
 論 文

大韓造船學會誌
 第22卷 第4號 1985年 12月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 22, No. 4, December 1985

Fin Stabilizer 초기 설계에 대한 연구

민 계 식*

A Study on the Preliminary Design of Fin Stabilizer

by

K-S. Min*

Abstract

Utilizing the theory of ship motions, the effect of fin stabilizer on the roll motion has been investigated. From the analysis, a general design procedure has been derived for a particular ship in specific operational condition and sea states. Finally, a working example has been given to show how the introduced method could be applied in practical design.

I. 서 론

선체운동중 일반적으로 가장 심각한 고려대상이 되는 roll 운동을 감소시키기 위하여 여러가지 방법 및 장치가 고안되고 적용되어 왔다. 그 대표적인 예로 전 통적인 bilge keel을 비롯하여 Anti-roll tank, fin stabilizer 등을 들 수 있다.

Bilge keel은 가장 간단하고 운영비가 거의 들지 않으며 선박이 정지해 있을때나 저속일때는 아주 효과적인 장치이다. 그러나 선박의 속도가 증가 할수록 효과가 감소되며 고속에서는 전혀 효과가 없는 상태가 된다.

반면 fin stabilizer는 저속에서는 극히 작은 bilge keel에 불과하나 선속의 자승에 비례하여 효과가 증가하므로 고속 영역에서 운항되는 선박에 대해서는 roll운동 감소를 위한 가장 효과적인 수단이라고 할 수 있다. 특히 함정(naval vessels)과 같은 특수선에 있어서 roll운동의 감소는 승무원의 편안을 위해서 뿐만 아니라 전투 능력 향상과 가속도로부터 오는 동적하중을 감소시

키기 위해서 필요하다.

본 연구는 선박의 특정 운항 조건에 대해서 roll진폭을 어떤 범위까지 감소시키고자 할때 요구되어지는 fin을 설계하는데 목적을 두고 있다. 특정 선박의 특정 운항 조건에 대한 파랑중 roll운동 응답은 이미 체계화 되어 있는 선체운동에 대한 이론이나 모형시험을 통하여 구할 수 있다.

저자는 1970년대 미국에서 최신행 구축함 설계시 fin stabilizer의 설치로 얼마만큼 roll 진폭을 감소시킬 수 있는가를 살펴본 적이 있으며 그때의 연구 내용을 대한조선학회 제 5차 선박유체역학 연구회(1981년 3월)에서 논의한 바가 있다. 본연구 논문은 그 결과를 정리한 것이다.

II. 운동 방정식

3자유도(3-degree)나 6자유도(6-degree) 운동방정식의 해로, 또는 이에 상응하는 모형시험에 의하여 Roll RAO가 구해져 있다고 가정하자. fin stabilizer의 효과

接受日字: 1985年 5月 16日, 再接受日字: 1985年 11月 15日

* 正會員, 대우조선(주)

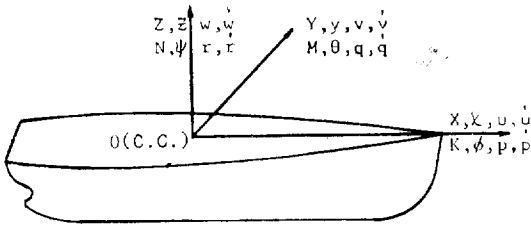


Fig. 1 General coordinate system

에 대한 추정을 위해서 $\dot{\phi}$ 을 포함한 1자유도 선형 roll 운동방정식(single degree linear roll motion equation)을 적용하기로 하였다. 선체운동을 분명히 나타내기 위하여 Fig. 1에 보이는 바와 같은 좌표계를 도입한다.

위의 좌표계에서 roll운동에 대한 각각의 부호는 다음과 같은 뜻을 나타낸다.

