건을 만족시키지 못할 뿐만 아니라 그 정도가 매우 심각하다. 따라서 침수 후에는 정상적인 선박의 기능을 유지할 수 있는 복원성을 상실했다고 판단된다.

침수 전 · 후의 현단몰수각의 비교

불규칙 해양파에서 현단몰수각을 구하기 위해서는 현측에 대한 선체의 상대운동의 응답을 예측하여 통계적으로 처리해야 하나, 현실적으로 곤란하므로 여기서는 근사치로써 계산하도록 한다 (Fukuda, 1969).

침수 전 오룡호의 선수건현은 4.9 m, 선미건현은 1.9 m로 선미의 현단몰수각은 16.2°이다. 침수 후에는 선미건현이 1.5 m로 되어 현단몰수각은 12.4°로 감소하였다.

오룡호의 하기만재흘수는 6.35 m, 하기건현은 2.7 m이다. 또한 현단몰수각은 22.8°이다. 지금 오룡호의 선미건현은 하기건현보다 매우 적으며, 현단몰수각도 극히 작은 상태이다. 따라서 당시의 해상 상태에서는 작은 poop down에도 선미로 파가 넘어올 가능성과 작은 경사에도 전복될 가능성이 매우 크다고 볼 수 있다.

결론

오룡호의 전복·침몰 원인을 파랑과 해수 침입에 따른 선체 침하와 자유수 효과를 중심으로 고찰하고, 당시의 복원력을 국내 어선의 복원성 규정과 비교해 보았으며, 그 결과는 다음과 같다.

오룡호의 전복·침몰 원인은 처리실과 조타기실 침수로 인한 선체 침하와 자유수 효과로 인한 GM 의 감소, 그리고 높은 파도로 판단된다. 처리실과 조타기실의 침수 이후에는 GM 이 너무 감소되어 오룡호는 복원력을 거의 상실한 상태가 되었고, 늦은 피항 조치로 파도가 충분히 발달된 해상에서 주기적으로 닥쳐오는 대 파도를 감당할 감항능력은 없었다. 또한 침수로 인해 선미건현을 충분히 확보하지 못함으로써 poop down에 의해 선미의 침수가 가중된 점도 전복을 유발하는데 큰 몫을 차지하였다고 보아진다. 이 때 오룡호의 수면은 하기만재흘수선을 넘었고, 따라서 선미건현 또한 하기

건현보다 매우 적었다.

오룡호가 침수 후에는 우리나라 어선의 복원성 규정을 전혀 만족시키지 못했으므로 파랑이 격심한 해역에서 조타기의 고장으로 표류하는 상태로 장시간 배를 안전하게 지킨다는 것은 어려웠을 것으로 판단된다.

연근해 어선의 침몰 혹은 전복사고에서 빠지지 않는 사고의 연쇄, 즉, 폭풍주의보 발효 상황에서 기상예보 미청취, 무리한 조업이나 항해, 피항 시기 실기, 추파에 의한 해수의 유입과 적재된 어획물과 어구의 이동으로 인한 선체경사 등의 해양사고 요인이 여기에도 그대로 적용되었다.

따라서 오룡호도 무리한 조업을 자제하고, 피항 시기를 놓치지 않았다면, 감항 능력에 문제가 생기지 않았을 것이고, 전복에 이르지도 않았을 것이다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었음

References

- Barrass CB and Derrett DR. 2006. Ship stability for masters and mates, 6 edition. Elsevier. Oxford. UK. 202-205.
- Fukuda JI. 1969. Symposium text on ship manoeuvrability. Society of naval architects of Japan. 99-119.
- Kang IK, Kim HS, Shin HI, Lee YW, Kim JC and Jo HJ. 2007. Safety counter-measures for the marine casualties of fishing vessels in Korea. J Kor Soc Fish Technol 43(2), 157.
- Kang IK, Kim HS, Kim JC, Park BS, Ham SJ and OH IH. 2013. Study on the marine casualties in Korea. J Kor Soc Fish Technol 49(1), 35. ISSN 1225-827X.
- 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 Kor Soc Fish Technol 50(3), 256-259. (DOI:http://dx.doi.org/10.3796/KSFT)
- Sohn KH. 2003. Calculation for ship. ship's manoeuvring lab. 95-101.
- Yoon JD. 2013. Theory and practice of ship manoeuvring. publishing company Sejong. 413-416.

2015. 8. 27 Received

2015. 11. 12 Revised

2015. 11. 12 Accepted