

< 論 文 >

테프론 균열 주형법 開發에 관한 研究

崔相實\* · 崔善浩\*\* · 黃在錫\*\*\*

(1987年 7月 29日 接受)

A Study on the Teflon Crack Molding Method

Sang In Choi, Sun Ho Choi and Jai Sug Hawong

Key Words: Teflon Molding Method(테프론주형법), Molding Table(주형대)

Abstract

In this paper, Crack molding method called "Teflon crack Molding Method" is developed. With help of this method, we can mold a crack which is very similar to the natural crack, which has the tip radius of about 20μm, the vertical and horizontal quality of crack excellent. In addition to these, by using this method in photoelastic experiment we can obtain the clear crack tip location and Isochromatic fringe pattern boundary, therefore the precise in the experimental data can be improved.

기 호 설 명

- $a$  : 균열의 길이
- $b$  : 시편의 폭
- $h$  : 시편 길이
- $k$  : 무한판의 응력 확대 계수
- $k_I$  : 모드 [ I ] 응력 확대계수
- $k_{II}$  : 모드 [ II ] 응력 확대계수
- $N$  : 무늬차수
- $r$  : 극좌표 (거리)
- $t$  : 시편 두께
- $\alpha$  : 광탄성 감도
- $\beta$  : 균열경사각
- $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  : 응력 성분
- $\sigma_1, \sigma_2$  : 주응력

- $\sigma_{ox}$  : 특이 응력
- $\theta$  : 극좌표 (각)

1. 序 論

破壊力學에서 균열선단 부근의 應力分布는 應力擴大係數에 依하여 支配되므로 現在까지 應力擴大係數를 求하기 위한 여러가지 方法들이 研究되어왔다<sup>(1)</sup>.

그 中에서 理論的인 方法은 경계조건에 따라 많은 제약을 받기 때문에 대개 實驗的인 方法에 依存하고 있다<sup>(2)</sup>.

특히 光彈性에 依한 應力擴大係數의 測定은 光彈性이지니는 特性에 따라 他實驗에 比하여 便利 사용되고는 있으나 아직도 다음과 같은 難點들이 남아 있다.

(1) 테프론 주형법<sup>(3)</sup>에 依하여 印의의 예리한 균열을 얻고는 있으나 에폭시板에 對하여 垂直性和 直線성을 유지하기 어렵다.

\* 正會員, 尙州農業專門大學 農業機械科  
 \*\* 正會員, 嶺南大學校 工科大學 機械設計學科  
 \*\*\* 正會員, 嶺南大學校 工科大學 機械工學科

(2) 테프론 균열을 주형한 에폭시 덩이를 兩面을 機械加工함에 따라 거친면 때문에 鮮명한 무늬를 얻기가 어렵다.

(3) 機械加工한 面에 알파-브로모 나프타렌( $\alpha$ -Bromo Naphtalene)과 파라핀의 혼합액을 도포하여 무늬 사진을 촬영하기 때문에 균열선단의 正確한 位置決定이 매우 어렵다.

(4) 試片의 주형 및 加工 때문에 過다한 時間과 經費上的 낭비등을 들 수 있다. 本 論文에서는 이런 點을 감안하여 테프론 주형법의 長點들을 利用히되 에폭시 덩이를 만드는 주형상자 대신에 에폭시 판과 테프론 균열이 垂直性과 直線性을 유지할 수 있도록 새로 주형대(molding table)를 開發하여 必要한 균열길이와 두께의 에폭시板을 만들고 機械加工없이 直接試片으로 使用하여 光彈性장치에서 무늬사진을 얻음으로서 기계 가공시에 일어나는 여러 問題들을 일소하고 時間과 經費를 크게 절약 하려고 하였으며 지금까지의 어떤 實驗方法 보다도 精確한 測定으로 應力擴大係數 解析上의 誤差를 줄이는데 目的이 있다.

2. 基礎理論

2.1 等分布荷重을 받는 矩形板의 應力擴大係數

동분포하중을 받는 矩形板의 應力擴大係數는 다음과 같이 나타낸다.

$$K_1 = \sigma \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_1\left(\frac{a}{b}\right) \quad (1)$$

그리고  $F_1\left(\frac{a}{b}\right)$ 에 對한 修正係數가 여러 學者들에 依하여 다음과 같이 誘導되었다.

