

Bracket 의 Lightning Hole 周邊에서의 應力分布

金 曉 哲*

The Distribution of Boundary Stresses around the Lightning Hole in a Triangular Bracket.

Hyochul Kim

Abstract

In a polarized light field, triangular plate bracket specimen of CR-39 with lightning hole were subjected to tension. The variables of the models used in the experiment were taken in the range of length-depth ratio=0.583~1.715, eccentricity of lightning hole from the geometrical center of bracket= $-1/4'' \sim +1/4''$, and the lightning hole diameter= $1/2'' \sim 2''$.

The isoclinics were drawn and from those the stress trajectories were constructed. Then the distributions of boundary stresses around the lightning holes were determined from the isochromatic fringe pattern.

The conclusions reached in this investigation are as follows:

1. Maximum stresses of the hole boundary are gradually increased when the diameter of the lightning hole increase.
2. Maximum stresses of the lightning hole boundary are decreased gradually when the eccentricity of the lightning hole from the geometrical center of the bracket to the farther side from the free end.
3. If the minimum distances from the free end of the brackets to the lightning hole boundaries are equal, the variation of the maximum stresses are in a small range for the change of lightning hole diameter and its location.
4. When the length-depth ratios are smaller than 0.8, the maximum stresses increase steeply. In the range of 0.8~1.2 maximum stresses increase gradually and thereafter increase rapidly when the length-depth ratio of the bracket increase for the same diameter of a lightning hole.

記 號

L : Length of the bracket (in)

D : Depth of the bracket (in)

原稿受理日字 1966年 1月 20日

* 正會員 서울大學校 工科大學

- δ : Eccentricity of the lightening hole from the center of geometry in the bracket (in)
 d : Diameter of the lightening hole (in)
 θ : Angle of loading (degree)
 h : Arm of loading (in)
 P : Load (lb)

1. 序 論

Bracket 는 船舶 및 一般 構造物에 있어서 交叉되는 部材의 強力을 補強하고 應力의 集中을 緩和하기 爲하여 使用되는 補助部材로서 여지껏 力學的으로 큰 關心을 끌지 못하고 있었다. 그 原因으로서는 Bracket가 어떤 破壞의 原因이 되는 境遇는 極히 드문 일이었기 때문이라고 生覺된다. 現在 船舶의 Bracket 는 各國의 船級協會의 構造規程에서 그 크기를 規定하고 있다. [1][2][3]**

그러나 Bracket 의 크기가 船舶의 運航中에서 얻어진 經驗에 依하여 修正되어 온 것임에도 不拘하고 力學的 觀點에서 보면 過大한 치수로 되어 있는 것이다. 그런고로 現在 船舶建造에서 흔히 使用되는 Bracket 에 Lightning hole 을 設置할 수 있는 것이다. 뿐만 아니라 Bracket 의 continuity 가 나빠지는 Lightning hole 을 두었을 境遇라 할지라도 Lightning hole 에 依하여 Bracket 가 破壞를 일으킨 예는 記錄에 전혀 나타나 있지 않다.

現在까지 Beam 과 Frame 의 接合部에서 破壞가 생긴 境遇들을 살펴 보면,

- 1) Buckling 에 依하여 Bracket 가 自身の 平面으로 부터 휘어져 나온 境遇.
- 2) Bracket 의 Rivet 가 剪斷破壞를 일으킨 境遇.
- 3) Deck plate 가 Beam 의 一端과 Deck angle 과의 사이에서 急激히 휘어진 境遇.
- 4) 外部로 부터의 큰 衝擊力에 依하여 破壞된 境遇들이 있다. [4], [13]

위의 境遇들 중에서 1)을 除外한 境遇에 있어서는 Lightning hole 과 直接的인 關係가 없다.

船舶의 運航者의 立場에서 보면 Bracket 는 아래와 같은 短點을 갖고 있어서 되도록 적은 Bracket 를 願하고 있다.

