

技術報告

船舶設計를 위한 몇 가지 電子計算 프로그램

任尙錫*, 黃宗屹*, 金極天*, 金曉哲*

1. 서 언

전자계산기에 의한 선박설계방법이 발달함에 따라서 우리 나라에서도 그의 도입 및 개발의 소리가 높아짐에 따라 과학기술처는 1972년도부터 연차계획을 세워 그의 개발사업을 내 디렸으며, 작년도에는 화물선에 대하여 최소중량을 기본으로 하는 초기 기본설계 프로그램을 위시하여 초기설계에 필요한 선형의 유체정역학적 특성, 복원력 교차곡선, 가침장, 단재흡수선 및 선체구조의 단면계수 계산 프로그램등 6개의 프로그램을 개발하였다[1]**.

1973년도는 상기의 계속사업의 2차년도에 해당한다. 컴퓨터에 의한 선박설계는 종래의 선박설계의 인내력을 필요로 하는 소위 설계 루프에 소요되는 막중한 시간과 인력을 절약할 뿐만 아니라 복잡한 최적화계산을 용이하게 하며, 한편 연구자들만이 소화시킬 수 있는 고급한 과학지식을 프로그램에 담아 일반 설계자들에게 활용케 함으로서 설계의 질적향상을 도모하는데 크게 공헌하고 있다.

이와 같은 점들을 고려하여 1973년도에는 1972년도에 개발한 프로그램들 중 적용범위를 넓히는 문제, 막중한 계산량을 내포하고 있는 문제, 고급한 지식을 활용하여야만 하는 문제 등에 중점을 두고 당초의 기본계획을 다소 변경하여 사업을 다음과 같이 확정하고 서울대학교 공과대학이 보유하고 있는 IBM 1130 계산조직을 활용하여 연구를 수행하였다[2].

- (1) 목재운반선의 건현계산(SD 07)
- (2) 중 규칙파중에서의 선체운동성능 계산(SD 08)
- (3) 추진축계설계 (SD 09)
- (4) 선체구조의 주요부재 치수의 계산(SD 10)

목재운반선의 건현계산을 추가하여 작년도의 만재흡수선 계산 프로그램(SD 05)의 적용범위를 넓혔으며, 선체구조의 주요부재치수의 계산프로그램(SD 10)은 한 국선급협회의 강선구조규칙을 중심으로 중앙단면에 표시되는 주요부재의 계산을 중심으로 개발하였다.

중 규칙파중에서의 선체운동성능계산 프로그램(SD

08)은 Ursell-Tasai의 이론에 의한 각 단면의 유체력의 계산방식과 ordinary strip method에 의거하여 개발하였다. 동 프로그램은 보통의 배수량형선박과 배골형 고속정의 저속상태에 있어서의 내항성능을 계산할 수 있는 것이다.

추진축계설계 프로그램(SD 09)은 선박의 추진축계의 기본설계를 목표로 개발하였으며 피로파괴를 고려한 적정 안전계수에 대해서 요구되는 축경, 정상 및 진동 최대전단응력의 계산, 각종 기본 위험속도에서의 진동부가응력의 계산 등을 할 수 있는 것이다. 이 SD 09는 축경(SD 09-1), 안전계수(SD 09-2), 및 dynamic effect(SD 09-3) 등 3개의 프로그램으로 나뉘어져 있다.

2차년도에 개발된 상기 프로그램은 초기 기본설계시에 필요한 것도 있으나 구조설계와 극부설계에 관계되는 것, 내항성의 기초적인 연구를 위한 것도 있어 1차년도에 비해서 점차로 다양화되어 가고 있는 점이 있다. 이하에 각 프로그램의 내용을 소개한다.

2. 목재운반선의 건현계산 프로그램(SD 07)

2.1. 기본방침

목재운반선의 건현은 1966년에 제정된 국제만재흡수선조약[3]에 준하여 계산할 수 있게 하여 프로그램이 널리 통용될 수 있도록 했다. 그런데 목재운반선의 건현계산과정의 상당한 부분이 일반선박의 건현계산과정과 유사하므로 1972년도에 과학기술처의 연구개발계획에 의하여 개발된 A형 및 B형 선박의 만재흡수선 계산 프로그램(SD 07)을 일반화함으로서 목재운반선은 물론 A형 및 B형 선박의 건현 계산도 동일한 프로그램으로 계산할 수 있는 일반화된 프로그램을 얻도록 했다. 그리고 가침구획에 대한 건현수정은 1972년에 개발된 가침장계산 프로그램(SD 04)[1]에 의하여 별도로 계산하도록 했다.

2.2. 계산방법

1. 계산 과정

계산은 국제 만재흡수선 조약에 준하여 다음의 순서

* 경희원, 서울대학교 공과대학

** [] 내의 수자는 본문말미에 수록된 참고문헌의 번호임.

로 계산한다.

- (1) 건현표로부터 표정건현을 산정한다.
- (2) 갑판구조물의 유효길이를 결정한다.
- (3) 선박의 길이에 의한 건현수정을 실시한다.
- (4) 방형비척계수에 의한 건현수정을 실시한다.
- (5) 기준건현을 결정한다.
- (6) 기준건현을 길이에 의하여 수정한다.
- (7) 기준건현을 갑판선의 위치에 의하여 수정한다.
- (8) 기준건현을 갑판상 구조물의 유효길이에 의하여 수정한다.
- (9) 현호에 의한 수정을 한다.
- (10) 선수높이에 의한 수정을 한다.
- (11) 각 건현을 결정한다.

2. 사용상의 주의

- (1) 국제 만재홀수선 조약 제 5조에 해당되지 않는 모든 선박에 대하여 건현산정이 가능하나 길이 365미터 이상의 선박은 제외된다.
- (2) 가침조건에 의한 건현수정은 별도로 계산하여야 한다.
- (3) 모든 입력자료는 국제 만재홀수선 조약에 준하여 미터법으로 작성하였다.

3. 종규칙파중에서의 선체운동성 계산 프로그램(SD 08)

3.1. 기본방침

종규칙파중에서 동요하는 선박의 상하 동요, 종동요, 상하동요와 종동요의 합성운동에 의한 가속도, 속도, 변위 등을 ordinary strip method를 사용하여서 계산하는 프로그램을 작성하였다.

배수형 일반선형의 선박에 적용할 수 있는 것을 개발하였으며, 선형단면은 등가 Lewis형으로 처리하였다. 선체를 20등분하고 각 부분의 부가질량 및 감쇠력계산은 각 부분을 그 부분의 중앙단면(station)을 균일단면으로 가지는 무한길이의 주상체로 간주하고 Ursell-Tasai의 계산 방법에 의거해서 계산하였으며, 이때의 파수(wave number)는 조우 원주기(encounter circular frequency)를 사용한 것을 취하기로 하였다.

프로그램의 작성에 있어서는 프로그램 사용자가 어려운 선체응답이론을 전혀 모르고도 사용할 수 있도록 입력을 간단히 하도록 노력하였고, 기본적인 부가질량과 감쇠력계산 프로그램을 썬드 프로그램으로 하여 선체형상의 특성데이터와 규칙파의 조건 및 선속만 입력으로 넣어 주면 응답의 결과를 한번에 얻을 수 있도록 하였다. 또 입력데이터는 어떤 단위를 사용하더라도 상관 없도록 하였으며 따라서 실선데이터를 사용할 수도 있고 모형데이터를 사용할 수도 있다.

3.1. 계산방법

1. 적용선박과 계산내용

가. 적용선박

본 프로그램을 적용할 수 있는 선박은 보통의 배수형 선박으로서 선체단면이 Lewis형 단면[4]에 가까운 것과 Kim형[5]의 단일 배골 및 복배골 단면에 가까운 것이어야 한다. 따라서 활주형 선박의 활주상태와 수중익선동에 대해서는 사용할 수 없다. 그러나 활주형 선박도 저속에 있어서는 배수형 상태가 되므로 이 경우에 대해서는 정도(精度)는 높지 않으나 사용할 수 있다. 또 대형 구상선수가 있는 선박에 대해서는 선수 발브 단면에 대한 부가질량 및 감쇠력 계산이 본 방법에 의해서 정확하게 계산될 수 없기 때문에 본 프로그램을 사용할 수 없다.

나. 계산내용

종규칙파(파장 λ) 중에서 일정한 속력(u)로 달리는 선박에 대하여 즉, 각 λ/L , $F_n = u/\sqrt{Lg}$ 에 대해서 다음과 같은 것을 계산할 수 있다.

- (1) 상하동요의 진폭과 위상차
- (2) 종동요의 진폭과 위상차
- (3) 상하동요와 종동요의 합성운동에 대한 가속도의 진폭과 위상차
- (4) 선체와 파면과의 상대변위의 진폭과 위상차
- (5) 선체와 파면과의 상대속도의 진폭과 위상차

2. 단면의 부가질량 및 감쇠력계산

단면의 부가질량 및 감쇠력은 Ursell-Tasai[6][7]방법에 의해서 계산하였다. 본 프로그램은 다음 (3-1)의 사상합수에 의해서 얻어지는 2경수 단면에 대해서 개발되었다.

$$\frac{z}{M} = \zeta + a_{2m-1}\zeta^{-(2m-1)} + a_{2n-1}\zeta^{-(2n-1)} \quad (3-1)$$

$m=1, n=2$ 일때 Lewis 단면

$m=1, n=4$ 일때 Kim 단면(단일배골형)

$m=1, n=6$ 일때 Kim 단면(복배골형)

위의 2경수단면에 대한 부가질량과 감쇠력 계산식[8]을 이용해서 하나의 썬드 프로그램 HEAVE(HO, SIGMA, XIO, CX, CY, AX, K4, ABAR)을 작성하였으며, 이 HEAVE 썬드 프로그램은 그 자체의 메인 프로그램 외에 8개의 썬드 프로그램으로 구성되어 있다. 이 HEAVE 썬드 프로그램이 종규칙파중에서의 선체운동 응답계산의 중요한 한 부분을 형성하고 있으며, 계산시간의 대부분이 각 단면에 대한 이 썬드 프로그램의 계산에 소요되고 있다.

부가질량과 감쇠력계산의 정확도가 선체의 운동 응답결과에 미치는 영향은 절대적인 것이므로, 계산결과와 검증의 목적으로 각 단면의 부가질량계수 K_4 와 상하동요에 기인한 진행파의 진폭과 상하동요의 진폭과

의 비인 \bar{A} 를 출력시켰다. 부가질량 및 감쇠력계산은 조우주기(encounter frequency) ω_e 에 대해서 계산하였으려, 그로 인하여 선속에 따라서 부가질량 및 감쇠력계산이 되풀이 되므로 본 프로그램에 의한 계산시간은 매우 길다. 조우주기 ω_e 와 입사파의 주기 및 선속(船速) u 사이에는 다음 관계가 있다.

$$\omega_e = \omega \left(1 + \frac{\omega u}{g} \right) \quad (3-2)$$

여기서 g 는 중력가속도이다.

