

인장하중 범위내 작은 변동하중의 균열성장 거동

Crack Propagation Behavior of Small Variable Load within Tensile Load Range

김엽래*(경민대학) · 김수영**(한국자동차기술연구소)

Abstract

Fatigue crack propagation behavior for variable load in high strength aluminum alloys was investigated in this study. The materials used in this study are aluminum 7075-T651 and 5052-H32 alloys.

Crack length was measured from calibration curve, which was plotted by known crack length and resistance of standard specimens. Load was obtained from linear regression formula. Unloading elastic compliance method was applied to check the crack closure and cracked area.

1. 서론

구조물이나 부재는 일정한 하중을 받지 않고 대부분 변동하중을 받고 있으며, 항복응력 이하의 응력에서도 하중이 되풀이 부하될 경우에는 그 균열이 서서히 진전하여 파단에 이르게 된다. 부재의 강도설계에서 실제 작용하는 하중에 대해 변동하중하의 피로균열 진전거동의 검토는 매우 중요한 문제라 판단된다.

설계 대상물이 실제 받고 있는 하중에 대한 피로균열 진전평가는 균열의 존재로 말미암아 재료의 항복강도 이하에서도 피로에 의하여 파괴되는 경우가 대단히 많으므로 피로균열 진전거동의 파악이 매우 중요한 과제로 인식되고 있다.

1971년 Elber¹⁾는 균열면 소성의 잔류변형에 의하여 인장하중 상태에서도 균열단합현상을 관찰하였고, 균열이 완전히 열려 있는 상태의 응력진폭을 근거로 유효응력확대계수폭(ΔK_{eff})에 의해 균열진전을 나타내는 $da/dN = C' \Delta K_{eff}^m$ 와 같

이 해석하였으며, 이것을 수정 Paris의 식이라 한다.

Budiansky,²⁾ Fuhring³⁾ 등은 ΔK_{eff} 가 피로균열 선단에서 균열열립점까지 균열진전 길이가 같음을 밝히고, ΔK_{eff} 에 의한 수정 Paris의 식은 많은 피로균열 진전문제에 적용되고 있어 폭 넓은 범위를 가지고 있는 균열진전식으로 쓰여지고 있다.

여러 가지 하중진폭에서 다양한 크기의 하중에 대한 수명예측은 균열단합현상을 이용하여 많은 검토가 되고 있다.

하중이 가해지는 동안 균열단합거동은 피로균열 증가의 초기 조건에 영향을 미치며, 여러 가지 하중의 초기 조건에서 선형적분에 의한 $da/dN - \Delta K_{eff}$ 관계는 응력비에 관계없이 선형적으로 평가된다.⁴⁾ Fig. 1과 같이 동일한 응력확대계수폭하에서 크기가 작은 미소균열(short crack)이 긴 균열(long crack)보다 균열은 빠르게 진전되며, 미소균열은 긴 균열의 하한계응력확대계수폭(ΔK_{th}) 이하에서도 진전하는 특성을 가지고 있다. 소규모 항복조건을 만족하는 긴 균열의 진전거동으로 미소균열 진전거동에 대한 피로수명을 예측할 경우 위험한 결과를 초래하게 된다. 미소균열에 대한 진전거동의 특이성을 검증하는 문헌⁵⁻⁶⁾들이 소개되고 있지만 전반적으로 피로균열 진전문제에 더욱 많은 연구가 필요하다.

선형과괴역학에서 균열진전은 ΔK_{eff} 에 의해 이루어지며, 이는 K_{max} 와 K_{op} 의 차에 의해 $\Delta K_{eff} = K_{max} - K_{op}$ 로 표현된다. 하중-변위이력곡선(load-displacement hysteresis loop)으로 부터 측정된 ΔK_{eff} 와 유효응력확대계수폭비(U)는 Δ

$K_{eff} = U \cdot \Delta K$ 로서

$$U = \frac{\Delta K_{eff}}{\Delta K} = \frac{K_{max} - K_{op}}{K_{max} - K_{min}} \quad \text{여기}$$

서,

$$K_{op} = K_{min} \quad R \geq 0$$

$$K_{op} = 0 \quad R < 0$$

으로 하면,

$$U = \frac{K_{max} - K_{op}}{K_{max} - K_{min}} = 1 \quad R \geq 0$$

$$U = \frac{K_{max}}{K_{max} - K_{min}} = \frac{1}{1-R} \quad R < 0$$

가 된다.

