

# Al 5083-O재에 있어서 $K_{III}$ 모드 4점 전단 하에서의 피로파단면 무늬와 피로균열진전거동의 관계

김건호<sup>+</sup>, 원영준<sup>++</sup>, 케이코 사카쿠라<sup>+++</sup>, 타케히로 후지모토<sup>++++</sup>, 토시히사 니시오카<sup>++++</sup>

## Relationship between Pattern of Fatigue Crack Surface and Fatigue Crack Growth Behavior under $K_{III}$ Mode-Four Point Shear in Al 5083-O

Gun-ho Kim<sup>+</sup>, Young-jun Won<sup>++</sup>, Keigo Sakakura<sup>+++</sup>, Takehiro Fujimoto<sup>++++</sup> Toshihisa Nishioka<sup>++++</sup>

**Abstract :** Generally almost all fatigue crack growth is affected by mode I. For this reason a study on mode I has concentrated in the field of fracture mechanics. However the fatigue crack initiation and growth in machines and structures usually occur in mixed mode loading. If there is any relationship between the cause of fracture in mixed mode loading and fracture surface, fracture surface pattern will be the main mean explaining reasons of fatigue fracture and obtaining further information about fracture process. In this paper four point shear-fatigue test with Aluminum alloy Al 5083-O is carried out from this prospect and then the mixed mode distribution of fracture surface is examined from the result after identifying the generation of fatigue crack surface pattern. It was found from the experimental results that the fatigue crack surface pattern and the fatigue crack shear direction are remarkably consistent. Furthermore It is possible that the analysis of distribution of mixed mode through the fatigue crack surface pattern.

**Key words :** Fatigue crack growth behavior(피로균열진전거동); Fatigue crack surface pattern(피로균열표면무늬); Mixed mode distribution(혼합모드 분포)

### 1. 서론

피로하중을 받는 부재 가운데 모드 I 또는 모드 II의 3차원 연구는 지금까지 많은 연구가 있으며 복잡한 형태의 혼합모드 하에서 새로운 균열진전 거동은 더욱 활발히 연구되고 있다.

피로파괴과정에서 파단면에 남겨진 무늬와 상관관계가 존재한다면, 사고의 원인규명에 대해서 유익한 도구가 될 것이다.

이러한 관점에서 본 연구는 알루미늄 합금 5083-O재에 대해  $K_{III}$  모드 4점지지 전단하중 하에서의 양진(tension-compression)과 편진(compression-compression)의 피로시험으로, 피로균열진전거동 특성을 해석하고, 피로파단면의 무늬를 중심으로 혼합모드( $K_{II}+K_{III}$ ) 분포 특성에 대하여 분석 확인하였다.

### 2. 시험편 및 실험 방법

#### 2.1 시험편

본 시험재료는 Al 5083-O로서, 우주항공의 구조물, LNG선의 탱크 등 사용범위가 넓다. 시험편은 와이어 커터로 14mm의 노치를 넣은 다음 3점지지  $K_I$  모드 굽힘피로로 예비균열 1mm를 넣은 15mm의 직선관통에지균열을 갖도록 가공하였다.

#### 2.2 실험방법

실험은 Fig. 1와 같이 하였으며 시험조건은 Table 1과 같다.

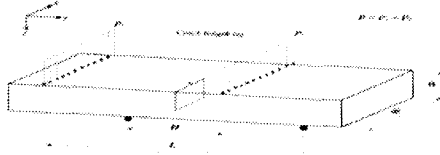


Fig. 1 Illustration of four points shear loading test for  $K_{III}$  mode

Table 1 Experimental conditions

Test method	Load (N)	Cycle (Hz)	Stress ratio (R)
Ten.-Comp.	7000	5	-1
Comp.-Comp.	12000	5	0

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 피로균열 진전거동

Fig. 2에서 보는 바와 같이 균열이 3~4mm 진전한 후에는 균열의 방향이 약 45° 방향으로 급속진전하여 경사진 파면을 보였다. 이러한 현상은  $F_{III}$ 의 전단력에 의한 굽힘 모멘트, 비틀림 모멘트 및 미소한 지그 구속력 등이 복합적인 작용이었다.