문헌 [4], [8]의 p_{21} , q_{21} , 의 계산은 유한 항수를 잡아서 최소자승법에 의해서 계산하였다. 그 경우에 선체표면상의 경계조건을 만족시키는 점을 $\frac{1}{2}$ 단면에서 21개로 하고, 항수 l 를 10항으로 잡아도, Lewis형 단면과 Kim 단면 등에 대한 \bar{A} , K_4 의 계산의 정도가, 상당히 큰 $\xi_4 = \frac{\omega^2}{g} T$ 의 값까지 허용될 수 있을 정도(오차가 10^{-4} 에서 10^{-3} 정도의 order)이므로 경계조건을 따지는 점을 $\frac{1}{2}$ 단면에서 21개, 항수를 10으로 잡는 것이 좋다. 연구를 목적으로 하는 계산을 할 때에는 프로그램 내부에서 그들에 관련된 부분을 고쳐서 계산을 할 수 있을 것이다. 위에서 오차라 함은 문헌 [6], [7], [8]의 $(M_0 A_0 - N_0 B_0) - \frac{\pi^2}{2}$ 값을 말한다.

3. 선체운동의 응답계산

가. 운동방정식

중규칙과 증여서의 선체운동의 응답계산은 ordinary strip method(OSM) [9]을 채택하였으며 상하동요 및 증동요의 연성운동 방정식 및 그 계수는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} (m+A)\ddot{x} + b\dot{x} + cx + d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + g_1\theta \\ = F_x \cos \omega_e t - F_s \sin \omega_e t \\ (J_0+A)\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta + D\ddot{x} + E\dot{x} \\ + G_1 x = M_c \cos \omega_e t - M_s \sin \omega_e t \end{aligned} \right\} \quad (3-3)$$

$$\left. \begin{aligned} a = \int c_n d\xi, b = \int b_n d\xi, c = \int c_n d\xi \\ d = - \int a_n \xi d\xi, e = - \int b_n \xi d\xi + ua, \\ g_1 = - \int c_n \xi d\xi + ub \\ A = \int a_n \xi^2 d\xi, B = \int b_n \xi^2 d\xi, \\ C = \int c_n \xi^2 d\xi + uF \\ D = d, E = - \int b_n \xi d\xi - ua, \\ G_1 = - \int c_n \xi d\xi \end{aligned} \right\} \quad (3-4)$$

$$\left. \begin{aligned} F_x = \zeta_A \int [(c_n - \omega \omega_e a_n) \exp(-KT_m) \\ \cdot \cos(K\xi) - \omega \exp(-KT_m) b_n \\ \cdot \sin(K\xi)] d\xi \\ F_s = \zeta_A \int [\omega \exp(-KT_m) b_n \cos(K\xi) \\ + (c_n - \omega \omega_e a_n) \exp(-KT_m) \\ \cdot \sin(K\xi)] d\xi \\ M_c = - \zeta_A \int [(\xi \omega b_n + u \omega a_n) \exp(-KT_m) \\ \cdot \sin(K\xi) - (c_n \xi - \xi \omega \omega_e a_n) \\ \cdot \exp(-KT_m) \cos(K\xi)] d\xi \\ M_s = - \zeta_A \int [(c_n \xi - \xi \omega \omega_e a_n) \exp(-KT_m) \\ \cdot \sin(K\xi) - (\xi \omega b_n - u \omega a_n) \\ \cdot \exp(-KT_m) \cos(K\xi)] d\xi \end{aligned} \right\}$$

여기서 m 는 배의 질량, J_0 는 배의 질량관성 모멘트이며, a_n, b_n, c_n 은 각 단면의 값으로서 다음과 같다.

$$a_n = \frac{1}{2} \pi \rho b^2 C_0 K_4 \quad (3-5)$$

$$b_n = \frac{\rho g^2}{\omega^3} \bar{A}^2 \quad (3-6)$$

$$c_n = 2\rho g b \quad (3-7)$$

여기서 b 는 각 단면의 반폭이다.

상기의 각 계수를 다음과 같이 무차원화하였다.

$$\left. \begin{aligned} a' = a/\rho L^3, b' = b/\rho g^{0.5} L^{2.5}, c' = c/\rho g L^2 \\ d' = d/\rho L^4, e' = e/\rho g^{0.5} L^{3.5}, g'_1 = g/\rho g L^3 \\ A' = A/\rho L^5, B' = B/\rho g^{0.5} L^{4.5}, C' = C/\rho g L^4 \\ D' = d', E' = E/\rho g^{0.5} L^{3.5}, G'_1 = G/\rho g L^3 \end{aligned} \right\} \quad (3-8)$$

$$\left. \begin{aligned} a'' = \nabla/L^2 + a', A'' = \nabla/L^2 (k'_{yy})^2 - A' \\ F'_c = F_c/\rho g \zeta_A L^2, F'_s = F_s/\rho g \zeta_A L^2, \\ M'_c = M_c/\rho g \zeta_A L^3, M'_s = M_s/\rho g \zeta_A L^3 \end{aligned} \right\} \quad (3-9)$$

나. 선체운동의 응답계산

(1) 상하동요와 증동요

위의 연성운동방정식을 풀면 다음과 같은 해를 얻는다.

$$\left. \begin{aligned} z' = z_c' \cos \omega_e t - z_s' \sin \omega_e t = z_A' \cos(\omega_e t + \epsilon_z) \\ \theta' = \theta_c' \cos \omega_e t - \theta_s' \sin \omega_e t = \theta_A' \cos(\omega_e t + \epsilon_\theta) \end{aligned} \right\} \quad (3-10)$$

여기서

$$\left. \begin{aligned} z_c' = z_A' \cos \epsilon_z = (\bar{R} \cdot \bar{P} + \bar{S} \cdot \bar{Q}) / (\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \\ z_s' = z_A' \sin \epsilon_z = (\bar{R} \cdot \bar{Q} - \bar{S} \cdot \bar{P}) / (\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \\ \theta_c' = \theta_A' \cos \epsilon_\theta = (\bar{R} \cdot \bar{P}' + \bar{S} \cdot \bar{Q}') / (\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \\ \theta_s' = \theta_A' \sin \epsilon_\theta = (\bar{R} \cdot \bar{Q}' - \bar{S} \cdot \bar{P}') / (\bar{R}^2 + \bar{S}^2) \end{aligned} \right\} \quad (3-11)$$

(3-11)의 $\bar{P}, \bar{Q}, \bar{R}, \bar{S}$ 및 \bar{P}', \bar{Q}' 의 내용과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} = -(C' - A'' \omega_1^2) \left(\frac{F'_c}{F'_s} \right) \pm B' \omega_1 \left(\frac{F'_s}{F'_c} \right) \\ + (g'_1 - d' \omega_1^2) \left(\frac{M'_c}{M'_s} \right) \mp c' \omega_1 \left(\frac{M'_s}{M'_c} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3-12)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\bar{P}'}{\bar{Q}'} = -(c' - a'' \omega_1^2) \left(\frac{M'_c}{M'_s} \right) \pm b' \omega_1 \left(\frac{M'_s}{M'_c} \right) \\ + (G'_1 - D' \omega_1^2) \left(\frac{F'_c}{F'_s} \right) \mp E' \omega_1 \left(\frac{F'_s}{F'_c} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3-13)$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{R} = -(c' - a'' \omega_1^2) (C' - A'' \omega_1^2) + (g_1 - d' \omega_1^2) \\ \cdot (G'_1 - D' \omega_1^2) + b' B' \omega_1^2 - e' E' \omega_1^2 \\ \bar{S} = -b \omega_1 (C'_1 - A'' \omega_1^2) - B' \omega_1 (c' - a'' \omega_1^2) \\ + e' \omega_1 (G'_1 - D' \omega_1^2) + E' \omega_1 (g'_1 - d' \omega_1^2) \end{aligned} \right\} \quad (3-14)$$

여기서 ω_1 는 ω_e 를 $\sqrt{g/L}$ 로 무차원화한 값이다.

상하동요의 진폭과 위상차는

$$z_A' = \frac{z_A}{\zeta_A} = \sqrt{z_c'^2 + z_s'^2}, \epsilon_z = \tan^{-1} \frac{z_s'}{z_c'} \quad (3-15)$$

증동요의 진폭과 위상차는

$$\theta_A' = \frac{\theta_A}{\zeta_A/L} = \sqrt{\theta_c'^2 + \theta_s'^2}, \epsilon_\theta = \tan^{-1} \frac{\theta_s'}{\theta_c'} \quad (3-16)$$

(2) 상하동요와 증동요의 합성운동에 대한 가속도동

선수부에서의 합성운동의 가속도와 그 위상차는

$$\left. \begin{aligned} \frac{ACC_A}{\zeta_A \cdot g/L} &= \sqrt{ACC_c^2 + ACC_s^2} \\ \epsilon_{acc} &= \tan^{-1}(ACC_s/ACC_c) \end{aligned} \right\} (3-17)$$

여기서

$$\left. \begin{aligned} ACC_c &= zc' - \left(\frac{\xi_0}{2} - K_G'\right)\theta c' - \omega_1^2 \\ ACC_s &= zs' - \left(\frac{\xi_0}{2} - K_G'\right)\theta s' - \omega_1^2 \end{aligned} \right\} (3-18)$$

(3-8)에서 ξ_0 는 \textcircled{X} 에서 선수까지의 거리를 $\frac{1}{2}L$ 로 무차원화한 값이며, K_G' 는 중심의 \textcircled{X} 로부터의 수평거리를 L 로 무차원화한 값이다.

선수부의 선체와 입사파의 파면과의 상대변위의 진폭과 위상차는

$$\left. \begin{aligned} \frac{z_{rA}}{\zeta_A} &= \sqrt{z_{rc}^2 + z_{rs}^2} \\ \epsilon_r &= \tan^{-1}(z_{rs}/z_{rc}) \end{aligned} \right\} (3-19)$$

여기서

$$\left. \begin{aligned} z_{rc} &= zc' - \left(\frac{\xi_0}{2} - K_G'\right)\theta c' - \cos(\tau\xi_0) \\ z_{rs} &= zs' - \left(\frac{\xi_0}{2} - K_G'\right)\theta s' - \sin(\tau\xi_0) \end{aligned} \right\} (3-20)$$

이 식에서 τ 는 $\frac{1}{2}(\omega/\sqrt{g/L})^2$ 이다.

