

<講 座>

疲勞와 破壞力學 (I)

崔 鎔 湜\*

1. 序 論

材料的 疲勞問題에 對해서는 꽤 오래 前부터 많은 研究가 이루어져왔고, 疲勞의 現象把握에서부터 疲勞理論의 究明, 나아가서는 實際問題로서의 疲勞設計, 疲勞壽命豫測등에 寄與한 業績은 아주 크다 하겠다. 그러나 從來의 疲勞問題研究의 方向이, S-N 曲線에서 얻어지는 疲勞限界強度(더 正確한 表現으로 疲勞破壞限界強度)에 바탕을 두고, 靜力學的인 設計慣例인 安全係數의 導入을 빌려, 疲勞強度를 實用化하려는 線에서 이루어져 왔다고 보겠다. 材料의 疲勞限界強度란, 그 定義로 다루어, 多分히 靜的으로는 極限強度 또는 破壞強度의 概念에 近접하여 질 수 있는 公稱應力으로써 彈性學的으로 解析될 수도 없고, 다만 彈塑性理論의 概念을 바탕으로 近似解析例<sup>1)</sup>만이 許容되고 있을 뿐이다.

材料에는 所謂 平滑材이건 切缺材이건 間에 또 檢出與否에 關係 없이, 內外부에 大小各種의 缺陷이나 力學的 不連續部가 潛存해있음은 이미 公知의 事實이더, 이들 缺陷, 不連續部등이 外荷重下에서 應分의 應力集中源이 되어 材料를 全般的인 破壞로 몰고 갈 수 있다 함도, 또한 이러한 力學的舉動이 疲勞破壞에 까지 擴張解析될 수 있을 것이란 것도 이미 잘 알려져 있는 터이라 하겠다. 材料內外부의 諸缺陷을 應力集中이 極大인 crack로 代替해서 外荷重下에서의 應力場舉動을 解析<sup>2)</sup>한 線型彈性破壞力學(LEFM)은, 바로 이러한 實際材料의 強度設計에 보다 큰 正確性을 附與한 方法論的 學問이라 하겠고, 나아가서는 材料의 破壞機構를 파악하는데 進一步의 力學的인 手法이라 하겠다. 脆性破壞, 延性破壞에 바탕을 둔 破壞力學(LEFM)을 疲勞破壞에 適用시키는 데는 相當한 問題點들을 隨伴할 것임은 充分히 認知되나, 制限된 境界條件下에서의 適用例는 從來의 어떤 方法에 依한 것 보다도 疲勞強度設計, 安全使用 疲勞壽命豫測등에 劃期的인 進展을 보여주고 있다.

破壞力學은 crack 材의 強度學이고, 더 具體的으로는 應力擴大係數(stress intensity factor) K 또는 이와 關連되는 parameter인 strain energy release rate(G), crack-tip plastic zone size( $r_p, \rho$ ), crack-tip opening displacement( $\delta$ ), strain intensity 등을 쓰는 材料強度學이기 때문에, 이 手法를 疲勞破壞에 適用시킴은, 從來의 公稱應力으로 疲勞問題를 다루던 方法과는 別異하다 하겠다.

本稿에선 破壞力學의 觀點에서 疲勞龜裂의 安定成長을 論하고, 過去 10餘年間의 疲勞 crack 問題에 對한 研究方法, 實驗方法 등을 紹介하는 方向으로 稿를 進行시켜 나가겠다. 疲勞 crack의 發生은 그 說이 區區하고 아직 定說이 없는 實情이라 보겠다. 이에 對한 다음 稿에서 繼續 다루어 볼까 한다.

2. 破壞力學的으로 본 疲勞 crack의 安定 成長過程

2.1. 破壞力學的의 基礎概念

crack은 다른 應力集中問題와는 다른 特殊한 경우가 되며, 平面彈性理論으로는 龜裂尖端(crack-tip)의 應力(Fig. 1)은 無限大가 되고 다음과 같은 表式<sup>3,4)</sup>이 되겠다.

$$\sigma_{ij} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \tag{1}$$

式中 r은 crack-tip로 부터의 거리이고,  $f_{ij}(\theta)$ 는  $\theta$ 만의 函數이다. K가 應力擴大係數(stress intensity factor)로 定義되며, crack-tip 應力場強度를 表示하는, 破壞力學的의 基礎를 이루는 factor이다.  $\theta=0, r \rightarrow 0$ 의 極限에서는

$$K = \sigma_y \sqrt{\pi a} \dots \dots \dots \text{無限板} \tag{2}$$

$$L = \sigma_y \sqrt{\pi a} F(a, W) \dots \dots \dots \text{有限幅板} \tag{3}$$

로 表式됨이 알려져 있고<sup>5,6)</sup>, 여기서 a는 crack(貫通 crack) 半長, W는 有限幅의 크기를 나타내며, F(a, W)은 一般的으로 a(또는 2a), W만의 函數로 表示되

\* 正會員, 成均館大學校 理工大學

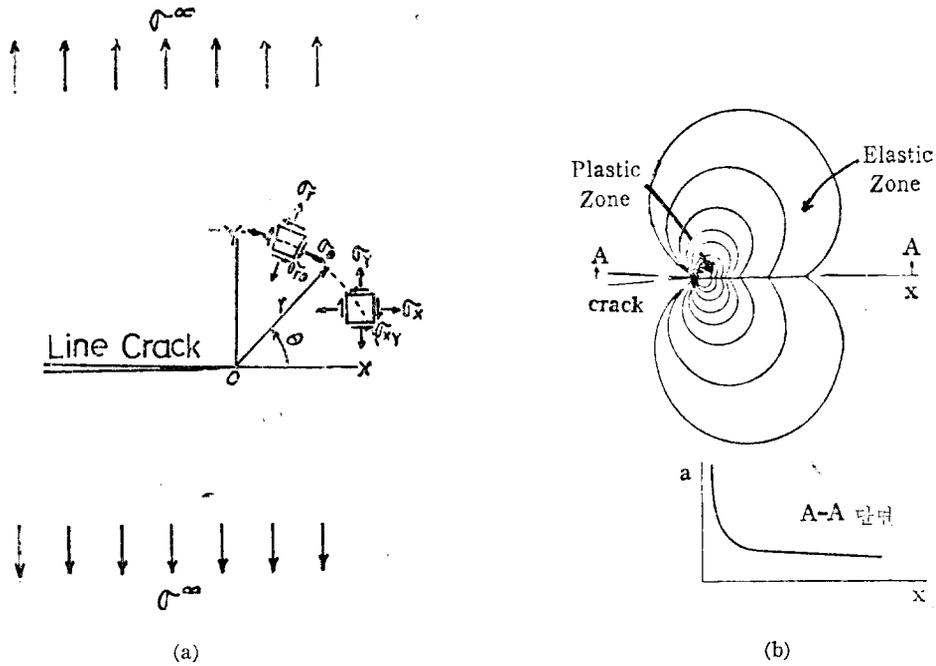


Fig. 1. Crack-tip Stress Field

는 무次元의 修正函數(correction function, correction factor)가 되겠다. 等質等方의 連續體無限板에 crack이 있는 경우의 應力解析 ((1)式)이나 \$K\$解析 ((2)式)은 여러가지 crack-外力 combination에 대해서 이미 이루어져 있다고 보겠으나<sup>6,7,8)</sup>, 有限幅을 갖거나 等質·等方의 連續體라고 보기 어려운 結合體나 複合材料의 경우에는 限定된 境界條件下에서만 \$K\$解析이 되어 있고 따라서 이러한 實在材料에 대해서는 嚴格한 破壞力學의 解析이 不可能한 實情이라 하겠다. 破壞力學의 一次의 課題는 (1), (2)式에서의 \$K\$解析 또는 (3)式의 修正函數 \$F(a, W)\$의 發見이라고 보아 無妨할 것이다.

(1)式으로 表現되는 crack先端 應力場의 model은 Fig. 1 b와 같고, 式에서 알 수 있듯이 crack-tip 應力은 \$r^{-1/2}\$의 特異性을 갖고 있으며, 이 特異性의 強度(intensity)를 나타내는 것이 應力擴大係數 \$K\$라 할 수 있겠고, 모든 破壞의 各過程과 이에 따른 部材·構造物의 諸學動을 \$K\$ 또는 이와 關聯되는 parameter의 函數로 特性 지우고자 하는 것이 破壞力學의 基本立場이라 할 수 있겠다. \$r^{-1/2}\$의 singularity와 Fig. 1에서 알 수 있듯이, \$r \to 0\$에서 \$\sigma\$는 極端의으로 커지고, \$\sigma\_y \ll \sigma\_r\$라 할지라도 crack-tip 近傍의 應力은 \$\sigma\_r\$를 넘어 설 수 있겠고 따라서 crack-tip엔 塑性變形이 集中해서 crack

