

軸引張下の 平板의 段部 Fillet 近處의 Relieving Groove 가
應力集中에 미치는 影響

金 曉 哲*

Effect of the Semi-circular Relieving Groove
on the Stress Concentration at the Fillet
of the Stepped Bar under Axial Tension

by
Hyochul Kim*

Abstract

A stepped bar with semi-circular stress relieving groove near the fillet was subjected by axial tension in a polarized light field. On the stress concentration factor, the effect of the ratios of the fillet radius, the distance between two relieving grooves and the groove radius to the breadth of the narrower portion of the stepped bar have been investigated. Observing the stress concentration in 48 models with various proportions, the conclusion arrived at were as follows:

- 1) If the fillet radius of the stepped bar is larger than half breadth of the narrower portion, the reduction of the stress concentrations can not be expected.
- 2) If the fillet radius is smaller than half breadth of the narrower portion of the stepped bar, the stress concentration can be dropped to the reasonable range.
- 3) When the groove radius is larger than a quarter of the difference between the distance of two relieving grooves and the breadth of the stepped bar and smaller than a half of that, the stress concentration factors can have their possible minimum value.
- 4) When the sum of the breadth of the narrower portion of the stepped bar and twice of the relieving groove radius is smaller than the distance between two relieving grooves, minimum stress concentration can be obtained.

記 號

D : 넓은 部分의 幅
 d : 좁은 部分의 幅
 R : fillet 의 半徑
 r : groove 의 半徑
 C : groove 間의 距離
 k : 應力集中係數

k_F : fillet boundary 에서의 應力集中係數
 k_G : groove boundary 에서의 應力集中係數
 N_F : fillet boundary 에서의 fringe order
 N_G : groove boundary 에서의 fringe order
 P : 引張荷重

接受日字 1969年 10月 10日
 *正會員, 서울大學校 工科大学

1. 序 論

一般構造物 및 機械의 部品中에서 段을 갖는 部材를 흔히 볼 수 있는데, 이런 部材에서 斷面 寸수의 急激한 變化가 있는 段部에는 應力集中現象이 나타나고, 때로는 이것이 破壞의 直接的인 原因이 되고 있다는 것은 잘 알려진 事實이다[1][2][5]. 이러한 應力集中現象은 段部에서의 斷面 寸수의 變化量에는 큰 關係가 없고, 段部の fillet 半徑에 따라 變化하고 있음이 이미 밝혀진 바 있다[1][2]. 따라서 應力集中을 되도록 작게 하기 위하여 段部の fillet 半徑을 可能한 限 크게 하는 方案을 생각할 수 있으나 實際로는 fillet의 半徑을 크게 하는 데는 限界가 있을 뿐 아니라 오히려 fillet의 半徑을 되도록 줄이던가 또는 어떤 規定치수로 制約해야할 경우가 흔히 있다[8]. 이런 경우의 應力集中을 어느 程度 줄이기 爲한 方法으로서 stress relieving groove을 使用하고 있는 例를 bolt head나 shrink fit된 車輪 등에서 찾아 볼 수 있다[9]. 따라서 fillet 半徑과 stress relieving groove을 適當히 組合하여 使用함으로써 應力集中을 어느 程度 効果的으로 解消하며, 여러 制約條件에도 滿足할만한 結果를 얻을 수 있으리라 期待된다. 이러한 可能性을 確認하기 爲하여 Fig. 1과 같은 光彈性模型에 軸引張荷重을 作用시키고 fillet의 半徑과 groove의 크기 및 그 位置를 變化시키면서 光彈性實驗을 實施하였다.

2. 實驗計劃 및 模型

模型의 形狀은 本實驗 所期의 目的을 達成키 爲하여 다음의 各 條件들을 考慮하여 Fig 1과 같이 決定하였다.