- 1) Cargo space 가 減少된다.
- 2) 冷凍船인 境遇에는 insulation 費用을 增加시킨다.
- 3) 船室, Saloon 等 室內裝飾에 支障을 준다.
- 4) Painting, scraping 等の 維持費가 많이 든다.

船舶의 構造中 上部에 있는 Bracket 의 Lightning hole 을 좀더 크게 함으로서 보다 낮은 KG 를 얻을 수 있다는 長點 以外에도 위의 短點들을 直接的으로 또는 間接的으로 改善할 수 있다. [14]

實驗에 있어서는 Bracket 의 Length 와 Depth 중에서 긴 것을 6''로 하여 그 比를 0.583~1.715 사이에서 9種으로 變化시키어 實驗하였다. Lightning hole 의 크기는 直徑을 1/2''~2'' 사이에서 1/8'' 間隔으로 變化시키어 7~13個의 Lightning hole 에 對하여 實驗하였다. 또 Lightning hole 의 位置는 Bracket 의 幾何學의 中心으로부터 $\pm 1/4''$ 사이에서 3~5個의 位置에 對하여 實驗하였다. 總 164個의 model 에 對하여 3~6回의 光彈性學의 實驗 [5][6][7][8]을 施行하여 正確한 값을 얻었다.

** [] 안의 數字는 本論文 末尾에 紹介한 引用文獻의 番號임.

2. Bracket의 形態 및 Model

現在 使用되고 있는 Bracket의 여러가지 形態中에서 船舶에서 흔히 使用되고 있는 것은 Fig. 1과 같은 形

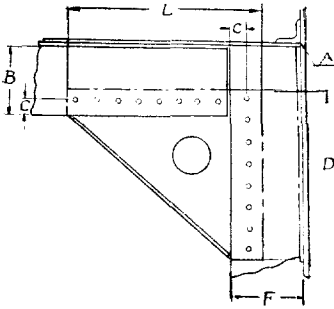


Fig. 1 General form of bracket

Table 1

Riveting	F/D	Welding	F/D
Angle	0.543	Angle	0.738
Bulb angle	0.555	Bulb angle	0.666
Channel	0.519	Channel	0.578

態이다. ABS, Lloyd's, KR 등의 各國의 Rule上에서 規定하고 있는 Bracket는 各各 差異를 갖고 있는데 대강의 것을 比較하기 爲하여

다음과 같은 調査를 하였다. Lloyd's Rule에서는 Section modulus 1.50으로부터 102.78 사이에서 50個의 點을 잡아서 조사한 結果 Table 1과 같은 값을 갖고 있었다. [3]

또한 A.B.S. Rule에 對하여 Frame 길이가 7Ft로부터 30Ft 사이에서 NF 값에 따라 25個씩 調査하여 본 結果 그 平均값이 Table 2와 같은 값을 갖고 있었다. [2]

Table 2

	NF	F/D		NF	F/D		NF	F/D
Channel	20	0.75	Flat Bar	3	0.31	Bulb Angle	10	0.42
	40	0.65		10	0.43		18	0.35
	60	0.52		18	0.52			
	80	0.39		23	0.65			

또한 Frame spacing이 同一한 境遇에 對하여 各 構造規程에서 B/F를 調査한 結果 그 값이 0.667~1.00 사이에서 變化하고 있음을 알았다. [1][2][3]

따라서 實驗에서는 各 構造規程에서 共通으로 使用될 수 있는 數值인 $L/D=0.52$, $B/F=0.75$, $C/F=0.25$ 를 擇하여 Model을 製作하였다. 이때 특히 誤差의 限界를 $5/1000''$ 以內로 制限하고 Machining stress와 Aging effect의 影響을 받지 않도록 하였다. 材料는 CR-39를 使用하였다.

