

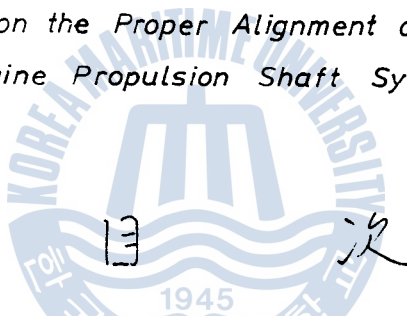
船舶推進軸系의

適正配置에 관한 研究

指導教授 全孝重

朴賢虎 白晉榮 李進雨

A Study on the Proper Alignment of the Marine Engine Propulsion Shaft System



目次

1. 머릿말
2. 軸系配置에 있어서의 問題點
 - 2.1 프로펠러軸의 問題點
 - 2.2 中間軸의 問題點
 - 2.3 減速齒車의 問題點
 - 2.4 새로운 推進軸系의 配置問題
3. 支持反力과 反力影響係數의 計算
 - 3.1 等價軸의 計算
 - 3.2 三連모멘트定理에 의한 베어링모멘트의 計算
 - 3.3 各 베어링에서의 反力荷重計算
 - 3.4 反力影響係數의 計算
4. 實測値와 計算値의 比較
 - 4.1 模型軸系에 대한 影響係數實測計算
 - 4.2 模型軸系에 대한 反力影響係數計算
 - 4.3 計算結果의 意味와 適正支持狀態의 計算
5. 結論

Abstract

At the present time, there are many shipyards in Korea, and the government makes effort to bring up shipbuilding industry. But most of the shipyards are still small in the scale, and it is difficult for the ship designers of this shipyards to make use of the computer.

The purpose of this study is to make it possible that the calculation of propulsion shaft alignment can be done by a electrical calculator. Therefore, this study aims at not the best solutions in the shaft alignment but to get a satisfactory results from the design-stage drawings.

The calculation of the propulsion shaft is done by reducing the real shaft system into an equivalent shaft system that provides the same mechanical characteristics. with the three moment theory of the strength of material, the reaction influence numbers are derived. with these influence numbers, the load condition of the propulsion shaft system can be adjusted in a uniform state.

A 1/20 scale model of the propulsion shafting is manufactured and its reaction influence numbers are measured with a strain amplifier and a pen-recorder. These measured values are compared with the results of theoretical values calculated with the above mentioned theory and they shows fairly a good agreement.

1. 머릿말
 1950年代 후반부터 美国海軍에서는 시작된 商船 7
 정에 1950年代 후반부터 1960年代 후반부터 1970
 0年代 초반에 걸쳐 各 造船, 造機와 各 船, 機
 는 연구단체에서 이에 관한 연구가 활발히 進行
 되어 왔다.
 最近에 이르러 基本的인 研究는 거의 完成되었
 고, 現在는 여러 가지 복잡한 研究를 完히 算機의
 利用으로 軸系配置에 必要한 諸 資料를 計算하
 는 데 크게 도움이 되고 있다. 軸系配置의 計算에 있어
 本力學의 古典的定理의 하나인 三連滿의 定程하
 材料利學의 軸系配置狀態를 算하는 데 있어
 軸系配置計算에서 가장 기본이 되는 것은 各
 支의 位置를 單位荷重의 影響係數를 알 수 있는
 軸系베어링의 荷重의 影響係數를 알 수 있는
 軸系베어링의 位置가 溫度, 積荷狀態에
 의 미 리豫想하고 결정하게 된다.
 本 研究의 主要는 베어링의 軸系換算하고
 的으로 같은 變位의 影響係數를 구하여 力學
 的 影響係數를 구하여 力學의 結果를
 實測을 행하여 結果를 比較했다.

2. 軸系配置에 있어서의 問題點
 船舶에 있어서의 推進軸系는 다음의 3 가지 요
 소에 의하여 구성되는 것으로 볼 수 있다.
 i) 프로펠러를 포함하는 프로펠러軸
 ii) 스러스트軸을 포함하는 중간軸

iii) 減速齒車裝置

이들 세가지가 결합되어 추진軸系를 형성하고 있다. 으나 내용을 갖는 이고 있다. 2.1 드로펠러軸의 문제點은 주로 무거운 드로펠러軸의 끝에서 하여 발생하는 프로펠러는 그尾部의 최후베어링을 過度荷重으로 만든다.

2.2 中間軸의 문제點은 中間軸베어링의 位置에서 배어링을 配置하여서는 그 間題이다. 하는 事故軸이 배어링의 配置方法이 취하여지고 있는 때에 部分의 無例를 들면 배어링을 配置하여서는 그 間題이다. ① 各軸마다 두개의 變位가 自由狀態에서 兩軸도 端의 커플링의 設置場所는 船舶의 구조나 다 른 機器의 配置에 注意를 주지 않으면 안 된다.

③ 各軸의 길이는 같게 하고 배어링配置는 대칭 이 되도록 한다. ④ 어떤 베어링, 가령 드로펠러軸 船尾側베어링과 같은 것은 慣習이나 規程(예를 들면 船級協會規 程)에 의하여 配置한다. 機能 위와 같은 사항들의 잘못은 軸系全體가 하나의 指針에 의하여 設計된 軸系裝置는 一般的으로 베어링數가 너무 많고 그 결과 軸系全體는 매우 密著하며 각 베어링의 荷重이 不均一하게 되기 위 민 감하게 된다.