(1) 內部垂直 균열을 갖는 경우에는 式(2)~式(7)을 理論值로 하여 實驗值와 比較하였다.

$$F_1\left(\frac{a}{b}\right) = \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{b}{a} \tan \frac{\pi a}{2b}} \quad (2)$$

$$F_1\left(\frac{a}{b}\right) = 1 + 0.128\left(\frac{a}{b}\right) - 0.288\left(\frac{a}{b}\right)^3 + 1.525\left(\frac{a}{b}\right)^{3(5)} \quad (3)$$

$$F_1\left(\frac{a}{b}\right) = \sqrt{\sec \frac{\pi a}{2b}} \quad (4)$$

$$F_1\left(\frac{a}{b}\right) = \left\{ 1 - 0.5\left(\frac{a}{b}\right) + 0.326\left(\frac{a}{b}\right)^3 \right\} / \left(1 - \frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{2}(7)} \quad (5)$$

$$F_1\left(\frac{a}{b}\right) = \left\{ 1 - 0.5\left(\frac{a}{b}\right) + 0.370\left(\frac{a}{b}\right)^3 \right\}$$

$$+ 0.044\left(\frac{a}{b}\right)^3 \Big/ \left(1 - \frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{2}(6)} \quad (6)$$

$$F_1\left(\frac{a}{b}\right) = \left\{ 1 - 0.025\left(\frac{a}{b}\right)^2 + 0.06\left(\frac{a}{b}\right)^4 \right\} \cdot \sqrt{\sec \frac{\pi a}{2b}} \quad (7)$$

(2) 外部垂直 균열을 갖는 경우에는 式(8)~式(9)을 理論值로 하여 實驗值와 比較하였다.

$$F_1\left(\frac{a}{w}\right) = 1.12 - 0.231\left(\frac{a}{w}\right) + 10.6\left(\frac{a}{w}\right)^2 - 21.7\left(\frac{a}{w}\right)^3 + 30.4\left(\frac{a}{w}\right)^{4(10)} \quad (8)$$

$$F_1\left(\frac{a}{w}\right) = \left\{ 1 - 3\left(\frac{a}{b}\right) \right\} / 2 \sqrt{\frac{\pi a}{b}} \left(1 - \frac{a}{b}\right)^{\frac{1}{2}(11)} \quad (9)$$

(3) 內部傾斜 균열을 갖는 경우에는 Wilson<sup>(12)</sup>의 F.E.M. 값과 比較하였다.

(4) 外部傾斜 균열을 갖는 경우에도 Wilson<sup>(13)</sup>의 F.E.M. 값과 比較하였다.

2.2 應力擴大係數의 決定法(光彈性 무늬와 應力擴大係數와의 關係)

균열선단 부근의 應力은 近似的으로 다음식이 된다.

$$\sigma_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \left[ K_1 \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3}{2}\theta \right) - K_{II} \sin \frac{\theta}{2} \left( 2 + \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3}{2}\theta \right) \right] - \sigma_{ox}$$

$$\sigma_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \left[ K_1 \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 + \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3}{2}\theta \right) + K_{II} \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3}{2}\theta \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \left[ K_1 \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3}{2}\theta + K_{II} \cos \frac{\theta}{2} \left( 1 - \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3}{2}\theta \right) \right]$$

동색선의 무늬가 主應力의 差로 表示되므로 무늬差數(N), 에폭시板의 두께(t), 光彈性 感度( $\alpha$ ) 사이에는 다음식이 成立한다.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2\tau_{max} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{N}{\alpha \cdot t} \quad (11)$$

여기에 式(10)을 代入하여 整理하면

$$(2\tau_{max})^2 = \left( \frac{N}{\alpha \cdot t} \right)^2 = \frac{1}{2\pi r} \left[ (K_1 \sin \theta + 2K_{II} \cos \theta)^2 + (K_{II} \sin \theta)^2 \right] + \frac{2\sigma_{ox}}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} [K_1 \sin \theta (1 + 2\cos \theta) + K_{II} (1 + 2\cos^2 \theta + \cos \theta)] + \sigma_{ox}^2 \quad (12)$$

위의 式(12)로부터 應力擴大係數를 求하는 方法으로 는 여러가지가 있는데 本 論文에서는 그 중에서도 가장 正確한 3線介數法인<sup>(14)</sup> 最小自乘法을<sup>(15)</sup> 使用하였다.