균열단합현상에 대한 균열진전속도는 Paris의 식⁷⁾에서 ΔK_{eff} , U 와 ΔK 의 관계는 다음과 같이 나타내어진다.

$$da/dN = C(\Delta K_{eff})^m = C(U \cdot \Delta K)^m$$

피로수명을 예측하는데 있어서 균열진전속도가 응력비, 미시조직의 영향을 많이 받는 경우에 대하여 균열단합을 고려한 ΔK_{eff} 으로 표현하면 보다 정확한 피로수명을 예측할 수 있다.

이와 같이 피로균열 진전거동에 대해 연구된 문헌들을 검토하고, 외팔보의 끝에서 블록형태의 변동하중이 발생되었을 때 검토될 수 있는 균열진전을 파괴역학적 평가에 의하여 규명한다.

본 연구에서는 고강도 알루미늄 합금 재료로서 외팔보 형식의 시험편을 사용하여 시험편 끝에서 일정한 하중진폭으로 균열을 발생시킨 후 다단계로 하중진폭을 변화하였다. 변동하중의 하중패턴은 블럭하중을 선택하였으며, 하중조건은 인장하중 상태에서 응력진폭을 변화시켜 균열진전거동, 균열단합이 균열성장 에 미치는 영향, 균열길이에 의한 균열진전수명을 고찰하고자 한다.

2. 시험장치

2.1 시험편

본 실험에 사용한 재료는 항공기 및 압력용기 등에 많이 쓰이는 고강도 7075-T651, 5052-H32 알루미늄 합금이다. 두재료의 화학적 성분은 X선 스펙트럼 분석법에 의하여 검출한 것으로서 Table 1에 표시하였으며, Table 2는 기계적 성질

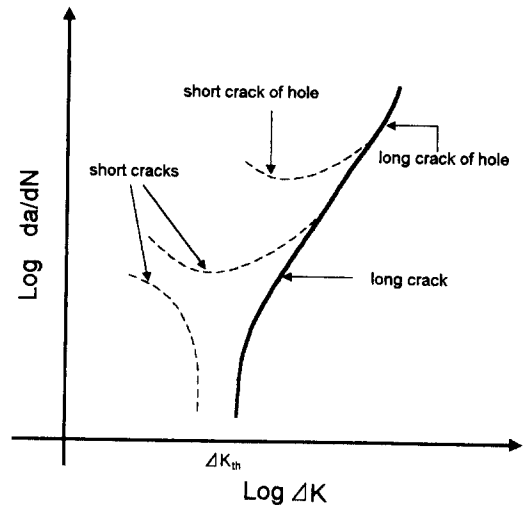


Fig. 1 Peculiarity of short crack growth.

로서 σ_y , σ_u , δ , K_{IC} 는 각각 항복강도(MPa), 인장강도(MPa), 연신율(%), 파괴인성치(MPa \sqrt{m})를 나타낸 것이다.

시험편의 형상은 Fig. 2와 같이 관통균열 부위에 폭 10mm, 두께 4mm, 웨브론노치(chvron notch)의 각도는 120°로 평면굽힘 외팔보 형식의 시험편이다.

시험편의 모서리 부위는 곡선반경을 가능한 크게 하여 곡선 부위에서 응력집중 현상이 발생하는 것을 방지하였다. 시험편 외부가공은 와이어 커팅으로 제작하였으며, 웨브론노치와 측면홈은 방전가공으로 제작하여 전체적인 시험편 오차를 극소화하였다.

