

매트릭스법에 의한 船體肋骨環 解析

任 尙 鍊\*

Ship Frame Ring Analysis by a Matrix Method

by  
S. J. Yim

Abstract

A simple matrix method to analyze the ship's transverse frame ring is proposed. In this approach, the frame ring is treated as a plane frame of uniform slender members. The loadings on the frame consist of buoyancy loads, deck loads and cargo loads. The hatch coamings are considered to deflect under the loads. Because of symmetry, only the half of the frame is analyzed. The method is to obtain the forces and moments on each member. The deformation of the frame can be determined from the nodal displacements.

For a sample calculation, a frame ring of a 10,000 ton class cargo liner is analyzed on the IBM 1130 computer. The numerical results obtained are proved to be reasonable.

1. 緒 論

배의 橫肋骨環은 橫隔壁과 더불어 船體의 橫強度를 維持하는 主要한 結合部材이다. 橫肋骨環은 舷側肋骨와 甲板보와 肋板이 서로 連結되어 Fig. 1 (a)에 보인 것과 같은 閉四角形의 모양으로 構成되는 것이 보통이지만, 艙口의 位置에서는 甲板보가 切斷되고 그 自由端이 艙口緣材에 依해 支持되어 Fig. 1 (b)에 보인 것과 같은 開四角形의 모양을 이루게 된다.

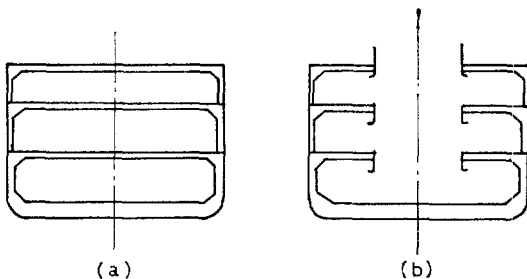


Fig. 1. Typical Frame Ring

橫肋骨環의 強度解析은 大概 艙口に 位置한 肋骨環을 對象으로 하여 實施된다. 解析方法으로서는 最少일의 原理, 기울기-처짐 法, 또는 모우먼트 配分法 등이 使用되어 왔다[1]. 이 때 肋骨環의 部材들은 서로 剛結되어 있고 그 結合點들은 甲板, 內底板, 船底板 및 舷側外板의 剛性 때문에 그들 板의 平面內에서는 變位하지 않고 回轉만 한다고 假定하는 것이 普通이다. 또한 甲板보의 自由端이 艙口緣材와 더불어 치지는 效果와 二重底構造의 拘束效果도 아울러 考慮하는 것이 보통이다[2].

本研究에서는 上記 解析에 매트릭스法을 導入하여 電子計算機에 依해 處理하는 한 方法을 考案하였으며 그것을 實船에 適用하여 그 妥當性을 確認하였다.

2. 解析方法

橫肋骨環은 左右對稱이므로 그 半쪽만을 생각하기로 하고, 그것을 Fig. 2에 보인 것과 같은 平面 뼈대로 理想化하여 取扱한다. 여기에는 다음과 같은 假定들이 包含된다.

接受日字 1973年 2月 28日

\* 正會員, 서울大學校 工科大學

i) 各部材는 均一斷面의 細長部材이며 그 部材에 붙어 있는 甲板이나 外板의 有効幅部分을 그 部材의 플랜지로 看做한다.

