

〈논 문〉 SAE NO. 96370081

SiCp/Al 6061 복합재료의 피로균열진전특성에 관한 통계학적 해석

Statistical Analysis of Fatigue Crack Growth Properties for Silicon Carbide Particles Reinforced Metal Matrix Composites

권 재 도,* 문 윤 배,** 안 정 주**
J. D. Kwon, Y. B. Moon, J. J. Ahn

ABSTRACT

The silicon carbide particles reinforced aluminium 6061(SiCp/Al) composites are generally known have wild range of applications from automobiles to airospaces. But, by the results of exist-ing study for SiCp/Al composites, there are reports that the fatigue life of SiCp/Al composites has improved than Al matrixes and has not improved then Al matrixes.

Consequently, in order to perform the reliable life prediction for SiCp/Al, the properties of probability distribution of fatigue crack initiation life & fracture life, crack growth length in con-stant number of cycles, crack growth rate in constant stress intensity factor range and m & C value in Paris's fatigue crack growth law and the estimation of statistical parameters have been evaluated by the statistics method.

주요기술용어 : SiCp/Al composites(SiC입자 보강 Al 복합재료), Al 6061 matrixes(6061 알루미늄 모재), Fatigue life(피로수명), Fatigue crack growth behavior(피로균열진전거동), Probability distribution(확률분포), Statistics(통계학)

1. 서 론

복합재료의 강화 소재 중 세라믹(ceramic)계 소재로서 고강도, 고탄성의 SiC를 보강한 Al 복합재료는 높은 강도, 강성, 내열성 및 내마모성이 우수하여 자동차 및 우주항공 등의 고온 경

량화 구조 재료로서 주목받고 있다.

특히, 보강재의 형태가 입자형인 SiC 입자 보강 Al 복합재료(SiCp/Al)는 섬유(fiber) 혹은 휘스커(whisker) 보강 복합재료와 같은 기계적 성질의 향상은 기대하기 어렵지만, 등방성이고 제조가 용이하며 제조 단가가 저렴하고, 기존의 금속학적 성형가공법의 적용^{1), 2), 3)}이 가능하다는 이유 등으로 크게 주목 받고 있다.

그러나 기존의 연구결과에 의하면 피로수명 면

* 정회원, 영남대학교 공과대학 기계공학부

** 영남대학교 대학원 기계공학과

에서 SiCp/Al 가 모재에 비해 향상^{4),5)} 또는 저하^{6),7),8)}되었다는 보고가 있어 반복하중을 받는 구조물에서의 적용 여부가 문제시 된다. 더욱이 저자들의 연구결과⁸⁾ SiCp/Al 및 Al 6061은 피로균열진전속도(da/dN)와 응력확대계수범위(ΔK)의 관계에 있어서 일반 강재료와는 달리 많은 분산이 있음이 밝혀 졌다.

그러므로 피로수명예측시 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서 통계적 처리가 요구된다. 피로균열진전 거동을 통계학적으로 규명한 연구들로는 SS41 강¹³⁾, Cr-Mo 강¹⁴⁾ 및 Al 2024¹⁵⁾ 등에 대한 다수의 결과가 있으며 특히, 복합재료 분야에 있어서 SiC 휘스커 보강 복합재료(SiCw/Al)¹²⁾에 대한 저자들의 연구가 있으나 SiCp/Al 복합재료에 대한 통계학적인 해석 결과는 찾아 볼 수 없었다.

따라서 본 논문에서는 SiCp/Al 복합재료의 피로균열진전 특성을 통계학적 관점에서 해석하기 위해 SiC 입자가 6% 보강된 SiCp/Al 복합재료 및 Al 6061 모재에 대해 다수의 피로균열진전 실험을 수행하여 피로균열의 발생수명 및 파단수명의 분포 특성, 일정 응력확대계수 범위에 대한 피로균열진전속도의 분포 특성, 피로균열진전 법칙에서 지수 m 및 상수 C값의 분포 특성을 규명하여 확률론적인 견지에서 피로수명을 예측하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 피로균열진전 실험

2.1 실험용 재료

본 실험에 사용된 재료는 Al 6061 및 SiCp/Al로서 Mitsubishi 알루미늄에서 제조된 것으로 직경 200mm 빌렛(billets)를 고압용침법(high pressure infiltration method)으로 제조한 후, 한번이 57mm가 되는 사각봉의 형태로 열간 압출하여 다시 T6 조건으로 열처리를 하였다. SiCp/Al은 Al 6061을 기지(matrix)로 하여 직경 4~8 μ m 크기의 SiC 입자가 체적비 6% 보강되었다.

Table 1에는 Al 6061의 화학성분을 나타내었고, Table 2에는 SiCp/Al 및 Al 6061의 기계

적 성질을 나타내었다. 여기서 L은 압출 방향이고 T는 그 수직 방향을 나타낸다.

2.2 시험편

열간 압출된 사각봉에서 Fig. 1과 같은 중앙 균열(center cracked tension; CCT) 시험편을 제작하였으며 중앙노치의 곡물반경 0.2mm, 길이(2a)가 5mm인 인공노치를 압출방향에 직각이 되는 L-T 방향으로 시험편을 방전가공(electro discharge machining; EDM)하여 제작하였다.

