
 論 文

大韓造船學會誌
 第17卷 第1號 1980年 3月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 17, No. 1, March 1980

高速船 船體固有上下振動의 初期推定 方法

金 極 天* · 金 學 斌**

 A Method for the Preliminary Estimation of Vertical Natural
 Vibrations of High Speed Boats

K.C. Kim,* H.B. Kim**

Abstract

For the preliminary estimation of the vertical hull natural frequency, the Schlick's or Schlick-type formulae have been traditional ones and are still in common use today. Some investigators have made their efforts, based on statistical data of ships' system parameters, to extend the applicability of Schlick-type formulae to higher modes, or to utilize the Rayleigh method. For instance, the work done by Dinsenbacher et al. [5] belongs to the former and that of Nagamoto et al. [6] to the latter.

In a part of his previous paper [7], the author, investigating the case of a cargo ship of medium size, suggested that provided statistically simplified curves such as trapezoid of system parameter distributions are available in hands, direct utilization of an ordinary computer program can be also an another convenient method by which we can obtain both natural frequencies and normal mode shapes. In this paper, to confirm the feasibility of the above suggestion, four high speed boats are investigated. The system parameters of them are originally given in [5]. The computer program used here is one compiled based on a calculation method derived from Myklestad-Prohl modelling of hull, transfer matrix formulation and an extended Gumbel's initial value method for solving frequency equation.

The results of the investigation show that the direct calculation based on statistically oriented and reasonably assumed trapezoidal mean curves of system parameter distributions can give us natural frequencies within about 5% deviation up to several-noded modes and normal mode shapes serviceable at least up to 4- or 5-noded modes in comparison with those based on actual distributions of system parameters. For this simplified method the actual data required for input are only of ship length, displacement, total added mass, bending and shear rigidity at amidship. They are available at the early stage of design. By this method we can also easily trace variations of vibration characteristics in the course of ship design cycles.

 接受日字：1980年 3月 1日

* 正會員, 서울大學校 工科大学, ** 正會員, 서울大學校 大學院

1. 序 言

船體振動解析에 있어서 Timoshenko보 이론에 의거한 여러가지 計算方法들은 꽤 좋은 결과를 주고 있으며, 종래의 5~6次 以上 高次振動型에 대한 精度上的問題點도 近年에 이르러 系를 船體主殼과 二重底, 船樓 또는 推進軸系등의 連成系로 다루므로써 克服되어 가고 있다[1, 2, 3]*.

그런데, 船舶設計過程에서 이들 計算方法을 運用하는데 있어서 한가지 難點은 重量, 附加質量, 剛性, 廻轉慣性등 系의 振動特性值(system parameters)들의 分布가 設計 最終段階에 이르러서야 精確히 算定될 수 있기 때문에 設計初期의 一次的 防振計劃에는 도움을 못주는 點이다. 따라서 設計初期에는 아직도 Schlick式 類型의 推定式들[4]이 이용되는 실정인데, 이 方法의 未洽點은 2, 3次 以上의 振動型에 대하여서 적용이 어렵고 또 固有振動波形은 알 수 없으므로 起振力에 대한 應答크기를 豫測하는데 도움을 못주는 點이다.

이와 같은 點을 補完하기 위한 固有振動 初期推定方法이 꾸준히 模索되어 오고 있는데, 이에는 振動特性值分布에 대한 實船 資料를 收合하여 이를 바탕으로 해서 (1) Schlick型推定式을 高次振動型까지 擴張한다던가[5], (2) Rayleigh方法의 應用[6], 또는 (3) 序頭에서 言及한 計算方法에 따른 正常的 電算프로그램의 活用을 위한 考案[7]등이 試圖되는 흐름이다.