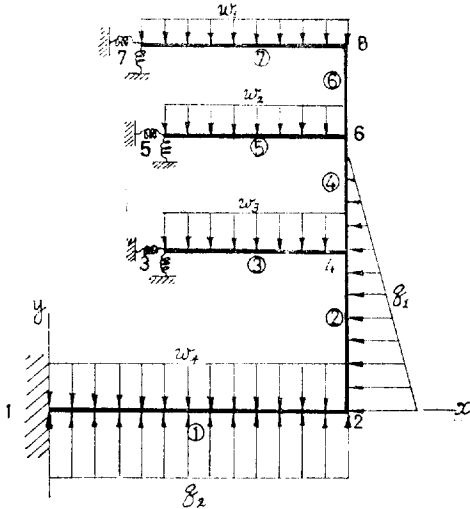


Fig. 2. Idealized Frame Ring

ii) 船底肋板의 中央點은 對稱條件에 따라 固定된 것으로 보고, 甲板보의 內側端들은 艙口緣材와 더부리彈性的으로 처지는 것으로 본다. 그밖의 節點에서는 部材들이 서로 剛結되어 있어서 모우먼트를 傳達할 수 있으나 그들 節點의 變位는 拘束되어 있지 않는 것으로 본다.

iii) 이 뼈대에 걸리는 荷重은 船殼의 한 肋骨間隔 사이에 걸리는 橫荷重으로서, Fig. 2에 보인 것과 같은 浮力荷重, 甲板荷重 및 艙內貨物荷重 등을 考慮한다.

이와 같이 橫肋骨環을 理想化하여 얻은 平面뼈대에 매트릭스解法을 適用하여 다음과 같이 處理한다(Fig. 2 參照).

i) 座標軸을 適切히 擇하고, 各 節點과 部材에 番號를 붙인다.

ii) 各 部材의 길이, 斷面積 및 二次모우먼트를 計算해 둔다.

iii) 節點 및 部材의 拘束條件 및 變形條件을 確定한다.

iv) 各 部材에 걸리는 荷重을 決定한다. 이 때 浮力荷重은 吃水로부터 計算되고, 甲板 및 艙內貨物荷重은 適切한 水頭를 假定하여 推定된다[3].

v) 各 部材에 걸리는 荷重들을 그와 同等한 兩端節點荷重으로 代替한다[4][5].

vi) 이 뼈대에 對한 剛性方程式을 세운다. 즉, 이 뼈대에서의 水平部材의 剛性매트릭스는

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & & & & & \\ 0 & \frac{12EI_x}{l^3} & & & & \\ 0 & \frac{6EI_x}{l^2} & \frac{4EI_x}{l} & & & \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & & \\ 0 & -\frac{12EI_x}{l^3} & -\frac{6EI_x}{l^2} & 0 & \frac{12EI_x}{l^3} & \\ 0 & \frac{6EI_x}{l^2} & \frac{2EI_x}{l} & 0 & -\frac{6EI_x}{l^2} & \frac{4EI_x}{l} \end{bmatrix} \text{SYM.}$$

의 形式이고, 鉛直部材의 剛性매트릭스는

$$\begin{bmatrix} \frac{12EI_x}{l^3} & & & & & \\ 0 & \frac{EA}{l} & & & & \\ -\frac{6EI_x}{l^2} & 0 & \frac{4EI_x}{l} & & & \\ -\frac{12EI_x}{l^3} & 0 & \frac{6EI_x}{l^2} & \frac{12EI_x}{l^3} & & \\ 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & \\ -\frac{6EI_x}{l^2} & 0 & \frac{2EI_x}{l} & \frac{6EI_x}{l^2} & 0 & \frac{4EI_x}{l} \end{bmatrix} \text{SYM.}$$

의 形式이다. 뼈대의 모든 部材에 對하여 위의 形式에 따라 各 剛性매트릭스를 作成하여 重疊하면 뼈대 全體에 對한 剛性매트릭스가 얻어지고, 다음과 같은 剛性方程式을 쓸 수 있게 된다.

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ M_1 \\ X_2 \\ Y_2 \\ M_2 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \\ M_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & \dots & K_{1, 3n} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & K_{2, 3n} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & \dots & K_{3, 3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{3n, 1} & K_{3n, 2} & K_{3n, 3} & \dots & K_{3n, 3n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \\ \theta_n \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} X_1^0 \\ Y_1^0 \\ M_1^0 \\ X_2^0 \\ Y_2^0 \\ M_2^0 \\ \vdots \\ X_n^0 \\ Y_n^0 \\ M_n^0 \end{Bmatrix}$$

또는

$$\{X\} = [K] \{u\} + \{X^0\}$$

(3n×1) (3n×3n) (3n×1) (3n×1)

vii) 매트릭스 {X}를 零으로 놓고 매트릭스 {X<sup>0</sup>}에 v)項에서 얻은 節點力들을 넣고 매트릭스 {u}에 節點拘束條件들을 代入한 뒤에 上記式을 풀어 節點變位들을 求한다.

viii) 前項에서 얻은 값들을 上記에 代入하여 매트릭스 {X}를 求하면 모든 節點力가 決定되고 이들이 알려지면 各 部材에 걸리는 힘과 모우먼트는 쉽게 求해진다.



Table 1 (a) 節點의 位置

節點	X 座標*	Y 座標*	拘束條件
1	0	0	固 定
2	1,125	0	自 由
3	435	590	彈 性 支 持
4	1,125	590	自 由
5	435	890	彈 性 支 持
6	1,125	890	自 由
7	400	1,190	彈 性 支 持
8	1,125	1,190	自 由

Table 1 (b). 部材의 크기

部材	兩端點	길이 (cm)	斷面積 (cm <sup>2</sup> )	有 効* 剪斷面積 (cm <sup>2</sup> )	二 次* 모우먼트 (cm <sup>4</sup> )	最 小* 斷面係數 (cm <sup>3</sup> )
①	1,2	1,125	338	110	1,707,000	19,850
②	2,4	590	189	42	30,100	1,110
③	3,4	690	96	25	9,880	563
④	4,6	300	128	18	6,880	440
⑤	5,6	690	96	25	9,880	563
⑥	6,8	300	128	18	6,800	440
⑦	7,8	725	252	66	55,100	1,840

\* 이 뼈대의 윤곽은 各部材의 中立軸과 一致한다고 본다.

\* 各部材에 붙어 있는 板의 有効部分을 包含시켰다.

Table 1 (c). 荷重의 種類 및 세기

部 材	荷重의 種類	荷重의 分布 및 세기	備 考
①	船底浮力荷重	全長에 걸친 均一分布 264 kg/cm	水 頭 825 cm 肋骨間隔 320 cm
②	船艙貨物荷重	全長에 걸친 均一分布 -104 kg/cm	水 頭 325 cm 肋骨間隔 320 cm
③	舷側浮力荷重	全長에 걸친 直線分布 節點 2에서 66 kg/cm, 節點 4에서 18.8 kg/cm	水 頭 825~235 cm 肋骨間隔 80 cm
④	第三甲板貨物荷重	全長에 걸친 均一分布 -16 kg/cm	水 頭 200 cm 肋骨間隔 80 cm
⑤	舷側浮力荷重	節點 4로부터 235 cm에 걸친 直線分布 節點 4에서 18.8 kg/cm, 235 cm인 點에서 0 kg/cm	水 頭 235~0 cm 肋骨間隔 80 cm
⑥	第二甲板貨物荷重	全長에 걸친 均一分布 -16 kg/cm	水 頭 200 cm 肋骨間隔 80 cm
⑦	上甲板貨物荷重	全長에 걸친 均一分布 -48 kg/cm	水 頭 150 cm 肋骨間隔 320 cm

實際의 計算은 다음과 같이 세 段階로 나누어 實施하였다.

i) 節點 3, 5, 및 7을 單純支點으로 보고 프로그램 STRESS를 使用하여 그들 支點의 水平 및 垂直 反力

Table 2.