- K =roll moment
- ϕ =roll amplitude
- p =roll angular velocity
- \dot{p} =roll angular acceleration

파랑중 $\dot{\phi}$ 의 효과를 포함한 1자유도 선형 roll운동방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\left[(I_x + K_{\dot{\phi}}) \frac{d^2}{dt^2} + K_p \frac{d}{dt} + K_{\phi} \right] \phi = K_E$$

또는

$$\left[I \frac{d^2}{dt^2} + K_p \frac{d}{dt} + K_{\phi} \right] \phi = K_E \tag{1}$$

여기서

- I_x = x -axis에 대한 선체질량의 moment of inertia
- $K_{\dot{\phi}}$ = roll운동에 의한 부가 moment of inertia
- $I = I_x + K_{\dot{\phi}}$
- K_p = roll moment 감쇄 계수
- K_{ϕ} = 복원 moment 계수 = $\Delta \cdot \overline{GM}$
- K_E = 파도와 $\dot{\phi}$ 에 의한 총 기진 moment

Roll 기진 moment는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_E = K_w e^{i\omega_e t} - K_f e^{i(\omega_e t + (\epsilon - \delta_s))} \tag{2a}$$

$$= K_s e^{i(\omega_e t - \gamma)} \tag{2b}$$

여기서

- K_w = 파도에 의한 roll moment amplitude
- K_f = $\dot{\phi}$ 에 의한 roll moment amplitude
- K_s = 파도와 $\dot{\phi}$ 에 의한 종합 roll moment amplitude
- ω_e = Frequency of encounter
- $\epsilon, \delta_s, \gamma$ = 위상각(phase angle)

을 나타내며 총기진 moment, K_s 와 위상은 다음과 같이 된다.

$$K_s^2 = (K_w - K_f \cos \beta)^2 + (K_f \sin \beta)^2 \tag{3}$$

$$\sin \gamma = \frac{K_f \sin \beta}{K_s} \tag{4}$$

$$\cos \gamma = \frac{K_w - K_f \cos \beta}{K_s} \tag{5}$$

여기서

식 (1)의 해를 논하기 전에 편의를 위하여 natural roll frequency roll damping ratio와 다음의 기호(symbol)를 정의하자.

$$\begin{aligned} \omega_0^2 &= K_{\phi} / I \\ \mu &= K_p / 2I\omega_0 \\ \Omega &= \omega_e / \omega_0 \\ D &= K_{\phi} [(1 - \Omega^2)^2 + (2\mu\Omega)^2]^{1/2} \end{aligned}$$

식 (1)의 일반해는 homogeneous 해와 특별해의 합, 즉

$$\phi = \phi_h + \phi_p \tag{6}$$

로 되나 homogeneous해는 시간과 함께 감쇄되고 특별해만 남는다. 그리하여 정상상태의 해는 다음과 같이 된다.

$$\phi = \phi_s e^{i(\omega_e t - \delta_s)} \tag{7}$$

$$\phi_s = K_s / D \tag{8}$$

$$\sin \delta_s = \frac{K_f \phi}{D} [(1 - \Omega^2) \sin \gamma + 2\mu\Omega \cos \gamma] \tag{9}$$

$$\cos \delta_s = \frac{K_f \phi}{D} [(1 - \Omega^2) \cos \gamma - 2\mu\Omega \sin \gamma] \tag{10}$$

$\dot{\phi}$ 의 영향을 알아보기 위해서 $\dot{\phi}$ 이 없을 때의 운동을 생각하면 식 (1)과 그 해는 다음과 같이 된다.

$$K_f = 0 \tag{11}$$

$$K_E = K_w e^{i\omega_e t} \tag{12}$$

$$\phi = \phi_w e^{i(\omega_e t - \delta_w)} \tag{13}$$

$$\phi_w = K_w / D \tag{14}$$

$$\sin \delta_w = \frac{K_f \cdot 2\mu\Omega}{D} = \frac{K_p \cdot \omega_e}{D} \tag{15}$$

$$\cos \delta_w = \frac{K_{\phi}(1 - \Omega^2)}{D} = \frac{K_{\phi} - I\omega_e^2}{D} \tag{16}$$

마침내 식 (4), (5), (8), (14), (16)을 (9), (10)에 대입하면 위상각에 대한 다음의 관계 및 $\dot{\phi}$ 의 유무에 대한 roll진폭비를 얻게 된다.

