한국소음진동공학회 2014년 춘계학술대회논문집, pp. 240~241

블레이드 소재 고주기피로특성 분석을 위한 공진형 가진 시험

Resonant HCF Testing for Determination of Fatigue Strength

이두영†·김범수*·김연환*·조철환*·구재량*

Dooyoung Lee, Beomsoo Kim, Yeonhwan Kim, Chealhwan Cho and Jaeryang Goo

1. 서 론

고주기피로는 가스터빈 블레이드의 파손을 일으키는 주요 손상 기구 중 하나이다. 소재의 피로수명을 효율적으로 측정하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 일반적으로 수행되는 시험편의 인장, 압축에 의한 피로시험법에 비해 진동 가진기(electo-dynamic exciter)를 이용한 공진형 가진 시험은 시간적, 경제적으로 유리하며, 외팔보 형태를 갖는 시편의 일단을 가진기의 진동부에 고정하고, 시편의 특정 고유모드의 진동수로 가진하여 공진시킴으로써 관성력에 의한 주기적 굽힘하중을 가하여 균열을 발생시키는 방법이다. 소재가 10^6 또는 10^7 cycle과 같이 일정 수명까지 견딜 수 있는 피로강도의 측정은 균열 손상 발생시까지 단계별 하중을 증가시키는 계단형 응력 가속시험법을 적용한다.

본 시험의 목적은 블레이드 소재인 CL247LC 일방향응고 주조품에 대한 공진형 가진 시험을 통해 일정 수명에서의 소재의 피로강도를 측정하는 것으로, 시편 형상 설계 및 제작, 측정, 유한요소해석, 데이터 분석 등을 포함한 시험 전반에 대한 절차 및 방법을 기술하였다.

2. 공진형 가진 시험

2.1 피로 시험 시편 및 측정

공진형 가진 시험 시편은 형태와 크기가 규정되어 있지 않아, 본 시험에서는 블레이드가 통상적으로 큰 응력을 갖는 에어포일과 플랫폼이 연결되는 부분을 모사한 필렛부를 갖는 원형 단면으로 제작하였다. 유한요소해석으로 가진 해석을 수행하여 가진기 성능내에서 균열이 발생할 수 있는 충분한 가진이 가능함을 검토하였다.

시험 구성은 Fig. 1과 같이, 가진기의 입력 하중을 모니터링하기 위해 지그 상면에 가속도계를 설치하고, 시편 끝단에서의 공진 응답은 비접촉식 레이저속도계를 사용하였으며, 시편 필렛부에서의 변형율은 스트레인게이지를 부착하여 측정하였다.

2.2 가진 시험 및 결과

본 공진형 가진 시험에 변동 하중 조건은 평균응력이 0인 응력비 $R=-1$(fully reversed loading)이다. 시편의 고유진동수인 234 Hz로 가진했으며, 가진 가속도에 따른 공진응답, 변형율 등을 측정하였다. 가진하중의 변동에 따라 Fig. 2와 같이 시편 끝단에서의 가속도와 필렛부의 변형율은 선형관계를 보였으며, 가진과 응답 가속도는 가진력의 증가에 따라 증폭비가 감소하는 것으로 나타났다.

시편에 균열이 발생하면 공진주파수 또는 공진변위가 변동하였는데, 이 시점을 균열 발생 시점으로 하여 시험을 중단하였다. 균열은 고정부 끝단에서부터 39.14 mm 지점에서 발생하였고, Fig. 4와 같이 해석에 의해 확인한 최대 응력은 스트레인게이지 부착위치에 비해 약 20% 높게 나타났다.

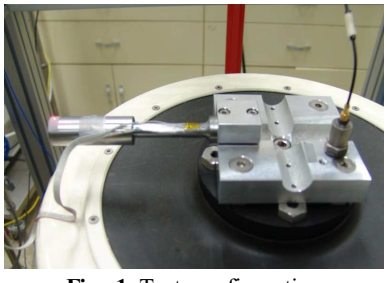

Fig. 1 Test configuration

† 한전전력연구원 발전연구소
E-mail : dylee@kepri.re.kr
Tel : 042-865-5677, Fax : 042-865-5627
* 한전전력연구원 발전연구소

3. 계단형 응력 시험 및 결과

계단형 응력 시험은 각 스트레스 수준에서의 수명이 와이블 분포를 따르고, 스트레스 수준 간의 수명은 와이블 분포의 척도모수를 매개로 역누승관계를 따른다고 가정하였다.