다음에 선수부의 선체와 입사파의 파면과의 상대속도의 진폭과 위상차는

$$\left. \begin{aligned} \frac{z_{vA}}{\zeta_A \sqrt{g/L}} &= \sqrt{z_{vc}^2 + z_{vs}^2} \\ \epsilon_v &= \tan^{-1} \frac{z_{vs}}{z_{vc}} \end{aligned} \right\} (3-21)$$

여기서

$$\begin{aligned} z_{vc} &= \left[zc' - \left(\frac{\xi_0}{2} - K_G'\right)\theta s' \right] \omega_1 - F_n \theta c' \\ &\quad - \cos(\tau\xi_0) \omega_0 \\ z_{vs} &= - \left[zc' - \left(\frac{\xi_0}{2} - K_G'\right)\theta c' \right] \omega_1 - F_n \theta s' \\ &\quad + \cos(\tau\xi_0) \omega_0 \end{aligned} (3-22)$$

이 식에서 $\omega_0 = \omega/\sqrt{g/L}$ 이다.

4. 적용범위

가. 선형단면의 계산

써브 프로그램 AXAY(HO, SIGMA, MX, NY, AX, AY, CX, CY)를 사용하면 선체단면의 반폭 홀수비 HO와 단면적 계수 SIGMA를 알면 단면 파라미터 AX, AY를 알 수 있다. 써브 프로그램 AXAY의 argument의 MX, NY, AX, AY는 다음과 같다.

(1) MX=1, NY=2 일때 Lewis form 단면으로서 AX=a₁, AY=a₃

(2) MX=1, NY=4 일때 Kim form의 단일 배골 단면으로서 AX=a₁, AY=a₇

(3) MX=1, NY=6 일때 Kim form의 복배골단면으로서 AX=a₁, AY=a₁₁

나. 적용범위

본 프로그램의 적용범위는 선체 각 단면의 부가질량 및 감쇠력 계산이 정확하게 구해질 수 있는가에 따른 문제와 OSM이 적용될 수 있는 범위에 의해서 결정된다.

구상선수, 트란섬 선미를 갖는 선박에 적용하였을 경우에는 정도가 낮아질 것이다. 단면의 형상이 Lewis form이나 Kim form의 2경수단면에 가까운 것에 대해서만 적용할 수 있으며, 그와 같은 단면형에 대해서는 다음과 같은 제한이 있다.

<유효 단면조건>

유효 단면은 각 단면형에 대하여 단면의 반폭과 홀수 비(p) 및 단면적 계수(σ)로 나타낼 때 σ_{min} 과 σ_{max} 사이의 값을 취한다.

(가) Lewis형

$$c_{min} = \frac{3\pi}{32} \left(2 - \frac{1}{p}\right) \quad (p \geq 1) \quad (3-23)$$

$$= \frac{3\pi}{32} (2 - p) \quad (p < 1) \quad (3-24)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\pi}{32} \left(p + \frac{1}{p} + 10\right) \quad (3-25)$$

(나) Kim형 (단일 배골형)

$$c_{min} = \frac{7\pi}{128} \left(4 - \frac{1}{p}\right) \quad (p \geq 1) \quad (3-26)$$

$$= \frac{7\pi}{128} (4 - p) \quad (p < 1) \quad (3-27)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\pi}{4} \quad (3-28)$$

(다) Kim형 (복배골형)

$$c_{min} = \frac{11\pi}{288} \left(6 - \frac{1}{p}\right) \quad (p \geq 1) \quad (3-29)$$

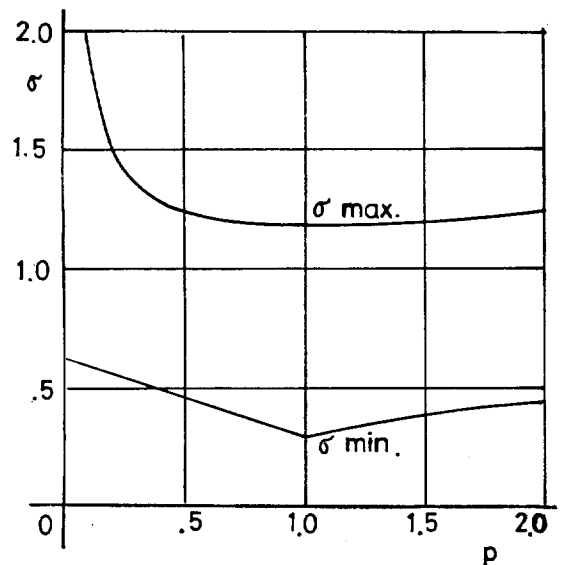


그림 3-1 Lewis 단면의 유효범위

$$= \frac{11\pi}{288}(6-p) \quad (p < 1) \quad (3-30)$$

$$\sigma_{max} = \frac{\pi}{4} \quad (3-31)$$

위의 조건을 도시한 것이 그림 3-1, 그림 3-2, 및

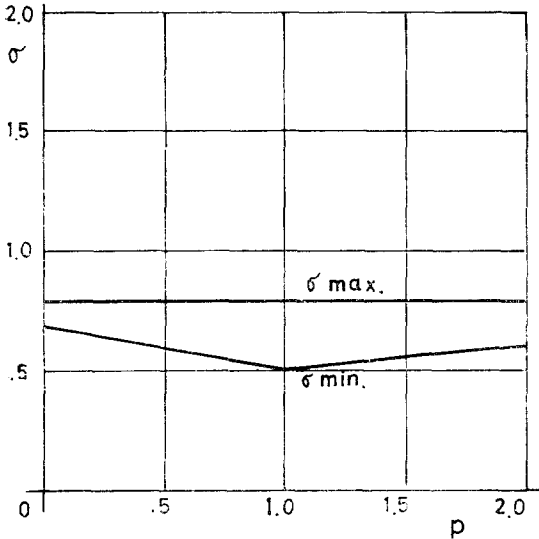


그림 3-2 단일 배골 Kim 단면의 유효범위

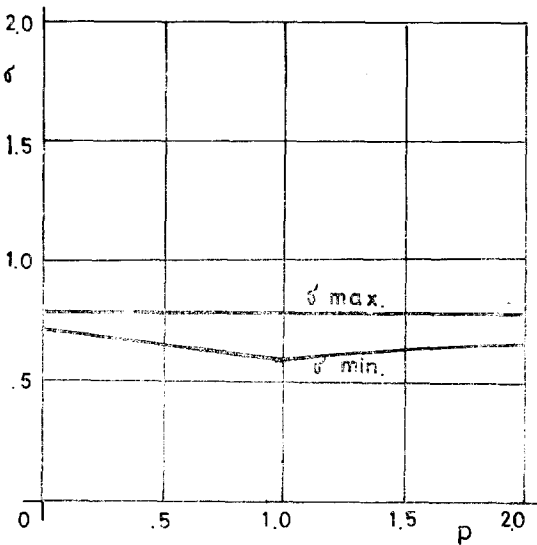


그림 3-3 복배골 Kim 단면의 유효범위

그림 3-3이며, 두 곡선 사이의 편 부분이 유효단면이다. 만일 계산하고자 하는 선체의 단면의 단면적 계수가 상기의 범위 밖에 있을 때는 한계의 값을 취하여 계산하도록 해야 한다. 그와 같이 취하더라도 운동의 응답치에는 큰 차이가 나타나지 않는다.

5. 계산 소요시간

본 프로그램에 의한 계산소요시간은 그 대부분이 각

단면에 대한 HEAVE 써브 프로그램에 소요된다. 한 단면에 대한 K_4 와 \bar{A} 의 계산은 IBM 1130 계산조직을 이용할 때 평균 10분 걸리며, 그들의 단면에 대한 K_4 , \bar{A} 의 계산이 끝나면 운동응답계산은 한 λ/L , FN에 대해 3분 걸린다. 따라서 한 λ/L , FN에 대한 전체 계산은 평균 3시간 23분 소요된다.

3.3. 입력방법과 출력형식

1. 변수의 정의

가. 입력에 관련된 변수의 정의

- L 배의 수선장 길이(LPP)
- BL 배의 폭(molded)
- DL 배의 길이(molded)
- DIS 배수용적
- KG (☉로부터 배 중심까지의 거리)/L
- ROG (배의 세로관성모멘트)/L, k_{yy}'
- RL (입사파의 파장 λ)/L
- FN Froude number
- B 각 단면의 반폭
- b 각 단면의 길이
- SO 각 단면의 면적

나. 출력에 관련된 변수의 정의

- HO 단면의 반폭과 흘수의 비
- SIGMA 단면적계수
- ABAR 단면의 반산파의 파고의 강제상하동요의 진폭에 대한 비
- K_4 단면의 추가질량계수
- A $\lambda/L^2 \cdot a'$
- B b'
- C c'
- D d'
- E e'
- G g_1'
- AA $\Gamma/L^3(k_{yy}')^2 \cdot A'$
- BB B'
- CC C'
- DD' D'
- EE E'
- GG G_1'
- FC F_c'
- FS F_s'
- MC M_c'
- MS M_s'
- ZO (상하동요의 진폭)/(입사파의 진폭 ζ_0)
- EZ 상하동요와 입사파의 위상차
- SETAO $\{(\text{중동요의 진폭})/\zeta_0/L\}/\omega_0^2$
- ESETA 중동요와 입사파의 위상차

- ACCO (상하동요와 종동요의 합성운동에 의한 가속도의 진폭)/ $(\zeta_A \cdot g/L)$
- EACC 가속도의 위상차
- ZRO (선체와 파면과의 상대변위의 진폭)/ ζ_A
- ERZ 상대변위의 위상차
- ZVO (선체와 파면과의 상대속도의 진폭)/ $\zeta_A \sqrt{g/L}$
- ERV 상대속도의 위상차

2. 입력데이터 작성서식

가. 입력데이터와 입력요령

입력데이터 카야드는 3셋트로 되어 있으며 첫 셋트는 1장, 두번째 셋트도 1장, 3번째 셋트는 21장이 다. 첫번째 셋트는 배의 주요치수와 배수용적, 편성반경, 중심위치 등이며, 두번째 셋트는 입사파와 Froude number(선속)에 관한 데이터이며, 3번째 셋트는 각 단면에 대한 반폭, 홀수, 단면적이다. 3번째 셋트 21장은 선수부 단면부터 차례로 넘어야 한다.

입력데이터의 단위는 무엇이건 상관없이 없으며 또 실선의 데이터거나 모형의 치수라도 좋다. 특히 다음 사항에 주의하여야 하겠다.

(1) 세로관성반경 ROG 는 수선간길이의 배수로 정해지며, 대략 0.23 L 과 0.27 L 사이의 값이 된다. 만일 주어진 배에서 세로관성반경을 모른다면 ROG 는 0.25 로 택하는 것이 좋다.

