

# 작은 표면균열의 성장특성에 의한 수명예측<sup>+</sup>

서 창 민\* · 임 창 순\*\* · 강용구\*\*\*

(1989년 10월 17일 접수)

## A Fatigue Life Prediction by Growth Characteristics of a Small Surface Crack

Chang-Min Suh\*, Chang-Soon Lim\*\* and Young-Goo Kang\*\*\*

**Key Words:** Surface Crack(표면균열), Fatigue Life Prediction(피로수명예측), Stress Intensity Factor(응력확대계수), Crack Growth Rate(균열성장율), Fracture Mechanics(파괴역학), Cycle Ratio(수명비), Total Strain Intensity Factor(전스트레인 확대계수)

### Abstract

This paper deals with a fatigue life prediction of a surface crack based on the experimentally obtained relationship between surface crack length ratio  $a/a_i$  and cycle ratio  $N/N_i$  using micro computer.

Firstly  $a/a_i - N/N_i$  curves obtained from experimental tests, were assumed as three curves UC (the upper limit curve), LC (the lower limit curve) and MC (the middle curve), and these were utilized to predict the fatigue life.

Comparing the calculated values which represent the characteristics of crack growth behaviors from the three assumed curves with the experimental ones, it has been found that in the stable crack growth region, they coincide reasonably well each other. And the differences between the fatigue lives obtained from the assumed curves and the experimental fatigue life did not exceed 20%. Using the characteristics of  $a/a_i - N/N_i$  curves, it is possible to predict the  $da/dN - K_{max}$  curves and the  $S - N_i$  curves.

### 1. 서 론

구조물 및 기기의 부재에 피로한도 이상의 반복 하중이 작용되면 그 표면에 존재 가능한 작은 결

함에 응력이 집중되어 피로균열이 발생하게 되고, 이 균열이 서서히 성장하다가 임계균열길이 이상 성장하면 갑자기 파단되는 피로파괴가 발생된다. 각종 기기 및 구조물의 파괴가 대부분 부재 표면에서 발생한 피로균열에 의해 일어난다는 사실이

+ 1989년도 한국해양공학회 춘계학술대회 발표(1989년 11월)

\* 정회원, 경북대학교 공과대학 기계공학과

\*\* 한국조폐공사 대구지사

\*\*\* 정회원, 금오공과대학 기계공학과

밝혀짐에 따라, 피로파괴에 대한 연구는 부재의 선정, 검사, 보수 및 안정성 평가의 관점에서 중요한 척도가 되며, 공학적 및 공업적 중요성이 더욱 인식되어 비파괴기술의 발달과 함께 활발히 진전되어 가고 있다<sup>1)</sup>.

따라서 실존가능한 표면결함부재의 피로파괴에 관한 정량적인 자료가 절실히 요구되고 있다. 그러나 이것에 대한 국내외적인 연구의 중요대상이 되고 있으나 관통 균열재의 자료에 비하면 아직 자료 축적이 미흡한 상태이다<sup>2)~5)</sup>.

본 연구는 두가지 강재인 고탄소강, 중탄소강재의 회전굽힘피로시험의 결과에서 균열길이를 파단 균열길이에 대하여 무차원화한  $a/a_r$ 를 이용하여 균열의 성장특성과 수명예측을 시도하였다.

즉 임의의 응력레벨에 대한  $a/a_r-N/N_f$  곡선의 상한 및 하한을 지나는 곡선과 그 중앙을 지나는 곡선을 각각 UC (upper limit curve), LC (lower limit curve) 및 MC (middle curve)로 가정하고 이 곡선의 특징을 마이크로 컴퓨터로 계산할 수 있도록 프로그램을 작성하여 균열성장곡선과 수명예측을 시도하고 실험결과와 비교. 검토하여 본 연구에서 추진된 수명예측법의 실용성과 응용면을 확대시키고자 한다.

## 2. 시험편 및 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 고탄소강 J재와 중탄소강 K재이다. 고탄소강은 두가지 열처리 조건에 따라 노냉된 것은  $J_1$ , 유냉된 것은  $J_2$ 로 분류하였다. 각 재료들의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2에 나타낸다.

Table 1 Chemical composition

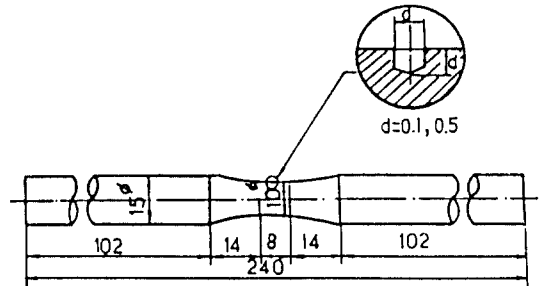
Material	C	Si	Mn	P	S
Wt(%) $J_1, J_2$	0.73	0.34	0.76	0.021	0.024
K	0.43	0.33	0.65	0.017	0.050

Table 2 Mechanical properties

Material	Yielding point (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hv
$J_1$	313.9	539.6	22.5	170
$J_2$	1081.1	1220.4	12	383
K	294.3	534.7	48.4	172