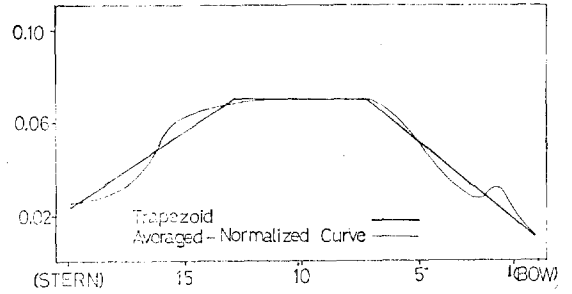
著者는 앞서 발표한 報文[7]에서 20,000~100,000噸級의 油槽船, 鑛石 또는 搬貨運搬船에 대하여 振動特性值分布에 관한 統計的 資料로부터 얻은 사다리꼴分布近似가 上記 (3)의 方法에 의한 初期推定에 實用性이 있음을 主張한바 있다. 이 報文에서는 高速艦船을 對象으로 하여 같은 方法의 有用性을 檢證하였다.

2. 對象船 및 振動特性值分布 資料

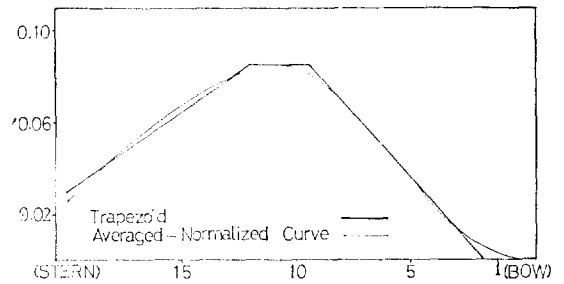
Dinsenbacher등[5]은 高速艦船을 對象으로 하여 Schlick型 推定式의 擴張을 考案하는 과정에서 驅逐艦 類型船 大小 12隻의 振動特性值를 收合하여 이로부터 正規化平均分布值表를 마련한바 있다. 또 同報文에는 Table 1과 같은 4隻의 배의 振動特性值 實際分布 값들도 주어져 있다.

著者는 上記 正規化平均分布를 다시 사다리꼴 分布로 近似시켜가자고(Fig. 1 參照), Table 1의 4隻의 배를 對象으로하여 實際分布, 正規化 平均分布 및 사다리꼴 分布의 세 경우에 대하여 固有振動數 및 振動波

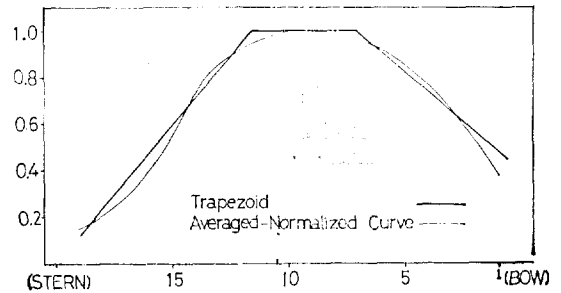
* [] 內數字는 本文末尾에 紹介한 參考文獻의 番號임



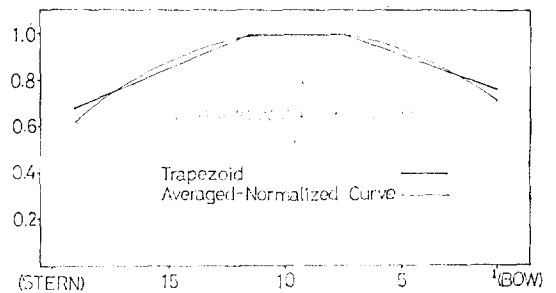
(a) hull weight



(b) added mass



(c) bending rigidity



(d) shear rigidity

Fig. 1. Simplified distributions of system parameters.

Table 1. Ships for which comparison-purpose calculations were done.

Ship	Displacement (ton)	Length (ft)	Breadth (ft)	Draft (ft)	Power (shp) / (no. of shaft)	Speed (knot)
A	7,930	547	54.8	28.8	85,000(2)	34
B	4,100	438	46.75	24.75	35,000(1)	27
C	1,900	314.5	36.8	13.6	20,000(1)	25
D	4,050	418.4	45.2	20.0	70,000(2)	33

形을 計算하여 比較 檢討하였다. 이는 序言에서 言及 하였드시 固有振動의 初期推定에 있어서 振動特性值에 대한 統計의 簡略化 分布曲線을 바탕으로 한 正常電算 프로그램에 의한 計算이 有用한가를 가리기 위한 한 數值實驗的 比較 檢討이다. 이 比較 計算에서 高速船은 細長船型임을 고려하여 廻轉慣性은 無視했다.