2.3 減速齒車의 問題點은 주로 증기터어빈에 국한되나 최근에는 디젤機 関에 있어서도 減速齒車를 갖는 경우가 있다. 減

의 고 과齒輪은 정

齒의 이 계음. 이 다는 결

齒일서 하나 다는 이 가

의 을 따 하나 등兩重 것 하

어손다. 지 중 과 荷할 것 하

에點하거손링하 어 팽脹

齒面의 過의 리 것 이 고 實

은, 낮비할 것 없

는 우게 장 및 持 理 어 수

분 시 고 마 나 支야 흡

한 손 의 의 齒車 하 도 전 정 이

대均 이 齒 무 제 어

2.4 一般線 一直 이 고 다. 이 더 리 변 화 하 는 기 변 고 하 데 링 는 어 또, 소 때 方 理 하
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系
齒面의 齒車 하 도 전 정 이 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系 推 進 軸 系

一般的으로 베어링의 수를 줄이고 베어링 간격을 크게 할수록 축系 配置의 變化에 鈍感하게 되어 軸系는 安定하게 된다. 다만 이때에 各 베어링에 걸리는 荷重은 增加하므로 許容 支 持 荷重이 내기 되도록 결정하여야 할 것이다. 軸系에 存在하는 여러가지 變動狀態에 대하여 荷重과 모멘트의 크기를 검토하고 언제나 安全한 범위내에 있도록 設計 단계에서 베어링의 上·下와 長이 方向의 위치 및 그의 수를 결정한다. 이를 위해서 一直線上에 軸系를 配置하였을 때의 荷重 分配, 모멘트 크기를 계산하고 各 支 持 베어링을 單位 荷重이 만큼 변화시켰을 때의 荷重 變化量, 即 反力 影響係數 (Reaction Influence Number, RIN 로 略記) 를 계산할 필요가 있다.

3. 支 持 反力 과 反力 影響係數의 計算
3.1 等價軸의 計算

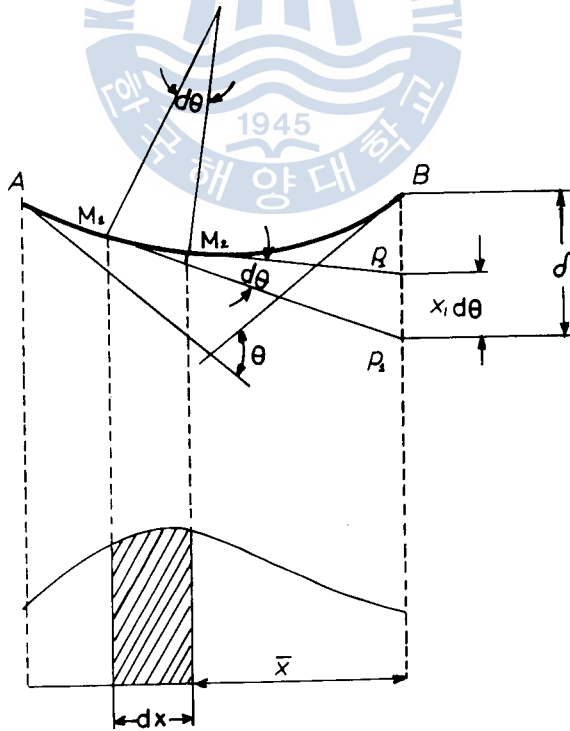


Fig.1 Moment Area Method

굽힘작용을 받는 보의 기울기와 처짐량을 구하는 方法에 面積모멘트法이 있다. 지금 탄성곡선

상의 임의의 두 점을 A, B 라 하면 기울기는 이
 들 두점 사이에 켜 굽힘 모멘트線圖의 面積을 그
 보의 剛性係數 EI (E 는 縱彈性係數, I 는 斷面 2 次 모
 멘트) 로 나눈 것과 같다. (第一面積모멘트法)
 即, 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$\theta = \int_A^B \frac{1}{EI} M \cdot dx = \frac{1}{EI} \int_A^B M \cdot dx = \left[\frac{A_M}{EI} \right]_A^B \quad (1)$$

다만, 여기서 \bar{x} 는 굽힘 모멘트면적의 B 점에 대
 한 圖心 거리이며 A_M 는 굽힘 모멘트선도의 AB 사이의
 面積. 지금 일반 推進軸系에 있어 베어링간의
 軸直徑은 여러가지 값을 갖기 때문에 EI의 값은
 일정하지 않다. 따라서 길이는 같고 기울기와
 처짐량이 같게 되는 均一直徑의 等價軸으로 換算
 하려면 單純한 形態의 連續보로 되어 베어링 支持
 點에 있어서의 反力과 모멘트를 容易하게 구할
 수 있을 것이다. 이와같이 等價軸은 기울기와
 처짐이 같아야 하므로 베어링간의 軸에 대하여
 同一直徑을 갖는 部分이 n 個라 하면

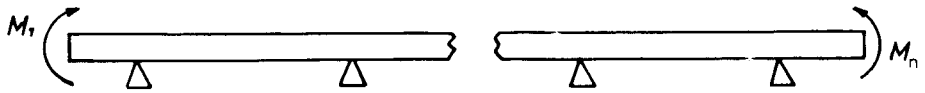
$$\theta = \sum_{i=1}^n \theta_i = \sum_{i=1}^n \left(\int_A^B \frac{M_i}{EI_i} dx \right) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{EI_i} \right) = \frac{A_M}{EI} \quad (2)$$

$$\therefore EI = A_M / \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{EI_i} \right) \quad (3)$$

지금 同一材料의 축이라 하면

$$I = A_M / \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{I_i} \right) \quad (4)$$

