

### 드럼세탁기 축계의 피로수명 평가

김대진\*(성균관대 대학원 기계공학과), 위우택(성균관대 대학원 기계설계학과),  
 석창성(성균관대 기계공학부), 이근호(삼성전자), 민제홍(삼성전자)

#### Fatigue Life Evaluation for Flange-Shaft Assembly of Front Loading Washing Machine

D. J. Kim(Dept. Mech. Eng., SKKU), W. T. We(Dept. Mech. Eng., SKKU)  
 C. S. Seok(Dept. Mech. Eng., SKKU), G. H. Lee(Samsung), J. H. Min(Samsung)

#### ABSTRACT

To estimate the fatigue life of flange-shaft assembly, fatigue test for flange material and bending fatigue test for flange-shaft assembly were conducted. Also, finite element analysis for flange-shaft assembly was conducted. Then, we have changed the obtained P-N curve to S-N curve using the finite element analysis results which were stress values at the location of fracture. The S-N curve of flange material itself was almost consistent with that of flange-shaft assembly, so it seems that the fatigue life of flange-shaft assembly could be estimated by using S-N curve for flange material and the stress at the location of fracture calculated by finite element methods.

**Key Words** : Flange-Shaft Assembly (축계), P-N Curve (하중-수명 선도), S-N Curve(응력-수명 선도)

#### 1. 서론

드럼세탁기의 축계는 세탁조가 회전함에 따라 비틀림하중과 굽힘하중을 동시에 받게 되며, 이들 하중이 반복적으로 작용하게 되면 축계의 파손이 발생하게 된다. 본 연구에서는 축계 자체의 굽힘 피로시험 및 응력해석을 통하여 축계의 응력-수명 선도를 구하고 이를 플랜지 재질의 표준시험편 피로시험 결과와 비교하였다.

#### 2. 표준시험편 피로시험

플랜지는 Aluminum 재질이며 다이캐스팅에 의해 제작된다. Table 1에 실제 플랜지로부터 채취한 인장 시험편을 통해 구한 기계적 특성을 나타내었다.

ASTM E466<sup>1</sup> 규격에 따라 실제 플랜지로부터 판형 피로시험편을 채취하여 축방향 피로시험을 수행하였고, 그 결과 얻어진 S-N 선도를 Fig. 1에 나타내었다. 피로수명을 기준으로 장수명 영역의 데이터를 Flange\_Higher로, 단수명 영역의 데이터를 Flange\_Lower로 구분하였고 시험편의 파단면을 관찰하여 수명 데이터 산포의 원인을 분석하였다.

Fig. 2는 Fig. 1에서 번호로 표기한 각 시험편의 파단면을 보여주고 있다. Flange\_Higher에 해당하는 ⑤, ⑥, ⑦, ⑧ 번 시험편의 경우, 표면에서 발생한 균열이 점진적으로 전파하여 원형의 균열진전 흔적을 관찰할 수 있으나, Flange\_Lower에 해당하는 ①, ②, ③, ④ 번 시험편의 경우에는 이러한 균열진전의 흔적을 관찰할 수 없었고, 또한 ②번 시험편의 경우 기공이 관찰되었다. 따라서 Flange-Lower 영역의 낮은 피로강도는 다이캐스팅 주물 결함때문인 것으로 판단된다.

#### 3. 굽힘피로시험을 통한 축계의 피로강도 평가

Fig. 3은 축계의 굽힘피로시험 방법을 보여주고 있다. 시험시작 위치에서 ±7mm의 변위가 발생하는 시점을 파괴기준으로 정하였다. 시험결과 Fig. 4와 같은 하중-수명 선도를 구하였고, 하중 크기 변화에 대하여 파손위치는 거의 일정한 것으로 나타났다.