$$\delta_s = \gamma + \delta_w \tag{17}$$

$$\left(\frac{\phi_w}{\phi_s} \right)^2 = 1 + 2 \left(\frac{K_f}{p\phi_s} \right) \cos(\epsilon - \delta_w) + \left(\frac{K_f}{D\phi_s} \right)^2 \tag{18}$$

III. $\dot{\phi}$ 의 소요력

Stabilizer가 선체에 가할수 있는 최대 moment를

그러면 분포함수는

$$F(\bar{\phi}) = \int_0^{\bar{\phi}} f(\phi) d\phi = 1 - \exp[-\bar{\phi}^2/2\phi_{rms}^2] \quad (41)$$

식 (41)로부터 roll 진폭 $\bar{\phi}$ 가 어떤 peak value ϕ_1 을 초과할 확률은 다음과 같이 구해진다.

$$P(\bar{\phi} > \phi_1) = 1 - F(\phi_1) \\ = \exp[-\phi_1^2/2\phi_{rms}^2] \quad (42)$$

식 (42)를 변형하면

$$(\phi_1/\phi_{rms})^2 = -2\ln[P(\bar{\phi} > \phi_1)] \quad (43)$$

만일 여기서 fin을 작동하여 얻어지는 roll 각도 $\bar{\phi}_s$ 가 매 100 rolling 주기에 있어서 한번 이상 $(\phi_s)_{max}$ 를 초과하지 않고 fin 운동 $\bar{\alpha}_0$ 가 매 10주기에 있어서 한번 이상 α_{max} 를 초과하지 않을 것을 설계조건으로 잡는다면

$$P(\bar{\phi}_s > (\phi_s)_{max}) = \frac{1}{100}$$

$$P(\bar{\alpha}_0 > \alpha_{max}) = \frac{1}{10}$$

가 되고 따라서

$$(\phi_s)_{max}/(\phi_s)_{rms} = [-2\ln(0.01)]^{1/2} = 3.035 \quad (44)$$

$$\alpha_{max}/\alpha_{rms} = [-2\ln(0.1)]^{1/2} = 2.146 \quad (45)$$

가 된다.

식 (44)와 (45)로부터 fin을 포함한 RMS roll 진폭과 RMS fin 각도가 결정될 수 있다.

$$(m_{0\phi_s})^{1/2} = (\phi_s)_{rms} = (\phi_s)_{max}/3.035 \quad (46)$$

$$(m_{0\alpha})^{1/2} = \alpha_{rms} = \alpha_{max}/2.146 \quad (47)$$

식 (31)과 (34)로부터 fin이 작동하는 선박의 mean square roll 진폭을 얻을 수 있다.

$$m_{0\phi_s} = \int_0^\infty S_{\phi_s} \cdot \left(\frac{\phi_s}{\phi_u}\right)^2 dw_e = \frac{m_{0\phi_u}}{\left(1 + \frac{\phi_{st}}{\alpha_{max}} \cdot \frac{C_2 w_0}{2\mu}\right)^2} \quad (48)$$

식 (23), (28), (29), (31), (34)로부터 fin motion에 대한 mean square를 얻을 수 있다.

$$m_{0\alpha} = \int_0^\infty S_{\phi_u} \cdot \left(\frac{\phi_s}{\phi_u}\right)^2 \left(\frac{\alpha_{max}}{\phi_s}\right)^2 dw_e \quad (49a)$$

$$= m_{0\phi_u} \left(1 + \frac{4\mu^2 - 2}{w_0^2} \frac{m_{2\phi_u}}{m_{0\phi_u}} + \frac{1}{w_0^4} \frac{m_{4\phi_u}}{m_{0\phi_u}}\right) \\ \left[\frac{C_2 \cdot w_0}{2\mu} \right]^2 \left[1 + \frac{\phi_{st}}{\alpha_{max}} \cdot \frac{C_2 w_0}{2\mu} \right]^2 \quad (49b)$$

