

어선 복원성능 계산 해설

(수산청고시 제1995-33호 관련)

이 희 준/한국어선협회 기술개발부

1. 머리말

선박에 있어서 복원성능을 확보하는 것은 선박 및 선원의 안전을 위한 최소한의 요구사항이며 어떠한 조업상태에 있어서도 충분한 복원성능을 확보하는 것은 설계자 및 운항자의 기본적인 임무이다. 그러나 선박을 운항하는 동안에 선박에 부가되는 외적 환경요소는 바람 및 파도, 갑판유입수, 어로작업에 따른 외력 등 다양하며, 이러한 요소들이 선박의 전복사고에 미치는 영향을 신속 정확하게 평가하여 선박의 안전성을 평가하는 것은 쉽지 않은 일이다. 이에따라 국제해사기구 및 각국 정부에서는 각종 해난사고의 분석을 토대로 선박의 복원성능 기준을 설정하여 이에따른 복원성능 확보를 법적요건으로 요구하고 있다.

국내 어선에 대하여는 수산청고시 제1995-33호(95.10.31)로 어선복원성 기준이 전면 개정되어 95년 12월 1일 부터 길이 24미터 이상의 어선에 대하여 적용되고 있으며, 이 기준은 동 기준의 발효 이전에 적용되어 왔던 어선 설비등에관한규칙의 복원성 기준(이하 “중전의 규정”이라 한다)에 비하여 격심한 바람 및 횡요기준 등 IMO결의 A.749(18)의 내용이 부분적으로 수용된 것으로서 이에따라 어선의

복원성능 계산도 다소 변경되게 되었다. 여기에서는 개정된 어선복원성 기준에 따른 복원성계산 방법에 대하여 알아보았으며 중전의 규정에 의한 복원성능 계산방법과 동일하거나 개정된 어선복원성 기준의 계산과정에 필요한 표등 상세 내용들은 지면관계상 생략하였다.

2. 어선복원성기준의 주요내용

개정된 어선복원성기준의 내용에 대하여는 본회 어선지 65호에 소개된 바 있으니 참조바라며 동 기준의 주요사항을 요약하면 다음과 같다.

○ 표준적하상태에 있어서 비어로선의 표준적하상태가 새로이 규정되었으며, 어로선에 대하여는 부분적하 입항상태의 어획물의 양을 만재 어획물의 20%에서 40%까지 증가시킬 수 있도록 완화 되었으며,

○ 복원성 기준에 있어서는 초기복원력 기준 및 특수한 어법 기준은 중전의 규정과 동일하나 어창의 침수기준으로써 어로선에 있어서 어로작업중 개방하여 두거나 신속히 폐쇄할 수 없는 창구의 침수각은 20도 이상이어야 하며 20도이하일 경우 어창이 부분적으로 또는

완전시 침수되어도 초기복원력기준을 만족하여야 한다는 규정이 추가되었으며, 격심한 바람 및 횡요기준으로서 바람에 의한 횡경사 에너지에 비하여 복원에너지가 커야한다는 동적복원성 규정이 추가되었다.

○ 한편 선박에 비치하여야 할 복원성 자료의 내용중에서 동적복원성 규정 도입에 따라 복원력 교차곡선도 또는 표가 첨부되어야 하며 선박이 운항되는 각 흘수 및 배수량 범위에 있어서 최대 무게중심높이 또는 최소 횡메타센타높이 곡선이나 표 등 적재 제한에 관한 자료가 첨부되도록 되었다.

3. 복원성능 계산

앞의 어선복원성기준의 주요내용에서 알 수 있는 바와같이 복원성기준의 내용이 새로 추가된 것이 있으며 선박 검사시 제출하여야 할 복원성 자료의 내용중에서 최소 횡메타센타높이 곡선이나 표 등 적재제한에 관한 자료가 첨부되어야 하므로 복원성능 계산은 다소 복잡하게 되었고 복원성능 판정방법에도 변화가 있게 되었다. 즉 종전의 규정에 의한 복원성능 계산 및 판정은 각 적하상태에서 중량중심 및 트림을 계산하고 이 적하상태가 복원성기준에 만족되는지 여부를 직접 판정하였으나 새로이 개정된 어선 복원성기준에서는 각적하상태에서 중량중심 및 트림 계산방법은 종전과 같으나 선박의 운항범위의 각 배수량에 있어서 어선복원성기준의 모든 규정을 만족시키는 최소 횡메타센타높이를 계산하여 이결과를 표 및 곡선으로 작성된 복원성능 판정기준을 제시하고 각 적하상태의 횡메타센타 높이가 복원성능 판정기준인 최소 횡메타센타높이를 만족하

