

동해구 현측식 트롤 어선의 복원성

조효제 · 강일권*¹ · 권병국¹ · 함상준² · 박치완²

한국해양대학교 조선해양시스템공학부, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부, ²부경대학교 대학원

The stability of the side trawler operating in East Sea of Korea

Hyo-Jae JO, Il-Kwon KANG*¹, Byong-Guk KWON¹, Sang-Jun HAM², Chi-Wan PARK²

Div. of Naval Architecture and Ocean System Engineering, Korea Maritime University, Busan, 606-791, 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

Trawlers are divided into stern and side types by the method of shooting and hauling net, but the latter is difficult to find beside Korea. In East Sea of Korea, the side type used to be in early 2000' s, but it improved to stern type because of its inefficient operating method. The aims of this paper is to make clear the stability of the side trawler in the East Sea, and then confirm whether it satisfy the IMO rule or not, the degree of the transverse inclining angle of the ship when hauling net at hull side. In results, the stability of the ship in initial inclining range satisfied the IMO rule and the domestic rule, but not satisfied those rule in over the range. The limit load of the ship that was coincide with the angle of beam end in hauling net at side was about 26 tons, 18 tons in normal sea condition and storm warning condition respectively. The transverse inclining angles of the ship in hauling net were much higher from 3.3 to 5.5 times than the longitudinal inclining angle of the stern trawler, although those angles were slightly changed with depending on the loading and sea condition.

Keywords : Side trawler, Stern trawler, Stability, Operating method, Inclining angle, Hauling net.

서 론

동해구 트롤 어업은 새우 트롤망의 변형 어구를 사용하여 현측에서 데릭과 롤러를 이용하여 투·양망을 하였기 때문에 인력과 투·양망 시간이 많이 소요되는 낙후된 어업이었다. 이러한 어업의 형태를 선미 조업식 생력화 시스템으로 개량한 것이 2000년 초반의 일이며 (Lee et al., 2001), 이후 선미식 조업 방식이 일반화 되었다.

현측식 트롤 어선이 자취를 감춘 것은 투망시 그물과 전개판이 선측 아래로 내려가면서 추진기에 빨려 들어 가 타와 추진기를 파손시킬 염려가 있고, 이것들이 선미

의 바깥쪽 (선미 정횡 방향)으로 멀어지도록 투망하는 현 쪽으로 바람을 받고, 그 쪽으로 배를 돌리면서 투망을 해야 하는 불편함 때문이었다. 만약 투망시 바람의 방향을 무시하고, 또한 선체를 회전시키지 않고 직진하면서 투망하면 그물은 발출의 무계에 의해, 전개판은 그 자체의 무계에 의해 빨리 하강함으로써 타와 프로펠러에 빨려 들어가 손상을 줄 개연성이 높다.

반면, 선미식은 투망시 바람의 방향과 관계없이 그물과 전개판이 선미에서 물에 투입되는 순간부터 선미와 멀어지므로 타와 프로펠러에 위험을 줄 가능성이 줄어

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

들고, 투망 침로를 임의로 잡을 수 있어 편리하다. 그러나 일단 투망이 완료되고 예망 상태에 들어가면 현측식과 선미식은 파도와 바람에 따른 영향에 큰 차이가 없다. 그러나 투망시에는 현저한 차이가 발생한다.

양망시에는 현측식이나 선미식 모두 극미속 전진하거나 거의 정지 상태에 있게 되는데, 타력이 없으므로 양망 도중 선체는 바람과 어구의 저항에 의해 계속 회두하여 현측식은 현측으로, 선미식은 선미쪽으로 파도와 바람을 받게 되는 경우가 많다. 선미에서 양망할 때는 그물의 당기는 힘으로 바람과 파도에 의해 발생하는 중경사모멘트를 어느 정도 감소시킬 수 있고, 또 선체 자체에 의한 중동요 감쇠력이 매우 커서 선미 경사로 인한 전복의 위험은 거의 없으나, 현측에서 양망할 때는 그물과 어획물의 하중에 의한 경사모멘트와 바람, 파도에 의한 경사모멘트가 합쳐져 경사모멘트의 합력은 매우 크게 된다. 따라서 현측으로 양망할 때는 어획물의 하중과 기상 상태에 따라서 안전이 위협받을 수 있다.

이와 같이 현측식 트롤 어업은 투·양망시 불편함과 안전성의 문제로 이제는 전 세계적으로 선미식으로 대체되었으나, 우리나라 동해안에서는 아직도 행해지고 있다.