식 (48)과 (49)를 결합하고 식 (47)과 같이 fin이 매 10주기에 한번 그 최대 변위인 α_{max} 에 도달한다는 것을 설계조건으로 잡는다면 fin의 소요력(required "Power")는 다음과 같이 정해진다.

$$\phi_{st} = (2.146) \left[1 + \frac{4\mu^2 - 2}{w_0^2} \frac{m_{2\phi_u}}{m_{0\phi_u}} + \frac{1}{w_0^4} \frac{m_{4\phi_u}}{m_{0\phi_u}} \right]^{1/2}$$

$$[(m_{0\phi_u})^{1/2} - (m_{0\phi_s})^{1/2}] \quad (50)$$

식 (21)의 control상수를 결정하기 위하여 식 (23)을 식 (49a)에 치환하면

$$m_{0\alpha} = \int_0^\infty S_{\phi_u} \left(\frac{\phi_s}{\phi_u}\right)^2 [(C_1 - w_e^2 C_3)^2 + (w_e C_2)^2] dw_e \\ = \int_0^\infty S_{\phi_u} [C_1^2 + (C_2 - 2C_1 C_3)w_e^2 + C_3^2 w_e^4] dw_e \quad (51)$$

여기서 S_{ϕ_u} 는 fin을 포함한 roll 운동의 amplitude spectrum이고 속도 및 가속도에 대한 mean square는

$$m_{2\phi_s} = \int_0^\infty w_e^2 S_{\phi_s}(w_e) dw_e \quad (52)$$

$$m_{4\phi_s} = \int_0^\infty w_e^4 S_{\phi_s}(w_e) dw_e \quad (53)$$

가 되므로 식 (51)은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$m_{0\alpha} = C_1^2 m_{0\phi_s} + (C_2^2 - 2C_1 C_3) m_{2\phi_s} + C_3^2 m_{4\phi_s} \quad (54)$$

식 (54)를 C_2 에 대해서 풀면 다음을 얻는다.

$$C_2 = \left(\frac{m_{0\alpha}}{m_{0\phi_s}}\right)^{1/2} \left[\frac{C_1^2}{C_2^2} + \left(1 - \frac{2C_1 C_3}{C_2^2}\right) \frac{m_{2\phi_s}}{m_{0\phi_s}} + \frac{C_3^2}{C_2^2} \frac{m_{4\phi_s}}{m_{0\phi_s}} \right]^{-1/2} \quad (55)$$

$m_{2\phi_s}/m_{0\phi_s}$ 와 $m_{4\phi_s}/m_{0\phi_s}$ 에 대한 fin의 효과가 미소하다고 가정하면

$$\frac{m_{2\phi_s}}{m_{0\phi_s}} \simeq \frac{m_{2\phi_u}}{m_{0\phi_u}}$$

$$\frac{m_{4\phi_s}}{m_{0\phi_s}} \simeq \frac{m_{4\phi_u}}{m_{0\phi_u}} \quad \text{가 되므로}$$

식 (28), (29), (30)에 준 관계와 함께 식 (55)로부터 다음을 얻는다.

$$C_2 = \left(\frac{m_{0\alpha}}{m_{0\phi_s}}\right)^{1/2} \left[\left(\frac{w_0}{2\mu}\right)^2 + \left(1 - \frac{1}{2\mu^2}\right) \left(\frac{m_{2\phi_u}}{m_{0\phi_u}}\right) + \left(\frac{1}{2\mu w_0}\right)^2 \frac{m_{4\phi_u}}{m_{0\phi_u}} \right]^{-1/2} \quad (56)$$

그리고 식 (29)와 (30)으로부터

$$C_1 = \left(\frac{w_0}{2\mu}\right) \cdot C_2 \quad (57)$$

$$C_3 = \frac{C_2}{2\mu w_0} \quad (58)$$

간편을 위하여 모든 계산은 sea state 5, 선속 16 knot 일때에 대하여 수행하기로 한다.