또한, 실험에 사용된 시험편은 SiCp/Al 및 Al 6061 각각 6개이며 피로균열길이의 정확한 측정과 레프리카(replica) 채취를 위하여 시험편의 앞-뒷면을 400번에서 1200번까지의 에머리 페이퍼(emery paper)로 연마한 후, 산화알루미늄 연마제로 재 연마하여 본 실험에 사용하였다.

2.3 피로균열진전 실험 방법

본 실험에 사용된 피로 시험기는 Instron사의 유압 서어보 피로 시험기(hydraulic-servo fatigue test machine : model 1332)로 최대 용량은 20ton이고, 실험 조건은 상온에서 하중비(R) 0.05의 싸인파형(sine wave), 인장-인장

Table 1 Chemical composition of the Al 6061-T6 alloy

	Composition, wt. %						
	Al	Si	Cu	Mg	Cr	Mn	Zn
Al 6061	97.9	0.6	0.28	1.0	0.2	0.02	0.02

Table 2 Mechanical properties of the SiCp/Al composite and Al 6061

Material	Orientation	Proof stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
SiCp/Al	L	287	331	10.5
	T	274	301	8.5
Al 6061	L	280	316	9.6
	T	267	305	10.5

하중형태를 채택하였고, 주파수는 10Hz로 일정하게 하고, 응력레벨은 $\Delta\sigma = 52.5\text{MPa}$ ($2a = 5\text{mm}$, $\Delta K = 4.65\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)의 일정범위 하에서 피로균열진전 실험을 수행하였다.

Al 6061 및 SiCp/Al 는 재료의 특성상 즉, 압축의 영향과 보강재의 영향으로 균열발생 및 진전의 형상을 이동식 광학현미경으로 측정하기에 어려움이 있었다. 따라서 표면 레프리카 법으로 시험편 중심선을 기준으로 앞·뒷면의 좌·우측 4부분에서 레프리카를 채취하여 500배까지 확대 가능한 광학 현미경에서 1/100mm까지 측정할 수 있는 OSM(optical scale meter)을 이용하여 균열길이를 측정하였다.

균열길이는 시험편의 중심선을 기점으로 초기 인공노치($a = 2.5\text{mm}$)에 균열길이의 증가량(Δ

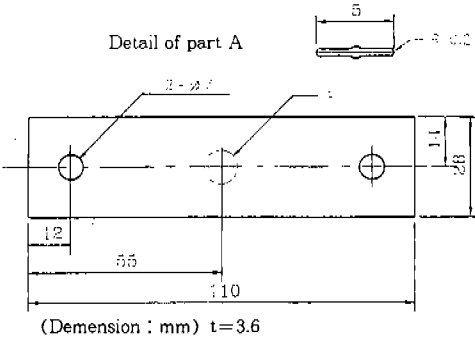


Fig.1 Geometry of specimen

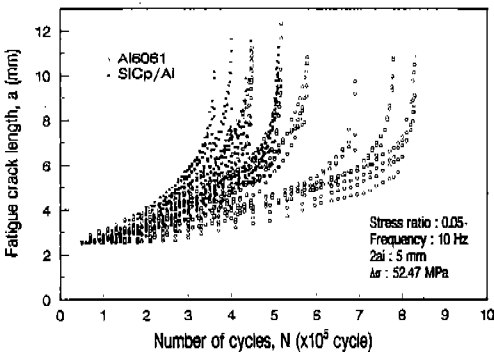


Fig.2 Relation between fatigue crack length (a) versus number of cycle(N) at 4 parts for Al 6061 and SiCp/Al

a)을 합하여 피로균열길이, a라 정의하였다. 또한 초기 인공노치에서 피로균열이 0.2mm 증가 시 반복하중회수를 0.2mm 피로균열 발생 수명, N_i 로 정의 하였다.

3. 피로균열진전 속도(da/dN)와 응력확대 계수 범위(ΔK)과의 관계

Al 6061 모재 및 SiCp/Al 복합재료 각각 6개의 시험편에 대해 피로균열진전 실험을 수행한 후 얻은 결과 즉, 시험편 앞·뒷면의 좌·우측 균열 24개에 대한 균열길이(a)와 하중반복회수(N) 사이의 관계를 동일 그래프 상에 플롯(plot)한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

이와 같이 구한 a-N의 관계에서 Al 6061 및 SiCp/Al 각각 24개소에서 da/dN 과 ΔK 의 관계를 구해보았다. 여기서 균열진전속도 da/dN 은 secant 법⁹⁾을 이용하여 구하였고, 응력확대 계수 범위, ΔK 는 Tada식¹⁰⁾을 이용하여 구하였다.