이제까지 국내외의 복원성에 관한 연구는 많이 있으나 (Kang et al., 2011, Ham et al., 2011, Ikeda et al., 1990), 이들은 선망선과 화물선의 횡동요 특성을 고찰한 것이며, 현측식 트롤선의 횡경사에 대한 정량적인 고찰은 이루어진 것이 없다.

본 연구에서는 먼저 동해구 현측식 트롤선의 복원성을 파악하여, 그것이 국내외의 복원성 기준에 부합하는지 그 여부를 고찰하고, 다음으로 횡경사가 가장 심할 것으로 예상되는 현측으로 양망시, 어획물의 하중과 풍압의 영향을 고려한 횡경사를 계산하여 그 위험의 정도를 파악하였다. 또한 양망시 현측식과 선미식의 경사의 정도를 정량적으로 비교하였다.

재료 및 방법

이론

소각도 경사시의 복원성

소각도 경사시의 복원력을 나타내는 초기복원력은 식 (1)로 표시되는 횡메타센터 높이 (GM)를 지표로 하여 표현된다.

$$GM=KB+BM-KG \quad (1)$$

여기서, KB 는 부심의 높이, BM 은 횡메타센터 반경, KG 는 선저로부터 무게중심까지의 높이이다.

대각도 경사시의 복원성

대각도 경사시에는 식 (2)와 같은 근사법으로 GZ 를 구해 복원력을 판단한다 (Sohn, 2003).

$$GZ(\phi)=F_1(\phi) \cdot a+F_2(\phi) \cdot b+F_3(\phi) \cdot BM+GM \cdot \sin\phi \quad (2)$$

여기서, ϕ 의 함수, $F_1(\phi) \sim F_3(\phi)$ 은 다음 Table 1에 나타낸 값이다.

단, 식 (2)의 와의 근사값은 식 (3)과 (4)에 의해 구한다.

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

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

여기서, B, d, C_B, C_W 는 각각 선폭, 흘수, 방형계수, 수선면계수이고, f 는 유효건현으로서 식 (5)로 계산한다.

$$f=(D-d) + \frac{1}{7} (S_F + S_A) + 0.63H \quad (5)$$

여기서, D 는 형심, S_F 와 S_A 는 선체 전, 후부에서의 현호 (sheer)의 높이, H 는 상갑판에서의 캠버이다.

동적복원력

동적복원력은 식 (6)을 이용하여 구한다.

$$\text{동적복원력} = W \cdot \int_0^\phi GZ d\phi \quad (6)$$

양망시의 복원성

대상선이 현측으로 어획물을 양망할 때의 경사모멘

Table 1. 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

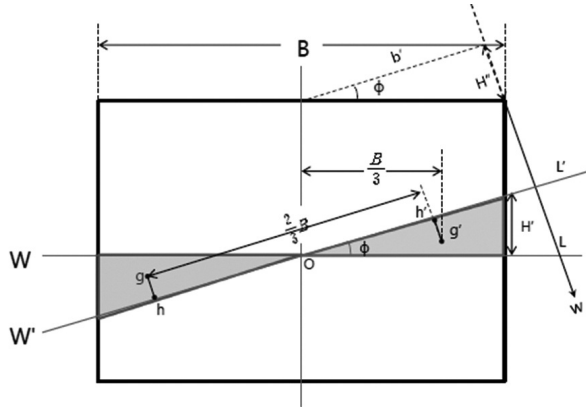


Fig. 1. An equilibrium of incline moment and righting moment when hauling net at the hull side.

트와 복원 우력의 균형은 Fig. 1의 모식도에 나타낸 것과 같고, 이것을 수식으로 표현하면 식 (7)과 같다. 단, 이때 원치는 상갑판 선체 중앙에 있다고 가정하고, 양망은 데릭을 사용하지 않고, 상갑판 현측 가장자리의 개구부에서 어포부를 끌어 올리는 것으로 하고, 원치에서 나온 양망 로프는 개구부에서 어획물의 하중이 가장 크게 걸리는 수직 하방으로 향하는 것으로 한다 (Morita, 1985).

$$b' \times w = \frac{2}{3} B \times \rho \left(\frac{B}{2} \times H' \times \frac{L}{2} \right) \quad (7)$$

여기서, b' 는 선체 종중심선에서 어획물의 무게가 작용하는 수직선에 내린 수선의 길이, w 는 어획물의 무게, H' 는 직립시와 경사시 현측에서의 흘수차이다.