支 點	水平反力(kg)	垂直反力(kg)
3	13,685	3,146
5	-7,493	3,484
7	9,345	14,967

들을 求하였다. 그 結果는 Table 2와 같다.

ii) 上記 反力과 艙口덮개荷重下에서의 艙口緣材들의 처짐을 計算하였다. 그 緣材들은 Fig. 4에 보인 것과 같은 支持와 荷重을 받고 있으며, 그들에 對한 數值資料 및 그들로부터 計算된 처짐은 Table 3과 같다.

iii) 그 뼈대에 첫 段階에서와 같은 荷重을 作用시킨 뒤에 節點 3, 5, 및 7에 둘째 段階에서 求한 것과 같은 變位를 주었을 때 各部材에 걸리는 힘과 모우먼트를 計算하고, 아울러 各節點의 變位를 求하였다. 이 計算에도 STRESS를 利用하였고, 그 結果는 Fig. 5와 같다.

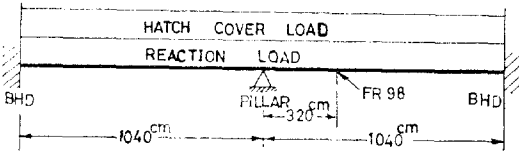
Table 3 (a). 艙口緣材의 垂直 처짐

	斷 面 積 (cm <sup>2</sup> )	有効剪斷面積 (cm <sup>2</sup> )	二次모우먼트 (cm <sup>4</sup> )	艙口덮개荷重* (kg/cm)	反力荷重 (kg/cm)	FR98位置에서의 처짐 (cm)
上甲板	427	270	1,777,000	60	46.8	-0.1175
第二甲板	319	84	201,000	87	46.1	-0.9147
第三甲板	306	91	232,000	87	39.3	-0.7637

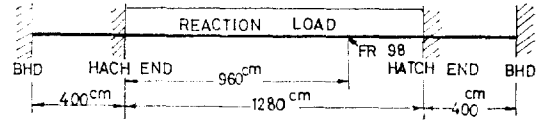
\* 艙口덮개荷重은 該當 甲板荷重과 같다고 본다.

Table 3 (b). 艙口緣材의 水平 처짐

	斷 面 積 (cm <sup>2</sup> )	有効斷面積 (cm <sup>2</sup> )	二次모우먼트 (cm <sup>4</sup> )	反力 荷重 (kg/cm)	FR 98 位置에서의 처짐 (cm)
上 甲 板	562	328	299,000	29.2	-0.0128
第 二 甲 板	336	252	186,000	-93.7	0.0660
第 三 甲 板	323	232	176,000	171.0	-0.1274



(a) Vertical Loading



(b) Horizontal Loading

Hatch Cover Load=Water Head×Hatch Breadth/2

Reaction Load=Reaction Force/Frame Space

Fig. 4. Loadings on Hatch Coamings

MEMBER FORCES				
MEMBER	JOINT	AXIAL FORCE	SHEAR FORCE	MOMENT
1	1	12190.019	-144409.281	-6111200.10
1	2	-12190.019	-35250.742	-25192.01
2	2	39589.875	-12138.425	99216.89
2	4	-39589.875	-12877.874	1488025.50
3	3	12281.324	3125.733	0.12
3	4	-12281.324	7814.267	-145204.30
4	4	27676.148	596.258	14403.65
4	5	-27676.148	-2805.237	50314.31
5	5	-6751.194	3902.477	0.00
5	6	6751.194	7737.324	-1530091.50
6	6	19984.722	9554.447	102977.12
6	8	-19984.722	-9326.987	1841364.75
7	7	9554.443	14860.201	0.40
7	8	-9554.443	19939.004	-1841397.00

APPLIED JOINT LOADS: FREE JOINTS			
JOINT	FORCE X	FORCE Y	MOMENT Z
1	8.406	-0.267	24.87
4	0.011	0.346	-0.97
6	0.015	0.327	0.00
8	0.003	1.082	-0.25

REACTIONS:APPLIED LOADS SUPPORT JOINTS			
JOINT	FORCE X	FORCE Y	MOMENT Z
1	12190.019	-144409.281	-6111200.10
2	12281.324	3125.733	0.12
5	-6751.194	3902.477	0.00
7	9554.443	14860.201	0.40

