

최대하중 조건에 따른 AZ31 마그네슘합금의 실험적 피로균열전파모델 평가

최선순^{1*}

¹삼육대학교 카메카트로닉스학과

Estimation of Empirical Fatigue Crack Propagation Model of AZ31 Magnesium Alloys under Different Maximum Loads

Seon Soon CHOI^{1*}

¹Department of Car Mechatronics Engineering, SAHMYOOK University

요약 본 논문의 목적은 AZ31 마그네슘합금의 균열성장거동의 경향을 묘사할 수 있는 실험적 피로균열전파모델을 평가하여 적합한 모델을 제시하는 것이다. 3가지 최대하중 조건을 변화시키면서 피로균열전파실험을 수행하여 평가에 필요한 통계적 균열성장 데이터를 획득하였다. 평가에 사용된 실험적 모델은 Paris-Erdogan 모델, Walker 모델, Forman 모델, 수정된 Forman 모델이며, 각 모델의 파라미터를 통계적으로 추정하기 위하여 최우추정법을 사용하였다. 마그네슘합금의 균열성장거동의 경향을 잘 묘사하는 모델은 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델이며, 모델의 파라미터 중 피로균열성장속도지수는 재료상수가 될 수 있음을 밝혀내었다.

Abstract It is the aim of this paper to propose the empirical fatigue crack propagation model fit to describe a crack growth behavior of AZ31 magnesium alloys. The statistical data of a crack growth for an estimation are obtained by fatigue crack propagation tests under the three cases of maximum load. The empirical models estimated are Paris-Erdogan model, Walker model, Forman model, and modified-Forman model.

It is found that the empirical model fit to describe a crack growth behavior of AZ31 magnesium alloys is Paris-Erdogan model and Walker model. It is also verified that a fatigue crack growth rate exponent of a empirical model is to be a material constant.

Key Words : Empirical fatigue crack propagation model, Magnesium alloy, Maximum load, Fatigue

1. 서론

금속 중에서 가장 가벼운 마그네슘에 대한 관심이 최근 환경오염 문제로 인하여 고조되고 있다. 마그네슘은 비중이 알루미늄의 2/3, 철의 1/4 정도 밖에 되지 않을 정도로 경량성이 강점인 초경량 소재이며, 비강도와 비강성도가 높아 차세대 금속으로서 기대가 되고 있다. 전기 및 열전도도가 뛰어나며 전자파에 대한 차폐성이 탁월하여 전자산업에도 많이 활용되고 있다. 또한 진동과 충격에 대한 댐핑성이 좋으며 기계가공성과 리사이클성도 우수

하여 매우 매력있는 재료이다[1-3].

특히, 자동차산업에서 경량화의 필요성이 매우 커짐에 따라 알루미늄합금을 대체하는 재료로 마그네슘합금이 고려되고 있다. 이는 높은 비강도 특성을 적절히 활용하면 자동차를 경량화시킬 수 있으면서 중량대비 출력 또한 높일 수 있으므로 연비 향상효과와 함께 환경 친화적인 효과를 동시에 거둘 수 있기 때문이다.

마그네슘합금이 구조물에 사용될 때 구조물의 특성 중 하나인 피로환경으로 인하여 마그네슘합금의 피로특성에 대한 설계자료가 필요한 실정이다. 그러나 마그네슘합금

본 논문은 삼육대학교 학술연구비 지원으로 수행되었으며, 한국생산제조시스템학회(구,한국공작기계학회) 추계학술대회 발표 논문집[4]에 기초하였음.

*교신저자 : 최선순(choiss@syu.ac.kr)

접수일 12년 01월 13일

수정일 12년 02월 08일

게재확정일 12년 02월 10일

의 피로균열전파거동에 대한 연구는 매우 부족하며 [5-10], 특히 피로균열전파거동을 예측하는데 필요한 모델에 대한 연구는 전무한 실정에 있다.