대상선의 조업시 횡경사 모멘트가 가장 커지는 때는 양망할 때이다. 이 경우는 어장출발상태와 어장도착상태만 고려되나 여기서는 어장 도착 상태만 고려한다. 또한 어획물을 양망할 때, 이 힘의 방향은 해상의 상태에 따라 일정하지 않을 것이지만, 장력이 가장 심한 경우는 수직 하방일 것이므로 수직하방으로 그물이 향하는 것으로 한다.

이 계산에는 양망하는 어획물의 중량에 따른 선박 무게 중심의 미세한 이동은 고려하지 않으며, side bulge에 의한 수치는 포함하였다.

양망시 어획물의 무게는 현장에서 18~60톤으로 추정하므로, 여기서는 10~60톤의 범위에서 계산한다.

풍압력에 의한 경사 모멘트

정상풍에 의한 정경사(定傾斜)시의 풍압력 F 의 모멘트는 식 (8)에 의해 구할 수 있다 (Morita, 1985).

$$FH = W \cdot GM \sin \phi$$

$$\sin \phi = \frac{FH}{W \cdot GM} = \frac{0.76 \times 10^{-4} H A v^2}{W \cdot GM} \quad (8)$$

여기서, H 는 해수 측압의 작용점에서 풍압 면적의 중심까지의 수직 거리이다.

복원성의 적용

대상선의 국내 복원성은 선박복원성기준 제18조 (어선의 복원성 기준)의 1)과 2)의 기준을 적용한다.

1) G_0M 이 다음 산식에 의한 값 이상일 것.

$$G_0M = 0.04B + \alpha \frac{B}{D} - \beta (m) \quad (9)$$

여기서, D 는 형심, α 와 β 는 규정에서 지정한 값이다.

2) 현단물수각에 있어서의 복원정이 부가의력에 의한 횡경사 모멘트보다 클 것.

$$GZ_c > \frac{M_c}{W} \quad (10)$$

여기서, GZ_c 는 현단 물수각 (12도보다 큰 경우에는 12도로 한다)에 있어서의 복원정, M_c 는 부가의력에 의한 횡경사 모멘트이다.

대상선의 양망시 현단 물수각에 있어서의 복원정은 조건이 유사한 국내 선망선의 기준을 적용하도록 한다.

Table 2. The comparison of the stability criteria of domestic fishing boat with IMO Res. A.749

mode	available range criteria	stability criteria of domestic fishing boat		IMO Res. A. 749
		24m ≤ L ≤ 40m		24m ≤
1	G_0M (m)	≥ 0.35(with large area of wind pressure)		≥ 0.35
2	A_{0-30} (m-rad)	-		≥ 0.055
3	A_{30-40} (m-rad)	-		≥ 0.030
4	A_{0-40} (m-rad)	-		≥ 0.090
5	Θ_{GZmax} (°)	-		≥ 25
6	GZ_{30} (m)	-		≥ 0.20

대상선의 국제 복원성은 배의 길이 24m 이상의 어선에 적용하는 IMO의 비손상시의 복원성, code (A.749)를 준용한다.

Table 2 나타낸 바와 같이 IMO의 복원성 규정에는 길이 24m 이상의 어선에 대해 mode 1~6의 값이 제시되어 있으나, 국내 선박안전법에는 어선의 길이 24m 이상 40m 미만에 대해서 mode 1만 규정되어 있고, 그 외 mode에 대해서는 규정되어 있지 않다. 따라서 이 부분은 국제기준을 적용한다.

대상선의 특징과 제원

대상선의 특징

대상선은 전형적인 동해구의 현측식 트롤선인 유진호 (53ton급)이며, 이들 동해구 현측식 트롤선들은 모두 몇 가지 특징을 가지고 있다.

즉, 용골이 크게 돌출되어 최대 0.5m에 이르고, 현측수선부에 side bulge가 있으며, 또한 상갑판상 좌현 bulwark에 개구가 있어 이곳으로 양망할 수 있도록 되어 있다.



Fig. 2. A side opening for hauling net on the side trawler, Yoo Jin.



Fig. 3. The side bulge of the side trawler.

Side bulge는 선박이 건조되고 난 후에 추가로 부착한 것이 때문에 이에 대한 정역학적인 자료는 없다. 따라서 여기서는 별도로 역학적인 계산을 하여 처리하도록 한다. 적하 상태는 어장 도착 상태를 기준으로 한다.

대상선의 제원

대상선의 주요 제원은 Table 3과 같다.