초기노치인 웨브론노치부는 균열성장의 최초 지점이 표면에서 0.6mm, 웨브론노치가 끝나는 지점은 표면에서 1.5mm로 하였으며, 이 지점을 시작으로 데이터를 산출하였다.

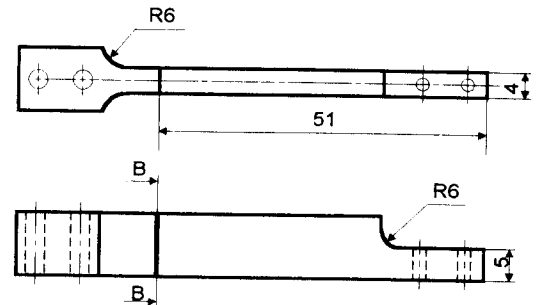


Fig. 2 Configuration of test specimen.

2.2 하중모델

본 연구에서 사용된 하중모델은 초기 응력비가 일정하다는 가정하에 균열이 진전된 후, 단계적으로 하중과 응력비를 변화시킨 변동하중으로서 Table 3에 나타내었다.

Fig. 3은 본 연구에 사용한 하중모델로서 응력비의 변화에 따라 응력진폭이 변화되는 단단계 하중패턴을 하중모델로 설정하였다.

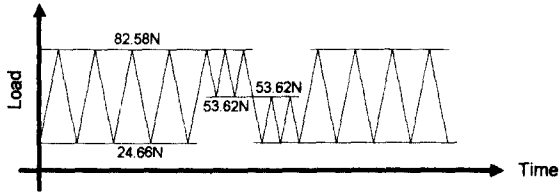


Fig. 3 Load pattern within tensile load range.

2.3 시험장치

실험이 연구의 주요 부분을 차지하는 피로연구에 있어서 연구목적에 알맞은 피로시험기를 사용하는 것이 중요하다. 근래 많이 주목을 받고 있는 미소피로균열 연구에 적합한 소용량의 피로시험기를 Song⁸⁾ 등이 개발한 것으로 상온, 대기중에서 최대용량이 약 200N인 소형동전형 굽힘피로시험기를 사용하였다. 시험기의 구동방식은 피로시험기로서 특성이 좋으며, 소용량화가 용이한 동전형(electro-dynamic type) 방식을 택하였다. 동전형 피로시험기는 일정자장내에 놓여진 구동코일(moving coil)에 전류를 보내어 가진력을 얻는 시험기로서 시험기의 용량은 자장과 허용전류가 높은 구동코일을 얻는 것이 중요하다.

Fig. 4에 나타낸 시험장치의 측정시스템은 시험부와 데이터 수집부로 나뉘어 진다. 시험부는 함수발생기에서 발생한 파형을 제어기(controller)의 스패(span)과 세트포인트(set point)로 시험조건에 맞는 하중과 응력비가 되도록 설정한다. 설정된 하중진폭과 기준하중은 파워앰프로 하중진폭과 크기를 증폭하여 전동용 구동코일에 전달시킨다. 데이터 수집부는 시험편에 가해진 하중이 로드셀로 부터 하중신호를 검출하고, 시험편에 부착된 배면스트레인게이지(back face strain gage)로부터 변위신호를 검출한다. 이렇게 얻어

진 하중과 변위신호를 모니터로 보내 스크린으로 관찰할 수 있도록 하고, 일부 신호는 A/D 변환기에 보내 디지털화하여 컴퓨터에서 저장한다.

전동용 구동코일의 직경, 앰프 등을 고려하여 최대 가진력을 100N으로 설정하고 피로시험시의 하중 반복속도는 비교적 넓은 범위에서 선택이 가능하나 임피던스 및 파워앰프의 특성을 고려하여 20Hz의 정현파형으로 부하하고, 데이터의 수집속도는 200점/cycle로 하였다. 하중제어방식에 의하여 고·저응력비, 하중진폭을 변화시켜 최대·최소하중, 응력확대계수, 균열진전, 균열단합, 균열길이 등을 관찰하였다.