따라서 본 연구에서는 AZ31 마그네슘합금의 피로균열전파거동의 경향을 잘 묘사할 수 있는 모델을 최대하중 조건에 따라 평가하여 제안하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 실험재료 및 시편

실험시편의 재료는 AZ31 마그네슘합금이며, 이 재료의 화학적 조성과 기계적 성질은 각각 표 1과 표 2에 제시된 바와 같다.

[표 1] AZ31 마그네슘합금의 화학적 조성(wt, %)

[Table 1] Chemical composition of AZ31 magnesium alloy(wt, %)

Al	Zn	Si	Mn	Cu	Fe	Mg
3.29	0.95	0.04	0.31	0.003	0.01	Bal.

[표 2] AZ31 마그네슘합금의 기계적 성질

[Table 2] Mechanical properties of AZ31 magnesium alloy

항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)
198.3	264.4	21.95

시편은 폭(W)이 50.8mm인 CT(Compact Tension)형으로서 ASTM E647-00 규격[11]에 따라 압연방향과 부하방향은 평행하게, 피로균열진전방향은 수직하게, 즉 L-T 방향으로 와이어 방전 가공하여 준비하였다. 그리고 피로균열진전거동에 영향을 미치는 기계가공 잔류응력을 피하기 위하여 모재로부터 직접 채취하였다.

2.2 피로균열전파실험

실험에 사용된 시스템은 100kN용량의 유압 서보식 피로시험기를 일정한 진폭의 하중으로 제어되도록 마이크로컴퓨터로 구성하였으며, 상온의 대기 중에서 ASTM E647-00 규격에 따라 피로균열진전실험을 수행하였다.

최대하중조건에서 AZ31의 피로균열전파거동에 적합한 실험적 모델을 평가하기 위하여 3가지 조건을 변화시키면서 실험하였다. 3가지 최대하중조건은 2.00kN, 2.25kN, 2.50kN이며, 각 조건에 대하여 20개씩 CT시편을 준비하여 피로실험을 수행함으로써 피로균열성장예에 대한 통계 데이터를 확보하였다.

CT시편 노치부의 기계가공효과를 제거하고 예리한 균열선단을 만들기 위하여 예비균열길이를 3.0mm로 정하여 피로실험을 실시하였으며, 균열이 노치선단으로부터 3.0mm가 진전되었을 때부터 사이클수와 균열길이를 컴퓨터로 자동 계산하여 저장하였다. 균열길이는 클립게이지를 이용하여 하중작용선상의 균열열림길이를 측정하여 컴플라이언스기법으로 계산하였다.

3. 실험적 피로균열전파모델

AZ31 마그네슘합금의 피로균열전파거동을 묘사하는데 적합한 모델을 평가하기 위하여 Paris-Erdogan 모델, Walker 모델, Forman 모델, 수정된 Forman 모델 등 4가지 실험적 피로균열전파모델을 평가에 사용하였다.

3.1 Paris-Erdogan 모델

피로균열전파거동을 나타내는 대표적인 실험적 모델인 Paris-Erdogan 식은 다음과 같다.

$$\frac{da}{dN} = C_1(\Delta K)^{m_1} \quad (1)$$

여기서 a 는 균열크기이며 N 은 피로사이클수이다. 그리고 da/dN 과 ΔK 는 각각 피로균열성장속도와 응력확대계수범위이며, C_1, m_1 은 모델의 파라미터로서 각각 피로균열성장속도계수와 피로균열성장속도지수이다.

실험을 통하여 획득한 da/dN 과 ΔK 들이 실험시편 내에서의 균열성장 변동성을 보이므로 실험적 모델의 파라미터 C_1, m_1 을 통계적으로 추정하기 위하여 최우추정법(maximum likelihood method)을 사용하였다.