의 成長을 可能케 하고, 이의 反復·集積으로 破壞에 이른다고 보는 觀點을 破壞力學에서는 取하고 있는 것이다. 즉 crack-tip의 塑性領域은 \$r\$의 아주 작은 範圍에 局限되고 (smallscale yielding), 이 塑性域의 應力·變形度·變形 등의 學動은, 그 周圍의 彈性應力의 特異性의 支配를 받으면서 crack의 成長-破壞의 進展條件을 決定지운다고 보는 것이다. 應力擴大係數(SIF) \$K\$와 餘他 parameter와의 關係는 다음 機會로 미루기로 한다.

2.2 Crack의 安定成長過程

反復荷重에 依해서 檢出可能한 巨視的 crack이 材料中에 形成됐을 때, 이 crack에 對한 (3)式의 適用은 可能해지며, \$K\$值를 計算할 수 있게 된다. 이때의 \$K\$의 값 (\$K\_{ia}\$)이, 그 材料 固有의 값으로 되어 있는 \$K\_{th}\$ (threshold condition \$K\$)값보다 조금이라도 크면, 이 crack은 安定成長을 하게 되고, 이 安定成長過程에서의 成長速度 \$da/dN\$ (또는 \$d^2a/dN^2\$, \$a\$는 crack長, \$N\$은 荷重反復數)은 材料의 疲勞壽命, 疲勞破壞 등에 重要한 工學的 意味를 갖게 된다. \$K\_{th}\$는 \$\sigma\$ (crack이 없다고 생각 될 때의 公稱應力)와 \$a\$에 依해지는 材料마다

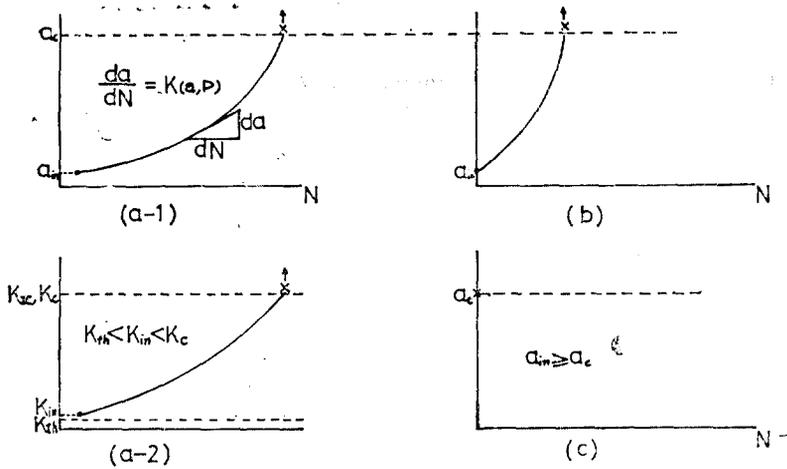


Fig. 2. Crack growth patterns during fatigue cycles

다른, crack 成長의 下限 臨界值로 알려져있고, 따라서 初期에 檢出된 巨視 crack의 K 값이 이보다 작을 때는 N의 增大에 關係없이 crack은 成長을 하지 않고 그대로 있게 된다는 것이다.

安定成長을 하는 crack의  $da/dN$ 은 N의 增加와 더불어 漸次 커지고, 커진 crack 길이가 어느 값  $a_c$ (또는  $2a_c$ )에 到達해서는  $da/dN \rightarrow \infty$ 가 되어 材料는 一時에 破斷을 일으킨다. 이 때의 crack 길이에 對應하는 K 값을  $K_{IC}$ 라 하고, 安定成長의 上限臨界值가 되겠다. 즉 crack材는  $K_{IC}$  以下の K 값을 가질 때에 限해서 crack의 安定成長을 하게 됨을 말한다.  $K_{th}$ 이  $K_{IC}$  보다 클 때에는 처음부터 crack의 安定成長은 期待할 수가 없고, 단번에 破斷되어 버린다.  $K_{IC}$ 는 平面變形狀態(plane strain condition)에서의  $K_c$ (critical K)를 뜻하며, 아주 薄板이 아닌 一般材料의 表面 除外한 內部엔 이 값이 適用되겠고,  $K_{th}$ 와 함께 材料에 따른, 破壞靱性を 나타내는 一定值가 되겠다. 以上을 要約하면 다음과 같이 되겠다

- A.  $K_{th} < K_{th}$  crack은 不成長
- B.  $K_{th} < K_{th} < K_{IC}$  crack은 安定成長
- C.  $K_{th} > K_{IC}$  一時破斷

이를 說明한 것이 Fig. 2가 되겠다.

Crack의 安定成長은 微小塑性域이 crack-tip에 形成되는 過程(2.1에 既述)을 밟아 이루어진다고 보며, 成長方向은 crack-tip 周邊의 가장 큰 K 값의 方向이 된

다고 알려져 있으며 많은 實驗結果가 이를 뒷받침 해 주고도 있다. crack의 成長은 K 值의 增大를 가져오고 나아가서는 成長速度  $da/dN$ 의 增加를 誘導하게 되는데, 破壞力學的으로 疲勞問題를 다룰 때의 最大關心事이자 또한 工學的으로 큰 意味를 갖는 것은,  $da/dN$ 의 舉動이 K와 函數關係에 있다는 것이다 하겠다. Paris<sup>9)</sup>가 처음으로 疲勞破斷에 破壞力學을 適用시킨 以來로 急速도로 이 關係의 研究報告<sup>10)</sup>가 大量으로 쏟아져 나와, 疲勞問題研究에 새로운 方向을 開拓해 놓았다. Paris는 처음에 Al 合金材料에서 疲勞 crack의 安定成長度가 crack-tip SIF의 函數로 表式될 수 있음을 指摘하고 다음과 같이 나타냈다.

$$da/dN = CK^m, C, m \text{은 材料常數} \quad (4)$$

그 뒤 다시  $m \approx 4$ 임을 確認하면서

$$da/dN = CK^4 \quad (5)$$

라 發表했는데, 破壞力學體系化的 初期段階로서는 劃期的인 研究라 해서 (4), (5)式을 Paris의 power law, 4乘則 등으로 널리 알려지게 되었다. 그러나 여러가지 다른 材料에 對한 疲勞試驗의 結果 많은 研究者들은 K 值로서는  $\Delta K = K_{max} - K_{min}$  또는  $K_{max}$ ,  $K_m = \frac{K_{max} + K_{min}}{2}$  등을 應力比  $R = K_{min}/K_{max}$ 와 함께 適用시킴이 더 妥當함을 主張하게 되었고, 材料常數이자 K의 power인 m의 값도 Paris가 研究한 Al 合金에선  $m \approx 4$ 이나 鋼材 其他의 材料 等에선  $m \approx 2 \sim 8$ 까지의 넓은 分布로 나타남을 報告하게 되었다. 다음 式 들은 요즘 널리 使用되

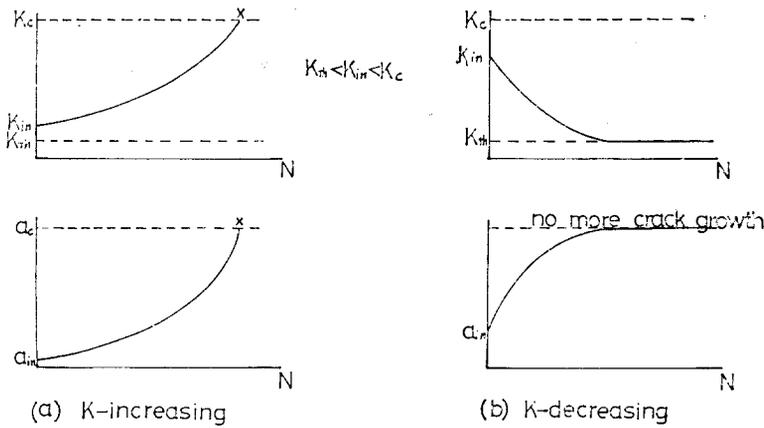


Fig. 3. SIF variational patterns during fatigue cycles

는  $da/dN-K$  關係式 들이다.