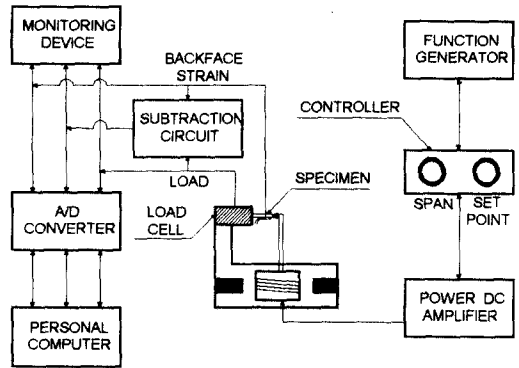


Fig. 4 Measurement system of fatigue test.

3. 실험방법

3.1 하중 교정곡선

피로시험을 수행하기 전에 시험편에 가해지는 하중은 로드셀에 부착된 4개의 스트레인게이지로 풀 브리지(full bridge)를 구성하고, Pre-DC 앰프 모듈(U-20)과 OP-앰프를 사용하여 하중측정 신호를 얻었다. 얻어진 전압으로 하중 측정값을 구한 다음, 선형회귀식의 교정곡선을 도입하여 시험편에 가해지는 하중을 측정하였다. 실험시 하중은 실험전에 시험기의 로드셀에서 측정된 전압을 교정곡선에 적용하여 하중을 측정하였다.

하중과 전압 사이의 교정곡선은 Fig. 5와 같이 구하였으며, 교정식은 $P(N)=17.4804V+2.7392$ 를 사용하여 하중을 구하였다.

3.2 균열길이 교정곡선

균열길이에 대한 교정곡선은 쉘브론형상의 초기노치를 기준으로 시험편에 인공결함을 주어 여기에 대응하는 정밀가변저항기(potentiometer) 값을 측정하고 반복적으로 균열길이를 증가시키면서 정밀가변저항기 값을 기록하여 실험시 균열길이를 산출할 때 사용하였다.

초기노치에 대응하는 정밀가변저항기 값의 초기 설정치를 P_o 로 하고, 피로균열이 진전되었을 때의 정밀가변저항기 값 P_i 를 기록하여 균열길이를 산출할 때 이용하였으며, 시험편 두께를 B_o , 폭을 W , 초기노치의 균열길이를 a_o , 균열진전에 따른 균열길이를 a_i 로 하였다.

노치부의 초기 단면적을 A_o 로 설정하여 균열길이의 진전에 따라서 응력을 받는 면적은 작아지게 되므로 이때 균열진전 단면적을 ΔA_i 라 할 때, Fig. 6과 같이 횡축에는 $(P_o - P_i)/P_i$ 를 취하고 종축에는 $\Delta A_i/(A_o - \Delta A_i)$ 를 취하여 균열면적 변화에 대한 교정식을 다음과 같이 이용하였다. 여기서 r 는 상관계수이다.

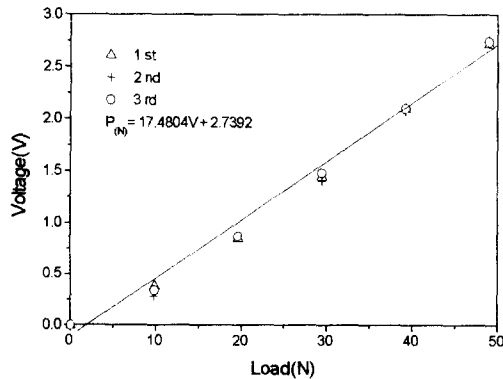
Crack calibration curve of load pattern

* I 구역 ($r=0.9995$)

$$\frac{\Delta A_i}{A_o - \Delta A_i} = 0.4464 \times \left(\frac{P_o - P_i}{P_i} \right)^{0.9272}$$

* II 구역 ($r=0.9979$)

$$\frac{\Delta A_i}{A_o - \Delta A_i} = 0.4129 \times \left(\frac{P_o - P_i}{P_i} \right)^{0.8069}$$



Boundary point : $(P_o - P_i)/P_i = 0.6866$

Fig. 5 Load cell calibration curve of voltage(V) vs. load(N) for load pattern.