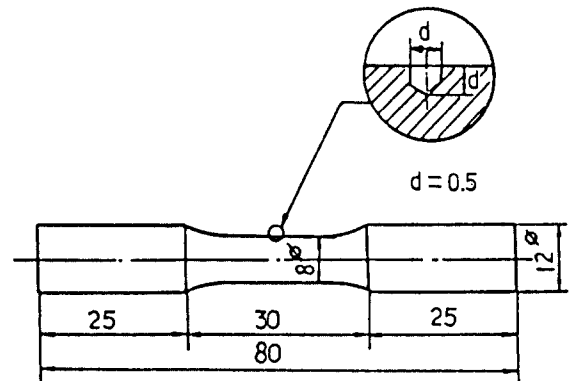
Fig. 1은 실험에 사용된 회전굽힘피로시험편의 형태를 나타내며, Fig. 1(a)는 중탄소강재의 시험편을 나타내며, 시험편 평활부의 중앙표면상에 직경  $\phi 0.1mm$ , 깊이  $0.1mm$ 의 결함과 직경  $\phi 0.5mm$ , 깊이  $0.5mm$ 의 작은 표면결함이 각각 가공되어 있다. Fig. 1(b)는 고탄소강재로 직경  $\phi 0.5mm$ , 깊이  $0.5mm$ 의 작은 인공결함이 가공되어 있다.

피로시험은 오노식 회전굽힘피로시험기를 사용하여 상온에서 행하였으며, 회전 속도는 약 3400 rpm이었다. 표면피로균열길이는 일정회전수마다 시험기를 정지시켜 표면레프리카를 채취하고, 이 레프리카로부터 광학현미경을 이용하여 측정하였다. 또한 응력-변형률 히스테리시스곡선(stress-



Unit : mm

(a) K



Unit : mm

(b)  $J_1, J_2$

Fig. 1 Configuration of the specimen

strain hysteresis curve) 및 전 스트레인범위(total strain range)는 시험편의 균열측정부의 반대측 평활평행부중양에 스트레인게이지를 부착하여 파단수명의 20%이전의 단계는 파단수명의 5%마다, 또 그 이후에서는 파단수명의 10%마다 피로시험기를 정지시키고 스트레인게이지를 정적스트레인 측정기에 연결시켜 시험편을 10°씩 회전시켜 측정하였다.

### 3. 실험결과

Fig. 2는 회전굽힘 피로시험을 실시하여 얻은 굽힘응력과 피로파단수명을 나타내는 S-N<sub>f</sub>곡선이다. 각 시험재료와 표면결함의 형태에 따라 각각의 S-N<sub>f</sub> 곡선을 나타내며 동일재료에서는 결함의 직경이 클수록 피로한도가 감소됨을 알 수 있다. 또한 고탄소강재에서는 열처리조건에 의해 유냉된 J<sub>2</sub>재가 노냉된 J<sub>1</sub>재보다 피로한도가 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 3(a), (b)는 표면균열(surface crack)의 성장 특성인 균열길이 a와 파단수명비 N/N<sub>f</sub>의 관계를 나타낸다. Fig. 4는 표면결함의 직경  $\phi$  0.1mm, 깊이 0.1mm인 중탄소강재 K재의 회전굽힘피로시험에서 얻은 a-N/N<sub>f</sub> 곡선에서 피로균열길이 a를 임계균열길이 a<sub>i</sub>로 무차원화한 a/a<sub>i}-N/N<sub>f</sub>의 관계를 나타내고 있다. 이 그림상에서 컴퓨터로 계산할 최적곡선 UC(상한선), LC(하한선)와 MC(중앙선)를 각각 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 a/a<sub>i}-N/N<sub>f</sub> 곡선은 a-N곡선과는 달리 각 응력레벨에 대한 응력의존성은 없어지고 좁은 밴드내에 모이는 특성을 보이며 균열의 초기에는 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.</sub></sub>

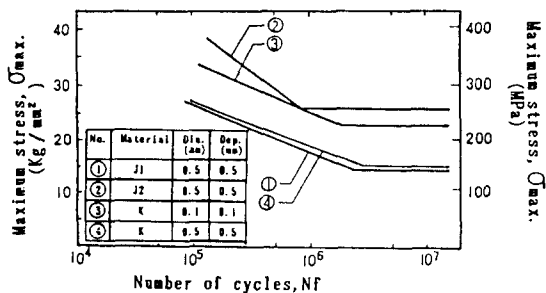


Fig. 2 Relation between maximum bending stress and the number of cycles to fracture

