

R 곡선상의 안정균열개시점 결정을 위한 수정오프셋방법

Modified Offset Method for Determination of Stable Crack Onset Point on R Curve

안 광 주* · 최 재 강** · 박 준 수***

K.J. Ahn · J.G. Choi · J.S. Park

(1999년 3월 10일 접수, 1999년 7월 7일 채택)

ABSTRACT

This paper were performed to evaluate the elastic-plastic fracture toughness J_{IC} by the unloading compliance method for 1/2 CT specimen of A5083-H112 aluminum alloy. A modified offset method for negative crack growth effect is presented and compared with Voss offset method.

We found that the modified offset method presented can be used efficiently for a determination of the stable crack onset. The J_{IC} by Voss offset method can be overestimated, but the suggested offset method showed a high reliability within 5% of tolerance from the results by the multi-specimen method.

1. 서 론

재료의 탄소성 파괴인성 J_{IC} 를 평가할 때에 제하컴플라이언스법(unloading compliance method)은 실험의 간편성 때문에 많이 이용된다. 제하 컴플라이언스법은 기본적으로 시험하중의 부분적 제하에 따른 재료의 컴플라이언스 변화

를 측정하여 균열길이를 추정하기 때문에 복수 시험편법에 의한 탄소성 파괴인성 J_{IC} 평가보다 오차가 큰 것으로 알려져 있으며 ASTM(American Society of Testing and Materials)에서는 실측균열길이에 대한 추정 균열길이의 오차 범위를 15%로 규정하고 있다¹⁾.

제하컴플라이언스법으로 균열길이를 추정할 때

* 동의대학교 기계공학과

** 동명대학 기계과

*** 동의대학교 대학원 기계공학과

에 부균열(negative crack)의 처리는 가장 큰 문제이다. 하중의 증가에 따라 균열길이 감소하는 부균열 현상은 물리적으로 존재할 수 없는 것으로서 시험편과 실험장비에 의한 실험오차로 볼 수 있다.

JSME(Japan Society of Mechanical Engineers)에서는 3점 굽힘 시험편을 이용하여 컴플라이언스법으로 탄소성 파괴인성을 평가할 때에, 컴플라이언스를 하중선 변위와 하중의 관계에서 측정하면 부균열현상이 나타난다고 하였다²⁾. 이는 시험편 하중점의 소성변형이나 롤러(roller) 지지부의 영향으로 생각되나 시험지그(jig)의 개선만으로는 제거할 수 없으며, 하중선변위와 하중의 관계로써 컴플라이언스를 측정하지 않고, 개구변위와 하중의 관계에서 컴플라이언스를 측정하면 부균열 현상이 없는 정상적인 R곡선이 구해진다고 하였다²⁾.

그러나 이러한 부균열 현상은 3점 굽힘시험편뿐만 아니라 CT(compact tension) 시험편에서도 나타나며, 개구변위와 하중의 관계에서 컴플라이언스를 구하여도 부균열현상이 R곡선에 나타난다.

Voss 등³⁾은 클레비스핀(clevis pin)의 굽힘에 의한 하중선의 정열 불량과 마찰이 부균열 현상의 원인이 된다고 하였으며, 석 등⁴⁾은 하중 제거시 균열선단부에 발생한 압축응력의 영향으로 나타난다고 하였다.

부균열에 대한 처리방법으로서 Voss 등³⁾은 클레비스 핀의 형태를 수정하거나 컴플라이언스를 구하는 수정식을 제안하여 균열길이를 구하였으며, 석 등⁴⁾은 균열진전량 계산에 대한 수정식을 제안하였으나 해석상의 복잡한 문제점이 있다. Rosenthal 등⁵⁾은 복잡한 이론적 해석 대신에 부균열의 최대점을 균열길이의 원점으로 윤셋(offset)하였으며, Voss 등³⁾은 부균열의 최대점을 통하는 둔화직선을 그려서 J-R곡선의 원점으로 윤셋하여 R곡선을 구하였다. Rosenthal 등⁵⁾과 Voss 등³⁾의 윤셋방법은 부균열이 작을 경우에는 상당한 신뢰성이 있으나 부균열이 크게 나타나는 경우에는 탄소성 파괴인성 J_{IC} 가 과대평가될 수 있다.