2.3 最小自乘法

동색선 무늬에서 임의의  $m$  個點을 택하여 式(12)에 代入하고 Newton Raphson 反復法을 適用하여  $K_1, K_I, \sigma_{0x}$ 를 求하였다.

또 式(12)를 變更하여 式(13)을 얻는다.

$$g_k(K_1, K_I, \sigma_{0x}) = \frac{1}{2\pi r} [(K_1 \sin 2\theta_k + 2K_I \cos \theta_k)^2 + (K_I \sin \theta_k)^2] + \frac{2\sigma_{0x}}{2\pi r} \sin \frac{\theta_k}{2} [K_I \sin \theta_k (1 + 2\cos \theta_k) + K_I (1 + 2\cos^2 \theta_k + \cos \theta_k)] + \sigma_{0x}^2 - \left(\frac{N}{\alpha l}\right)^2 = 0 \quad (13)$$

여기서  $k=1, 2, 3, \dots, m$ .

式(13)을 테일러 급수 展開하면 式(14)가 된다.

$$(g_k)_{i+1} = (g_k)_i + \left(\frac{\partial g_k}{\partial K_1}\right)_i \cdot \Delta K_1 + \left(\frac{\partial g_k}{\partial K_I}\right)_i \cdot \Delta K_I + \left(\frac{\partial g_k}{\partial \sigma_{0x}}\right)_i \cdot \Delta \sigma_{0x} \quad (14)$$

여기서  $i$ 는  $i$  번째의 反復段階를 나타내며  $(g_k)_{i+1}$ 은 0 이므로 式(14)는

$$\left(\frac{\partial g_k}{\partial K_1}\right)_i \cdot \Delta K_1 + \left(\frac{\partial g_k}{\partial K_I}\right)_i \cdot \Delta K_I + \left(\frac{\partial g_k}{\partial \sigma_{0x}}\right)_i \cdot \Delta \sigma_{0x} = -(g_k)_i \quad (15)$$

式(13)을 式(15)에 適用하여  $K_1, K_I, \sigma_{0x}$  形態의 線形方程式으로 表示하고 행렬식으로 나타내면 式(16)과 같이 된다.

$$[G] = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_k \end{pmatrix}, [A] = - \begin{pmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial K_1} & \frac{\partial g_1}{\partial K_I} & \frac{\partial g_1}{\partial \sigma_{0x}} \\ \frac{\partial g_2}{\partial K_1} & \frac{\partial g_2}{\partial K_I} & \frac{\partial g_2}{\partial \sigma_{0x}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial g_k}{\partial K_1} & \frac{\partial g_k}{\partial K_I} & \frac{\partial g_k}{\partial \sigma_{0x}} \end{pmatrix}$$

$$[\Delta K] = \begin{pmatrix} \Delta K_1 \\ \Delta K_I \\ \Delta \sigma_{0x} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_k \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial K_1} & \frac{\partial g_1}{\partial K_I} & \frac{\partial g_1}{\partial \sigma_{0x}} \\ \frac{\partial g_2}{\partial K_1} & \frac{\partial g_2}{\partial K_I} & \frac{\partial g_2}{\partial \sigma_{0x}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial g_k}{\partial K_1} & \frac{\partial g_k}{\partial K_I} & \frac{\partial g_k}{\partial \sigma_{0x}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta K_1 \\ \Delta K_I \\ \Delta \sigma_{0x} \end{pmatrix} \quad (16)$$

式(16)을 간략히 쓰면

$$[G] = [A] \cdot [\Delta K] \quad (17)$$

[A]의 移項 [A]<sup>-1</sup>를 곱하여

$$[A]^{-1} \cdot [G] = [A]^{-1} \cdot [A] \cdot [\Delta K] \quad (18)$$

여기서  $[A]^{-1} \cdot [G] = [D]$ ,  $[A]^{-1} \cdot [A] = [C]$ 라 놓으면

式(18)은  $[D] = [C] \cdot [\Delta K]$

$$\text{또 } [\Delta K] = [C]^{-1} \cdot [D] \quad (20)$$

等色線上的 임의의 點의 좌표를 式(13)에 代入하여 最終적으로 式(16)~式(20)의 과정을 통하여  $\Delta K_1, \Delta K_I, \Delta \sigma_{0x}$ 를 求할 수 있고 本 實驗에서 求하려고 하는  $K_1, K_I, \sigma_{0x}$ 는 式(21)에서 얻는다.

$$(K_1)_{i+1} = (K_1)_i + \Delta K_1$$

$$(K_I)_{i+1} = (K_I)_i + \Delta K_I$$

$$(\sigma_{0x})_{i+1} = (\sigma_{0x})_i + \Delta \sigma_{0x} \quad (21)$$

3. 實 驗

3.1 試片의 製作

에폭시 수지와 테프론이 서로 接着하지 않는 性質을 利用하여 테프론 균열을 갖는 에폭시板을 다음에 依하여 製作하였다.

(1) 에폭시板에 테프론 균열이 垂直으로 또 直線이 되게 하기 위하여 주형대를 Fig. 1과 같이 제작하였다.

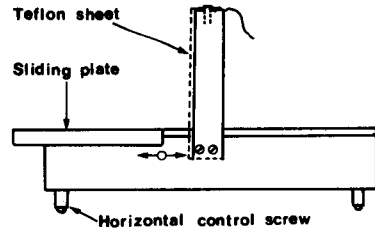


Fig. 1 Molding table

(2) 주형대를 水平으로 固定하고 테프론을 必要한 만큼 垂直으로 그리고 直線이 되게 유지시킨다.

(3) 주형대크기의 1/2 되는 유리板 두장에 셀로판 종이를 밀착시켜 테프론 양쪽에서 水平되게 設置한다.

(4) 테프론 균열을 기준으로 必要한 크기와 두께의 유리를 양면 테이프로 固定시킨다.