Table 3. Principal dimensions of the model ship

Displacement (ton)	216.62
Length (L _{pp}) (m)	26.00
Breadth (B _{mid}) (m)	5.80
Depth (D _{mid}) (m)	2.45
Mean draft (m)	2.03
Trim by the stern (m)	1.05
C _b	0.68
KG (m)	2.10

결과 및 고찰

소각도 경사시의 복원성

대상선의 초기복원력을 나타내는 초기횡메타센터 높이가 (G₀M)는 0.47 (m)로서 복원성기준 1)에서 요구하는 조건을 만족하고 있다.

대상선의 현단 몰수각에 있어서의 복원정 (0.10m)은 부가외력에 의한 횡경사 우력정 (0.12m)보다 적어 국내 어선의 복원성 기준 2)를 만족시키지 못하고 있다.

대각도 경사시의 복원성

Fig. 4는 대상선의 대각도 경사시 정적복원성 곡선을

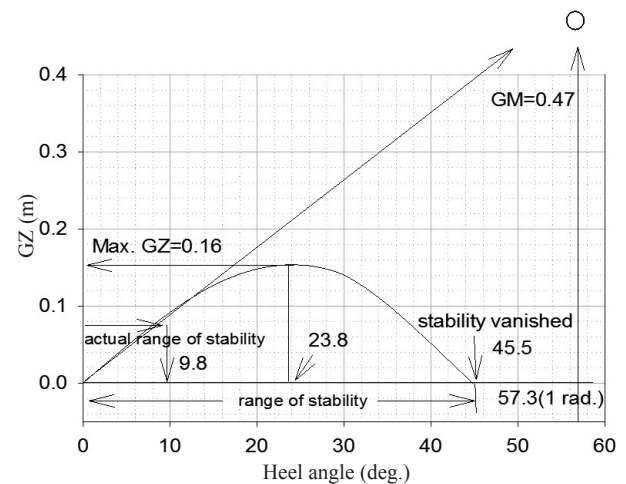


Fig. 4. GZ curve of the model ship on the fishing ground arrival condition.

나타낸 것이다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 대상선의 복원성 범위는 45.5°로서 적은 편이다. 그리고 실질적인 복원성 범위는 현단 물수각으로 볼 수 있으므로 9.8°로 매우 작다. 또한 최대복원정 (GZ_{max})이 발생하는 경사각은 23.8°로서 작은 각도에서 최대복원정이 나타나며, 그 값도 0.16m로서 작은 편이다. 그리고 복원력 소실각은 45.5°이다.

이와 같이 대상선의 복원성 범위는 작은 편이고, 최대복원정이 작은 경사각에서 발생하며, 그때의 GZ 값도 적어, 초기 복원성을 제외한 다른 복원성 수치들은 규정에서 요구하는 요건을 만족시키기 어렵다.

IMO의 규정에는 최대복원력이 발생하는 경사 각도는 25°보다 클 것을 요구하고 있으나, 대상선의 최대복원력이 발생하는 경사 각도는 23.8°로서 기준을 만족하지 못하고 있다. 이것은 대상선이 다른 업종의 어선 선형과 비교하여 B/D 값이 매우 큰데 기인한다.

Table 4는 대상선의 어장 도착 상태에서의 동적복원성 수치를 Fig. 5에서 취해 IMO 기준과 비교한 것이다. 국내 복원성 기준에 어선의 동적복원성에 대한 것은 규정이 없기 때문에 IMO 기준을 준용한다.

Table 4에 나타낸 바와 같이 대상선의 동적복원성은

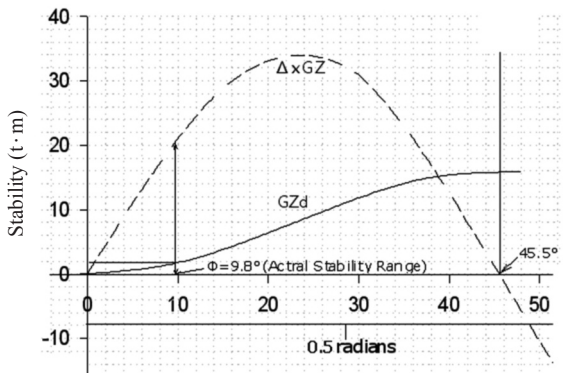


Fig. 5. Dynamic stability at for fishing ground arrival condition of the model ship.

다음과 같다.