FREE JOINT DISPLACEMENTS			
JOINT	X-DISPLACEMENT	Y-DISPLACEMENT	ROTATION
2	-0.0192	4.8696	0.0042
4	-0.1654	4.8167	-0.0007
6	0.0691	4.7858	0.0017
8	-0.0222	4.7636	0.0103

SUPPORT JOINT DISPLACEMENTS			
JOINT	X-DISPLACEMENT	Y-DISPLACEMENT	ROTATION
1	0.0000	0.0000	0.0000
3	-0.1275	-0.1174	0.0054
5	0.0285	-0.2187	0.0024
7	-0.0127	-0.7636	0.0029

Fig. 5 (a). Output Data

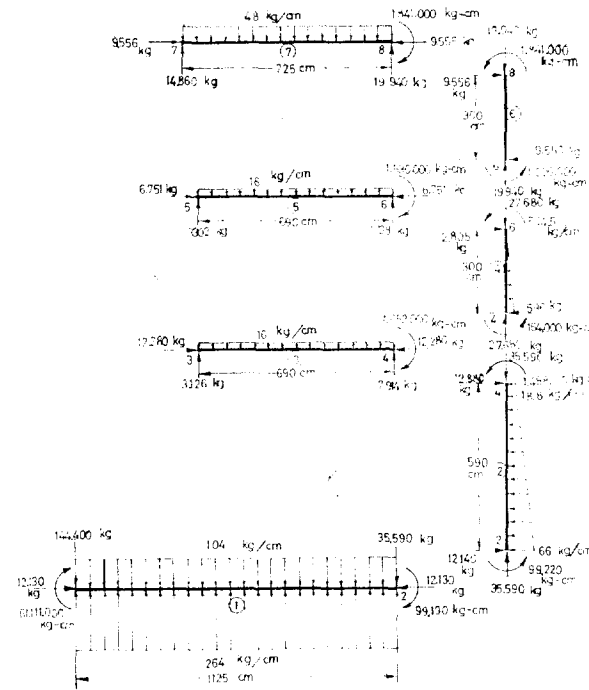


Fig. 5 (b). Forces and Moments on Each Member

4. 結論 및 考察

以上을 綜合하면 提案된 方法은 比較的 簡便하면서 合理的인 結果를 주고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 實際의 肋骨環 構造를 그런 方法으로 다룰 수 있을만큼 理想化하는 過程 속에는 若干의 問題가 남아 있고, 그들은 最終結果에 相當한 影響을 끼칠 수 있다. 그러므로 이 方法으로부터 얻어지는 數值結果들은 絕對的인 뜻을 갖는 것은 아니지만, 初期設計나 類似船들 사이에서의 比較基準으로서는 充分한 價値를 갖는다고 생각할 수 있다.

後 記

本研究는 72年度 文敎部 學術研究 助成費의 도움으로 이루어졌고, 數值計算에는 서울大學校 工科大學 電子計算所의 IBM 1130 이 使用되었다. 이 일을 도와주신 여러분들에게 깊이 感謝하는 바이다.

參 考 文 獻

[1] D. F. MacNaught, "Strength of Ships," P.N.A., SNAME, 1967  
 [2] H. A. Schade, "Design Curves for Cross-Stiffened Plating under Uniform Bending Load," Trans. SNAME, 1941  
 [3] S.R. Heller, Jr. and N. H. Jasper, "On the Structural Design of Planing Craft," Trans. RINA, 1960  
 [4] O. C. Zienkiewicz and Y. K. Cheung, "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics," McGraw-Hill Book Co., 1970  
 [5] 三本木茂夫, 吉村信敏, "有限要素法による構造解析プログラム," コンピューターによる構造工學講座 I-1-B, 日本構造協會, 培風館, 1971  
 [6] 商工部 標準型船 MCI-C13-70, GT 10,000 噸級 對美定期貨物船 設計圖面, 大韓造船學會, 1970  
 [7] IBM Application Program, "Structural Engineering System Solver (STRESS) for the IBM 1130 (1130-EC-03X) Version 2, User's Manual," 1968