식(1)의 양변에 대수를 취한 후 잔차(residual) $\log \bar{R}$ 을 도입하여 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$\log \bar{R} = \log \left(\frac{da}{dN} \right) - \log C_1 - m_1 \log \Delta K \quad (2)$$

여기서 잔차 $\log \bar{R}$ 은 확률적 특성을 나타낸다. 확률변수 \bar{R} 의 평균이 1이고 양의 값을 갖는 로그정규분포를 따른다고 가정하면 $\log \bar{R}$ 는 정규분포를 따르는 확률변수가 된다. 왜냐하면 확률변수가 로그정규분포를 따를 때 확률변수의 로그값은 정규분포를 따르기 때문이다. 확률변수 \bar{R} 의 평균이 1이라고 가정하였으므로 $\log \bar{R}$ 의 평균이 0이 되며 정규분포를 따르는 확률변수로 사용할 수 있게 된다.

$$\log \bar{R} \sim N(0, \sigma_{\log \bar{R}})$$

여기서 $\sigma_{\log \bar{R}}$ 은 잔차 $\log \bar{R}$ 의 표준편차이다.

식(2)를 각각의 실험 데이터에 대하여 표시하면 다음과 같다.

$$\log \bar{r}_i = \log \left(\frac{da}{dN} \right)_i - \log C_1 - m_1 \log \Delta K_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

식(3)을 간단한 형태로 치환하여 표시하면

$$\log \bar{r}_i = y_i - A - m_1 x_i \quad (4)$$

이 된다.

$$\begin{aligned} \text{여기서 } y_i &= \log \left(\frac{da}{dN} \right)_i, \quad A = \log C_1, \\ x_i &= \log \Delta K_i \text{ 이다.} \end{aligned}$$

식(4)의 파라미터 A, m_1 은 잔차 $\log \bar{R}$ 이 정규분포를 따르는 조건을 최우추정법에 적용하여 구하면 된다.

$\log \bar{R}$ 이 정규분포를 따르는 확률변수이므로 확률밀도함수는 다음의 식으로 표현된다.

$$f_{\log \bar{R}}(\log \bar{r}_i) = \frac{1}{\sigma_{\log \bar{R}} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma_{\log \bar{R}}^2} \{ (y_i - A - m_1 x_i) - \mu_{\log \bar{R}} \}^2 \right] \quad (5)$$

여기서 $f_{\log \bar{R}}(\log \bar{r}_i)$ 와 $\mu_{\log \bar{R}}$ 은 각각 잔차 $\log \bar{R}$ 의 확률밀도함수와 평균이다.

잔차 $\log \bar{R}$ 의 평균이 0이므로 식(5)는 다음과 같이 된다.

$$f_{\log \bar{R}}(\log \bar{r}_i) = \frac{1}{\sigma_{\log \bar{R}} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma_{\log \bar{R}}^2} (y_i - A - m_1 x_i)^2 \right] \quad (6)$$

최우추정법을 적용하기 위하여 식(6)을 이용하여 우도함수(likelihood function)를 구하면

$$\begin{aligned} L &= \prod_{i=1}^n f(\log \bar{r}_i) \\ L &= \frac{1}{\sigma_{\log \bar{R}}^n (2\pi)^{n/2}} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma_{\log \bar{R}}^2} \sum_{i=1}^n (y_i - A - m_1 x_i)^2 \right] \end{aligned} \quad (7)$$

이 된다. 식(7)의 양변에 대수를 취하여 정리하면

$$\log L = -\frac{n}{2} \log(2\pi) - n \log \sigma_{\log \bar{R}} - \frac{1}{2\sigma_{\log \bar{R}}^2} \sum_{i=1}^n (y_i - A - m_1 x_i)^2 \quad (8)$$

이 되며, A, m_1 의 최우추정값을 구하기 위하여 다음의 조건을 식(8)에 적용하였다.

$$\frac{\partial(\log L)}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial(\log L)}{\partial m_1} = 0$$

위 조건을 식(8)에 적용하여

$$(n)A + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) m_1 = \sum_{i=1}^n y_i \quad (9)$$

$$\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) A + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) m_1 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (10)$$