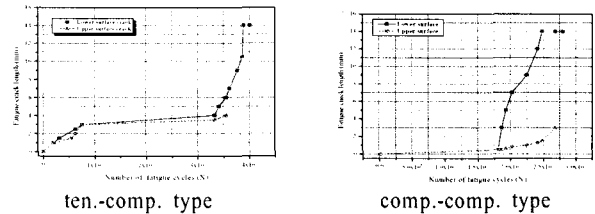


Fig. 3 Relationship between number of fatigue cycles and fatigue crack length

#### 3.2 피로균열 파단면 무늬

전단하중을 받는 경우 균열과 하중이 동일 평면 내에 있으므로 균열은 균열선단에서 최대전단응력이 작용하는 방향으로 발생 진전한다. 이를 Fig. 3 및 4와 같이 SEM으로 확인할 수 있으며 파단면의 무늬(예, 비치마크)를 모식도화 하였다.

+ 김건호(군산대학교 동력기계시스템공학전공), E-mail: ghkim@kunsan.ac.kr, Tel:063)469-1846, Fax:063)469-1846

++ 원영준:일본 고베대학

+++ 케이코 사카쿠라:일본 고베대학

++++ 타케히로 후지모토:일본 고베대학

++++ 토시히사 니시오카:일본 고베대학

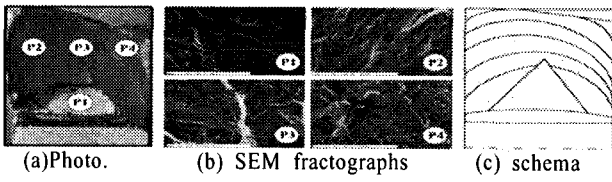


Fig. 3 Fatigue fracture surface in ten.-comp. type

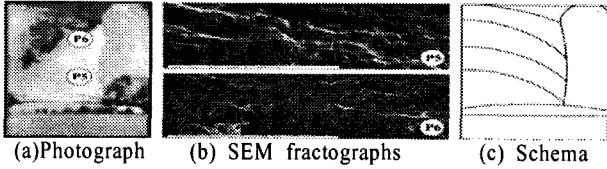


Fig. 4 Fatigue fracture surface in comp.-comp. type

### 3.3 파단면의 무늬에 따른 혼합모드( $F_{II}$ , $F_{III}$ )의 분포

Fig. 5와 같이 최대전단응력이 모식도의 무늬의 접선방향으로 작용함으로써 시험편의 X 및 Z방향으로 각각  $K_{II}$  및  $K_{III}$  모드의 벡터성분이 작용하며 최대전단응력의 값을 단위벡터로 하였을 때 피로파단면에는  $K_{II}$  및  $K_{III}$  모드가 각각 분포하고 있음을 알 수 있다. 이의 값들은 실제의 정량적인 값이 아니므로 이들 값을 각각  $F_{II}$  및  $F_{III}$ 로 표현하였다.

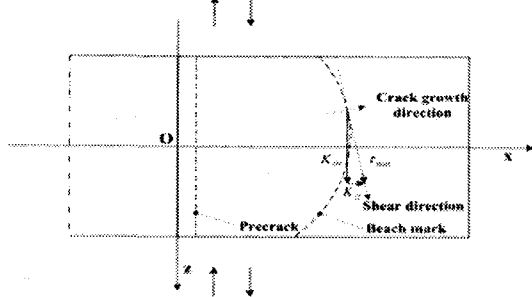


Fig. 5 Mixed mode( $K_{II}$ ,  $K_{III}$ ) of vector component on beach mark line under maximum shear load of  $K_{III}$  mode

#### 3.3.1 양진시험의 혼합모드( $F_{II}$ , $F_{III}$ )의 분포

Fig. 6은 양진하중의 경우로서 피로균열길이 비( $a/W$ ) 0.6 및 0.8의 각각의 위치에서 시험편 중앙으로부터 두께방향으로 무차원식  $2z/B$ 로, 혼합모드  $F_{II}$  및  $F_{III}$ 의 분포를 나타낸 것이다. 그 결과 시험편 중앙에서  $F_{III}$  값이 최대전단응력에 가까운 값을,  $F_{II}$  값은 거의 재료에 가까운 값을 나타내었고 시험편 가장자리에서는 반대의 값을 나타내었다. 본 연구보고는 유한요소법을 이용하여 해석한 기 보고된 연구보고들과 유사한 분포를 나타내고 있다.

