

한국 근해 대형 선망 어선의 복원성

함상준 · 강일권^{1*} · 김형석¹ · 조효제² · 김정창³
부경대학교 실습선 · ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부
²한국해양대학교 해양시스템공학부 · ³부경대학교 탐사선

Stability of the offshore large purseiner in Korea

Sang-Jun HAM, Il-Kwon KANG^{1*}, Hyung-Seok KIM¹, Hyo-Jae JO² and Jung-Chang KIM³

Training ship, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹*Division of Marine Production System management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

²*Division of Ocean System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

³*Research ship, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

Marine casualties of vessel are said to be in most case caused by human error, but it would be valid for the assumption that the ship is built with high quality and then should be acceptable to the safety standards. It means that the inherent characteristics of a ship should be the first consideration on the safety of ship. Therefore it is basically necessary for navigator to grasp the inherent stability of his ship and ensure that the ship complies with the minimum statutory standards of stability. This study is to realize the stability of the Korean offshore large purseiner varying with loading conditions by the inclining data and some calculations. The author compared the stability of the ship with IMO criteria and domestic rule, and proposed some improvement for the safety of the ship. The results are summarized as follows ; The values of GM of the ship according to the loading condition in navigation satisfy both of the IMO criteria and the domestic rule, but in case of the area under the GZ curves between the heel angles of 30° and 40°, and the heel angle occurring the maximum righting lever not satisfy the IMO rule at the fishing ground departure and arrival conditions in the haul in net situation. The initial metacentric height of the ship is very large, but the range of stability and the occurring angle of the maximum GZ are very small, so even small inclining can bring about the beam end. The best method of improvement for that is to increase the freeboard of the model among the variables.

Keywords: Ship's stability, IMO criteria, Loading condition, GZ curves, Initial metacentric height, Freeboard

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

서 론

어선은 어로작업과 항해 등에 사용할 목적으로 건조된 운송 수단으로서 그 목적을 달성하기 위해서는 악조건하의 해상에서도 안전성을 확보할 수 있어야 한다. 그러기 위해서 무엇보다 최우선적으로 고려되어야 하는 것은 설계 단계에서부터 건조에 이르기까지 투입된 기술의 질과 설비의 양부가 결합되어 최종적으로 나타나는 선체고유의 성능이다.

어선은 작업 특성상 악천후 상태에서도 무리하게 작업하는 때가 있고, 또한 갑판 과적으로 인한 복원성 저하를 불러 오는 경우도 있다 (Kang et al., 2007). 이런 경우 선박 자체가 가진 고유의 안전성능 (inherent ship stability)은 극히 중요하고, 어선의 복원성능 확보에는 거의 절대적인 것이라 할 수 있다. 선박 고유의 성능으로 나타나는 것 중에 가장 중요한 것이 복원성이며, 그 지표가 바로 GM이다. 어선의 선장을 비롯한 조선자 (造船者)들은 복원성과 관련하여 GM의 중요성을 잘 알고 있다. 그러나 복원성을 좌우하는 또 다른 요소인 복원정 (GZ)에는 관심이 부족한 것 같다. 그 이유는 GZ가 적화상태에 따라 달라지고, 그것을 유도하고 평가하는 것이 시간이 많이 걸리기도 하고, 그렇게 쉬운 일이 아니기 때문일 것이다. 그러나 GM은 물론 GZ는 복원성에 극히 중요한 요소이므로 이것에 관한 지식이 반드시 필요한 것이다.

IMO에서는 선박이 가진 고유의 성능의 중요성을 고려하여, 선박의 안전성을 확보하기 위해 적어도 이 부분의 성능 결여에 따른 전복사고는 방지되어야 한다고 하는 취지에서 선박복원성 기준을 마련하였다. 이렇게 하여 국제적인 기준으로 발표된 협약이 1985년의 IMO A.562이며,

이후 1993년 비손상시의 복원성 code, Res. A749로 개정되었다. 이것은 배의 길이 24m 이상 선박에 대한 복원성기준으로, 본 연구에서 대상으로 하는 국내 대형 선망 본선 (이하 선망선)에 적용할 수 있는 횡파와 횡풍에 대한 규정이다.

국내 어선의 복원성 기준은 선박안전법 제12조2항에 명시되어 있는 것으로 모든 여객선과 배의 길이 24m 이상의 어선 및 화물선에 적용하고 있으며, 대상 선박을 12m 이상의 어선 및 화물선으로 확대시킬 예정으로 있다.

지금까지 국내의 어선의 복원성에 관한 연구로는 복원성의 국제적 판정 기준에 관한 연구 (Kim, 1999), 복원성 평가시스템 개발에 관한 연구 (Kang, 2003), 소형 어선 및 화물선의 복원성 기준 연구 (KST, 2006), 소형 선박의 복원성 연구 (Kwon and Lee, 2007), 계통발어선의 복원성에 관한 연구 (Lee, 2009) 등이 있으나, 국내 대형 선망 본선의 복원성과 문제점을 제시하였을 뿐 개선하고자 하는 연구는 거의 없었다.

따라서 본 연구에서는 선망선의 복원성을 파악하고, 그것이 국제적인 기준과 국내의 규정을 만족하는지의 여부와 이 선박의 복원성에 관한 구조적인 문제점을 개선할 수 있는 방안에 대해 고찰하고자 한다.

자료 및 방법

이론

대각도 경사시의 복원성은 식 (1)로서 GZ를 구하여 판정한다 (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, $F_1(\phi) - F_3(\phi)$ 는 다음 Table 1

Table 1. Values of $F_1(\phi) - F_3(\phi)$ with varying the heel

	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$F_1(\phi)$	0.0000	0.0000	0.5458	1.2221	1.2835	0.7174	0.0000
$F_2(\phi)$	0.0000	0.0000	-0.2190	-0.4012	-0.1967	0.3642	1.0000
$F_3(\phi)$	0.0000	0.0093	-0.3148	-0.8248	-1.0980	-1.0877	-1.0000

에 나타낸 값이다.

동적복원력은 정적복원력 곡선의 면적을 이용하여 구하며, 양망시의 복원성은 국내 어선의 복원성기준에서 어로작업중 부가의력이 미치는 선망선에 해당하는 계산식으로 구한다. 또한 풍압 모멘트는 식 (2)에 의해 구한다.

$$D_w = \frac{FH}{W} \quad (2)$$

여기서, H 는 해수층압의 작용점에서 풍압면적의 중심까지의 수직거리이다.

복원성능 평가 요소

선박복원성에서 가장 중요한 개념은 선박에 작용하는 외력에 의한 전복모멘트에 비하여 복원모멘트가 커야 한다는 점이다. 그러나 모든 해상상태에서 선박에 작용하는 외력의 영향을 정확히 평가한다는 것은 극히 어려운 일이기 때문에 일부 바람과 파도의 영향을 고려하기도 하지만, 일반적으로 초기횡메타센타높이, 최대복원정과 최대복원정 발생각도, 그리고 복원정곡선의 면적 등 정수중에서의 복원성 특성을 평가하는 것으로 하고 있다. 본 연구에서도 그것들을 중심으로 선망선의 복원성을 고찰하며, 또한 선망선은 풍압측면적이 큰 선박은 아니나, 양망시 어구의 외력에 의해 경사를 하고 있을 때 풍압에 의한 횡경사모멘트가 가중되는 경우가 있으므로 바람에 의한 경사모멘트도 추가로 고려한다.

결과 및 고찰

선망선의 제원과 적하상태

본 연구의 선망선은 국내에서 가장 많은 135톤급 (115급성호)을 대상으로 하며, 그 주요 제원은 Table 2와 같다.

선망선의 적하상태는 선박안전법 제8조에서 어선복원성기준으로 제시하고 있는 표준재화상태, 즉 Full load (만재), F.G departure (어장출발), F.G arrival (어장도착)상태를 기본으로 하되,

Table 2. Principal dimensions of model ship

Description	dimension
Gross tonnage (ton)	135
Length (Lpp) (m)	34.60
Breadth (B_{mid}) (m)	7.60
Depth (D_{mid}) (m)	3.05

Table 3. Loading conditions with varying consumption of the boarding articles

Consumption Con. Loading condition	F.W	F.O	Provision	Condition
Full load	100%	100%	100%	Full load
F.G departure	25%	25%	25%	75% Consumption
F.G arrival	10%	10%	10%	90% Consumption
Light ship	0%	0%	0%	Empty

Table 3에 나타낸 바와같이 부분만재입항상태는 Light ship (경하)상태로 바꾸어 4가지로 구분한다.

복원성의 계산과 판정

재화상태에 따른 중량 중심 계산은 선망선의 경사시험 결과를 바탕으로 하며, 이것을 근거로 하여 복원성 계산을 하였다.

초기횡메타센타높이

Table 4는 선망선의 적하상태에 따른 초기 복원성 관련 수치를 나타낸 것이다.

Table 4. The result of stability due to the loading conditions

Items	Full load Departure	F.G Departure	F.G Arrival	Light Ship
Disp. (ton)	454.69	398.37	384.16	320.78
Draftcorr. (m)	3.142	2.931	2.877	2.616
Trim (m)	-0.836	-1.138	-1.134	-0.774
TKM (m)	4.311	4.347	4.330	4.318
KG (m)	2.801	2.981	3.021	2.935
GM (m)	1.510	1.366	1.309	1.383
Fbd (m)	0.366	0.577	0.631	0.892
G_0M (m) Requirement	0.725	0.616	0.601	0.562
G_0M (m) Calculated	1.459	1.310	1.248	1.383
Result	satisfy	satisfy	satisfy	satisfy

이 표에 나타난 바와같이 초기횡메타센타높이 (G_0M)는 모든 적하상태에서 국내의 복원성 기준에서 요구하는 값의 2배 이상을 나타내고 있다. 따라서 선망선의 소각도 경사시의 복원성은 매우 양호하다고 볼 수 있다.

최대복원정 및 최대복원정 발생 각도

Table 5는 대각도 경사시 정적복원력 곡선에서 취한 선망선의 복원성 관련 수치들이다. 이 표에 나타난 것과 같이 선망선은 모든 적하상태에서 복원성 범위가 작고, 현단몰수각을 실질적인 복원성의 한계로 본다면 그 범위는 더욱 작아진다. 경하상태에서는 다른 적하상태보다 그 범위가 크지만, 이것도 다른 선종에 비교하면 작은 것이다 (Lee, 2009). 또한 모든 적하상태에서 최대 복원정이 발생하는 각도가 작아서 IMO 규정을 만족하지 못한다. 따라서 본 선박은 위험경사각이 작은 횡경사에서 일어나게 되므로 횡경사에 매우 취약하다고 할 수 있다.

Table 5. Characteristics of GZ for model due to the loading conditions

Items	Full load Departure	F.G Departure	F.G Arrival	Light Ship
Range of stability(°)	31.8°	30.4°	31.0°	36.2°
Actual range of stability(°)	5.5°	8.6°	9.4°	13.2°
Maximum GZ value(m)	0.42	0.36	0.38	0.40
Heel angle occ. maximum GZ(°)	16.1°	15.9°	16.2°	18.5°

동적복원력곡선

Fig.1은 어장도착상태에서의 정적복원력곡선과 동적복원력곡선을 나타낸 것이며, 사선부분의 면적은 현단몰수각에 있어서의 동적복원력이다. 이 그림으로 보면 현단몰수각 9.4도에 있어서의 동적복원력은 12.3 (ton.m)가 된다.

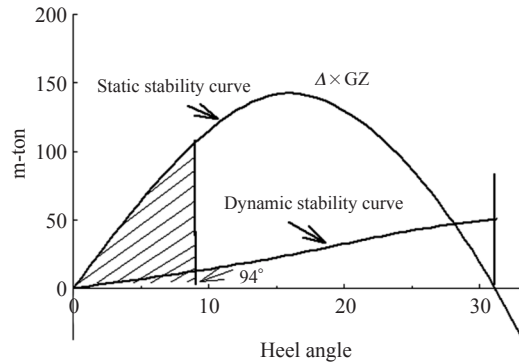


Fig. 1. Dynamic and static curves on the F.G arrival condition.

조업중의 복원성

조업중 복원성은 양망시의 두 가지 적하상태, 즉 어장출발상태(75% 소비 상태)와 어장도착상태(10% 소비 상태)만 고려한다.

(1) 복원성과 동적복원력

Table 6은 선망선의 양망시, 어장출발상태와 어장도착상태에서의 동적복원성 수치와 IMO 기준을 비교한 것이다.

이 표에 나타난 것과 같이 어장출발상태와 어장도착상태의 초기횡메타센타높이 (GM)는 IMO 기준을 크게 상회하고 있다. 그러나 경사각 30°와 40° 사이의 면적은 IMO 기준을 만족시키지 못하고 있고, 또한 복원력소실각은 각각 32.3°와 32.0°로서 작은 편이며, 현단몰수각은 각각 4.99°와 7.79°이므로 실질적인 복원성 범위는 매우 작다. 또한 최대복원정 (GZmax)이 발생하는 각도가 각각 21.0°와 19.9°로서 IMO의 규정, 25°를 만족하지 못한다.

이와같이 선망선의 초기횡메타센타높이는 국제 기준을 만족하고 있으나, 복원성 범위가 좁고, 최대복원정이 발생하는 경사각이 적은 것은 건현이 너무 낮게 되어있는 선체의 구조적인 문제이다. 현측으로 양망하는 작업의 특성상 건현을 충분히 높게 할 수 없는 일면이 있긴 하지만, 적절한 예비부력을 확보한다는 점에서 건현을 증가시키는 선형 개선이 바람직하다.

Table 6. Comparison of the dynamic stability of the ship with the criteria of IMO

Criteria Items	IMO Res. A. 749	F.G departure	F.G Arrival	Result
G ₀ M	≥ 0.35	1.285	1.393	Satisfied
A ₀₋₃₀ (m-rad)	≥ 0.055	0.113	0.108	Satisfied
A ₃₀₋₄₀ (m-rad)	≥ 0.030	0.027	0.024	Dissatisfied
A ₀₋₄₀ (m-rad)	≥ 0.090	0.140	0.132	Satisfied
∅ _{GZmax} (°)	≥ 25	20.978	19.867	Dissatisfied
GZ ₃₀ (m)	≥ 0.20	0.309	0.281	Satisfied

복원력 산입 범위와 한계경사각

선망선에 최대의 경사모멘트가 작용할 때는 양망시일 것이다. 먼저 중방향 모멘트를 고려해 본다. 선미 양망기 (power block)는 A.P (After Perpendicular)상에 있고, 좌우로 이동없이 정선미 하방으로 최대 15톤의 그물을 당긴다고 볼 때, 어장출발상태에서의 선수흘수는 약 5cm 부양하고, 선미흘수는 약 22cm 침하한다. 따라서 복원성과 관련하여 trim의 변화는 큰 영향이 없으므로 무시하기로 한다. 따라서 여기서는 횡경사모멘트가 가장 커지는 현측으로 양망할 때를 고려하며, 힘의 방향은 장력이 가장 큰 수직 하방으로 그물이 향하는 것으로 하고 복원력을 계산한다.

어장출발상태와 어장도착상태에서 현단물수각을 복원력의 한계로 볼 때, 원치에 걸리는 최대 하중을 15톤으로 가정하면, 이때 GZ는 각각 0.156와 0.139이다.

국내복원성기준에서 요구하는 GZ값은 각각 0.165와 0.105이므로 어장도착상태에서는 그 값을 만족하나, 어장출발상태에서는 만족하지 못한다. 따라서 어장출발상태에서 그 기준을 만족하기 위해서는 양망시 최대하중을 제한하는 수밖에 없다.

양망시 일본에서 적용하고 있는 계산식 (Morita, 1985)을 적용하면 GZ값은 각각 0.170과 0.146으로, 위의 두 경우 모두 이 기준을 만족하지 못한다. 이것은 일본이 양망시의 기준을 국내에서의 그것보다 더 엄하게 규정해 놓고 있기 때

문이다.

한계경사각에 있어서의 선망선의 동적복원력은 어장출발상태에서는 6.78 (ton.m), 어장도착상태에서는 3.48 (ton.m)이다.

풍압의 영향

양망시 어장도착상태에서, 국내의 폭풍주의보 발효 상황인 순간최대풍속 20m/sec.와 폭풍경보인 26m/sec.에서 경사우력정은 각각 0.025m와 0.042m이며, IMO에서 제시하고 있는 기상기준으로 계산하면 0.025m이다.

이들 값은 어구 장력에 의한 값에 비해 매우 작은 것으로, 이것은 본선의 풍압면적 (86.6m²)이 적고, 해수측압의 작용점에서 풍압면적의 중심까지의 수직거리가 2.8m로써, 그 값이 매우 작은데 기인하는 것으로 보인다. 따라서 바람에 의한 경사모멘트는 어구에 의한 그것에 비해 크지 않다고 볼 수 있다.

복원성 향상을 위한 방안

국내 선망의 본선은 초기복원성은 양호하나, 복원성 범위가 너무 작아 조그만 경사에도 현단이 물에 잠기게 되며, 또 최대 GZ가 발생하는 각도가 작아 관련 규정을 만족시키지 못한다. 따라서 이것을 개선하기 위한 방법은 복원성과 관련된 주요 변수인 건현, GM, BM 그리고 선폭을 조정하는 것이다.

여기서는 만재출항상태를 대상으로 다른 조건이 변하지 않는다는 가정하에 주어진 변수를 변화시켰을 때 선망선의 복원성 변화를 고찰한다.

건현의 증가

Fig. 2는 만재출항상태의 건현 (0.366m)을 0.5m부터 0.1m씩 증가시켰을 때의 선망선의 복원성 변화를 나타낸 것이다.

이 그림에 나타난 것과 같이 건현이 증가되면 초기횡메터센터는 거의 변하지 않고, 복원성 범위, 최대 GZ값과 그것이 일어나는 각도가 모두

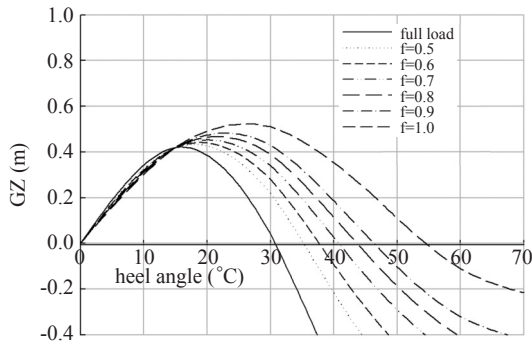


Fig. 2. Change of stability due to the freeboard increase.

선형적으로 증가한다.

IMO 기준에는 최대 GZ값이 일어나는 각도는 25° 이상일 것을 요구하므로, 이것을 만족시키기 위해서는 건현이 1.0m 이상이 되어야한다.

따라서 건현을 증가시켜서 복원성 관련 수치를 향상시키고, 열악한 공간도 활용하면 매우 좋을 것으로 생각한다. 그러나 그렇게 할 때 작업의 효율성, 선박 크기와 관련된 범규의 문제, 연료비 증가, 풍압면적의 증대 등 여러 가지 문제점이 발생할 수 있으므로, 최적의 건현에 대해서는 보다 심도있는 연구가 요구된다.

GM의 변화

Fig. 3은 만재출항상태의 GM (1.51m)을 기준으로 그 값을 증감시켰을 때의 선망선의 복원성 변화를 나타낸 것이다.

이 그림에 나타난 것과 같이 GM이 변화하면,

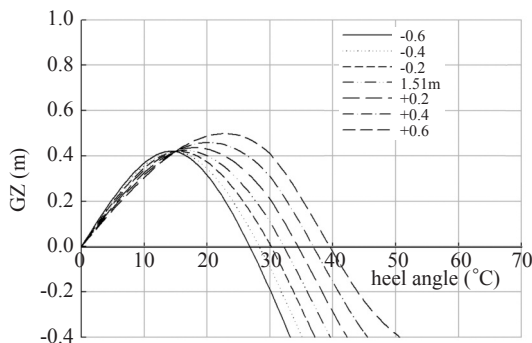


Fig. 3. Change of stability with varying GM.

이에 따라 초기횡메터센터, 복원성 범위는 거의 선형적으로 증감된다. 그러나 GZ값은 GM의 값에 따라 비례하여 증감하지 않는다. 따라서 선망선의 경우 GM의 변화가 복원성에 미치는 영향은 크지만, 건현의 영향보다는 크지 않다는 것을 알 수 있다.

BM의 변화

Fig. 4는 만재출항상태의 BM (2.66m)을 기준으로, 그 값을 증감시켰을 때의 선망선의 복원성 변화를 나타낸 것이다.

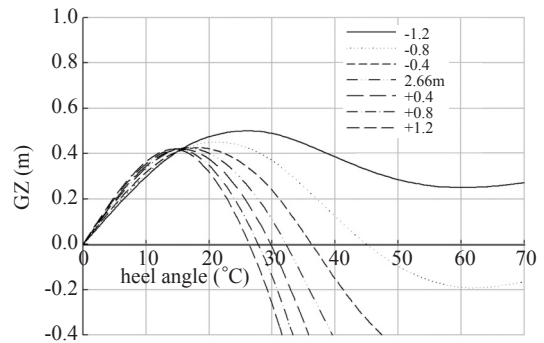


Fig. 4. Change of stability with varying BM.

이 그림에 나타난 것과 같이 BM이 현재의 상태보다 감소하면 이에 따라 초기횡메터센터는 증가하고, GZ값과 그것이 일어나는 각도에는 큰 변화가 없으며, 복원성 범위는 비례하여 감소된다. 그러나 BM이 증가하면 이에 따라 초기횡메터센터는 감소하고, GZ값과 그것이 일어나는 각도는 크게 증가하며, 특히 복원성 범위는 과도하게 증가하여, 일정 값을 초과하면 소실각이 없는 상태에 이르게 된다. 이것은 부심의 값이 일정한 범위에 있어야 복원성에 안정을 주게되고, 매우 작으면 GM이 과도한 것과 비슷한 영향을 주게 된다는 것을 보여주는 것이다.

선폭의 변화

Fig. 5는 선망선의 선폭 (7.6m)을 기준으로, 그

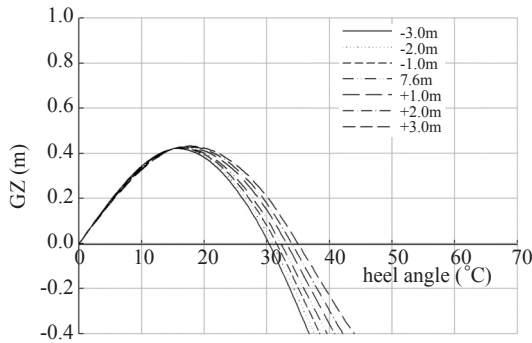


Fig. 5. Change of stability with varying breadth of the model.

값을 증감시켰을 때의 선망선의 복원성 변화를 나타낸 것이다.

이 그림에 나타난 것과 같이 선폭의 변화는 복원성에 큰 변화를 주지 않는다. 즉, 최대 GZ값이 크게 증대하지도, 최대 GZ값이 나타나는 경사각도 증가하지 않는다. 다만 복원성 범위가 소폭 변화될 뿐이다.

결론

본 연구는 국내 선망의 본선을 대상으로 적하상태에 따른 복원성을 파악하고, 그것이 국내와 국제적인 복원성 기준을 만족하는지의 여부와 불만족하는 부분의 구조적인 문제를 개선하기 위한 방안을 고찰한 것으로 요약하면 다음과 같다.

선망선의 초기 횡메타센타높이는 모든 적하상태에서 복원성기준에서 요구하는 값을 크게 상회하고 있어 소각도 경사시의 복원성은 매우 양호하다. 그러나 복원성 범위는 매우 작다.

양망시 어장출발상태와 도착상태에서 경사각 30°와 40° 사이의 동적복원력과 최대 GZ가 발생하는 각도가 IMO 기준을 만족시키지 못한다. 또한 어장도착상태에서는 국내기준에서 요구하는 GZ값을 만족하나, 어장출발상태에서는 만족하지 못한다. 따라서 어장출발상태에서는 양망 최대하중을 제한하여 그 기준을 만족하도록 해야 한다.

선망선이 국내기준과 국제기준을 불만족하는 부분은 복원성의 범위에 관련된 것인데, 그 개선 방법은 건현을 증가시키는 것이 최선이고, 차선으로 GM을 증가시키는 것이다. BM과 선폭의 변화는 복원성 향상에 큰 역할을 하지 못한다.

사사

이 논문은 2008학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었음 (PS-2008-0012000200904500).

참고문헌

- Kang, I.K., H.S. Kim, H.I. Shin, Y.W. Lee, J. C. Kim and H. J. Jo, 2007. Study on the casualties of fishing vessels in Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 43 (2), 149 – 159.
- Kim, J.N., 1999. A study for stability criteria of small fishing vessel. Master Thesis, Chosun University, Korea, pp. 54.
- Kang, D.S., 2003. A study on the assessment system of stability for the small vessels in the wave. Master Thesis, Chungnam University, Korea, pp. 47.
- Kwon, S.Y. and H.J. Lee, 2006. Study on the Stability Criteria for Small Fishing Vessels and Cargo Ships. Journal of Korea Ship Safety Technology Authority, 41 – 63.
- Kwon, S.Y. and H.J. Lee, 2007. A study on the stability criteria of small vessels. Journal of Society of Naval architects of Korea, 44 (3), 285 – 295.
- Lee, A.R., I.K. Kang and H.J. Jo, 2009. A study on the stability of a crab trap fishing boat with water tank experiment. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 45(4), 267 – 275.
- Morita, T.H., 1985. Ship stability. Haemundang, 69 – 71.
- Sohn, K.H., 2003. Ship Calculation, ship's maneuvering Lab., 95 – 101.

2011년 6월 30일 접수

2011년 8월 10일 1차 수정

2011년 8월 12일 수리