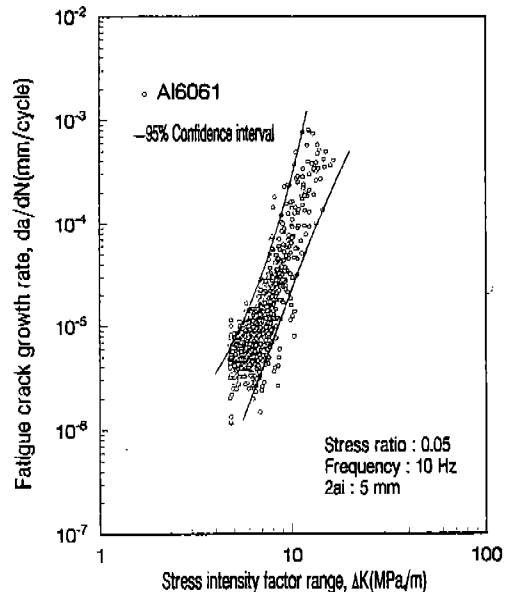


Fig.3 Relation between fatigue crack growth rate, da/dN versus stress intensity factor range, ΔK and 95% confidence interval for Al 6061

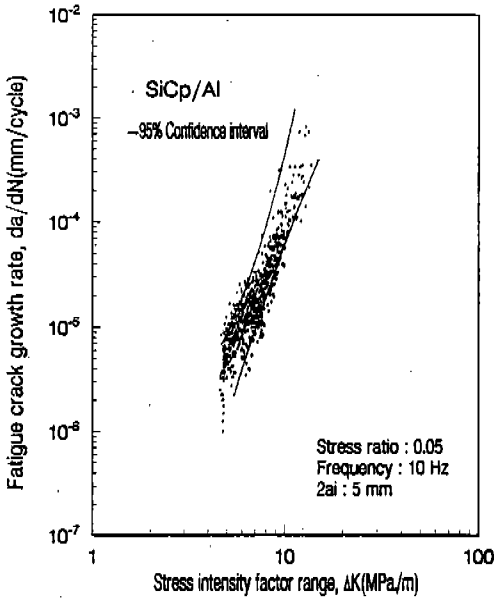


Fig.4 Relation between fatigue crack growth rate, da/dN versus stress intensity factor range, ΔK and 95% confidence interval for SiCp/Al

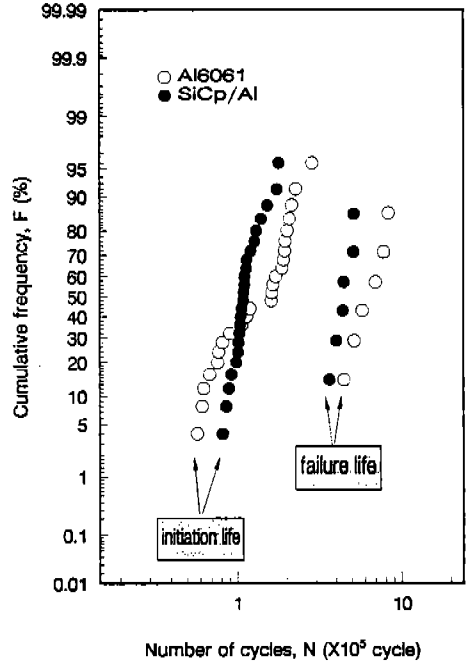


Fig.5 Log-normal distribution plots of fatigue crack initiation lives and fracture lives for Al 6061 and SiCp/Al

Al 6061 및 SiCp/Al 에 대한 $da/dN-\Delta K$ 관계를 양대수(log-log) 그래프에 플로트한 결과를 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 여기서 전 응력확대계수 범위(저 $\Delta K \sim$ 고 ΔK)에 걸쳐 균열진전속도, da/dN 의 분산정도가 Al 6061이 SiCp/Al 보다 심함을 알 수가 있다.

또한, Fig. 3 및 4의 $da/dN-\Delta K$ 의 관계에서 데이터가 누적빈도를 1%~95%인 $\mu-1.96\sigma$ 와 $\mu+1.96\sigma$ 구간에 들어올 확률 95%인 신뢰도 구간을 동 그래프에 나타내었다.

4. 실험결과와 통계학적 해석

4.1 피로균열발생 및 파단수명의 통계학적 분포 특성

피로균열진전실험 결과로 부터 Al 6061 및 SiCp/Al 에 대한 0.2mm 피로균열발생 수명의 누적빈도를(cumulation frequency percentage)을 산출하여 대수정규(log-normal) 확률지에 플

로트한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 아울러 동 확률지에 두재료의 파단수명(N_f)의 확률분포 특성도 동시에 플로트해 보았다.

또한, 이때 확률분포가 대수정규 분포를 따르는지에 관한 적합 여부를 판정하기 위해 K-S (Kolmogorov-Smirnov)검정¹⁾을 수행하여 보았다.

K-S 검정은 표본의 누적확률분포($F(x)$) 즉, 확률지에 타점된 데이터 값과 이론적인 누적확률 분포값($F_n(x)$)의 최대차이, D_{max} 가 K-S검정¹⁾의 유의수준(α)의 임계치 D 보다 작으면 동 분포에 따른다고 가정한다.