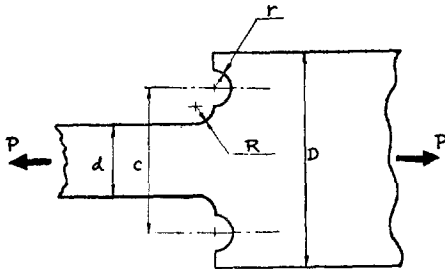


Fig 1. Model

1) 段의 크기

段部の 斷面寸수 變化量은 應力集中係數에 影響을 거의 주지 못함으로 本實驗에서는 便宜上 $d/D=3$ 으로 擇하였다[1][2].

2) Fillet의 半徑

fillet의 半徑이 應力集中係數에 큰 影響을 주고 있음은 이미 잘 알려져 있음으로 比較的 큰 應力集中現象을 보이고 있는 $R/d = 0.125, 0.25, 0.375$ 의 3가지 경우에 對하여 實驗하였다[1][2].

3) Groove의 크기

實際 使用條件에 있어서는 原型에 局部的인 最少限의 變化를 일으키는 範圍 안에서 groove의 設置를 許容하므로 $r/d = 0, 1/16, 3/32, 1/8, 5/32, 3/16, 7/32, 1/4$ 의 8가지 경우에 對하여 實驗하였다.

4) Groove의 位置

groove의 位置는 $c/d = 1.5$ 와 $c/d = 2$ 의 두 가지 경우를 擇하여 實驗하였다. 이는 Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 $c/d = 2$ 以上の 경우에 對하여서는 本實驗에서 使用한 光彈性材料의 彈性限界內의 應力下에서 groove는 거의 應力을 받고 있지 않은 0 fringe region에 들어가서, groove의 크기가 $r/d = 1/4$ 以上으로 되어 原型을 크게 變化시키는 경우에만 비로서 그 效果를 期待할 수 있기 때문에 本實驗에서 除外하였다[3][4][6].

5) 模 型

光彈性實驗 模型의 材料로서는 比較的 그 性能이 優秀하여 많이 使用되고 있는 fringe value $f=336$ psi/fringe인 두께 $1/4$ "의 CR-39 板材를 使用하였다. 模型의 寸수는 光彈性試驗機의 計測範圍를 考慮하여 $d=1'' D=3''$ 로 製作하였다. 模型의 種類는 Table 1에서 보는 바와 같이 48種으로 하였다. 模型製作에 있어서는 誤差의 許容限界를 $\pm 1/200''$ 로 하였고, 熱應力의 潛入과 時効影響을 避하기 爲하여 細心한 注意를 하였다[3][4][6].

Table 1. Proportions of models

$R/d=0.375$				$R/d=0.25$				$R/d=0.125$			
$c/d=1.5$		$c/d=2$		$c/d=1.5$		$c/d=2$		$c/d=1.5$		$c/d=2$	
Model No	r/d	Model No	r/d	Model No	r/d	Model No	r/d	Model No	r/d	Model No	r/d
1	0	9	8	17	0	25	0	33	0	41	0
2	1/16	10	1/16	18	1/16	26	1/16	34	1/16	42	1/16
3	3/32	11	3/32	19	3/32	27	3/32	35	3/32	43	3/32
4	1/8	12	1/8	20	1/8	28	1/8	36	1/8	44	1/8
5	5/32	13	5/32	21	5/32	29	5/32	37	5/32	45	5/32
6	3/16	14	3/16	22	3/16	30	3/16	38	3/16	46	3/16
7	7/32	15	7/32	23	7/32	31	7/32	39	7/32	47	7/32
8	1/4	16	1/4	24	1/4	32	1/4	40	1/4	48	1/4

3. 實驗 및 結果

模型에 荷重을 加함에 따라 發生하는 fringe pattern 은 Fig 2 및 Fig 3 과 같았다.

荷重의 計測은 fringe 의 發生을 目測하여 着目한 位置에서 整數位의 fringe 가 發生할 때에 그 荷重을 記錄하고 dark field 및 light field 에서의 stress pattern 을 攝影하고 이를 擴大하여 fringe 를 읽음으로써 正確한 實驗值을 얻도록 努力하였다[4][5][6]. 이러한 計測으로 얻어진 結果를 整理하여 Table 2 와 Fig 4 를 얻었다.