$$da/dN = C(\Delta K)^m \tag{6}$$

$$da/dN = f(\Delta K) \tag{7}$$

$$da/dN = C(\Delta K/E)^m, E: \text{Young's modulus} \tag{8}$$

$$da/dN = C\{K_{max}(1-R)\}^m \tag{9}$$

$da/dN-K$  關係가 밝혀지고 材料常數 등의 疲勞強度, 破壞靱性에 關係가 있는 量 들이 求해지면, 그 材料로 된 部材나 構造物에서의 特定疲勞荷重條件에 對한  $a_c$  (危險 crack 길이),  $N_f$  (疲勞壽命) 등이 算出될 수 있음은 既報<sup>11)</sup>와 같다. 同時에 주어진 crack ( $a$ 는 測定可能)에 對한 疲勞荷重의 許容上限值도 定해 질 수 있을 것이다.

疲勞 crack의 安定成長舉動이  $K(\Delta K, K_{max}$  등)에 依存할 때,  $K$ 值가 疲勞 crack의 成長과 더불어 어떻게 變動할가 하는 것은 重要한 關心事가 되겠다. 從來의 疲勞試驗方法 즉 定荷重幅疲勞試驗이나 定變位幅疲勞試驗의 경우, 前者에선  $K$ 의 單純增加後者에선 單純減少 舉動을 보이게 된다 (Fig. 3). 따라서 定荷重疲勞에서는  $K$ 의 上限界值인  $K_c, K_{IC}$ 가 問題가 되고 (Fig. 2), 定變位疲勞에서는  $K$ 의 限界值인  $K_{Ih}$ 에서 crack의 成長은 停止된다. 兩者 모두  $K$ 의 初期值  $K_{in}$ 이  $K_{IC}$ 以下일 것이 前提가 되는 當然하다. 實在材料에서의 舉動이 위와 같이 單純하기만 하지는 않다. 等質·等方連續體에서 두께가 均一한 材料에서는 以上の  $K$ 舉動이 認定되나, 等質이라도 두께가 달라지는 部分에서라든가

異質材結合部 등에서 위에서의와 다른 樣相의  $K$ 舉動이 나타난다는 實驗報告<sup>12, 13)</sup>, 理解論析<sup>14)</sup> 등도 있어, 一般의인 複合材料에서의  $K$ 舉動은 아주 複雜하게 나타날 것이 豫想된다.

$K$ 의 變動舉動에 依存해서 疲勞 crack의 安定成長速度가 決定된다면 式 (4)~(9)에서 明白하듯이

- A.  $K$ 增加  $\rightarrow da/dN$ 增加
- B.  $K$ 減少  $\rightarrow da/dN$ 減少
- C.  $K$ 一定  $\rightarrow da/dN$ 一定

가 될 것이고 疲勞 crack 成長曲線 ( $a-N$  曲線)이 Fig. 3과 같이 될 것이다.

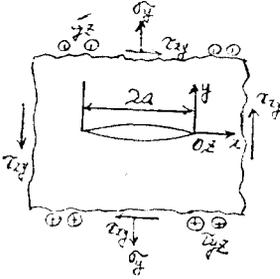
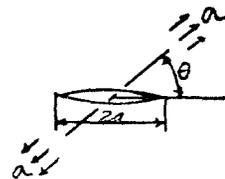
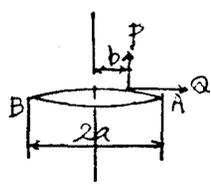
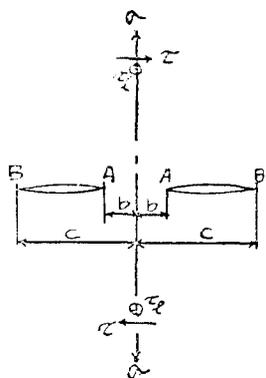
疲勞問題研究의 窮極의인 目的이 部材 또는 構造物을 疲勞破壞에 對해서 防備하거나, 不得已할 경우엔 疲勞破壞의 時期를 豫測해서 不意의 事故에서 救濟할 수 있도록 適切히 設計하는데 있을 것이므로,  $K$ -constant 또는  $K$ -decreasing이 되게 形狀設計가 可能하다면 가장 바람직 하겠다. Contoured DCB 試驗片에 依한 荷重一定疲勞試驗報告<sup>15)</sup> 등은 制限된  $a$ 의 範圍에서이나 近似的으로  $K$ -const가 實現될 수 있음을 보여주고 있다.  $K$ -increasing 疲勞일 경우엔 材料의  $K_{IC}$  값을 正確히 把握해서 이에 따른  $a_c, N_f$ 를 計算, 未然에 破斷에 對한 對策講求가 必要할 것이다.