- 1) 초기 복원력은 IMO 기준을 만족시키고 있다.
- 2) 경사각 0° ~ 30°에서는 IMO 기준을 겨우 만족시키고 있다.
- 3) 경사각 30° ~ 40°에서는 IMO 기준을 만족시키지 못하고 있다.
- 4) 경사각 0° ~ 40°에서는 IMO 기준을 만족시키지 못하고 있다.
- 5) 최대 복원정이 발생하는 각도는 IMO 기준을 만족시키지 못하고 있다.
- 6) 30°에서의 GZ값이 IMO 기준을 만족시키지 못하고 있다.

이상과 같이 대상선은 초기 횡경사에서는 복원성이 충분하나, 초기 경사각을 초과하면 복원성이 급격히 나빠진다는 것을 알 수 있다.

이것은 대상선의 선형상 매우 큰 B/D 때문에 IMO code를 전부 만족하기에는 근본적으로 곤란한 구조적인 문제점을 안고 있기 때문인 것으로 판단된다.

양망시의 횡경사와 복원성

현측으로 양망하는 경우 어획물의 무게 (그물 무게 포함)에 따른 경사각을 Table 5에 나타내었다. 여기에는 선미로 양망할 때의 종경사 값도 제시되어 있는데, 이것은 횡경사시의 위험도를 간접적으로 비교하기 위한 것이다.

Table 5. Inclined angle according to the load of hauling the net

hauling weight (ton)	inclined angle(°)	
	longitudinal hauling at stern	transverse hauling at side
10	0.8°	2.6°
20	1.7°	7.3°
30	2.6°	12.4°
40	3.4°	17.8°
50	4.2°	23.1°
60	5.1°	28.1°

Table 4. Comparison of the dynamic stability of model ship with the criteria of IMO

Items	Criteria	IMO Res. A. 749	Model ship	Result
	G ₀ M (m)		≥ 0.350	0.470
A ₀₋₃₀ (m-rad)		≥ 0.055	0.055	satisfied
A ₃₀₋₄₀ (m-rad)		≥ 0.030	0.017	unsatisfied
A ₀₋₄₀ (m-rad)		≥ 0.090	0.071	unsatisfied
Θ _{GZmax} (°)		≥ 25°	23.8°	unsatisfied
GZ ₃₀ (m)		≥ 0.20	0.14	unsatisfied

Table 5에 나타낸 바와 같이 현측으로 양망할 때와 선미로 양망할 때는 경사각의 차이가 매우 크다. 경사각도는 양망 하중에 따라 다르나, 현측식이 선미식보다 최소 3.3배, 최대 5.5배 정도 경사각이 크다. 최대 중량인 60톤을 선미로 양망할 때는 경사각이 불과 5.1°에 그치나, 현측으로 양망할 때는 28.1°로 매우 크게 경사한다.

대상선의 양망시, 어장 도착 상태에서의 현단 물수각은 9.8°이다. 어획물 25.9톤을 현측으로 양망할 때 경사각이 현단 물수각에 이른다. 따라서 이 배의 양망 한계는 25톤으로 본다. 이것은 풍력을 고려하지 않은 것이므로 실제로는 이보다 더 무게를 줄여야 안전하게 양망할 수 있을 것이다.

풍압의 영향

대상선은 풍압측면적이 85.3m²로서 풍압측면적이 큰 선박은 아니나, 동해안의 기상과 선박의 안전성을 고려해 풍압에 의한 영향을 고려한다.

Table 6은 양망시 폭풍주의보와 폭풍경보 발령 상황시의 횡경사 각도이다. 이 경사각도는 Table 5의 현측식의 경사 각도에 국내 폭풍주의보와 경보 상황시 풍압의 영향을 계산하여 더한 각도이다.

국내의 폭풍주의보 발효 상황인 순간최대풍속 20m/sec.와 폭풍경보 상황인 26m/sec.에서 대상선의 경사 우력, D_w는 각각 0.033 (N · m)과 0.056 (N · m)이다. 따라서 양망 한계 하중은 폭풍주의보 발효 상황에서는 21 (ton), 폭풍경보 발효 상황에서는 17 (ton)이다.