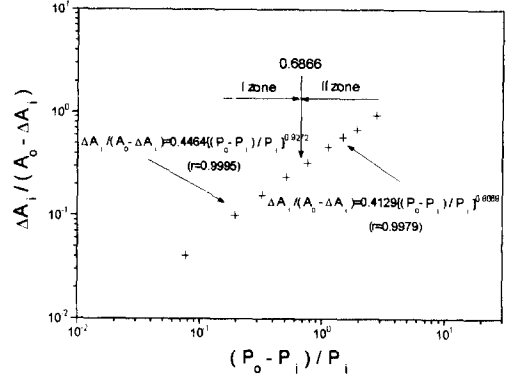


Fig. 6 Calibration curve of $\Delta A_i/(A_o - \Delta A_i)$ vs. $(P_o - P_i)/P_i$ for load pattern.

3.3 외팔보에서 다단계 변동하중

균열이 진전됨에 따라 응력확대계수는 하중, 균열크기, 균열형상, 하중반복수 및 기하학적 조건에 따라 다르나, 앞절에서 설명한 바와 같이 외팔보 형식의 시험편 끝에서 하중을 가했을 때 CB시험편⁹⁾을 표준식으로 다음과 같이 응력확대계수를 산출하였다.

$$K = \frac{6M}{B_o W^2} F\left(\frac{a_i}{W}\right) \sqrt{\pi a_i}$$

$$F\left(\frac{a_i}{W}\right) = \left\{ 1.99 - 2.47\left(\frac{a_i}{W}\right) + 12.97\left(\frac{a_i}{W}\right)^2 - 23.17\left(\frac{a_i}{W}\right)^3 + 24.80\left(\frac{a_i}{W}\right)^4 \right\}$$

여기서 M 은 시험편의 자유단에서 부하되는 하중과 초기균열까지 거리에 대한 굽힘모멘트를 나타내고, B_o 는 시험편 두께, W 는 시험편 폭, a_i 는 균열길이이다.

순수굽힘 시험편에서 형상계수 $F(a_i/W)$ 에 대하여 Pang¹⁰⁾은 응력확대계수의 평가에 굽힘 시험편을 사용할 경우, 균열길이와 시험편 폭의 비 (a_i/W) 가 0.7이상 이 되지 않도록 주의를 요한다.

하중이 변하는 경우의 균열성장 에 관해서는 매우 복잡적이고, 제한된 경우에만 타당성을 가지고 있다.¹¹⁾ 특히 응력진폭이 작고, 낮은 하중일수록 균열증분이 매우 적으므로 균열진전거동을 관찰하는데 유의하여야 한다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 응력확대계수의 파괴역학적 평가

파로균열 진전거동은 균열닫힘에 의하여 지배되므로 유효응력확대계수폭비($U = \Delta K_{eff} / \Delta K$)와 유효응력확대계수폭(ΔK_{eff})에 따르는 변화는 균열진전속도의 영역과 관련하여 Fig. 7과 같이 나타낼수 있다.

인장하중 범위내 변동하중에서 7075-T651은 균열닫힘없이 $\Delta K = \Delta K_{eff}$ 로서 U 는 최대값을 가지고, 5052-H32에서는 초기 응력비 $R=0.3$ 과 고블럭 응력비 $R=0.65$ 에서는 ΔK_{eff} 가 작아지더라도 U 는 최대값을 나타내고 있지만, 저블럭 응력비인 $R=0.46$ 은 $\Delta K_{eff} = 2.3 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 범위에서 $U=0.86$ 정도로 닫힘현상이 나타나고 있는데 인장하중하에서 균열닫힘현상의 발생은 큰 하중진폭에서 하중진폭이 적어짐에 따라 소성영역내에서 다시 균열이 시작되므로 닫힘현상이 발생된다.