따라서, Al 6061 및 SiCp/Al 의 피로균열 발생수명(N_i)의 추정 D값의 최대치는 각각 $D_{max} = 0.20968$ 및 $D_{max} = 0.18680$ 으로 나타났다. 이는 K-S 검정시 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 데이터 갯수 24개의 경우 임계치는 $D_{24,\alpha=0.05} = 0.24242$ 으로 즉, $D_{max} \leq D_{\alpha=0.05}$ 이므로 Al 6061 및 SiCp/Al 의 0.2mm 발생수명은 대수정규 분포를 따

를 알 수 있다.

또한 Al 6061의 경우 0.2mm 발생수명은 Ni = 57,300~286,400cycle의 범위로서 평균(μ)은 145,412 cycle, 표준편차(σ)는 77,651 cycle로 나타났고, SiCp/Al의 경우 Ni=81,000~178,300 cycle의 범위로서 $\mu=114,040$ cycle, $\sigma=23,371$ cycle로 나타났다. 그리고 통계학상 평균 피로발생수명은 SiCp/Al이 Al 6061보다 다소 빨랐고, 표준편차(standard deviation)의 값의 비교로 보아 Al 6061이 SiCp/Al에 비해 분산의 범위가 넓음을 알 수 있고, 또한 무차원화 시킨 변동계수(coefficient of variance; CV, σ/μ) 값은 Al 6061의 경우 0.53이고, SiCp/Al은 0.20으로 나타났다. 따라서 변동계수의 비교로서도 분산정도는 Al 6061의 경우가 SiCp/Al보다 크게 나타났다.

Fig. 5의 Al 6061 및 SiCp/Al에 대한 파단수명(Nf)의 확률분포를 대수정규 확률지에 플로팅한 결과로부터 K-S 검정 결과는 Al 6061의 $D_{max} = 0.16968$ 이고, SiCp/Al의 $D_{max} = 0.18850$ 으로 나타났다. 그리고 데이터 갯수 6개에 대한 $D_{6, \sigma=0.05} = 0.46799$ 로서 $D_{max} \leq \sigma=0.05$ 이다. 따라서 Al 6061 및 SiCp/Al에 대한 파단수명의 확률분포도 대수정규 분포를 따름을 알 수 있다.

또한, Al 6061의 파단수명 Nf=447,800~830,000 cycle의 범위로서 $\mu=641,267$ cycle, $\sigma=158,640$ cycle 및 CV=0.25이다. 그리고 SiCp/Al이 Al 6061에 비해 약 30% 짧게 나타났다. 그리고 표준편차 및 변동계수를 비교해 볼때 Al 6061의 파단수명의 분산정도가 SiCp/Al보다 다소 크게 나타났다.

SiCp/Al이 Al 6061 모재 보다 피로수명이 짧은 원인은 저자들의 연구결과⁶⁾ SiCp/Al에서 matrix와 SiC 입자간의 젖음성(wettability) 즉, 접합성의 문제로 주 균열에 앞서 matrix와 SiC 입자 사이에 미소균열(micro crack)이 발생되고, 이것은 다시 주 균열과 합체되는 과정에서 주 균열이 다소 쉽게 진행된 것으로 사료된다.