를 얻었으며, 식(9)와 식(10)을 통하여 파라미터 A, m_1 을 추정할 수 있는 식을 다음과 같이 얻게 되었다.

$$m_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (11)$$

$$A = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i - m_1 \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (12)$$

3.2 Walker 모델

응력비(stress ratio) 효과를 고려할 수 있는 실험적 모델인 Walker 모델은 다음과 같다.

$$\frac{da}{dN} = \frac{C_2 (\Delta K)^{m_2}}{(1-R)^k} \quad (13)$$

여기서 C_2, m_2, k 는 Walker 모델의 파라미터로서 각각 피로균열성장속도계수, 피로균열성장속도지수, Walker 지수이며, R 은 응력비이다.

Walker 모델의 파라미터 C_2, m_2, k 를 통계적으로 구하기 위하여 3.1절과 같이 최우추정법을 사용하였다.

3.3 Forman 모델

불안정 균열성장의 임계영역을 잘 묘사하는 Forman 모델은 다음과 같다.

$$\frac{da}{dN} = \frac{C_3 (\Delta K)^{m_3}}{(1-R)K_c - \Delta K} \quad (14)$$

여기서 K_c 는 임계응력확대계수이며, C_3, m_3 은 Forman 모델의 피로균열성장속도계수와 피로균열성장속도지수이다.

Forman 모델의 파라미터 C_3, m_3 는 3.1절과 같이 최우추정법을 사용하여 통계적으로 구하였다.

3.4 수정된 Forman 모델

Forman 모델에 피로균열전파 초기상태를 묘사할 수 있도록 수정된 Forman 모델은 다음과 같다

$$\frac{da}{dN} = \frac{C_4(\Delta K - \Delta K_o)^{m_4}}{(1-R)K_c - \Delta K} \quad (15)$$

여기서 ΔK_o 는 초기응력확대계수범위이며, C_4, m_4 는 수정된 Forman 모델의 파라미터로서 각각 피로균열성장속도계수와 피로균열성장속도지수이다.

수정된 Forman 모델의 파라미터인 C_4, m_4 는 3.1절과 같이 통계적으로 최우추정법을 사용하여 구하였다.

4. 통계적 해석 및 실험결과 고찰

4.1 실험적 피로균열전파모델의 파라미터에 대한 통계적 해석

동일한 최대하중 조건에서 피로균열전파실험을 수행하여 얻은 균열성장곡선 $da/dN \sim \Delta K$ 그래프를 그림 1에 대표적으로 나타내었다. 그림 1은 6.60mm 두께의 시편 20개에 대하여 응력비 0.20, 최대하중 2.00kN 조건으로 피로실험한 결과이다.

마그네슘합금의 피로균열성장률은 동일한 시편 내에서 변동성을 나타내었으며 또한 서로 다른 시편 간에서도 변동성을 나타내는 거동을 보였다. 그러므로 실험적 피로균열전파모델의 파라미터를 결정할 때 제3절에서처럼 통계적 방법을 사용해야 할 필요가 있다.

실험시편 내에서의 변동성을 반영하기 위하여 실험을 통하여 획득한 균열성장 실험값인 $da/dN \sim \Delta K$ 를 제3절의 최우추정법에 적용하여 각 실험적 피로모델의 파라미터를 구하였다. 그리고 실험시편 간의 변동성을 반영하기 위하여 20개의 시편에 대한 피로모델 파라미터들의 중앙값(median)을 기술적 통계처리를 통하여 구하였다.

본 연구에서 마그네슘합금의 피로균열전파모델로서의 적합성을 평가하고자 하는 4가지 실험적 모델의 파라미터를 표 3에 제시하였다.

4.2 실험적 피로균열전파모델 평가

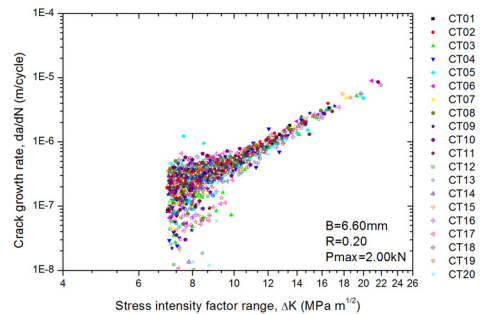
그림 2~그림 4는 일정진폭하중에서의 피로균열전파실험에서 피로하중의 최대값을 변화시켜 얻은 피로균열성장속도와 실험적 모델의 회귀선을 나타낸 것이다. 응력비를 일정하게 하고 최대하중을 2.00kN, 2.25kN, 2.50kN로 한 경우 초기응력확대계수범위가 각각 $7.037 MPa\sqrt{m}$,

$7.921 MPa\sqrt{m}$, $8.787 MPa\sqrt{m}$ 등으로 최대하중이 커질수록 초기응력확대계수범위가 커지는 양상을 나타내었다.

그리고 그림 5와 그림 6에서 볼 수 있듯이 동일한 응력확대계수범위에서 균열성장속도는 최대하중의 변화에도 거의 변함이 없는 양상을 나타냄으로써 최대하중이 마그네슘합금의 피로균열전파거동에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

그림 2는 최대하중이 2.00kN인 경우에 실험적 모델의 회귀선을 피로균열성장속도의 실험값에 나타낸 것이다. 균열전파 초기에 균열성장속도의 변동성이 매우 크게 나타났으며 균열이 전파됨에 따라 그 변동성이 차츰 작아지는 경향을 보였다.

그리고 균열전파 전 영역에 걸쳐 Log-Log 스케일에서 선형거동을 보였으며 파단영역에서도 비선형거동을 보이지 않고 선형성이 유지되었다.



[그림 1] 최대하중 2.00kN 조건하의 20개 시편에 대한 피로균열성장속도

[Fig. 1] Fatigue crack growth rate data for 20 duplicate specimens under maximum load 2.00kN

[표 3] 실험적 피로균열전파모델의 파라미터

[Table 3] Parameters of empirical fatigue crack propagation model

모델	파라미터	Pmax (kN)		
		2.00	2.25	2.50
Paris-Erdogan	C_1	1.40E-10	1.98E-10	1.50E-10
	m_1	3.55245	3.37908	3.49507
Walker	C_2	9.04E-11	1.51E-10	1.17E-10
	m_2	3.57137	3.48423	3.58335
	k	-1.07714	-4.47E-04	-5.09E-05
Forman	C_3	2.72E-08	6.47E-08	1.01E-07
	m_3	2.22731	1.86842	1.79280
modified Forman	C_4	3.01E-06	4.21E-06	5.51E-06
	m_4	0.32069	0.27793	0.24987

그림 2에서 볼 수 있듯이 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델은 피로균열전파거동의 경향을 잘 묘사하고 있으며, 두 모델이 매우 유사한 예측을 하고 있다. Forman 모델도 파단영역을 제외하고는 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델과 같이 균열전파거동을 잘 묘사하였으며, 수정된 Forman 모델은 실험값과 격차를 나타내었다. 그러나 피로균열전파거동의 경향을 잘 묘사하는 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델도 피로균열전파거동 시 발생하는 변동성까지 묘사하지는 못하였다.

그림 3은 2.25kN의 최대하중을 작용시켰을 때 발생한 균열성장속도를 실험적 모델의 회귀선과 함께 나타낸 것으로서 2.20kN의 조건과 같이 균열전파 초기에 균열성장속도의 변동성이 크게 나타나는 공통적인 거동을 보였으며 균열이 전파됨에 따라 균열성장속도의 변동이 안정적으로 나타났다.

Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델은 피로균열전파거동의 초기영역을 충분히 묘사하지는 못하지만 균열성장영역과 파단영역에서 실험값과 잘 일치하였다. 그리고 파단영역의 비선형성 예측을 하는 Forman 모델도 파단영역에서는 잘 맞지 않지만 균열성장영역에서는 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델처럼 실험값의 경향을 잘 묘사하였다. 그러나 수정된 Forman 모델은 실험값과 격차를 나타내었다.