는지 여부로 판정하게 되었다. 이러한 복원성능 판정방법은 설계자에게는 계산양이 많아지게 되어 불편한 점이 있으나 선박 운항자의 입장에서는 임의의 적하상태에 대하여도 손쉽게 복원성능 만족여부를 판정할 수 있는 잇점이 있다.

복원성능 계산 과정에 있어서 먼저 표준적하상태에 대하여 중량중심 및 트림계산을 수행하게 되며, 각 적하상태에서 중량중심 및 트림계산이 완료되면 선박의 운항상태에서의 배수량 범위를 파악할 수 있게 된다. 일반적으로 배수량 범위는 경하중량으로부터 만재흘수에서의 만재배수량까지이며 이들 배수량을 포함하는 충분한 배수량 범위에 대하여 일정배수량 또는 흘수 간격으로 각 배수량 및 흘수에 대하여 복원성능 기준에 따른 각 계산을 수행하게 된다.

어선복원성능기준에 의한 복원성능 판정기준 계산에 있어서 주요사항 및 주의사항 등을 요약하면 다음과 같다.

가. 초기복원력기준 계산

어선의 직립상태에 있어서 초기 횡메타센타높이 기준은 다음과 같다.

$$GM_1 = 0.04B + \alpha B/D - \beta \text{ (미터)}$$

이 초기복원력 기준에 의한 계산 방법은 종전의 규정에 의한 계산 방법과 동일하다. 그러나 건현에 의한 수정값 β 를 산정함에 있어 건현값을 종전에는 선박이 트림이 있는 경우에도 선체 중앙부의 흘수를 기준으로 산정하였으나, 만재흘수선 기준에서 건현이 상당흘수 즉 기선과 평행한 흘수를 기준한 값이므로 여기에서도 상당흘수에 대한 건현값을 산정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

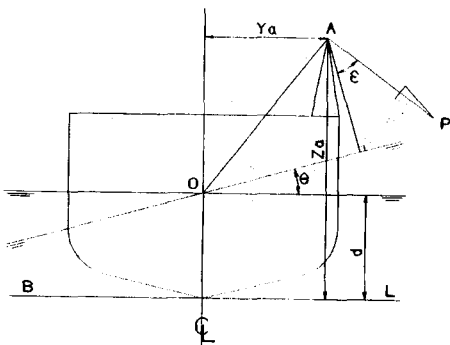
나. 특수한 어법기준 계산

특수한 어법기준에 의한 복원성능 기준을 만족하여야 하는 어선은 본회 어선정기검사등 업무지침에 의하면 선망본선, 선망운반선, 현측식트를 또는 기선저인망어선 기타 어구조작에 의한 외력에 의하여 횡경사를 유발하는 어선 등이다.

즉 어로작업 과정에서 크레인, 데릭, 윈치 또는 양망기, POWER BLOCK 등을 사용하여 현측으로 어구 및 어획물을 들어 올리거나 내리는 등 현측 방향으로 어로작업이 있는 경우를 말하며, 선수미 방향으로만 어로작업을 하는 경우에는 이 기준은 적용되지 않는다.

1) 어로작업에 의한 횡경사모멘트 계산

어로작업에 의해 발생하는 횡경사모멘트는 어구 및 어획물에 의한 중량 및 저항등 부가외력이 수면과 수직하게 작용하지 않기 때문에 단순히 크레인 등을 사용하여 선내의 중량물이나 선외 안벽에 있는 중량물을 들어올리는 경우와 다르다. 즉 <그림 1>에서와 같이 어로작업에 의한 부가외력(P)이 수면에 수직한 방향에 대해 임의의 각(ε)을 갖고 있는 경우 어로작업에 의한 횡경사모멘트는