Fig. 2. Stress pattern for the model without relieving groove
 $P=263$ lbs
 $N_F=5$ $k_F=1.60$
 $N_G=1$ $k_G=0.32$



Fig. 3. Stress pattern for the model with relieving groove
 $P=250$ lbs
 $N_F=4.5$ $k_F=1.51$
 $N_G=3.5$ $k_G=1.18$

Table 2 Stress concentration factors

Model No	k_F	k_G	Model No	k_F	k_G	Model No	k_F	k_G
1	1.60	0.32	17	1.77	0.16	33	2.10	0.00
2	1.58	0.70	18	1.73	0.52	34	1.92	0.29
3	1.59	0.95	19	1.68	0.75	35	1.83	0.45
4	1.51	1.18	20	1.62	0.94	36	1.70	0.78
5	1.45	1.29	21	1.50	1.09	37	1.55	0.98
6	1.34	1.49	22	1.37	1.37	38	1.42	1.14
7	1.21	1.51	23	1.12	1.52	39	1.26	1.36
8	1.04	1.64	24	1.04	1.94	40	1.04	1.64
9	1.60	0.32	25	1.17	0.16	41	2.10	0.00
10	1.60	0.29	26	1.75	0.18	42	2.02	0.00
11	1.55	0.39	27	1.73	0.17	43	1.94	0.00
12	1.57	0.43	28	1.71	0.17	44	1.90	0.16
13	1.56	0.57	29	1.68	0.34	45	1.83	0.14
14	1.54	0.56	30	1.66	0.45	46	1.78	0.30
15	1.50	0.60	31	1.59	0.43	47	1.68	0.28
16	1.49	0.75	32	1.55	0.56	48	1.68	0.42

4. 考 察

1) Groove 의 크기에 의한 影響

groove 의 位置가 一定한 경우에 있어서는 groove 의 半徑이 $0 \sim 1/4(c-d)$ 에서는 그 크기가 增大함에 따라 fillet 部位에 發生하는 應力集中係數의 減小率은 比較的 緩慢하고, $1/4(c-d) < r < 1/2(c-d)$ 에서는 r 의 增加에 따른 應力集中係數의 減小率은 漸次 增加하게 되며, $r = (c-d)$ 의 경우에는 거의 同一한 크기의 最小值를 나타내어 fillet 의 boundary 에서 應力集中係數는 $1 \sim 1.1$ 近處의 값이 된다. 또한, groove 의 boundary 에 있어서는 groove 의 半徑이 增加함에 따라 R 이 $0.5d$ 보다 작은 경우에는 應力은 漸次 局部的으로 增加하여 應力集中現象을 보이게 되며, fillet 部位에서 보다도 큰 값의 應力集中係數를 갖게 된다. R 이 $0.5d$ 보다 훨씬 큰 값에서는 groove 의 半徑 r 이 작을수록 應力集中係數는 큰 값을 보이고 groove 의 크기가 增大함에 따라 漸次 減小하게 된다. $r = 1/2(c-d)$ 인 경우에는 groove 의 boundary 에서 發生하는 應力集中係數는 groove 의 位置別로 fillet 의 半徑에 關係없이 一定한 값을 갖게 된다.

2) Groove 의 位置에 의한 影響

fillet 의 半徑이 $r/d = 1/4$ 以內에서는 r 의 增加에 따른 fillet 의 boundary 에서의 應力集中係數는 $c=d$ 에서는 半徑에 의한 影響만을 받으며 그 減小率은 $c/d \rightarrow 1.0$ 일때 가장 큰 값을 보이고, c 가 커짐에 따라 減小하여 2.0보다 큰 값이 될 때에는 거의 무시할 만한 값이 된다. groove 의 boundary 에서 發生하는 應力集中係數는 $c=d$ 에서 fillet 의 半徑에 의한 影響만을 받고 groove 의 半徑의 增加에 따른 應力集中係數의 變化率은 $c/d \rightarrow 1.0$ 일때 最大值를 보이고 c 가 增加함에 따라 減小하여 2.0보다 큰 값이 될 때에는 거의 無視할 만한 값이 된다.

3) Fillet 의 半徑에 의한 影響

段部에 groove 를 設置하면 一般的으로 fillet 의 半徑에 關係없이 fillet 部位에서 應力集中係數의 減小를 期待할 수 있다. 그러나 groove 의 boundary 에서도 應力集中이 생기므로 恒常 有利한 結果를 얻는 것은 아니다.

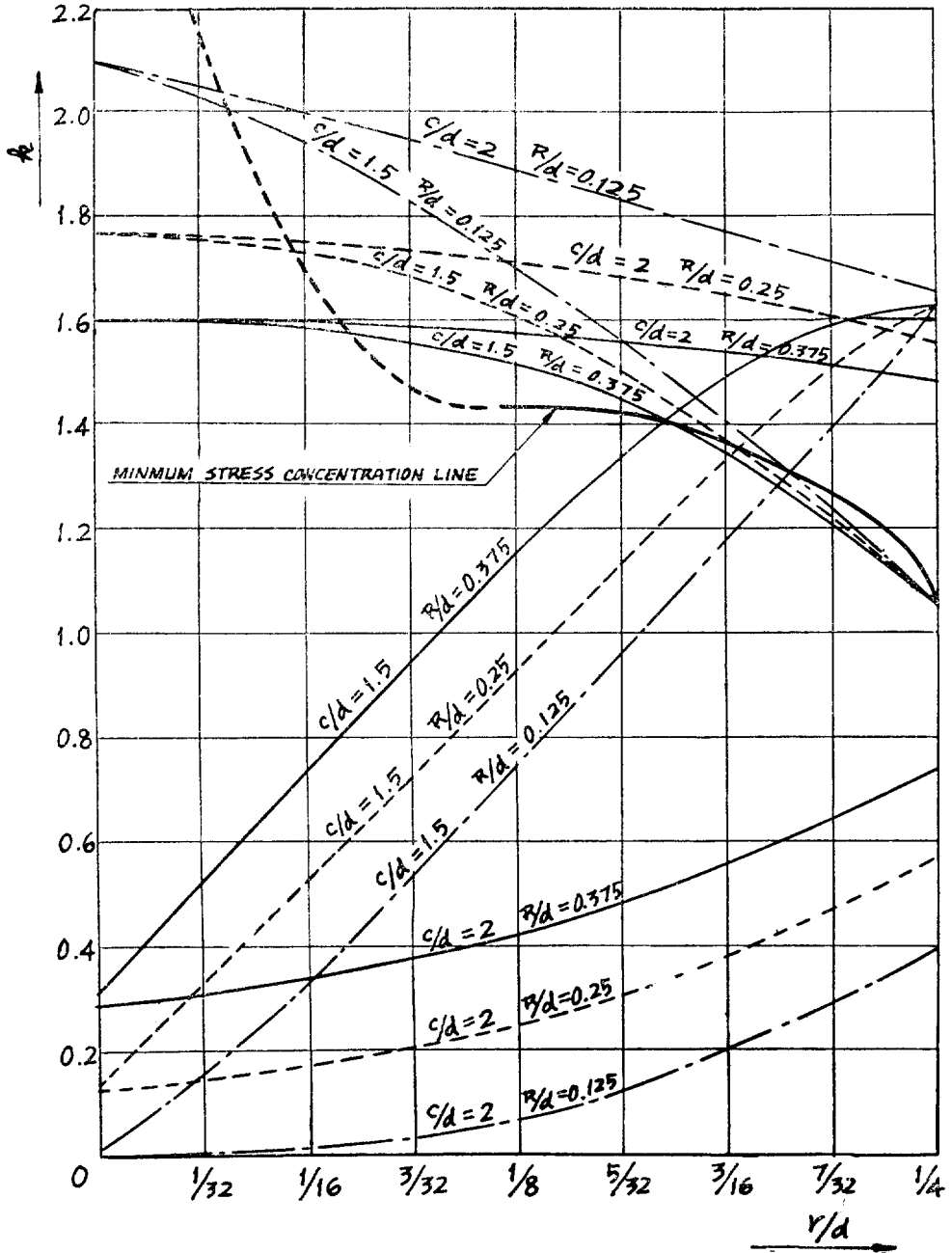


Fig. 4. Effect of stress relieving groove

즉 fillet의 半徑이 $0.5d$ 보다 훨씬 큰 경우에는 groove의 boundary에서 큰 應力集中이 發生하므로 오히려 groove를 設置함으로써 原型을 弱화시키는 結果가 된다. fillet의 半徑이 $0.5d$ 近處에서는 groove을 設置하므로 얻어지는 應力集中係數의 減小量은 거의 無視할 수 있을 程度이며, fillet의 半徑이 $0.5d$ 보다 작을 때에는 groove를 設置함으로써 應力集中係數의 큰 減小을 얻을 수 있다.

4) 最小應力線

段部에 groove을 設置하면 groove의 半徑이 增加함에 따라 groove boundary에서와 fillet boundary에서의 應力集中係數가 같아지는 點을 發見할 수 있는데, 이러한 點은 groove을 設置함으로써 그 때의 fillet의 半徑에서 얻을 수 있는 最小 應力集中係數 및 groove의 半徑을 나타내게 된다. $c/d = 1.5$ 일때 이러한 點들로부터 Fig. 4에서 보는 바와 같은 最小 應力線을 얻을 수 있었으며, 이 最小 應力線의 點線部分은 groove의 boundary에서와 fillet의 boundary에서의 應力集中係數가 같아 지지 않는 경우 卽 groove을 設置함으로써 原型을 도리히 弱화시키는 部分을 나타내고 있다. 實線으로 된 部分은 $r/d = 1/8$ 近處에서 groove를 設置하더라도 應力集中係數의 減小이 別로 일어나지 않는 水平部와 應力集中係數의 減小이 比較的 큰 部分으로 나누어 생각할 수 있다. 따라서 最小應力線으로부터 fillet의 半徑이 작을수록 段部에 크기가 $1/4(c-d) < r < 1/2(c-d)$ 인 groove을 設置함으로써 應力集中係數의 큰 減小을 期待할 수 있다.