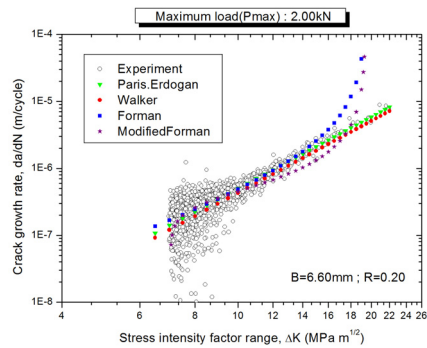
최대하중 2.50kN의 경우는 그림 4에서 볼 수 있듯이 초기응력확대계수범위가 2.00kN과 2.25kN보다 크게 나타났으며 이는 동일한 응력비에서 최대하중이 커질수록 평균응력이 커지고 응력진폭도 커지므로 응력확대계수 범위가 커지는 것으로 사료된다.

최대하중이 2.50kN의 경우에서도 Forman 모델은 균열성장영역에서 피로균열전파거동의 경향을 잘 묘사하고 있으며, 수정된 Forman 모델은 실험값과 격차를 나타내었다. 그리고 이 두 모델은 파단영역에서 비선형성을 예측하고 있어서 파단영역에서 선형성을 유지하고 있는 실험값과 잘 맞지 않았다. Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델은 거의 일치된 거동을 하고 있으며 초기영역을 제외하고는 균열전파거동의 경향을 잘 묘사하였다.

그림 2~그림 4에서 피로균열전파거동 양상을 잘 묘사하는 실험적 모델이 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델인 것으로 밝혀졌으므로 이 모델들에 대한 균열성장속도지수를 비교하기 위하여 그림 5와 그림 6에 최대하중 조건 별로 예측된 균열성장곡선을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 선형성의 기울기는 최대하중의 변화에도 불구하고 일정하게 나타났으며 Log-Log 스케일상의 균열성장곡선의 기울기가 피로균열성장속도지수를 표시하므로 피로균열성장속도지수를 재료상수로 볼 수 있을 것으로 사

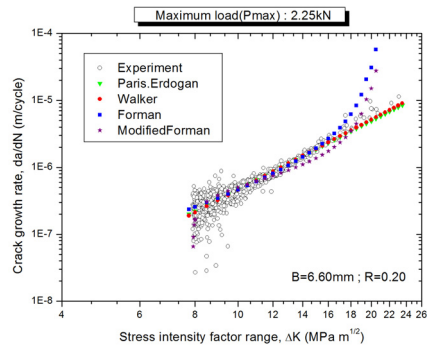
료된다.

따라서 최대하중 변화에 따른 마그네슘합금의 피로균열전파거동을 분석해 볼 때 최대하중이 작을수록 균열전파 초기에 균열성장속도의 변동성이 크게 발생하였으며 균열이 전파되면서 그 변동성이 작아지는 경향을 나타내었다. 최대하중이 커질수록 초기응력확대계수범위가 커졌으며, 반면에 동일한 응력확대계수범위에서 균열성장속도는 최대하중의 변화에도 거의 변함이 없는 양상을 나타내었다. 그리고 최대하중의 변화에도 불구하고 균열성장곡선의 기울기가 일정하게 나타남으로써 균열성장속도지수가 재료상수 특성이 있음을 밝혀내었다.