3. 計算方法

計算에 사용된 電算 프로그램은 著者등이 앞서 作成 했던 것[8]인데, 이 電算 프로그램 作成의 基幹은 Myklestad-Prohl 方法에 따른 modelling, 傳達マト릭스法에 의한 定式化 및 振動數方程式 解法에 대한 未定係數를 導入한 Gumbel 初期值法의 援用으로 要約된다.

船體를 길이 方向으로 n個의 要素로 分割하고, 各分割要素의 附加質量을 包含한 質量 m, 附加水慣性을 包含한 廻轉慣性 Imz', 隣接分割要素의 質量中心間의 距離 h, 굽힘剛性 C₁=EI, 剪斷剛性 C₂=KAG 등을 算定한다. 各分割要素를 그 質量中心에 位置하는 等價集中質量으로 置換하고 隣接集中質量은 길이 h인 彈性線分으로 연결된 것으로 간주한다. 分割要素數 n를 充分히 크게 하면 系の 兩端集中質量의 바깥쪽 彈性線分 h₁ 및 h_{n+1}은 無視할 수 있다.

左端으로부터 番號를 붙여갈 경우, 系の 基本構成要素는 左端에 慣性特性值 m_{k-1} 및 (Imz')_{k-1}인 集中質量을 가진 彈性線分 h_k이며 이 彈性線分の 剛性は C_{1,k} 및 C_{2,k}이다. 系の 右端에서는 h_{n+1}=0로 취하므로 n 번째 質量要素만 남게 된다. 質量要素位置에서의 狀態量 벡터를}

$$Y = [y \ y' \ B \ Q \ M_B]^T \tag{1}$$

로 定義하자. 但, y는 振動變位, y'B는 彈性線分の 굽힘 기울기, Q는 剪斷力, M_B는 굽힘 모우먼트이다. (k-1)번째 基本構成要素의 傳達에 트릭스를 A_k, (k-1) 번째 質量要素의 左側 狀態量 벡터를 Y_{k-1}^L, k번째 質量要素의 左側 狀態量 벡터를 Y_k^L, 固有圓振動數를 ω로表記하면 다음과 같은 關係식이 성립한다.

$$Y_k^L = A_k Y_{k-1}^L \tag{2}$$

$$A_k = \begin{pmatrix} 1 - \omega^2 m_{k-1} \left(\frac{h_k}{C_{2,k}} - \frac{h_k^3}{6C_{1,k}} \right), & -h_k + \omega^2 (Imz')_{k-1} \frac{h_k^2}{2C_{1,k}} \\ -\omega^2 m_{k-1} \frac{h_k^2}{2C_{1,k}}, & 1 - \omega^2 (Imz')_{k-1} \frac{h_k}{C_{1,k}} \\ \omega^2 m_{k-1}, & 0 \\ \omega^2 m_{k-1} h_k, & \omega^2 (Imz')_{k-1} \\ -\frac{h_k}{C_{2,k}} + \frac{h_k^3}{6C_{1,k}}, & \frac{h_k^2}{2C_{1,k}} \\ -\frac{h_k^2}{2C_{1,k}}, & -\frac{h_k}{C_{1,k}} \\ 1, & 0 \\ h_k, & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

(k=2, 3, …, n)

따라서 系の 左端으로부터 計算을 移行하여갈 경우 Y_k^L는 系の 左端의 狀態量 벡터 Y₁^L가 주어지면

$$Y_k^L = A_k A_{k-1} \dots A_2 Y_1^L = \Gamma_k Y_1^L, \quad (k=2, 3, \dots, n) \tag{4}$$

에 의하여 算定된다. 다만, 系の 右端 즉, n번째 質量要素의 右側 狀態量 벡터 Y_n^R는

$$Y_n^R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \omega^2 m_n & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \omega^2 (Imz')_n & 0 & 1 \end{pmatrix} A_n A_{n-1} \dots A_2 Y_1^L = \Gamma_{n+1} Y_1^L \tag{5}$$

이다.