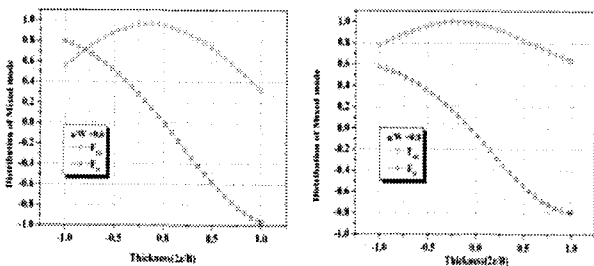


Fig. 6 Distribution of Mixed Mode( $F_{II}$ ,  $F_{III}$ ) at fatigue fracture surface according to fatigue crack growth in ten.-comp. type

#### 3.3.2 편진시험의 혼합모드( $F_{II}$ , $F_{III}$ )의 분포

Fig. 7은 위의 3.3.1과 같은 방법으로 나타낸 것이다. 시험편하면에서  $F_{III}$  값은 최대전단응력에 가까운 최대치를,  $F_{II}$  값은 최소치를 나타내고 있다. 한편 시험편 상면 표면으로 갈수록  $F_{III}$  값은 감소하는 반면  $F_{II}$  값은 증가하는 현상을 나타내고 있다.

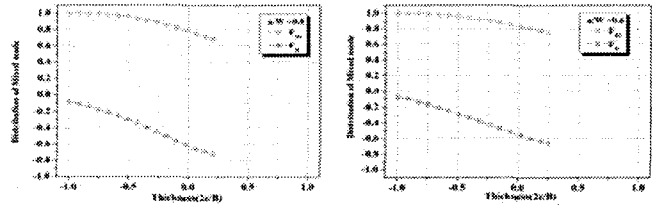


Fig. 7 Distribution of Mixed Mode( $F_{II}$ ,  $F_{III}$ ) at fatigue fracture surface according to fatigue crack growth in comp.-comp. type.

## 4. 결론

피로파괴에서 남겨진 파괴원인과 파괴무늬의 사이에 밀접한 관계가 존재한다면, 피로파괴 사고원인 규명에 유력한 도구가 될 것이다. 이러한 관점에서 본 연구는 피로균열 전진거동과 피로파단면의 무늬의 생성 특성을 분석하고 이를 통해서 혼합모드 ( $F_{II}$ ,  $F_{III}$ ) 분포를 확인하였다.

이의 결과는 다음과 같다.

1. 양진과 편진의 피로균열전진 거동은 모두가 초기에는 극히 저속성장이었으나 후기에는 급속성장이었으며, 피로파단면은 경사면을 형성하였다.
2. 피로파단면의 무늬는 피로균열전단응력방향과 일치한다는 것을 피로파단면으로 확인하였다.
3. 피로파단면의 혼합모드 분포( $F_{II}$ ,  $F_{III}$ )는 피로파단면 무늬에 의해 해석이 가능하였다.

후 기

이 논문은 2004년도 하반기 군산대학교 교수장기해외연수경비의 지원에 의하여 연구되었음

## 참고문헌

- [1] C. Makabe and Darrell F. Socie, "Branching and Propagation Behaviors of Fatigue Crack in Precracked Specimen", Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol. 50, No. 12, pp. 1329-1334, Dec. 2001.
- [2] C. Makabe, D. F. Socie, T. Sueyoshi and T. Uehara, "Mechanism of Shear Mode Fatigue Crack Growth in Pure Aluminium", Trans. of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol. 70, No. 689, pp. 84-92, 2004, 1.

이하 참고문헌 생략