

< 논문 >

## 고강도 알루미늄 합금의 프레팅 피로거동

최성종\* · 이학선\*\* · 김상태† · 이철재\*\*\*  
(2006년 7월 27일 접수, 2006년 12월 21일 심사완료)

### Fretting Fatigue Behavior of High Strength Aluminum Alloys

Sung-Jong Choi, Hak-Sun Lee, Sang-Tae Kim and Cheol-Jae Lee

**Key Words:** Fretting(프레팅), Fretting Fatigue(프레팅 피로), Contact Pressure(접촉면압), Fatigue Limit(피로한도), Oblique Crack(경사균열), Tire Track(타이어 트랙)

#### Abstract

Fretting is a contact damage process that occurs between two contact surfaces. Fretting fatigue reduces fatigue strength of the material due to low amplitude oscillatory sliding and changes in the contact surfaces of strongly connected machine and structure such as bolt, key, pin, fixed rivet and connected shaft, which have relative slip of repeatedly extreme low frequency amplitude. In this research, the fretting fatigue behavior of 2024-T3511 and 7050-T7451 aluminum alloys used mainly in aircraft and automobile industry were experimentally estimated. Based on this experimental work, the following results were obtained: (1) A significant decrease of fatigue life was observed in the fretting fatigue compared to the plain fatigue. The fatigue limit of 2024-T3511 aluminum alloy decreased about 59% while 7050-T7451 aluminum alloy decreased about 75%. (2) In 7050-T7451 specimen using AISI4030 contact pad, crack was initiated more early stage than using 2024-T3511 contact pad. (3) In all specimens, oblique cracks were initiated at contact edge. (4) Tire tracks and rubbed scars were observed in the oblique crack region of fracture surface.

#### 1. 서 론

기계 구조물의 체결부에서 미세한(약 100 $\mu$ m) 진폭으로 발생하는 반복적이고, 상대적인 미끄럼(relative slip)현상은 접촉부의 마모손상과 더불어 재료의 피로수명을 현저하게 저하시킨다고 알려져 있다. 이러한 현상은 미끄럼 진폭의 크기 및 마모현상 등에 있어서 일반적인 마모 현상과는 구별되며, 접촉부의 마모손상을 연구하는 프레팅

마모(fretting wear) 분야와 재료의 피로강도를 대상으로 하는 프레팅 피로(fretting fatigue) 분야로 나누어진다.<sup>(1)</sup>

기계 및 구조물 파손사고의 대부분을 차지하는 피로손상에 관련한 연구는 다양한 하중 및 환경적 요소에 있어서 많은 연구가 수행되어져 왔다.

그러나 접촉부의 결합상태, 하중상태 및 마모현상에 기인하는 프레팅 피로강도 분야는 영향인자가 많고 실험의 수행에 어려움이 있어 실기를 모사한 시험이 주로 이루어지고 있는 실정이다.

프레팅 피로손상에 의하여 접촉부에서 발생하는 초기균열이 일반피로(plain fatigue) 수명에 비하여 매우 이른 단계에서 발생하며, 접촉부에서 균열이 발생하기 때문에 균열의 초기검출이 어렵다는 점은 프레팅 피로손상 연구의 중요성을 시사한다고 할 수 있다.<sup>(2)</sup> 또한, 재료의 일반 피로

† 책임저자, 회원, 영남대학교 기계공학부

E-mail : stkim@yu.ac.kr

TEL : (053)810-2456 FAX : (053)810-4627

\* 회원, 경일대학교 기계자동차학과

\*\* 영남대학교 대학원(현 신라공업)

\*\*\* 회원, 한국항공우주산업주식회사

수명에 비하여 프레팅 손상에 기인하는 수명감소율이 약 50% 이상 감소한다는 사실은 설계단계에서 접촉부 프레팅 손상을 심각하게 고려해야 함을 의미한다.<sup>(3)</sup>

알루미늄 합금(aluminum alloy)은 가볍고 강도가 우수하여 산업전반에서 널리 사용되고 있으며, 특히 항공 산업에 있어서는 이러한 장점 때문에 재료개발을 선도하여 왔다.<sup>(4)</sup> 항공기 구조재료로 사용되는 알루미늄 합금에 대한 다양한 환경에서의 강도특성들이 첨단 재료개발과 더불어 많이 연구되어 오고 있으며, 프레팅 손상 및 피로강도 분야도 많은 연구가 수행되어 왔다.<sup>(5,6)</sup> 그러나 항공기제조 산업의 초기단계에 있는 국내에서는 설계단계에 필요한 실험적 데이터가 거의 전무한 실정이며, 설계 및 제조능력 확보차원에서 시급히 해결되어야 할 것이다.