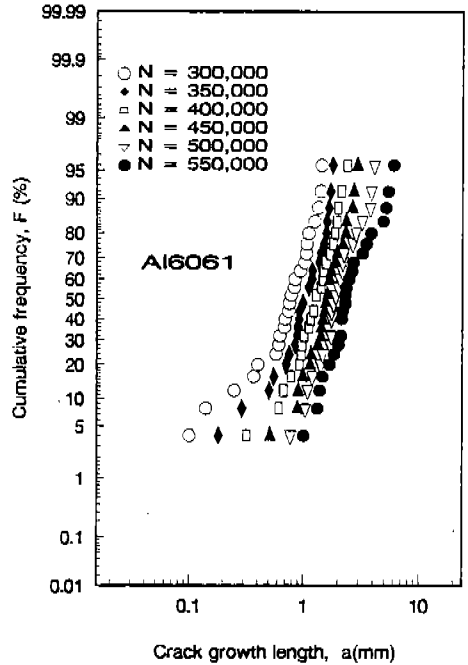


Fig.6 Log-normal distribution plots of crack growth length for Al 6061

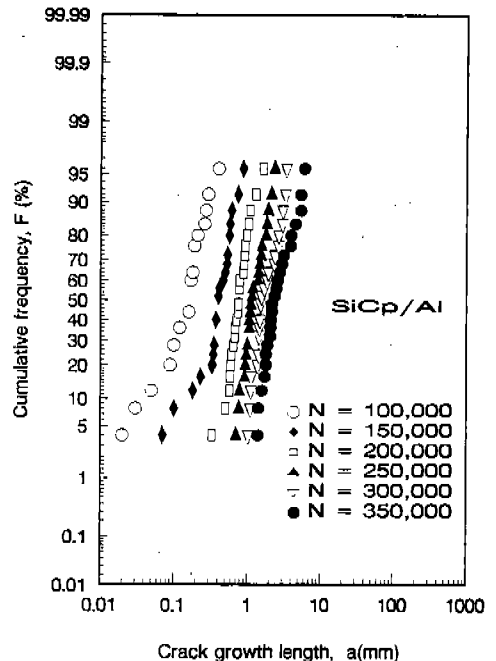


Fig.7 Log-normal distribution plots of crack growth length for SiCp/Al

4.2 일정 하중반복회수에 대한 균열진전길이의 통계학적 분포 특성

Al 6061의 24개의 균열이 일정 하중반복회수 $N=30, 35, 40, 45, 50$ 및 55만 cycle 일 때의 균열길이, a 의 누적빈도율을 산출하여 대수정규 확률지에 플로트한 결과 Fig. 6과 같이 선형적인 관계로 나타났다. 그리고 이 확률분포의 적합성을 K-S 검정을 통해 확인한 결과 즉, $N=30, 35, 40, 45, 50$ 및 55만 cycle 일때 각각의 $D_{max}=0.2102, 0.1695, 0.1040, 0.1175, 0.1328$ 및 0.1296 이었다. 그리고 $D_{24,\sigma=0.05}=0.24242$ 으로서 모두가 유의수준 미만임으로 Al 6061의 일정하중회수에 대한 균열진전길이의 확률분포는 대수정규 분포를 따른다는 것을 확인하였다.

SiCp/Al의 24개 균열의 일정 하중반복회수 $N=10, 15, 20, 25, 30$ 및 35만 cycle 일때의 균열길이, a 의 누적빈도율을 산출하여 대수정규 확률지에 플로트한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 역시 확률지에 선형적으로 데이터들이 나열되었고, K-S 검정 결과는 $N=10, 15, 20, 25, 30$ 및 35만 cycle 일대 각각의 $D_{max}=0.2181, 0.2437, 0.1037, 0.1260, 0.1846$ 및 0.1571 이고, 이들 D_{max} 값은 $D_{24,\sigma=0.05}=0.24242$ 의 유의수준 미만임으로 SiCp/Al의 일정하중회수에 대한 균열진전길이의 확률분포는 대수정규 분포를 따름을 확인하였다.

또한, Al 6061 및 SiCp/Al의 일정 cycle에 대한 균열진전길이의 분산정도는 동일 시험편 내에서 각 cycle에 대한 균열진전길이의 표준편차의 비교는 어렵고, 변동계수로서 분산의 정도를 논할 수 있는데, Al 6061의 경우 $0.77\sim 0.49$ 의 범위이고 SiCp/Al의 경우는 $0.78\sim 0.45$ 로 나타났다. 여기서 두 재료 모두가 고 cycle에 비해 저 cycle의 변동계수가 크게 나타난 것은 초기 균열발생의 분산에 의한 변동이 심함을 의미한다. 그러나 안정성장 영역에서의 변동계수의 변화는 거의 비슷함을 알 수 있었다.