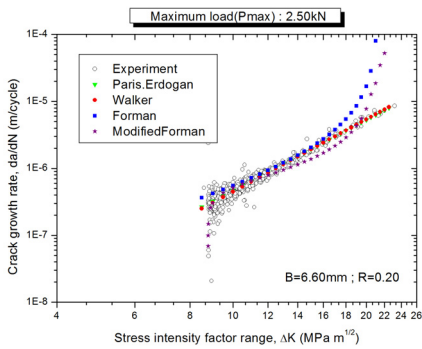
[그림 2] 최대하중 2.00kN 조건에서 피로균열성장속도의 실험값과 실험적 모델의 비교

[Fig. 2] Comparison of fatigue crack growth rate data between experiment and empirical models under maximum load 2.00kN



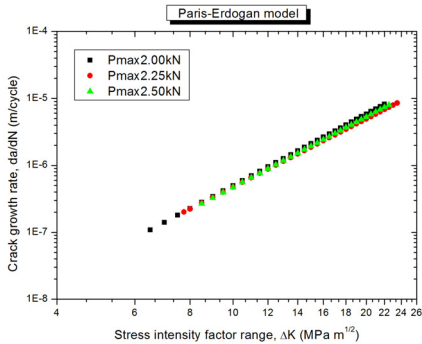
[그림 3] 최대하중 2.25kN 조건에서 피로균열성장속도의 실험값과 실험적 모델의 비교

[Fig. 3] Comparison of fatigue crack growth rate data between experiment and empirical modes under maximum load 2.25kN



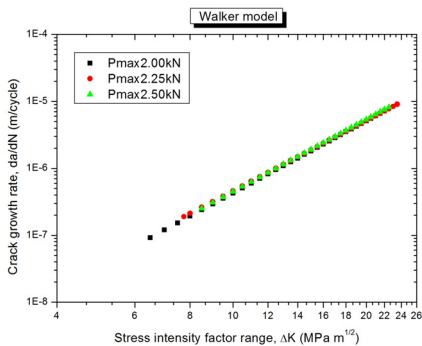
[그림 4] 최대하중 2.50kN 조건에서 피로균열성장속도의 실험값과 실험적 모델의 비교

[Fig. 4] Comparison of fatigue crack growth rate data between experiment and empirical models under maximum load 2.50kN



[그림 5] 최대하중 조건에 따른 실험적 Paris-Erdogan 모델에 의해 예측된 피로균열성장속도

[Fig. 5] Fatigue crack growth rates predicted by empirical Paris-Erdogan model under different maximum loads



[그림 6] 최대하중 조건에 따른 실험적 Walker 모델에 의해 예측된 피로균열성장속도

[Fig. 6] Fatigue crack growth rates predicted by empirical Walker model under different maximum loads

또한 통계적 해석과 실험적 피로균열전파 모델을 평가한 결과 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델이 균열성장영역과 파단영역에서 균열전파거동의 경향을 매우 잘 묘사함을 알아내었다. 그리고 Forman 모델은 균열성장영역에서 균열전파거동의 경향을 잘 묘사하였으며, 수정된 Forman 모델은 초기영역에서 비교적 잘 묘사하였다. 그러나 Forman 모델과 수정된 Forman 모델은 파단영역에서 비선형성을 예측함으로써 선형성을 나타내는 실험결과와 잘 맞지 않았다. 그러므로 피로수명을 예측하기 위해서는 파단영역에서 잘 맞지 않는 Forman 모델과 수정된 Forman 모델보다는 균열성장영역과 파단영역을 잘 묘사하고 있는 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델이 적합하다고 사료된다. 그러나 피로균열전파거동에서 변동성이 존재하므로 신뢰성 있는 피로수명예측과 안전한 구조설계를 위해서 실험적 피로균열전파모델에 확률변수를 도입함으로써 피로균열전파거동의 변동성을 묘사할 수 있는 확률론적 피로균열전파모델이 요구된다.

5. 결론

AZ31 마그네슘합금에서 최대하중 조건에 따른 실험적 피로균열전파모델을 평가하기 위하여 피로실험값에 대한 통계적 해석을 수행하고 각 모델에 대한 적합성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 균열전파 초기에 균열성장속도의 변동성이 특히 심하며 균열이 전파됨에 따라 그 변동성이 완화되는 양상을 밝혀내었다.
- 2) 최대하중의 변화에도 균열성장속도에는 거의 변함이 없는 양상을 보임으로써 최대하중은 피로균열전파거동에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 판단된다.
- 3) Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델이 AZ31 마그네슘합금에서의 피로균열전파거동 경향을 잘 묘사하였으며, 균열성장영역과 파단영역의 거동을 예측하기 위한 모델로 적합할 것으로 판단된다.
- 4) 최대하중의 변화에도 불구하고 피로균열전파곡선의 기울기가 거의 일정하게 나타남으로써 피로균열성장속도지수를 재료상수로 볼 수 있음을 알아내었다.
- 5) 마그네슘합금의 피로균열전파거동 시 균열성장이 변동성을 나타내는 확률론적인 특성을 보이므로 Paris-Erdogan 모델과 Walker 모델이 피로균열전파거동의 경향을 잘 묘사할 수는 있지만 균열성장의 변동성까지 설명할 수는 없었으므로 신뢰성 있는

피로수명예측과 안전한 구조설계를 위해서는 확률론적 피로균열전파모델이 요구된다.

References

- [1] Tokaji, K., Kamakura, M., Ishiizumi, Y., and Hasegawa, N., "Fatigue Behaviour and Fracture Mechanism of a Rolled AZ31 Magnesium Alloy," International Journal of Fatigue, Vol. 26, pp. 1217-1224, 2004.
- [2] Mordike, B. L. and Ebert, T., "Magnesium Properties-application-potential," Materials Science & Engineering (A), Vol. 302, pp. 37-45, 2001.
- [3] Tokaji, K., Nakajima, M., and Uematsu, Y., "Fatigue Crack Propagation and Fracture Mechanisms of Wrought Magnesium Alloys in Different Environments," International Journal of Fatigue, Vol. 31, Issue 7, pp. 1137-1143, 2009.
- [4] Seon Soon CHOI, "Estimation of Empirical Fatigue Crack Propagation Model of Magnesium Alloy under Different Maximum Loads," Proceedings of the KSMTE Autumn Conference 2010, pp. 383-385, October, 2010.
- [5] Seon Soon CHOI, "Probabilistic Characteristics of Fatigue Behavior Parameter of Paris-Erdogan Law in Mg-Al-Zn Alloy," Transactions of the KSME(A), Vol. 35, No. 4, pp. 375-381, April, 2011.
- [6] Seon Soon CHOI, "Effect of Boundary Conditions on Reliability and Cumulative Distribution Characteristics of Fatigue Failure Life in Magnesium Alloy," Journal of the KAIS, Vol. 12, No. 2, pp. 594-599, February, 2011.
- [7] Seon Soon CHOI, "Prediction of Fatigue Design Life in Magnesium Alloy by Failure Probability," Journal of the KSMTE, Vol. 19, No. 6, pp. 804-811, December, 2010.
- [8] Seon Soon CHOI, "Effect of Specimen Thickness on Probability Distribution of Fatigue Crack Propagation Behavior in Magnesium Alloy AZ31," Journal of the KSMTE, Vol. 18, No. 4, pp. 395-400, August, 2009.
- [9] Seon Soon CHOI, "Estimation of Probability Distribution Fit for Fatigue Crack Propagation Life of AZ31 Magnesium Alloy," Transactions of the KSME(A), Vol. 33, No. 8, pp. 707-719, August, 2009.
- [10] Seon Soon CHOI, Ouk Sub LEE, "Effect of Mean Stress on Probability Distribution of Random Grown Crack Size in Magnesium Alloy AZ31," Journal of the KSMTE, Vol. 18, No. 5, pp. 536-543, October, 2009.
- [11] ASTM E647-00, "Standard Test Method of Fatigue Crack Growth Rates," ASTM International, 2000.

최 선 순(Seon Soon CHOI)

[정회원]



- 1980년 2월 : 부산대학교 화학기 계공학과 (공학사)
- 1985년 2월 : 부산대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 인하대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 카메카트로닉스학과 교수

<관심분야>

Probabilistic Fracture Mechanics, Optimal Design, Reliability Estimation, Light Materials