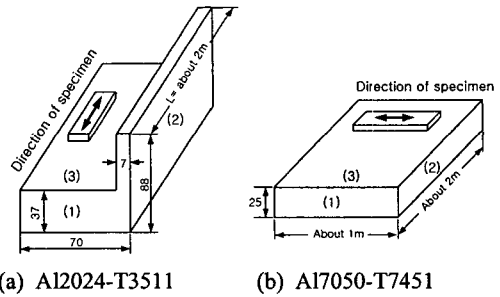
본 연구에 있어서는 항공기 구조재료로 널리 이용되고 있는 알루미늄 합금 Al2024, Al7050의 프레팅 피로손상에 의한 수명감소를 평가하였으며, 초기균열 발생수명(균열길이 0.5mm)도 평가하였다.

## 2. 시험 재료

프레팅 손상에 의한 피로수명 감소를 평가하기 위하여 사용된 재료는 항공기 제조분야를 위시하여 산업전반에서 폭넓게 사용되고 있는, Al-Cu계 알루미늄 합금 Al2024-T3511 및 Al-Zn계 합금 Al7050-T7451이며, 소재는 시판되는 형강 및 판재이다. 또한 프레팅 피로시험 시의 접촉 패드(contact pad)로 사용된 스테인리스 강 AISI4030은 직경 50mm의 환봉이며, 각 재료의 화학적 성분은 Table 1 ~ Table 3에 제시하였다.

Fig. 1은 입수한 소재의 개략적인 형상과 인장 및 피로시험편 채취방향을 나타내었다.

Table 4에는 각 재료의 비커스(Vickers) 경도시험 결과를 나타내고 있으며, Table 5에는 인장강도를 제시하고 있다. 인장시험 결과에 있어서, 상대적으로 강하다고 알려져 있는 Al7050이 Al2024보다 적은 강도 값을 보이는 것은, Fig. 1의 시험편 채취방향 및 Fig. 2에 나타낸 조직사진에서도 알 수 있는 것과 같이 시험편 방향이 Al2024은 조직의 길이방향과 일치하기 때문으로 추측된다.



(a) Al2024-T3511 (b) Al7050-T7451

Fig. 1 Machining direction of fatigue specimen and inspection of microstructure

Table 1 Chemical composition of Al2024-T3511 aluminum alloy(wt.%)

Cu	Zn	Mg	Fe	Si	Cr	Ti
3.8 ~4.9	0.25	1.2 ~1.8	0.5	0.5	0.1	0.15

Table 2 Chemical composition of Al7050-T7451 aluminum alloy(wt.%)

Zn	Cu	Mg	Fe	Si	Mn	Zr	Ti
5.7 ~6.7	2.0 ~2.6	1.9 ~2.6	0.15	0.12	0.10	0.08 ~0.05	0.06

Table 3 Chemical composition of AISI4030 stainless steel(wt.%)

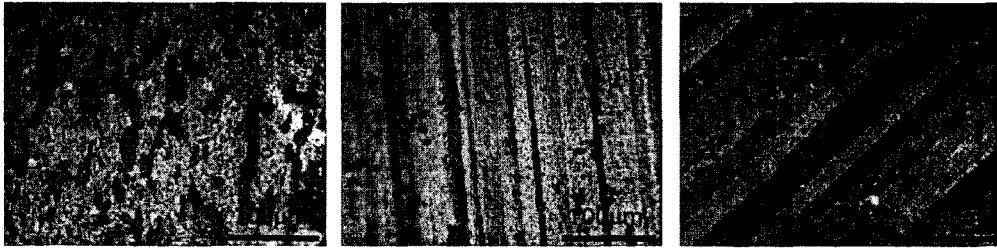
Cr	Mn	Si	C	P	S
12.3	1.0	0.5	0.15	0.04	0.03

Table 4 Micro-Vickers hardness test results

Material	Al2024-T3511	Al7050-T7451	AISI4030
V-hardness	158	164	238

Table 5 Mechanical properties of aluminum alloy

Material	Tensile strength(MPa)	Yield strength(MPa)	Elongation (%)
Al2024-T3511	563	443	9.6
Al7050-T7451	529	468	10.4



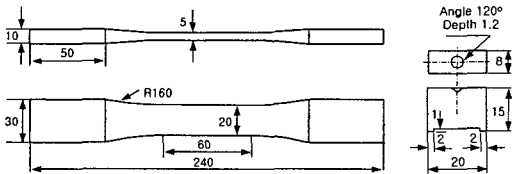
(a) Surface (1) in Fig. 1(a) (b) Surface (2) in Fig. 1(a) (c) Surface (3) in Fig. 1(a)

Fig. 2 Optical micrographs of Al2024-T3511 aluminum alloy



(a) Surface (1) in Fig. 1(b) (b) Surface (2) in Fig. 1(b) (c) Surface (3) in Fig. 1(b)