船體固有上下振動의 경우 兩端境界條件式은

$$(Q)_{x=L} = (M_B)_{x=L} = 0 \tag{6}$$

이므로 l 次固有振動型에 대하여서

$$\begin{Bmatrix} y_l \\ y'_{Bl} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}^R = (\Gamma_{n+1})_{\omega=\omega_l} \cdot \begin{Bmatrix} y_l \\ y'_{Bl} \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}^L \tag{7}$$

이 만족되어야 한다. (7)에서

$$(\Gamma_{n+1})_{\omega=\omega_l} = [\gamma_{ij}] \tag{8}$$

로表記하면, 振動數方程式은 다음과 같이 歸着된다.

$$\begin{vmatrix} \gamma_{31} & \gamma_{32} \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} \end{vmatrix} = 0 \tag{9}$$

이제 ω_l에 對應하는 規準振動波形을 구하기 위하여서는 먼저 (y'_{Bl})_l을 구하여야 하는데, 이는 (8)로부터 얻어지는 代數方程式

$$\gamma_{31}(y)_{l1}^L + \gamma_{32}(y'_{Bl})_{l1}^L = 0$$

또는

$$\gamma_{41}(y)_1^L + \gamma_{42}(y'_B)_1^L = 0 \quad (10)$$

에 $(y)_1^L = 1.0$ 을 대하므로써 구할 수 있다. 이렇게 하여

$$(Y_1^L)_{\omega=\omega_1} = [1 (y'_B)_1^L \ 0 \ 0]^T_{\omega=\omega_1} \quad (11)$$

이 결정되던任意的 質量要素에 대한 狀態量벡터는 (4)에 의거하여

$$(Y_k^L)_{\omega=\omega_1} = (\Gamma_k)_{\omega=\omega_1} (Y_1^L)_{\omega=\omega_1} \quad (12)$$

로부터 결정된다. 格點매트릭스의 性質上

$$\begin{Bmatrix} y \\ y'_B \end{Bmatrix}_k^L = \begin{Bmatrix} y \\ y'_B \end{Bmatrix}_k^R \quad (13)$$

이다.

4. 計算結果 및 考察

2節에서 記述한 4隻의 배에 대하여 各各 振動特性值의 實際分布, 實船資料의 收合에 근거한 正規化分布 및 사다리꼴分布의 세 경우를 同一한 電算프로그램을 사용하여 計算한 結果는 Table 2(固有振動數) 및 Fig. 2(規準振動波形)와 같다. 固有振動數는 7節까지의 것 을 모두 提示하였고 規準振動波形은 考察에 필요한 一部만 提示하였다.

Table 2. Comparison of natural frequencies (Hz) calculated.

Ship	System parameter distribution	Number of nodes					
		2	3	4	5	6	7
A	Actual	1.11	2.33	3.80	5.52	7.33	8.99
	Averaged-normalized	1.12	2.37	3.91	5.64	7.37	9.06
	Trapezoid	1.14	2.48	4.08	5.77	7.50	9.17
B	Actual	1.21	2.63	4.44	6.49	8.48	10.42
	Averaged-normalized	1.30	2.74	4.49	6.43	8.38	10.25
	Trapezoid	1.33	2.87	4.69	6.60	8.54	10.39
C	Actual	1.73	3.58	5.94	8.48	10.82	13.02
	Averaged-normalized	1.69	3.51	5.67	8.03	10.38	12.61
	Trapezoid	1.72	3.76	6.21	8.82	11.50	14.08
D	Actual	1.27	2.76	4.53	6.50	8.31	10.25
	Averaged-normalized	1.26	2.64	4.33	6.20	8.08	9.90
	Trapezoid	1.27	2.75	4.51	6.35	8.23	10.03