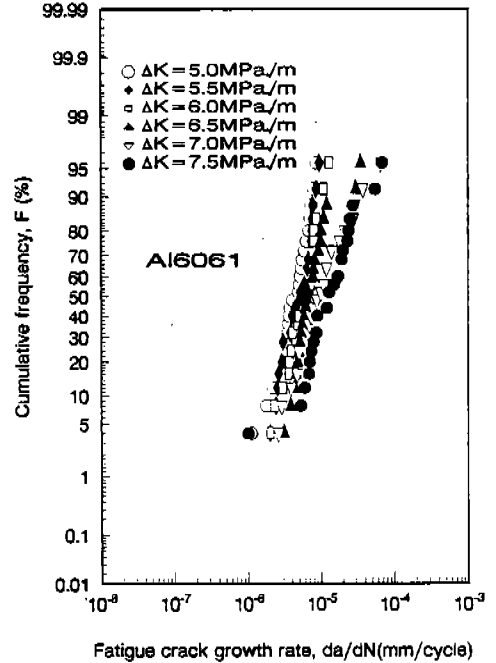


Fig.8 Log-normal distribution plots of crack growth rate for Al 6061

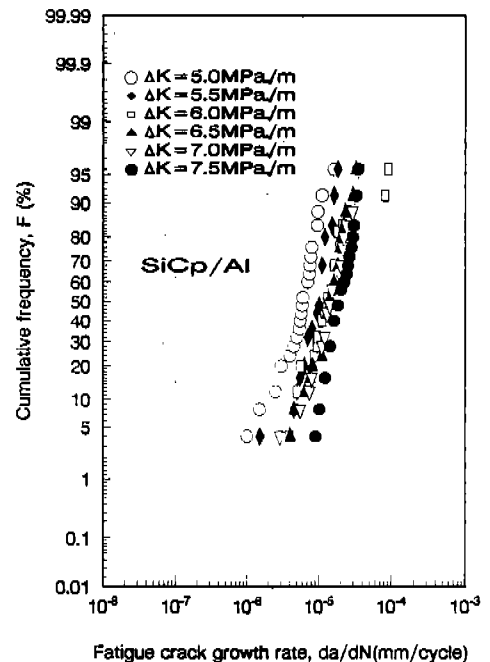


Fig.9 Log-normal distribution plots of crack growth rate in SiCp/Al

4.3 일정 응력확대계수 범위에 대한 균열진전속도의 통계학적 분포 특성 및 신뢰도 구간 추정

Al 6061 및 SiCp/Al 에 대해 동일한 응력레벨 ($\Delta\sigma = 52.5 \text{ MPa}$, $2a_i = 5\text{mm}$, $\Delta K_i = 4.65 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$) 하에서 피로균열진전 실험 후 얻은 $da/dN - \Delta K$ 의 관계에서, 일정한 $\Delta K = 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0$ 및 $7.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 에 대해 균열진전속도, da/dN 의 빈도수를 분류하고 누적빈도율을 산출하여 Fig. 8 및 Fig. 9와 같이 대수정규 확률지에 플로트한 결과 모두 선형적인 관계에 놓임을 알 수 있었다.

그리고 Al 6061에 대한 K-S 적합성 검정 결과는 $\Delta K = 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0$ 및 $7.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ 일때 $D_{\text{max}} = 0.1159, 0.1661, 0.1515, 0.1339, 0.0933$ 및 0.1118 로서 $D_{2\alpha, \alpha=0.05} = 0.24242$ 의 유의수준 미만이었으며, SiCp/Al의 경우 K-S 검정 결과 $D_{\text{max}} = 0.1661, 0.1768, 0.1500, 0.1788, 0.1532$ 및 0.0977 로서 모두가 $D_{2\alpha, \alpha=0.05} = 0.24242$ 의 유의수준 미만이었다. 따라서 두 재료 모두 일정 응력확대계수 범위에 대한 균열진전속도의 확률분포는 대수정규 분포를 따른다는 것을 알 수 있다.

또한, Al 6061 및 SiCp/Al의 일정 응력확대계수 범위에 대한 균열진전속도의 분산은 변동계수가 저 $\Delta K (5.0 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}})$ 에서 고 $\Delta K (7.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}})$ 범위에 걸쳐 불균일한 값으로 나타났다. 이것은 Fig. 3 및 Fig. 4의 결과에서도 대변해 주듯 그만큼 전 범위($\Delta K = 5.0 \sim 7.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$) 걸쳐 균열진전속도의 분산과 변동이 심함을 의미한다.

그리고 두 재료의 변동계수를 동일 ΔK 구간에서 같이 비교할시, ΔK 가 5.0~6.0의 범위에서는 Al 6061의 경우 0.49~0.54의 범위이고 SiCp/Al은 0.57~0.90으로서 SiCp/Al의 경우 분산도가 심했지만, ΔK 의 값이 커질수록 즉, 6.5~7.5 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 의 범위에서는 Al 6061의 경우 0.62~1.04이고 SiCp/Al의 경우 0.40~0.61로서 Al 6061의 분산도가 더 심해짐을 확인할 수 있었다.

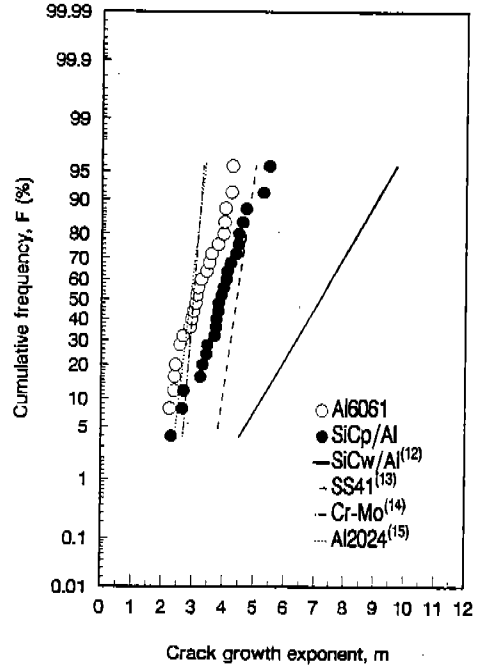


Fig.10 Normal distribution plots of the crack growth exponent, m for SiCp/Al and Al 6061

4.4 피로균열진전 법칙에서 m과 C의 통계학적 분포 특성

피로균열진전속도(da/dN)와 응력확대계수 범위(ΔK)의 관계를 양대수 그래프상에 나타내었을 때 제2영역 즉, Paris의 법칙이 적용되는 영역에서 균열진전속도는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$da/dN = C(\Delta K)^m$$

여기서, m과 C는 피로균열진전 법칙에서의 지수 및 상수이다.

Al 6061 및 SiCp/Al의 각각 24개의 $da/dN - \Delta K$ 의 관계에서 최소자승법(least square method)으로 균열진전법칙에서 대한 실험 지수 및 상수, 즉 m 및 C값을 구하였다.