Fig. 3 Optical micrographs of Al7050-T7451 aluminum alloy



(a) Fatigue test specimen (b) Contact pad

Fig. 4 Shape and dimensions of fretting fatigue test specimen and contact pad

### 3. 프레팅 피로시험

#### 3.1 피로 시험편 및 접촉 패드

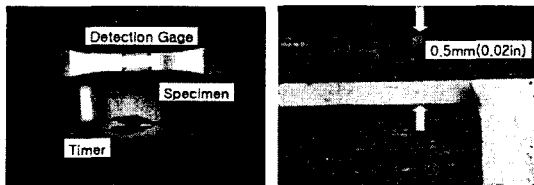
Fig. 2 및 Fig. 3에는 재료의 조직사진을 제시하였다. 두 재료 모두 가공영향에 기인하는 조직의 방향성이 발생하고 있었으며, Al2024가 다소 강한 방향성을 띠고 있었다. 또한 강화제로 작용한다고 알려져 있는 미세한 석출물들이 조직 내에 고르게 분포하고 있었다.

본 시험에 사용된 시험편과 패드의 형상 및 치수는 Fig. 4에 나타내었다.

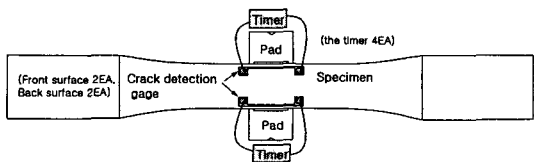
앞에서 설명한 2종류의 알루미늄 합금 소재로부터 ASTM E 466<sup>(7)</sup> 피로시험편 규격 및 JSME S 015<sup>(8)</sup> 프레팅 피로시험 방법에 준거하여 와이어 컷팅(wire cutting)으로 폭 20mm, 평행부 60mm, 두께 5mm의 시험편을 채취하였다.

일반 피로시험 및 프레팅 피로시험에 사용된 시험편은 동일한 치수와 형태를 사용하였으며, 시험편 표면은 #400~2000까지 에머리 페이퍼(emery paper)로 연마한 후, 산화 알루미늄( $Al_2O_3$ ) 파우더를 이용, 마무리 연마를 함으로써 표면 거칠기에 의한 영향을 최소화하였다.

프레팅 피로에 있어서는 접촉부의 응력상태 및



(a) Crack detection gage (b) Magnification View



(c) Schematic view of the crack detection gage

Fig. 5 Photographs of specimen, crack detection gage and timer

마모손상 때문에 일반 피로에 비하여 이른 단계에서 균열이 발생한다고 알려져 있다.<sup>(9)</sup> 이러한 관점에서 프레팅 피로의 초기균열 발생수명의 검토가 필요하다고 판단되어 본 연구에서는 시판되는 균열검출 게이지(crack detection gage)를 사용하여 약 0.5mm 피로균열 수명을 검출하였다.

Fig. 5(a)는 균열검출 게이지를 부착시키고 타이어에 연결한 상태를 보여주고 있으며, (b)는 접촉부 측면 표면 부에 2개의 접착된 균열 검출 게이지를 확대 관찰한 것이다. (c)는 모식적으로 나타낸 것으로 검출 게이지는 한쪽 측면에 2개씩 4개의 게이지를 1개의 시험편에 부착하였다.

또한 접촉 패드는, JSME S 015에 준거하여, Al2024와 스테인리스 강 AISI4030 2종류의 재료로 Fig. 4와 같이 접촉면을 대칭형으로 배치하여 안정된 접촉상태에서 실험 가능한 브릿지 패드(bridge pad)를 가공하여 사용하였다. 시험편과 동일하게 브릿지 패드 평행 부는 표면 거칠기 효과를 최소화하기 위하여 #2000까지 에머리 페이퍼를 이용하여 단계적으로 연마 후 최종적으로 산화 알루미늄이나 파우더를 이용하여 마무리 연마를 하였고, 시험 직전에 아세톤으로 세척 후 실험에 임하였다.

### 3.2 프레팅 피로시험 장치 및 시험방법

프레팅 피로 시험장치의 상세원리 및 보정 등에 관하여는 이미 발표된 문헌이 있기에 여기서는 장치구성의 개략적인 것만 제시하였다.<sup>(10)</sup> 프레팅 피로시험 장치는 Fig. 3에서 나타낸 것과 같이 시험편과 얽은 로드 셀(load cell)에 위치한 척(chuck)에서 동시에 잡는 방법을 채택하였다.