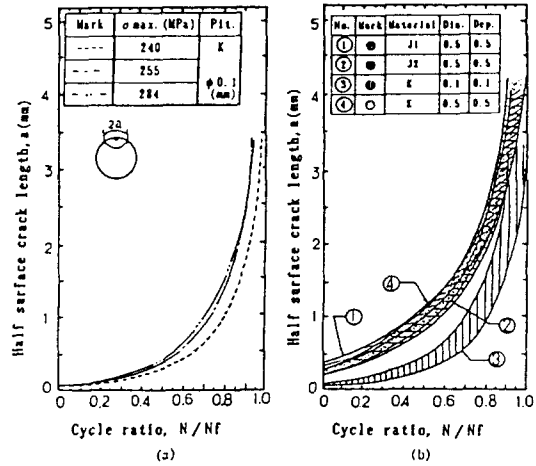


Fig. 3 Relation between half surface crack length and the cycle ratio

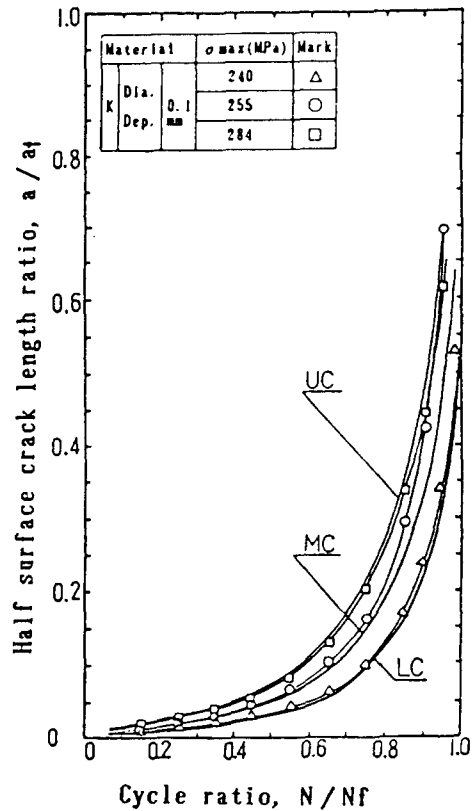


Fig. 4 Relation between half surface crack length ratio and the cycle ratio

Fig. 5에서는 중탄소강 K재의 직경  $\phi 0.1mm$ , 깊이  $0.1mm$ 와 직경  $\phi 0.5mm$ , 깊이  $0.5mm$ 인 표면 결함에서 얻은  $a/a_i - N/N_f$  곡선을 나타내고 있다. 이 그림에서 결함의 크기가 크면 클수록 균열의 초기성장이 용이함을 알 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 4의 중탄소강 K재와 Fig. 5의 고탄소강 J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>재에서 얻은  $a/a_i - N/N_f$ 의 관계를 동시에 나타내고 있다. 고탄소강재인 J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>는 열처리에 따라 기계적 성질이 크게 변화함에도 불구하고 J<sub>1</sub>재 및 J<sub>2</sub>재 데이터가 대부분 좁은 밴드 내에 모이고, 반복수비에 따라 원활하게 성장하고 있다. 이와같은 표면피로균열의 성장 특성은 재료의 강도 및 결함의 크기와 밀접한 상호 관계가 있는 것으로 생각된다.

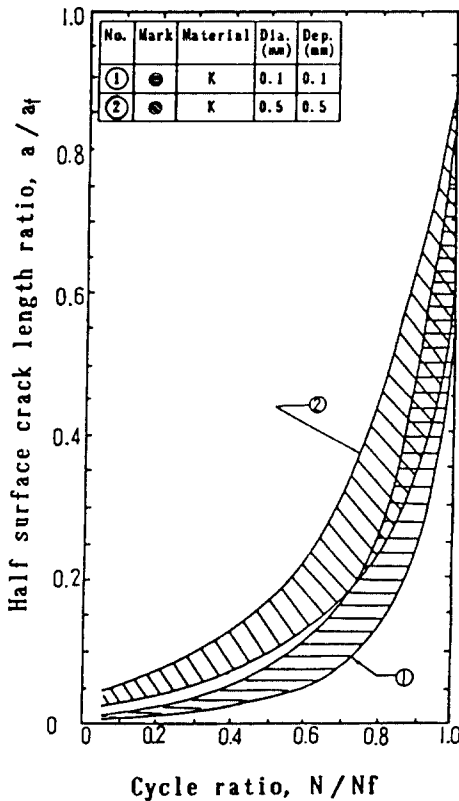


Fig. 5 Relation between half surface crack ratio and the cycle ratio

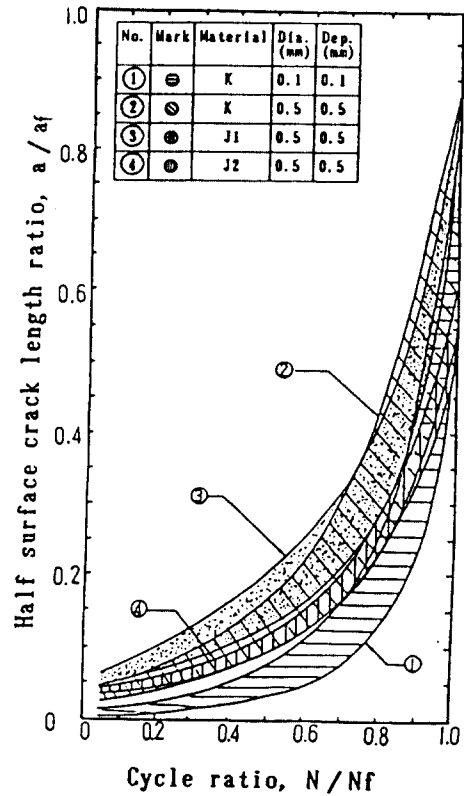


Fig. 6 Relation between half surface crack length ratio and the cycle ratio

#### 4. 계산방법

Fig. 3과 같은  $a - N/N_f$ 의 관계곡선에서 균열의 성장특성을 파단시의 균열길이  $a_i$ 로 무차원화한  $a/a_i$ 와  $N/N_f$ 의 관계로 나타내면 응력레벨과 재질의 차이에도 불구하고 균열의 성장곡선은 좁은 밴드 내에 모이는 특성을 알 수 있다. 이러한 특성으로부터 다음과 같은 피로균열 성장특성을 조사하여 균열성장율의 최대응력확대계수의 관계  $da/dN - K_{max}$ 를 계산하고 또  $S - N_f$  곡선을 추정하여 실험에서 구한 것과 비교, 검토하였다.

(1) Fig. 4와 같이 실험에서 얻은 세가지 응력의 균열성장곡선을 포함하는 밴드의 최외각선 및 중앙선을 가정하여 각각 UC, LC 및 MC로 표기하고, Fig. 6과 같은 두가지 재료에서도 각각 가정하였다.