<그림 1> 부가외력의 작용

$$M_c = P \{ \cos \epsilon [(Za-d) \sin \theta + Ya \cdot \cos \theta] + \sin \epsilon [(Za-d) \cos \theta - Ya \cdot \sin \theta] \}$$

여기서,

M : 부가외력에 의한 횡경사모멘트(t-m)

P : 어로작업에 의한 부가외력(t)

ε : 부가외력의 작용 각도

θ : 선박의 횡경사각

Ya : 부가외력 작용점의 선체중심선으로부터의 거리(m)

Za : 부가외력의 작용점의 기선으로부터의 거리(m)

d : 형홀수(m)

로 계산된다. 그러나 이 산식은 선박의 횡경사 및 어로작업에 의한 외력의 작용방향에 따라 횡경사모멘트를 계산하여야하므로 매우 불편하며 또한 어로 작업에 의한 외력의 작용방향이 조업지역의 수심, 조류 및 파도에 따라 영향을 받아 일정치 않으므로 복원성기준의 적용상 예상될 수 있는 최대 횡경사모멘트를 고려하여야 한다. 즉 최대 횡경사모멘트는 어로작업에 의한 외력의 작용방향이 <그림 1>의 OA선에 직각 방향으로 작용할 때로 이때의 횡경사모멘트는

$$M_c = P \sqrt{Ya^2 + (Za-d)^2}$$

이 되며 이때 P는 어로 작업에 사용되는 크레인, 데릭, 윈치 등 어로기기의 최대 용량을, 외력의 작용점(Ya, Za)은 GUIDE ROLLER 등 외력이 횡방향으로 작용하게 되는점을 고려하며, 홀수는 계산의 간략화를 위하여 선박 트림의 영향을 무시하여 상당홀수를 고려한다.

이러한 어구외력에 의한 횡경사모멘트를 적하상태의 중량중심계산으로부터 결정한 각 배수량 및 홀수에 대하여 계산한다.

2) 현단 몰입각의 계산

현단몰입각이란 어선이 직립상태의 선측에 있어서 현단이 수면에 닿할 때의 횡경사각으로서, 이때 현단은 어선이 횡경사하는 동안 최초로 해수중에 몰입되는 폭로된 갑판부분을 고려하며 선루의 현측에 폐쇄장치가 있고 개방된 상태에서 어로작업을 하는 경우에는 당해폐쇄장치 개구의 최저점을 고려한다. 그러나 이 점에 대한 계산결과가 12도를 넘는 경우 특수한 어법기준에 적용되는 현단몰입각은 12도로 고려한다.

3) 특수한 어법기준에 의한 최소 횡메타센타높이 계산

특수한 어법기준의 내용은 현단몰입각에 있어서 복원정이 부가외력에 의한 경사우력정 이상이어야 한다는 것으로 산식으로 표현되면 다음과 같다.

$$GZ_c > Mc/W$$

- GZ_c : 현단몰입각에서의 복원정(m)
- Mc : 부가외력에 의한 횡경사모멘트(t-m)
- W : 배수량(t)

따라서 특수한 어법기준에 의한 최소 횡메타센타높이는 다음 산식으로 계산된다.

$$GM_2 = GM_0 + (GZ_{c0} - Mc/W) / \sin \theta_c$$

여기서,

- GM₀ : 가정 중량중심높이에 따른 횡메타센타높이 (m)
- GZ_{c0} : GM₀일때의 현단몰입각에서의 복원정 (m)
- θ_c : 현단몰입각 (도)
- GM₂ : 특수한 기준에 의한 최소 횡메타센타높이 (m)

다. 어창의 침수기준 계산

어창의 침수기준에 따른 계산은 어로선에

있어서 어로작업중 개방하여 두거나 신속히 폐쇄할 수 없는 창구가 있는 경우 이 창구를 통해 해수유입각이 20도 이하일 때에 필요하며 20도 이상일 때에는 적용되지 않는다.

이때 어창이 부분적 또는 완전히 침수된 경우의 계산은 통상 해당 어창용적의 25%, 50%, 75% 및 100%가 침수된 경우를 고려하게 된다. 이 계산에 있어서 기준 적하상태는 표준적하상태의 어장발생상태와 어장도착시의 적하상태 등을 고려하며 복원성 판정기준은 가항에서 설명한 초기복원력기준에 의한다.