프레팅 조건을 조성하기 위하여 프루빙 링(proving ring)의 볼트를 조임으로서 패드에 90MPa의 일정한 접촉면압(contact pressure)을 부가하고, 프루빙 링에서 나오는 신호는 스트레인 인디케이터(strain indicator)를 통하여 출력하였다. 이 면압 값은 항공기 동체구조물 내의 볼트 체결에 의하여 발생하는 면압 레벨(level)로 알려져 있다. 사용된 피로시험기는 Instron사의 유압서보 피로 시험기(hydraulic-servo fatigue test machine : Model 1332)로 최대용량은 25ton이며, 시험조건은 응력비 R=0.1, 주파수 5Hz로 정현파형(sine wave)의 인장-인장 하중형태를 채택하였고 상온(습도 50±5%)에서 행하였다.

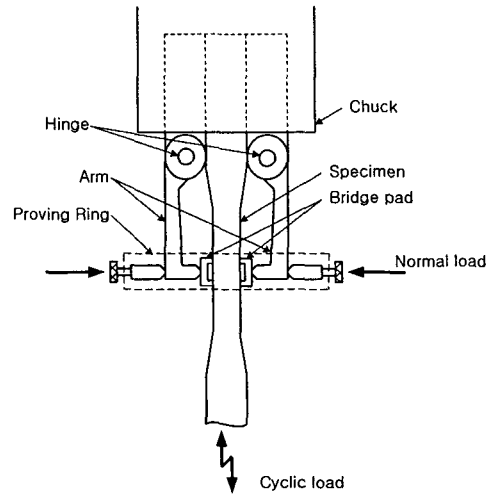


Fig. 6 Schematic of the fretting fatigue test apparatus

## 4. 시험 결과

### 4.1 일반 피로수명 및 프레팅 피로수명 평가

프레팅 피로손상에 의한 수명 감소를 평가하기 위하여 접촉패드로 AISI4030을 사용하여 Al2024와 Al7050 각각에 대해 프레팅 피로를 받은 경우와 받지 않은 경우의 S-N<sub>F</sub>관계를 최대응력( $\sigma_{max}$ )과 파단 사이클과의 관계로 Fig. 7에 나타내었으며, 프레팅 손상에 의한 초기균열 발생특성을 파악하기 위하여 표면 균열길이 약 a=0.5mm 성장시의 사이클 N<sub>0.5mm</sub>을 병기하여 나타내었다.

또한 파단수명 N<sub>F</sub>에 대한 초기균열의 발생수명 N<sub>0.5mm</sub>의 비를 백분율로 계산하여 Table 6에 제시하였다. Al2024와 Al7050의 일반 피로한도(plain fatigue limit)는, 보다 많은 데이터에 의한 엄밀한 비교가 필요하겠으나, 본 실험결과에 있어서는 10<sup>7</sup>사이클(cycle)을 기준으로 하여, Al7050이 대략 200MPa로서 Al2024의 220MPa에 비하여 다소 낮은 것으로 나타났다. 이것은 인장강도의 영향도 있겠지만 조직관찰에서도 보았듯이 Al7050 시험편이 압연성형에 의하여 제작되었으며, 시험편 가공방향 또한 압연방향에 수직하게 제작되어 좀 더 쉽게 파단 되었다고 생각되어진다.

프레팅 피로를 받은 Al2024의 피로한도는 10<sup>7</sup> 사이클(cycle)을 기준하였을 때, 90MPa 정도로 일반 피로한도에 비하여 약 59% 감소하였다. 그리고 Al7050에 있어서는 프레팅 피로한도가 50MPa

로 일반 피로시험에 비하여 75% 정도 감소하여 AI2024보다 프레팅에 의한 수명감소율이 크게 나타났다. 결과적으로 AI7050의 프레팅 피로한도가 AI2024의 프레팅 피로한도에 비하여 약 44% 낮았다.

두 재료 모두 프레팅 피로에 의한 수명감소율이 일반피로보다 50%이상 감소하는 결과를 보았을 때 프레팅 피로에 의한 수명감소를 설계단계에서 심각하게 고려할 필요성이 있음을 시사하고 있다고 판단되어진다. 특히, AI7050의 경우는 압연방향의 수직 방향으로 시험편을 가공한 경우이기 때문에 가장 취약한 상태에서 시험을 수행한 경우이며, 향후 가공방향에 따른 프레팅 손상 정도를 검토 할 필요가 있다고 판단된다.

두 재료 모두에 있어서 저 하중에 비하여 고 하중에서 보다 이른 단계에서 초기균열(a=0.5 mm)이 생성됨을 알 수 있었다.

또한, 평가된 값들은 전 시험편에서 동일한 경향을 가지지는 않으나, 고 하중일 때에는 AI2024

와 AI7050의 초기균열생성 수명 비가 비슷한 경향을 보인 반면, 저 하중으로 내려갈수록 AI2024이 AI7050보다 늦게 발생하는 경향이 있었다. 이것은 앞서 S-N<sub>F</sub> 관계에서 설명한 것과 같이 AI7050의 압연방향에 따른 재료 조직학상의 영향이 작용하고 있다고 추정되어진다.