U 는 일반적으로 응력비가 커지면 높아지나 Ohgaki¹²⁾ 등의 연구에서는 K , K_{max} 의 크기에 따라서 달라질수 있다고 하였다. 따라서 고응력비와 균열진전이 빠른 영역을 제외하고 U 는 응력비에 의존한다.

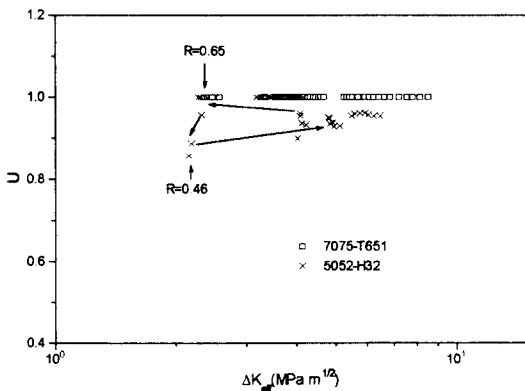


Fig. 7 Relation between effective stress intensity factor range ratio(U) and effective stress intensity factor range(ΔK_{eff})

일반적으로 일정한 응력비에서는 K_{max} 이 클수록 U 는 커지게 되는 현상¹⁹⁾을 보이는데 이는 K_{max} 이 클수록 균열선단에서 소성변형이 커지고, 균열면 주위에 남은 잔류소성변위도 클 것으로

본다. 하지만 고·저블럭에서 U 의 값은 응력진폭에 따라 변화되는 양상을 보이고 있다. 큰 잔류소성변위는 U 를 낮아지게 할수도 있다. 그러나 균열선단의 둔화 등으로 균열개구변위(crack opening displacement)가 커져서 하중이 작을 때는 균열이 닫히지 않는 상태가 예상되기도 한다.

Fig. 8은 인장하중 범위내 고·저블럭 변동하중으로 7075-T651은 변동하중에 관계없이 U 의 변화는 없었지만, 5052-H32는 응력비에 따라 K_{max} 이 증가하면서 U 의 변화를 가져오고 있다. $R=0.65 \rightarrow R=0.46$ 으로 응력비가 변화될 때 $K_{max,R=0.65} = 7.08 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \rightarrow K_{max,R=0.46} = 4.7 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 으로 작아지면서 균열닫힘이 발생되어 $U=0.9$ 의 범위로서 균열이 진전될수록 닫힘현상이 감소되고 있다.

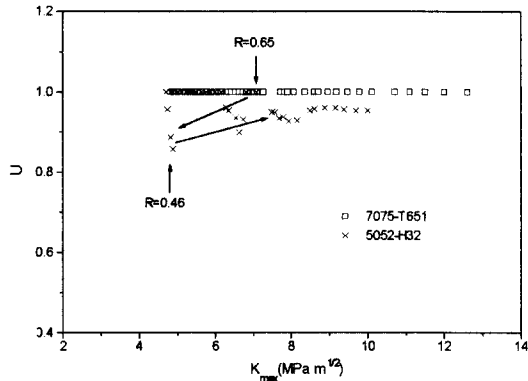


Fig. 8 Relation between effective stress intensity factor range ratio(U) vs. maximum stress intensity factor(K_{max})

하중이 인장인 경우에는 대체로 K_{op} 는 K_{max} 이 증가함에 따라 증가하고, 압축인 경우에는 K_{max} 이 증가함에 따라 K_{op} 는 둔화된다. K_{max} 과 K_{op} 의 관계는 인장하중에서 응력비가 클수록 K_{op} 는 증가하며, $K_{op} = K_{min}$ 으로 되어 균열닫힘이 발생되지 않고 응력비가 작을수록 K_{op} 는 감소하여 $K_{op} > K_{min}$ 의 값을 가진다.