(2) 본 프로그램은 FP 를 1-station 으로 잡고 AP 를 21-station 으로 잡았으므로 배의 LPP 를 20 등분하여 각 station 에 대한 B, T, SO 를 취하여야 한다.

(3) 단면이 Lewis 형이나, Kim 형의 유효범위 내에 있지 않을 때에는 그 단면의 반폭-홀수비 $p(=H_0)$ 에 대한 한계선의 편적계수에 대응하는 편적을 취하여 데이터작성을 해야 한다.

(4) 배의 중심의 \odot 부터의 수평거리에 대한 자료가 없을 때에는 홀수선면 부편심의 \odot 부터의 수평거리를 잡는 것을 추천한다.

나. 입력서식

- (1) 데이터 카야드 셋트 1 : 1 장
L, BL, DL, DIS, ROG, KG
FORMAT (6 F 10.0)
- (2) 데이터 카야드 셋트 2 : 1 장
RL, FN
FORMAT (2 F 10.0)
- (3) 데이터 카야드 셋트 3 : 21 장
B, T, SO
FORMAT (3 F 10.0)

3. 출력형식

입사파의 파장과 Froude number 에 관한 데이터가 출력되고 참고로 각 단면에 대한 HO, SIGMA, ABAR, K_g 가 출력된다. 그리고 종규칙과 중에서 선체운동의

응답이 다음 순으로 출력된다.

- (1) 운동방정식의 무차원화한 계수
A, B, C, D, E, G, FC, FS
AA, BB, CC, DD, EE, GG, MC, MS
- (2) 상하동요 진폭과 위상차 및 종동요의 진폭과 위상차
ZO, EZ, SETAO, ESETA
- (3) 선수 가속도의 진폭과 위상차
ACCO, EACC
- (4) 선수와 파면과의 상대변위의 진폭과 위상차
ZRO, ERZ
- (5) 선수와 파면과의 상대 속도의 진폭과 위상차
ZVO, ERV

이 프로그램을 선박설계에 이용할 때에는 RL, FN과 위의 (2)~(5)의 내용만 출력시키면 충분하지만 연구의 목적에 활용하는 경우를 고려하여 참고적인 사항을 많이 출력시키도록 하였다. 따라서 실제 목적으로 이용하는 경우에는 그와 같은 참고적인 사항은 출력에서 제외하는 것이 좋을 것이다.

3.4. 맺는 말

Bieberbach 변환식에 속하는 2경수단면을 선형단면으로 가지는 선형에 대한 종규칙과 중에서의 운동응답 계산 프로그램을 개발하였는데, 본 프로그램으로서는 일반 선형에 대해서는 비교적 정도가 높은 결과가 얻어지나 대형구상선수를 가지는 선형에 대해서는 정도가 낮아지므로 그와 같은 경우에 쓸 수 있는 프로그램은 따로 개발하여야 할 것이다.

본 프로그램은 선박설계에 필요한 즉, 각 속력에서의 입사파의 조건에 따른 선박의 운동성능을 계산할 수 있게 작성되었으며, 특히 적은 입력데이터를 써서 취급을 간편하게 할 수 있도록 힘 썼다. 또 본 프로그램은 연구목적에도 쓸 수 있도록 힘 썼으며, 목적에 따라서 고치기 쉽게 배려하였다.

4. 추진축계 설계 프로그램

4.1. 기본방침

이 계산 프로그램은 선박의 추진축계 기본설계를 위한 것이다. 따라서 (1) 추진기축의 피로파괴를 고려한 적정 안전 계수에 대하여 요구되는 최소 축경, 정상 및 진동 최대 전단응력과 그들의 성분등의 계산, (2) 각종 기본 위험속도 및 위험속도에서의 진동부가응력 및 계산이 골자이다.

계산프로그램의 편성은 입력자료의 조정등 사용상의 편의를 위하여 (1)과 (2)를 독립적으로 했고, 다시(1)에 대하여서는 선급협회규칙이 요구하는 축경 또는 기존설계의 축경이 보장하는 안전계수 등을 알아 볼 팔

요성이 빈번히 있음을 고려하여 축경을 입력시켜 안전 계수, 각종 응력의 크기 등을 산정하기 위한 프로그램을 따로 작성했다. 결국 계산프로그램은 SD 09-1 : diameter, SD 09-2 : safety factor, SD 09-3 : dynamic effects 로 구분된다.

SD 09-1 및 SD 09-2의 작성에 있어서는 최대전단 이론에 근거한 Soderberg[11]의 피로파괴에 대한 경험식과 미국 허용성의 추진축계 설계기준 DDS 4301[12]의 제 권고를 바탕으로 했다. SD 09-3에서는 비틀진동과 종진동을 모두 등가 2차속도계로 치환하여 입력하도록 했고, 횡진동에 대하여서는 Panagopulos[13]의 2점지지 근사법을 채용했다. 각 진동형에 대한 추진기의 부가질량, 추진기로 인한 감쇠계수 등은 보편 타당하다고 인정되는 값이 프로그램 내에서 삽입된다.

축 베어링 간격에 대하여서는 Lehr and Parker[14]의 권고를 본문 중에 요약 소개했다. 입력자료의 취합과 계산결과에 대한 평가기준 등에 관해서는 가끔씩 친절히 소개했으나, 더 상세한 사항이나 특별한 경우에 대해서는 참고문헌[12~20] 등에 미룬다.

4.2. 계산방법

1. 축 경

선급협회규칙들은 대체로 중간축에 대하여 토오르크 전달로 인한 정상응력을 주로 하고 추력전달로 인한 응력을 계수형식으로 가미했고, 추진기축은 추진기의 overhang로 인한 뫼모우멘트를 고려하여 중간축의 축경보다 약간 크거나 같은 매우 간단한 산식이다. 자중으로 인한 축의 능적힘의 영향은 베어링의 간격과 면압을 적정하게 취한다면 무시할 수 있다. 그러나 진동응력을 충분히 고려하지 못하고 있음이 큰 결함이며, 축경산정 후 더욱도 진동응력을 이하히 억제할 것인가를 검토하지 못하는데, 그 결과는 성공적일 수도 있고, 아닐 수도 있다. 결국, 축경결정의 합리적인 방법은 진동응력을 따로 고려하여 필요 최소축경을 산정하는 방법이라야 할다.

한편, 추진축의 사고원인 규명에 관련한 많은 연구[예로서 19]들을 종합해 보면 사고의 대부분이 추진기축인데, keyway 단부, 후부 축 라이너의 후단부, 프로펠러 cone의 전단부등에서 균열이 발생하여 파괴에 이르고 있다. 따라서 추진기축의 축경은 이 부분의 피로파괴에 대한 안전을 기준으로 결정하여야 한다.

정상응력과 진동응력이 동시에 작용하는 경우에 대하여 Soderberg[11]는 실험적 자료들을 바탕으로 해서 피로파괴가 발생하는 조건식을 다음과 같이 제시했다.

$$\frac{\bar{\tau}_0}{\bar{\tau}_{sp}} + \frac{\bar{\tau}_a}{\bar{\tau}_{st}} \geq 1 \tag{4-1}$$

단, $\bar{\tau}_0$, $\bar{\tau}_a$ 는 차례로 정상전단응력 및 진동전단응력

의 최대치이고, $\bar{\tau}_{sp}$, $\bar{\tau}_{st}$ 는 차례로 저로의 전단에 대한 항복점 및 피로한도이다.

추진축에 작용하는 정상응력은 추력으로 인한 적절 압축응력 σ_c , 토오르크(평균)로 인한 전단응력 $\bar{\tau}$ 그리고 진동응력은 추진기의 overhang, 추력작용선의 편심 등으로 인한 휨응력 σ_b , 추진기 및 주기판의 거진토오르크로 인한 전단응력 $\bar{\tau}'$ 들이다. $\bar{\tau}'$ 에 대하여는 뫼모우멘트 응력계수 k_t 을 설계 계수로 도입하기로 하여

$$\bar{\tau}' = k_t \cdot \bar{\tau} \tag{4-2}$$

로 산정하고, 응력집중은 진동응력에 대해서만 고려하여 [2] 휨과 전단에 대하여 각각 k_b , k_t 로 표기하면

$$\left. \begin{aligned} \bar{\tau}_0 &= \frac{1}{2} (\sigma_c^2 + 4 \bar{\tau}^2)^{1/2} = \frac{1}{2} S_{sr} \\ \bar{\tau}_a &= \frac{1}{2} \{ (k_b \cdot \sigma_b)^2 + 4 (k_t \cdot k_t \cdot \bar{\tau}')^2 \}^{1/2} = \frac{1}{2} S_{sr}' \end{aligned} \right\} \tag{4-3}$$

한편, $\bar{\tau}_{sp}$ 와 $\bar{\tau}_{st}$ 에 대해서도 문헌[12]의 권고 즉, 각 기 인장에 대한 값 σ_y , 및 σ_{st} 의 $\frac{1}{2}$ 을 취하면 안전계수 R_s 를 보장하는 피로파괴 발생의 임계조건은 다음과 같다.

$$\frac{S_{sr}}{\sigma_y} - \frac{S_{sr}'}{\sigma_{st}} = \frac{1}{R_s} \tag{4-4}$$

이제, S_{sr} 와 S_{sr}' 의 각 성분을 계산하면 (단위는 kg/cm^2)

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= 1.273 \frac{T}{(1-n^2)D^2} \\ T &= 145.7 \frac{P}{V(1-l)} \end{aligned} \right\} \tag{a}$$

단, T : 추력(kg), P : 주기판의 축당 정격출력(ps), n : 추진효율, V : 선속(knot), l : 추력감소계수, D : 축의 외경(cm), n : 축경비이다.

$$\left. \begin{aligned} \bar{\tau}_a &= 5.1 \frac{(1+\alpha)Q}{(1-n^4)D^3} \\ Q &= 71656 \frac{P}{N_p} \end{aligned} \right\} \tag{b}$$

단, N_p : 추진기회전수(rpm), α : 평균토오르크(kg-cm), α : 부가 토오르크계수 즉, 최대출력으로 선회할 때 추진기회전수를 낮추는데 대한 고려이다.

$$\sigma_b = 10.187 \frac{k_2 \cdot W_p \cdot L_p}{(1-n^4)D^3} \tag{c}$$

단, W_p : 추진기 및 동 부속품의 공기 중에서의 무게(kg), L_p : 추진기의 모우멘트·아암(cm), k_2 : 동적안전계수 즉, 추력작용선의 편심으로 인한 뫼모우멘트의 증분을 산입할 계수이다.

식 (a), (b), (c)를 (4-3)식에 대입하여 S_{sr} , S_{sr}' 을 산정하고, 다시 이를 (4-4)식에 대입하여 (4-4)식을 D 에 관한 대수방정식으로 고쳐 쓰면 다음과 같은 6차방정식이 얻어진다.

$$D^6 - A \cdot D^3 - B \cdot D^2 + C = 0 \tag{4-5}$$

단,

$$A = \frac{2F_s}{(1-n^4)\sigma_{ei}} [(10.187k_b \cdot k_d \cdot W_p \cdot L_p)^2 + \{(10.2k_r \cdot k_1(1+\alpha)Q\}^2)^{1/2} \quad (d)$$

$$B = \left\{ \frac{1.273TF_s}{(1-n^2)\sigma_{yp}} \right\}^2 \quad (e)$$

$$C = \frac{A^2}{4} - \left\{ \frac{10.2(1+\alpha)QF_s}{(1-n^4)\sigma_y} \right\}^2 \quad (f)$$

결국, 방정식 (4-5)의 실수 최소근이 구하고자 하는 축 외경이며, 내경은 nD 이다. 고로, 이 계산프로그램에서는 (4-5)식의 계수 A, B, C 의 산정을 위한 설계변수 또는 설계계수들을 입력시켜(단, T, Q 에 대해서는 식 (a), (b)의 물체식의 우변의 변수)(4-5)식을 만든 다음 이를 풀어 근중 실수 최소근을 택하여 축경을 결정하고, 등축경에 대한 정상 및 진동 최대전단응력과 그들의 성분을 산출한다.

2. 안전계수

기본산식은 (4-4)식이다. 축경계산 때의 입력자료 중 F_s 대신 D 가 입력되며 $T, Q, \sigma_e, \tau_s, \sigma_s, \tau_s, S_{sr}, S_{sr}$ 등이 차례로 계산되고 최종적으로 (4-4)식에 의해서 F_s 가 산정된다.

3. 위험속도, 진폭 등

가. 리플진동

기본 위험속도와 동속도에서의 축의 최대진폭, 진동 부가응력 등을 계산한다.

교유진동수 f Hz 는 등가 2자유도계에 대한 산식

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{G\pi(1-n^4)D^4(I_e + I_p)}{32L I_e I_p}} \quad (4-6)$$

에 의한다. 단, G, D, n 는 차례로 축의 전단 탄성계수 (kg/cm^2), 외경 (cm) 및 축경비이고, L, I_e, I_p 는 차례로 등가 2자유도계로서의 축길이 (cm), 추기관 및 추진기의 질량관성모멘트 (kg-cm-sec^2)인데 (그림 5-1 참조), I_p 에는 부가질량관성모멘트로서 공기 중에서의 값의 25%가 가산한다.

기진원에 대해서는 추기진원별 즉, 추진기기진과 기관기진의 경우로 구분하여 계산한다. 증기터어빈선, 전기추진선 및 유력커플링을 갖은 경우가 전자에 속하고, 디젤기관선이 후자에 속한다.

추진기감쇠계수 C 로서는

$$C = 4 \left(\frac{Q}{\text{rpm}_c} \right) \quad (g)$$

이 풀해졌다. 단, rpm_c 는 위험속도, Q 는 동 속도에 서의 추진기토크이다.

(1) 추진기기진인 경우

추진기축의 위험속도 (rpm_c)_p는

$$(\text{rpm}_c)_p = 60f/B \quad (4-7)$$

단, B 는 추진기 날개수이다.

축의 추진기단부에서의 진폭 ϕ_p (rad.)은 추진기토크

크의 변동량의 평균토크에 대한 비를 Q_p 로 하면 공급 및 소산 에너지를 등치하므로서

$$\phi_p = 0.25 Q_p/B \quad (4-8)$$

따라서 축에 발생하는 진동부가응력 τ_s' (kg/cm^2)은 다음과 같다.

$$\tau_s' = \frac{CD}{2L} \phi_p \left(\frac{I_e + I_p}{I_e} \right) \quad (4-9)$$

(2) 추기관(디젤)기진인 경우

추기관의 위험속도 (rpm_c)_e는

$$(\text{rpm}_c)_e = 60f/n \quad (4-10)$$

단, n 는 1회전당의 착화회수이다.

ϕ_p 는 (4-8)식과 마찬가지로 방법에 의하여

$$\phi_p = \frac{1}{4ne} \left(\frac{Q_e P_{im}}{P_{ir}} \right) \left(\frac{\text{rpm}_r}{\text{rpm}_e} \right)^2 \left(\frac{I_p}{I_e} \right) \quad (h)$$

와 같이 유도된다. 단, e : 기계적효율, rpm_r 와 rpm_e 는 차례로 기관의 정격 및 위험속도, P_{ir} 와 P_{im} 는 차례로 기관의 도시평균유효압력 (kg/cm^2)의 정격치 및 최대치, Q_e 는 기관의 평균토크에 대한 기진토크의 비이다. 그런데 Q_e 의 값으로서 [2]에 제시된 값을 사용하기로 하고 (제 3절 참조) ϕ_p 를

$$\phi_p = \frac{Q_e}{4ne} \left(\frac{9.49}{P_{ir}} \right) \left(\frac{\text{rpm}_r}{\text{rpm}_e} \right)^2 \left(\frac{I_p}{I_e} \right) \quad (4-11)$$

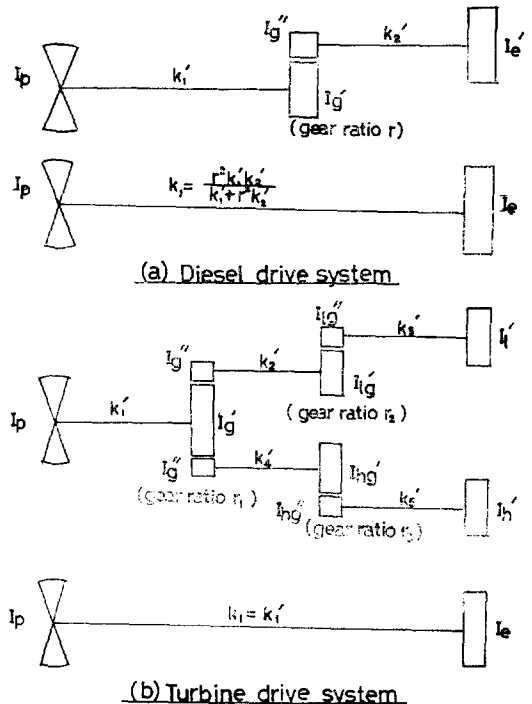


그림 4-1 리플 진동계의 등가 2자유도계의 치 환요령

(a) $I_e = I_e' + r^2 I_e'' + r^2 I_e'$

(b) $I_e = I_e' + r_1^2 (2I_e'' + I_e' + I_{h_e'}) + r_1^2 r_2^2 (I_e'' + I_e') + r_1^2 r_2^2 (I_{h_e''} + I_{h_e'})$

에 의해서 계산한다.

∴ ω' 은 (4-11) 식으로 산정된 φ_p 값을 (4-9) 식에 대입하여 산정한다.

(1), (2) 공히 실체를 등가 2자유도계로 수정하는 요령은 그림 4-1과 같다.

나. 횡진동

Panagopoulos[13]의 2점지지 근사법에 의한 추진기 축 기본 휘틀링 (whirling) 위험속도 f cpm 는 다음과 같다.

$$f = \frac{30}{\pi} \left[iE \left/ \left\{ I_x \left(b + \frac{l}{3} \right) + \frac{W_p'}{g} b^2 \left(\frac{b}{2} + \frac{l}{3} \right) + \mu \left(\frac{b^4}{8} + \frac{lb^3}{9} + \frac{7l^4}{360} \right) \right\} \right]^{1/2} \quad (4-12)$$

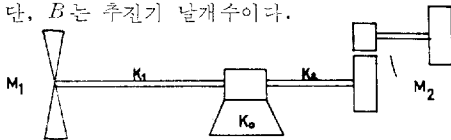
단, E : 축재의 인장탄성계수 (kg/cm²), i : 추진기 축 단면의 직경의 관한 관성모우멘트 (cm⁴), μ : 축의 단위 길이당 질량 (kg-cm⁻¹-sec²/cm), $\frac{W_p'}{g}$: 추진기의 공기 중에서의 질량에 부가질량으로서 전자의 25%를 가산한 값 (kg-cm⁻¹-sec²), b, l 는 차례로 추진기와 추진기축 후단 베어링사이 및 추진기축 후단베어링으로부터 그 앞 첫 베어링까지의 거리 (cm)인데 l 를 산정한 단면을 기준으로 한 등가길이라야 한다. 또 I_x 는 추진기의 직경에 관한 질량관성모우멘트 (kg-cm-sec²)인데 공기중에서의 값이다 그것의 60%를 부가질량분으로 가산한 값이다.

다. 종진동

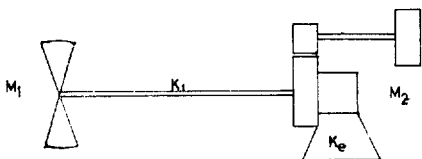
메인·스러스트·베어링의 위치에 따라 두가지 유형으로 구분하며, 각기 등가 2자유도계로 해서 (그림 4-2 참조) 고유원진동수 ω 를 계산한다. 추진기축의 위험속도 (rpm)_p 는

$$(rpmc)_p = \frac{60\omega}{2\pi B} \quad (4-13)$$

단, B 는 추진기 날개수이다.



(a) thrust bearing aft of the gear



(b) thrust bearing located in the gear or engine

그림 4-2 종진동계 (2자유도)

(1) 메인·스러스트·베어링이 감속치차 뒤에 떨어져 있는 경우 (그림 4-2a)

고유 원진동수 ω 는 다음 방정식의 근이다.

$$\omega^4 - \omega^2 \left\{ \frac{m_1 k_2 (k_0 + k_1) + m_2 k_1 (k_0 + k_2)}{m_1 m_2 (k_0 + k_1 + k_2)} \right\} + \frac{k_0 k_1 k_2}{m_1 m_2 (k_0 + k_1 + k_2)} = 0 \quad (4-14)$$

단, m_1 : 추진기 질량 (부가질량 60% 가산)과 k_1 축질량의 1/2의 합 (kg-cm⁻¹-sec², 이하 같음), m_2 : 감속치차의 질량, k_2 축 질량의 1/2과 기관의 회전질량 (치차와 기관 사이에 spline 축이 있으면 제외)의 합, k 는 종진동이 대한 스프링상수 (kg/cm)인데, k_1, k_2 는 축에 대한 것이고 k_0 는 스러스트베어링 k_{ts} 과 베어링기초 k_{tr} 를 직렬조합으로 생각한 값이다.

(2) 메인·스러스트·베어링이 감속치차장치 또는 주기판속에 위치한 경우 (그림 4-2b)

이 경우의 ω 는

$$\omega^4 - \omega^2 \left(\frac{k_1}{m_1} + \frac{k_1 + k_e}{m_2} \right) - \frac{m_1 m_2}{k_1 k_e} = 0 \quad (4-15)$$

의 근이다.

단, m_1, k_1 은 위에서와 같고, m_2 는 치차와 기관의 회전질량, 복수기의 습 질량, 기관기초의 질량의 1/4과 k_1 축질량의 1/2의 합이다. k_e 는 스러스트 베어링 k_{ts} 과 베어링·치차·기관의 기초 k_{tr} 를 직렬조합으로 생각한 값이다.

위험속도, 진폭 등의 모든 계산에서 부가질량은 프로그램 내에서 가산되며, 또 축에 대해서는 추진기축의 단면을 기준으로 한 등가길이가 입력되어 스프링상수는 프로그램 내에서 산정된다. 다만, 다 (종진동) (1)항의 k_2 축에 대해서는 추진기축과 다른 축경 및 그에 대한 등가길이가 입력될 수도 있게 했다.

4.3. 입력자료 및 출력자료

계산에 필요한 입력자료, 출력자료 및 그들의 프로그램 내에서의 변수명은 표 4-2와 같다.

4.4. 설계 참고자료

1. 입력 참고자료

문헌 [12]에 권고된 적정안전계수 K_1 는 표 4-1과 같다. 또 동적안전계수 k_d 의 값은 보통선박에서 1축 때 $k_d=3.0$, 2축 이상일 때 $k_d=2.0$. 또 잠수함에서는 1축 때 $k_d=1.0$, 2축 이상일 때 $k_d=2.0$ 을 권고하고 있다.

응력집중계수는 힘에 대해서는 keyway가 적정히 설계되었으면 $k_s \approx 1.0$, 비틀에 대해서는 그림 4-3의 의

표 4-1 안전계수

| 선박구분 | 잠수함 | | | |
|------|------|------|------|-------|
| | 보통선박 | 외빙선 | 1축선 | 2축 이상 |
| 추진기축 | 2.00 | 3.50 | 2.25 | 2.00 |
| 중간축 | 1.75 | 2.25 | 2.00 | 1.75 |

표 4-2 입출력자료, 변수명 등

| 자 | 료 | 단 | 위 | 변 | 수 | 명 | | 입, 출력 | | | 사용 프로그램 | | | 비 | 고 |
|---|---|------|---|-----|---------------------------------------|--------------------|----|--------------------|----|----|---------|------|------|---|---|
| | | | | | | 입 | 출 | SD | SD | SD | 09-1 | 09-2 | 09-3 | | |
| 선 | 속 | knot | | VS | | | | ○ | | | ○ | | | | |
| 속 | 당 | 속 | 마 | 력 | ps | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 추 | 회 | 전 | 수 | rpm | | | | ○ | | | ○ | ○ | ○ | | |
| 날 | 개 | 수 | | | | | | ○ | | | | | ○ | | |
| 공 | 기 | 중 | 무 | 계 | kg | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 공 | 기 | 중 | 질 | 량 | kg-cm ⁻¹ -sec ² | | | ○ | | | | | ○ | | |
| 추 | 에 | 관 | 한 | 질 | 량 | 관 | 성 | 모 | 우 | 멘 | 트 | | | ○ | |
| 모 | 우 | 멘 | 트 | · | 아 | 암 | | | | | ○ | ○ | | | |
| 추 | 진 | 효 | 율 | | cm | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 추 | 력 | 감 | 소 | 계 | | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 추 | 진 | 기 | 축 | 외 | 경 | cm | | ○ | ⊙ | ⊙ | ○ | ○ | ○ | | |
| | | | 내 | 경 | 경 | cm | | ○ | ⊙ | ⊙ | ○ | ○ | | | |
| | | | 축 | 경 | 비 | | | ○ | ⊙ | ⊙ | ○ | ⊙ | ○ | | |
| 안 | 전 | 계 | 수 | | | | | ○ | ⊙ | | ⊙ | | | | |
| 부 | 가 | 토 | 오 | 크 | 계 | 수 | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 등 | 적 | 안 | 전 | 계 | 수 | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 진 | 동 | 비 | 틀 | 응 | 력 | 계 | 수 | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 응 | 력 | 집 | 중 | 제 | 수, | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| | | | 비 | 틀 | | | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 추 | 인 | 장 | 항 | 복 | 점 | kg/cm ² | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| | 피 | 로 | 한 | 도 | 도 | kg/cm ² | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| | 인 | 장 | 탄 | 성 | 계 | 수 | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| | 전 | 단 | 탄 | 성 | 계 | 수 | | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 추 | 진 | 축 | 등 | 가 | 길 | 이* | cm | ○ | | | ○ | ○ | | | |
| 정 | 적 | 출 | 력 | 시 | 평 | 균 | 토 | 오 | 크 | | ○ | ○ | | | |
| 정 | 적 | 출 | 력 | 시 | 추 | 력 | kg | | | | ○ | ○ | | | |
| 정 | 상 | 압 | 축 | 응 | 력 | kg/cm ² | | | | | ○ | ○ | | | |
| 정 | 상 | 전 | 단 | 응 | 력 | kg/cm ² | | | | | ○ | ○ | | | |
| 진 | 동 | 휨 | 응 | 력 | kg/cm ² | | | | | | ○ | ○ | | | |
| | | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | |
| 진 | 등 | 전 | 단 | 응 | 력 | kg/cm ² | | | | | ○ | ○ | | | |
| | | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | |
| | | | | | | | | | | | ○ | ○ | | | |
| 정 | 상 | 최 | 대 | 전 | 단 | 응 | 력 | kg/cm ² | | | ○ | ○ | | | |
| 진 | 동 | 최 | 대 | 전 | 단 | 응 | 력 | kg/cm ² | | | ○ | ○ | | | |
| 기 | 진 | 원 | | | | | | | | | ○ | ○ | | | |
| 주 | 기 | 판 | 기 | 진 | | | | | | | ○ | ○ | | | |
| 추 | 진 | 기 | 기 | 진 | | | | | | | ○ | ○ | | | |
| 스 | 러 | 스트 | 베 | 어 | 링 | 위 | 치 | | | | | | ○ | | |
| 감 | 속 | 치 | 차 | 뒤 | | | | | | | | | ○ | | |
| 감 | 속 | 장 | 치 | 내 | | | | | | | | | ○ | | |
| 스 | 플 | 라 | 인 | 축 | 유 | 무 | | | | | | | ○ | | |
| | | | | | | | | | | | | | ○ | | |
| 추 | 진 | 기 | 진 | 토 | 오 | 크 | 의 | 비 | 율 | | | | ○ | | |
| 감 | 속 | 치 | 차 | 비 | | | | | | | | | ○ | | |
| 주 | 기 | 관 | | | | | | | | | | | ○ | | |

*그림 4-1 2 자유도 계 참조(추진기축 기준)

○ EXTYP=PRO 때만
○ EXTYP=ENG 때만

| | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------|---|---|--|---|--|
| 회 전 질 량 | kg-cm ⁻¹ sec ² | ENGM | ○ | | | ○ | |
| 축에 관한 질량관성모멘트 | kg-cm-sec ² | EIM | ○ | | | ○ | |
| 1회 전 당 착 화 수 | | FPRE | ○ | | | ○ | EXTYP=ENG때만 |
| 정 격 회 전 수 | rpm | RPMER | ○ | | | ○ | EXTYP=ENG때만 |
| 기 계 적 효 율 | | MCEFE | ○ | | | ○ | EXTYP=ENG때만 |
| 도시 평균 압 력 (정 격) | kg/cm ² | MIPR | ○ | | | ○ | EXTYP=ENG때만 |
| 기 진 토 오 르 의 비 율 | | ETQA | ○ | | | ○ | EXTYP=ENG때만 |
| 추 진 축 의 비 똥 강 성 | kg-cm/rad | KK | ○ | | | ○ | |
| 비 똥 진 동 응 력 | kg/cm ² | SSA | | ○ | | ○ | |
| 추진축의추진기단부비똥진폭 | rad | PROAM | | ○ | | ○ | |
| 추진축의 힘속도 | rpm | RPMPC | | ○ | | ○ | |
| 엔진위 힘속도 | rpm | RPMEC | | ○ | | ○ | |
| 선미베어링과 추진기간 거리 | cm | SLBPB | ○ | | | ○ | |
| 그앞베어링간거리 | cm | SLBFS | ○ | | | ○ | 추진기축 축, SOD SDR 기준 |
| 축의 단 위 길 이 당 질 량 | kg-cm ⁻¹ sec ² | SMPC | ○ | | | ○ | |
| 추진기축단면의관성모멘트 | cm ⁴ | SIX | | ○ | | ○ | |
| 회 전 등 위 힘 속 도 | cpm | FREQ | | ○ | | ○ | |
| 감 속 처 차 질 량 | kg-cm ⁻¹ sec ² | REGM | ○ | | | ○ | |
| 추진기와 스크스트 베어링간 | | | | | | | |
| 축 질 량 | kg-cm ⁻¹ sec ² | SMPTB | ○ | | | ○ | 가급적 추진기축 기준 축, SOD1 =SOD, SDR1 =SDR |
| 축 의 경 경 | cm | SOD1 | ○ | | | ○ | |
| 축 경 비 | | SDR1 | ○ | | | ○ | |
| 축 질 이 | cm | SLPTB | ○ | | | ○ | |
| 스크스트 베어링과 처차간 | | | | | | | |
| 축 질 량 | kg-cm ⁻¹ sec ² | SMTBG | ○ | | | ○ | TBTYP=AFT때만 TBTYP=AFT때만 TPTYP=AFT때만 TBTYP=AFT때만 |
| 축 의 경 경 | cm | SOD2 | ○ | | | ○ | |
| 축 경 비 | | SDR2 | ○ | | | ○ | |
| 축 질 이 | | SLTBG | ○ | | | ○ | |
| 추진기와 물기어간 | | | | | | | |
| 축 질 량 | | SMPBG | ○ | | | ○ | TBTYP=LOC때만 TBTYP=LOC때만 SOD1, SDR1 기준 TPTYP=LOC때만 |
| 축 질 이 | cm | SLPBG | ○ | | | ○ | |
| 기관기어의 질 량 | kg-cm ⁻¹ sec ² | ENFDM | ○ | | | ○ | |
| 복수기의 습 질 량 | kg-cm ⁻¹ sec ² | WCDM | ○ | | | ○ | TBTYP=LOC때만 |
| 그림 4-2의 k ₁ | kg/cm | KK1 | | ○ | | ○ | |
| k ₂ | kg/cm | KK2 | | ○ | | ○ | TBTYP=AFT때만 |
| k ₀ , k _c | kg/cm | SFTBF | ○ | | | ○ | |

한 것이 권고되어 있다. 여러가지 축재에 대한 기계적 성질의 기준은 표 4-3과 같다.