Table 6. Transverse inclined angle adapted the wind pressure on the hauling net

hauling weight (ton)	transverse inclined angle(°)	
	wind 20m/s	wind 26m/s
10	4.5°	5.8°
20	9.2°	10.5°
30	14.3°	15.6°
40	19.7°	21.0°
50	25.0°	26.3°
60	30.0°	31.3°

동조횡동요 조건의 추정

양망중 자유횡동요를 하고 있을 때 저항을 받고 있다고 가정하면, 이때 대상선의 횡동요 주기는 다음 식 (11)로 구할 수 있다.

$$T_{\phi} = 2CB / \sqrt{GM}$$

$$C = 0.373 + 0.023 (B/d) - 0.043 (L/100) \tag{11}$$

식 (11)로 구한 대상선의 어장 도착 상태에서의 동요 주기는 6.58초이다. 따라서 파주기가 이것과 동일하거나 또는 파장이 약 60m 되는 조건에서는 동조횡동요를 일으키게 된다.

만약, 파고 3.0m, 파장 60m일 때 어장 도착 상태에서 대상선이 동조횡동요를 일으키면, 이때의 최대파경사각은 8.8°, 최대 동조횡동요각은 23.5°이 된다.

이것은 어장 도착 상태에서 대상선의 현단 물수각이 약 9.8°인 점을 감안하면 대단히 큰 횡요각이다. 따라서 양망시 동조횡동요 조건에 조우하지 않도록 하는 주의가 필요하다.

결론

국내 동해구 현측식 트롤 어선이 국내와 국제적인 복원성 기준을 만족하는지의 여부와 현측으로 양망시 어획량에 따르는 횡경사각을 계산하여 선미식과 비교하여 현측식의 조업시 안전성을 고찰한 것을 요약하면 다음과 같다.

대상선은 소각도 경사에서는 우리나라 어선의 복원성 기준 1)을 만족하고 있으나, 어선의 복원성 기준 2)를 만족시키지 못하고 있다. 대상선은 복원성 범위가 비교적 적고, 현단 물수각은 매우 작기 때문에 실질적인 복원성 범위가 적다. 또한 최대 복원정이 발생하는 각도와 그 값도 작아, 위험경사각이 작은 경사에서 일어날 수 있다. 대상선은 국제규정에 따른 복원성을 대부분 만족시키지 못하고 있다. 따라서 소각도 경사에서는 문제가 없으나, 대각도 경사에서는 안정성에 문제가 있다.

대상선의 양망시 현단 물수각은 9.8°이다. 이 현단 물수각을 실질적인 복원력의 한계로 보기 때문에 이에 해당하는 어획물의 양망 한계 하중은 25.9톤이다. 여기에 국내의 폭풍주의보 발효 상황이라면 양망 한계 하중은 21톤, 폭풍경보에서는 17톤이다.

파도에 의한 영향은 파고와 최대파경사각에 따라 선체의 동요 형태가 크게 달라 지므로 일률적으로 판정할 수 없고, 또한 동조 현상도 불규칙파에서는 흔치 않은 일이나, 만약 양망중 파고 3m에서 동조 현상이 발생한다면 최대 동조횡동요각은 현단물수각의 2~3배가 되어 전복 가능성이 매우 크다고 할 수 있다. 동해구 트롤 어선의 양망시, 경사 각도는 하중과 기상에 따라 다르나, 현측식이 선미식보다 최소 3.3배, 최대 5.5배 정도 크

다. 따라서 현측식은 조업시 각별한 주의가 요망된다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2014년)에 의하여 연구되었음

REFERENCES

- Ham SJ, Kang IK, Kim HS, Jo HJ and Kim JC. 2011. Stability of the offshore large purseiner in Korea. *J. Koc. Soc. Fish. Tech.*, 47, 241 – 247. (DOI:10.3796/KSFT. 2011. 47.3.241)
- Ikeda Y and Umeda N. 1990. A prediction method of roll damping of a hardchine boat at zero forward speed. *Journal of Kansai Society of Naval Architects*, 213, 57 – 62.

Kang IK, Kim HS, Jo HJ, Kim JC and Ham SJ. 2011. Roll reduction characteristics of the offshore large purseiner in Korea. *J. Koc. Soc. Fish. Tech.*, 47, 248?256. (DOI:10.3796/KSFT.2011.47.3.248)

Lee, J.H, CW Lee, BK Kwon. 2001. Development for the operating system and fishing gear of the Eastern Sea trawls and seine nets. Ministry of Oceans and Fisheries. 2 – 9.

Morita T.H, 1985. Ship stability, haemundang, Japan.124 – 125, 178 – 179.

Sohn KH. 2003. Calculation for ship. ship's maneuvering lab. Korea Maritime University. 95 – 101.

2014. 8. 07 Received

2014. 8. 21 Revised

2014. 8. 23 Accepted