3. 實驗 및 結果

Bracket는 水壓, 積荷狀態 등에 依하여 外力을 받고 있는데 實際의 Bracket는 引張의 境遇보다 壓縮의 境遇가 더 많다. 그러나 Buckling이 일어나지 않는 限度에서의 應力分

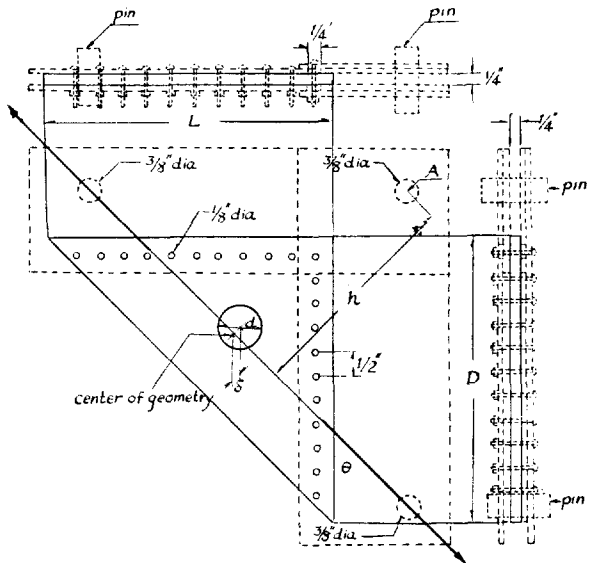


Fig. 2 Sketch of model

Table 3

L	D	h	θ
3.5	6	3 7/8	24°45'
4	6	4 3/32	30°30'
4.5	6	4 9/32	34°40'
5	6	4 13/32	38°25'
5.5	6	4 7/16	44°00'
6	6	4 5/8	45°20'
6	5.5	4 7/16	48°45'
6	5	4 3/8	50°60'
6	4.5	4 9/32	52°50'
6	4	3 3/4	61°50'
6	3.5	3 1/2	65°00'

布는 引張荷重의 境遇와 同一함으로 引張荷重을 加하여 實驗하였다. [4][11][13] Bracket의 外力에 對한 反力의 合成力을 圖式的 方法으로 求하였는데 Fig. 2와 Table 3의 값을 갖고 있었다. [4][9][10]

Fringe order $2\frac{1}{4}$ ~ 4의 荷重을 加하여 Fig. 3과 같은 Isochromatic fringe pattern을 觀測하였다. 이 때의 荷重은 1/4

lb까지 측정토록 하였다.

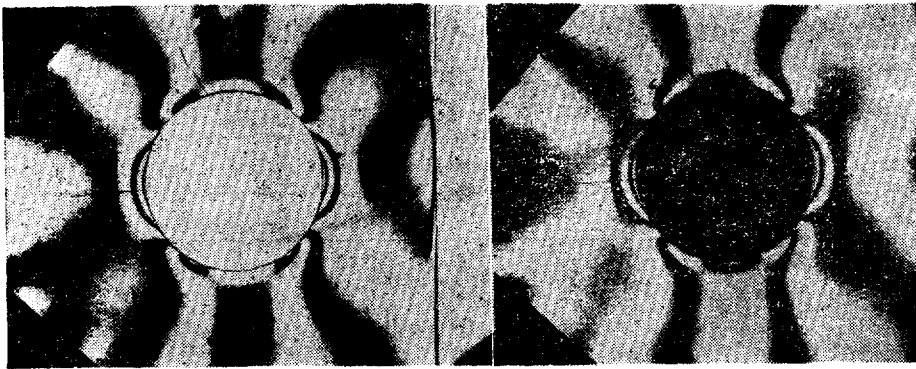


Fig. 3 Fringe pattern

(a) dark field L=6in D=5 in d=1 in $\delta=0$ P=273.5 $\sigma_{200}=1344$ psi
 (b) light field n=4