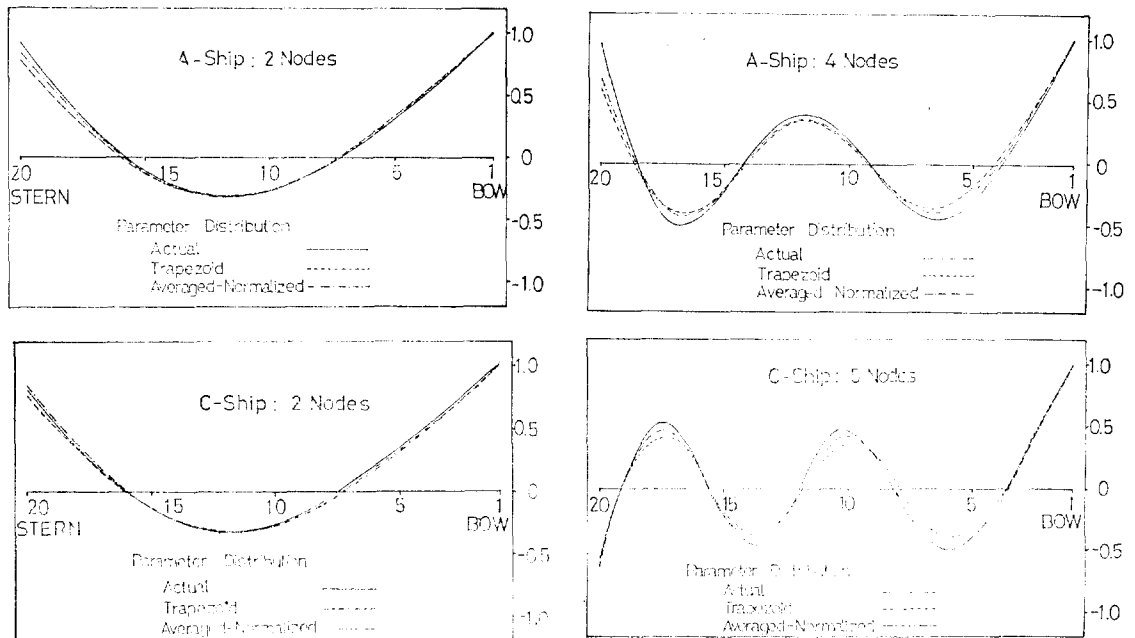


Fig. 2. Examples of normal mode shapes.

固有振動數의 경우, 實際分布를 基準으로 하였을 때 大體로 高次振動形에 갈수록 差異가 큰데, 正規化 平均分布의 경우와 사다리꼴分布의 경우 相互間의 優劣은 가리기 어렵다. 規準振動波形에 대하여서는 試算된 배 중에서 제일 큰 배(A-ship)의 2節 및 4節 振動의 경우와 제일 작은 배(C-ship)의 2節 및 5節 振動의 경우를 소개하였는데, 이 경우에도 高次振動型에 갈수록 그 差異가 큰 點은 固有振動數의 경우와 같다. 또 그 差異의 크기나 性向은 B-ship와 D-ship에서도 비슷하다.

이로부터 實船資料의 收合에 의거한 振動特性值分布의 簡略化 方法이 船舶設計 初期의 防振計劃에 有用하다는 判斷이된다. 아울러 이 方法이 Schlick型 推定式에 比하여 有益한 점으로서는 規準振動波形을 直接的으로 얻을 수 있는데, 적어도 4節 또는 5節까지의 것은 振動節點位置의 豫測과 mode summation方法등에 의한 起振力에 대한 應答크기의 一次的豫測에 活用될 수 있을 것으로 믿는다.

앞서 報告했던 商船의 경우[7]나 급번의 高速艦船의 경우 共히 數值實驗的 檢證에 바탕을 두고 振動特性值分布 簡略化方法의 有用性을 主張하는 셈인데, 이와같은 性向은 水平振動型이나 비틀振動型에 있어서도 마찬가지일 것이다.