부가토오르계수 α 는 0.1~0.2 정도인데 터빈선에서 0.2, 디젤선에서 0.1 정도를 취하는 것이 타당하다. 정격출력에서의 진동비틀응력계수 k_1 은 기본위험속도가 정격회전수의 80~120% 범위내에 있지 않으면 $k_1=0.05\sim 0.25$ [14]이다. 특히 터빈선에서 위험속도가 정격회전수의 50~115% 범위 바깥에 있을 경우 $k_1=0.05$ 로 취해도 무방하다[12]. 그러나 이 값은 유사선의 실측자료를 참고로 하는 것이 가장 좋겠다.

기진토오르의 평균토오르에 대한 비축, Q_p 와 Q_c

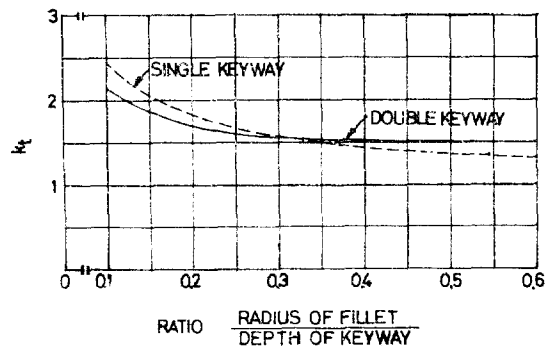


그림 4-3 Keyway 응력집중계수(비똥)

표 4-3 축재(軸材)의 기계적 성질

| Material | E (kg/cm ²) | G (kg/cm ²) | Tensile Strength (kg/cm ²) | Yield Strength (kg/cm ²) | Tensile Limit (in Air) (kg/cm ²) |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--------------------------------------|--|
| Steel | ×10 ³ | ×10 ³ | | | |
| Alloy No.2 | 2,038.7 | 829.5 | 8,436 | 7,382 | 4,218 |
| No.4 | 2,038.7 | 829.5 | 8,436 | 7,030 | 4,218 |
| Class An (Mo-Va) | 2,038.7 | 836.6 | 5,624 | 3,164 | 2,812 |
| An (2.75Ni) | 2,038.7 | 822.5 | 5,624 | 3,164 | 2,812 |
| Class B | 2,038.7 | 836.6 | 4,218 | 2,109 | 1,898 |
| Class Ba | 2,038.7 | 836.6 | 5,273 | 2,812 | 2,390 |
| Class Hg | 2,038.7 | 815.5 | 6,679 | 4,570 | 3,339 |
| Monel (Ni-Cu alloy) | | | | | |
| 1.27 cm to 8.89 cm dia. | 1,827.8 | 667.9 | 6,116 | 4,218 | 2,636 |
| over 8.89 cm to 10.16 cm dia. | 1,827.8 | 667.9 | 5,905 | 3,867 | 2,531 |
| K-Monel | 1,827.8 | 667.9 | 9,842 | 7,030 | 3,515 |
| Aluminum bronze | | | | | |
| 1.27 cm to 2.54 cm dia. | 1,124.8 | 506.2 | 7,382 | 3,867 | 2,461 |
| over 2.54 cm to 50.8 cm dia. | 1,124.8 | 506.2 | 7,382 | 3,515 | 2,461 |
| over 50.8 cm to 76.2 cm dia. | 1,124.8 | 506.2 | 6,679 | 3,164 | 2,109 |
| over 76.2 cm dia. | 1,124.8 | 506.2 | 5,976 | 2,988 | 1,828 |
| Naval brass | | | | | |
| up to 2.54 cm dia. | 913.9 | 351.5 | 4,218 | 1,898 | 1,617 |
| 2.54 cm to 50.8 cm dia. | 913.9 | 351.5 | 4,007 | 1,828 | 1,547 |
| over 10.16 cm dia. | 913.9 | 351.5 | 3,796 | 1,406 | 1,476 |

에 대해서는 표 4-4[16]와 표 4-5[12]를 참고하기 바란다.

디젤기관의 기계적 효율은 2행정기관이 0.82~0.85, 중속 4행정기관이 0.75~0.80, 저속 4행정기관이 0.75~0.84 정도이다.

표 4-4 프로펠라 기진토오크의 비율 Q_p

| 축구분 | 추진기 날개수 | | |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| | 3 | 4 | 5 |
| 1 축 선 | 0.07~0.12 | 0.10~0.15 | 0.06~0.10 |
| 2 축선(부싱) | 0.04~0.08 | 0.04~0.06 | 0.04~0.05 |
| 2 축선(스트러트) | 0.02~0.05 | 0.02~0.05 | 0.02~0.05 |

표 4-5 엔진(디젤)기진토오크의 비 Q_e

| n | Q _e | n | Q _e | n | Q _e |
|-------|----------------|-------|----------------|--------|----------------|
| 2 | 1.60 | 5 1/2 | 0.25 | 9 | 0.05 |
| 2 1/2 | 1.30 | 6 | 0.18 | 9 1/2 | 0.04 |
| 3 | 1.10 | 6 1/2 | 0.14 | 10 | 0.035 |
| 3 1/2 | 0.90 | 7 | 0.11 | 10 1/2 | 0.03 |
| 4 | 0.65 | 7 1/2 | 0.09 | 11 | 0.025 |
| 4 1/2 | 0.45 | 8 | 0.07 | 11 1/2 | 0.02 |
| 5 | 0.35 | 8 1/2 | 0.06 | 12 | 0.015 |

(n : 1회전당 착화회수)

추진기의 무게(공기중) W_p(kg) 약산식은

$$W_p = (PS)^{0.39} \times D^2 \times Y \times \alpha \tag{i}$$

단, D : 직경 (m), PS : 정격출마력, Y : 일체식 추진기에서 15.0, 조립식에서 17.75, α : 고장력황동주물 1.00, 주강 0.95, Ni-Al 청동주물 0.84이다. 한편, 추진기의 축에 관한 질량관성모우먼트(공기중)

$$I_p = \frac{W_p}{g} R^2 \tag{j}$$

에서, R ≈ (0.20~0.21) D 를 취하면 비교적 좋은 근사치가 얻어진다.

비틀진동의 계산입력에서 초기설계단계에서 특히 터어빈선의 경우 엔진의 질량관성모우먼트를 산정하기 곤란할 때가 많다. 이러한 경우에 [16]에 의하면 기본 위험속도는 추진축의 스프링상수를 4% 증가시켜 1자유도계로 추정할 것을 권고하고 있는데, 이를 2자유도계로 역산하면

$$I_e \approx 30 I_p \tag{k}$$

와 대응한다. 따라서 이 계산프로그램에서 I_e 값이 불명인 경우 상기 근사치를 입력시킬 것을 권한다. 위험속도계산에 관련해서는 전체적으로 축의 강성 대신 축의 축경 길이, G, E 등이 입력되게 되어 있다. 이것이 전체 계산을 흐름을 평의하게 한다고 판단되었기 때문이다. 그리하여 해당 진동형에 대한 축의 스프링상수는 프로그램 내에서 계산되며 또 출력되도록 했다. 따

다시 축의 길이에 관한 입력자료작성요령을 설명해 둘 필요가 있다.

비틀진동계산에서는 추진기축의 단면 형상(D,n)을 기준으로 한 2자유도계 등가길이 SOL이 입력된다. 따라서 직경 D_i , 축경비 n_i 인 축의 길이 l_i 는 등가길이

$$l_{eq} = \left(\frac{1-n^4}{1-n_i^4} \right) \left(\frac{D}{D_i} \right)^4 l_i \left(\frac{1}{r_i^2} \right) \quad (l)$$

로 환산하여 추진기축의 길이에 가산한다. 단, r_i 는 추진기축을 기준으로 한 속도비이다.

휘둘림위험속도의 계산을 위한 입력자료 SLBPB, SLBFS, SMPC도 추진기축을 기준으로 한 값이다. 따라서 실축(D_i, n_i)의 길이 l_i 는 등가길이

$$l_{eq} = \left(\frac{1-n^4}{1-n_i^4} \right) \left(\frac{D}{D_i} \right)^4 l_i \quad (m)$$

로 환산한다.

중진동에 대한 입력자료인 SLPTB와 SLPBG는 같은 축 즉, SOD1 및 SDR1을 기준으로 하되, 특별한 이유가 없는 한 추진기축을 기준으로 하여 SOD1=SOD, SDR1=SDR로 할 것을 권한다. 이 경우의 등가길이 환산은 다음과 같다.

$$l_{eq} = \left(\frac{1-n^2}{1-n_i^2} \right) \left(\frac{D}{D_i} \right)^2 l_i \quad (n)$$

2. 적정 베어링 간격

베어링 간격의 결정은 강도와 얼라인먼트의 두 전지에서 결정하여야 하는데, Lehr와 Parker[14]는 이 문제에 관한 종합연구결과 표 4-6과 같은 적정 최소베어링 간격을 제의했다. 이 표는 실축 축경을 기준으로 한 것인데 중공축(외경 : D_0 , 축경비 : n)의 실축으로의 개략적 환산은 $D \approx D_0(1-n^4)^{1/3}$ 으로 가할 것이다.

표 4-6 적정 최소 베어링 간격

(a) 실축 축경 $D=10.0'' \sim 16.0''$

| 베어링스팬수 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| L_{ms}/D | 18 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| L_{ns}/D | 36 | 42 | 56 | 70 | 84 | 98 | 112 | 126 | 140 |

(b) 실축축경 $D > 16''$

| 베어링스팬수 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| L_{ms}/D | 18 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| L_{ns}/D | 32 | 36 | 48 | 60 | 72 | 84 | 94 | 108 | 120 |

L_{ms} : 스패의 최소길이

L_{ns} : 치차 직후 베어링으로부터 선미관 베어링까지의 길이

3. 출력 평가

축경에 대해서 직경 153 mm 정도까지는 실축으로, 그

이상은 중공축으로 하되 축경비는 $n \approx \frac{2}{3}$ 가 일반적이다.

축경결정에 있어서 명심할 일은 안전계수와는 별도로 추진기축 keyway 단부 또는 선미베어링 후단부에서의 휨응력이

$$(k_b \cdot \sigma_b) \leq 422 \text{ kg/cm}^2$$

일 것이 피로파괴전지에서 바람직한 것으로 제외되어 있는 점이다[2].