(5) 完全히 溶解된 아랄다이트(CT200)와 경화제의

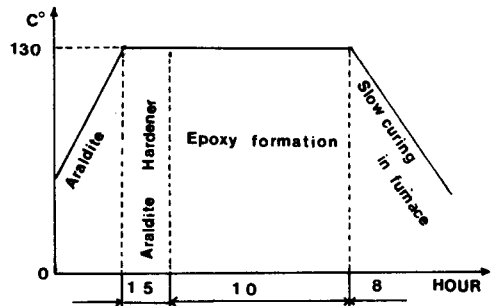


Fig. 2 Curing cycle

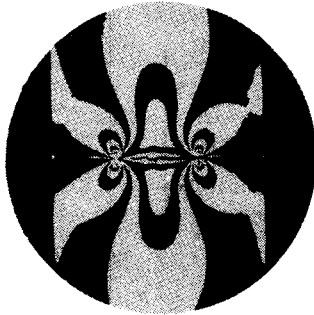
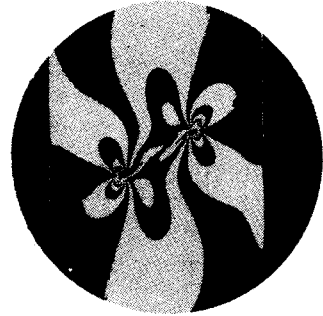
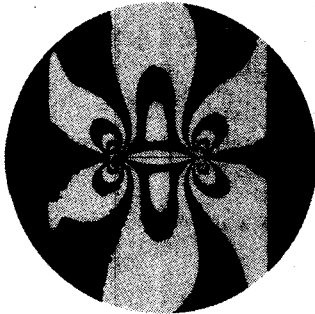
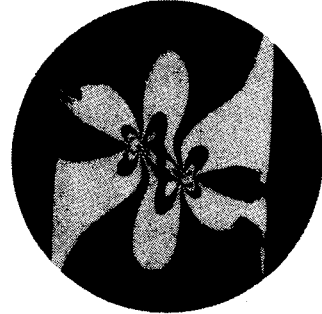
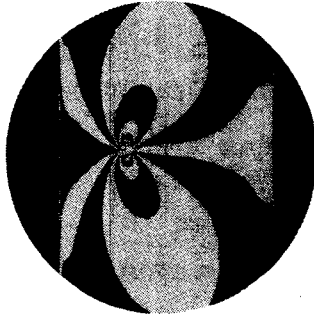
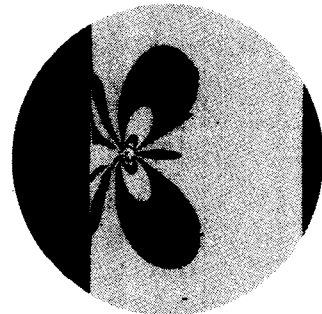
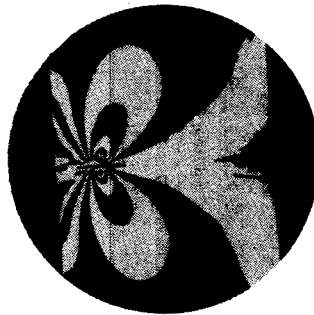
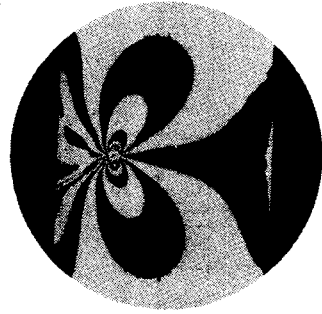
(a)  $2a=15.534\text{mm}$ ,  $p=80\text{kg}$ ,  $\beta=90^\circ$ (e)  $2a=16.428\text{mm}$ ,  $p=80\text{kg}$ ,  $\beta=30^\circ$ (b)  $2a=15.38\text{mm}$ ,  $p=80\text{kg}$ ,  $\beta=90^\circ$ (f)  $2a=12.012\text{mm}$ ,  $p=44\text{kg}$ ,  $\beta=60^\circ$ (c)  $2a=12.311\text{mm}$ ,  $p=44\text{kg}$ ,  $\beta=90^\circ$ (g)  $a=7.982\text{mm}$ ,  $p=64\text{kg}$ ,  $\beta=60^\circ$ (d)  $2a=8.234\text{mm}$ ,  $p=80\text{kg}$ ,  $\beta=90^\circ$ (h)  $a=11.901\text{mm}$ ,  $p=48\text{kg}$ ,  $\beta=60^\circ$ 

Fig. 3 Fringe patterns

혼합액을 주형내에 주입하고 수시로 기포를 除去한다.

(6) 이 때 Fig. 2와 같은 硬化過程에 의하여 테프론 균열을 가지고 兩面이 깨끗한 에폭시板을 얻는다.

위의 過程을 통하여 만든 에폭시板을 機械加工없이 그대로 試片으로 使用할 수 있으므로 Fig. 3과 같은 균열선단이 分明하고 무늬가 매우 鮮명한 等色線사진을 얻을 수 있다.

### 3.2 測定 및 考察

本 研究에서 開發한 테프론 균열 주형법에 의하여 製作한 에폭시 板을 폭이 40mm, 길이 240mm, 균열의 경사각  $\beta$ 를 고려하여 재단하고 이 試片을 透過用 光彈性 實驗裝置를 使用하여 얻은 무늬 사진은 Fig. 3과 같다.

光彈性 實驗에서 誤차를 發生시키는 原因으로는 (a) 實物에 가까운 예리한 균열의 加工上的 難點 (b) 結果 測定 및 균열선단의 塑性問題 (c) 균열선단의 位置決定上的 問題 (d) 應力擴大係數의 計算法 (e) 等色線 무늬의 正確한 位置選定上的 問題들을 들 수 있다.

여기서 (b)項은 지금까지 使用하여온 外插法에 依하

여 解消되고 (d)項은 最小自乘法을 使用함으로써 解消되며 本 研究에서 開發한 테프론 균열 주형법을 使用하여 만든 試片을 使用하면 (a), (c), (e)項의 難點까지 完全히 解消할 수 있다.

지금까지의 機械加工에 依한 균열과 本 實驗에서 제작한 테프론 균열을 顯微鏡사진으로 그 예리함과 垂直性 및 直線性을 比較한 것은 Fig. 4와 같다.

균열을 갖는 材料의 應力集中의 程度는 (i)균열의 길이가 길수록 (ii) 균열선단의 曲率半徑이 작을수록 현저하고 曲率半徑이 0일 때가 가장 理想的인 균열이 되며 이 때 式(12)가 近似的으로 成立한다.