우선, Al 6061 및 SiCp/Al에 대해 m값의 누적빈도율을 산출하여 정규(normal)확률지에

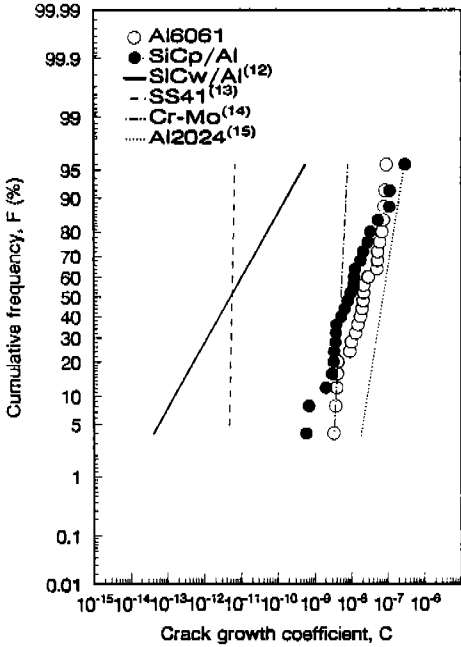


Fig.11 Log-normal distribution plots of crack growth coefficient, C for SiCp/Al and Al 6061

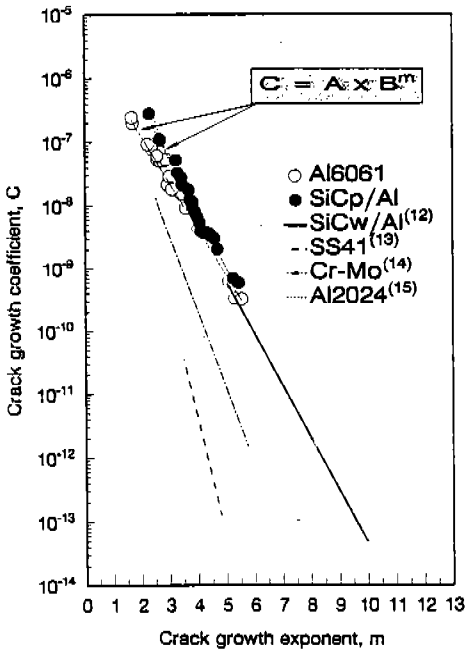


Fig.12 Relation between log C and m for SiCp/Al and Al 6061

플롯한 결과는 Fig. 10과 같이 두 재료 모두 선형적으로 나타났고, 이를 K-S 검정을 통하여 확인한 결과 Al 6061의 $D_{max}=0.1706$ 이고 $SiCp/24, \alpha=0.05=0.24242$ 의 유의수준 보다 미만임으로 m의 확률분포는 정규분포를 따름을 알 수 있다. 그리고 Al 6061의 m값의 $\mu=3.1704$, $\sigma=1.0701$, $CV=0.3375$ 이고 SiCp/Al 경우 m값의 $\mu=3.8871$, $\sigma=0.7597$ 및 $CV=0.1957$ 로서 Al 6061 경우가 분산정도가 더 심하게 나타났다.

아울러 피로균열진전 법칙에서 실험상수 C의 확률분포 상태를 알아보기 위하여 같은 방법으로 Al 6061 및 SiCp/Al의 C값을 대수정규 확률지에 플롯한 결과 Fig. 11과 같이 선형적으로 나타났고, K-S 검정 결과 Al 6061 및 SiCp/24, $\alpha=0.05=0.24242$ 미만의 값이므로 두 재료의 C분포는 대수정규 분포를 따름을 알 수 있다. 그리고 Al 6061에서 C값의 μ , σ 및 CV의 값은 각각 $1.7446E-7$, $1.3952E-6$ 및 7.9972 이고 SiCp/Al에 대한 C값의 μ , σ 및 CV의 값은 $3.1112E-8$, $9.6167E-8$ 및 3.0910 으로 여기서도 Al 6061 경우가 분산 정도가 더 심하게 나타났다.

그리고 Fig. 10 및 Fig. 11에 저자들의 일련의 연구결과인 SiC 휘스커 보강 복합재료(SiCw/Al)⁽¹²⁾, 일반구조용 SS41 강⁽¹³⁾, 압력용기용 Cr-Mo 강⁽¹⁴⁾과 Al 2024⁽¹⁵⁾에 대한 m값의 분포 특성을 각각 실선, 파선 및 일점쇄선과 점선으로 함께 나타내었다. 여기서 SiCp/Al 및 SiCw/Al과 같은 복합재료의 m 및 C의 분포에 대한 분산이 SS41 및 Cr-Mo 강에 비해 크게 나타남을 알 수 있다.

또한, Al 6061 및 SiCp/Al 두 재료에 대한 Paris의 피로균열진전법칙에서 지수 m 및 상수 C의 사이의 관계를 반대수(semi-log) 그래프 상에 플롯한 결과를 Fig. 12에 나타내었다. 여기서 m과 C의 관계는 서로 독립된 값들이 아니고 반대수 그래프 상에서 직선관계를 가진다는 것을 알 수 있었다. 따라서 $C=A \times B^m$ 의 근사식이 성립되므로, Al 6061의 경우 $A=4.3706 \times 10^{-6}$, $B=0.1799$ 이고, SiCp/Al의 경우 $A=2.4809 \times 10^{-5}$, B

$=0.1410$ 과 같은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 그리고 SiCw/Al, SS41 강, Cr-Mo 강 및 Al 2024에 대한 m 과 C 의 관계를 동 그래프 상에 굵은실선, 파선 및 일점쇄선과 점선으로 플로트 해 보았다.