Wave spectrum을 frequency of encounter (w_e) domain으로 고치고 여러가지 항목에 대하여 수치 적분을 수행하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$m_{0\phi_u} = 63.12$$

$$m_{2\phi_u} = 20.87$$

$$m_{4\phi_u} = 7.05$$

$$\begin{aligned}
 (\phi_u)_{rms} &= \sqrt{m_{0\phi_u}} = 7.94^\circ \\
 (\dot{\phi}_u)_{rms} &= \sqrt{m_{2\dot{\phi}_u}} = 4.57^\circ/\text{sec} \\
 (\ddot{\phi}_u)_{rms} &= \sqrt{m_{4\ddot{\phi}_u}} = 2.66^\circ/\text{sec}^2 \\
 C_1 &= 15.57 \\
 C_2 &= 5.97 \\
 C_3 &= 56.14
 \end{aligned}$$

그리하여 control식은 다음과 같이 된다.

$$\alpha = (15.57)\phi + (5.97)\dot{\phi} + (56.14)\ddot{\phi}$$

식 (50)으로부터 fin의 소요력(required power)를 구하면

$$\phi_{st} = 4.69^\circ$$

가 되며 따라서

$$\phi_{st}/\alpha_{max} = 4.69/15 = 0.313$$

가 된다.

여기서 fin의 기하학적 형상을 구하기 위하여 설계 변수 K_g 를 정의하자.

$$K_g = N \left(\frac{dC_L}{d\alpha} \right) \cdot r_f \cdot A_f \quad (59)$$

식 (59)에 식 (32)를 도입하면,

$$K_g = \frac{\phi_{st}}{\alpha_{max}} \cdot \frac{\Delta \cdot GM}{\rho V_s^2} \quad (60)$$

따라서 식 (59)와 (60)으로부터

$$K_g = 1.5 \times 10^4$$

실제로 각종 mean square 값들을 구하기 위한 수치적 분기 가끔 적분값이 수렴하지 않고 발산하는 경우가 발생하는데 이러한 경우를 방지하기 위하여 물리적인 현상을 고려함은 물론 적절한 수치 적분법을 도입하여야 한다.

V. Fin stabilizer의 설계순서

이상에서 논의한 이론적 방법에 의거하여 fin의 설계 순서 및 효과 추정을 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

1. 선박 운항에 따른 해상조건을 선정한다.
2. Fin이 없는 선박의 운항 조건 및 설계 자료를 준비한다.
 - 설계속도 (design speed)
 - roll감쇄 계수 (μ)와 natural frequency (ω_0)
 - 주어진 선속과 해상조건에서 roll운동에 가장 나쁜 방향 (worst heading)
 - 최악 방향 (worst heading)에 대한 roll RAO
3. 설계조건 (design criteria)을 선정한다.
 - Fin을 고려한 roll 최대진폭 (ϕ_s)_{max}와 fin의 최대

각 변위 α_{max}

— 위의 각각에 대한 발생확률 선정 및 식 (46), (47) 적용

4. Fin이 없는 선박의 roll 진폭에 대한 spectrum과 roll 각도, 속도, 가속도의 진폭에 대한 mean square 값을 계산한다. (식 33, 34, 37, 38)

5. Fin control 상수 C_1, C_2, C_3 를 구한다. (식 56, 57, 58)

6. Fin의 소요력 (ϕ_{st})를 구한다. (식 50)

7. Fin의 기하학적 형상을 결정하기 위하여 K_g 를 계산한다. (식 59, 60)

8. Fin의 lift slope ($dC_L/d\alpha$)을 구할 수 있도록 aspect ratio (a)를 선정한다. 선체에 대한 fin의 위치로부터 roll arm (r_f)를 추정할 수 있다.

그리고, 식 (59)와 (60)으로부터 fin planform의 면적과 fin의 쌍수(number of pairs)를 결정할 수 있다.

9. 식 (31)에 의하여 여러가지 선속에 대해서 roll감쇄율을 추정할 수 있다.

이와 같은 설계순서를 Fig. 2에 보이는 바와 같이 이동선도(Flow chart)식으로 다시 한번 정리하여 보았다.