Fig. 4에서 보듯이 테프론 균열(폭  $t=20\mu\text{m}$ )이 機械加工時의 균열(폭  $t=600\mu\text{m}$ )보다 約 30倍 예리하여 曲率半徑이 근사적으로 0이라 볼수 있기 때문에 균열선단의 位置와 무늬差數의 測定에서 精密度가 높고 正確한 應力擴大係數의 값을 얻게 되었다.

또한 Fig. 3의 무늬 사진으로  $10^{-3}\text{mm}$ 까지 測定이 가능한 直視用比較測定器를 使用하여 測定한 값들을 最小自乘法으로 얻은 實驗値와 Irwin, Brown, Fedderson, Koiter, Tada, Brown & Srawley, Orange,



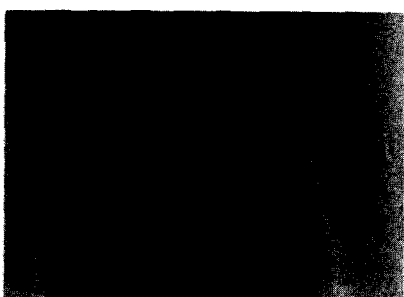
(a) Teflon crack 25×2  
(Teflon molding method)



(c) Teflon crack 25×2  
(Teflon crack molding method)



(b) Teflon crack 25×2  
(Teflon molding method)



(d) Mechanical crack 25×2

Fig. 4 Comparison with teflon crack and mechanical crack

Wilson 등의 理論値와 對比하여 본 結果는 Fig. 5~ Fig. 8과 같다.

內部垂直 균열인 경우에는 Fig. 5에서와 같이  $\frac{a}{b} = 0.4$ ,  $\frac{h}{b} = 3$ ,  $p = 80\text{kg}$ ,  $a = 7.767\text{mm}$  일 때 實驗結果는  $\frac{K_I}{K_0} = 1.419$ 로서 式(2)~式(7)에 對한 理論値와 比較할 때 Fedderson, Tada 값과 잘 맞고 誤差가 6%程度 發生한다.

外部垂直 균열인 경우에는 Fig. 6에서와 같이  $\frac{a}{b} = 0.3$ ,  $\frac{h}{b} = 3$ ,  $p = 44\text{kg}$ ,  $a = 12.43\text{mm}$  일 때 實驗結果는  $\frac{K_I}{K_0} = 1.70$ 이고 式(8)~式(9)에 對한 理論値와 比較할 때 Brown & Srawley 값과는 誤差가 約 0.9%만 發生하고 Orange 값과는 誤差가 約 0.66%가 發生하므로 理論값과 매우 잘 맞음을 알 수 있었다.

內部傾斜 균열인 경우에는 Fig. 7에서와 같이  $\frac{a}{b} = 0.4$ ,  $\frac{h}{b} = 3$ ,  $p = 80\text{kg}$ ,  $2a = 16.68\text{mm}$ ,  $\beta = 60^\circ$  일 때 實驗値가  $\frac{K_I}{K_0} = 0.96$ 이고  $\frac{K_{II}}{K_0} = 0.35$ 로서 Wilson의 F.E.M. 結果와 約 1%~2.8%의 誤差가 發生하였다.

外部傾斜 균열인 경우에는 Fig. 8과 같이  $\frac{a}{b} = 0.4$ ,

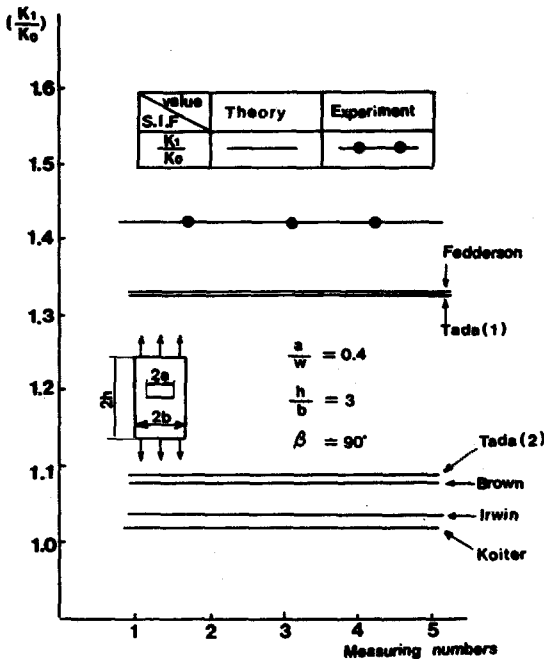


Fig. 5 Comparison between theoretical and experiment value for internal horizon crack

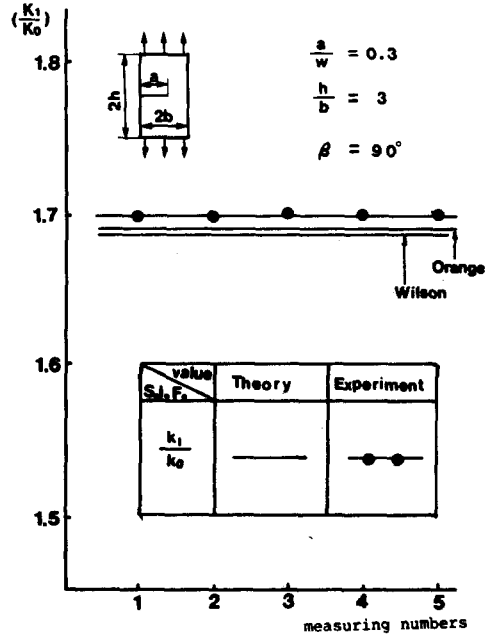


Fig. 6 Comparison between theoretical and experimental value for edge horizontal crack

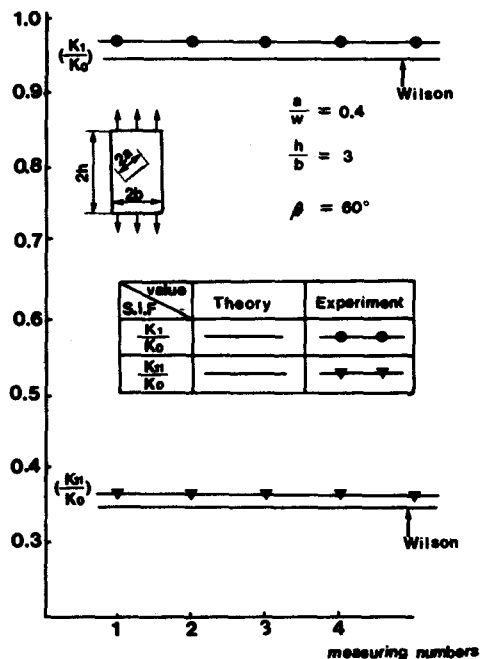


Fig. 7 Comparison between theoretical and experiment value for internal slanted crack

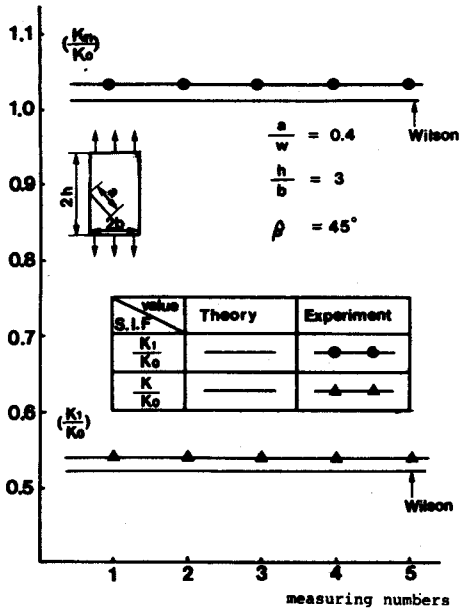


Fig. 8 Comparison between theoretical and experimental value for edge slanted crack

$\frac{h}{b}=3, p=40\text{kg}, a=16.26\text{mm}, \beta=45^\circ$ 일 때 實驗結果는  $\frac{K_1}{K_0}=1.03, \frac{K_2}{K_0}=0.54$ 로서 Wilson의 F.E.M. 결과와 약 2%~5.9%의 誤差가 發生하였다.