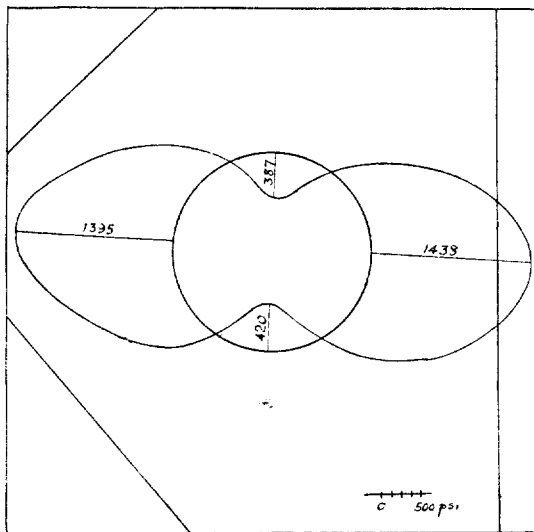


Fig. 4 Distubution of boundary stress

Fig. 3과 같은 Fringe pattern을 觀測함으로써 Boundary stress의 分布가 Fig. 4와 같음을 計算할 수 있다. 또한 $\frac{1}{4}$ Wave plate를 제거하고 Polarizer와 Analyzer를 直交한 狀態에서 Counter clockwise로 適當한 間隔으로 回轉시키어 이때 나타나는 Isoclinics를 觀測하여서 Fig. 5와 같은 Isoclinics를 얻고 Fig. 5로부터 Fig. 6과 같은 主應力線을 求한다.

그런데 實際로 Bracket의 破壞의 原因이 될 수 있는 Lightning hole boundary에서의 應力分布는 Fig. 4와 같으므로 最大應力點의 應力을 測定하여 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13과 같은 結果를 얻었다.

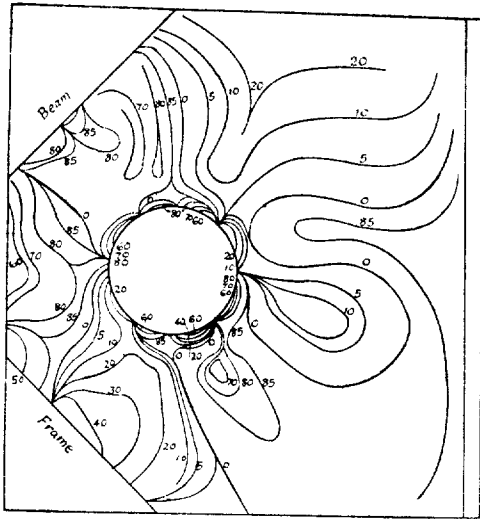


Fig. 5 Isoclinic lines

$L=5.5$ in $D=6$ in $d=3/4$ in $\delta=-1/4$ in

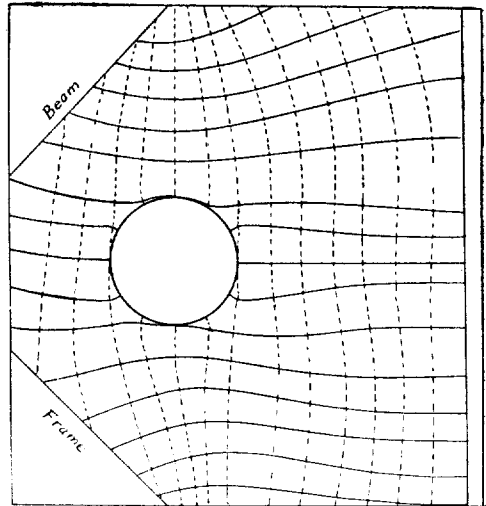


Fig. 6 Stress trajectories

$L=5.5$ in $D=6$ in $d=3/4$ in $\delta=-1/4$ in

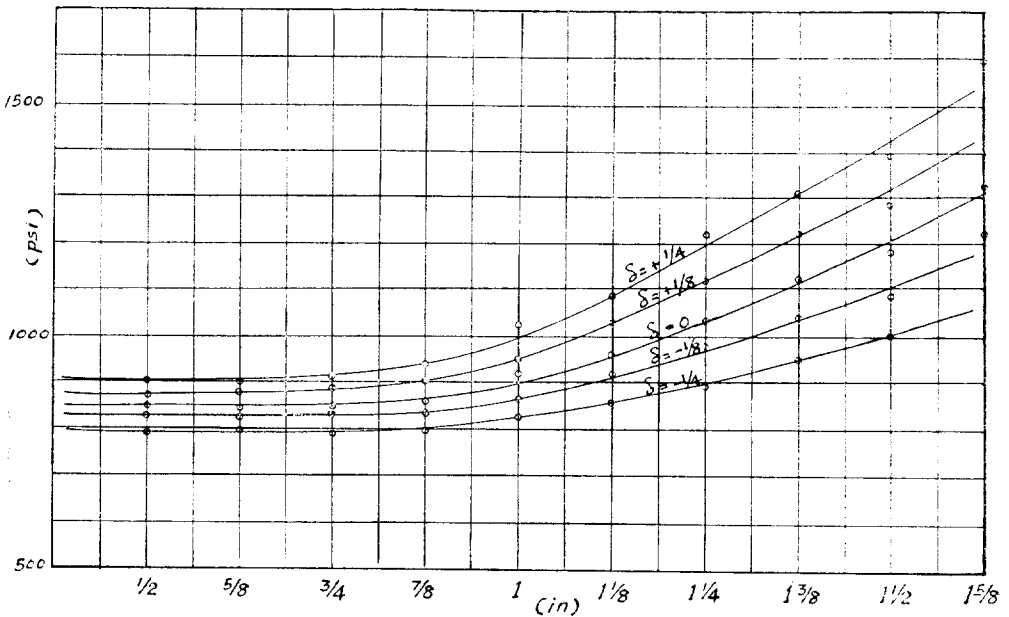


Fig. 7 Effect of hole diameter

$L=6'$ $H=6''$ $P=200$ lb

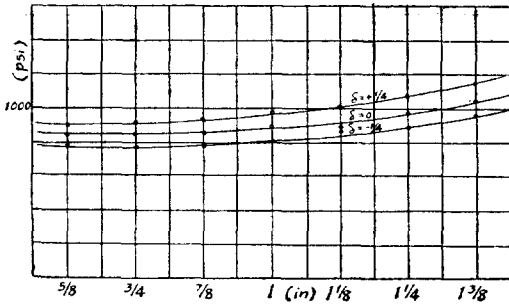


Fig. 8 Effect of hole diameter

L=5.5'' D=6'' P=200 lb

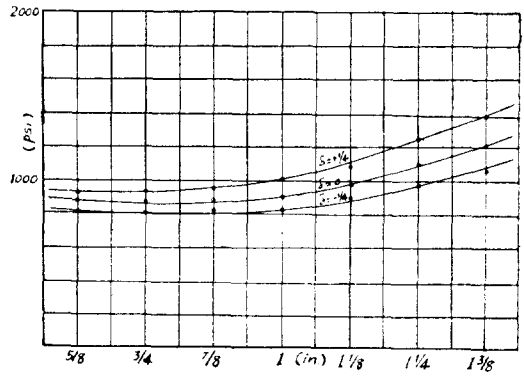


Fig. 9 Effect of hole diameter

L=6'' D=5.5'' P=200 lb

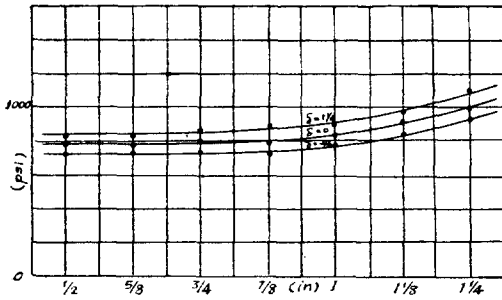


Fig. 10 Effect of hole diameter

L=5'' D=6'' P=200 lb

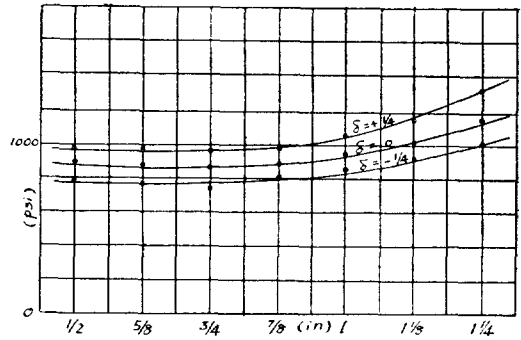


Fig. 11 Effect of hole diameter

L=6'' D=5'' P=200 lb

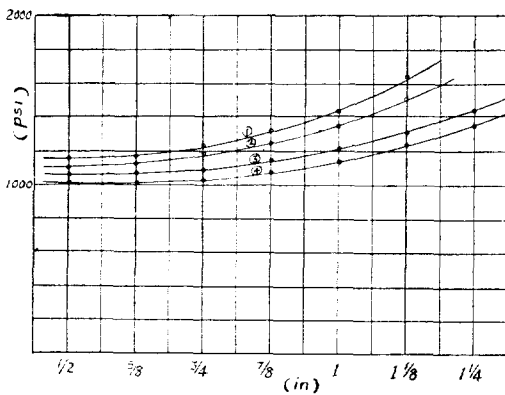


Fig. 12 Effect of hole diameter

- ① L=3.5'' D=6'' $\delta=0$ P=200 lb
- ② L=6'' D=3.5'' $\delta=0$ P=200 lb
- ③ L=4'' D=6'' $\delta=0$ P=200 lb
- ④ L=6'' D=4'' $\delta=0$ P=200 lb

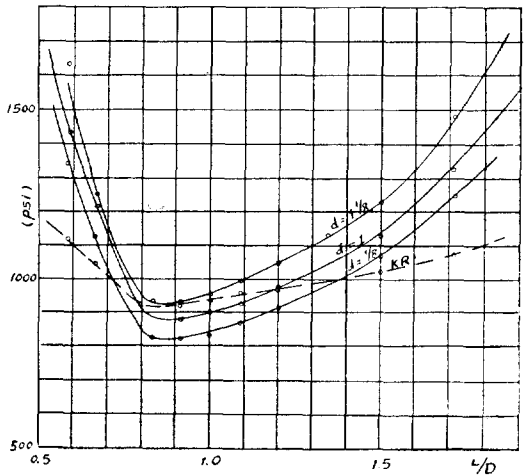