이상의 통계학적 해석 결과를 활용한다면 앞으로 SiCp/Al 복합재료의 확률론적 피로 균열진전 수명 예측이 가능할 것으로 기대된다.

5. 결 론

이상과 같이 SiCp/Al 복합재료 및 Al 6061 모재에 대해 다수의 피로균열진전 실험을 수행하여 피로균열진전 특성에 관한 데이터를 통계적으로 처리한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) SiCp/Al 복합재료 및 Al 6061 모재의 피로균열 발생 및 파단 수명의 확률분포는 대수정규 분포에 따르고, 피로파단 수명은 SiCp/Al 이 Al 6061 보다 통계적으로 짧게 나타났다.
- 2) 일정 하중반복회수(N)에 대한 균열진전길이(a)의 확률분포 및 일정응력확대 계수범위(ΔK)에 대한 균열진전속도(da/dN)의 확률분포는 SiCp/Al 및 Al 6061 모두 대수정규 분포에 따른다는 것을 알 수 있었다.
- 3) SiCp/Al 및 Al 6061의 da/dN- ΔK 관계에서 Paris 균열진전 법칙의 지수 m 은 정규분포를, 상수 C 는 대수정규분포를 따름을 알 수 있었다. 또한 m 과 C 를 반대수 그래프상에 플로트해본 결과 일직선 상에 놓이게 됨으로 $C=A \times B^m$ 과 같은 근사식이 성립될 수 있다.
- 4) 따라서, 피로균열진전 법칙에서의 상수 m 과 C 값의 평균 및 표준편차와, $C=A \times B^m$ 관계식으로 부터 SiCp/Al 및 Al 6061의 피로균열진전에 대한 통계학적 수명에 측이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 1996년도 영남대학교 학술연구 조성비에 의한 것이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. S. V. Nair, J. K. Tien, and R. C. Bates, "SiC-reinforced Aluminum Metal Matrix Composites", International Metals Reviews, Vol. 30, No. 6, pp. 275~296, 1985.
2. W. A. Logsdon and P. K. Liaw, "Tensile, Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Rate Properties of Silicon Carbide Whisker and Particulate Reinforced Aluminum Metal Composites", Eng. Fract. Mech., Vol. 24, No. 5, pp. 737~751, 1986.
3. J. J. Bonnen, J. E. Allison and J. W. Jones, "Fatigue Behavior of a 2xxx Series Aluminum Alloy Reinforced with 15 Vol. Pct. Sic p", Metallurgical Transactions a Vol. 22A, pp. 1007~1019, 1991.
4. Weicheng Yu, Jincal Yuan, "Fatigue Behaviour of SiCp/Al 6061 Composite", FATIGUE 90', pp. 899~904, 1990.
5. M. Levin, B Karlsson, and J. Wasen, "The Fatigue Crack Growth Characteristics and its Relation to the Quantitative Fractographic Appearance in a Particulate SiC/Al 6061 Composite Material", Fundamental Relationship Between Microstructure & Mechanical Properties MMCs, pp. 421~439 (1990)
6. H. Ishii, K. Tohgo, "Fatigue Behavior of SiCp/Al Composite Materials", 組織構造分科會資料/CM 6 論文, 1991.
7. D. M. Knowles, J. E. King, "Fatigue of an Aluminium SiC Composit", Fatigue 90', pp. 641~646, 1990.

8. 권재도, 문윤배, 김상태, "SiC 입자 보강 Al 복합재료의 피로균열진전 거동", 대한기계학회논문집, 제19권, 제 1 호, pp. 122~131, 1995.
9. "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates", ASTM E647-88a, 1991.
10. Y. Murakami, "Stress Intensity Factors Handbook", Vol. I, p. 3
11. 海老原態雄 "裝置材料の壽命豫測入門", 丸善株式會社, 腐食防食協會編, pp. 174~269, 1984.
12. 권재도, 안정주, 김상태, "SiC 휘스커 보강 Al 6061 복합재료의 통계학적 피로균열진전 수명예측", 대한기계학회논문집, 제19권, 제 2 호, pp. 475~485, 1995.
13. 권재도, 최선호 외 4인, "신뢰성 공학적 피로균열의 발생 진전수명 평가 및 예측에 관한 연구(I)" 대한기계학회 논문집, 제14권, 제 6 호, pp. 1538~1591, 1990.
14. 北川英夫, 權再度, 外2人, "長技使用 クロアムモリブデン鋼 劣化材の波勞き裂進展壽命豫測", 日本機械學會論文集(A), 15卷 480號, pp. 1749~1756, 1986.
15. Ichikawa, M., Hamaguchi, M. and Nakamura, T., "Statistical Characteristics of m and C in Fatigue Crack Propagation Law $da/dN=C(\Delta K)^m$ (2024-T3 Al alloy)", J. of Society of Mat. Sci., Japan, Vol. 33, No. 364, pp. 8~13. 1983.