안 등⁶⁾은 부균열의 최대점을 통하는 둔화직

선을 그려서 J-R곡선의 원점을 구하고 R곡선상의 실험점에 균열길이의 둔화요소를 가하여 R곡선을 수정하면 안정균열의 개시점(onset)을 명확하게 평가할 수 있다고 하였다. 이는 균열의 발생점(crack initiation)을 부균열의 최대점으로 해석하는 것으로서, 실제의 균열 발생점과 일치할 것인가는 불명확하다.

부균열을 갖는 R곡선의 복잡한 이론적 해석은 있으나 간편한 윤셋방법에 의한 처리방법으로서 확연하게 제안된 것이 없기 때문에, 제하컴플라이언스법의 간편하고 실용적인 잇점에도 불구하고 실험적인 문제점으로 대두된 부균열의 처리방법에 대하여 연구의 필요성이 요구된다.

본 연구에서는 Al-Mg계 알루미늄 합금 A5083으로 평활 1/2CT 시험편을 가공하여, 복수시험편법과 제하컴플라이언스법에 따라 R곡선을 평가하고 균열길이 감소현상에 의한 부균열의 윤셋처리방법을 제안하였으며 제안된 윤셋방법의 유용성을 고찰하였다.

2. 시험편과 실험방법

소재로 사용된 A5083-H112의 화학적 성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition of A5083-H112

comp mat.	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Bi	Pb
A5083 H112	0.13	0.23	0.03	0.56	4.54	0.03	0.014	0.31	0.01	0.02

Fig. 1은 시험편의 형상과 치수를 표시하였으며, 시험편의 기계노치는 폭 3mm의 슬롯(slot)로 가공하고 기계가공에 의한 전체 노치 길이 a_n 은 $a_n=0.5W$ 로 하였다.

시험편에 피로에균열삽입시 최대응력확대계수는 $10.75\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 였고, 최종응력확대계수는 $9.28\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 였다.

탄소성 파괴인성 시험에는 컴퓨터 제어 유압 서보식 재료시험기(computer controlled servo hydraulic material testing system MTS model 810)를 사용하였다.

제하컴플라이언스법에 의한 균열길이의 추정

은 ASTM E1152-87⁷⁾에 따랐으며, 복수시험편 범은 ASTM E813-89¹⁾에 의하였고, J적분은 Merkle과 Corten의 간편식¹⁾을 이용하였다.

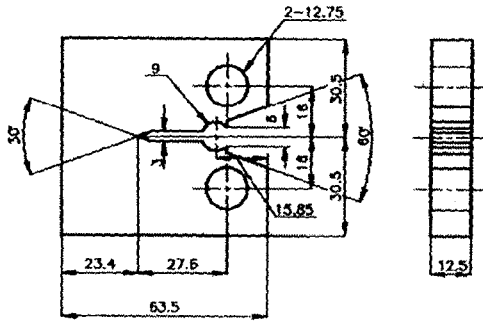


Fig. 1 CT specimen configuration

3. 균열길이 감소 현상을 가진 R곡선의 율셋 방법에 대한 제안

Voss 등³⁾은 R곡선의 최대 부균열점에 둔화직선을 그려서 Δa 축과 만나는 점을 R곡선의 원점으로 율셋하였다. 여기서 연성인열에 의한 균열발생점은 둔화직선과 R곡선의 교점이 된다고 할 수 있다.

안 등⁶⁾은 R곡선의 최대부균열점에 둔화직선을 그려서 둔화직선과 Δa 축과 만나는 점이 $J-\Delta a$ 관계에 대한 좌표축상의 원점으로 한 것은 Voss 등³⁾의 방법과 같으나, 둔화직선과 R곡선의 교점을 기준으로 둔화요소를 부가하여 R곡선을 수정하여야 한다고 하였다.