위험속도에 관하여서는 정격 rpm를 기준으로 하여, 비틀진동에 대하여는 기본위험속도가 바람직하게는 50~120% 사이, 최소한 80~120% 사이에는 존재치 않을 것이 요망되고, 중진동의 경우에는 (4-14), (4-15)식으로 산정한 값들이 50% 이하 또는 120% 이상에 있으면 무방한 것으로 생각한다. 횡진동 즉, 휘둘림에 대해서는 일차적으로는 추진기축의 기본진동수 즉, 축회전수 자체와의 공진을 피하는 것이 중요하나, 반류분포에 기인한 추진기익 진동수(rpm×날개수)와 공진가능성 여부도 중요하다. 선박의 조건에 따라서 후자도 검토해야 한다. 이 문제에 관한 자세한 논의는 문헌 [13, 15, 16]을 참조해 주기 바란다.

추진기의 각종 진동형에 대한 부가질량의 보다 정확한 추정방법은 [17]에 상론되어 있다. 그 영향이 크므로 가급적 정확히 추정할 것이 바람직하나, [17]의 산정법은 초기설계에서는 사용이 어려울만큼 구체적이므로 spiral design procedure의 후반에서 세밀한 진동 해석을 할 때 사용할 것을 권한다.

4.5. 맺는 말

기본방침에서 밝힌 바와 같이, 이 계산프로그램은 기본설계용인데, 그 목적을 위해서는 친절을 기했다고 믿는다.

계산과정에 6차 및 4차 대수방정식의 근을 구하는 일 이외에는 어려운 계산이 없다.

본 프로그램 중 위험속도 계산용인 SD 09-3에 관련해서는 system parameter들이 모두 확정된 단계에서의 정밀한 진동해석을 목적으로 하는 계산프로그램들이 각 진동형에 대하여 따로 마련되어야 할 것임을 부연해 둔다.

5. 선체구조의 주요 부재치수의 계산프로그램(SD 10)

5.1. 기본방침

선박의 구조부재들은 상호간에 밀접한 관계가 있을 뿐 아니라 설계자가 경험을 토대로 하여 직관적으로 결정해야 할 요소가 대단히 많다. 특히 이들 중에는 수종의 구조부재가 동시에 결정되어야 하는 경우와 한 부재의 치수가 그에 선행하여 결정하여진 다른 부재치

수에 의하여 결정되는 경우, 그리고 다른 부재와 관련 없이 결정할 수 있는 경우들로 나누어 볼 수 있다. 뿐만 아니라 선박의 길이방향의 위치와 용도 그리고 선체구조의 구조방식 등에 의하여 이들의 상관관계 및 치수의 결정방식에 차이를 갖게 된다. 따라서 선체구조를 하나의 프로그램으로 완전히 계산하는 것은 불가능하다고 믿어진다.

따라서 프로그램의 개발은 선박의 구조를 대표하고 있다고 볼 수 있는 중앙단면을 생각하고 중앙단면에 보편적으로 포함되는 부재를 주요 부재로 취급하여 이의 치수결정을 위한 프로그램의 작성에 착안하였다.

프로그램작성의 기준은 1972년도에 제정된 한국선급협회의 “강선구조 및 선급에 관한 규칙”[21]에 의하였으며 비교적 설계자의 직관적 판단이 요구되지 않는 부재들을 종합하여 계산하는 다음의 프로그램들을 작성했다.

- (1) 단저구조 계산프로그램 (SD 10-1)
- (2) 이중저구조 계산 프로그램 (SD 10-2)
- (3) 누골 계산프로그램 (SD 10-3)
- (4) 비임 계산프로그램 (SD 10-4)
- (5) 필라 및 갑판하 거더어 계산프로그램 (SD 10-5)
- (6) 평판용골 및 외판 계산프로그램 (SD 10-6)
- (7) 갑판 계산프로그램 (SD 10-7)

위의 모든 프로그램들은 계산 빈도수가 큰 부분과 동일 종류에 속하는 계산 부분들을 가급적 별도의 프로그램화하여 이를 서브 루우틴(sub-routine)으로 사용함으로써 프로그램을 간략화하도록 하였다. 이와 같이 서브 루우틴(sub-routine)화된 프로그램들은 다음과 같다.

- (1) KS 규격에 의한 표준 강판 두께 결정을 위한 프로그램 (STPLT)
- (2) 표준폭을 결정하기 위한 프로그램 (STPLB)
- (3) 하한치를 갖는 경우에 판의 두께를 결정하기 위한 프로그램 (PTMIN)
- (4) 상한치를 갖는 경우에 판의 두께를 결정하기 위한 프로그램 (PTMAX)
- (5) 캔틸리버 비임의 단면을 계산하기 위한 프로그램 (SACNT)
- (6) 캔틸리버 비임의 웹(web)의 두께를 계산하기 위한 프로그램 (TCNTB)
- (7) 계산하는 선박의 주요제원을 출력으로 받기 위한 프로그램 (HEAD)

선박의 중강도에 의한 중앙단면부재의 치수 수정은 1972년 과학기술처의 연구개발사업으로 개발된 “선체구조의 단면계수 계산 프로그램 (SD 06)”에 의하여 계산하여 실시하도록 한다.

5.2. 계산 방법

1. 계산 과정

전술한 바의 각 프로그램들을 사용하여 각각의 부재에 따라 별도로 입력하여 계산을 실시한다.

2. 사용상의 주의

(1) “강선구조 및 선급에 관한 규칙”의 제 4장 제 101조에 적용되지 않는 선박의 구조부재의 계산에 있어서는 사용할 수 없다.

(2) 모든 입력자료는 “강선구조 및 선급에 관한 규칙”에 준하여 미터법으로 작성하여야 한다.

6. 결 언

선박설계에 관련된 컴퓨터 프로그램개발사업의 제 2차연도 사업으로서 초기설계의 단계를 넘어 구조설계, 추진축계설계 등에 관한 프로그램도 개발되어 1차연도에 비해서 점차로 다양화되어 가고 있다.

목적운반선의 건현계산 (SD 07), 추진축계설계 (SD 09), 선체구조의 주요 부재치수의 계산 (SD 10) 등은 상선설계를 담당하고 있는 조선소, 설계용역회사를 위시한 각종 상선설계기관과 한국선급협회 등에서 활용할 수 있을 것이며, 운동성능계산 (SD 08) 및 추진축계설계 (SD 09) 프로그램 등은 연구목적 및 합정 등 특수선의 설계에도 활용 될 수 있다.

설계프로그램은 학문과 기술의 발달에 따라서 그 내용이 쇄신되어야 하며, 또 많이 활용되는 가운데 점차적으로 적용범위가 넓혀지고, 계산시간이 단축되어 가며 또 고도의 것으로 발전되어 갈 수 있는 것이다. 이러한 점으로 볼 때, 아직 미숙한 점이 많은 본 프로그램을 가급적 많이 활용하여 보다 나은 프로그램으로 만들어 주기 바란다.

2차연도까지 개발한 선박설계 관계 프로그램은 선박설계를 위해서 필요한 무수한 프로그램 중의 극히 일부에 지나지 않는다. 계속하여 우수한 많은 프로그램이 국내에서 개발되어 1980년대에 선박수출 연간 10억불을 지향하고 있는 한국 조선계에 크게 공헌할 수 있게 되어 주기를 바란다.

끝으로, 이들 계산 프로그램의 개발은 서울대 대학원생 이기표, 유병진, 송준태, 양영순군과 중대 4학년생 김두균군 등의 헌신적 노력에 힘입은 결과임을 부언해 둔다.

참고 문헌

- [1] 黃宗屹 外, “電子計算機에 의한 造船設計法開發에 관한 研究”, 科學技術處報文 R-72-9, 1972.
- [2] 任尙鍊 外, 主同, 科學技術處報文 R-73-13, 1973.
- [3] “*International Convention on Load Lines*”, 1966
- [4] Lewis, F.M., “The Inertia of the Water Surrounding a Vibrating Ship”, *Trans. SNAME*, Vol. 37, 1929.
- [5] Kim, K.C., “Added Mass for both Vertical and Horizontal Vibration of Two-Dimensional Cylinders of Curvilinear-Element Sections with Chines in a Free Surface”, 大韓造船學會誌, 第6卷, 第1號, 1969.
- [6] Ursell, F., “On the Heaving Motion of a Circular Cylinder on the Surface of a Fluid”, *Q.J.M. and A.M.*, vol II, 1949.
- [7] 田才福造, “船の上下動搖ならびに縱動搖における減衰力 および 附加質量について”, 造船協會論文集, 第105號, 1959年 7月.
- [8] Hwang, J.H. and Kim, Y.H., “On the Added Mass and Damping of Chine Section in Heaving Oscillation”, 大韓造船學會誌, 第10卷, 第1號, 1973.
- [9] 田才福造, 高木文男, “規則波中の 應答理論および計算法” 耐航性に関する シンポジウム, 日本造船學會, 1969.
- [10] von Kerczek, C. and Tuck, E.O., “The Representation of Ship Hulls by Conformal Mapping Functions”, *J. of Ship Research*, Vol. 13, No.4, 1969.
- [11] Soderberg, C.R. “Working Stress”, *Trans. ASME*, Vol. 55, 1933.
- [12] Bureau of Ships, “*Propulsion Shafting—DDS 4301*”, Dept. of the U.S. Navy, 1960.
- [13] Panagopolos, E., “Design-Stage Calculation of Torsional, Axial and Lateral Vibrations of Marine Shafting”, *Trans. SNAME*, Vol.58, 1950.
- [14] Lehr, N.E. and Parker, E.L., “Consideration in Design of Marine Propulsion Shafting System”, *Trans. SNAME*, Vol. 69, 1961.
- [15] Lewis, F.M., “*Dynamic Effects*”—Chapt. II of *Marine Engineering Vol II* edited by H.L. Seward, SNAME, 1955.
- [16] Long, C.L., “*Propellers, Shafting and Shafting System Vibration Analysis*”—Chapt. III of *Marine Engineering* edited by R.L. Harrington, SNAME, 1971.
- [17] Lewis, F.M. and Auslaender, J., “Virtual Inertia of Propellers”, *Journal of ship Research*, Vol. 3 No. 4, SNAME, Mar., 1960.
- [18] 金極天, 李在旭, “推進軸設計에 관한 各級船級協會規則의 比較研究”, 大韓造船學會誌, 第4卷, 第1號, 1967.
- [19] Gatewood, A.R., “Some Notes on Propeller Shaft Failure”, *Trans. SNAME*, Vol. 58, 1950.
- [20] Jasper, N.H. and Rupp, L.A., “An Experimental and Theoretical Investigation of Propeller Shaft Failures”, *Trans. of SNAME*, Vol. 60, 1952.
- [21] 韓國船級協會, “兩船構造 및 船級에 관한 規則”, 1972.
- [22] American Bureau of Shipping, “*Rules for Building and Classing Steel Vessels*”, 1973.