Fig. 13 Effect of length-depth ratio

4. 考 察

Lightening hole boundary 에서의 應力分布는 크기의 差異는 있으나 大體로 Fig. 4와 같은 分布를 하고 있다. 따라서 Lightening hole 을 크게 두고 Boundary 에서 補強을 하는 境遇라면 Lightening hole 로 부터 遊緣까지의 거리가 最大인 點과 最小인 點 近處에 두는 것이 좋다.

Fig 6에 있어서 主應力線이 Brame side와 Beam side에서 完全對稱이 아닌 原因은 Length와 Depth의 길이가 다르기 때문이며 Length와 Depth의 비가 커지거나 작아지면 점점 더 非對稱은 두드러지게 된다.

Lightening hole boundary에서의 Maximum stress는 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12에서와 같이 Hole의 크기가 增加하나 構造規程에서 許容하는 鋼材應力이 6,000 psi 內外이나 3000 psi로 許容하더라도 實際의 Bracket와의 Model ratio를 취하여 計算함으로써 大部分의 Bracket에서 Lightening hole의 크기를 그 位置의 變化없이도 增加시킬 수 있다. Lightening hole의 位置에 依한 影響은 Fig. 7, Fig. 8, Fig. 10, Fig. 11, Fig 12에서 볼 수 있듯이 同一한 크기의 Lightening hole인 境遇에는 그 位置가 幾何學的 中心에서 부터 遊緣쪽으로 移動하면 最大應力은 점차 增加하고 反對로 逆쪽으로 移動하면 減少한다. 따라서 Lightening hole을 Beam과 Frame의 Rivet列線의 交點까지 移動한다면 最大의 Lightening hole을 둘 수 있을 것이다. 또한 Bracket의 遊緣으로 부터 Lightening hole까지의 最短距離가 같은 境遇에는 Lightening hole의 크기가 增加하여도 最大應力의 增加는 微少하다.