균열이 둔화에 의한 균열에서 연성인열에 의한 균열로 성장할 때에, 연성인열의 발생점(crack initiation)까지의 균열길이를 한계스트레치존 폭(SZWc)으로 하여 JSME에서 J_{IC} 를 결정하는 하나의 방법으로 채택하고 있으나 ASTM에서는 안정균열의 개시점(crack onset)을 J_{IC} 의 평가의 기본개념으로 하고 있다^{1,2)}.

ASTM 규정¹⁾에 따라 J_{IC} 를 평가할 때에 부균열을 가진 R곡선을 수정하여 율셋하려면 R곡선의 $J-\Delta a$ 좌표축상의 원점 뿐만 아니라 둔화직선과 R곡선의 교차점인 연성 인열에 의한 균열 발생점(crack initiation)의 결정이 J_{IC} 평가에 크게 영향을 미치게 된다. 따라서 ASTM¹⁾에서는

규정되어 있지 않은 JSME 규정²⁾의 SZWc를 이용할 필요가 있다.

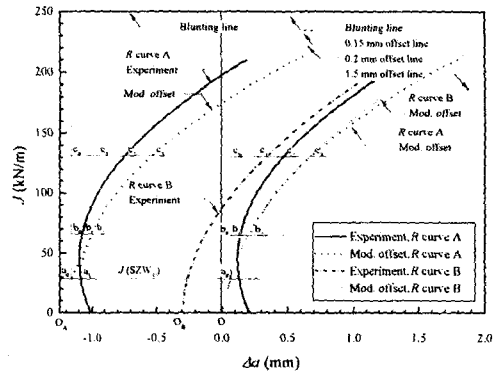


Fig. 2 Modified offset method of R-curve with negative crack growth

Fig. 2는 부균열을 갖는 R곡선에 대한 수정율셋 방법을 나타내었다. R곡선 A와 R곡선 B는 동일한 재료로서 시험편의 규격과 실험조건이 동일하나 실험결과 R곡선의 형태는 차이가 많은 대표적인 예이다. R곡선 A에서는 부균열현상이 크게 나타나 있으며 대부분의 실험점이 부균열로 이루어져 있고, R곡선과 둔화직선의 접점이 한계스트레치존 폭의 J값을 나타내는 $J(SZWc)$ 의 a_0 점과 일치하지 않는 경우이며, R곡선 B는 둔화직선과 R곡선의 접점이 $J(SZWc)$ 점과 일치하는 경우이다.

R곡선 A에서, a_1 , b_1 , c_2 를 통하는 실선으로 표시한 R곡선 A에 접하는 둔화직선을 그리면 둔화직선은 R곡선과 b_1 에서 접하며 Δa 와 만나는 점이 O_A 이다. 이때, $\overline{O_A a_0}$ 의 Δa 성분이 한계스트레치존 폭 SZWc이다. a_0 점을 결정하기 위하여 JSME S001²⁾을 참고하였고 A5083-H112의 SZWc를 0.05mm로 하였으며, 이때 $J(SZWc)$ 와 둔화직선의 교점이 a_0 이며 R곡선 A와 만나는 점이 a_1 이다.

실험에 의한 R곡선에서 $J(SZWc)$ 이하의 실험점은 둔화에 의한 균열이라 할 수 있으며, $O_A a_0$ 상에 율셋 할 수 있다. a_1 점을 a_0 에 율셋시키면 a_0 점에서부터 J의 증가에 따라 b_1 까지 연성인열에 의한 균열이 성장하고 이를 $(\Delta a)_{\text{tearing}}$ 이

라 하면 $(\Delta a)_{tearing} = b_0 b_1$ 으로 볼 수 있다.

한편, a_0 를 기준으로 한 Δa 의 둔화(blunting) 요소를 $(\Delta a)_{a_0 blunting}$ 이라 할 때 $\overline{b_0 b_1} = (\Delta a)_{a_0 blunting}$ 이다.