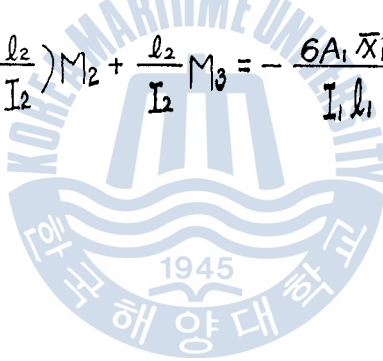
(4) 式으로 부터 等價軸의 지름을 계산할 수 있다
 3.2 三連모멘트의 定理에 의한 베어링모멘트 計算
 法의 方法으로 各支持點에 있어 均一直徑
 의 等價軸으로 換算하여 이들支持點間길이를
 l_i , 모멘트面積 A_{M_i} , 支持點右端부터 圖心까지의 거
 리 \bar{x} , 左端부터 圖心까지의 거리 \bar{x}' , 斷面 2 次 모
 멘트 I_i 라 하고 各支持點에 있어서의 모멘트를
 M_i 라 하면 이들간에는 三連모멘트의 定理에 의하
 여 다음식이 성립한다.



No.1.B/G	No.2.B/G	No.(n-1).B/G	No.n.B/G
l_1	l_2	l_{n-1}	l_n
A_{M_1}	A_{M_2}	$A_{M_{n-1}}$	A_{M_n}
\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_{n-1}	\bar{x}_n
\bar{x}'_1	\bar{x}'_2	\bar{x}'_{n-1}	\bar{x}'_n
I_1	I_2	I_{n-1}	I_n

Fig.2 Application of the Three Moment Theory

$$\frac{l_1}{I_1} M_1 + 2 \left(\frac{l_1}{I_1} + \frac{l_2}{I_2} \right) M_2 + \frac{l_2}{I_2} M_3 = - \frac{6A_1 \bar{x}'_1}{I_1 l_1} - \frac{6A_2 \bar{x}'_2}{I_2 l_2}$$



상의 임의의 두 점을 A, B 라 하면 기울기는 이
 들 두점 사이에 걸 굽힘모멘트線圖의 面積을 그
 보의 剛性係數 EI (E는 縱彈性係數, I는 斷面 2次모
 멘트)로 나눈 것과 같다. (第一面積모멘트法)
 即, 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$\theta = \int_A^B \frac{1}{EI} M \cdot dx = \frac{1}{EI} \int_A^B M \cdot dx = \left[\frac{A_M}{EI} \right]_A^B \quad (1)$$

다만, 여기서 \bar{x} 는 굽힘모멘트면적의 B점에 대
 한 圖心거리이며 A_M 는 굽힘모멘트선도의 AB사이의
 面積. 지금 일반 推進軸系에 있어 베어링간의
 軸直徑은 여러가지 값을 갖기 때문에 EI의 값은
 일정하지 않다. 따라서 길이는 같고 기울기와
 처짐량이 같게 되는 均一直徑의 等價軸으로 換算
 하면 單純한 形態의 連續보로 되어 베어링 支持
 點에 있어서의 反力과 모멘트를 容易하게 구할
 수 있을 것이다. 이와같이 等價軸은 기울기와
 처짐이 같아야 하므로 베어링간의 軸에 대하여
 同一直徑을 갖는 部分이 2個라 하면

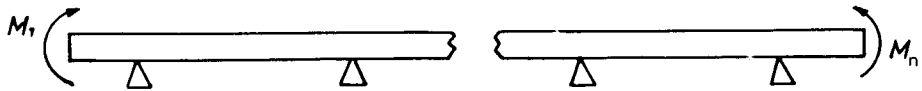
$$\theta = \sum_{i=1}^n \theta_i = \sum_{i=1}^n \left(\int_A^B \frac{M_i}{EI_i} dx \right) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{EI_i} \right) = \frac{A_M}{EI} \quad (2)$$

$$\therefore EI = A_M / \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{EI_i} \right) \quad (3)$$

지금 同一材料의 축이라 하면

$$I = A_M / \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{I_i} \right) \quad (4)$$

(4)式으로 부터 等價軸의 지름을 계산할 수 있다
 3.2 三連모멘트의 定理에 의한 베어링모멘트 計算
 法의 方法으로 各 支持點에 있어 均一直徑
 의 等價軸으로 換算하여 各 支持點間의 間
 隔 l_i , 모멘트面積 A_{M_i} , 支持點右端부터 圖心
 까지의 거리 \bar{x}_i , 斷面 2次모
 멘트 I_i 라 하고 各 支持點에 있어서의 모멘트를
 M_i 라 하면 이들간에는 三連모멘트 定理에
 의하여 다음식이 성립한다.



No.1.B/G	No.2.B/G	No.(n-1).B/G	No.n.B/G
l_1	l_2	l_{n-1}	l_n
A_{M1}	A_{M2}	$A_{M_{n-1}}$	A_{M_n}
\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_{n-1}	\bar{x}_n
\bar{x}'_1	\bar{x}'_2	\bar{x}'_{n-1}	\bar{x}'_n
I_1	I_2	I_{n-1}	I_n

Fig.2 Application of the Three Moment Theory

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{l_1}{I_1} M_1 + 2 \left(\frac{l_1}{I_1} + \frac{l_2}{I_2} \right) M_2 + \frac{l_2}{I_2} M_3 &= - \frac{6A_1 \bar{x}'_1}{I_1 l_1} - \frac{6A_2 \bar{x}_2}{I_2 l_2} \\
 \frac{l_2}{I_2} M_2 + 2 \left(\frac{l_2}{I_2} + \frac{l_3}{I_3} \right) M_3 + \frac{l_3}{I_3} M_4 &= - \frac{6A_2 \bar{x}'_2}{I_2 l_2} - \frac{6A_3 \bar{x}_3}{I_3 l_3} \\
 \vdots & \vdots \\
 \frac{l_{n-2}}{I_{n-2}} M_{n-2} + 2 \left(\frac{l_{n-2}}{I_{n-2}} + \frac{l_{n-1}}{I_{n-1}} \right) M_{n-1} + \frac{l_{n-1}}{I_{n-1}} M_n &= - \frac{6A_{n-2} \bar{x}'_{n-2}}{I_{n-2} l_{n-2}} \\
 & - \frac{6A_{n-1} \bar{x}_{n-1}}{I_{n-1} l_{n-1}}
 \end{aligned} \right\} (5)$$

위의 연립방정식을 풀면 각 베어링에 있어서의 모멘트를 구할 수 있다.

3.3 각 베어링에서의 反力荷重計算

각 베어링에 있어서의 反力荷重計算은 分布荷重 및 集中荷重에 의한 反力 R_i (또는 R_n), 모멘트의 영향에 의한 反力の 합으로 된다. 모멘트의 영향에 의한 反力荷重은

$$P'_i = M_1 - M_2$$

상의 임의의 두 점을 A, B 라 하면 기울기는 이
 들 두점 사이에 걸 굽힘모멘트線圖의 面積을 그
 보의 剛性係數 EI (E는 縱彈性係數, I는 斷面 2次모
 멘트)로 나눈 것과 같다. (第一面積모멘트法)
 即, 式으로 表示하면 다음과 같다.

$$\theta = \int_A^B \frac{1}{EI} M \cdot dx = \frac{1}{EI} \int_A^B M \cdot dx = \left[\frac{A_M}{EI} \right]_A^B \quad (1)$$

다만, 여기서 \bar{x} 는 굽힘모멘트면적의 B점에 대
 한 圖心거리이며 A_M 는 굽힘모멘트선도의 AB사이의
 面積. 지금 일반 推進軸에 있어 베어링간의
 軸直徑은 여러가지 값을 갖기 때문에 EI의 값은
 일정하지 않다. 따라서 길이는 같고 기울기와
 처짐량이 같게 되는 均一直徑의 等價軸으로 換算
 하면 單純한 形態의 連續보로 되어 베어링 支持
 點에 있어서의 反力과 모멘트를 容易하게 구할
 수 있을 것이다. 이와같이 等價軸은 기울기와
 처짐이 같아야 하므로 베어링간의 軸에 대하여
 同一直徑을 갖는 部分이 n 個라 하면

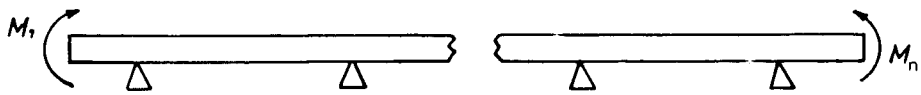
$$\theta = \sum_{i=1}^n \theta_i = \sum_{i=1}^n \left(\int_A^B \frac{M_i}{EI_i} dx \right) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{EI_i} \right) = \frac{A_M}{EI} \quad (2)$$

$$\therefore EI = A_M / \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{EI_i} \right) \quad (3)$$

지금 同一材料의 축이라 하면

$$I = A_M / \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{M_i}}{I_i} \right) \quad (4)$$

(4)式으로 부터 等價軸의 지름을 계산할 수 있다
 3.2三連모멘트의 定理에 의한 베어링모멘트 計算
 法의 方法으로 各支持點에 있어 均一直徑
 의 等價軸으로 換算하여 이들 支持點間길이를
 l_i , 모멘트面積 A_{M_i} , 支持點右端부터 圖心까지의 거
 리 \bar{x} , 左端부터 圖心까지의 거리 \bar{x}' , 斷面 2次모
 멘트 I_i 라 하고 各支持點에 있어서의 모멘트를
 M_i 라 하면 이들간에는 三連모멘트의 定理에
 의하여 다음식이 성립한다.



No.1.B/G	No.2.B/G	No.(n-1).B/G	No.n.B/G
l_1	l_2	l_{n-1}	l_n
A_{M1}	A_{M2}	$A_{M_{n-1}}$	A_{M_n}
\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_{n-1}	\bar{x}_n
\bar{x}'_1	\bar{x}'_2	\bar{x}'_{n-1}	\bar{x}'_n
I_1	I_2	I_{n-1}	I_n

Fig.2 Application of the Three Moment Theory

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{l_1}{I_1} M_1 + 2\left(\frac{l_1}{I_1} + \frac{l_2}{I_2}\right) M_2 + \frac{l_2}{I_2} M_3 &= -\frac{6A_1 \bar{x}'_1}{I_1 l_1} - \frac{6A_2 \bar{x}_2}{I_2 l_2} \\
 \frac{l_2}{I_2} M_2 + 2\left(\frac{l_2}{I_2} + \frac{l_3}{I_3}\right) M_3 + \frac{l_3}{I_3} M_4 &= -\frac{6A_2 \bar{x}'_2}{I_2 l_2} - \frac{6A_3 \bar{x}_3}{I_3 l_3} \\
 \vdots & \vdots \\
 \frac{l_{n-2}}{I_{n-2}} M_{n-2} + 2\left(\frac{l_{n-2}}{I_{n-2}} + \frac{l_{n-1}}{I_{n-1}}\right) M_{n-1} + \frac{l_{n-1}}{I_{n-1}} M_n &= -\frac{6A_{n-2} \bar{x}'_{n-2}}{I_{n-2} l_{n-2}} \\
 & - \frac{6A_{n-1} \bar{x}_{n-1}}{I_{n-1} l_{n-1}}
 \end{aligned} \right\} (5)$$

위의 연립방정식을 풀면 각 베어링에 있어서의 모멘트를 구할 수 있다.

3.3 각 베어링에서의 反力荷重計算
 각 베어링에 있어서의 反力荷重計算은 分布荷重 및 集中荷重에 의한 反力 R_i (또는 R_r), 모멘트의 영향에 의한 反力の 합으로 된다. 모멘트의 영향에 의한 反力荷重은

$$\left. \begin{aligned}
 R'_i &= -\frac{M_i - M_{i+1}}{l_i} \\
 R'_i &= \frac{M_i - M_{i+1}}{l_i} + \frac{-M_{i+1} + M_{i+2}}{l_{i+1}} \quad (1 \leq i \leq n-1)
 \end{aligned} \right\} (6)$$

$$R'_n = -\frac{-M_{n-1} + M_n}{l_{n-1}}$$

따라서 각 베어링의 反力荷重을 R_i 라 하면

$$R_i = R_{li} + R_{ri} + R'_i$$

다만, R_{li} 는 베어링 左端으로 부터 가해지는 집중 하중과 분포 하중. R_{ri} 는 마찬가지로 베어링 右端으로 부터 가해지는 집중 하중과 분포 하중이다.

3.4 反力影響係數의 計算

反力影響係數는 각 베어링의 支持點位置가 同一 水平線上에 있고 그 층 한개의 支持點만이 단위 하중이 (여기서는 0.2 mm 를 취한다) 만큼 下降하였다 고 했을 경우의 다른 支持點에 있어서의 支持荷重變化量이다.

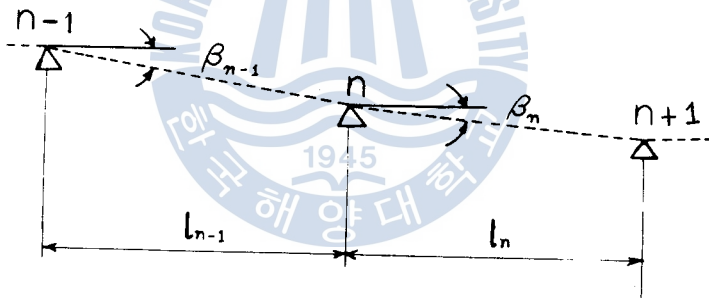


Fig.3 Changing of Supporting Points

一般적인 경우로서 그림 3 과 같이 $n, n+1$ 번째의 支持點이 하강한 경우를 생각하여 三連모멘트定理을 適用한다.

$$\begin{aligned} & \frac{l_{n-1}}{I_{n-1}} M_{n-1} + 2 \left(\frac{l_{n-1}}{I_{n-1}} + \frac{l_n}{I_n} \right) M_n + \frac{l_n}{I_n} M_{n+1} \\ &= -\frac{6A_{n-1} \bar{x}'_{n-1}}{I_{n-1} l_{n-1}} - \frac{6A_n \bar{x}'_n}{I_n l_n} - 6E(\beta_n - \beta_{n-1}) \end{aligned}$$

여기에서

$$\beta_{n-1} = \frac{h_{n-1} - h_n}{l_{n-1}}, \quad \beta_n = \frac{h_n - h_{n+1}}{l_n}$$

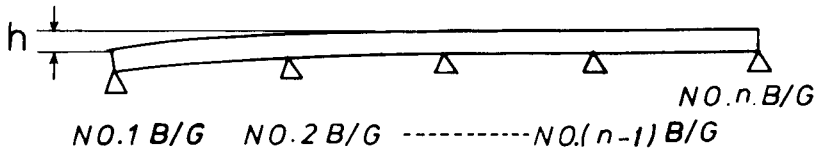


Fig.4 Changing of Supporting Points in the Shaft System

따라서 그림 4 와 같이 第一支持点이 h 만큼 下降하였을 경우를 생각하면

$$M_1 = M_n = 0, \quad h_1 = h, \quad h_2 = h_3 = h_4 = \dots = h_n = 0$$

$$\beta_1 = \frac{h_1 - h_2}{l_1} = \frac{h}{l_1}, \quad \beta_2 = \frac{h_2 - h_3}{l_2} = 0$$

$$\begin{aligned} & \frac{l_1}{I_1} M_1 + 2 \left(\frac{l_1}{I_1} + \frac{l_2}{I_2} \right) M_2 + \frac{l_2}{I_2} M_3 \\ &= - \frac{6A_1 \bar{x}'_1}{I_1 l_1} - \frac{6A_2 \bar{x}_2}{I_2 l_2} - 6E(\beta_2 - \beta_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{l_2}{I_2} M_2 + 2 \left(\frac{l_2}{I_2} + \frac{l_3}{I_3} \right) M_3 + \frac{l_3}{I_3} M_4 \\ &= - \frac{6A_2 \bar{x}'_2}{I_2 l_2} - \frac{6A_3 \bar{x}_3}{I_3 l_3} - 6E(\beta_3 - \beta_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{l_{n-2}}{I_{n-2}} M_{n-2} + 2 \left(\frac{l_{n-2}}{I_{n-2}} + \frac{l_{n-1}}{I_{n-1}} \right) M_{n-1} + \frac{l_{n-1}}{I_{n-1}} M_n \\ &= - \frac{6A_{n-2} \bar{x}'_{n-2}}{I_{n-2} l_{n-2}} - \frac{6A_{n-1} \bar{x}_n}{I_{n-1} l_{n-1}} - 6E(\beta_{n-1} - \beta_{n-2}) \end{aligned}$$

(8)

위의 연립방정식을 풀면 M_1, M_2, \dots, M_n 을 구할 수 있다. 구해진 M_i 의 값을 利用하여 各支持点의 反力影響係數 R_{ij} 를 구할 수 있을 것이다.

$$R_{11} = - \frac{M_1 - M_2}{l_1}$$

$$R_{12} = \frac{M_1 - M_2}{l_1} - \frac{-M_2 + M_3}{l_2} \quad (9)$$

$$R_{in} = - \frac{-M_{n-1} + M_n}{l_{n-1}}$$

같은 방법으로 다른 支持点들의 反力 影響係수를 구할 수 있으며 이들은 Maxwell-Betti의 相反定理에 의하여 대칭이 된다.

4. 實測値와 計算値의 比較

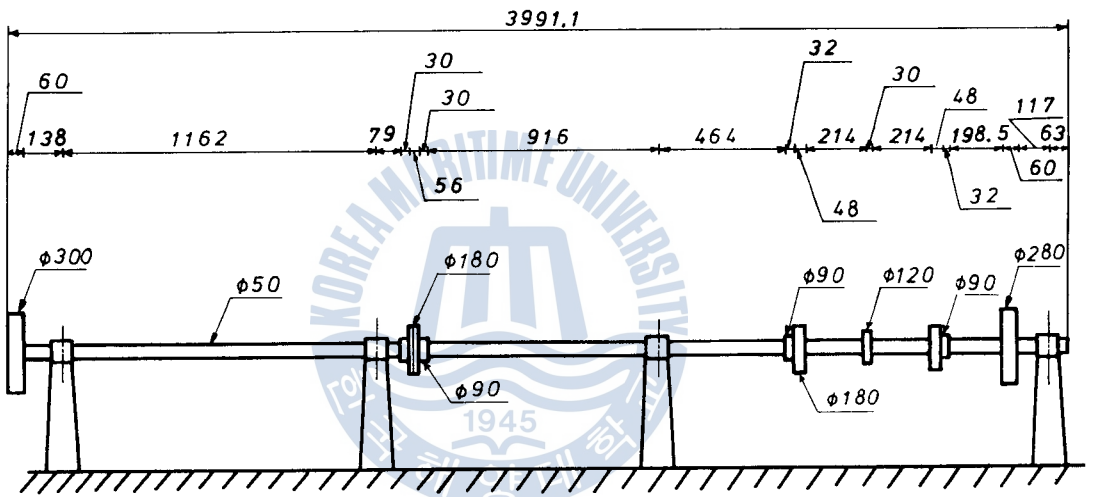


Fig.5 Skeleton diagram of the Model Shaft System

위의 計算方法에 의한 結果를 確認하기 위하여 그림 5와 같은 模型軸系를 製作하여 反力 影響係수를 實測하고 計算値와 比較하였다.

4.1 模型軸系에 대한 影響係數實測
 模型軸系의 影響係數는 스트레인 게이지에 의하여 實測하였다. 그림 6은 實驗裝置全景을 나타내며 그림 7은 實驗裝置의 配置圖를 나타낸다. 測定裝置는 스트레인 게이지를 各 支持点에 붙여서 增幅器 (Amplifier)에 連結하고 스트레인 게이지의 信號를 펜 그래프 (pen graph)로 記錄하였다. 模型軸의 各 支持点을 0.2 mm 하강시켰을 때 펜 그래프에 나타낸 변형량은 그림 8과 같다. 그리고 實驗計測에 의한 오차를 줄이기 위해 各 支持点을 0.2

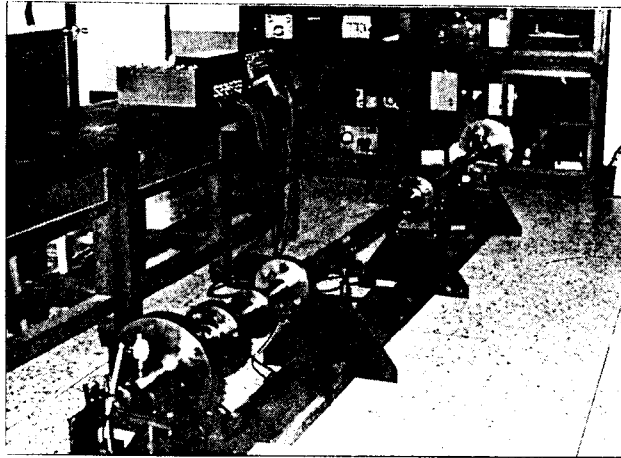
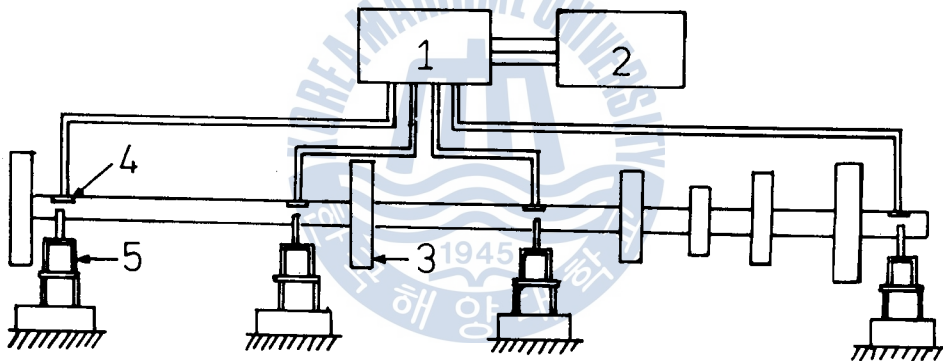


Fig.6 Photos of Experimental Apparatus



- | | |
|--------------------|-----------------|
| 1. AMPLIFIER | 2. PEN RECORDER |
| 3. WEIGHT | 4. STRAIN GAUGE |
| 5. ADJUSTING SCREW | |

Fig.7 Arrangement of Experimental Apparatus

mm 하강시켰을 때마다 각 支持点 變形量의 平均
 한 값들을 표 1 에 나타내었다. 표 1 의 變形量 (E_{ij}) 으로
 각 支持点 의 曲률모멘트變化量 即, M_{ij}
 를 구하면

$$M_{ij} = E_{ij} E_j Z_j \quad (10)$$

$$R_{ij} = \frac{M_{j-1} - M_j}{l_j} + \frac{-M_j + M_{j+1}}{l_{j+1}} \quad (11)$$

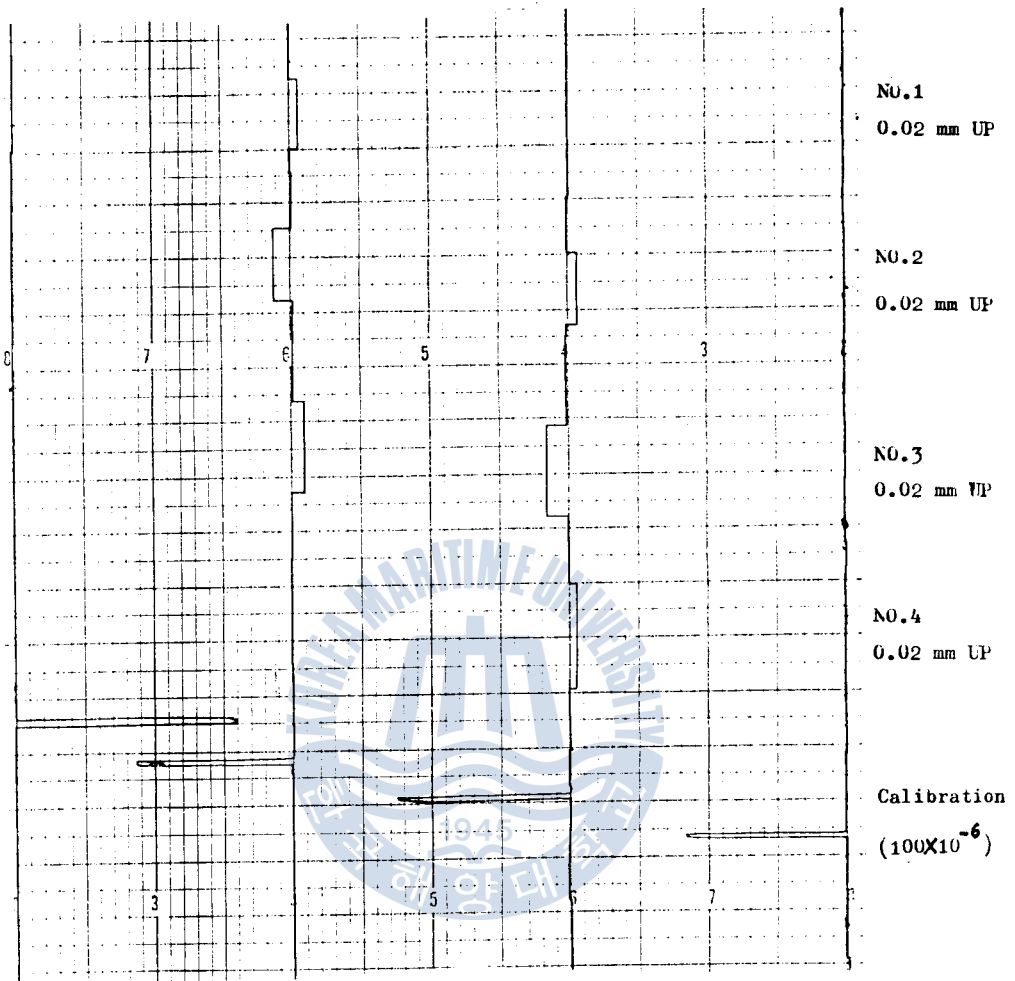


Fig.8 Records of Experiment by the Model Shaft

Table 1. Measured Strain (Mean Values)

BEARING ORDER	1	2	3	4
1	0	-5.8	0.6	0
2	0	12.4	-6.8	0
3	0	-7.1	10.9	0
4	0	1.9	-4.9	0

다만, 여기서 E_j 는 j 点的 縱彈性係數, Z_j 는 j 点的 軸의 斷面 2次모멘트이다. (10)式的 M_{ij} 의 값으로 (11)式에 의하여 反力影響係數 R_{ij} 를 구한 값은 표 2와 같다.

Table 2. Measured Values of Influence Numbers

BEARING ORDER	1	2	3	4
1	1.28	-2.77	1.06	-0.11
2	-2.74	7.18	-5.36	1.20
3	1.58	-5.76	6.10	-1.92
4	-0.43	2.02	-2.46	0.87

4.2 模型軸系에 대한 反力影響係數計算
 模型軸系를 等價軸으로 換算한 다음 앞서 說明

Table 3. Dimension of Model Shaft

ITEM \ SPAN	SYMBOL	SPAN		DISTANCE BETWEEN SUPPORT POINT & CONCENTRATED LOAD (cm)					
		1-2	2-3	48	52	77.3	102.6	106.6	131.1
SPAN LENGTH BETWEEN SUPPORT POINT (cm)	L	116.2	111.1	145.75					
DISTRIBUTED LOAD (kg/cm)	W	0.154	0.1858	0.2632					
DISTANCE BETWEEN SUPPORT POINT & CONCENTRATED LOAD (cm)	L	0	13.7	48	52	77.3	102.6	106.6	131.1
CONCENTRATED LOAD (kg)	W	0	12.39	1.11	8.85	2.20	8.85	1.11	28.08
EXTERNAL LOAD (kg, kg.cm)	F	35.42	0	0.965					
	M	573.976	0	3.02					
YOUNG'S MODULUS (kg/cm)	E	2.1X10	2.1X10	2.1X10					

한 방법으로 계산한 결과는 표 3 과 같다.

Table 4. Bearing Loads in Straight Condition
(Shaft Total Weight : 156.48 kg)

BEARING ORDER	1	2	3	4
LOAD	49.32	18.73	42.76	45.62

표 3 과 같은 등價軸을 水平支持하였을 때의 各支持베어링의 荷重은 표 4 와 같으며 이들 合計는 模型軸系全體의 自重에 外力을 合計한 것과 같은 값이어야 할 것이다.

Table 5. Influence Number (calculated)

BEARING ORDER	1	2	3	4
1	1.33 (4%)	-3.02 (9%)	1.92 (20%)	-0.23 (109%)
2	-3.02 (10%)	8.08 (14%)	-6.51 (16%)	1.45 (20%)
3	1.92 (21%)	-6.51 (13%)	6.56 (8%)	-1.97 (3%)
4	-0.23 (-46%)	1.45 (-28%)	-1.97 (-20%)	0.75 (-14%)

* Values in Parentheses are differences of Measured Values to Calculated Values

표 5 는 計算에 의한 反力影響係數를 보여주고 있다. 計算値를 實測値와 比較하여 보면 R_{14} 와 R_{41} 을 제외하고는 大体로 納得할 만한 結果를 보이고 있다. R_{14} 와 R_{41} 은 實質的으로 그 값이 매우 작고 利用한 計測器의 減度가 比較的 낮았기 때문에 計測値의 誤差率이 크게 된 것이며 餘他の 경우 도 大体로 計測値가 작다. 軸系의 自重이 커서 베어링荷重이 클 경우에는 이 誤差率이 매우 작아질 것으로 예상된다.

4.3 計算結果의 음미와 適正支持狀態의 계산 反力影響係數는 原則的으로 對稱이 되어야 한다. 표 5 에 提示한 反力影響係數는 서로 대칭을

이루고 있다. 표 6 은 위에서 얻은 影響係數를 利用하여 適正軸系配置計算을 行한 結果이다. 水平支持狀態에서는 No.2 베어링이 다른 베어링의 折半未滿의 荷重만을 支持하는데 反하여 표 6 에서는 그 荷重差가 25% 未滿으로 調節되었다. 아직 滿足스런 結果는 아니나 베어링 위치를 더욱 調節하여 좀더 좋은 結果를 얻을 수 있음은 明白하다.

Table 6. Bearing Loads According to Changing of Supporting Points

베어링 順序 支持點變化	1	2	3	4
水平 狀態	49.36	18.73	42.76	45.62
BEARING II 0.07 mm 上昇	38.75	47.03	19.97	48.21
BEARING III 0.03 mm 上昇	41.63	37.26	29.81	45.26
BEARING IV 0.05 mm 下降	42.20	33.64	34.73	43.39

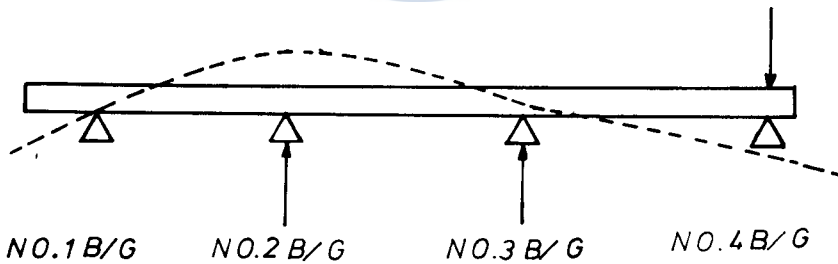


Fig 9. Shaft Alignment Condition According to Changing of Supporting Points

6. 參考文獻

- ① Rudolph Michel , "A Quarter Century of Propulsion Shafting Design Practice and Operating Experience in the U.S Navy", Naval Engineers Journal, 1952/2. p153.
- ② Graeme Mann, "Design of Propulsion Shaft Systems Using Fair Curve Alignment Theory", Naval Engineers Journal, 1964/12, p581.
- ③ Rolf kramsdal, "Shaft Alignment" , European Shipbuilding, 1969, p12.
- ④ Svenson G. , "Computer Program NV 540 Shaft Alignment User's Manual, Preliminary Version", 1975/10, Det norske Veritas Report, 75-226.
- ⑤ S. Timoshenko, "Strength of Materials ", 3rd Edition, D. van Norstrud Co. , New York.
- ⑥ 全孝重·李鍾元 , " 매트릭스 算法에 의한 推進軸系配置의 計算에 관한 연구 ", 韓國海洋大學 論文集 第13輯, 自然科學篇, P47.
- ⑦ 宋森弘 , "標準材料力學", 東明社, 서울, 1981