

혼합모드 피로균열의 응력재분배 상태 하의 전파거동

이정무*(고려대 공학기술연구소), 송삼홍(고려대)

주제어 : 혼합모드 I+II 하중(Mixed-mode I+II loading), 응력재분배(Stress re-distribution), 혼합모드비(Mixed-mode ratio), 균열전파각도(Crack Propagation angle)

실제 작용하는 하중상태는 요소의 형상과 작용하중의 복잡성 때문에 혼합모드 하중상태를 나타낸다. 또한 혼합모드 피로균열은 전파과정 동안 부재의 구속형상이나 외부 작용하중의 급격한 변화에 의해서도 영향받게 된다. 이로 인하여 피로균열은 균열선단에서 지속적이면서 급격한 응력재분배의 상태를 경험한다. 그러므로 다양한 응력재분배 상태에서의 혼합모드 피로균열에 대한 고찰이 필요하다. 본 연구에서는 응력재분배상태 하에서 나타나는 혼합모드 피로균열의 전파거동에 대한 특징이 실험적으로 고찰되었다. 응력재분배상태는 단계별로 혼합모드비가 급격하게 변화하는 혼합모드 하중에 의해 형성된 균열선단에서의 응력상태로 정의하였다. 응력재분배의 상태를 조성하기 위하여 동일한 시험편에 여러 혼합모드비의 하중을 작용시키는 것이 가능하도록 수정 단순인장전단시험편과 하중장치를 이용하였다. 균열전파 피로시험은 두 종류의 조건과 각각 두 가지의 전파조건단계에 대하여 상이한 혼합모드비의 하중을 작용시키는 것으로 구성되었다. 1차 단계의 실험에서 혼합모드 I+II 피로균열은 3 mm 전파 후, 2차 단계실험의 다른 혼합모드 I+II 하중 하에서 동일한 길이만큼 전파시키면서 균열의 거동을 비교, 관찰하였다. 실험방법의 도식적 표현은 Fig. 1에 나타낸 것과 같다. 피로균열의 전파속도를 평가하기 위하여 응력확대계수 K_I 과 K_{II} 를 조합한 Tanaka의 유효응력확대계수 K_{eff} 가 도입되었다. 전체 실험 결과에 대한 기본적인 자료인 $a-N$ 선도는 Fig. 2와 같다. 1차와 2차 단계의 실험 모두에서 혼합모드 피로균열의 전파속도는 혼합모드비가 작을수록(하중작용각도 ϕ 가 작은 경우), 모드 I 성분이 클수록 증가하는 것으로 나타났다. 또한 두께가 증가할수록 균열의 전파속도는 증가하였다. $\phi=30^\circ$ 의 경우 2차 단계의 균열전파속도는 1차 단계와 유사하였으나, $\phi=60^\circ$ 의 경우 2차 단계의 균열전파속도는 1차 단계보다 균열증가에 따라 상대적으로 더 빠르게 가속하는 것으로 나타났다. 1차와 2차 단계의 실험에서 균열의 분기전파각도는 모두 하중작용각도와 일치하지 않았다. 또한 두 단계의 실험에서 하중작용각도가 증가하고, 두께가 증가할수록 ϕ 와 균열전파경로와의 차이는 증가하였다. 특히, 두께가 증가할수록 2차 단계실험에서의 균열분기전파각도는 하중작용각도와 보다 큰 차이를 나타내었다. 측정된 분기전파각도에 대한 예측각도의 비교결과는 두 단계에서 대체적으로 10% 내의 양호한 일치를 보였다. 하지만 두께 6 mm, $\phi=30^\circ$ 의 경우는 두 단계 모두에서 예측결과와 상대적으로 큰 차이를 보였다. 그러나, 다 단계로 변화하는 하중 하에서 혼합모드 피로균열의 전파방향은 전파한 균열의 경로에 관계없이 작용 하중과 최종 균열선단의 위치관계에 의해 예측할 수 있음을 확인하였다.

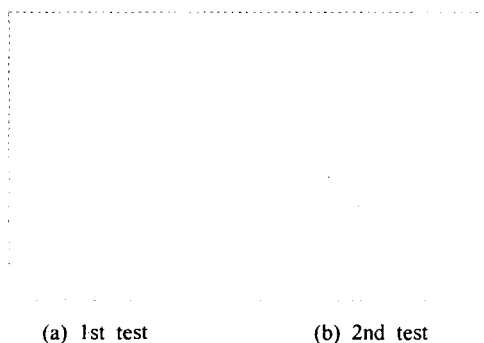


Fig. 1 Schematics of the experimental procedure for stress re-distribution condition

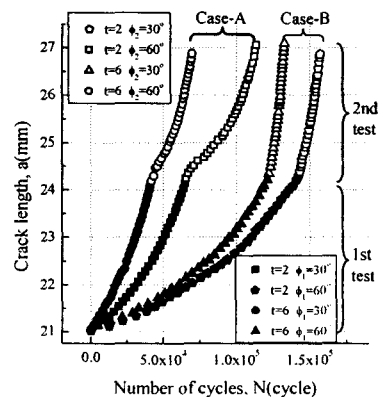


Fig. 2 a-N curves in each case