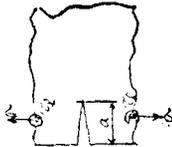
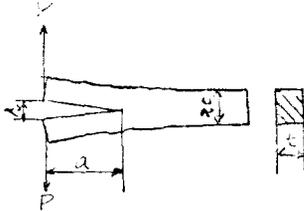
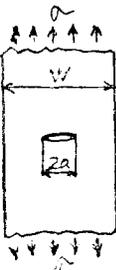
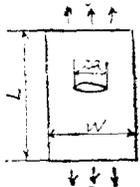
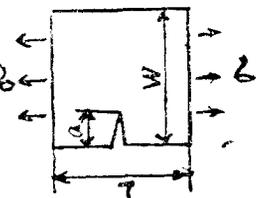
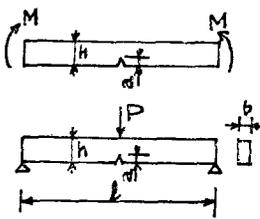
### 2.3 應力擴大係數의 適用

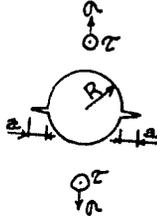
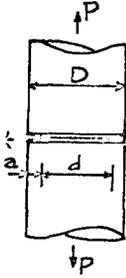
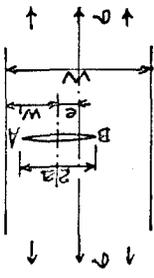
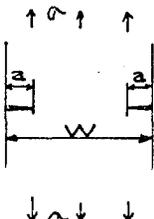
(2)式에 依한  $K$ 는 無限板材에 貫通 crack이 있을 때

Table. Stress Intensity Factor K의 計算例

$E$ : Young's Modulus,  $\nu$ : Poisson's Ratio,  $\pi = \begin{cases} 3-4\nu & \text{Plane Strain} \\ \frac{3-\nu}{1+\nu} & \text{Plane Stress} \end{cases}$

No.	Crack 및 荷重條件	Stress Intensity Factor K
1	<p>一様한 應力을 받는 無限板中の crack</p> 	$K_1 = \sigma_y \sqrt{\pi a}$ $K_2 = \tau_{xy} \sqrt{\pi a}$ $K_3 = \tau_{yx} \sqrt{\pi a}$ <p>但, <math>\sigma_y, \tau_{xy}, \tau_{yx}</math>는 crack에서 充分히 떨어진 곳의 一様分布應力成分이며, <math>\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}</math>는 K에 無影響.</p>
2	<p>Crack에 對해서 傾斜된 單軸應力을 받는 無限板中の crack</p> 	$K_1 = \sigma \sqrt{\pi a} \cdot \sin^2 \theta$ $K_2 = \sigma \sqrt{\pi a} \cdot \sin \theta \cos \theta$ $K_3 = 0$
3	<p>無限板中の crack 內面에 作用하는 集中力</p> 	<p>A端의 K:</p> $K_1 = \frac{P}{2\sqrt{\pi a}} \sqrt{\frac{a+b}{a-b}} + \frac{Q}{2\sqrt{\pi b}} \left( \frac{K-1}{K+1} \right)$ $K_2 = \frac{Q}{2\sqrt{\pi a}} \sqrt{\frac{a+b}{a-b}} - \frac{P}{2\sqrt{\pi b}} \left( \frac{K-1}{K+2} \right)$ <p>但 <math>-a &lt; b &lt; a</math> 이고, P, Q는 單位 두께當의 集中力.</p>
4	<p>無限板中에서 一直線으로 있는 같은 길이의 2 crack의 相互干涉</p> 	$\left. \begin{aligned} K_1 &= \sigma \sqrt{\pi c} \cdot F \\ K_2 &= \tau \sqrt{\pi c} \cdot F \\ K_3 &= \tau_1 \sqrt{\pi c} \cdot F \end{aligned} \right\} F: \text{修正函數}$ <p>A端: <math>F_A = \sqrt{\frac{c}{b}} \left\{ k - \frac{1-E(k)/K(k)}{K} \right\}</math></p> <p>B端: <math>F_B = \frac{1-E(k)/K(k)}{k}</math></p> <p>但 <math>E(k), K(k)</math>는 各 <math>k = \sqrt{1-b^2/c^2}</math>을 母數로 하는 第2種, 第1種의 完全橢圓積分.</p>

<p>5</p>	<p>半無限板의 edge crack</p> 	$K_1 = 1.1215\sigma\sqrt{\pi a}$ $K_2 = 0$ $K_3 = \tau l\sqrt{\pi a}$
<p>6</p>	<p>直四角斷面棒을 찢을 때</p> 	<p>Deflection을 Cantilever Beam의 公式으로 近似計算하면</p> $K_1 \approx \frac{\sqrt{3}Ehc}{4a^2} \text{ or}$ $K_1 \approx \frac{2\sqrt{3}Pa}{C^2 2t}$ <p>但 <math>a \gg 2c</math></p>
<p>7</p>	<p>Center crack을 갖는 無限長 strip의 引張</p> 	$K_1 = \sigma\sqrt{\pi a} \cdot F$ $F = \sqrt{\sec \frac{\pi a}{W}} \text{ or}$ $F = -\frac{1}{\sqrt{\pi}} (1.77 + 0.227\xi - 0.510\xi^2 + 27\xi^3)$ <p>但 <math>\xi = \frac{2a}{W} \leq 0.7</math></p> <p>• Westergaard의 解 <math>F = \sqrt{\frac{W}{\pi a} \tan \frac{\pi a}{W}}</math>는 精度가 나쁘다.</p>
<p>8</p>	<p>Center crack을 갖는 直四角板의 引張</p> 	$K_1 = \sigma\sqrt{\pi a} \cdot F$ <p>但 <math>\sigma</math>는 平均應力이요, <math>L/W</math>에 따라 <math>F</math>는 變化한다.</p> <p><math>F</math>는 數值解析으로 <math>2a/W = 0 \sim 0.8</math>에서 求해져 있음.</p>
<p>9</p>	<p>Edge crack을 갖는 值 四角板의 引張</p> 	$K_1 = \sigma\sqrt{\pi a} \cdot F$ <p>荷重一定型에서 <math>L/W = \infty</math>에 對해서</p> $F = \frac{1}{\sqrt{\pi}} (1.99 - 0.41\xi + 18.70\xi^2 - 38.48\xi^3 + 53.85\xi^4)$ <p>但 <math>\xi = a/W \leq 0.6</math></p> <p>* 變位型의 <math>F</math>는 훨씬 작으니 要注意</p>
<p>10</p>	<p>Edge crack의 bending</p> 	$K_I = \sigma_0\sqrt{\pi a} \cdot F, \sigma_0 = \frac{6M}{bh^2}$ <p><math>F</math>는 數值解析으로 求해져 있음. 單純굽힘 때의 近似式:</p> $F = \frac{1}{\sqrt{\pi}} (1.99 - 2.78\xi + 12.97\xi^2 - 23.17\xi^3 + 24.80\xi^4),$ $\xi = \frac{a}{W} \leq 0.6$

<p>11</p> <p>無限板中の 圓孔에서 생긴 Crack</p>		<p><math>K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \cdot F</math></p> <p><math>F</math>는 數値解析으로 求해져 있음.</p> <p>內壓 <math>\sigma</math>의 경우는 2軸引張 때와 같다.</p> <p>양쪽 Crack: <math>K_{III} = \tau \sqrt{\pi a} \cdot \sqrt{\frac{(1+\xi)^4 - 1}{\xi(1+\xi)^4}}</math> <math>\xi = a/R</math></p> <p>한쪽 Crack: <math>K_{III} = \tau \sqrt{\pi a} \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{2+\xi}{1+\xi} \right)^{3/2}}</math></p>
<p>12</p> <p>環狀 Crack 을 갖는 棒의 引張</p>		<p><math>K_I = \frac{P}{D^{3/2}} F</math>, <math>F</math>는 求해져 있음.</p> <p>단, <math>d/D \ll 1</math>, <math>F = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} (D/d)^{3/2}</math>, <math>K_I = \frac{P}{2\sqrt{\pi} d^{3/2}}</math></p> <p><math>0.5 \leq d/D \leq 0.9</math>, <math>F = 1.72(D/d) - 1.27</math></p> <p><math>\frac{a}{D} = \frac{D-d}{2D} \ll 1</math>, <math>K_I = 1.12 \sigma_{net} \sqrt{\pi a}</math></p> <p><math>= 1.12 \frac{P}{d^2} \sqrt{\frac{a}{\pi}}</math></p>
<p>13</p> <p>偏心 Crack 을 갖는 無限長帶板의 引張</p>		<p><math>K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \cdot F</math></p> <p><math>F_A, F_B</math>는 求해져 있음.</p>
<p>14</p> <p>兩側 Edge crack 을 갖는 無限長帶板의 引張</p>		<p>7의 경우와 같음.</p>

의 解析値이기 때문에, 特定實在材料 또는 試驗片의 crack 에 對해서는 (3)式에서와 같이  $F(a, W)$ 로 修正 (calibration)해서  $K$ 를 求해야 할 것이다. 一般的으로 修正函數  $F$ 는  $a, W$ 의 函數이나 더 具體的으로는 均質均厚材에서

$$F = F(a/W) \text{ 또는 } F = F(2a/W) \quad (10)$$

로 表記됨이 알려져 있다. 試片의 形狀이나 crack의 存在方式, 荷重條件 등의 境界條件들이 다 同一할 수가 없기 때문에  $F(a/W)$ 의 解析 또한 쉬운 일이 아니고, 한편 주어진 條件下에서의  $F$  解析이 이루어 진다면 破壞力學的인 疲勞解析은 아주쉬워진다고 보겠다. 많은

解析者들에 依해서 求해진 主要 修正函數의 例를 Table 에 들어 보았다. 이들  $F$ 의 값들도 그 適用範圍가 嚴格히 制限됨은 勿論이다. Table 中  $F$ 의 式이 表示되지 않은 것은 數値解析結果<sup>3,7)</sup> 아직은  $a/W$ 의 函數表式이 되지 않았고 數値 또는 圖表로 發表되고 있는 것 들이다. 參考文獻 (7)은 이러한 修正函數를 綜合的으로 收錄한 것으로, 各種 疲勞試驗者들에겐 貴重한 資料가 되겠다.

參 考 文 獻

1) B. I. Sandor, "Fundamentals of Cyclic Stress

- and Strain", The Univ. of Wisconsin Press, 1972.
- 2) G. R. Irwin, "Analysis of Stresses and Strains Near the End of a Crack Traversing a Plate", Trans. ASME, J. Appl. Mech., Vol. 24, pp. 361, 1957.
  - 3) ASTM STP 381, pp. 1-73, 1964 등
  - 4) ASTM STP 381, pp. 30-83, 1964 등
  - 5) ASTM STP 410, 1966 등
  - 6) ASTM STP 381, 410, 463 등
  - 7) G. C. Sih, "Hand Book of Stress Intensity Factor", Inst. Frac. Solid Mechanics, Lehigh Univ., 1973.
  - 8) G. C. Sih, "Mechannics of Fracture", Vol. 1, Loordhoff, 1973.
  - 9) P. C. Paris and F. Erdogan, "A Critical Analysis of Crack Propagation Laws", Trans. ASME D 85-4, pp. 528-534, 1963.
  - 10) ASTM STP 415
  - 11) 崔鎔湜: "疲勞龜裂成長舉動에 對한 破壞力學的 解析(1)", 成大論文集 Vol. 22, (自然系) pp. 23-31, 1976.
  - 12) Y. S. Choy, et al, "異材境界에서의 疲勞龜裂의 成長", Symposium '疲勞에서의 最近의 諸問題' 日本材料學會, Nov., 1973.
  - 13) 崔鎔湜: "두께가 달라지는 재료에서의 Fatigue Crack 의 成長特性", 成大論文集, Vo. 16(自然系). pp. 25, 1974.
  - 14) F. Erdogan, "Fracture Problems in Composite Materisls", Engng Fracture Mechanics, Vol. 4, pp. 811, 1972.
  - 15) J. E. Srawley, et al, "Stress Intensity Factors for Crackline-Loaded Edge-Crack Specimens", NASA TN D-3820, 1967.