Table 6 및 Fig. 7로부터 프레팅 피로에서의 수명이 일반피로의 경우보다 조기의 초기균열 발생으로 감소됨을 알 수 있다. 또한 AI2024과 AI7050 시험편에 AISI4030 패드를 사용하여 프레팅 피로시험을 수행한 결과에 있어서는 프레팅에 의한 피로한도의 감소가 AI7050이 다소 크다는 것을 알 수 있었다.

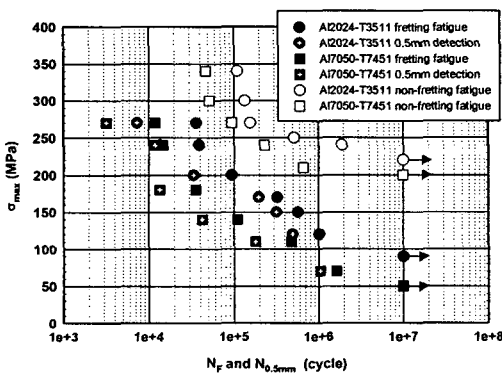
프레팅 피로수명에 미치는 접촉패드 재료종류의 영향을 검토하기 위하여 AI7050의 시험편에 AI2024 패드를 사용하여 동일한 하중 및 조건으로 프레팅 피로시험을 수행하였다. Fig. 8은 AI7050 시험편에 AI2024 및 AISI4030 패드를 사용하여 얻은 S-N<sub>F</sub> 관계, 초기균열 발생수명 S-N<sub>0.5mm</sub>

**Table 6** The ratio of early crack(a=0.5mm) life to final fracture life (Pad: AISI4030)

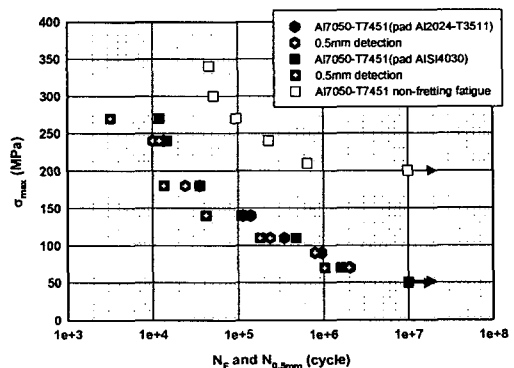
AI2024-T3511		AI7050-T7451	
$\sigma_{max}$ (MPa)	(N <sub>0.5mm</sub> /N <sub>F</sub> )100 (%)	$\sigma_{max}$ (MPa)	(N <sub>0.5mm</sub> /N <sub>F</sub> )100 (%)
270	20.5	270	26.6
240	35.2	240	81.5
200	35.5	180	38.0
170	60.4	140	38.5
150	55.6	110	37.8
120	48.7	70	64.6

**Table 7** The ratio of early crack(a=0.5mm) life to final fracture life for AI7050-T7451 alloy

Pad: AISI4030		Pad: AI2024-T3511	
$\sigma_{max}$ (MPa)	(N <sub>0.5mm</sub> /N <sub>F</sub> )100 (%)	$\sigma_{max}$ (MPa)	(N <sub>0.5mm</sub> /N <sub>F</sub> )100 (%)
270	26.6	240	73.9
240	81.5	180	67.7
180	38.0	140	81.1
140	38.5	110	68.3
110	37.8	90	83.9
70	64.6	70	97.8



**Fig. 7** Results of plain and fretting fatigue test (Pad: AISI4030)



**Fig. 8** Relationship between final fracture life and a=0.5mm early crack life for AI7050-T7451 alloy

관계 및 일반피로시험 결과를 병기하여 나타내었다. 또한 전 파단수명  $N_F$ 에 대한 초기균열의 발생수명  $N_{0.5mm}$ 의 비를 백분율로 계산하여 Table 7에 제시하였다.

패드가 AI2024일 경우가 AISI4030일 경우에 비하여 프레팅 손상에 의한 초기균열이 상당히 늦게 발생하여 파단에 이른 것으로 나타났다.

그러나 Fig. 7에 나타낸 것처럼 AISI4030 및 AI2024 두 종류의 패드를 사용하여 프레팅 피로시험을 수행하였지만, 최종 파단 사이클은 큰 차이 없이 비슷하였다. 단지, Table 7에 나타낸 것처럼 초기균열의 생성시기만 차이를 보일 뿐이었다. 이러한 결과는 접촉패드 재료의 종류에 따른 프레팅 피로거동의 차이를 보여주는 좋은 결과라고 할 수 있다.<sup>(11,12)</sup>

단정하기는 이르지만, 접촉재료에 따라 마모분(debris)의 성분이 다르게 되고, 마찰력의 차이를 유발하여 초기균열의 발생에도 영향을 미치는 것으로 추정되어진다.