여기서, 모순이 되는 것은 a_0 점에서부터 실제로 $b_0 b_1$ 만큼 연성인열에 의한 균열 $(\Delta a)_{tearing}$ 이 진행되었는데도 b_1 점이 둔화직선상의 일점이므로 둔화에 의한 균열부분만 나타나 있고, $(\Delta a)_{tearing}$ 부분이 나타나 있지 않다. 이것은 Voss 등³⁾이 보고한 부균열현상의 효과(negative crack effect)로 볼 수 있으며, 부균열현상에 의한 균열감소길이를 $(\Delta a)_{negative effect}$ 라 하면

$$(\Delta a)_{negative effect} = (\Delta a)_{tearing} = b_0 b_1 \dots \dots \dots (1)$$

혹은

$$(\Delta a)_{negative effect} = (\Delta a)_{a_0 blunting} = \overline{b_0 b_1}$$

라고 가정할 수 있다. 그러나 이 가정은 이론적 해석에 근거한 것이 아니기 때문에 문제점이 되며 많은 실험을 통하여 그 신뢰성을 검증해야 할 것으로 생각된다. J_{IC} 를 평가하는데 있어서 가장 신뢰성 있는 방법의 하나로 알려진 복수시험편법에 의한 J_{IC} 평가값을 기준으로, 이러한 가정에 의한 윤셋방법으로 평가된 J_{IC} 를 비교함으로써 유용성과 신뢰성 평가가 가능한 것으로 생각된다.

실제균열길이를 $(\Delta a)_{actual}$ 이라 하면

$$\begin{aligned} (\Delta a)_{actual} &= (\Delta a)_{blunting} + (\Delta a)_{tearing} \\ &= SZW_c + (\Delta a)_{a_0 blunting} + (\Delta a)_{tearing} \\ &\dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

이다.

식(2)에 따라서 b_1 점에서의 실제균열길이는

$$\begin{aligned} (\Delta a)_{actual} &= SZW_c + \overline{b_0 b_1} + \overline{b_0 b_1} \\ &= (\Delta a)_{blunting} + \overline{b_0 b_1} \end{aligned}$$

여기서, $\overline{b_0 b_1}$ 은 a_0 를 기준으로 한 blunting 요소 $(\Delta a)_{a_0 blunting}$ 이므로 $\overline{b_0 b_1} = \overline{b_1 b_2}$ 되는 b_2 점을 구하면 b_2 점이 실제균열길이의 윤셋점이 된다.

c_2 점에 대한 실제 균열점도 같은 방법으로 $(\Delta a)_{a_0 blunting} = \overline{c_0 c_1}$ 을 더하여, R곡선 A의 c_2 점을 c_3 점으로 수정 윤셋하며 다른 실험점에 대

하여도 순차적으로 a_0 를 기준으로 한 blunting 요소 $(\Delta a)_{a_0 blunting}$ 을 더하여 실제균열점을 윤셋 할 수 있다. 따라서 R곡선 A에 대한 수정 윤셋곡선은 O_A 를 원점으로 한 $a_0, b_2, c_3 \dots$ 을 연결하는 곡선이 된다.

R곡선 B에 있어서는 둔화직선과 R곡선의 교점에서의 J가 $J(SZW_c)$ 에 일치하는 경우로서 수정 윤셋된 R곡선의 원점이 O_B 로 된다. 이때는 둔화에 의한 균열에 이어 연성인열에 의한 균열이 R곡선상에 표시된 것으로 볼 수 있으며 R곡선을 수정할 필요가 없다. 따라서 R곡선 B의 수정 윤셋방법은 최대점을 통하는 둔화직선으로 수정윤셋된 R곡선의 원점을 결정하는 Voss 등³⁾의 윤셋방법과 비교하여 수정윤셋된 R곡선 원점의 근소한 차이 외에는 동일하다고 할 수 있다.

수정윤셋된 R곡선 A와 B의 각각의 원점 O_A, O_B 를 그림에서의 O점에 일치시켜 수정 윤셋된 R곡선을 그리면 균열길이가 커짐에 따라 두 A, B의 수정윤셋된 R곡선은 그 차이가 나타나지만 J_{IC} 평가에서는 무시할 수 있을 만큼 근소하며 잘 일치한다고 볼 수 있다. 따라서 부균열의 크기와 R곡선의 형태가 크게 다른 두 시험편의 경우에 수정윤셋방법으로 수정한 R곡선이 결과적으로 일치한다는 것은 이론적 해석의 근거가 불확실한 문제점은 있지만 J_{IC} 를 간편하게 평가할 수 있는 유용한 윤셋방법이라고 생각된다.

4. 실험결과 및 고찰

제안된 수정 윤셋방법의 유용성과 신뢰성을 고찰하기 위하여 A5083-H112 재료를 이용하여 복수시험편법과 제하크플라이언스방법에 따라 실험하였으며 가장 신뢰성이 큰 복수시험편법에 의한 J_{IC} 평가 결과를 기준으로 수정 윤셋방법에 따른 결과를 비교하였다.

Fig. 3은 복수시험편법에 의한 J- Δa 관계를 나타내었다. 둔화직선식은 $J = 483.52 \Delta a$ kN/m이며, 실험점의 유효구간은 $\Delta a_{p, min.} = 0.335$ mm, $\Delta a_{p, max.} = 1.956$ mm 및 $J_{max} = b_0 \sigma_y / 20 = 208.90$ kN/m였다. 유효실험점은 6개로서 둔화직선의 0.15 mm 윤셋선과 0.5mm 윤셋선 내에 두 개의 유효

실험점, 1mm 윽셋선과 1.5mm 윽셋선 내에 2개의 실험점이 있으므로 복수시험편법의 부대 조건을 만족시켰으며 이들 실험점을 이용하여 지수법칙(power law fit)으로 R곡선을 구하였다. R곡선의 지수식은 $J=157.42 \Delta a^{0.52}$ kN/m였으며, J_{IC} 값은 98.95 kN/m로 평가되었다.

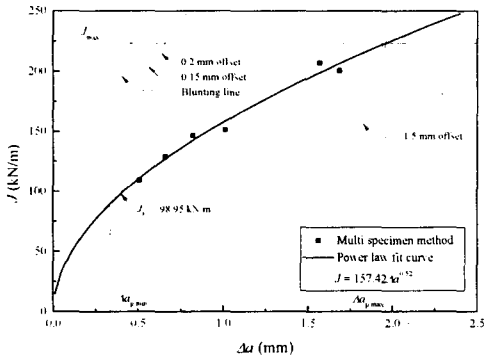


Fig. 3 J_{IC} evaluation and R-curve by multi specimen method of ASTM E813-89

Fig. 4는 단일 시험편법인 제하 컴플라이언스 방법으로 구한 시험편 A의 $J-\Delta a$ 관계를 나타내었다.

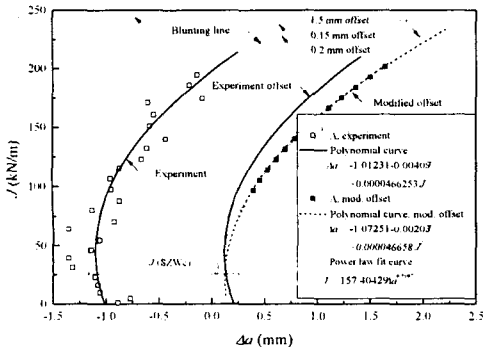


Fig. 4 J_{IC} evaluation and R-curve by modified offset method in specimen A

실험점의 전체가 부균열로 되어 있기 때문에 ASTM 규정¹⁾에 의한 J_{IC} 평가는 전연 불가능하고, 실험점의 분산이 심하여 완전히 실패한 대표적인 실험의 예이다. 이러한 극단적인 실험에

를 수정된 윽셋방법을 이용하여 R곡선을 윽셋하였고 복수시험편법과 비교하여 유용성을 고찰하였다.

여기서 수정된 윽셋방법에 따라 $J-\Delta a$ 관계의 실험점으로 다항식의 회귀곡선을 구하면, Δa 를 J 의 함수로 표시하여 $\Delta a=a+bJ+cJ^2$ 라 할 때 R곡선은 $\Delta a=-1.01231-0.00409J+0.000047J^2$ 였다. 회귀곡선의 형태가 Fig. 2의 R곡선 A와 같으며 둔화직선과 회귀곡선의 접점이 $J(SZW_c)$ 보다 상부에 있는 경우이다.

회귀곡선으로 구한 R곡선에 접하는 둔화 직선을 그려 Δa 축과 만나는 점을 R곡선의 원점으로 윽셋시키고 $J(SZW_c)$ 를 기준으로 둔화 요소를 가하여 R곡선을 수정윽셋하면, 시험편의 최종 파단균열길이는 1.498mm로서 윽셋시킨 R곡선상에 거의 일치하였다.

유효 실험점으로 지수곡선을 구하면 $J=157.40 \Delta a^{0.51}$ kN/m로 되었으며 J_{IC} 는 $J_{IC}=99.50$ kN/m로 평가되었다.

Fig. 3의 복수 시험편법으로 평가한 J_{IC} 값과 비교하면 0.56%정도 크게 평가되었으나, 이는 잘 일치하는 것으로 볼 수 있으며 제안된 수정 윽셋방법이 신뢰성과 유용성이 있음을 보였다.

Voss 등³⁾의 윽셋방법에 의하면, 시험편 A의 회귀곡선의 최대부균열점은 -1.1mm이며 이 점을 통하는 둔화직선을 그리면 Δa 축의 -1.2mm 점이 시험편 A의 원점이 된다. 이 원점을 $J-\Delta a$ 좌표축의 원점에 윽셋하고 둔화직선의 0.2mm 윽셋선과 R곡선의 교점에서 J_{IC} 를 구하면 $J_{IC}=134.75$ kN/m로서 복수시험편법에 의한 J_{IC} 값을 기준으로 36.38%만큼 과대 평가되었으며 제안된 윽셋방법보다 오차가 크게 나타났다.

Voss 등³⁾의 윽셋방법에 따라 구한 최대균열 길이는 $\Delta a_{max}=1.168$ mm로서 최종파단 균열길이 1.498mm를 기준으로 22.03%만큼 오차를 나타내었으며 ASTM 규정¹⁾에 따라서 Voss 등³⁾에 의한 J_{IC} 값은 무효(invalid)로 처리된다.

Fig. 5는 부균열의 최대치가 비교적 적은 경우로서, $J-\Delta a$ 관계의 다항식의 회귀곡선이 Fig. 2의 R곡선 B와 같은 경우이며 둔화직선과 회귀곡선의 접점이 $J(SZW_c)$ 선에서 일치하고 있다.

유효실험점에 의한 지수 곡선식은 $J=161.99$

$\Delta a^{0.54}$ kN/m이며 J_{IC} 를 평가하면 $J_{IC}=99.50$ kN/m로서 시험편 A의 경우와 일치하고 있다. 복수시험편법에 의한 J_{IC} 값에 비하여 0.56%의 극히 미소한 차이로 과대 평가 되었다.

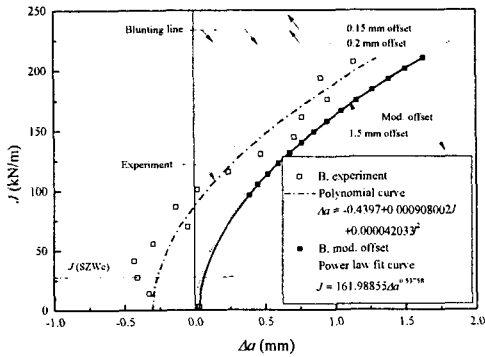


Fig. 5 J_{IC} evaluation and R-curve by modified offset method in specimen B

Voss 등³⁾의 윤셋방법에 의하면, 시험편 B의 R곡선의 회귀곡선에서 부균열의 최대점은 Δa 축과 만나는 점으로서, 둔화직선과 R곡선의 교점이 되며, 시험편 B의 Voss 등³⁾에 의한 R곡선의 원점이 된다. 수정 윤셋 방법에 의한 R곡선의 원점이 -0.36 mm이고 Voss 등³⁾의 윤셋에 의한 원점은 -0.3 mm로서 0.06 mm의 차이를 나타내었다. 둔화직선과 R곡선의 교점에서 J_{IC} 를 구하면 $J_{IC}=106.75$ kN/m로서 복수시험편법에 의

한 J_{IC} 값보다 7.88% 과대평가 되었으며 제안된 수정 윤셋방법에 의한 것보다 7.32%의 차이를 나타내었다. R곡선 형태가 Fig. 2의 R곡선 B의 형태와 같은 경우에는 시험편 A의 결과에 비해서 제안된 수정윤셋방법과 Voss 등³⁾의 방법에 의한 J_{IC} 차이가 작은 것을 알 수 있다. 최종과단 균열길이 1.570 mm 이고, Voss 등³⁾에 의한 예측 균열길이는 1.375 mm로서 최종과단 균열길이에 비하여 12.42%의 오차를 보였으며, ASTM 규정에 의한 15% 범위 내이므로 J_{IC} 값은 유효하였다.

Fig. 6은 제안된 수정윤셋방법과 복수 시험편법에 의해서 구한 R곡선을 비교하여 나타내었다.

Fig.6에서 보면 시험편 A, B 및 시험편 A-1을 추가한 3개의 시험편에 대하여 제안된 수정 윤셋방법으로 R곡선을 구하여 J_{IC} 를 평가하였을 때 평가값이 거의 일치하고 있으며, 균열의 성장에 따라 R곡선이 다소의 차이를 보이거나 이는 시험편의 물성치 차이에 의한 편차로 고려하여도 될 정도이다.

Table 2는 복수시험편법 결과를 기준으로 제안된 윤셋방법과 Voss 등³⁾에 의한 윤셋 방법으로 구한 균열길이와 J_{IC} 결과를 비교하여 나타내었다.

제안된 윤셋방법으로 J_{IC} 를 평가한 것은 3개의 시험편의 평균값이 복수시험편법 결과값을 기준으로 1.13%의 차이가 발생하지만, Voss 등³⁾

Table 2 Comparison of offset result by modified and Voss method

specimen	evaluation method	final fracture crack growth (mm)			J_{IC} (kN/m)		validity	
		predicted	measured	error(%)	J_{IC} (kN/m)	difference(%)		
multi-specimen (6EA)	ASTM				98.95		valid	
unloading compliance (3EA)	1 (A)	mod. offset	1.473	1.498	1.67	99.50	0.56	valid
		Voss offset	1.168	1.498	22.03	134.75	36.38	invalid
	2 (A-1)	mod. offset	1.600	1.651	3.09	94.50	4.50	valid
		Voss offset	1.245	1.651	24.59	125.13	26.25	invalid
	3 (B)	mod. offset	1.562	1.570	0.51	99.50	0.56	valid
		Voss offset	1.375	1.570	12.42	106.75	7.88	valid
mean	mod. offset	-	-	1.76	97.83	1.13	valid	
	Voss offset	-	-	19.68	122.21	23.60	invalid	

에 의한 J_{IC} 평가치는 평균값이 23.6% 과대 평가됨으로 신뢰성에 문제가 있음을 보였다.