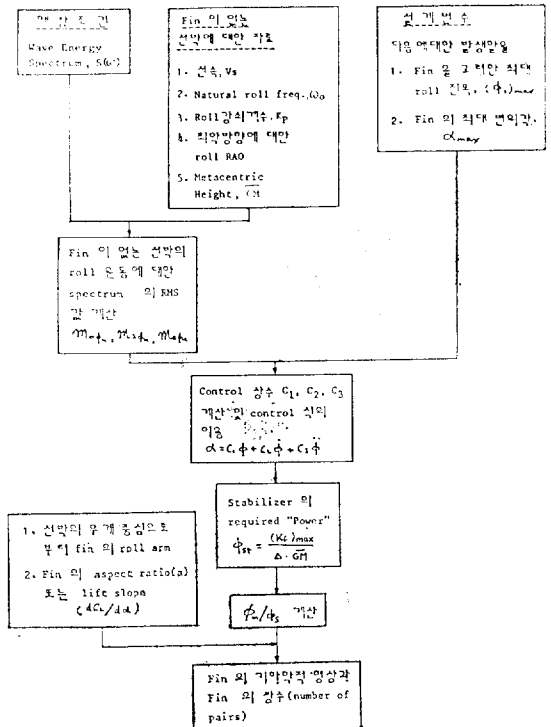


Fig. 2 Design procedure of anti-rolling fins for a random sea

VI. 적용예

지금까지의 이론적 분석과 설계과정이 어떻게 실제 설계에 응용될 수 있는지를 알아보기 위하여 한가지 예를 들어보았다.

저자는 미국의 최신형 구축함이라고 하는 "DD963" 급 구축함 설계에 초기부터 관여하였고 그 때에 fin stabilizer의 설치로 얼마만큼의 roll진폭을 감소시킬 수 있는가를 살펴본적이 있어 편의상 그 자료를 이용하기로 하였다.

상기 선박에 대한 주요 특성을 Table 1에서 볼 수 있다.

Table 1 예선 (Sample ship)의 주요특성

LPP	530.0 ft
Maximum beam(B)	55.0 ft
Draft at Midship(T)	19.6 ft
Displacement(Δ)	8,000 LT
Vertical Center of gravity from Baseline(KG)	22.3 ft
Transverse Metacentric Height (GM)	3.9 ft
LCG(aft of \square)	7.0 ft
Roll radius of Gyration	20.4 ft
Natural Roll Period(T)	12.0 sec.
Natural roll circular frequency(ω_0)	0.524 rad/sec.

우선 해상조건으로 sea state 5에 대하여 생각해 보자. 실제 조건으로 매 100주기에 roll각도 4°를 한번 이상 초과 하여서는 안되고 fin의 변위각이 매 10주기에 15°를 한번이상 초과하지 않는다고 하자.

그러면 식 (46)과 (47)로부터

$$(\phi_s)_{rms} = (m_{0\phi_s})^{1/2} = \frac{4}{3.035} = 1.312^\circ$$

$$\alpha_{rms} = (m_{0\alpha})^{1/2} = \frac{15}{2.146} = 7^\circ$$

Sea wave energy spectrum으로는 Pierson-Moskowitz spectrum을 사용하기로 하자.

Sea state 5에 있어서 여러가지 선속에 대한 최악의 방향과 그때의 roll RAO 값을 참고 문헌 1에서 찾아 볼 수 있다.

예를 들면 선속 16 knot일때 최악 방향은 약 64° 이고 그 때의 roll RAO곡선은 Fig. 3에 주어진 바와 같다.