5. 結 言

高速艦船 내지는 細長船의 固有上下振動의 初期推定을 위하여 類似實船群의 資料로부터 잘 整理된 振動特性值分布 平均曲線을 마련하여 두면 船舶設計 初期即, 排水量, 附加質量 및 中央斷面部位의 剛性등이 파악된 段階에서 Schlick型 推定式에 의존하는 代身에 正常的 電算프로그램에 의 한 計算이 가능하니, 이 경우

固有振動數는 誤差 約 5% 以內의 精度로, 規準振動波形은 4節 또는 5節까지 有用한 結果를 얻을 수 있을 것으로 期待된다.

이 方法에 의존할 경우 設計進行에 따른 設計變數들의 變化가 招來하는 振動特性的 變化를 용의하게 파악할 수 있고, 또 起振力에 대한 應答크기의 一次的豫測이 가능하여 設計初期부터 適正한 防振計劃을 誘導해 나갈 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. Kumai, T., "Influence of Virtual Inertia of Vibrating Bottom Panel on The Hull Natural Frequencies", *Report of RIAM*, Vol. 17, No. 58, Kyushu University, 1969.
2. Senjanović, I. et al., "Phenomena of Ship Vibration", *Dn V Publication*, No. 88, 1975.
3. Ohtaka, K., "Vertical Vibration of Bulk Carrier", *J. Soc. Nav. Arch. West Japan*, No. 56, 1978.
4. Todd, F.H., *Ship Hull Vibration*, Edward Arnold Ltd., 1961.
5. Dinsenhacher, A.L. et al., "A Simplified Method for Computing Vertical Hull Natural Frequencies and Modes in Ship Preliminary Design Stage", *NSRDC Report*, No. 3381, 1973.
6. Nagamoto, R. et al., "On the Natural Frequencies of Main Hull Vibration", *J. Soc. Nav. Arch. West Japan*, No. 35, 1968.
7. 金極天, 李昊燮, "船體固有橫振動解析에 있어서의 計算精度", 大韓造船學會誌, 第13卷 第1號, 1976.
8. 金極天의, "船體振動解析電算프로그램 개발에 관한 연구", 科學技術處 報文, R-75-9, 1975.

科學技術者倫理要綱

現代的 國家發展에 미치는 科學技術者의 役割의 重要性에 비추어 우리들 科學技術者는 우리들의 行動의 指針이 될 倫理要綱을 아래와 같이 制定하고 힘써 이를 지킴으로써 祖國의 近代化에 이바지할 것을 깊이 銘心한다.

1. 우리들 科學技術者는 모든 일을 最大限으로 誠實하고 公正하게 處理하여야 한다.
2. 우리들 科學技術者는 恒常 專門家로서의 權威를 維持하도록 努力하며 自己가 所屬하는 職場 또는 團體의 名譽를 昂揚하여야 한다.
3. 우리들 科學技術者는 法律과 公共福利에 反하는 어떠한 職分에도 從事하여서는 안되며, 의아스러운 企業體에 自己의 名稱을 빌려주는 것을 拒絶하여야 한다.
4. 우리들 科學技術者는 依頼人이나 雇傭主로부터 取得 또는 그로 因해 얻어진 科學資料나 情報에 對하여는 秘密을 지켜야 한다. 또는 他人의 資料情報을 引用할 때는 그 出處를 밝혀야 한다.
5. 우리들 科學技術者는 誇張 및 無根한 發言과 非權威的 또 眩惑的 宣傳을 삼가야 하며 또 이를 制止하여야 한다. 特히 他人의 利害에 關係되는 評價報告 및 發言에는 慎重을 期하여야 한다.
6. 우리들 科學技術者는 어떠한 研究가 그 依頼者에게 利益이 되지 않음을 아는 경우에는 이를 미리 알리지 아니하고는 어떠한 報酬를 위한 研究도 擔當하지 않는다.
7. 우리들 科學技術者는 祖國의 科學技術의 發展을 위하여 最大限으로 奉仕精神을 發揮하여야 하며 또한 이를 위한 應分의 物質的 協助를 아껴서는 안 된다.