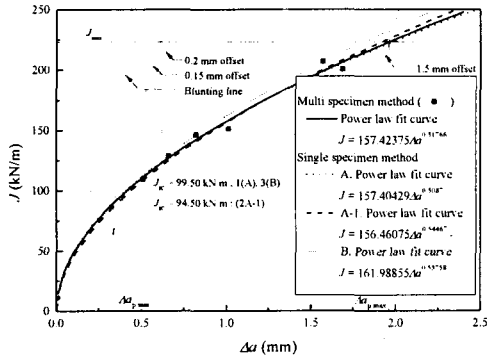


Fig. 6 Comparison of J_{IC} and R-curve by multi specimen and modified offset methods

균열성장의 실측치에 대하여 예측치를 비교하면 제안된 율셋방법에서는 최대 3.09%, 평균 1.76% 차이를 보였으며 충분한 신뢰성을 나타내었다. Voss 등³⁾에 의한 율셋방법에 따라 평가된 균열성장길이는 최대 22.03%, 평균 19.68% 과소 평가되었고 이는 부균열이 크게 나타나는 경우에는 신뢰성이 없는 것으로 생각된다. ASTM 규정에 따르면 단일시험편법에 의한 J_{IC} 는 2~3개 시험편의 평균값으로 평가할 것을 권장하고 있다. 제안된 수정율셋방법으로 평가한 평균 J_{IC} = 97.53 kN/m 이어서 복수시험편법으로 평가한 J_{IC} = 98.95 kN/m 와 비교하면, 제안된 율셋방법으로 평가한 J_{IC} 가 1.13% 과소평가되었으나 이 결과는 오차범위 ±5% 이내인 신뢰성 있는 방법이라 생각되며, 적은 수의 시험편으로 보다 간편하게 J_{IC} 를 평가할 수 있는 유용한 방법으로 제안하였다.

5. 결 론

Al-Mg계 A5083-H112 알루미늄 합금재료를 평활 1/2 CT 시험편으로 가공하고, ASTM E813-89의 복수시험편법 및 ASTM E1152-87의 제하컴플라이언스법에 따라 탄소성 파괴인성시험을 수행하여, 제하컴플라이언스법에서 J_{IC} 평가를 위

한 수정율셋방법을 제안하였다. 복수시험편법으로 평가한 J_{IC} 를 기준으로 수정율셋방법과 Voss 방법으로 평가하고 각각의 J_{IC} 를 비교 검토하여 수정율셋방법의 유용성을 고찰하였다.

- 1) 제안된 수정율셋처리방법에 따라 구한 안정균열의 개시점의 유용성을 확인하였다.
- 2) Voss 등의 율셋방법에 의한 J_{IC} 는 과대평가될 수 있으나 제안된 율셋방법에 의하면 복수시험편법 결과(J_{IC} = 98.95 kN/m)와 비교하여 ±5% 오차범위 이내의 신뢰성을 보였다.

본 연구는 동의대학교 산업기술개발연구소 1998년도 학술연구조성비의 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) ASTM, "Standard Test Method for J_{IC} , A Measure of Fracture Toughness", ASTM E813-89, 1989.
- 2) JSME, "Standard Method of Test for Elastic-Plastic Fracture Toughness J_{IC} ", JSME S001-1992, pp. 18~19, 1992.
- 3) B. Voss and R.A. Mayville, "The Use of the Partial Unloading Compliance Method for the Determination of J-R Curves and J_{IC} ", ASTM STP, 856, pp. 117~130, 1985.
- 4) 석창성, 최용식, "J-R 곡선에서의 균열길이 감소현상에 관한 연구(1)", 대한기계학회논문집, 제16권, 제6호, pp. 1115~1120, 1992.
- 5) Y.A. Rosenthal, R.L. Yobler, and P.T. Purtscher, "J_{IC} Data Analysis Methods with a Negative Crack Growth Correction Procedure", J TEVA, Vol. 18, No. 4, pp. 301~304, 1990.
- 6) 안광주, 최재강, "부균열을 가진 J-R곡선의 수정율셋방법에 의한 평가", 한국산업안전학회지, Vol. 12, No. 3, pp. 45~51, 1997.
- 7) ASTM, "Standard Test Method for Determining J-R Curves", ASTM E1152-87, 1992.