본 시험에서는 2×10^6 cycle을 기준수명으로 설정하고, 낮은 단계의 스트레스를 부과하여 기준수명내에 파괴가 되지 않는 경우, 다음 단계의 스트레스 수준으로 증가시켜 진행하였다. 10개의 CM247LC 주조시편을 대상으로 기준수명에서의 균열이 발생한 응력을 Table 1과 같이 측정하였다.

Fig. 5는 로그변환된 응력과 고장률의 관계를 선형회귀모형으로 나타낸 것으로, 와이블 분포의 척도모수는 437 MPa, 10%의 시편에서 균열이 발생할 것으로 예측되는 응력은 278 MPa로 계산되었다.

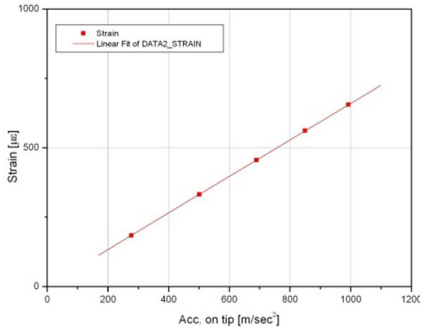

Fig. 2 Relation of excitation and strain

Fig. 3 Initial crack location

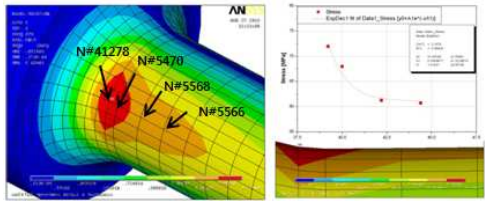

Fig. 4 Dynamic stress contour

Table 1 Step stress test result

i	S(equi. stress)	Percentage	ln(S)	lnln(1/(1-F))
1	256.6	0.067	30.78	-2.664
2	260.6	0.163	30.94	-1.723
3	280.1	0.260	31.75	-1.202
4	297.9	0.356	32.45	-0.822
5	312.8	0.452	33.01	-0.509
6	313.6	0.548	33.04	-0.230
7	343.0	0.644	34.08	0.033
8	378.2	0.740	35.23	0.299
9	441.4	0.837	37.09	0.594
10	460.8	0.933	37.61	0.993

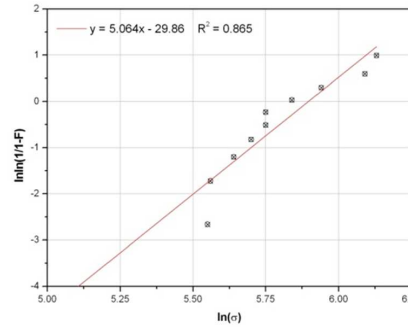

Fig. 5 Linear regression

4. 결 론

블레이드 소재의 피로강도를 측정하기 위한 진동가진기를 이용한 공진형 가진시험을 수행하고, 고장률은 와이블 분포로, 스트레스 수준간의 수명은 역누승관계로 가정하여 블레이드 소재인 CM247LC 주조시편의 피로강도를 결정하였다. CM247LC DS 주조 소재가 높은 원심하중과 고온환경에서 사용되는 가스터빈 블레이드 소재로써 요구되는 피로 특성을 만족하는 것으로 판단된다. 한편 진동 가진기를 이용한 공진형 가속 시험은 효과적인 피로시험법으로 활용 가능하지만, 기존 피로시험법과의 비교를 통한 결과의 상호 비교검증이 필요한 것으로 사료된다.

후 기

이 연구는 산업통상자원부 주관 전력산업연구개발사업 “501F급 가스터빈 블레이드/베인 국산화 기술개발”과제의 지원으로 수행되었음.