(2) 상기와 같은 방법으로 UC, LC 및 MC의 세 곡선이 정하여지면  $a/a_i - N/N_f$  곡선에서  $da/dN$ 과

Kmax의 계산이 필요하다. 따라서 Fig. 4, 6의 수명비  $N/N_i$ 를 등간격으로 20등분하여 각 등분점에 대한 표면균열길이비  $a/a_i$ 와 시험편의 파단수명비  $N/N_i$ 값을 구하고, 균열성장의 3단계중에서 제 2단계영역을 수명비의 네 구간 ( $N/N_i=0.3\sim 0.8, 0.3\sim 0.9, 0.1\sim 0.8, 0.1\sim 0.9$ )으로 가정하여 수명을 추정, 비교하였다. 또한 각 조건의 데이터를 마이크로 컴퓨터에 입력시켜 계산하여 결과를 얻었다.

이상과 같은 순서로 계산된 균열길이비  $a/a_i$ 와 파단수명비  $N/N_i$ 와의 관계를 각각의 시험편의 종류에서 가정된 곡선(UC, LC, MC)에 대한 균열성장율과 최대응력확대계수와와의 관계  $da/dN-K_{max}$ 와, 균열성장율과 반복 전 스트레인확대계수의 관계  $da/dN-\Delta K_{et}$ 와, 응력과 파단반복수의 관계  $S-N_f$ 를 마이크로 컴퓨터로 구하고 이를 실험결과와 비교, 검토하였다.

### 5. 계산결과 및 고찰

#### 5.1 표면피로균열성장율의 파괴역학적 해석

##### 5.1.1 $da/dN-K_{max}$ 의 추정

Fig. 7은 전술한 방법에 의하여 계산된 예를 나타내고 있다. 즉 직경  $\phi 0.1mm$ , 깊이  $0.1mm$ 의 표면결함이 있는 중탄소강 K재에 대한  $a/a_i-N/N_i$  곡선으로부터 가정된 UC, LC 및 MC곡선을 이용하여 세가지 응력레벨의  $da/dN-K_{max}$  관계를 계산하여 각각 Fig. 7의 (a), (b), (c)에 나타내고 있다. 그림상의 점선은 실험으로 얻어진 자료이며, 실선, 일점쇄선 및 이점쇄선은 각각 가정된 UC, LC 및 MC로부터 계산된 것이다. 그림과 같이 본 계산방법으로 추정계산된 자료는 비교적 실험결과와 잘 일치됨을 알 수 있으며 가정된 곡선으로부터 S-

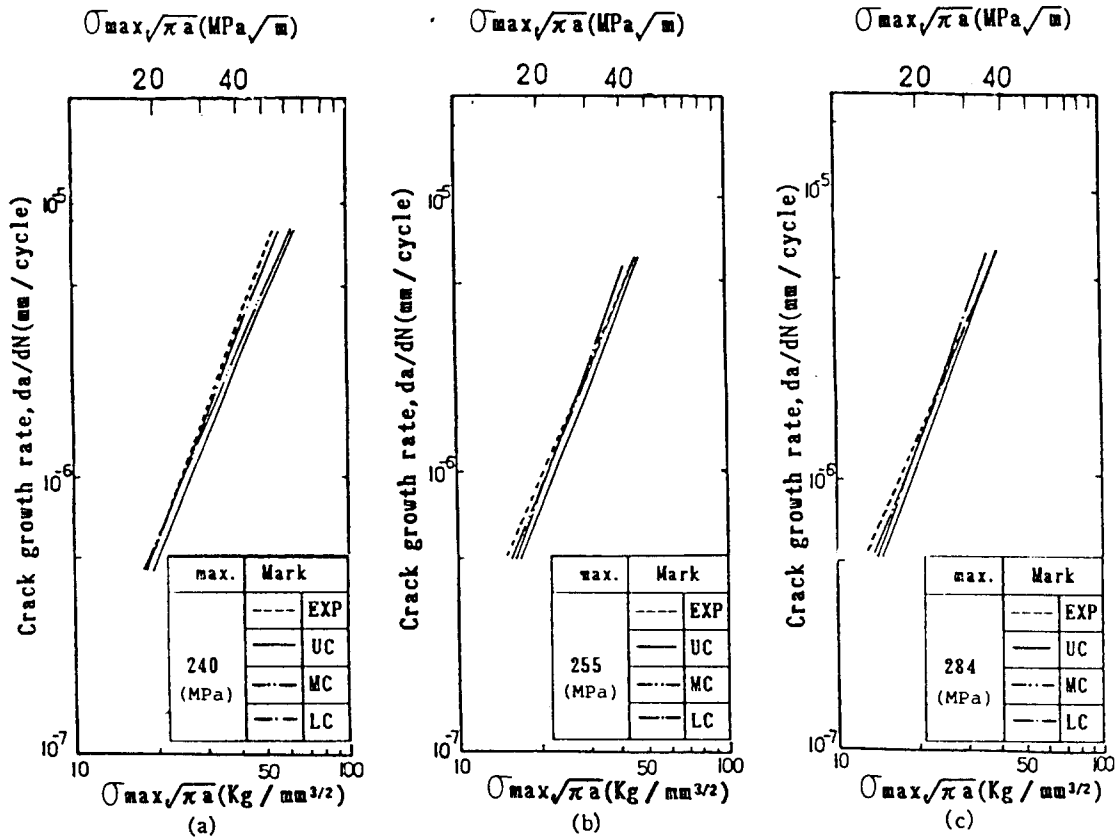


Fig. 7 Dependence of the growth rate of small surface cracks upon the maximum stress intensity factor

$N_f$ 곡선을 추정해도 비교적 큰 오차가 없을 것임을 예측할 수 있다.