#### 4.2 접촉표면 및 파면관찰

시험편 표면의 패드 접촉부를 광학 현미경으로 촬영하여 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9(a) 및 (b)는 AISI4030 패드를 사용한 AI2024 시험편이며, (c) 및 (d)는 AI7050이다. 또한 (e) 및 (f)는 AI2024 패드를 사용한 AI7050의 접촉부이다. 모든 시험편의 접촉면상에는 마모분(debris)이 손상된 표면에 부착되어져 있었으며, 균열은 접촉부 끝에서 발생하여 최종 파단에 이르고 있었다.

일반적으로 대기 중 실온에서의 프레팅 피로시험에 있어서는 접촉면압 크기, 반복하중 크기, 마찰력 크기 및 하중 반복횟수의 증가와 함께 접촉부의 손상정도가 증가한다고 알려져 있으며, 접촉재의 종류에도 의존한다고 알려져 있다<sup>(13)</sup>.

본 연구결과에 있어서도 반복하중 크기에 의존하여 접촉부 손상정도가 비교적 명료한 차이를 보이고 있었으며, 동일하중 및 동일면압 하에서는 마찰력이 큰 패드 재료일 경우가 손상이 심하였다. 즉 AI7050 시험편에 AISI4030 패드를 사용했을 경우가 AI2024 패드를 사용했을 경우보다 다소 마찰력이 증가하였으며, 접촉부 표면의 손상도 심하게 발생하였다.

Fig. 10는 AISI4030 패드를 사용한 AI2024 시험편 파면을 SEM으로 관찰한 결과이며, Fig. 11은

AISI4030 패드를 사용한 AI7050 시험편의 관찰결과이다. 또한 Fig. 12는 AI2024 패드를 사용한 AI7050 시험편의 파면관찰 결과를 나타내고 있다. 각 사진 내에 표시한 기호는 확대 관찰하여 제시한 사진의 기호를 나타내고 있다.

모든 시험편의 초기 경사균열(oblique crack)<sup>(14)</sup> 영역에 해당하는 파면은 심하게 손상되어있었으며, Fig. 10(e), Fig. 11(b) 및 Fig. 12(b)에 제시하는 것과 같은 타이어 트랙(tire track)<sup>(15)</sup> 또는 이와 유사한 손상 흔적들이 광범위하게 남아있었다.

이러한 손상은 접촉면압에 의하여 초기 경사균열부에서 발생하는 균열 닫힘현상(crack closure effect)에 기인하여 발생하는 상하파면의 반복적 접촉결과로 추정된다. 또한 Fig. 10(b) 및 (d)와 같이 경사균열 영역에 해당하는 파면에서는 상하파면의 반복적 접촉에 의한 프레팅 작용으로 인하여 생성되었다고 생각되는 마모분(debris)이 국

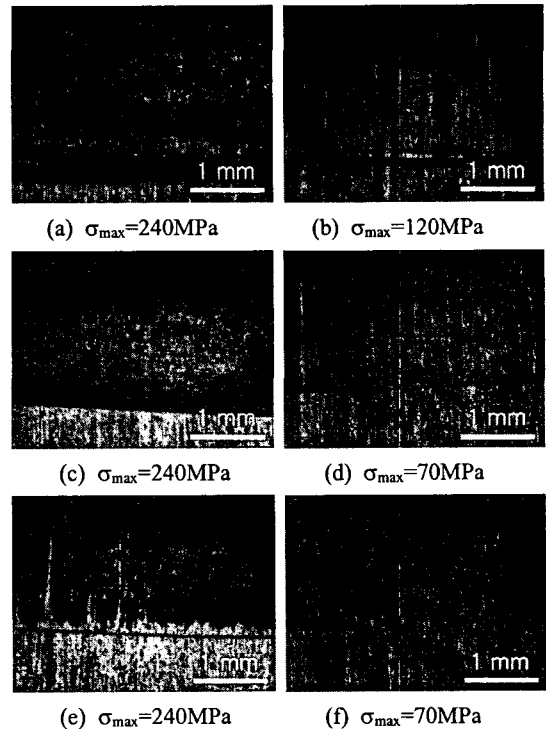


Fig. 9 Optical micrographs of contact surface damaged by fretting fatigue[(a), (b): specimen AI2024-pad AISI4030, (c), (d): specimen AI7050-pad AISI4030, (e), (f): specimen AI7050, pad AI2024]