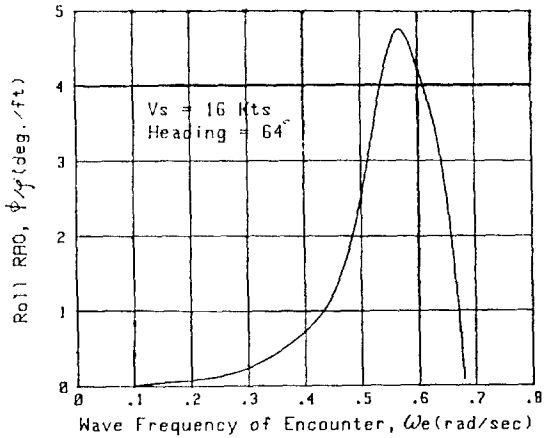


Fig. 3 Roll RAO curve for the sample ship

Table 2 Roll damping coefficient for various ship speeds

선속(knot)	Roll 감쇄 계수
0	0.062
8	0.079
16	0.101
24	0.132

또한 선속 0, 8, 16, 24 knot에 대한 roll감쇄 계수들 Table 2에서 볼 수 있다.

항공 역학으로부터 aspect ratio가 낮은 이동판(moving surface)에 대한 양력 계수 곡선의 기울기는 다음 식으로 주어진다 것을 알 수 있다. (2)*

$$\frac{dC_L}{da} = 2\pi / (1 + 2/a) \tag{61}$$

그러나 DT NSRDC에서 특별히 수중 시험을 통하여 경험적으로 유도한 다음의 식을 쓰기로 하였다. (3)*

$$\frac{dC_L}{da} = \frac{(5.65)a}{\sqrt{a^2 + 1} + 0.9} \tag{62}$$

참고로 양력 계수 곡선의 기울기에 대한 위의 두가지 식을 Fig. 4에 비교해 보았다.

여기서 fin의 aspect ratio를 3.0으로 잡으면 식 (62)로부터

$$\frac{dC_L}{da} = 4.17$$

이 된다.

Fig. 5에 보이는 바와 같이 rolling arm의 길이를 32 ft로 잡으면 fin의 총 planform면적은 다음과 같이 된

* () 속의 번호는 reference 번호를 나타냄.

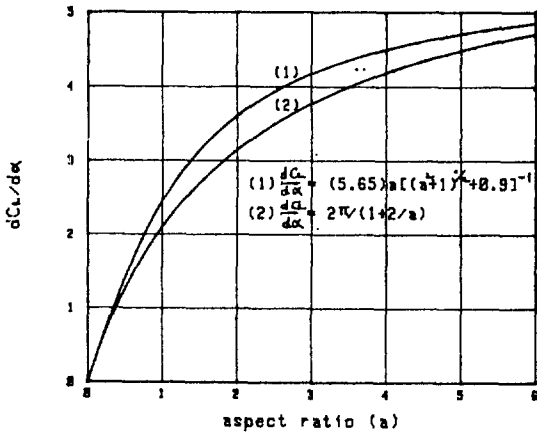


Fig. 4 Lift curve slope of low aspect ratio moving surface

다.

$$N \cdot A_f \approx 112 ft^2$$

Fin을

한 쌍으로 하면 : $A_f = 112 ft^2$

두 쌍으로 하면 : $A_f = 56 ft^2$

가 된다.

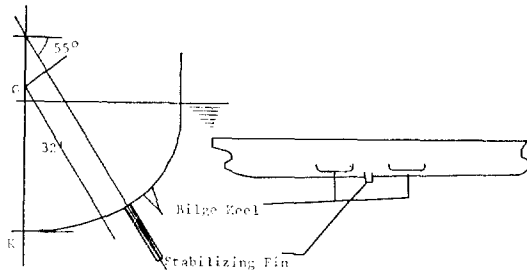


Fig. 5 Proposed arrangement of fin stabilizer

끝으로 fin의 효과를 살펴보기 위해서 fin이 있는 경우와 없는 경우의 roll진폭을 비교해 보자.

식 (31)과 (32)로부터 다음과 같은 관계가 유도 된다.

$$\phi_s/\phi_u = [1 + (0.00067) V_s^2/\mu]^{-1}$$

위의 식으로부터 여러 선속에 대한 감소율을 구해본 것이 Table 3에 정리되어 있다.

Table 3 Roll reduction ratio for various ship speeds

선속(kts)	ϕ_s/ϕ_u	roll 감소율(%)
8	0.39	61
16	0.17	83
24	0.11	89

VII. 결론 및 논의

지금까지 선형 roll운동 이론을 적용하여 fin stabilizer의 설계 과정을 살펴보았다.