인장하중 범위내 고·저블럭 변동하중은 Fig. 9와 같이 $R=0.3 \rightarrow R=0.65 \rightarrow R=0.46 \rightarrow R=0.3$ 으로 변화되면서 균열열림점을 나타내고 있다. 전체적으로 K_{max} 의 증가에 따라 $K_{op} = K_{min}$ 으로 형성되지만, 5052-H32의 $R=0.46$ 에서는 K_{op} 점은 K_{min} 보다

0.25 MPa√m 정도 크게 나타나며, R=0.46→R=0.3으로 변화되면서 균열이 진전될수록 K_{op} 는 0.2~0.3 MPa√m로 편차가 점점 작아지고 있다.

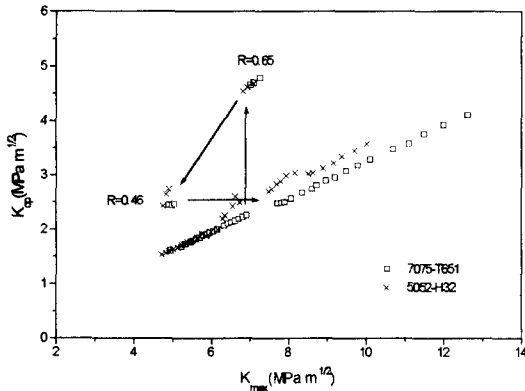


Fig. 9 Relation between stress intensity factor of crack opening point(K_{op}) and maximum stress intensity factor(K_{max})

4.2 균열진전 평가

Fig. 10은 인장하중 범위내 변동하중으로 초기 응력비 R=0.3과 변동하중의 응력비 R=0.65에서는 균열길이 a_i 가 클수록 $K_{op}=K_{min}$ 으로 일정하게 증가하고 있으며, R=0.46과 변동하중 후의 응력비 R=0.3은 5052-H32 재료에서 K_{op} 는 균열단힘으로 인한 균열열림점이 높아져 7075-T651 재료보다 0.3 MPa√m 정도 높은 값을 가진다.

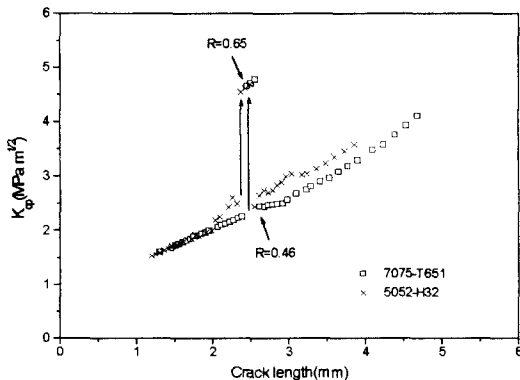


Fig. 10 Relation between stress intensity factor of crack opening point(K_{op}) vs. crack length(a_i)

5. 결론

쉐브론노치 관통균열 형태를 갖는 외팔보 형식의 고강도 알루미늄 합금 시험체를 준비하여 인장하중 범위내 진폭변화 변동하중에 대해 균열진전거동 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 균열진전을 ΔK_{eff} 로 평가한 결과, 실험중 응력비와 무관하게 하중진폭 변화 변동하중에 대하여 수정 Paris의 식을 얻을 수 있어 설계문제에 응용된다.

2) K_{op} 는 응력비가 크면 닫힘현상이 작아져 큰 값으로 나타난다. 7075-T651에서는 고응력비일수록 닫힘현상이 발생되지 않고 K_{op} 는 K_{min} 값으로 접근하였지만, 5052-H32에서 K_{op} 값이 분산되고 그 편차가 심하게 나타나는데 이것으로 소성영역내에서 닫힘현상이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3) 5052-H32는 7075-T651보다 약 3배 정도의 균열지연 효과가 있었고, 응력비별로 보면 저응력비보다 고응력비에서 균열지연 효과는 더 크게 나타났다.