이상과 같이 UC, LC, MC의 곡선을 이용하는 방법을 중탄소강 K재와 고탄소강 J재에 적용시켜 각각의  $da/dN - K_{max}$ 과의 관계를 동시에 나타낸 것이 Fig. 8이다. 그림에서 각 자료는 일정한 범위 내에 정리되며 더우기 직선으로 플롯되 됨을 알 수 있다. 단, Fig. 7, Fig. 8의 자료는 균열의 안정성장 영역인 30~80%구간의 자료만을 나타내고 있다. 30% 이전의 구간은 표면결합의 초기형태에 의한 영향으로 직선화가 불가능하므로 제외시켰으며 80% 이후에서는 불안정한 성장영역으로 또한 제외시켰다.

5.1.2  $da/dN - \Delta K_{Ket}$ 의 추정

회전굽힘응력을 받는 재료에 있어서 표면피로균열의 성장율을 응력확대계수 K로 나타내어 보면, 각 재료의 표면결합의 영향과 응력의존성, 재료영

향이 존재함을 알 수 있다. 이와같은 영향을 줄이기 위하여 응력확대계수 중의  $\sigma_{max}$ 항 대신에 전 스트레인 범위  $\Delta\epsilon_t$ 를 사용한 전 스트레인확대계수 범위(total strain intensity factor range)  $\Delta K_{Ket}$ 를 사용하면 응력의존성이 소멸되어 통일적인 정리가 가능함이 보고되고 있다<sup>2)</sup>.

따라서 Fig. 9는  $\Delta K_{Ket}$ 를 사용하여  $da/dN - \Delta K_{Ket}$ 관계를 컴퓨터로 추정한 예를 나타내고 있다. 즉 중탄소강 K재의 Fig. 4와 같은 성장곡선으로부터 가정된 UC, LC 및 MC로 세가지 응력레벨에 대한  $da/dN - \Delta K_{Ket}$ 의 관계를 계산하여 각각 Fig. 9의 (a), (b), (c)에 나타내고 있다.

그림상의 점선은 실험에서 구한 결과이며 실선, 일점쇄선 및 이점쇄선으로 표시된 자료는 가정된 세곡선으로 구한 값이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 실험식과 가정식은 상당히 잘 일치하며 본 연구에서 수행하는 계산추정방법이 유효함을 알 수 있다.

Fig. 10은 고탄소강 J재와 중탄소강 K재의 결과를 동시에 플롯한 것이고 각 재료의 차이와 응력의존성, 표면결합의 크기의 영향이 Fig. 8보다 적어지고 균열성장을  $da/dN$ 와  $\Delta K_{Ket}$ 로 통일적인 정리가 가능함을 알 수 있다. 또한 가정된 최외각곡선(UC, LC)과 중앙선(MC)으로 추정된 곡선을 이용하면 상당히 빠르게  $da/dN - \Delta K_{Ket}$  곡선의 추정이 가능함을 알 수 있다.

5.2  $da/dN = C (K_{max})^m$ 의 상수 m과 C의 관계

균열성장율  $da/dN$ 과 최대응력확대계수  $K_{max}$ 와의 관계는 일반적으로 식 (1)로 정리될 때<sup>6)</sup> 본 연구에서 가정된 UC, MC, LC에 의하여 계산된 m과 C를 실험에서 구한 값과 서로 비교하였다.

$$da/dN = C (K_{max})^m \dots\dots\dots (1)$$

$$K_{max} = \sigma_{max} \sqrt{\pi a}$$

단, C, m : 재료상수

안정된 균열성장영역의 수명비 0.3~0.8 범위내에서 0.05의 등간격으로 9점을 취해 최소자승법<sup>7)</sup>을 이용하여 m과 C를 구하였다. 한편 Fig. 11은 상술한 m과 C의 관계를 나타내며, 그림과 같이 양자 사이에는 강한 상관관계가 있음을 알 수 있고, m은 응력레벨에 관계없이 일정하나 C값은 응력이 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다.

본 연구에서는 각 재료의 평균치  $\bar{m}$ 와 표준편차

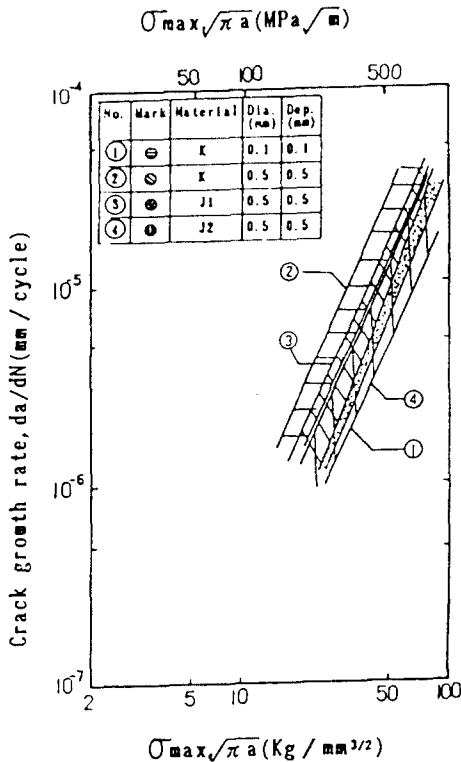


Fig. 8 Dependence of the growth rate of small surface cracks upon the maximum stress intensity factor