그러나 이러한 계산이 필요한 경우는 일반 어선에 있어서 거의 없을 것으로 판단되며 특별히 어로작업중 개방하여 들 필요가 있는 어창이 있는 경우에도 일반배치시 어창창구의 위치를 조절하여 해수유입각을 20도 이상으로 유지하는 것이 바람직하다.

라. 격심한 바람 및 횡요기준 계산

1) 바람에 의한 횡경사모멘트 계산

바람에 의한 횡경사모멘트 계산에 있어서 적용되는 풍압측면적은 당해 배수량에 있어서 기선과 평행한 상당흘수의 상부를 고려하며, 상갑판하의 선체, 선루, 갑판실, 기관실 위벽, BULWARK, 연돌, 구명정, 마스트, 천창, 창구, 갑판상에 설치된 각종 기기 및 통풍통 등을 포함하여야 하며 어선에 고정적으로 설치되어 황천시 제거해 낼 수 없는 모든 것들을 포함하여야 하며 갑판상의 폭로부에 어구 및 어획물이 적재되어 있는 경우 이것들의 투영측면적도 고려되어야 한다.

또한 수선하부의 투영측면적의 면적중심을 계산하는 경우 FALSE KEEL 등의 측면적도 포함되어야 하며 수선하부의 투영측면적의 중

심을 흘수의 1/2로 고려하는 경우에도 FALSE KEEL 등을 고려한 EXTREME 상당흘수의 1/2로 고려하여야 한다.

바람에 의한 횡경사모멘트 계산은 먼저 각 풍압측면적의 면적 및 면적중심을 구하고 이를 합산하여 총 풍압측면적 및 상당흘수로부터의 풍압측면적 중심높이를 구하며 총풍압측면적의 중심높이가 계산되면 이 높이에 따라 어선복원성기준에 따른 풍압을 산정하여 다음 산식에 따라 계산된다.

$$M_w = PAZ/9.81 \text{ (t-m)}$$

여기서,

- M_w : 바람에 의한 횡경사모멘트 (t-m)
- P : 어선복원성기준에 의한 풍압(N/m²)
- A : 총 풍압측면적 (m²)
- Z : 레버 즉 총 풍압측면적 중심높이에 수선하부 투영측면적중심의 상당흘수로부터의 깊이를 더한 값 (m)

2) 격심한 바람 및 횡요기준에 의한 횡메타센타높이 계산

바람에 의한 횡경사모멘트가 계산되면 격심한 바람 및 횡요기준에 따라 요구되는 최소 횡메타센타높이를 계산하여야 한다. 이 계산방법은 동 기준에서 보는 바와 같이 몇개의 표에 따라 보간법으로 계산하는 등 다소 복잡한 단계를 거쳐 계산된다. 또한 동기준에 의한 최소 횡메타센타높이의 계산은 초기 복원력기준에 의한 계산 및 특수한 어법기준에 의한 계산과 같이 간단한 산식으로 계산하는 것은 불가능하며, 임의의 횡메타센타높이를 가정한 후 격심한 바람 및 횡요기준에 만족하는 최소 횡메타센타높이인지 여부를 판정하는 “시행오차법”으로 계산하여야 한다.

이 시행오차법에 의한 격심한 바람 및 횡요기준에 따른 최소 횡메타센타높이 계산방법은

다음과 같다. (<그림 2> 참조)

① 배수량에 해당하는 상당흘수에 대하여 점진적 침수를 일으키는 개구를 통한 해수유입각(θ_f)을 계산한다.

② 1)항에서 계산된 정상풍에서의 횡경사모멘트를 배수량으로 나누어 횡경사우력정(LW1)을 계산하고 돌풍시의 횡경사우력정(LW2 = 1.5 * LW1)을 계산한다.

③ 임의의 횡메타센타높이(GMo)를 가정하여 복원력 교차곡선도 및 표로부터 각 횡경사각에 따른 복원정 즉 복원력곡선을 구한다.