Table 1. Mechanical properties of flange

Material	$\sigma_{ys}$	$\sigma_U$
ALDC	154MPa	212MPa

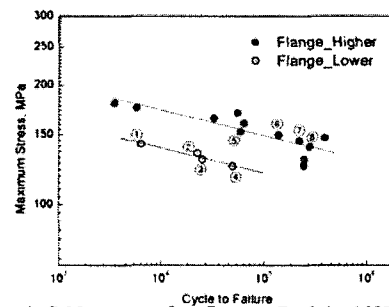


Fig. 1 S-N curves for flange, R=0.1, 10Hz

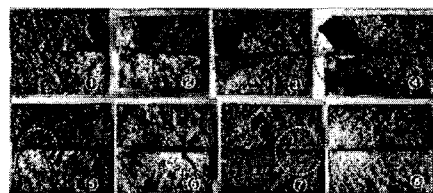


Fig. 2 Fracture surfaces of flange

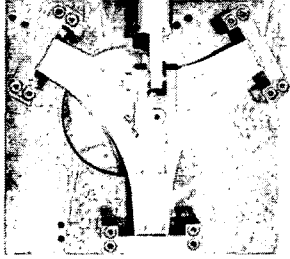


Fig. 3 Experimental setup for bending fatigue test

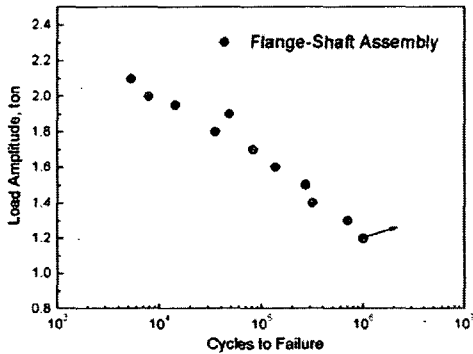


Fig. 4 P-N curve for flange-shaft assembly, R=1, 1.5Hz

#### 4. 유한요소법을 이용한 축계 응력해석

Fig. 5 및 Table 2와 같은 조건하에 굽힘피로시험의 시험하중과 동일한 하중을 가하여 실제 파단 위치에서의 응력값을 해석을 통하여 구하였다.

Fig. 6과 같은 응력측정실험 결과, 1ton의 분포하중을 베어링 지지부에 작용시켰을 때의 최대 주응력은, 두 번의 실험에서 각각 35MPa과 36MPa로 얻어졌다. 이는 동일한 하중에 대한 유한요소해석 결과인 34MPa과 거의 일치하여 유한요소법의 유효성을 입증하였다.

굽힘피로시험으로부터 얻어진 하중-수명 선도를 S-N 선도로 변환하여 Fig. 7에 나타내었다. 이 때, Von-Mises 응력 중 최대응력을 기준으로 변환한 S-N 선도가 플랜지의 피로시험 결과(Flange\_Lower)와 일치하는 경향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

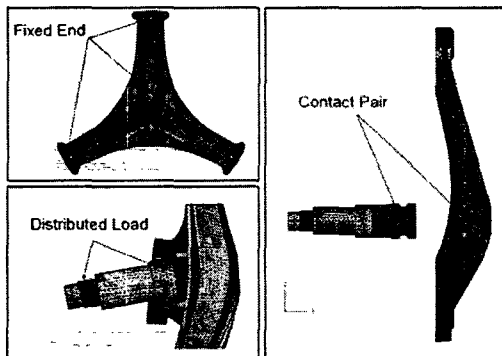


Fig. 5 Boundary conditions for FEA

Table 2 Analysis Conditions

	E	v
Flange	70.6GPa	0.34
Shaft	206.8GPa	0.29
Number of Nodes	64,864 EA	
Number of Element	259,651 EA (Type : C3D4)	
Modeling	I-DEAS Ver. 10.0	
Analysis	ABAQUS Ver. 6.4	

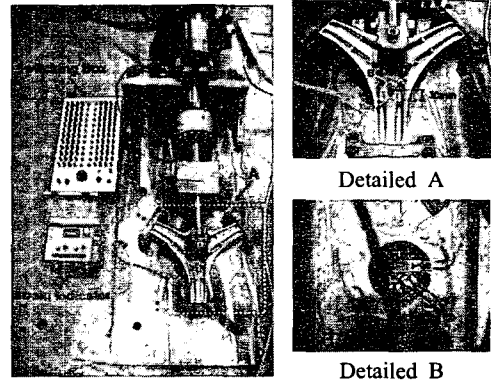


Fig. 6 Experimental setup for measuring strain

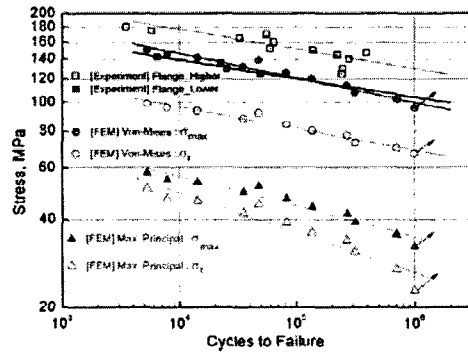


Fig. 7 S-N curves for flange-shaft assembly

#### 5. 결론

굽힘 피로시험 결과인 P-N 선도를 균열발생 위치의 최대 Von-Mises 응력을 기준으로 하여 S-N 선도로 변환시킨 결과, flange 재질의 표준시험편 피로시험 결과와 일치하는 경향을 나타내었다. 따라서, 새로운 드럼세탁기 모델을 개발하는 경우, 축계에 대한 유한요소해석을 통하여 구할 수 있는 flange의 최대 Von-mises 응력과 flange 재질의 표준시험편 피로시험 결과를 이용하면 축계의 피로수명을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 후기

본 연구는 BK21 사업의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. ASTM E466, Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials