

<論 文>

變動荷重下の 疲勞壽命 豫測

—第2報：疲勞균열 發生壽命豫測을 위한 컴퓨터 소프트웨어—

李時中* · 宋智浩** · 河在宣***

(1988年 7月 29日 接受)

Fatigue Life Predictions for Variable Load Histories

—Part II : Computer Software for Predictions of Fatigue Crack Initiation Life—

Sih Joong Lee, Ji Ho Song and Jae Sun Ha

Key Words : Computer Software(컴퓨터 소프트웨어), Fatigue Life Prediction(피로수명예측), Variable Load(변동하중), Fatigue Crack Initiation Life(피로균열발생수명), Stress Interaction Effect(응력간섭효과), Modified $\epsilon-N$ Curve(수정 $\epsilon-N$ 곡선), Mean Plastic Strain(평균소성변형률)

Abstract

A computer software was developed for predictions of fatigue crack initiation life of notched members under variable loadings. The software was constructed based on a new fatigue life prediction method utilizing modified $\epsilon-N$ curves, which can account for the stress interaction effect. The effect of mean plastic strain on low-cycle fatigue life was also incorporated in the software. The software can be utilized for the first step approximation when fundamental data of material fatigue properties are not available.

1. 序 論

실제 기계 및 구조물은 不規則한 변동하중을 받고 있는 것이 일반적이므로, 기계, 구조물의 설계 및 健全性 평가에 있어서는 변동하중하의 피로수명예측이 매우 중요하다. 著者들은 第1報에서 변동하중을 받는 노치材의 피로균열발생까지의 수명을 예측하는 방법에 관하여 상세히 검토하여, 현재 通常의으로 널리 사용되

는 각종 평가방법의 有用性的 범위의 문제점을 명확히 밝히고, 그 결과를 바탕으로 피로균열발생수명에 대하여 거의 安全쪽(conservative)의 평가가 가능한, 이른바 修正 $\epsilon-N$ 곡선을 사용하는 새로운 수명예측법을 제안하였다⁽¹⁾.

저자들은 그 과정에서, 새로운 예측법에 의한 피로균열발생수명평가 컴퓨터 소프트웨어 FATILIFE-I을 개발하였으며, 本 第2報는 그 상세한 내용에 관한 것이다. 특히 本 소프트웨어 FATILIFE-I은 현재 국내에서 많이 사용되는, 적당한 기억용량을 가진 퍼스널컴퓨터로 사용이 가능하며, 재료의 疲勞특성에 관한 데이터(data)가 거의 없는 경우에도 재료의 機械的 性質에 관한 데이터를 이용하여 피로수명평가를 할 수 있도록 되어있다.

* 정회원, 한국과학기술원, 현 대우중공업

** 정회원, 한국과학기술원 기계공학과

*** 정회원, 대한항공 기술연구소

본 소프트웨어는 現 視點에서는 鐵鋼재료를 主 대상으로 하고 있다.

2. 修正 ϵ - N 곡선을 이용한 피로균열발생 수명 예측법 概要

먼저, 개발된 소프트웨어 FATILIFE-I의 根幹을 이루고 있는 修正 ϵ - N 곡선을 이용한 피로균열발생수명 예측법⁽¹⁾의 내용을 要約하면 다음과 같다.

본 예측법은, 노치先端의 局部변형률 履歷(local strain history)을 구하여, 이에 대해 수명을 평가하는 점에서는 通常의 局部변형률방법(local strain approach)과 類似하나, 통상적인 방법에서 문제가 되는 다음 두가지 缺點을 보완하고 있는 점이 크게 다르다.

즉, 하나는 통상적인 방법에서는 平均荷重의 영향을 平均응력의 영향으로 평가하는 것이 一般의으로, 低되풀이(反復)數疲勞(low-cycle fatigue)영역에서는 문제가 있다. 이에 대해 새로운 예측법에 있어서는 低되풀이 數피로영역에서의 平均荷重의 영향을 平均塑性변형률 ϵ_{pm} 의 영향으로 考慮하도록 되어 있다. 구체적으로는 다음식에 의해 수명 또는 疲勞損傷을 평가한다.

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} (2N_f)^b + \epsilon_f' \left(1 - \frac{|\epsilon_{pm}|}{\epsilon_f} \right) (2N_f)^c \quad (1)$$

低되풀이數 피로영역

여기서 $\Delta \epsilon$ 는 全변형률幅, E 는 彈性係數, σ_f' 와 b 는 각각 피로강도계수(fatigue strength coefficient) 및 피로강도指數(fatigue strength exponent), ϵ_f' 와 c 는 각각 피로延性계수(fatigue ductility coefficient) 및 피로 延性指數(fatigue ductility exponent), ϵ_f 는 破斷延性(fracture ductility)이며, N_f 는 破斷되풀이(反復)수이다.

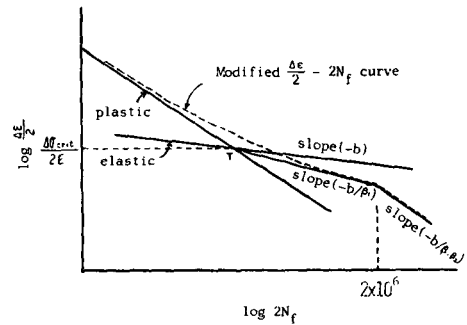
식 (1)에서 중요한 점은 平均塑性변형률은 引張이나 壓縮이나 똑같은 효과를 갖는다고⁽²⁾ 하는 것이다. 한편 高되풀이(反復)數疲勞(high-cycle fatigue) 영역에서는 平均응력의 효과를 $\sigma_a - \sigma_r$ 線圖(一名 Morrow 선도라고도 함)에 따라 평가하는 다음형식의 식을 기본적으로 사용하도록 되어 있다.

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\sigma_f'}{E} \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f} \right) (2N_f)^b + \epsilon_f' (2N_f)^c \quad (2)$$

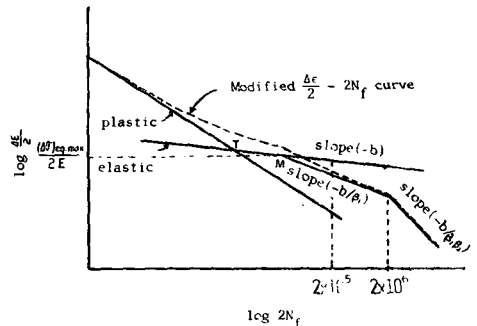
高되풀이數 피로영역

둘째 문제는, 특히 高되풀이 數피로영역에서 변동하중을 부하(負荷)했을 경우 나타나는 應力干涉

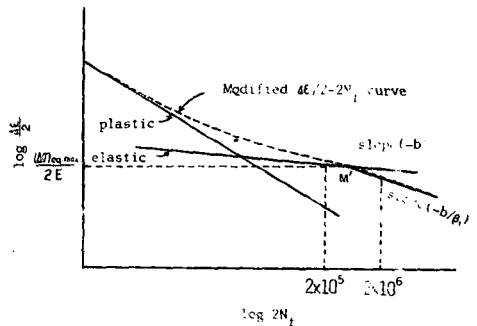
效果(stress interaction effect)^(3,4)를 통상적인 방법에서는 충분히 고려하지 못하여 危險쪽(nonconservative)의 수명예측이 되는 경우가 많은 점이다. 이에 대해 새로운 예측법에 있어서는 ϵ - N 곡선 중의 彈性변형률-수명관계($\frac{\Delta \epsilon_e}{2} - 2N_f$ curve)를 변동하중하의 應력사이클(cycle)의 크기에 따라 Fig. 1과 같이 수정하여, 應력간섭효과를 고려하도록 되어 있다.



(a) $(\Delta \sigma)_{eq-max} \geq (\Delta \sigma)_{crit}$



(b) $(\Delta \sigma)_{2Nf=2 \times 10^5} \leq (\Delta \sigma)_{eq-max} < (\Delta \sigma)_{crit}$



(c) $(\Delta \sigma)_{2Nf=2 \times 10^5} \leq (\Delta \sigma)_{eq-max} < (\Delta \sigma)_{2Nf=2 \times 10^5}$

Fig. 1 Modifications of ϵ - N curve to account for stress interaction effect

새로운 수명예측법의 사용방법을 간단히 설명하면 다음과 같다. ϵ - N 곡선 중의 塑性변형률-수명線 $\left(\frac{\Delta \epsilon_p}{2} - 2N_f \text{ curve}\right)$ 과 彈性 변형률-수명線 $\left(\frac{\Delta \epsilon_e}{2} - 2N_f \text{ curve}\right)$ 이 교차하는點, 즉 塑性 변형률幅 $\Delta \epsilon_p$ 와 彈性 변형률幅 $\Delta \epsilon_e$ 가 같아지는 $(\Delta \epsilon_p = \Delta \epsilon_e)$ 點 T (Fig. 1 참조)를 경계로 하여, T 점 이상의 하중조건에 대해서는 平均 塑性 변형률의 효과를, T 점 이하의 하중조건에 대해서는 응력간섭 효과를 고려한다. 구체적으로는 T 점에 대응하는 응력幅 $\Delta \sigma_{crit}$ 과 변동하중하의 각 응력사이클의 응력幅을 비교하게 되며, 이때 비교하는 응력사이클에 平均 응력 성분 σ_m 이 있는 경우에는 平均 응력의 영향을 고려한 等價 응력幅 $(\Delta \sigma)_{eq} \left[= \frac{\Delta \sigma}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_f}} \right]$ 을 계산하여,

(1) $(\Delta \sigma)_{eq} \geq \Delta \sigma_{crit}$ 인 경우

식(1)에 의해 수명 N_f 를 구하여 損傷을 계산하고,

(2) $(\Delta \sigma)_{eq} < \Delta \sigma_{crit}$ 인 경우

변동하중 波形中의 最大 응력사이클 $(\Delta \sigma)_{eq-max}$ 의 크기에 따라 Fig. 1과 같이 彈性 변형률-수명線 $\left(\frac{\Delta \epsilon_e}{2} - 2N_f \text{ curve}\right)$ 을 修正한 ϵ - N 곡선에 의해 損傷을 계산한다.

(i) $(\Delta \sigma)_{eq-max} \geq \Delta \sigma_{crit}$ 인 경우

Fig. 1(a)와 같이 T 점을 始點으로 $\frac{\Delta \epsilon_e}{2} - 2N_f$ 線의 기울기를 먼저 $\frac{1}{\beta_1}$ 배만큼 修正한 다음, $2N_f = 2 \times 10^6$ 이 되는 시점에서 다시 기울기를 $\frac{1}{\beta_2}$ 배 만큼 修正시켜 얻어지는 ϵ - N 곡선을 이용한다.

(ii) $(\Delta \sigma)_{2N_f} = 2 \times 10^5 \leq (\Delta \sigma)_{eq-max} < \Delta \sigma_{crit}$ 인 경우

여기서 $(\Delta \sigma)_{2N_f} = 2 \times 10^5$ 는 피로수명 $2N_f = 2 \times 10^5$ 에 대응하는 응력幅을 말한다.

이 경우에는 Fig. 1(b)와 같이 $(\Delta \sigma)_{eq-max}$ 에 대응하는 $\frac{\Delta \epsilon_e}{2} - 2N_f$ 線上的點 M 을 始點으로 앞의

(i)의 경우와 마찬가지로 形式으로 $\frac{\Delta \epsilon_e}{2} - 2N_f$ 線을 수정한다.

(iii) $(\Delta \sigma)_{2N_f} = 2 \times 10^6 \leq (\Delta \sigma)_{eq-max} < (\Delta \sigma)_{2N_f = 2 \times 10^5}$ 인 경우

Fig. 1(c)와 같이 $(\Delta \sigma)_{eq-max}$ 에 대응하는 $\frac{\Delta \epsilon_e}{2} - 2N_f$ 線上的點 M' 을 始點으로 기울기를 $\frac{1}{\beta_1}$ 배만 修正시켜, 얻어지는 ϵ - N 곡선을 이용한다.

以上에서 사용되는 ϵ - N 곡선의 修正係數 β_1, β_2 의 '상세한 내용에 관해서는 제1보⁽¹⁾를 참조해 주기 바라나, β_1, β_2 는 현재까지의 변동하중하의 실험결과로부터 추정되는 값으로서, 제1보의 鐵鋼재료의 경우 $\beta_1 = 0.6, \beta_2 = 0.5$ 를 사용하여 좋은 결과를 얻고 있다.

3. 피로수명예측 흐름도

수명예측과정은 Fig. 2와 같은 段階로 이루어지고 있다. 먼저, 이미 저장되어 있는 변동하중履歷 데이터 파일(file)群으로 부터, 수명예측을 할 과일을 지정하고, 다음 對象材料의 靜的 기계적 성질 및 되풀이 응력-변형률 관계(cyclic stress-strain curve)식

$$\frac{\Delta \epsilon}{2} = \frac{\Delta \epsilon_e}{2} + \frac{\Delta \epsilon_p}{2} = \frac{\Delta \sigma}{2E} + \left(\frac{\Delta \sigma}{2K'}\right)^{1/n'} \quad (3)$$

중의 K' 및 n' 을 入力하도록 되어있다. 다음은 대상재료의 평활시험편에 대한 기본적인 피로특성, 즉 식(1)중의 $\sigma'_f, b, \epsilon'_f, c$ 값을 入力하는 단계로, 실제실험 데이터가 있는 경우는 그대로 入力하고 없는 경우에는 재료의 기계적 성질에 관한 데이터를 이용하여 다음과 같이 入力한다. 즉 σ'_f 및 b 에 대해서는 다음의 Mitchell의 식⁽⁵⁾

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_f &\cong \sigma_f \cong \sigma_B + 345 \text{ (MPa)} \\ b &= -\frac{1}{6} \log\left(\frac{2\sigma_f}{\sigma_B}\right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

에 의해, ϵ'_f 및 c 에 대해서는

$$\left. \begin{aligned} \epsilon'_f &= 0.6\epsilon_f \\ c &= -0.6 \text{ (Manson's universal slope)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

에 의해 자동적으로 구하여 入力되도록 되어 있다. 다음에는 Fig. 1에 例示한 ϵ - N 곡선의 修正에 필요한 修正係數 β_1, β_2 를 入力하도록 되어 있으며, 이어 壓縮 平均 응력 효과를 고려하는지 또는 無視하는지를 사용자가 선택하도록 되어 있다. 그 이유는 압축 平均 응력 효과를 경우에 따라 무시하는 것이 좋은 예측이 되는 경우가 있기 때문이다⁽¹⁾.

다음 단계는 맨 앞에서 지정된 변동하중履歷 파일이 無次元화된 변동하중패턴(pattern)으로 주어졌을 경우, 실제 값을 갖는 변동하중履歷으로 변환하

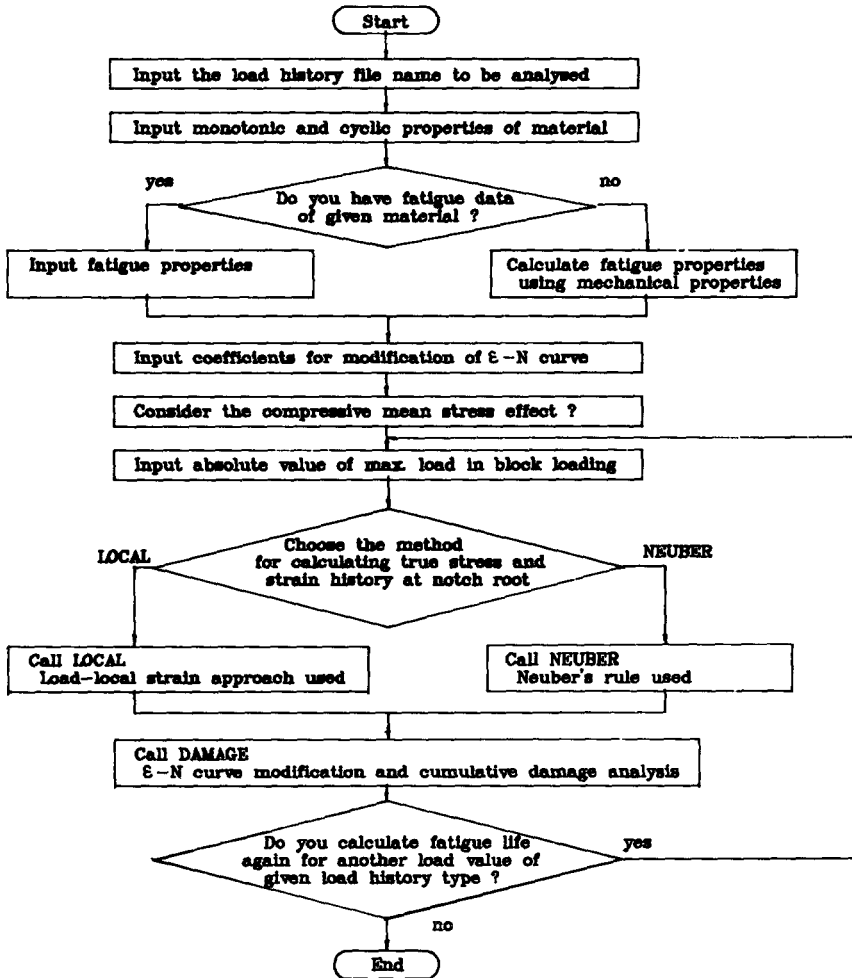


Fig. 2 Process of fatigue life prediction

기 위한 最大荷重値를 入力하는 과정이며, 처음에 지정된 변동하중履歷파일이 구체적인 하중값을 갖는 경우는 1을 入力하면 된다.

以上과 같은 入力단계가 끝나면 다음에 노치先端의 局部변형률 및 응력履歷을 구하는 과정으로 들어간다. 荷重과 노치先端 局部변형률의 관계가 實驗的으로 얻어져 있는 경우와 그렇지 않은 경우의 두가지를 생각하고 있으며, 後者の 경우는 Neuber의 식⁽⁷⁾을 이용하여, 局部변형률 및 응력履歷을 얻도록 하였다. 얻어진 局部 변형률 및 응력履歷에 대해 새로운 수명예측법을 사용하여 損傷 또는 피로수명을 계산하는 것이 最終단계이다.

4. 프로그램 詳細

프로그램은 主프로그램(main program)과 3개의 副프로그램(sub-program) 및 4개의 計算用 副루틴(sub-routine)으로 구성되어 있으며, 모두 포트란(Fortran)으로 記述되어 있다. 또한 위의 例에서 볼 수 있듯이, 프로그램은 사용자와 컴퓨터가 對話하는 방식으로 짜여져 있다.

4.1 主프로그램

변동하중 履歷 및 各種 재료특성의 入力과 노치先端의 局部변형률과 응력履歷 計算방법 등을 결정한다.

4.2 副프로그램

(1) LOCAL

荷重과 노치先端의 局部변형률의 관계가 實驗的으로 다음과 같은 형태로 얻어져 있는 경우에 그 결과를 사용하여, 주어진 변동하중履歷에 대해 노치先端의 局部변형률 및 응력履歷을 구하는 副프로그램이다.

$$\epsilon = \frac{p}{C_1} + \left(\frac{p}{C_2}\right)^d \quad (6)$$

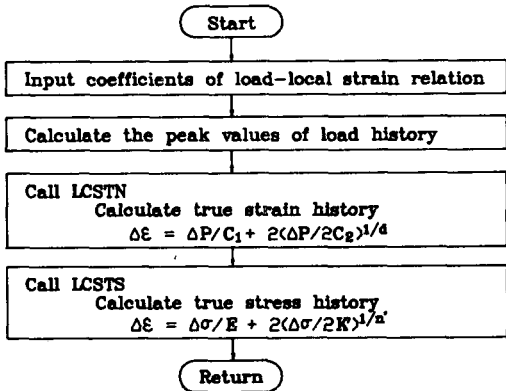


Fig. 3 Subprogram LOCAL

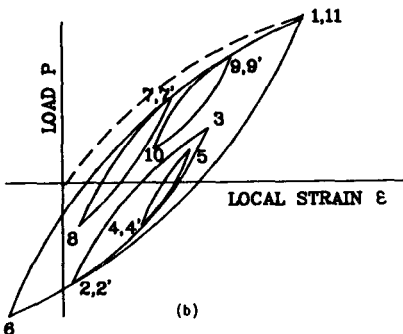
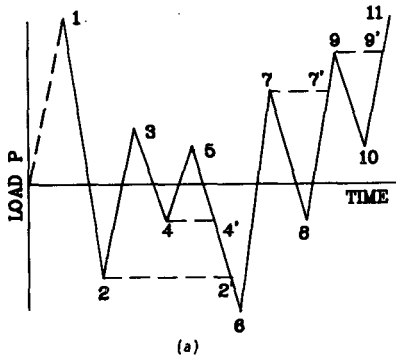


Fig. 4 Procedure for calculating local strain history

여기서 P 는 荷重이며, C_1, C_2 및 d 는 實驗에서 얻어진 係數들이다. 수행과정은 Fig. 3과 같다. 식 (6) 中の 係數 C_1, C_2, d 의 入力이 끝나면, 계산기는 자동적으로, 主프로그램에서 지정된 변동하중履歷과일이 無次元화된 변동하중패턴일 경우, 이미 入力된 最大荷重值를 사용하여, 실제값을 갖는 변동하중履歷으로 변환하는 계산을 하게 된다. 이 계산이 끝나면 변동하중履歷으로 부터 노치先端 局部 변형률履歷을 구하는 단계로 들어간다. 局部 변형률履歷을 구하는 과정을 약간 상세히 설명하면 다음과 같다. Fig. 4(a)와 같이 荷重履歷이 주어졌을 경우, 첫 하중 피크(peak) 1에 대응하는 변형률 ϵ (1)을 식(6)에 의해 구하고, 그以後의 피크에 대응하는 변형률 $\epsilon(i)$ 는 식(6)을 하중幅 ΔP 및 변형률幅 $\Delta \epsilon$ 으로 나타낸 다음식

$$\Delta \epsilon = \frac{\Delta P}{C_1} + 2\left(\frac{\Delta P}{2C_2}\right)^{\frac{1}{d}} \quad (7)$$

을 이용하여 구하게 된다. 이때 레인지페어 (range-pair) 波形셈(counting)을 하여 Fig. 4(b)의 履歷曲線(hysteresis loop)이 닫혀진 작은 波形은 該當 피크값을 얻은 후, 제거해 가면서 계산이 이루어진다. 구체적으로는 하중幅과 변형률피크값을 다음식에 의해 계산한다.

$$\left. \begin{aligned} (\Delta P)_i &= P(i) - P(m) \\ \epsilon(i) &= \epsilon(m) + (\Delta \epsilon)_i \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

여기서 $(\Delta \epsilon)_i$ 는 $(\Delta P)_i$ 를 식(7)에 대입하여 얻어지는 값이며, m 은 Fig. 4와 같은 하중일 경우, $i=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ 에 대해 각각 $m=1, 2, 3, 4, 1, 6, 7, 6, 9, 6$ 이 되는 값이다. 이러한 계산방법은 通常의 局部 변형률방법(local strain approach)에서 일반적으로 사용되는 방법이며, 더욱 상세한 내용이 필요할 경우에는 참고 문헌(8)을 참조하면 좋을 것이다.

본 프로그램에서는 위의 계산과정을 副루우틴(sub-routine)LCSTN에서 수행하도록 되어 있다. 以上과 같이 하여 局部 변형률履歷 $\epsilon(i)$ 가 얻어지면, 되풀이 응력-변형률관계식(3)을 이용하여, 局部 응력履歷 $\sigma(i)$ 를 구하는 단계로 들어간다. 그 계산과정은 앞의 하중履歷으로 부터 局部 변형률履歷을 구하는 과정과 기본적으로는 거의 같으며, 또 하나의 副루우틴 LCSTS에서 수행하도록 되어 있다. 局部 응력履歷 $\sigma(i)$ 의 계산이 끝나면 主프로그램으로 돌아간다.

(2) NEUBER

荷重과 노치先端의 局部변형률의 관계가 얻어져 있지 않은 경우에 Neuber의 식(7)을 이용하여, 노치先端의 局部변형률 및 응력履歷을 구하는 副프로그램으로, 그 과정은 Fig. 5와 같다. 먼저 彈性응력집중계수 K_t 를 入力하고, 다음에 荷重 P 로 부터 노치部의 公稱응력 S 를 구하는 변환식,

$$S = h * P$$

중의 계수 h 를 入力하면, 계산기는 하중履歷으로부터 公稱응력을 구하고, 다음의 Neuber의 식(9)와 되풀이 응력-변형률 관계식(3)을 연립하여 풀어, 노치先端의 局部응력 및 변형률 履歷을 구하게 된다.

$$\Delta \sigma \cdot \Delta \epsilon = K_t^2 \Delta S \cdot \Delta e = \frac{(K_t \Delta S)^2}{E} \quad (9)$$

여기서 $\Delta \sigma$ 및 $\Delta \epsilon$ 는 노치先端의 실제응력幅 및 변형률幅이며, Δe 는 公稱 변형률幅으로 $\Delta e = \frac{\Delta S}{E}$ 로 나타내어 지는 값이다. 局部응력 및 변형률 履歷의 실제계산은 副루우틴 NBSTR에서 수행하며, 그 계산과정은 근본적으로는 앞의 副프로그램 LOCAL에서 局部변형률履歷을 구하는 과정과 거의 同一하다.

(3) DAMAGE

앞의 副프로그램 LOCAL 또는 NEUBER에서 얻어진 노치先端의 局部변형률 및 응력 履歷에 대해 새로운 예측법을 사용하여 피로균열발생수명을 평가하는 副프로그램으로, 그 과정은 Fig. 6과 같다. 먼저, 얻어진 局部응력履歷에서 최대응력사이클의 응력幅과 평균응력을 抽出하여 最大等價응력幅 $(\Delta \sigma)_{eq,max}$ 을 계산하고, 얻어진 $(\Delta \sigma)_{eq,max}$ 값과 主프로그램에서 이미 入力된 修正係數 β_1, β_2 값을 사용하여, 2章에서 설명한 方法에 따라 $\epsilon-N$ 곡선을 修正하게 된다. $\epsilon-N$ 곡선의 修正이 끝나면 局部변형률 및 응력履歷을 解析하여 각 변형률 및 응력사이클의 변형률幅 $\Delta \epsilon$, 平均塑性 변형률 ϵ_{pm} , 응력幅 $\Delta \sigma$ 및 평균응력 σ_m 을 구하여, 修正된 $\epsilon-N$ 곡선에 따라 損傷을 계산하여 피로수명을 예측하게 된다. 이 계산과정은 副루우틴 LIFE에서 수행하도록 되어있다. 以上 설명에서 알 수 있듯이, 특히 副프로그램中的 副루우틴 LCSTS에서는 식(3)을, NBSTR에서는 식(3)과 (9)의 연립식을, LIFE에서는 식(1) 및 (2)를, 주어진 左邊의 값에 대해 풀도록 되어있다. 본 연구에서는 Newton

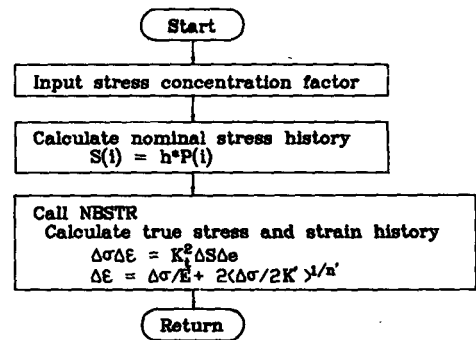


Fig. 5 Subprogram NEUBER

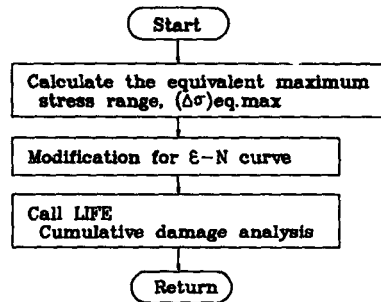


Fig. 6 Subprogram DAMAGE

의 反復法을 사용하여 필요한 解를 구하고 있다.

5. 使用例 및 檢討

Fig. 7은 第1報⁽¹⁾에서 검토한 미국자동차공학회(SAE)의 변동하중履歷에 대해 본 소프트웨어 FATILIFE-I을 수행한 一例로, 얻어진 결과의 상세한 내용 및 解析은 이미 보고하고 있어⁽¹⁾ 생략하기로 하나, 피로에 관한 간단한 기본지식만 있으면 누구나 쉽게 사용할 수 있는 소프트웨어라는 것을 알수가 있을 것이다. 본 소프트웨어 自體에 필요한 記憶容量(memory)은 313KB로, 퍼스널컴퓨터 시스템이 기본적으로 필요로 하는 기억용량을 50KB 정도로 생각하면, 主記憶(main memory) 용량이 370KB 정도의 컴퓨터이면 사용이 가능하다. 현재 국내에서 시판되고 있는 퍼스널컴퓨터는 대부분 640KB의 주기억용량을 標準仕樣으로 하고 있어, 본 소프트웨어 사용에 거의 문제가 없을 것이다. 피로균열발생수명을 예측하는 소프트웨어로서 현재 市販되고 있는 것으로는, 日本三井造船株式會社の MiFATIGUE, Structural Dynamics Research Cor-

```

PROGRAM : FATILIFE-1

THIS IS A PROGRAM FOR FATIGUE CRACK INITIATION LIFE PREDICTION

TYPE OF LOAD HISTORY = ?
TRANSMISSION
DATA FILE NAME FOR LOAD HISTORY = ?
A:TRANS.DAT
OUTPUT FILE NAME = ?
A:TRANS.OUT
INPUT MATERIAL PROPERTIES

INPUT NAME OF MATERIAL = ?
MAN-TEN
MECHANICAL PROPERTIES (MPa)
ELASTIC MODULUS = ?
203000
YIELD STRENGTH (0.2%) = ?
322
TENSILE STRENGTH = ?
557
REDUCTION OF AREA (%) = ?
67
TRUE FRACTURE STRENGTH = ?
910
FRACTURE DUCTILITY = ?
1.06
CYCLIC PROPERTIES
CYCLIC STRENGTH COEFFICIENT = ?
1100.
CYCLIC STRAIN HARDENING EXPONENT = ?
0.19
DO YOU HAVE DATA FOR FATIGUE PROPERTIES (Y/N) ?
Y
FATIGUE PROPERTIES
FATIGUE STRENGTH COEFFICIENT = ?
915
FATIGUE STRENGTH EXPONENT = ?
-0.095
FATIGUE DUCTILITY COEFFICIENT = ?
0.26
FATIGUE DUCTILITY EXPONENT = ?
-0.47
PRIMARY COEFFICIENT FOR MODIFICATION STRAIN-LIFE CURVE = ?
0.6
SECONDARY COEFFICIENT FOR MODIFICATION STRAIN-LIFE CURVE = ?
0.5
DO YOU CONSIDER COMPRESSIVE MEAN STRESS EFFECT (Y/N) ?
Y
ABSOLUTE MAX. LOAD IN BLOCK LOADING (kN) = ?
71.2
CHOOSE THE ROUTINE TO OBTAIN TRUE STRESS AND STRAIN HISTORY
CASE 1: USING LOAD - LOCAL STRAIN RELATION AT NOTCH ROOT
CASE 2: USING NEUBER RULE
PRESS THE KEY 1 OR 2
1
DATA ON THE LOAD - LOCAL STRAIN RELATION AT NOTCH ROOT
 $e = P/C1 + (P/C2)**(1./D)$ 
C1 (kN) = ?
6272
C2 (kN) = ?
296.7
D = ?
0.39
NO. OF BLOCKS TO FAILURE =          10.6258600

DO YOU CALCULATE FATIGUE LIFE AGAIN FOR ANOTHER LOAD VALUE OF GIVEN LOAD
HISTORY TYPE (Y/N) ?
N

Stop - Program terminated.

```

Fig. 7 Example of program run

poration社의 I-DEAS Tdas 中の Fatigue Analysis 모듈(module), MTS 社의 FATDAT 소프트웨어 등이 있다. 著者들의 收集한 資料에 의하면 MiFATIGUE는 日本材料學會의 疲勞強度데이터베이스(data base)⁽⁶⁾를 이용하여 S-N 곡선을 얻어, Miner의 損傷假說에 의해 疲勞強度를 평가하는 소프트웨어이며, I-DEAS Tdas의 Fatigue Analysis 모듈은 응력-수명관계, 변형률-수명관계를 이용하여 수명을 예측하는 소프트웨어로서, Neuber의 식⁽⁷⁾도 이용할 수 있도록 되었다. MTS 社의 FATDAT는 Neuber의 식⁽⁷⁾을 이용하여 通常의인 局部변형률방법(local strain approach)에 의해 수명을 예측하는 모듈과 實物시험에 의한 하중-수명관계로부터 수명을 예측하는 모듈을 갖고 있는 소프트웨어로서, Miner의 損傷假說을 사용하고 있다. 이 以外에도 여러 소프트웨어가 있을 것이나, 市販되고 있는 소프트웨어는 大體로 Miner의 假說을 그대로 사용하는 경우가 많아, 第1報에서 상세히 검토한 바와 같이 변동하중하의 응력간섭효과를 고려하지 못하는 결점이 있어 위험쪽의 수명평가가 될 가능성이 크다. 따라서 使用時 注意가 필요하나, 본 소프트웨어 FATILIFE-I은 응력간섭효과에 대해 충분히 고려하고 있어, 거의 안전쪽의 수명예측이 가능하다.

본 소프트웨어는, 서론에서 약간 지적한 바와같이, 現時點에서는 鐵鋼재료를 主 대상으로 하고 있어, 노치효과등 피로특성이 다른 알루미늄합금등의 非鐵鋼 재료에 대해서는 검토가 필요하며, 鐵鋼재료일 경우에도 응력집중계수 K_t 가 매우 높거나 혹은 대상 수명영역이 특히 피로한도 부근에 局限되어 있을 때에는 식(a)의 Neuber 식중의 K_t 대신에 노치계수 K_f 를 사용하는 것이 더욱 좋은 예측이 될 가능성도 있어, 경우에 따라 적절히 수정하여 사용하는 것도 좋을 것이다.

현재 본 소프트웨어에 그래픽(graphic)기능과 著者들이 構成中인 피로강도데이터베이스를 연결(link)하는 문제를 검토중이며, 본 소프트웨어는 요청이 있을 경우, 가능한 限 公開할 예정이다.

6. 結 論

변동하중을 받는 노치材의 피로균열발생수명을 예측하는 컴퓨터소프트웨어 FATILIFE-I을 개발하였다. 본 소프트웨어는 변동하중下の 응력간섭효과

를 고려한 새로운 수명예측법, 이른바 修正 $\epsilon-N$ 곡선에 의한 방법을 사용하고 있으며, 低되풀이 數 피로영역에서의 平均塑性 변형률의 효과도 고려할 수 있도록 되어있다. 또한 본 소프트웨어는 재료의 피로특성에 관한 데이터가 거의 없는 경우에는 재료의 기계적성질을 이용하여 거의 안전쪽의 수명평가를 할 수 있으며, 일반 퍼스널컴퓨터로 충분히 이용이 가능한 것이다.

後 記

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구의 일환으로 이루어진 것으로, 관계자 여러분께 감사드리 는 바이다.

參 考 文 獻

- (1) 河在宣, 宋智浩, 李時中, 1988, “變動荷重下の 疲勞壽命豫測—第1報: 疲勞균열 發生까지의 壽命—”, 大韓機械學會論文集, 第12卷, 第4號, pp. 760~780.
- (2) Kikukawa, M., Jono, M., Kamata, T., Song, J. and Himuro, H., 1977, “Low-Cycle Fatigue under Varying Strain Conditions (Effects of the Mean Plastic Strain and the Stress Factor)”, Bulletin of the JSME, Vol. 20, No. 140, pp. 145~152.
- (3) Corten, H.T. and Dolan, T.J., 1956, “Cumulative Fatigue Damage”, Proceedings of International Conference on Fatigue of Metals, pp. 235~246.
- (4) Freudenthal, A.M. and Heller, R.A., 1958, “On Stress Interaction in Fatigue and a Cumulative Damage Rule: Part I-2024 Aluminum and SAE 4340 Steel Alloys”, WADC TR, pp. 58~69.
- (5) Mitchell, M.R., 1979, “Fundamentals of Modern Fatigue Analysis for Design”, Fatigue and Microstructure, ASM, pp. 385~437.
- (6) Manson, S.S., 1965, “Fatigue: A Complex Subject—Some Simple Approximations”, Experimental Mechanics, Vol. 5, No. 7, pp. 193~226.
- (7) Neuber, H., 1968, “Theoretical Determination of Fatigue Strength at Stress Concentration”, Technical Report AFMLTR-68-20.
- (8) Dowling, N.E., Brose, W.R. and Wilson, W.K., 1977, “Notched Member Fatigue Life Predictions by the Local Strain Approach”, Fatigue Under Complex Loading, The Society of Automotive Engineers (SAE), Inc., pp. 55~84.
- (9) 日本材料學會, 1982, 金屬材料疲勞強度データ集, Vol. 1~3.