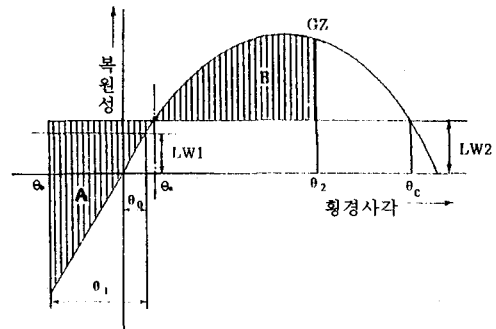
④ 정상풍 작용시의 횡경사각(θ_0) 즉 정상풍에서의 횡경사우력정(LW1)과 복원력곡선이 교차하는 지점의 횡경사각을 구한다.

⑤ 파도의 작용으로 인한 풍상측으로의 횡요각(θ_1)을 다음 산식에 따라 계산한다.

$$\theta_1 = 109K \cdot X_1 \cdot X_2 \sqrt{rs}$$

여기서, K, X₁, X₂, r 및 s는 어선복원성기준의 표에 따라 결정되는 값으로 동 기준을 참조하기 바람, 다만 K, X₁ 및 X₂는 일정 배수량에 있어서 동일한 값을 가지나 r 및 s는 가정된 횡메타센타높이에 따라 변화하게 되므로 주의를 요한다.

⑥ 돌풍시의 횡경사우력정(LW2)과 복원력곡선과 첫번째로 교차하는 지점의 횡경사각



<그림 2> 격심한 바람 및 횡요기준

(θ_a)과 두번째로 교차하는 지점의 횡경사각(θ_c)을 구한다.

⑦ 구하여진 횡경사각 θ_c 와 해수유입각(θ_f) 및 50도 중 가장 작은값을 취하여 복원력이 유효하다고 인정되는 각도 θ_2 를 결정한다.

⑧ <그림 2>에서 보는 바와 같이 돌풍시의 횡경사우력정선($1W_2$)과 복원정곡선에서 횡경사각 (θ_b)에서 (θ_a)에 이르는 전복에너지를 나타내는 면적 A와 (θ_a)에서 (θ_2)에 이르는 복원 에너지를 나타내는 면적 B를 구한다.

⑨ 면적 A와 B가 서로 다른 경우 다음 산식으로 새로운 가정 횡메타센타높이(GM_0')를 구하여 복원력곡선을 재계산하여 앞의 계산과정 ④부터 다시 계산하여 면적 A와 B가 서로 같아질 때까지 반복계산한다.

$$GM_0' = GM_0 + (A-B)/(\cos \theta_b - \cos \theta_2)$$

면적 A와 B가 서로 같을 때의 횡메타센타높이는 격심한 바람 및 횡요기준에 따른 최소 횡메타센타높이(GM_3)가 된다.

마. 최소 횡메타센타높이 기준 계산

앞서 설명한 초기복원력기준, 특수한 어법 기준, 격심한 바람 및 횡요기준 등에 의한 각각의 최소 횡메타센타높이 GM_1 , GM_2 , GM_3 가 계산되면 이들 중의 최대값이 어선복원성 기준을 만족하는 최소 횡메타센타높이가 되며 이때의 무게중심높이는 최대 무게중심높이가 된다. 이것을 각 배수량에 있어서 계산하여 표 및 곡선으로 나타나면 복원성자료에 첨부할 최대 무게중심높이 또는 최소 횡메타센타높이 곡선이나 표가 된다.

여기서 주의할 것은 여객선 및 상선에서와 마찬가지로 적하상태의 중량중심 및 트림계산시 트림상태에서의 횡메타센타높이를 고려하여 계산한 경우에는 앞의 특수한 어법기준, 격

심한 바람 및 횡요기준 계산시 트림상태의 복원정곡선을 고려하여 계산하여야 하고 최소 횡메타센타높이의 계산도 트림상태의 값을 고려하여야 하며 이와 함께 트림시의 복원력 교차곡선 또는 표와 배수량등의 자료가 첨부되어야 한다.

트림시의 계산을 할 경우에는 선박 운항시 예상되는 트림의 범위를 포함하는 최소한 4개 트림에 대하여 계산하는 것이 일반적이다.