물론 6자유도 비선형 이론(six degree nonlinear theory)을 적용하는 것이 좀 더 정확할 지 모르나 여기서 논의한 설계 방법은 요구되는 roll 특성을 만족시키기 위하여 fin의 크기, 모양, 쌍등을 결정하기 위한 충분한 자료를 제공할 수 있을 것이며 초기 설계 단계 시 특히 유용하리라고 생각된다.

본 연구에서 저자는 다음의 물리적 현상에서 오는 영향이나 효과를 무시하였다.

1. 선체의 경계층(hull boundary layer)
2. Fin과 bilge keel의 간섭 (Interference between fin and bilge keel)
3. Fin의 항력(drag of fin)
4. 비정상 운동(Unsteady motion)

위의 물리적 현상에 대해서 하나 하나 논의를 하고자 한다.

첫째, 경계층의 영향에 대해서 fin의 돌출길이가 수 미터나 되어 그 위치에서의 경계층의 두께보다 훨씬 클 것이므로 경계층은 큰 영향을 미치지 않을 것으로 생각된다. 특히 실제 의미를 갖는 경계층의 momentum 두께나 energy 두께를 고려한다면 위의 결론을 확신할 수 있다.

그러나 경계층의 영향을 구태여 알아 보고 싶다면 기존 점성흐름 이론을 사용하여 fin을 설치한 위치에서 선체로부터의 유체의 속도 분포를 계산함으로써 정량적 효과를 추정할 수 있다.

둘째 fin과 bilge keel간의 간섭 현상으로부터오는 영향이다. 사실 경계층의 영향보다는 bilge keel로 인한 영향이 크다고 생각되나 이의 분석을 위한 이론적 방법은 기대하기 어렵고 실험적 방법을 통하여야 한다.

예를 들자면 bilge keel을 부착시와, 제거시 각각에 대하여 실험을 수행한다는 것이다.

셋째, fin의 항력으로부터 오는 영향이다.

Fin의 성공적인 작동을 위해서는 위상간의 관계가 극히 중요하다. 일반적인 lifting surface에 있어서와 같이 fin에는 점성저항과 함께 유도항력(induced drag)이 작용할 것이며 fin의 항력 자체는 선체저항에 비하여 무시할 수 있다 해도 항력이 위상에 미치는 영향을 고려해야 할 것이다. 그러나 역시 이에 대한 이론적 분석이 어렵기 때문에 설치후에 조정하고 있는 실

정이다.

넷째, 비정상 운동의 영향이다.

이론적인 완벽을 기하자면 양력 계수를 사용할 때 비정상운동의 영향을 고려하여야 할 것이다. 그러나 오늘날 불규칙파 중에서의 선체 운동해석을 위하여 통계적 방법을 채택하고 있으므로 세부적인 비정상운동의 영향을 고려하는 것은 큰 의미가 없다. 따라서 일반적인 주기 운동에서 처리하는 바와 같이 준 정상운동(quasi-steady motion)으로 간주하여 처리하였다. 사실이 현상은 fin control 식에 간접적으로 포함되어 있다.

Fin 하나만을 독립적으로 생각할 때 강도(strength)가 충분하다면 한쌍의 fin이 가장 효과적일 것이다. 그러나 fin의 강도문제를 비롯하여 기타 부대여건으로 인하여 여러쌍의 fin의 설계 가능성을 배제할 수 없다.

끝으로 본 논문 작성시 검토 및 교정을 위하여 여러 모로 수고해 준 김진영씨에게 감사한다.

References

- [1] Ankudinov, V. and Barr, R.A., "Calculated Roll motions for the DD963 Class Destroyer", Hydro-nautics, tech. Report 7522-1, May 1975.
- [2] Abbott, I.H. and Doenhoff, A.E. Von, "Theory of Wing Sections", Dover Publications, Inc., June 1959.
- [3] "The slope of the lift coefficient curve for a moving surface of low aspect ratio", DTMB Report 933, May 1985.