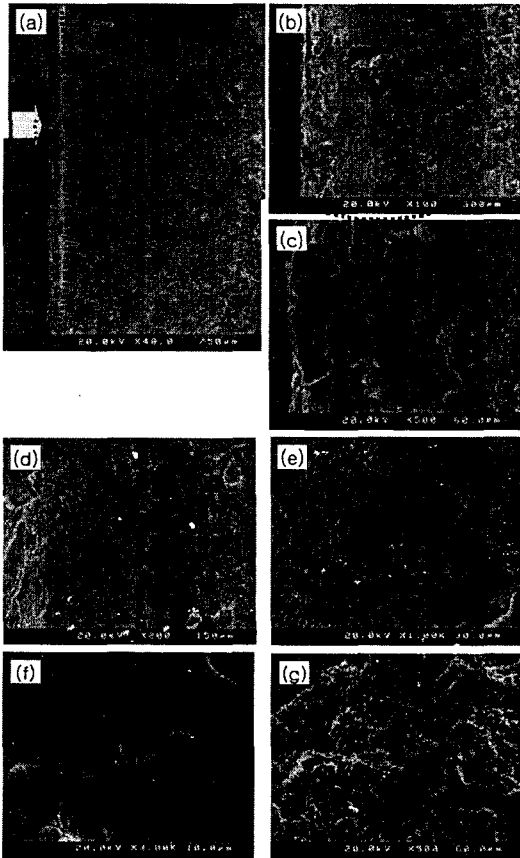


Fig. 10 SEM micrographs of fracture surface for Al2024-T3511(pad: AISI4030,  $\sigma_{max}$ =200MPa)

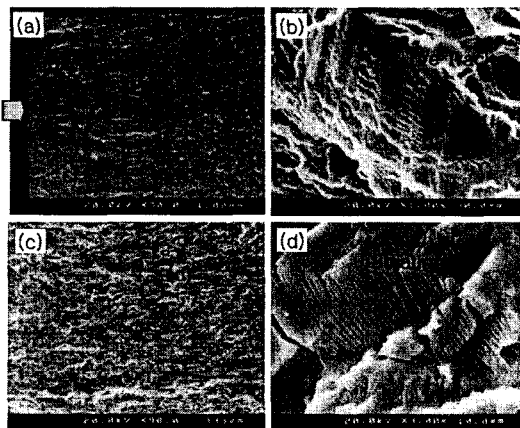


Fig. 11 SEM micrographs of fracture surface for Al17050-T7451(pad: AISI4030,  $\sigma_{max}$ =270MPa)

부적으로 잔류하고 있었으며, 일부는 표면 접촉 부에서 생성되어 파면으로 유입된 것도 혼재하고

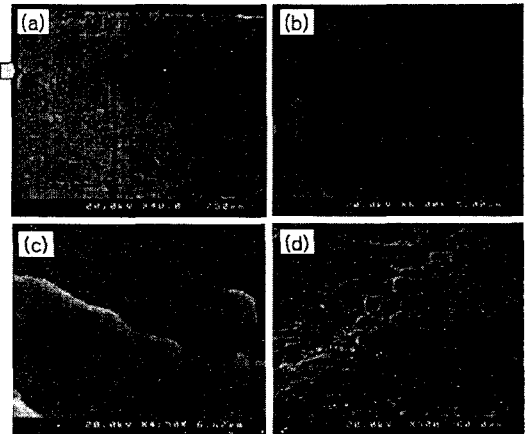


Fig. 12 SEM micrographs of fracture surface for Al17050-T7451(pad: Al2024-T3511,  $\sigma_{max}$ =240MPa)

있으리라 판단된다.

본 연구에서 얻어진 거의 모든 파면에 있어서 경사균열 부 파면영역을 형성하는 Mode II 영역과 Mode II+I 영역의 구분은 명확하게 구분되지 않았다<sup>(16)</sup>. 그러나 Fig. 10~Fig. 12의 (a)에 나타내는 것과 같이 대략적이기는 하지만 마모손상 흔적의 유무 및 타이어 트랙의 유무로서 구분 가능한 경우도 있었다.

모든 종류의 시험편의 파면은 반복하중이 증가하면 초기 경사균열 부의 마모손상 영역이 넓어지고, 손상정도도 심해지는 경향이 있었으며, 타이어 트랙 등도 광범위한 영역에서 관찰되었다.

또한 경사 균열부에서 벗어나 일반 피로에 의하여 형성되어진 파면영역(Mode I region)에서는 Fig. 10(f), Fig. 11(d) 및 Fig. 12(c)와 같이 반복하중 사이클에 대응한다고 알려져 있는 스트라이에이션(striation)이 광범위하게 형성되어 있었다.

그리고 정적인 파괴가 발생한 최종 파단영역에는 Fig. 10(g) 및 Fig. 12(d)에 나타내는 것과 같은 덤플(dimple)이 형성되어 있었다. 그러나 전형적인 등축덤플(equiaxed dimple)의 형상을 보여주는 Al2024 시험편과는 다르게 Al17050 시험편에서는 다소 방향성을 가지는 덤플이 형성되어 있었다<sup>(17)</sup>. 이것은 Al17050 시험편을 압연 판에서 채취하여 사용한 결과라고 추정된다.