바. 복원성능의 판정

복원성능의 판정기준은 각 적하상태의 중량중심 트림계산시 상당홀수의 횡메타센타 높이를 고려하여 계산한 경우에는 트림이 없는 상태에서 구한 최소 횡메타센타높이 곡선이나 표에서 해당 배수량에 해당하는 최소 횡메타센타높이를 보간법으로 구한것이 기준값이 되며, 중량중심 트림계산시 트림시의 횡메타센타 높이를 고려하여 계산한 경우에는 각 트림 상태에서 구한 최소 횡메타센타높이 곡선이나 표에서 해당 트림 및 배수량에 해당하는 최소 횡메타센타 높이를 보간법으로 구한 것이 기준 값이 된다. 따라서 복원성능의 판정은 실제의 횡메타센타높이가 기준값보다 큰지 여부를 판정하게 되며, 만일 최소 횡메타센타높이 곡선이나 표 대신 최대 무게중심높이 곡선이나 표로 복원성능 기준을 표현한 경우에는 각 적하상태에서 자유표면효과를 수정한 겉보기 무게중심 높이가 기준값보다 적은지 여부로 판정하게 된다.

또한 다항에서 설명한 바와 같이 어창의 침수각이 20도 이하가 되어 계산된 적하상태에 대하여는 초기복원력기준에서 구한 최소 횡메타센타높이가 기준값이 된다.

4. 전산 프로그램의 개발 및 보급

앞에서 설명한 바와 같이 어선복원성능기준에 의한 복원성능 판정기준값의 계산은 종전의 규정에 비하여 상당히 복잡해졌으며, 각 배수량 및 트림에 따라 최대 무게중심 높이 또는 최소 횡메타센타높이 곡선이나 표를 계산함에 있어 시행오차법에 의한 계산을 수행하여야 하는 등 계산량이 상당히 많아져 이들 계산을 전부 수작업으로 수행하기는 거의 불가능한 실정이다.

이에 따라 본회 기술개발부에서는 이러한 계산과정을 전산화하여 프로그램을 개발한 바 있으며, 이들 프로그램을 현재 보급중에 있다. 개발된 프로그램의 주요 내용은 다음과 같으며 상세한 내용이나 보급을 원하는 회사에서는 본회 기술개발부로 연락 바란다.

프로그램이름	주요내용
STABKF	복원력 교차곡선 및 배수량 등의 계산 결과의 입력
WINDKF	풍압측면적 형상의 입력 및 바람에 의한 횡경사모멘트 계산
ALLGKE	최대 무게중심높이 및 최소 횡메타센타높이 기준 계산
GRAGKF	최대 무게중심높이 및 최소 횡메타센타높이 곡선 작성

5. 맺음말

이상과 같이 수산청고시 제1995-33호로 95년 12월 1일부로 발효된 어선복원성기준에 따른 복원성능계산에 있어서 주요내용 및 주의사항들을 알아보았다. 그러나 이 기준은 길이 24미터 이상의 어선에 대하여만 적용하는 기

준으로, 길이 24미터 미만의 어선에 대하여는 선주가 특별히 원하지 않는 한 적용되지 않는다.

그러나 최근의 어선어업 상황은 선원난에 따라 생인력화를 위한 크레인을 탑재하거나, 어획소득 증대를 목적으로 활어를 수송하기 위하여 갑판상에 활어조를 탑재하는 등 어선의 복원성능을 악화시키는 요인들이 점점하고 있는 실정으로, 머리말에서도 언급한 바와 같이 선박의 복원성능이 선박 및 선원의 안전성 확보를 위한 최소한의 기본요건을 감안하면, 길이 24미터 미만의 어선에 대하여도 설계자 및 어선 운항자에게 지침이 될 적절한 복원성능기준이 시급히 마련되어야 할 것으로 판단된다.

또한 국제적으로도 77/93년 어선안전협약이 발효요건 충족을 위한 각국의 비준 및 서명을 위하여 개방되어 있는 상황이며, 이와 관련된 동아시아 지역기준 설정작업이 상당히 진전되고 있는 상황으로 어선 및 어선원의 안전성 제고를 위하여 보다강화된 국제법이 발효를 앞두고 있다. 따라서 국내에서도 이러한 국제동향에 적극 대처하고 국제법 발효에 대비한 대처방안 수립과 국내어선 및 어선원의 안전성 제고를 위한 지속적인 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.