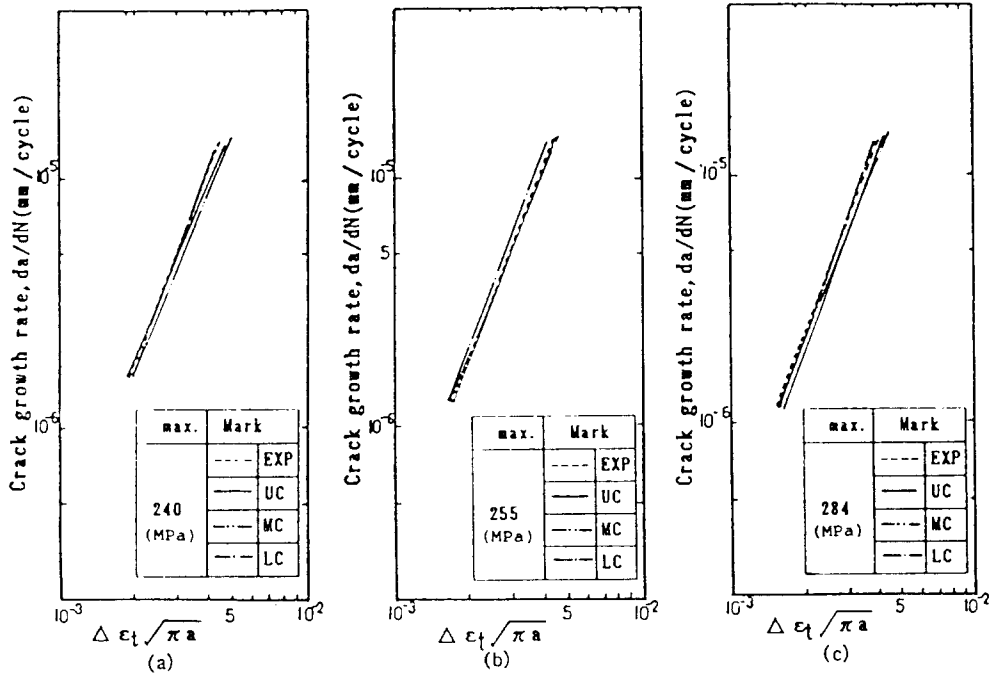


Fig. 9 Dependence of the growth rate of small surface cracks upon the total strain intensity factor range

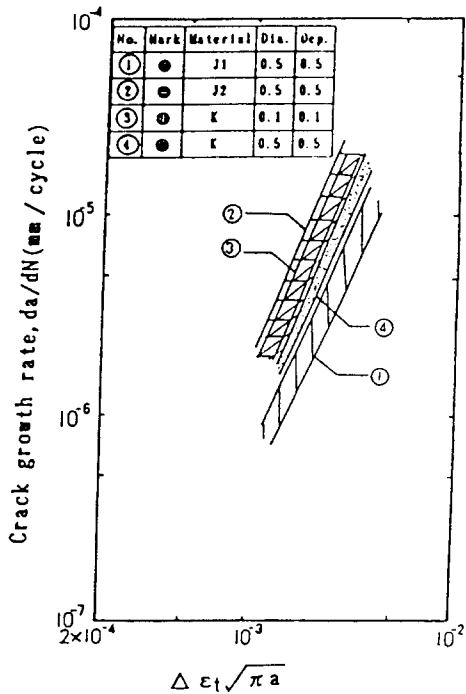


Fig. 10 Dependence of the growth rate of small surface cracks upon the total strain intensity factor range

(standard deviation) S, 변동계수(coefficient of variation) C.V는 식(2)에 의해 프로그램을 작성하여 구하였다.

$$m = \sum mi / n$$

$$S = [\sum (mi - \bar{m})^2 / (n - 1)]^{1/2} \dots\dots (2)$$

$$C.V = S / \bar{m}$$

이 결과에서 m값의 변동계수는 3~7%의 값을 나타내었고 C값의 변동계수는 2~4%의 값을 나타내어 다른 결과<sup>8),9)</sup>에서 얻어진 10%와 5%보다 낮은 값을 얻었다. 또 Fig. 11과 같이 실험결과치와 세가지 가정된 곡선 UC, LC 및 MC에 의한 계산치의 관계는 같은 응력레벨에서는 거의 일 직선상에 나타난다. 따라서 가정된 곡선으로부터 계산된 m과 C값을 사용해서 피로수명을 측정할 때 비교적 정확한 N<sub>f</sub>값을 얻을 수 있음을 예측할 수 있다.

5.3 피로수명의 측정

여러 연구자들에 의해 피로균열성장을 및 수명에 관한 실험식이 제안된 바 있지만, 식(1)을 사용하여 실험결과에서 얻은 피로수명과 UC, MC, LC에 의하여 계산된 두가지 탄소강제의 피로수명을

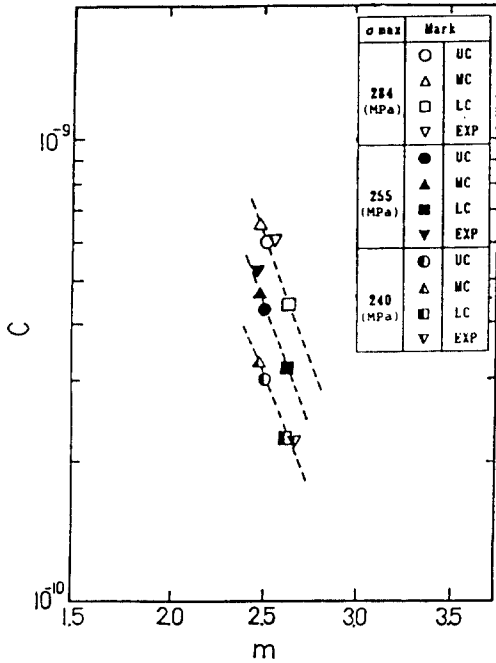


Fig. 11 Relation between m and C

추정 비교하여 보았다.