Bracket의 Length와 Depth의 비가 變化하면 同一 크기의 Lightening hole을 갖는 境遇에는 Fig. 13에서와 같이 Length와 Depth의 비가 0.8~0.9 사이에서 Maximum stress는 最少値를 갖고 그 以下와 그 以上에서는 急激히 增加한다. 또한 rule上에서 許用하는 最大 크기의 Lightening hole의 境遇에 對하여선 Fig. 13의 點線에서와 같이 Rule에서 許容하는 最大應力은 900~1100 psi임을 알 수 있다.

5. 結 論

最大應力은 Bracket의 遊緣으로 부터 最短距離의 Lightening hole boundary에서 생긴다. (Fig. 5)

Bracket에서의 主應力線은 Fig. 6과 같다.

最大應力은 Lightening hole의 크기의 增加에 따라 增加한다. (Fig. 7~Fig. 12)

同一 크기의 Lightening hole에 對하여 位置가 Bracket의 幾何學的 中心으로 부터 遊緣쪽으로 移動하면 最大應力은 漸次 增加하고 遊緣에서 逆쪽으로 移動하면 감소한다.

最大應力點에서 遊緣까지의 距離가 같은 境遇에는 Lightening hole의 크기가 增加하여도 最大應力의 增加는 적다. (Fig. 7~Fig. 11)

同一 크기의 Lightening hole에 對하여 Length와 Depth의 비가 0.8~0.9에서 最少의 最大應力을 갖고 0.8 以下와 1.2 以上에서 最大應力은 急激히 增加한다. (Fig. 13)

後 記

이 論文을 完成함에 있어서는 서울大學校 工科大學 造船航空學科의 教授陣의 積極的인 助言을 얻었음을 감사드린다. 특히 本論文 提出者의 指導를 맡아 주신 任尙鉉 助教授님의 各별하신 指導에 다시 한번 감사드린다. 또 實驗을 通하여 同學科 大學院生 文章出氏의 큰 助力을 받았음을 아울러 감사드린다.

參 考 文 獻

- [1] 韓國船級協會; 船級登錄 및 構造檢査等에 關한 規則集, 1964 年
- [2] American Bureau of Shipping; "Rule's for the classification and construction of steel vessel," 1954.
- [3] Lloyd's Registration of Shipping; "Rule's and regulation for the construction and classification of steel ship," 1958.
- [4] E.F. Spanner; "Beam—frame connections" INA, Vol. 73, p. 212, 1931.
- [5] M.M. Frocht; "Photoelasticity, Vol. I & II, John Wiley & Sons Inc 1948.
- [6] G. H. Lee; "An introduction to experimental stress analysis," p. 148~p. 224, John Wiley & Sons Inc. 1958.
- [7] M. Hetenyi; "Hand book of Experimental Stress Analysis," John Wiley & Sons, Inc. 1957.
- [8] S. Timoshenko & J.N. Goodier; "Theory of Elasticity" McGraw Hill Book Company Inc., 1951.
- [9] C.E. O'Rourke; "General Engineering Handbook" p. 366, McGraw Hill Book Co.
- [10] Labberton & Marks; "Marine Engineers Handbook, p.779~780, McGraw Hill Book Co., 1945.
- [11] C.Fordsham Holt; "The strength and spacing of transverse frame," INA, Vol. 57, p. 70, 1915.
- [12] E.G. Coker & R. Russel; "stress distribution in fusion joint of plates, connected at right angle INA, Vol. 75, p. 69, 1933.
- [13] W.R. Osgood; "Residual stress in metal and metal construction p. 1~85 Reinhold Publishing corporation, New York., 1954.
- [14] Sir Eustice TD Eyncourt and J. Graham; "Some recent developments toward simplification of merchant ship construction" INA. Vol. 61, p. 193, 1924.
- [15] 任尙鎮, 黃宗屹; "艙口를 갖는 甲板에서의 應力集中", 서울大學校 論文集, Vol. 1. No 1. 1965.
- [16] 林東圭; 引張을 받는 한 변에 두 개의 V 형 -notch를 가진 평판의 光彈性學的 研究, 서울大學校 碩士學位 論文. 1965.