## 5. 결론

본 연구는 항공기 구조재료 등으로 널리 이용

되고 있는 알루미늄 합금 A12024-T3511 및 A17050-T7451의 프레팅 피로손상에 의한 수명감소를 평가하였다. 초기균열 발생수명(균열길이 0.5mm), 접촉부의 손상 및 파면형상도 검토되었으며 다음의 결과를 얻었다.

(1) 일반피로 한도에 대한 프레팅 피로한도의 감소는  $10^7$  cycle 기준으로, A12024-T3511은 약 59%, A17050-T7451은 약 75% 감소하였다.

(2) A17050-T7451의 경우 서로 다른 접촉패드 재료(AISI4030, A12024-T3511) 사용에 의한 파단 수명 차이는 미소하였으나 AISI4030 패드를 사용한 경우가 상대적으로 이른 단계에서 초기균열이 발생하였다.

(3) 프레팅 피로에 있어서는 모든 시험편에서 경사균열이 발생하였으며, 이 영역의 파면은 상하 파면의 접촉에 의한 손상 및 마모분의 발생과 함께 타이어 트랙이 광범위하게 관찰되었다.

(4) 패드 접촉부의 시험편 표면은 프레팅에 의한 마모손상이 관찰되었으며, 접촉부 경계영역에서는 스텝이 형성되어 있었다. 또한 균열발생은 접촉부 끝에서 발생하여 최종 파단에 이르고 있었다.

## 후 기

본 연구는 한국항공우주산업 주식회사(KAI)의 지원을 받아서 수행되었으며 이에 관계자 여러분에게 심심한 감사의 말씀을 올립니다.

## 참고문헌

- (1) Waterhouse, R. B., 1972, *FRETTING CORROSION*, Pergamon Press, pp. 106~159.
- (2) Endo, K., 1981, "Practical Observations of Initiation and Propagation of Fretting Fatigue Cracks," in *FRETTING FATIGUE*, edited by Waterhouse, R. B., Applied Science Publishers LTD., pp. 127~141.
- (3) Waterhouse, R. B., 1972, *FRETTING CORROSION*, Pergamon Press, pp. 197~231.
- (4) Totten, George E. and MacKenzie, D. Scott, 2003, *Handbook of Aluminum-Vol.1*, Marcel Dekker Inc., pp. 1~32.
- (5) Sato, K., Fujii, H. and Kodama, S., 1985, "Fretting-Fatigue Crack Propagation Behavior of A2024-T3 Aluminum Alloy," *Trans. of the JSMS(Zairyo)*, Vol. 34, No. 384, pp. 74~79.
- (6) Saeed, A., 1991, *Investigation of Fretting Fatigue Mechanisms on 7075-T6 Aluminum and Ti-6Al-4V Titanium Alloy*, Thesis, The University of Utah.
- (7) ASTM, "Conducting Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials," ASTM E 466 82, pp. 470~474.
- (8) JSME, 2002, *Standard Method of Fretting Fatigue Testing*, JSME S 015, pp. 1~6.
- (9) Mutoh, Y., 1995, "Mechanisms of Fretting Fatigue," *JSME International Journal(A)*, Vol. 38, No. 4, pp. 405~415.
- (10) Kwon, J. D., Sung, S. S. and Choi, S. J., 2001. "A Study on Material Degradation and Fretting Fatigue Behavior," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 25, No. 8, pp. 1287~1293.
- (11) Nagata, K. and Fukuhara J., 1992. "Effect of Contact Materials on Fretting Fatigue Strength of 3.5Ni-Cr-Mo-V Rotor Steel and Life-Prediction Method," *Trans. of the JSME(A)*, Vol. 58, No. 553, pp. 1561~1568.
- (12) K. Tanaka, Y. Mutoh and S. Sakoda, "Effect of Contact Materials on Fretting Fatigue in a Spring Steel," *Trans. of the JSME(A)*, Vol. 51, No. 464, pp. 1200~1207.
- (13) Waterhouse, R. B., 1972, *FRETTING CORROSION*, Pergamon Press, pp. 155~161.
- (14) Waterhouse, R. B., 1981, "Theories of Fretting Process," in *FRETTING FATIGUE*, edited by Waterhouse, R. B., Applied Science Publishers LTD., pp. 203~219.
- (15) Koterazawa, R., 1981, *Application of Fractography*, Nikankouyosinbunsha, p. 52.
- (16) JSMS, 2000, *Fractography: Analysis of Fracture Surface and Failure Information*, Maruzen, pp. 167~169.
- (17) Koterazawa, R., 1981, *Application of Fractography*, Nikankouyosinbunsha, p. 31.