또 수명비를 Fig. 12에 도시된 것과 같이 네구간으로 나누어 각 구간의 피로수명을 추정하여 어떤 구간이 유효성이 좋은지 비교하여 보았다. 식(1)에서 da/dN을 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} da/dN &= C (K_{max})^m \\ &= C (\sigma_{max})^m \pi^{m/2} a^{m/2} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

식(3)에서 N에 관하여 적분하면 식(4)와 같이 된다.

$$N = \int dN = \int_{a_i}^a \frac{da}{C(\sigma_{max})^m \pi^{m/2} a^{m/2}} \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $a_i$ 는 초기균열의 길이이며  $m \approx 2$ 라하면 식(4)는

$$N = \frac{a^{-(m/2+1)} - a_i^{-(m/2+1)}}{(-m/2+1) C(\sigma_{max})^m \pi^{m/2}} \dots\dots (5)$$

식(3)의  $\sigma_{max}$  대신에  $\Delta\sigma$ 를 대치하여 유도할 수 있다. 즉  $\Delta K_{\Delta\sigma}$ 를 이용한 수명추정은 식(6)과 같이 된다.

$$N = \frac{a^{(m_1/2+1)} - a_i^{(m_2/2-1)}}{(-m_1/2+1) C_1 (\Delta\sigma)^{m_1} \pi^{m_1/2}} \dots\dots\dots (6)$$

식(4)에서 적분구간의 하한 ( $a_i$ )은 비파괴검사법에 의하거나 초기인공결합의 크기 ( $a_i$  또는  $a_0$ )로 정하며, 상한은 재료의 파괴인성치  $K_{Ic}$  또는 미리 결정한 허용한계 균열길이 ( $a_f$  또는  $a_2$ )로 정한다. 또한 수명비는 Fig. 4, 6과 같은 자료의 네 구간 ( $N/N_f = 0.3 \sim 0.8, 0.3 \sim 0.9, 0.1 \sim 0.8, 0.1 \sim 0.9$ )으로 계산하였다. Fig. 12(a), (b)는 가정한 세 곡선 UC, MC 및 LC 곡선을 위와 같은 네 구간에 대하여 추정된 수명예측치와 실험에서 구한 S-N<sub>f</sub> 곡선을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 가정한 세가지 곡선의 피로수명은 실험에서 구한 피로수명과 20% 오차범위내에서 일치하고 있음을 알 수 있다. 이 정도의 오차는 실제 실험에서 발생하는 오차범위로 간주될 수 있다. 또한 수명비를 네 구간으로 나누어 계산된 수명추정결과는 0.1~0.9구간의 계산치가 실험치와 비교적 잘 일치하였으며 0.3~0.8, 0.3~0.9, 0.1~0.8의 구간도 실험치와 20~25%의 오차범위내로 정확성이 있었다.

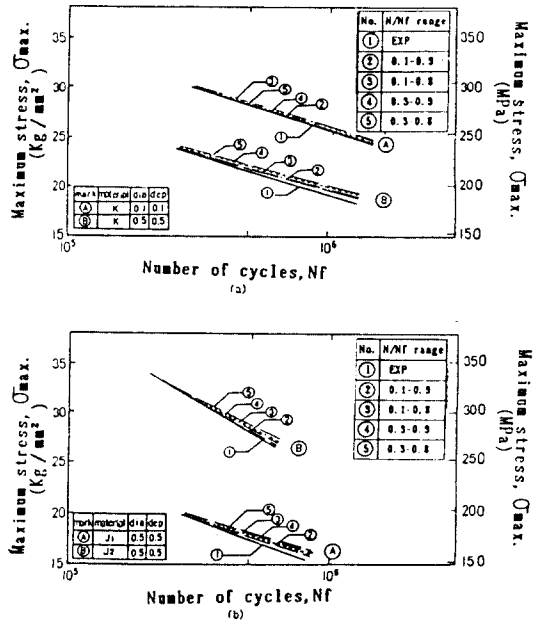


Fig. 12 Fatigue life prediction from assumed curves, UC, MC & LC



Fig. 13은 표면결합의 직경  $\phi 0.1mm$ 인 중탄소강 K재의 경우, 가정된 세 곡선에 의해 계산된 수명 값과 실험에 의해 얻은 수명값과를 비교하여 나타 낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 가정된 세 곡선에서 수명비를 네 구간으로 나누어 계산된 피로수명은 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 가정된  $a/a_i - N/N_i$  곡선으로부터 피로 수명을 계산하면 상당히 높은 정확도를 가진 수명 추정이 가능함을 알 수 있었다. 또한 이러한 자료를 이용하고 마이크로 컴퓨터를 사용하면 많은 시간과 노력을 줄일 수 있다고 생각한다.

6. 결 론

본 연구에서는 고탄소강재, 중탄소강재에 작은 표면인공결합을 가공한 후 회전 굽힘피로시험을 행한 연구결과를  $a/a_i - N/N_i$  특성으로부터 무차원화한 결과를 이용하여 균열의 성장율과  $S - N_f$  곡선의 추정에 사용하였다.

즉 표면결합의 크기에 따라 좁은 밴드내에 모이는 특성으로부터, 임의로 응력레벨에 대하여  $a/a_i - N/N_i$  곡선을 근사적으로 가정하고, 균열성장율  $da/dN$ 을 계산하여 피로수명을 예측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

안정된 균열성장영역에서 실험적인 자료와 가정

된 자료사이의 균열성장율은 비교적 잘 일치한다. 수명비 네 구간중 피로균열의 초기성장영역에서 안전성장영역에 걸쳐 실험치와 20% 정도 내의 오차범위에 모였으며, 0.1~0.9 구간이 가장 잘 일치한다.