5. 結 論

- 1) fillet 半徑이 $R/d=0.5$ 이상일 경우에는 groove을 設置함으로써 應力集中係數의 減小을 期待할 수 없다.
- 2) fillet 半徑이 $R/d = 0.5$ 이상일 경우에는 groove을 設置함으로써 應力集中係數를 減小시킬 수 있다.
- 3) groove의 크기를 $1/4(c-d) < r < 1/2(c-d)$ 로 할 때 最小의 應力集中係數를 얻을 수 있다.
- 4) groove의 位置 c 는 $d+2r$ 보다 약간 크게 하는 것이 좋다.

後 記

本論文 作成에 있어서 많은 助言을 해주신 任尙鑣教授님과 實驗을 도와 준 魏在弼氏에게 感謝드립니다.

參 考 文 獻

- [1] S. Timoshenko and Goodier, "Theory of Elasticity," McGraw-Hill Book Company, 1951.
- [2] Clarence R Smith, "Tips on Fatigue," Bureau of Naval Weapon, 1963.
- [3] Max Mark Frocht, "Photoelasticity," John Wiley and Sons, Inc., 1949.
- [4] Coker and Filon, "A treatise on Photoelasticity," Cambridge University Press, 1957.
- [5] W.R. Osgood, "Residual Stress in Metals and Metal Construction," Reinhold, 1954.
- [6] George Hamor Lee, "An Introduction to Experimental Stress Analysis," John Wiley and Sons, Inc., 1958.
- [7] 任尙鑣, 黃宗屹, "艙口를 갖는 平板에서의 應力集中," 서울大學校 論文集 Vol 1, No. 1, 1965.
- [8] 大西清, "JIS 機械設計製圖編覽," 理工學社, 1964.
- [9] 任尙鑣譯, "材料力學," 文運堂, 1962.