4. 結 論

Fig. 5~Fig. 8을 通하여 보되내 本 實驗에서 開發한 테프론 균열 주형법을 使用하여 얻은 試片을 透過用 光彈性 實驗裝置를 使用하여 촬영한 等色線 무늬사진으로 測定한 結果로 計算한 應力擴大係數의 값이 內部垂直, 外部垂直, 內部傾斜, 外部傾斜 균열에 關係없이 誤差가 6% 未滿이므로 本 實驗에서 開發한 테프론 균열 주형법을 使用하여 精密度를 높일 수 있을 뿐만 아니라 自然龜裂에 가까운 예리한 균열을 주형할 수 있다.

(1) 테프론 균열 주형법에서 제작한 균열은 垂直性和 直線성이 매우 좋고 實物에 가까운 예리한 균열이므로 균열선단이 明確하고 무늬差數의 測定이 좋은 等色線 무늬사진을 얻을 수 있다.

(2) 本 研究에서 開發한 테프론 균열 주형법을 使用하여 얻은 等色線 무늬사진과 測定한 情報를 最小自乘

法으로서 求한 實驗値와 理論値와의 誤差의 範圍가 0.6%~6% 以內에 存在하므로 테프론 균열 주형법은 光彈性 實驗用 균열을 가진 試片製作에 有用하게 使用될 수 있다.

(3) 테프론 균열 주형법에 依한 試片은 종래의 테프론 주형법으로 얻은 에폭시 덩이의 兩面機械加工時에 發生하기 쉬운 균열의 손피나 板面의 조각성등이 完全히 解消되므로 分明한 균열선단을 가진 깨끗한 등색선 무늬사진을 얻을 수 있다.

(4) 試片의 製作이나 機械加工時에 要求되는 過多한 經費나 時間上의 많은 節約을 얻을 수 있다.

參 考 文 獻

- (1) Rice, J.R., 1968, "A Path Independent Integral and the Aproximate Analysis of Strain", Applied Mech., Vol. 1, pp. 379~386.
- (2) Irwin, G.R., 1957, "Analysis of Stress and Strains Near the End of a Crack Transversing a Plate", Appl. Mech., Vol. 24, p. 361.
- (3) 崔善浩, 黃在錫, 蔡泳哲, 1983, "테프론 모듈딩법에 依한 S.I.F.의 光彈性 實驗解析", 大韓機械學會論文集, 第7卷, 第1號, pp. 1~10.
- (4) Irwin, G.R., 1958, "The Dynamic Stress Distribution Surrounding a Running Crack a Photoelastic Analysis", Proc. SESA, 16unit, pp. 93~96.
- (5) Brown, W.F., 1966, "Stress Analysis of Crack", ASTM, STP 381, pp. 30~31.
- (6) Fedderson, C.E., 1966, "Discussion to Plane Strain Crack Toughness Testing", ASTM, Special Technical Publication, No. 410, p. 77.
- (7) Tada, H. Paris, P.G., and Irwin, G.R., 1973, "The Stress Analysis of Crack Handbook", Del Research Corporation Hellertown, p. 2.
- (8) Koiter, W.T., 1965, "Rectangular Tensile Sheet wity Symmetric Edge Crack", ASTM, Vol. 32, p. 237.
- (9) Tada, H., 1974, "Photoelasticity in Fracture Mechaniss", Experimental Mechanics, Vol. 1, pp. 390~396.
- (10) Brown, W.F. Tr., and Srawley, J., 1971, "Plane Strain Crack Toughness Testing of High Strength Metallic Material", ASTM, Special Technical Publ.

- ication, No.410.
- (11) Orange, T.W., 1971, NASA, TMX, 67891.
- (12) Wilson, W.K., 1970, Eng., Fract., Mech., Vol. 2, p. 169.
- (13) Wilson, W.K., 1971, J. Bas Eng., Vol. 93, p.685.
- (14) 황재석, 1984, "광탄성 실험의 Four Parameter Method", 영남대학교 부설 공업기술연구소, 연구보고, 제12권 제 2 호, pp.23~32.
- (15) Sanford, R.J., 1979, "A General Method for Determining Minde-Mode Stress Intensity Factor from Isochromatic Fringe Patterns", Eng., Fract., Mech., Vol. 11, pp.621~633.