이상과같이 균열길이의 수명을 무차원화한  $a/a_i - N/N_i$ 의 특성을 이용하여 마이크로 컴퓨터로 계산하면  $da/dN - Kmax$ 곡선과  $S - N_f$  곡선의 추정이 가능하다. 이와같은 사실은 각종 구조물에서 안전성평가 및 점검에 유효하게 적용할 수 있음을 나타낸다.

참 고 문 헌

- 1) Kitagawa, H., S. Takahashi, C. M. Suh and S. Miyashita, "Quantitative Analysis of Fatigue Process-Microcracks and Slip Lines under Cyclic Strains," ASTM STP 675, 420~449, 1979
- 2) Suh, C.M., R. Yuuki and H. Kitagawa, "Fatigue Microcracks in a Low Carbon Steel," Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. 8, 193~203, 1985
- 3) De Los Rios, E. R., Z. Tang and K. J. Miller, "Short Crack Fatigue Behavior in a Medium Carbon Steel," Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. 7, 97~108, 1984
- 4) Kitagawa, H., M. Kawahara, R. Yuuki and C. M. Suh, "Consideration of Short Cracks in High Stress Fatigue Design," ASME Portland PVP Congress. 83-prp-70, 1<sup>st</sup>, 1983
- 5) Kitagawa, H., C. M. Suh, Y. Nakasone and S. Takahashi, "Mechanical and Non-mechanical Categories in Fatigue Study : A Point of View for Small Surface Crack Problems," ASME "Mechanics of Fatigue" AMD 47, 167~184, 1981
- 6) Morris, W. L., "The Noncontinuum Crack Tip Deformation Behavior of Surface Microcracks," Metall. Trans. 11A, 1117~1123, 1980
- 7) Suh, C. M., "Initiation and Propagation Behaviors of Micro-Surface-Fatigue Cracks under In plane Tension Fatigue Tests," Trans. Korean Soc. Mech. Engng 9, 1~9, 1985
- 8) De Los Rios, E. R., J. Mohamed Hussain and K. J. Miller, "A Micromechanics Analysis for

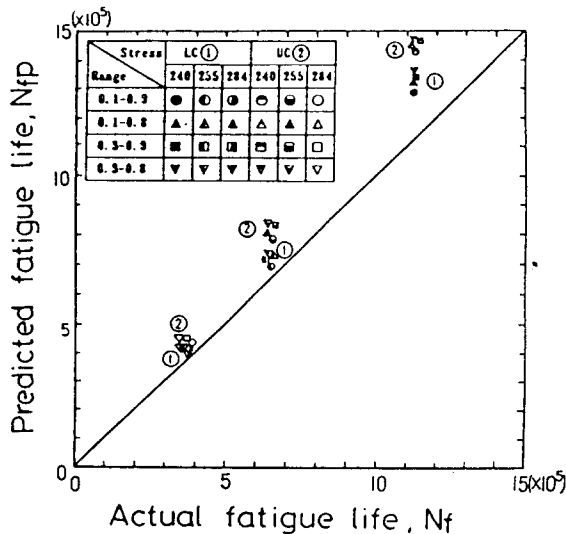


Fig. 13 Relation between the actual fatigue life,  $N_f$  and the predicted fatigue life,  $N_{ip}$

Short Fatigue Crack Growth," Fatigue Fract. Engng Mater. Struct. 8, 49~63, 1985  
 9) Kitagawa, H., R. Yuuki, S. Takahashi and C. M. Suh, "Fracture Mechanics Approach to Small

Fatigue Crack Growth Initiated on Smooth Surface, "Proc. Jap. Soc. Mech. Engng. 790(9), 25~30, 1979



★ 뉴 스 ★

■ 한국해양공학회지 제4권 제1호 원고모집 ■

원고마감 : 1990년 3월 31일(발행예정일 : 1990년 6월 30일)

원고내용 : 논문, 논설, 전망, 해설, 강좌, 자료, 기술보고, 심포지엄 및 좌담회 기록, 기행문, 견학 및  
 참관기, 뉴스, 위원회보고, 회원의 소리, 기타

원고작성요령 : 본 회의 회지원고 집필요강에 의거하여 200자 또는 400자 원고지를 사용할 것. 타이핑  
 (워드 프로세스포함)도 가능함. (제8회 이사회에서 게재논문 면수 6페이지를 초과할시  
 페이지당 10,000원씩 징수키로 결정.)

원고제출처 : 우편번호 604-714, 부산직할시 사하구 하단동 840, 동아대학교 공과대학 내  
 사단법인 한국해양공학회, 전화(051) 205-2325

<주의 : 원고 투고 요령(p. 173 또는 pp. 673)을 반드시 지키실것>

■ 1990년도 춘계 학술대회 강연논문 원고모집 ■

논문원고마감 : 1990년 4월 30일

논문작성요령 : 본 회의 강연논문집 원고집필요령에 의거하여 본회 강연초록원고지(마스터지 30×40)  
 를 반드시 사용할 것. 강연초록 원고지는 요청하시면 즉시 보내 드립니다.  
 (특별 강연 논문원고는 10면이내, 보통 강연 논문원고는 5면이내임.)

원고제출처 : 우편번호 604-714, 부산직할시 사하구 하단동 840, 동아대학교 공과대학 내  
 사단법인 한국해양공학회, 전화(051) 205-2325

<주의 : 원고 투고 요령(p. 175 또는 pp. 675)을 반드시 지키실 것>