참고문헌

- 1) Elber, W., 1971, "The Significance of Fatigue Crack Closure", Damage Tolerance in Aircraft Structures, ASTM STP 486, pp.230-242.
- 2) Budiansky, B., and Hutchinson, J. W., 1978, Analysis of Crack Closure in Fatigue Crack Growth", ASME, Vol. 45, pp.267~276.
- 3) Fuhling, H., and Seeger, T., 1979, "Durable Crack Closure Analysis of Fatigue Cracks under Constant Amplitude Loading", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 11, pp.99~122.
- 4) Kikukawa, M., Jono, M. and Kondo, Y., 1981, "An Estimation Method of Fatigue Crack Propagation Rate under Varying Loading Conditions of Low Stress Intensity Level", Proc. ICF-5, pp.1799~1805.
- 5) Pearson, S., 1975, "Initiation of Fatigue

Crack in Commercial Aluminum Alloys and the Subsequent Propagation of Very Short Cracks”, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 7, pp.235~247.

6) Miller, K. J., 1987, “The Behaviour of Short Fatigue Crack and Their Initiation, Part I-A Review of Two Recent Books”, Fatigue Fracture Engineering Mater Structure, Vol. 10, No. 1, pp.75~91.

7) A. J. McEvily, 1988, “On Crack Closure in Fatigue Crack Growth”, ASTM STP 982, pp.35~43.

8) 宋智浩, 辛龍承, 林允洙, 1989, “小型動電形 급힘 疲勞試驗機의 製作”, 大韓機械學會論文集, 第13卷, 第1號, pp.199~203.

9) 國尾 武, 中澤 一, 林 郁彦, 岡村弘之, 1984, “破壞力學試驗法”, pp.128~190.

10) 방종명, 1993, “미소피로균열의 진전 및 닫힘거동”, 박사학위논문, 한국과학기술원.

11) Katoh, Y., Ko, H. N., Tanaka, T., and Nakayama, H., 1996, “Transient Crack Growth Behavior under Two-step Varying Loads”, Fatigue 96, Vol. I, pp.523~528.

12) Ohgaki, M., Mikimi, S., Jono, M., Song, J. H., 1984, “Fatigue Crack Growth and Crack Closure Behavior of Structural Materials”, J. of Society of Materials Science Japan, Vol. 33, No. 367, pp.468~474.

13) 김엽래, 유현일, 1998, “외팔보 형식의 하중진폭 변화에 대한 AI 합금의 관통균열 거동에 관한 연구”, 대한기계학회논문집, 제22권, 제4호, pp.834~842.

14) 김엽래, 유현일, 김세환, 1998, “하중진폭이 작은 인장과대 하중의 균열성장 거동”, 한국공작기계학회논문집, 제7권, 제2호, pp.54~61.

Table 1 Chemical compositions of 7075-T651 and 5052-H32 aluminum alloys.(%, wt.)

Materials	Zn	Cu	Mg	Cr	Mn	Fe	Si	Ti	other		Al
									each	total	
7075-T651	5.6	1.6	2.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.2	0.05	0.15	remainder
5052-H32	0.1	0.1	2.5	0.3	0.1	0.4	0.25	-	0.05	0.15	remainder

Table 2 Mechanical properties of 7075-T651 and 5052-H32 aluminum alloys.

Materials	Yield strength σ_y (MPa)	Tensile strength σ_u (MPa)	Elongation δ (%)	Fracture toughness K_{IC} (MPa \sqrt{m})
7075-T651	461	539	9	23
5052-H32	157	265	11	29

Table 3 Variable load within tensile load range for stress ratio.

R	P_{max} (N)	P_{min} (N)	ΔP (N)	V_{max}	V_{min}
R=0.3	82.58	24.66	57.92	4.0	1.2
R=0.65	82.58	53.62	28.96	4.0	2.6
R=0.46	53.62	24.66	28.96	2.6	1.2
R=0.3	82.58	24.66	57.92	4.0	1.2